

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

ÇİFT FARKLI YAPI SEÇİMİNİN KUANTUM İLETKENLERİNDE
UYGULANMASI İLE KUANTUM KUYU LAZERLERİN İNCELENMESİ

Sinan YAŞAR

HAZİRAN 2011

Fizik Anabilim Dalında Sinan YAŞAR tarafından hazırlanan ÇİFT FARKLI YAPI SEÇİMİNİN KUANTUM İLETKENLERİNDE UYGULANMASI İLE KUANTUM KUYU LAZERLERİN İNCELENMESİ adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

23/06/2011

Prof. Dr. İhsan ULUER
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Doktora Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. İhsan ULUER
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan (Danışman) : Prof. Dr. İhsan ULUER
Üye : Prof. Dr. Mirzahan HIZAL
Üye : Prof. Dr. Saffet NEZİR
Üye : Prof. Dr. Sedat AĞAN
Üye : Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM

23/6/2011

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. İhsan ULUER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

ÇİFT FARKLI YAPI SEÇİMİNİN KUANTUM İLETKENLERİNDE UYGULANMASI İLE KUANTUM KUYU LAZERLERİN İNCELENMESİ

YAŞAR, Sinan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. İhsan ULUER

Haziran 2011, 196 sayfa

Bu çalışmada, günümüzde nano teknolojik uygulamalarda bir çok araştırmacının dikkatlerini üzerine çeken deneysel ve teorik çalışmalarla hızla trendi yükselen kuantum kuyu lazerlerin simülasyon yoluyla üretimi ve analizi yapılmıştır. Bu açıdan mevcut aktif - aktüel çalışmalar takip edilmiş ve 5 ayrı farklı yapıları kuantum kuyu malzemesinin çeşitli kompozisyon ve konfigürasyonlarda dizaynı ile 25 farklı yapı ayrı ayrı incelenmiştir. Lazer yapıları simülasyonda dizayn edilirken Fabry – Parot ve Fabry – Parot Ridge (SIRT) tipi lazer yapı olarak iki farklı konfigürasyonda ele alınmıştır. Bu yapıların Ağ-örgü yapısına ait örgü profilleri çıkarılmış, Mod Hesaplamaları yapılmış ve elde edilen veriler Optik Mod Spektrumu olarak gösterilmiştir. Her yapının bölge bölge (aktif bölge, kuantum kuyu bölge, bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) profili ve değerleri üretilmiştir. Ayrı ayrı her yapıda kullanılan malzeme kompozisyonları tasarlanmış ve işleme konulmuştur. İstenilen sıcaklık değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazançları hesaplanmıştır. Pik Kazanç grafikleri ve verileri çıkarılmıştır. Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Tasarlanan her lazer yapısının { L-I-V } (Güç - Akım –Voltaj) grafiği ve verileri üretilmiştir. Elde edilen tüm bu sonuçlar literatürle karşılaştırılmış ve uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kuantum kuyulu yapı, optik mod, pik kazanç, eşik akımı, L-I-V değeri, çift farklı yapılu kuyu, optik spektrum, kendiliğinden ışıma, bias akımı, kuantum kuyu lazerler, Fabry-Parot lazerler.

ABSTRACT

THE APPLICATION OF DOUBLE HETEROSTRUCTURE SELECTION IN QUANTUM CONDUCTORS FOR THE INVESTIGATION OF QUANTUM WELL LASERS

YAŞAR, Sinan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, Ph. D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İhsan ULUER

June 2011, 196 pages

In this work, nano-technological applications, which amaze many researchers in a rapidly rising trend of experimental and theoretical studies on the production of quantum well lasers by means of simulation and analysis. In this respect, the current assets - current studies were followed up and 5 different quantum wells of heterostructure materials were designed with various compositions and configurations of 25 different structures were investigated separately. While laser structures were designed by simulations, Fabry - Perot and Fabry - Perot Ridge type laser structures are discussed in two different configurations. Mesh structure of these profiles were issued, Mode calculations are done and the obtained data from the optical mode are shown as mode spectrum. For each structure (active region, the quantum well region, such as barrier and prison areas) Band - Energy graphics and their values, refractive index profile and their values, doping rates (for n-type and p-type regions) profiles and their values were produced region by region. For each structure used in the composition of the material, were designed and processed separately. Adjusting the desired temperature and carrier densities, the material gains were calculated. Peak

Gain graphs and the data were attained. The values and graphics of spontaneous emission were produced. For the designed structure of each laser {L-I-V} (power - current –voltage) data and the graphs were produced. It is shown that the results obtained are in good agreement with literature.

Key Words: Quantum Well Structure, optic mode, peak gain, threshold current, L-I-V value, double heterostructure well, optical spectrum, spontaneous emission, bias current, quantum well lasers, Fabry-Parot lasers.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her zaman göstermiş oldukları engin özveri ve sabırlarıyla yanımda olan, özellikle zengin tecrübe ve akademik birikimleri ile desteklerini devam ettiren danışman hocam ve bölüm başkanım sayın Prof.Dr. İhsan ULUER ve nanoteknoloji alanında yüksek tecrübelerini benimle paylaşan sayın Prof. Dr. Sedat AĞAN beylere, yıllarını ülkemizin bilimsel gelişmelerine vermiş, Orta Doğu Teknik Üniversitesinden sayın Prof. Dr. Mirzahan HIZAL beye, üniversitemizin gelişimine kendini adayan, çalışmalarıyla her zaman bize örnek olan sayın Prof. Dr. Saffet NEZİR ve Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM beylere ve bu güzel çalışmayı bilim dünyasına kazandırmada emeği geçmiş tüm Fizik Bölümü çalışanlarıyla birlikte bu güne değin yanımda olup maddi ve manevi bana destek veren sevgili eşim ve kızıma teşekkürlerimi sunarım.

*Kıymetli Babam,
Eşim ve Kızıma
Sevgi ve Şükranlarımla...*

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İTHAF.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xix
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Özeti.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
2.1. Yarıiletken Lazerler ve Yarıiletken Eklemler	7
2.2. Kuantum Kuyular.....	8
2.3. LaserMOD Hesaplama Metotları ve Tanımlar.....	10
2.3.1. Optik	11
2.3.2. Optik Modlar ve Foton Oran Denklemi	11
2.3.3. Bant Yapısı	15
2.3.4. Kazanç.....	18
2.3.5. Serbest Taşıyıcı Kazanç Modeli.....	19
2.3.6. Çok Parçacık Kazanç Modeli.....	19
2.3.7. Taşıyıcı Transferi.....	19
2.3.8. Poisson's Denklemi ve Yükler.....	20
2.3.9. Tamamlanmamış İyonizasyon.....	20
2.3.10. Taşıyıcı Dağılımı ve Dalga Fonksiyonları.....	20
2.3.11. Haensch Kuantum Doğrulama.....	22
2.3.12. Taşıyıcı Süreklilik Denklemi.....	22
2.3.13. Kuantum Kuyu Taşıyıcı Yakalama.....	23
2.3.14. Auger (Yeniden Birleşim)	24

2.3.15. Shockley-Read-Hall (SRH) Yeniden Birleşimi.....	25
2.3.16. Ara Yüz Ayırıcı Yeniden Birleşmesi.....	25
2.3.17. Kendiliğinden Yeniden Birleşme.....	26
2.3.18. Uyarılmış Yeniden Birleşme.....	26
2.3.19. Taşıyıcı Akımı ve Hareketlilik.....	26
2.3.20. Durağan Hareketlilik.....	27
2.3.21. Sıcaklık Bağımlı Hareketlilik.....	27
2.3.22. Katkı ve Sıcaklık Bağımlı Hareketlilik Modeli.....	28
2.3.23. Yüksek Alan Hareketliliği.....	29
2.3.24. Malzeme Ara Yüzleri.....	30
2.3.25. Örgü Sıcaklık Akışkan Denklemi.....	31
2.3.26. Isısal iletkenlik.....	31
2.3.27. Enerji Akışı.....	31
2.3.28. Isı Kaynakları.....	32
2.3.29. Isısal Hapis Koşulları.....	32
2.4. LaserMOD Aygıtı	33
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	41
3.1. { AlGaInAs } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar.....	41
3.1.1. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı.....	41
3.1.2. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2. Tip Yapı.....	55
3.1.3. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı.....	65
3.1.4. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip Yapı.....	73
3.2. { GaInAsP } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar.....	81
3.2.1. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı.....	81
3.2.2. { GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip Yapı.....	89
3.2.3. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip Yapı.....	91
3.2.4. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 4. Tip Yapı.....	92
3.3. { InGaNaS } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar.....	94
3.3.1. { InGaNaS / GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı.....	94
3.3.2. { InGaNaS / GaNaS / GaAs } 2. Tip Yapı.....	99
3.3.3. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 3. Tip Yapı.....	100
3.3.4. { InGaNaS / GaAs / GaAs } 4. Tip Yapı.....	102
3.3.5. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 5. Tip Yapı.....	103

3.4. { AlGaAs } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar.....	104
3.4.1. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı.....	104
3.5. { InGaAs } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar.....	110
3.5.1 { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip Yapı.....	110
3.5.2. { InGaAs / AsPGa/ AlGaAs } 2. Tip Yapı.....	116
3.5.3. { InGaAs / GaAs / GaAs } 3. Tip Yapı.....	117
3.5.4. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } 4. Tip Yapı.....	118
3.5.5. { InGaAs / AlGaInAs/ InP } 5. Tip Yapı.....	119
3.5.6. { InGaAs / GaInAsP / InP } 6. Tip Yapı.....	120
3.5.7. { InGaAs / GaAs / AlGaAs } 7. Tip Yapı.....	120
3.5.8. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs } 8. Tip Yapı.....	121
3.5.9. { InGaAs / GaInAsP / InP } 9. Tip Yapı.....	121
3.5.10. { InGaAs / GaInAsP / GaAs } 10. Tip Yapı.....	122
3.5.11. { InGaAs / GaAsP / GaAs } 11. Tip Yapı	122
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	123
KAYNAKLAR.....	159
EKLER	170
EK.1.....	170
EK.2.....	172
EK.3.....	173
ÖZGEÇMİŞ.....	174

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Semboller Listesi (denklem sıralı olarak).....	11
3.1. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	43
3.2. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu.....	52
3.3. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	56
3.4. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu.....	63
3.5. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	66
3.6. { AlGaInAs/AlGaInAs/GaAs } 3. Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu.....	70
3.7. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	74
3.8. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4. Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu.....	79
3.9. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	82
3.10. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu.....	88
3.11. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	90
3.12. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	92
3.13. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	93
3.14. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	94
3.15. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	100
3.16. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	101
3.17. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	103
3.18. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	104
3.19. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	105
3.20. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı L-I-V Bias Tablosu.....	108
3.21. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	111
3.22. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	114
3.23. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	116
3.24. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	117
3.25. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	118
3.26. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	119
3.27. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	120
3.28. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	120

3.29.	Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	121
3.30.	Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	121
3.31.	Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	122
3.32.	Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri.....	122
4.1.	Çalışılan Tüm Lazer Yapıların Optimum Sonuçları Tablosu.....	153
4.2.	Çalışılan Tüm Lazer Yapıların Parametrik Değerleri Tablosu.....	156

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Homojunction eklem oluşturulması.....	8
2.2. Heterojunction eklem oluşturulması.....	8
2.3. İkili farklı yapılarla kuantum kuyu oluşturulması.....	9
2.4. AlGaAs Yarıiletken Yapı için Bant Yapılarının Şeması.....	16
2.5. Taşıyıcı Modeli.....	23
2.6. Global Setting Bölümü ve Genel Tercihler Panosu.....	33
2.7.a. Kuantum tek kuyu tasarımından bir aşama.....	34
2.7.b. { InGaAs } Kuantum tek kuyu tasarımı bitmiş durumda.....	34
2.8. Aygıt tarafından üretilen Mesh (Ağ-örgü yapı) profili.....	35
2.9. Üretilen InGaAs Lazerin Mod profili.....	35
2.10. a. Üretilen InGaAs Lazerin Bant Aralığı Profili.....	36
2.10. b. Üretilen InGaAs Lazerin n- Katkı Profili.....	36
2.11. a. Üretilen InGaAs Lazerin Kazanç Grafiği.....	37
2.11. b. Üretilen InGaAs Lazerin Pik-Kazanç Grafiği.....	37
2.11. c. Üretilen InGaAs Lazerin Kendiliğinden Işıma Grafiği.....	37
2.12. a. Üretilen InGaAs Lazerin L-I-V Grafiği.....	38
2.12. b. Üretilen InGaAs Lazerin Optik Güç –Zaman Grafiği.....	38
2.13. Bias Editöründe I – V Ayarları.....	39
2.14. a. Üretilen InGaAs Lazerin Değerlik Bant Profili.....	39
2.14. b. Üretilen InGaAs Lazerin Optik Spektrumu.....	40
3.1. {AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı Laser Profili.....	44
3.2. {AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı F-P SIRT } simülasyon planı.....	44
3.3. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 1. Tip Yapı Mesh profili.....	45
3.4. Mesh profilinde 1 nolu bölgeye yakınlaşma yapılması.....	46
3.5. Mesh profilinde 2 nolu bölgeye yakınlaşma yapılması.....	46
3.6. Mesh profilinde 3 nolu bölgeye yakınlaşma yapılması.....	47
3.7. {AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili.....	48
3.8. {AlGaInAs/ AlGaInAs/ InP }1.Tip Yapı Kırılma İndisi Profili(Kuyu Bölge).....	48
3.9. {AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Bant Aralığı Profili.....	48

3.10.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu).....	49
3.11.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1.....	49
3.12.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2.....	50
3.13.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 3.....	50
3.14.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Pik Kazanç Grafikleri.....	51
3.15.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 1.....	51
3.16.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 2.....	51
3.17.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı L-I-V Grafiği 1.....	53
3.18.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı L-I-V Grafiği 2.....	53
3.19.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.TipYapı (C - V) Bant Profili.....	54
3.20.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı Optik Spektrum Profili.....	55
3.21.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2. Tip Yapı Laser Profili.....	57
3.22.	LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 2. Tip Yapı Mesh profili.....	58
3.23.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili.....	58
3.24.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Kırılma İndisi Profili (Kuyu B.).....	59
3.25.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.TipYapı Bant Aralığı Profili.....	59
3.26.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu).....	60
3.27.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1.....	60
3.28.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2.....	61
3.29.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Pik Kazanç Grafikleri.....	62
3.30.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 1.....	62
3.31.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 2.....	63
3.32.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı L-I-V Grafiği	63
3.33.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı içinTüm Bant Profili.....	64
3.34.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı (C - V) Bant Profili.....	64
3.35.	{ AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı Optik Spektrum Profili.....	65
3.36.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı Laser Profili.....	66
3.37.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı { F P } simülasyon planı	67
3.38.	LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 3. Tip Yapı Mesh profili.....	67
3.39.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili.....	68
3.40.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3.Tip Yapı Bant Aralığı Profili.....	68
3.41.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs} 3.Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu).....	69
3.42.	{ AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs} 3.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği.....	69

3.43. { AlGaInAs/AlGaInAs/GaAs } 3.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği.....	70
3.44. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3.Tip Yapı L-I-V Grafiği 1.....	71
3.45. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3.Tip Yapı L-I-V Grafiği 2.....	71
3.46. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3.Tip Yapı (C - V) Bant Profili.....	72
3.47. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip Yapı Laser Profili.....	75
3.48. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 4. Tip Yapı Mesh profili.....	76
3.49. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili.....	76
3.50. { AlGaInAs /AlGaInAs /InP } 4. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili (Kuyu B.).....	77
3.51. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4.Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu B.).....	77
3.52. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1.....	78
3.53. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2.....	78
3.54. { AlGaInAs/AlGaInAs InP } 4.Tip Yapı L-I-V Grafiği.....	79
3.55. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4.Tip Yapı içinTüm Bant Profili.....	80
3.56. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4.Tip Yapı (C - V) Bant Profili.....	80
3.57. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4.Tip Yapı Optik Spektrum Profili.....	81
3.58. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Laser Profili.....	83
3.59. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 1. Tip Yapı Mesh profili.....	84
3.60. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili.....	84
3.61. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Bant Aralığı Profili.....	85
3.62. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1.....	85
3.63. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2.....	86
3.64. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 3.....	86
3.65. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip için Kendiliğinden Işıma Grafiği.....	87
3.66. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı L-I-V Grafiği.....	88
3.67. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı içinTüm Bant Profili.....	89
3.68. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Optik Spektrum Profili.....	89
3.69. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Laser Profili.....	95
3.70. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili.....	96
3.71. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili.....	96
3.72. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği.....	97
3.73. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği....	97
3.74. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Tüm Bant Profili.....	98
3.75. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Optik Spektrum Profili.....	98

3.76. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı Laser Profili.....	105
3.77. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı Kırılma İndisi ve Bant Profilleri....	106
3.78. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı Malzeme Kazanç Grafiği.....	106
3.79. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği.....	107
3.80. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı Malzeme Pik Kazanç Grafiği.....	107
3.81. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı L-I-V Grafiği - 298 K -	108
3.82. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı L-I-V Grafiği - 300 K -	109
3.83. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı L-I-V Grafiği - 368 K -	109
3.84. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı Optik Spektrum Profili.....	110
3.85. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Laser Profili.....	111
3.86. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Kırılma İndisi ve Bant Profilleri.....	112
3.87. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1...112	
3.88. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2.....	113
3.89. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği.....	113
3.90. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Malzeme Pik Kazanç Grafiği.....	114
3.91. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı L-I-V Grafiği.....	115
3.92. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Optik Spektrum Profili.....	115
4.1. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip yapı Malzeme Kazanç Grafiği...124	
4.2. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } Malzeme Kazanç Grafiği	124
4.3. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip yapı Malzeme Kazanç Grafiği...124	
4.4. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } Malzeme Kazanç Grafiği.....	124
4.5. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip yapı L-I-V Grafiği.....	125
4.6. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } L-I Grafiği.....	125
4.7. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2. Tip yapı L-I-V Grafiği.....	125
4.8. { AlInGaAs / AlInGaAs / InP } L-I Grafiği.....	125
4.9.a. { AlGaInAs/AlGaInAs/GaAs } 3. Tip yapı için L-I-V Grafiği 1.....	126
4.9.b. { AlGaInAs/AlGaInAs/GaAs } 3. Tip yapı için L-I-V Grafiği 2.....	126
4.10. { AlInGaAs / AlInGaAs / InP } L-I Grafiği	126
4.11. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip yapı Malzeme Kazanç Grafiği...127	
4.12. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } Malzeme Kazanç Grafiği	127
4.13. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip yapı Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği	128

4.14. {AlGaInAs/AlGaInAs/ InP} Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı Yoğunluğu Grafiği.....	128
4.15. {AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4.Tip yapı için Kendiliğinden Işıma (PL) Grafiği.....	128
4.16. {AlInGaAs / AlInGaAs / InP } PL Grafiği.....	128
4.17. {GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği....	129
4.18. {InGaAsP / GaInP / GaP } Lazeri Malzeme Kazanç Grafiği.....	129
4.19. {GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği....	130
4.20. {GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği....	130
4.21. {InGaAsP / InGaAsP / InP} Lazer için Malzeme Kazanç Grafiği.....	130
4.22. {GaInAsP/GaInAsP/GaAs} 2.Tip Yapı Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği.....	131
4.23. {InGaAsP/InGaAsP/InP} Lazer Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği.....	131
4.24. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği....	132
4.25. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği.....	132
4.26. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip yapı Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği	133
4.27. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer için Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği	133
4.28. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip yapı PL Grafiği	133
4.29. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer için PL Grafiği.....	133
4.30. {GaInAsP/GaInAsP/InP} 4. Tip yapı Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği.....	134
4.31. {InGaAsP/InGaAsP/InP} Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği.....	134
4.32. { InGaInAs/ GaAs / GaAs } 1. Tip yapı PL Grafiği.....	135
4.33. { GaInInAs/ GaAs / GaAs } lazer için PL Grafiği.....	135
4.34. { InGaInAs/ GaInAs / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği.....	136
4.35. { InGaInAs/ GaInAs / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği.....	136
4.36. { InGaInAs/ GaAsN / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği....	136
4.37. { InGaInAs/ GaInAs / GaAs } 2. Tip yapı L-I-V Grafiği.....	137
4.38. { InGaInAs/ GaInAs / GaAs } lazer için L-I Grafiği.....	137

4.39. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 3. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği....	137
4.40. { InGaNaS / GaAsP / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği....	137
4.41. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 3. Tip Yapı için L-I-V Grafiği.....	138
4.42. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 3. Tip Yapı için L-I-V Grafiği	138
4.43. { InGaNaS/ GaNaS / GaAs } 2. Tip yapı L-I-V Grafiği.....	138
4.44. { InGaNaS } temelli lazerler için L-I Grafiği.....	138
4.45. { InGaNaS/ GaAs / GaAs } 4. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği.....	139
4.46. { InGaNaS/ GaAs / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği.....	139
4.47. { InGaNaS/ GaAs / GaAs } 4. Tip yapı için PL Grafiği -1-	139
4.48. { InGaNaS/ GaAs / GaAs } lazer için PL Grafiği -1-	139
4.49. { InGaNaS/ GaAs / GaAs } 4. Tip yapı için PL Grafiği -2-	140
4.50. { InGaNaS/ GaAs / GaAs } lazer için PL Grafiği -2-	140
4.51. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 5. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 1...	141
4.52. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 5. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 2...	141
4.53. { InGaNaS / GaAs / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği.....	143
4.54. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 5. Tip Yapı için L-I-V Grafiği.....	142
4.55. { InGaNaS / GaAs / GaAs } lazer için L-I Grafiği.....	142
4.56. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Pik Malzeme Kazanç Grafiği.....	143
4.57. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Pik Malzeme Kazanç Grafiği.....	143
4.58. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Grafiği.....	144
4.59. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Grafiği.....	144
4.60. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 1....	145
4.61. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 2...	145
4.62. { InGaAs / AsPGa/ AlGaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 3...	145
4.63. { GaAs } Kuyu Lazerleri Malzeme Kazanç Grafiği.....	145
4.64. { InGaAs / GaAs/ GaAs } 3. Tip yapı için (300 K) Malzeme Kazanç Grafiği 1.....	147
4.65. { InGaAs / GaAs/ GaAs } 3. Tip yapı için (300 K) Malzeme Kazanç Grafiği 2.....	147
4.66. { InGaAs / GaAs } Lazeri (300 K) Malzeme Kazanç Grafiği.....	147
4.67. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } 4. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği	148
4.68. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } Lazeri (298 K) Malzeme Kazanç Grafiği.....	148
4.69. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } Lazeri (368 K) Malzeme Kazanç Grafiği.....	148

4.70. {InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs} 4. Tip yapı L-I-V Grafiği (298 K)	149
4.71. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs} 4. Tip yapı L-I-V Grafiği (333 K)	149
4.72. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs} Lazer için L-I-V Grafiği.....	149
4.73. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs } 8. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği.....	150
4.74. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs } 8. Tip yapı Pik Malzeme Kazanç Grafiği.....	150
4.75. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs ve InP } Lazerleri Malzeme Kazanç Grafiği.....	150
4.76. { InGaAs / GaInAsP / InP } 9. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği.....	151
4.77. { InGaAs / GaInAsP / InP } Kuyu Lazeri Malzeme Kazanç Grafiği.....	151
4.78. {InGaAs / GaInAsP / GaAs } 10. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği.....	151
4.79. { InGaAs / GaInAsP / GaAs } Kuyu Lazeri Malzeme Kazanç Grafiği.....	151
4.80. {InGaAs/GaAsP/GaAs } 11.Tip yapı Malzeme Kazanç - Enerji Grafiği....	152
4.81. { InGaAs / GaAsP / GaAs } 11. Tip yapı için PL – Dalga Boyu Grafiği...	152
4.82. { InGaAs / GaAsP } Kuyu Lazeri PL-Dalga Boyu - Enerji Grafiği.....	152

SİMGELER DİZİNİ

E_g	Yasak enerji aralığı
E_c	İletkenlik bandı enerjisi
E_v	Değerlik bandı enerjisi
E_F	Fermi enerjisi
n	Mutlak kırılma indisi
a	Örgü sabiti
ρ	Foton enerji yoğunluğunu
N	Taşıyıcı yoğunluğu
L	Lazer oyuk uzunluğu
λ	Dalga boyu
P	Momentum
T	Sıcaklık (K olarak)

KISALTMALAR DİZİNİ

QWL	Kuantum Kuyu Lazer
VCESLs	Dikey Oyuk Yüzey Işımalı Lazerler
VCL	Dikey Oyuk Lazer
SCH	Hapis – Sınır Bölgesi
Bar.	Bariyer Bölgesi
PL	Kendiliğinden Işıma
L-I-V	Güç – Akım – Voltaj

1. GİRİŞ

Günümüzde yarıiletken lazerlerin gelişmesi kuantum kuyu lazerler için oldukça geniş bir araştırma sahası ortaya çıkarmıştır. Kuantum kuyu teknolojisi öncelikle kristal büyütme aralığını, derinliğini, kuantum mekanik potansiyel kuyularının düzenlenmesi ve kontrol edilmesine izin vermiştir. Bu sadece temel kuantum mekanik örneklerini göstermek için kullanılmayıp aynı zamanda çok iyi lazerler yapmak içinde kullanılmaktadır. Son 20 yıl içerisinde kuantum kuyu lazerlerin önemi düzgün bir şekilde artan büyüme hızına sahip olup günümüze kadar çoğu yarıiletken lazer uygulamaları için tercih edilmektedir.

İlk kuantum kuyu lazerleri dalga boyu yaklaşık $0,8 \mu\text{m}$ de uygulanmakta iken şimdilerde $0,49 \mu\text{m}$ civarından $10 \mu\text{m}$ ye, görünür bölgeden kızıl ötesi bölgeye kadar kullanımları vardır. Bu büyüyen ilgi hemen her durumda kuantum kuyu lazerlerin mevcut hacimsel aktif tabakalı ticari lazerlerden daha iyi olmalarındandır. Açık avantajlarından birisi, kuantum kuyusunun genişliğinin değiştirilmesiyle lazerin dalga boyunun değişme durumudur. Daha temel bir avantajı kuantum kuyu lazerleri taşıyıcı başına daha fazla kazanç sağlar ve mevcut lazerlere göre bu daha düşük eşik akımlarıyla sonuçlanır. Çünkü uyarılan taşıyıcılar geniş miktarda iç kayıplar için sorumlu olmamaktadır. Kuantum kuyu lazerleri daha az uyarılma taşıyıcılarına ihtiyaç duyarlar, daha çok etkindirler ve mevcut lazerlerden daha fazla güç üretirler. Diğer bir avantajı, kuantum kuyu lazerleri hacimsel lazerlerden, lazer indisinde daha az değişikliklerle kazanç sağlar. Mevcut lazerlerden daha yüksek bir bant aralığına sahip olurlar. Kuantum kuyularının büyütülmesi için enine ve boyuna zorlanmaların hacimsel lazerlerden optik kutuplanmayı daha büyük oranda kontrol ettiği kadar ayrı kuantumlaşma ile değerlik bantındaki hafif ve ağır hollerin ayrışmasına yol açar [1].

Günümüzde ekonomik imkânların daha verimli kullanılması ve deneysel çalışmaların daha hızlı ve başarılı sonuçlar üretebilmesi amacıyla

simülasyonlar vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Kuantum kuyu lazerlerde bu sahada çok büyük uğraşlar ve teorik temeller üzerine oturtulan CAD (computer aided design) aygıtlarıyla simüle edilerek deneysel çalışmalarda daha verimli hale getirilmişlerdir. Nano boyutlarda malzeme üretmek ve büyütülen malzeme işlevsel süreçleri oldukça hassas ayarlar ve işlemlere sahip olup simülasyon çoğu zaman kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu amaçla kullanılan ve sürekli yenilenen veritabanları ile aktüel olarak kullanılan CAD aygıtlarından biriside LaserMOD aygıtıdır [2]. Kuantum lazerlerinde farklı yapı seçimleri içinde kullanılan LaserMOD programı yarıiletken lazerlerin optik ve elektronik özelliklerinin simülasyonu için kullanılan bir fotonik cihaz tasarım aracıdır. Özellikle mod hesaplamaları, bant, indis, katkı profilleri, kazanç hesapları, kendiliğinden ışıma, pik kazançları, optik spektrumlar, lazer güç hesaplamaları ve yarıiletken kuantum lazer yapılarının birçok parametrik hesaplama ve analizlerinde kullanılmaktadır. LaserMOD programının genel amacı bir lazer simülasyon paketi ile Lazer Modelleme ve Tasarım sağlamaktır. LaserMOD hem endüstriyel hem de Ar-Ge ve üniversite araştırma uygulamaları için tasarlanmış bir yazılımdır.

Cihaz uygulamaları halen Fabry-Perot tipi vb. kenar yayıcı, (VCSEL) tipi dikey yayıcı lazerler ve foto-diyot lazerler gibi farklı tercihlerde lazerler üretilmesine izin vermektedir. LaserMOD ile bir kuantum kuyu aygıt tasarımı için Bölüm 2 de belirtilen yollar izlenecektir.

1.1. Kaynak Özeti

Kuantum kuyu lazerlerin gelişim süreci anlamak için yarıiletken malzemelerin tarihi sürecini ele almakta fayda vardır. Altmışlı yılların başında yarıiletken lazerin keşfi fotonik teknolojisinde bir başlangıç olmuştur[3,4]. Raymond Dingle 1974 yılında Bell Laboratuvarında yük taşıyıcıların kuantum sınırlarını ortaya koymuştur[5,6,7]. Ardından 1979 yılında aynı laboratuardan Won-Tien Tsang ilk defa kuantum sınırlı yarıiletken lazeri elde etmiştir[7,8]. Seksenli yılların sonuna doğru kuantum tel lazerleri yapılmaya başlanmıştır. Yasuhito Arakawa ve daha sonra Mashahiro Ashada'nın 1986'da Tokyo Üniversitesindeki çalışmalarıyla kuantum nokta lazerlere geçiş süreci başlatılmıştır [7]. Bu çalışmalarla elde edilen malzemeler ile optik kayıt ve

okuma aygıtlarında, lazer yazıcılarda, optik pompalamada ve katı-hal lazerleri yapımında oldukça sık kullanılmaktadır[9,10]. Ayrıca yarıiletken lazerler, iletişim sistemleri için verimli bir ışık kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Böylece fiber optik sistemlerde tercih edilen yeni bir alt yapı oluşturulmaya başlanmıştır [11-17]. Son zamanlarda kısa mesafeli ağlarda genellikle, verimliliği yanında ucuzluğuyla ve düşük güç harcamasıyla ve ortaya koyduğu yüksek hızlarla 850 nm dalga boylu GaAs tabanlı VCL (dikey oyuk lazerleri) kullanılır hale gelmiştir[17-22]. Uzak mesafeli uygulamalar için 1,3 – 1,6 μm dalga boylu lazer kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fabry-Pèrot (FP) ve dağıtılmış geri besleme (DFB) gibi yüzey ışımalı lazerler orta ve uzak mesafeli sistemlerde kullanılmaktadır. Bununla beraber orta ve uzak mesafeli sistemlerde tek modlu fiber uygulamaları için ucuz 1,3 μm ve 1,55 μm dalga boylu dikey oyuk lazerleride geniş olarak kullanılmaktadır[23,24-30,31-68]. VCL lazer fikri öncelikle 1978'de Tokyo Teknoloji Enstitüsünde Iga ve arkadaşları tarafından öne sürülmüştür [23,69,24]. Ardından oda sıcaklığında (OS) atmalı ve düzenli dalgalı çalışan ilk VCL örnekleri aynı grup tarafından 1984 ve 1989 yıllarında ortaya konmuştur [23]. VCL'lerin lazer konfigürasyonları geleneksel düzlem lazerlerde çeşitli farklılıklar gösterir ve değişik avantajlar sunar [23,24-30,70]. Kenar ışımalı lazerlerde lazer ışınması kenar yüzeylerine paralel olurken VCL'lerde ışık yayılımı dik olarak gerçekleşir [71]. Bu araştırmaların yanında yarıiletken lazer alanında K. Iga ve arkadaşları dikey oyuklu ve yüzeyden ışımalı kuantum lazerlerde [69,72,73,74,76,50,42,77], J. Thibeault ve arkadaşları dikey oyuklu yüzeyden ışımalı lazer sistemlerindeki optik özellikleri, offset oranları, lazer verimleri [27,78,42], P.S. Zory ve arkadaşları çift farklı yapılu kuantum lazerleri [79,80,81,82,83,84,85], Svera R. ve arkadaşları kuantum kuyu lazer tasarımlarını[86], S. Adachi III-V yarıiletken malzemelerinin fiziksel özelliklerini[43,45], M. Ustinov ve arkadaşları düşük eşik değerlerindeki kuantum nokta ve kuyularını[87,20,88], Y. Zou ve arkadaşları uzun dalga boyuna sahip lazer sistemlerini [89,11,21,90], Shun Lien Chung optoelektronik cihazların fiziksel özelliklerini [91], Stephen R. ve arkadaşları diyot lazerleri [80], Tso-Min Chou ve arkadaşları çift farklı yapıya sahip kuantum kuyu lazerlerin hapis faktörleri ve tasarımları[92], P. W. A.

McIlroy ve arkadaşları teorik kuantum kuyu lazerleri [93], A. R. Adams ve arkadaşları kuantum kuyu lazer tabakalarının optiksel özelliklerinin [94,95,96,97,98] üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

İzleyen satırlarda ayrıca son yıllarda özellikle kuantum kuyu lazerler üzerinde yapılagelen aktif – aktüel teorik, deneysel ve aynı zamanda simülasyon yoluyla çalışmalardan bahsedilecektir[99-150]. 2008 yılında Win-Der Lee ve arkadaşları geliştirilmiş hapis katmanlı yeni 10 Gb/s Fabry-Parot lazerler üzerinde bir çalışma yapmışlardır [99]. 2007 yılında Y.K.Kuo ve arkadaşları 850 nm VCESLs için zorlanmış InGaAsP/InGaP kuantum kuyu lazerler üzerinde çalışmalar yapmışlardır [100]. J.R. Chen ve arkadaşları 2008 yılında polarizasyon uyumlu AlInGaN bariyer bölgelere sahip çoklu InGaN kuantum kuyularının optik özellikleri üzerinde teorik çalışmalar yapmışlardır [101]. Sandra R. Selmic ve arkadaşları 2001 yılında 1.3 μm AlGaInAs–InP çoklu kuantum kuyularının dizayn ve karakterizasyonları üzerinde çalışmalar yapmışlardır [102]. Vahid Bahrami Yekta ve Hassan Kaatuzian 2010 yılında enine ve boyuna zorlanmalarla AlGaInAs bariyerler arasında bulunan 1.3 μm AlGaInAs-InP çoklu kuantum kuyular üzerinde yeni araştırmalar yapmışlardır [103]. J. C. L. Yong ve arkadaşları 1.3 μm InGaAsP, AlGaInAs, ve InGaAsN kuantum kuyu lazerler ve malzeme kazançları üzerinde teorik çalışmalar yapmışlardır [104]. Yen Kuang Kuo ve arkadaşları 1.3 μm InGaAsP, AlGaInAs, ve InGaAsN yariletken kuantum kuyu lazerlerin optik özellikleri ve malzeme kazançları üzerinde teorik çalışmalar yapmışlardır [105]. J. Minch ve arkadaşları 1999 yılında uzun dalga boylu zorlanmış $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ ve $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ kuantum kuyu lazerler üzerinde teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır [106]. T. Ishikawa ve arkadaşları 1998 yılında zorlanmış 1.3 μm AlGaInAs/InP kuantum kuyuların yüksek sıcaklıklarda kalınlıklarını incelemişlerdir [107]. Jen Wei Pan ve arkadaşları 1996 yılında 1.3 μm AlGaInAs/InP çoklu kuantum kuyularının sıcaklık bağımlılığı üzerine teorik çalışmalar yapmışlardır [108]. Joachim Piprek ve arkadaşları 2000 yılında zorlanmış InGaAsP /InP çoklu kuantum kuyularının yüksek sıcaklıklarda analizini yapmışlardır[109]. B. Grote ve arkadaşları $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ / InP çoklu kuantum kuyuları üzerinde sıcaklık ve çok

parçacık etkilerini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir[110]. M. Hetterich ve arkadaşları 1.2 – 1.3 μm zorlanmış InGaAs/GaAsP ve GaInNAs/GaAs kuantum kuyu lazerlerde karşılaştırmalar yapmışlardır [111]. 2000 yılında B. Borchert ve arkadaşları 1.29 μm Ridge tipi GaInNAs kuantum kuyulu lazerlerin dinamik ve statik karakteristiklerini incelemişlerdir[112]. 2008 yılında Y. K.Kuo ve arkadaşları GaAsP ve GaAsN bariyerler ile paketlenmiş GaInNAs/GaAs oklu kuantum kuyu lazerler üzerinde teorik çalışmalar yapmışlardır [113]. Yine 2008 de Mohd. Sharizal Alias ve arkadaşları uzun dalga boylu VCSELS zerinde GaInNAs kuantum kuyu lazerlerin optimizasyonu ile teorik çalışmalar yapmışlardır[114]. Yi-An Chang ve arkadaşları 2006 yılında 850 nm VCSELS için InAlGaAs/AlGaAs kuantum kuyu aktif bölgeleri üzerinde deneysel ve teorik olarak çalışmalar yapmışlardır [115]. Hiroshi Ishikawa ve Ikuo Suemune SCH bölgesindeki taşıyıcı miktarlarının zorlanmış kuantum kuyu bölgelerinde sıcaklık bağımlı malzeme kazançları üzerinde deneysel ve teorik olarak çalışmalar yapmışlardır [119]. 2006 yılında Chen Chen ve ve arkadaşları uzun dalga boylu kızılötesi VCSELS üzerinde eşik akımının sıcaklık analizlerini yapmışlardır [117].

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu alışmada LaserMOD aygıtıyla yapılacak olan simülasyonlarla bgn dünya üzerinde yapılan en genel kuantum kuyu lazerleri çalışmalarına teorik bir bakış amaçlanmıştır. Bu açıdan yapılan mevcut aktif - aktüel çalışmalar takip edilmiş ve 5 ayrı farklı kuantum kuyu malzemesinin farklı kompozisyon ve formatlarda dizaynı ile 25 farklı yapının incelenmesi ve analizi amaçlanmıştır. LaserMOD ile her lazer yapının simülasyonda üretilirken Fabry – Parot veya Ridge (sırt) tipi lazer yapı olarak dizaynı belirlenecektir. Bu yapıların ayrı ayrı ayrı simülasyon planları x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilecektir.

Lazer yapıların Ağı-rg yapısına ait örgü profilleri çıkarılacaktır. Lazer yapının Mod Hesaplamaları yapılacaktır. Elde edilen veriler Optik Mod Spektrumu olarak gösterilecektir.

Lazer aygıtın bölge bölge (aktif bölge,kuantum kuyu bölge,bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilecektir.Sonraki aşamada istenilen sıcaklık değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilecektir. Tasarlanan Lazer aygıtın { L-I-V } grafiği ve verileri üretilecektir. Böylece LaserMOD aygıtı lazer simülasyonunu girilen bu başlangıç değerlerine göre yapacaktır.

Elde edilen değer ve grafiklerin daha önceden yapılan deneysel veya teorik sonuçlar ile karşılaştırmalarının yapılması sağlanacak, böylece deneysel ve diğer teorik sonuçlar tartışılacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

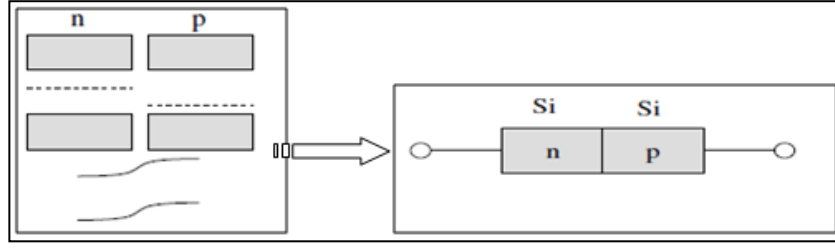
Bu bölümde ilk olarak yarıiletken lazerlerin tipik fiziksel görünüşleri verilecektir. Bununla çift farklı yapıların mekanik yapılarının anlaşılması amaçlanmaktadır. Daha sonra basitçe kuantum kuyu lazerlerin üretim aşamalarına yer verilip lazerlerin simülasyon ile tasarımına ön hazırlık sağlanacaktır. Son olarak LaserMOD programı ile teorik hesaplama temelleri verilecek ve LaserMOD benzetim basamakları anlatılacaktır. Böylece Bölüm 3 de tasarlanan ve simülasyonla üretilen 25 ayrı lazer yapısı için gerekli alt yapı oluşturulacaktır.

2.1. Yarıiletken Lazerler ve Yarıiletken Eklemler

Aşırı katkılanmış n ve p tipi direk bant aralığına sahip yarıiletkenlerle oluşturulan eklemler lazerlerin yapımında kullanılabilirler. Yarıiletken lazerler, rezonans oyuğu içine konmuş LED lerden farklı değildir. Rezonans oyuğu olarak, yarıiletkenlerin kristal yapısının bir sonucu olarak yapılan kesme işlemi uygulanır. Daha sonra aygıtı verilecek ileri besleme ile pompalama süreci başlatılmış olur. Aşırı katkılanmış yarıiletken eklemin ileri besleme durumunda elektronlarla deşikler aynı bölgede birleşmeye hazır duruma gelirler. Böylece lazerin oluşması için gereken ortam sağlanmış olur. Kenar ışımalı lazerlerin kesilmiş yüzeyleri çarpan ışıkla yansıyan ışık arasında belirli bir orana sahiptir. Bu tip araçlar Fabry-Perot rezonans oyuk olarak tanımlanır. En basit optik rezonatör birbirine paralel iki aynadan meydana gelen ve ışığı yalnızca bir boyutta yerelleştiren Fabry-Perot titreştiricilerdir. Çalışmada kullanılan lazer tiplerini bu yapıdaki lazerler oluşturacaktır. Yarıiletkenlerden yararlanma bunlardan farklı tip katkılanmış olanlarını bir araya getirerek eklemler oluşturma ile gerçekleştirilir. İki farklı eklemden bahsedebiliriz :

i) Aynı Tür Eklemler (Homojunction)

Aynı tür yarıiletkenden oluşturulmuş n ve p tipi yarıiletkeni birleştirerek oluşturulan eklemlerdir (örneğin Si:Si, Ge:Ge vb.). Bu durum Şekil 2.1 de basitçe gösterilmiştir.

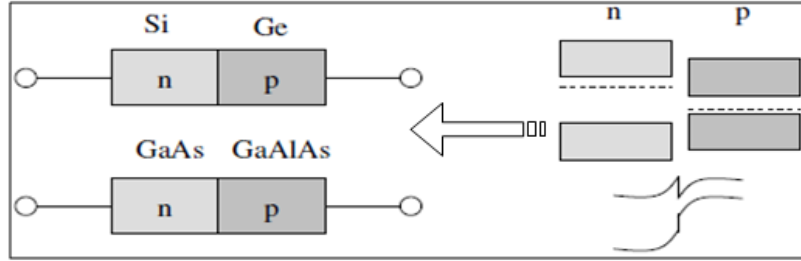


Şekil 2.1. Homojunction eklem oluşturulması

Şekil 2.1 de gösterildiği gibi Silikondan (Si) yapılmış n-tipi ve p-tipi katkılanmış yarıiletken malzemeler düşünülürse; bunlar aynı olduğu için (silikon) n- ve p- tipi malzemenin bant aralığı da aynı olacaktır.

ii) Farklı Tür Eklemler (Heterojunction)

Farklı tür yarı iletkenleri birleştirerek oluşturulan eklemlerdir (örneğin Si:Ge, GaAs:GaAlAs). Bu durum Şekil 2.2 te basitçe gösterilmiştir.

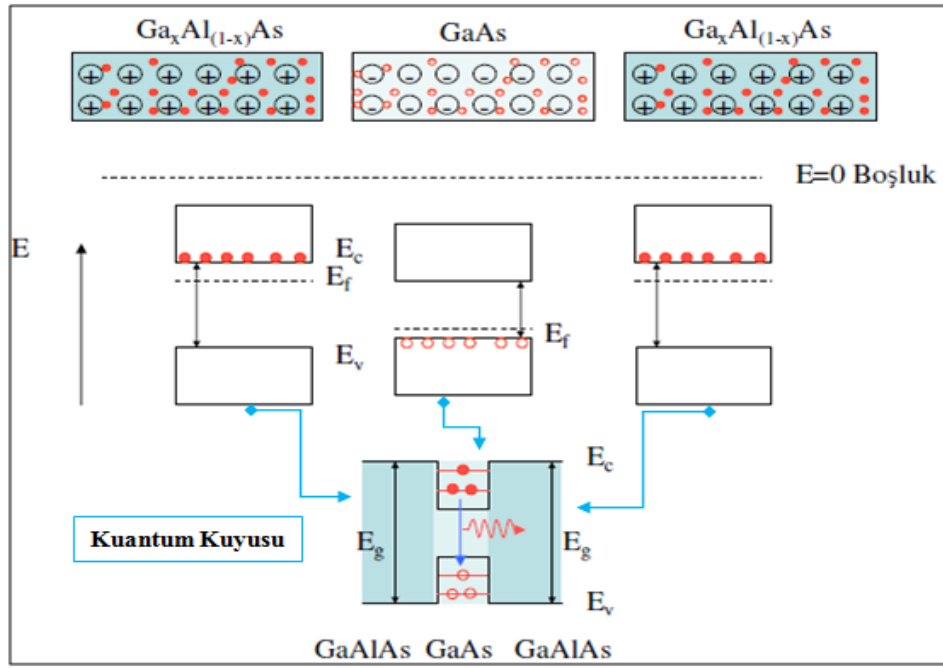


Şekil 2.2. Heterojunction eklem oluşturulması

Farklı yarıiletkenden yapılmış n-tipi ve p-tipi katkılanmış yarıiletken malzemeler düşünülürse, bunlar farklı olduğu için bant aralıkları da farklı olacaktır. Farklı eklemlerdeki yapılar AlGaAs , InGaAs ,InGaAsP , GaInNAs gibi yapılardan oluşursa bu durumda farklı yapı (heterostructure) formunda yapılar elde edilir. Böylece bu çalışmada kullanılan yarıiletken lazer yapısı ifade edilecektir. Buraya kadar verilen açıklamalar ışığında kuantum kuyularının mekanik yapılarına basit bir temel oluşturulmuştur.

2.2. Kuantum Kuyular

GaAs (ikili) yarıiletkenine Al ekleyerek GaAlAs (üçlü) yarıiletkeni oluşturulabilir. GaAlAs bant aralığı (E_g) içindeki Al atomlarının yüzdesine bağlı olarak GaAs bant aralığı olan $E_g=1,42$ eV ile AlAs bant aralığı olan $E_g=2,2$ eV arasındaki değerleri alabilir. Bu durum Şekil 2.3 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. İkili farklı yapılarla kuantum kuyu oluşturulması

Yarıiletken lazerlerin kuantum kuyusunun kalınlıkları on nanometreden daha da ince olabilmektedir. Tipik olarak üst üste konulan tabakalar değişik yapılardadır (örneğin; biri GaAs ise, diğeri GaAlAs dir). Bu katmanların yasak enerji bantları ayarlanarak, elektron ve deşikler için tuzaklar (hapis-sınır bölgeleri) oluşturulabilir.

Kuantum kuyulu lazerler geliştirilirken, üretim tekniğinde zor şartlar bulunmaktadır. MBE yöntemi bu ihtiyaçları karşılayabilmektedir. Bu yöntem yüksek vakum ($<10^{-10}$ mbar) altında gerçekleştirilen epitaksiyel (üst üste dizerek) büyütme yöntemidir. Genellikle III-V bileşik yarıiletken yapılar (GaAlAs, InAlAs vs) bu yöntemle büyütülmektedir.

Böylece buraya kadar kuantum kuyu yapılar hakkında genel bir bilgi verilmiş olup bu bölümün izleyen kısmında LaserMOD programının teorik alt yapısı tanıtılacaktır. Bu tanıtım sırasında çalışmanın amaçları doğrultusunda fazla ayrıntıya girilmeden simülasyonun teorik arka planı verilecektir.

2.3. LaserMOD Hesaplama Metotları ve Tanımlar

Bu bölümde LaserMOD programında kullanılan hesaplama metotları ve bu aygıtta kullanılan sabitler, formüller vb. program parametreleri genel bir şekilde verilecektir.

2.3.1. Optik

Lazer yapısı içinde ışık yayılması Maxwell Denklemleri çözümüyle yapılır. Özel oyuk yapıları için tam çözümlere göre yapılan hesaplama işlemlerini azaltan, bir takım yaklaşımlar yapılmıştır. Gelişen alan öz mod koşulları ve yavaşça değişen modal genlikler foton oran denklemiyle tanımlanır. Foton oran denklemi genel bir yaklaşımda iken, özel oyuk tipleri için mod çözümlerinin seçiminin önerilmesi en iyi performansı sağlar.

2.3.2. Optik Modlar ve Foton Oran Denklemi

Kenar ışıklı lazerler için optik simülasyonlar enine ve boyuna problemler olarak 2 parçaya ayrılır. İlk N adet (kullanıcı tarafından özelleştirilen) enine modlar, büyük öz değerlerin eşzamanlı iterasyon veya BPM (Demet Yayılma Metodu) yoluyla çözülen, skaler Helmholtz denkleminin çözümüdür. Bu sonuçlar her enine modun 2D (veya 1D {Boyut}) serbest alan dağılımını verir. Bu alanların süperpozisyonu daha sonra yakın alan durumlarının belirlenmesinde kullanılır. Kazanç piki etrafında merkezlenen Boyuna modların tek numarası, oyuk uzunluğuyla, etkin indisle ve dalga uzunluğuyla belirlenen basit Fabry-Perot modlarıdır. Enine ve boyuna modların numaralarının tümü üretileceği zaman tüm modların toplam numarası simülasyonda dikkate alınır. Bu bölümde kullanılan Semboller ve bunların tanımlarının bir listesi Çizelge 2.1 de verilmiştir. Bu liste denklem sırası gözetilerek hazırlanmıştır. Ayrıca gerektiğinde bazı semboller denklem altlarında özel açıklamalar getirilerek tekrar ifade edilmişlerdir. Burada görülmeyen bazı sembol ve sabitler LaserMOD programı tarafından kullanılan sabit ve değişken katsayılar olup yeri geldikçe verilmiştir.

Çizelge 2.1. Semboller Listesi (denklem sıralı olarak)

Sembol	Tanımı
k_o	Helmholtz eşitliği için dalga numarası
$n_{eff,m}$	Etkin kırılma indisi
$\bar{n}$	Ortalama kırılma indisi
E_m	Helmholtz eşitliği için yayılma alanları (elektrik)
ϵ	Ortamın kısmi geçirgenliği
T	Ortam sıcaklığı (K olarak)
$S_{m, \omega}$	Foton oran yoğunluğu (mod içindeki)
$R_{m, \omega}$	Kendiliğinden ışıma (mod içindeki)
$G_{m, \omega}$	Kazanc spektrumu
$g(\omega)$	Malzeme kazancı
$u(\omega)$	Kendiliğinden ışıma spektrumu
$T_{mirror}, T_{scatter}$	Ayna ve saçılma kayıpları (sırasıyla)
α_o, α_b	Arka plan ve bariyer emilim kaybı (sırasıyla)
$k_{e/h}^{fca}$	Serbest taşıyıcı soğrulma katsayıları (elektron ve deşikler için)
$P_{n,m}$	momentum matris elemanı
T_{ref}	Referans sıcaklığı
E_g	Yasak enerji aralığı
$m_{e/h}$	Elektron veya deşik kütlesi
a, a_{ref}	Örgü ve referans örgü sabitleri
$\delta E_{shear}, \delta E_{hydro}$	Zorlanmamış ve hidrostatik enerji kaymaları
δ	Zorlanma katsayısı
$L_{i,j}$	Lorentzian kısaltması
$f_{e/h}$	Dağılım fonksiyonu (elektron ve deşikler için)
n_e, n_h	Yoğunluk (elektronların ve deşiklerin kansantrasyonu)
N_D^+, N_A^-	Yoğunluk (iyonize vericilerin ve alıcıların)
q	Elementer yük
Φ	Elektrik potansiyeli
$F_{e/h}$	Elektronlar ve deşikler için Fermi enerjisi
$E_{C/V}$	iletim ve değerlik bant kenarları
$\lambda_{thermal}$	Isısal dalga boyu
$N_{C/V}^{eff}$	Arayüz kenarında etkin iletim ve değerlik bant yoğunlukları
$J_{e/h}$	Elektron ve deşik akımı
$S_{e/h}^{capture/escape}$	Saçılma katsayıları (yakalama ve kaçış)
ω_{LO}	Boyuna optik fonon frekansı
R^{Auger}	Yeniden birleşme oranı
n_i	İç taşıyıcı yoğunluğu
$C^{Auger}_{e/h}$	Elektronlar ve deşikler için yeniden birleşme katsayısı
k_B	Boltzman sabiti
τ_n^{SRH}	Elektronlar için Shockley-Read-Hall yaşam süresi
$R^{interface-SRH}$	Ara yüz yeniden birleşme oranı

Çizelge 2.1. devamı

Sembol	Tanımı
μ	Hareketlilik (Mobilite)
$D_{e/h}$	Elektronların ve deşiklerin yayılma gücü
$P_{e/h}$	Elektronların ve deşiklerin termoelektrik gücü
$F_{1/2}$	Fermi integrali
$\mu_{e/h}^{HF}$	Yüksek alan mobilitesi
N_{dop}	Toplam katkı konsantrasyonu
$V_{sat,e/h}$	Elektronlar ve deşikler için doyumluk hızı
$\beta_{e/h}$	Üssel artış katsayısı
$E_{HF,e/h}$	Yüksel alan değeri (elektronlar ve deşikler)
$m_{e/h}^*$	Etkin kütle (elektron veya deşik)
C_L	Kristal örgü ısı kapasitesi
K_L	Isısal iletkenlik
$\dot{S}_{e/h}$	Elektron ve deşik enerji akışı
$K_{e/h}$	Elektron ve deşik gazının ısısal iletkenliği

Eşzamanlı iterasyon aracılığıyla skaler Helmholtz denkleminin çözümünden gelen optik modlar Denklem 2.1 ile belirlenir[131]:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + k_0^2 (\varepsilon(x, y) - n_{eff,m}^2) \right) E_m(x, y, z) = 0 \quad (2.1)$$

$$E_m(x, y, z) = E_m(x, y) \exp(ik_0 n_{eff,m} z) \quad (2.2)$$

Burada, ε ortamın kısmi geçirgenliği olmakla birlikte ile n^2 değerine eşit bir sabit olarak tanımlanmıştır. Denklem 2.1 ve 2.2 ayrıca BPM yoluyla eksenel dalga eşitliğinden gelen optik modla belirlenir [131]:

$$\frac{i}{2k_0 \bar{n}} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + k_0^2 (\varepsilon(x, y) - \bar{n}^2) \right) u(x, y, z) = \frac{\partial u(x, y, z)}{\partial z} \quad (2.3)$$

$$E(x, y, z) = u(x, y, z) \exp(ik_0 \bar{n} z) \quad (2.4)$$

Denklem 2.3 ve 2.4 de ortalama kırılma indisi $\bar{n}$ ile verilir. Öz değerler etkin indisle ($n_{eff,m}$) verilir. Enine modlar sıralı olarak yayılan alanlardan $\mathbf{E}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$, BPM içinde, sanal uzaklık BPM olarak bilinen teknik aracılığıyla çıkarılır. Bu alan oyuk hacmi içinde normalize edilir [118].

Kullanıcı özelleştirilen frekansı sabit tutarsa, $k_0 = \omega_0/c$ ile birlikte (ω_0 frekansı temel sembol tablo parametresi olan **mode_solve_freq** program değişkeni aracılığıyla **eV** birimlerinde) modlanarak çözülür ve özelleştirilir. Bu yolla, frekans kuantum kuyu yasak enerji bandına benzeyecek şekilde seçilir. Kırılma indisi ($\epsilon=n^2$) malzeme parametresi ile sembol tablosunda veya malzeme dosyasında özelleştirilen **kpmat_DIELOPT** program değişkeni ile ilişkilendirilir.

Kırılma indisinin ısısal bağımlılığı, malzeme katsayısıyla verilen doğrusal değişim ile modellenir[131]:

$$\epsilon(T) = \left(\sqrt{\epsilon(300K)} + \frac{dn_r}{dT}(T - 300K) \right)^2 \quad (2.5)$$

Katsayı **dn/dT** malzeme parametresi olan **kpmat_dnr_dT** ile ayarlanır. Eğer taşıyıcı bağımlı kırılma indisi değişkenleri lazer simülasyonu diyalogunda uygun işaret kutusundan seçilirse, taşıyıcı yoluyla indis değişimi için kuantum kırılma indisi hesaplamaları kazanç spektrumunun Kramers-Kronig değişimi yapılmasıyla başlar. Mod profili, tek seferde simülasyon başlangıcında kullanıcı tarafından belirlenen simülasyon diyalog kutusundan “Recalculate Mode” tercihi ile çözülür. Taşıyıcı bağımlı kırılma indisi modeli simülasyon diyalogunda seçilen “Carrier Dep. Index” tercihi ile istenir, mod profili her Bias (başlangıç değeri) noktasında güncellenir.

Simülasyon dışındaki yayılma indisi **index_bc_right**, **index_bc_left**, **index_bc_top** ve **index_bc_bottom** temel program parametreleri ile ayarlanır.

Optik alan yayılması ve elektro-termal taşıyıcı her oyuk modu içindeki yoğunluk için oran denklemi ile sağlanır [131]:

$$\frac{\partial S_{m,\omega}}{\partial t} = \left(G_{m,\omega} - \frac{1}{\tau_{m,\omega}} \right) S_{m,\omega} + R_{m,\omega}^{spon} \quad (2.6)$$

Mod (m,ω) içindeki kendiliğinden ışımaya Denklem 2.7 de verilmiştir [131] :

$$R_{m,\omega}^{spon} = \int dV |E_m|^2 u(\omega) \quad (2.7)$$

Mod kazancı ise Denklem 2.8 de verilmiştir[131]:

$$G_{m,\omega} = \int dV |E_m|^2 \frac{c}{n_{eff,m}} g(\omega) \quad (2.8)$$

Burada g malzeme kazancı, u kendiliğinden ışıma spektrumudur.

Foton oran denklemi giriş kaybı, tüm yüzeyler ile oyuk arasındaki ışık kayıplarıyla, soğrulma kayıpları ve oyuk dışındaki saçılan ışıkların katkılarının toplamıdır. Bu katkılar Denklem 2.9 da verilmiştir[131]:

$$\frac{1}{\tau_{m,\omega}} = \frac{1}{\tau_{mirror}} + \frac{1}{\tau_{scatter}} + \frac{c}{n_{eff,m}} \alpha_b \quad (2.9)$$

“Global Settings Diyalog” kutusundan saçılma kaybı ayarlanır. Soğurma kaybı, değerlik bantı içindeki soğrulma gibi serbest taşıyıcı soğurma mekanizmalarını içerir. $k_{e/h}^{fca}$ katsayısıyla, serbest taşıyıcı soğrulması, özgün taşıyıcı yoğunluğunun doğrusal fonksiyonu gibi modellenir[131]:

$$\alpha_b = \int dV |E_m|^2 (k_e^{fca} n_e + k_h^{fca} n_h + \alpha_0) \quad (2.10)$$

Serbest taşıyıcı soğrulma katsayıları elektronlar ve deşikler için sırasıyla malzeme parametreleri **fca_elcoef** ve **fca_hlcoef** ile ayarlanır [118] .

Serbest taşıyıcı soğrulma katsayıları elektronlar ve deşikler için sırasıyla **fcn_elcoef** ve **fcn_hlcoef** program parametreleri ile ek indis pertürbasyonunda yer alır. Ve deşik konsantrasyonu değeri **fcn_hlexp** ile verilir[118].

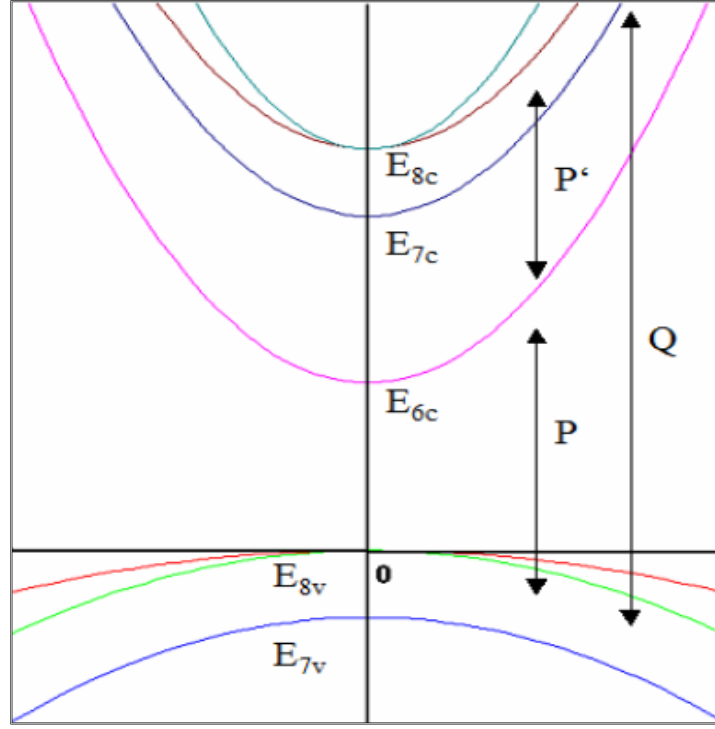
Yarıiletken lazerlerdeki kuantum kuyu bariyerleri, kaplamalar ve diğer aktif olmayan bölgeler, aktif tabaka malzemesinin etkin bant aralığı tarafından verilen ışıma dalga boyunda açık bir şekilde dizayn edilir. Fakat, bu gibi tabakalardaki bantlar arası soğrulma gözden kaçabilir, bu durum mevcut yarıiletkenlerde fononlar yoluyla yapılan transferlerden dolayı bant kenar soğrulması veya uyuşmazlığına sebep olan lokalize bölgelerden dolayı arka planda soğrulmalara yol açar. Bu taşıyıcı yoğunluğundan bağımsız soğrulma kayıpları α_0 ile hesaplanır. Sabit arka plan soğurması α_0 ise **bg_absorption** malzeme parametresiyle belirlenir.

2.3.3. Bant Yapısı

Yarıiletken Kuantum Kuyuları için, bant yapısı bölgelerdeki yoğunluk hakkında bilgi almak için KP (Kronig – Penney) modeliyle hesaplanır. Optik geçişlerin enerjisi ve dayanıklılığıyla birlikte kullanılır. Kuantum kuyuları bant hesaplamaları , MQW (Multi Quantum Well) çoklu kuyulardaki gibi kare hesaplamasıyla belirlenir. Varsayılan model eksenel yaklaşımla birlikte 8x8 bant KP hesaplamasıdır. Bant aralığının tekrar normalize olması Hartree potansiyeli ve yaklaşım hesaplaması Poisson denkleminin yarı-kararlı çözümü ile belirlenir. Kuyularda verilen taşıyıcı yoğunluğundan dolayı bölgesel yoğunluk tipinin yaklaşımının kullanılması değişim potansiyellerinin hesaplanması ile elde edilir. Kuantum kuyu taşıyıcılarının bant yapısı hesaplaması hacim malzemeleri parametreleri üzerinde Referans [119,120,121] de detaylı anlatılmış olup gibi KP metodunun kullanılması prensibine dayanır. Kuantum kuyu yapıları için etkin kütle denklemi türetilmesi, kuyu malzemesinin pertürbasyonu olarak bariyere göre zarf dalga fonksiyonları için öz değer probleminin tanımlanmasıyla sağlanır [119,120]:

$$\sum_n \left(\delta_{n,N} \left(E_n(y) + \frac{\hbar^2 k_{\parallel}^2}{2m} - \frac{\hbar^2 \partial_y^2}{2m} \right) + P_{N,n}(y) \left(\bar{k}_{\parallel} + \bar{e}_y \frac{\partial_y}{i} \right) + R_{N,n}(y) \right) \psi_n(y) = E \psi_N(y) \quad (2.11)$$

Matrisin köşegenlerinde , Kuantum kuyu malzemesinin hacim bantlarının parabolik enerji dağılımı bulunur. Hapis potansiyelinden dolayı, diğer bantların birleşmesi, momentum matris elemanı $P_{n,m}$ ile verilir. Köşegenlerde baskın olarak enerji bantlarında, yeniden normalize olmuş $R_{n,m}$ durumları söz konusudur [119,120]. 8x8 bant KP metodunda, bir iletim ve üç değerlik bantının spin dejenerasyonunu içerdiği düşünülür. Şekil 2.4 AlGaAs malzeme için hacim bant yapılarının şematik durumunu gösterir[131]. Orijin noktasındaki farklı enerji bantları arasındaki bant aralıkları, en düşük iletkenlik bantı ve en yüksek değerlik bantları arasında ana bant aralığı için **kpmat_G6C_G8V** malzeme parametresi ile özelleştirilir. **kpmat_G7C_G8V** malzeme parametresi diğer yüksek iletkenlik bantı **E7C** ve en yüksek değerlik bantı arasındadır. **kpmat_G8C_G8V** malzeme parametresi iletkenlik bantı **E8C** ve en yüksek değerlik bantı arasındadır ve **kpmat_G8V_G7V** malzeme parametresi ise değerlik bantları **E8V** ve **E7V** arasındadır.



Şekil 2.4. AlGaAs Yarıiletken Yapı için Bant Yapılarının Şeması

Referans ısısı T_{ref} ; $T_{ref} = 300 \text{ K}$ ne nazaran bant aralığının değişmesi şu şekilde tanımlanır [119,120,121] :

$$E_g(T) = E_g(T_{ref}) + A \frac{T^2}{T+B} - A \frac{T_{ref}^2}{T_{ref}+B} \quad (2.12)$$

Doğrusal ve kuadratik davranışından dolayı katsayıların (A ve B), ilgili bant aralığı **kpmat_G6C_G8V** tarafından verilen bant aralığı için **kpmat_G6C_G8V_A** ve **kpmat_G6C_G8V_B** program parametreleri ile ilişkilendirilir.

Bant aralıklarının yanında, Kuantum kuyu ve bariyer malzemesinin iletim ve değerlik bantları arasındaki bant ofset değerleri,optik ve taşıyıcı özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. **DEv_DEg_REF** program parametresi ile değerlik bantı kopukluğu referans malzemesine göre özelleştirilir, referans bant aralığı **Eg_REF** program parametresi ve referans deşik yakınlıkları **HLAFF_REF** program parametresi ile yapılır. Deşik yakınlıkları ;

HLAFF_DISCONT = HLAFF_REF + DEv_DEg_REF*(Eg-Eg_REF) program parametresi ile malzeme bilgilerinde tanımlandığı gibi verilir. **Eg** doğrudan ve dolaylı bant aralıklarının en düşük olduğu değerdir. Malzeme bilgilerinden;

kpmat_HLAFF=HLAFF_INTERP program parametresi deşik yakınlıklarının arasında olan değeri tanımlar. Bant ofsetler, deşik yakınlıklarından, Kuantum kuyu ve bariyer malzemesindeki farklılıklardan kaynaklanır. Bant aralığının parametrelerinin yanında, hacim bant yapısı Luttinger parametreleri tarafından tanımlanır. Bunlar **kpmat_GAMMA1**, **kpmat_GAMMA2** ve **kpmat_GAMMA3** program parametreleri ile sağlanır. Ayrıca, hacim elektron kütlesi **kpmat_MG6C** program parametresi ile belirtilir.

Bunun ısısal bağımlılığı şu şekilde tanımlanır [131]:

$$m_{G6C}(T) = m_{G6C}(T_{ref}) + C(T^3 - T_{ref}^3) + Q(T^2 - T_{ref}^2) + L(T - T_{ref}) \quad (2.13)$$

kpmat_MG6C_T, **kpmat_MG6C_Q** ve **kpmat_MG6C_L** program parametreleri ile doğrusal, kuadratik ve kübik katsayının ayarlanması yapılır. Ağır deşik kütlesi **kpmat_MHH**, hafif deşik kütlesi **kpmat_MLH** program parametreleri ile ayarlanır. Zorlanma, enerji bantlarının yeniden normalize olmasına yol açar. Zorlanmış kristalin örgü sabitlerinin fonksiyonu olarak, itici kuvvetlerden ve hidrostatik zorlanmadan dolayı oluşan a_{ref} katsayısı ile, zorlanmayan malzemenin enerji kayması şu şekilde verilir [131] :

$$\delta E_{shear} = b \left(1 + 2 \frac{c_{12}}{c_{11}} \right) \frac{a - a_{ref}}{a_{ref}} \quad (2.14)$$

ve hidrostatik zorlanma :

$$\delta E_{hydro} = 2a_{cv} \left(1 - \frac{c_{12}}{c_{11}} \right) \frac{a - a_{ref}}{a_{ref}} \quad (2.15)$$

ile verilirken, doğrusal bir sıcaklık bağımlılığı :

$$a(T) = a(T_{ref}) + d_a (T - T_{ref}) \quad (2.16)$$

ile verilir . Burada **kpmat_LATT_DT** program parametresi genişleme katsayısını tanımlar. Etkin kütle denkleminde kapalı köşe elemanları momentum matris elemanları P, P' ve Q ile tanımlanır. Etkin kütle denkleminde köşegen elemanları bant yapılarının tekrar normalize olmasını sağlar.

Momentum matris elemanları deneysel elde edilebilen niceliklerden hesaplanır, Lande faktörleri ve etkin kütleler [131] :

$$\frac{m_0}{m_{G6C}} - 1 = \frac{2m_0}{3\hbar^2} \left(\frac{2P_2^2}{E_{6c} - E_{8v}} + \frac{P_1^2}{E_{6c} - E_{7v}} - \frac{2P_2'^2}{E_{8c} - E_{6c}} - \frac{P_1'^2}{E_{7c} - E_{6c}} + 6A' \right) \quad (2.17)$$

$$\frac{g_{G6C}}{g_0} - 1 = -\frac{2m_0}{3\hbar^2} \left(\frac{P_2^2}{E_{6c} - E_{8v}} - \frac{P_1^2}{E_{6c} - E_{7v}} - \frac{P_2'^2}{E_{8c} - E_{6c}} + \frac{P_1'^2}{E_{7c} - E_{6c}} \right) + C' \quad (2.18)$$

İle verilirler. Burada m_0 ve g_0 sırasıyla serbest elektron kütlesi ve Lande faktörüdür. m_{G6C} Denklemde 2.13 de gösterildiği gibi orijin noktasının kütlesidir. g_{G6C} ; **kpmat_LANDE** malzeme parametresinde verilen Lande faktörüyle ilişkilidir. A' ve C' katsayıları **kpmat_CPRIME** ve **kpmat_APRIME** program parametrelerini tanımlar. Buna ek olarak moment matris elemanları P ve P' şu şekilde verilir [131]:

$$\begin{aligned} P_1 &= P + \frac{2}{3} \frac{\delta^-}{E_{7c} - E_{7v}} P', & P_1' &= P' - \frac{2}{3} \frac{\delta^-}{E_{7c} - E_{7v}} P \\ P_2 &= P - \frac{2}{3} \frac{\delta^-}{E_{8c} - E_{8v}} P', & P_2' &= P' + \frac{2}{3} \frac{\delta^-}{E_{8c} - E_{8v}} P \end{aligned} \quad (2.19)$$

δ zorlanma katsayısı **kpmat_DELTAMINUS** program parametresi ile ayarlanır. En yüksek iletim bantları ve değerlik bantları aralığı (**Q**) arasında kalan çiftlenme **kpmat_QQ** program parametresi ile doğrudan olarak giriş sağlar. KP hesaplamasının uygulamada, y -yönünde Fourier genişlemesi etkin kütle denkleminin Hermitian formunda çözülür, bu çift farklı yapının büyüme yönüdür. Genişletmede kullanılan düzlem dalgalarının sayısı, Kuantum kuyu bölgesinin fiziksel veri tablosunda belirtilen, **kpbant_fourier_comps** (programda öngörülen değeri 8 alınarak) program parametresiyle hesaplanır. Sonuçta bulunan öz değer problemi bir düzlem momentum vektörü k , **kploop_wavevec_max** en yüksek tam değeri tanımlar, ve **kploop_wavevec_num** değerleri kuantum kuyu derinliğinin ayarlanmasında kullanılır.

2.3.4. Kazanç

Kazanç, Kuantum kuyu bölgeleriyle hapislenmiştir. Serbest taşıyıcı kazanç modeli çalışma süresinde hesaplanmış, tablo aralığı kazanç bilgilerinin geçişine ve yerleşmesine izin verir. LaserMOD veri tabanı, taşıyıcı yoğunluğu ve sıcaklık aralığı için kazanç ve kendiliğinden ışımanın gerçek ve sanal parçalarını içerir.

2.3.5. Serbest Taşıyıcı Kazanç Modeli

Yarıiletken diğer parçacıklarla birlikte taşıyıcıların etkileşiminin ihmal edilmesi ile kazanç g ve kendiliğinden ışıma u şu şekilde verilir [131] :

$$u(\omega) = \sum_{i,j} \int dE \langle \psi_{e,i} | \psi_{h,j} \rangle (Bg_{red})_{i,j} f_{e,i}^{2D}(E) f_{h,j}^{2D}(E) L_{i,j}(\hbar\omega - E) \quad (2.20)$$

$$g(\omega) = \sum_{i,j} \int dE \langle \psi_{e,j} | \psi_{h,j} \rangle (B_{21}g_{red})_{i,j} (f_{e,i}^{2D}(E) + f_{h,j}^{2D}(E) - 1) L_{i,j}(\hbar\omega - E) \quad (2.21)$$

Çakışma genişlemesi Lorentzian kısaltması ile modellenir :

$$L_{i,j}(E) = \frac{\Delta E / 2}{(\hbar\omega_{i,j} - E)^2 + (\Delta E / 2)^2} \Theta(E - E_g) \quad (2.22)$$

Çizgi kalınlığının genişlemesi **regmat_krelaxener** program parametresiyle belirlenir.

2.3.6. Çok Parçacık Kazanç Modeli

Kazanç veritabanı ile yarıiletken lazer simülatörü olan LazerMOD kazanca, kırılma indisine ve yarıiletken Kuantum Kuyuları için fotoluminesans spektraya izin verir. Bunlar **Nonlinear Control Strategies** [128] ile hesaplanır. Çok parçacık kazanç modeli “Table Gain Model” lazer simülasyon diyalogundan ilişkili kutudan kontrol edilerek seçilir. Kütüphanenin ismi **table_gain_material** sembolünde girilmelidir. Örnek bir kütüphane ismi **InGaAs980nm** dir. Böylece diğer kazanç verilerinin kullanılması sağlanır [129,124,130].

2.3.7. Taşıyıcı Transferi

Taşıyıcı transferinin metodolojisi silikon malzeme simülasyonu için çeşitli boyutlarda geliştirilmiştir. LazerMOD ile malzeme sistemleri Yarıiletken lazerlere uyumlu olarak sağlanmıştır. Aktif Kuantum Kuyusu bölgesinin içindeki enjeksiyon akımı Kuantum kuyu bölgelerinin içinde taşıyıcı yoğunluğunu belirler.

2.3.8. Poisson's Denklemi ve Yükler

Elektrik potansiyeli Poisson Denklemiyle 2.23 ile belirlenir[131]:

$$\nabla \epsilon \nabla \phi = q(n_e + n_h - N_D^+ + N_A^-) \quad (2.23)$$

Yoğunluklar ise sırasıyla elektronların n_e , deşiklerin n_h , iyonize vericilerin N_D^+ ve alıcıların N_A^- ile verilir. Burada q elemanter yük ve ϵ Statik dielektrik elektriksel geçirgenlik olup **kpmat_DIELSTAT** program parametresi ile ayarlanır.

2.3.9. Tamamlanmamış İyonizasyon

Vericiler ve alıcılar “Grafik Ara Yüzü” nün diyalog kutularında yer almıştır. Tamamlanmamış iyonizasyon **run_incomplete_ionization** program parametresi ile temel sembol tablosunda “1” olarak ayarlanmasından sonra aktive edilir, iyonize gürültüler [131]:

$$N_D^+ = \frac{N_D}{1 + g_D \exp\left(\frac{F_e - E_D}{k_B T}\right)} \quad (2.24)$$

$$N_A^- = \frac{N_A}{1 + g_A \exp\left(\frac{E_A - F_h}{k_B T}\right)} \quad (2.25)$$

İle verilirler. Katkı mertebesi faktörleri tipik olarak $g_D=2$ ve $g_A=4$ dir. Aktivasyon enerjisi vericiler için E_D ve alıcılar için E_A malzeme parametreleri ile belirlenir. Bu **ion_acceptoractiv** ve **ion_donoractiv** program parametreleri ile ayarlanır. $F_{e/h}$ elektronlar ve deşikler için Fermi enerjisidir.

2.3.10. Taşıyıcı Dağılımı ve Dalga Fonksiyonları

Kuantum Kuyularında, hapis potansiyeli lokalize hapis bölgelerine yol açar, yayılma bölgelerinde var olan enerji bariyeri bant kenarından daha yüksektir. LazerMOD hapis bölgeleri ve yayılma bölgeleri arasında ayrım yapar Zarf fonksiyon yaklaşımı içinde, Kuantum Kuyusunun hapis doğrultusu içinde taşıyıcıların uzaysal dağılımı, ψ_J dalga fonksiyonlarıyla[131] :

$$n_{2D}(y) = \sum_j |\psi_j(y)|^2 \int_{E_m}^{\infty} g_{2D,j}(E) f(E) dE \quad (2.26)$$

verilir ki; bu da 1 boyutta Schroedinger denkleminin çözümüyle elde edilir[131]:

$$-\left(\frac{\hbar^2}{2m_{e/h}} \frac{d^2}{dy^2} - V_{e/h}(y) \right) \psi_j(y) = E_j \psi_j(y) \quad (2.27)$$

Burada büyüme yönü y- eksenine göre alınır. Hapis taşıyıcı yoğunluğu Fermi dağılım fonksiyonu ve $g_{2D,j}$ bölge yoğunluğu verilen iş olasılığının üzerinden ilişkilendirilmesiyle belirlenir. $m_{e/h}$ sırasıyla elektronlar ve deşiklerin kütleleridir. Hacim kütleleri malzeme parametreleriyken, hapis Kuantum kuyu elektronları ve deşiklerinin kütleleri bant yapısından belirlenir. Elektronlar ve deşikler için $V_{e/h}$; hapis potansiyeli iletim ve değerlik bantlarının ofsetlerinden dolayı elektriksel potansiyel katkı sağlar. Schroedinger denkleminin çözülmesi, alt bant enerjilerinin E_j (j alt bantı için) ve ayrı ayrı dalga boylarının belirlenmesiyle elde edilir. Aktif bölge etrafında enerji bandı eşik değeri üzerindedir. Lazer simülasyon diyalog kutusundan “Self Consistent” (kendi tutarlılık) kısmı seçilir. Her Newton iterasyonu için kendi tutarlılık modunda dalga fonksiyonları yeniden hesaplanır. Ardından temel sembol tablosundaki **per_Bias_schroedinger** Boolean program parametresi için “1” seçilir. Eğer kendi tutarlılık hesaplaması istenirse, kuyu ve bariyer malzemeleri arasında bant aralığının devam etmemesinden dolayı hapislenmeye ek olarak elektrik potansiyeli **sim_lhartree=1** ile hesaplanması tavsiye edilir. Kuantum Kuyuları etrafındaki bölgelerde eşik değeri düzgün enerji bantları içerirse, **sim_lhartree = 0** olarak ayarlanır.

Kuantum Kuyularında, toplam taşıyıcı konsantrasyonları, hapis bölgeleri ve yayılımın devam eden durumlarının toplamını verir ki; $n_{e/h} = n_{e/h}^{2D} + n_{e/h}^{3D}$ ile bilinir. Taşıyıcı yoğunlukları Fermi seviyeleriyle ilişkilidir[131]:

$$n_{e/h}^{3D} = 2 \left(\frac{m_{e/h} k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} F_{1/2} \left(\frac{\pm F_{e/h} \mp E_{C/V}}{k_B T} \right) = N_{C/V}^{eff} F_{1/2} \left(\frac{\pm F_{e/h} \mp E_{C/V}}{k_B T} \right) \quad (2.28)$$

$F_{1/2}$ Fermi integrali, $F_{e/h}$ elektronlar ve deşiklerin Fermi enerjileri, $E_{C/V}$ iletim ve değerlik bant kenarlarıdır.

2.3.11. Haensch Kuantum Doğrulama

Bir çift farklı ara yüz yapıda güçlü bant eğilmesi meydana gelebilir, bu durum elektronlar ve deşikler için potansiyel hapislenmesine yol açar. Klasik bakışta bu durum yoğunluklarında şiddetli piklere neden olur. Kuantum mekanik doğrulamanın klasik yöntemle uygulanması için, ara yüz kenarındaki iletim ve değerlik yoğunlukları açıklanır[131]:

$$N_{C/V}^{eff} = N_{C/V}^{eff} \left(1 - \exp(-(d - d_0)^2 / \lambda_{thermal}^2) \right) \quad (2.29)$$

Burada d ara yüzdeki mesafeyi tanımlar. $\lambda_{thermal} = \sqrt{2\pi\hbar^2 / mk_B T}$ ise termal dalga boyudur. d_0 etkin tünelleme uzunluğudur ve dalga fonksiyonlarının bariyer nüfuzuyla karakterizedir. Bu durum **haensch_tunnel_length** program parametresiyle ayarlanır. Bu model Haensch ve arkadaşları tarafından önerilmiştir[122].

2.3.12. Taşıyıcı Süreklilik Denklemi

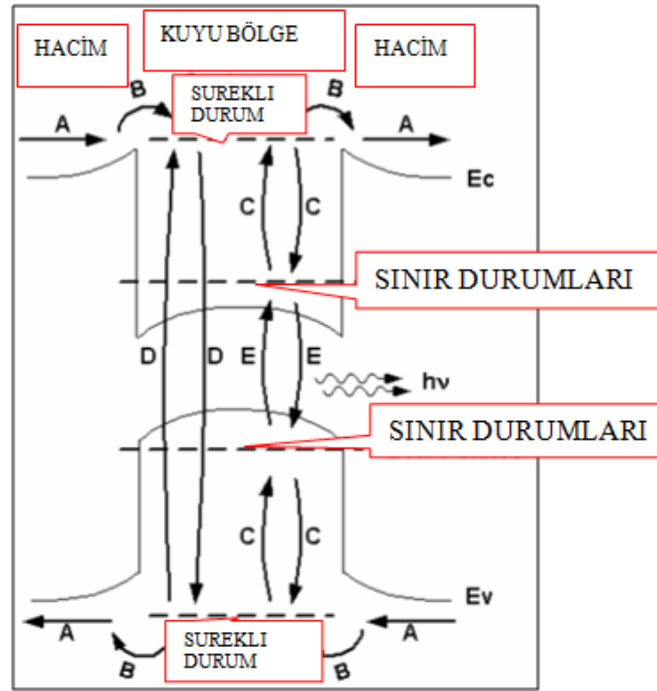
Taşıyıcı konsantrasyonları süreklilik denklemlerine uyar. Kuantum Kuyularında, ayrılmış süreklilik denklemleri sınırlı ve süreklilik durumları için çözülür. Bu durum taşıyıcıların tamamlanmayan yakalaması olarak tanımlanır. Şekil 2.5 de taşıyıcı modeli gösterilmiştir. Taşıyıcı-taşıyıcı ve taşıyıcı-fonon saçılması çiftlenmesinden dolayı klasik yayılma hacmi ve Kuantum kuyu sürekli durumları Kuantum hapis durumlarındadır.

Alt bantlar arasında yeterli şekilde hızlı bantlar arası saçılma, ısımaya yol açar ve bunun bireysel bantlar arası bölgede meydana gelmesi Fermi seviyesi olarak tanımlanır. Tanımlanan dört düzey ile denklemlerin oran azalması sağlanır[131] :

$$q \frac{\partial n_{e/h}^{2D}}{\partial t} = \pm \nabla J_{e/h,||} - qR^{dark} - qR^{stim} - qR^{spon,bound} + qR_{e/h}^{capture} \quad (2.30)$$

$$q \frac{\partial n_{e/h}^{3D}}{\partial t} = \pm \nabla J_{e/h} - qR^{dark} - qR^{spon,bulk} - qR_{e/h}^{capture} \quad (2.31)$$

Burada $R_{e/h}^{capture}$ elektronların ve deşiklerin yakalanmasıdır. R^{dark} ışınımsal olmayan tekrar birleşme oranı, $R^{spon, bound}$ ve $R^{spon, bulk}$ hacim ve hapis taşıyıcılar için kendiliğinden tekrar birleşme oranlarıdır, R^{stim} uyarılmış tekrar birleşme oranıdır. $J_{e/h}$ ve $J_{e/h}$ sabitlerdir. Hapis durumları sadece kuantum kuyu düzleminde taşıyıcı akışıyla ilişkilidir, büyüme yönünde taşıyıcı dağılımından dolayı hapis potansiyeli içinde dalga fonksiyonlarının belirlenmesini sağlar.



Şekil 2.5. Taşıyıcı Modeli [123]

2.3.13. Kuantum Kuyu Taşıyıcı Yakalama

Sınır durumundan kaçan ve yakalanan durumlar Maser denklemiyle tanımlanır. Yakalama oranı $R_{e/h}^{capture} = R_{e/h}^{capture, cc} + R_{e/h}^{capture, ph}$ taşıyıcı-taşıyıcı ve taşıyıcı-fonon saçılmasının dağılımının toplamıdır[131]:

$$R_{e/h}^{capture, cc} = \int dE \int dE' g_{e/h}^{3D}(E) g_{e/h}^{2D}(E') \times \\ \times \left(s_{e/h}^{capture, cc}(E, E') f_{e/h}^{3D}(E) (1 - f_{e/h}^{2D}(E')) - s_{e/h}^{escape, cc}(E, E') (1 - f_{e/h}^{3D}(E)) f_{e/h}^{2D}(E') \right) \quad (2.32)$$

$$R_{e/h}^{capture, ph} = \int dE \int dE' g_{e/h}^{3D}(E) g_{e/h}^{2D}(E') \times \\ \times \left(s_{e/h}^{capture, ph}(E, E') (n_{ph} + 1) f_{e/h}^{3D}(E) (1 - f_{e/h}^{2D}(E')) - s_{e/h}^{escape, ph}(E, E') n_{ph} (1 - f_{e/h}^{3D}(E)) f_{e/h}^{2D}(E') \right) \quad (2.33)$$

Genel olarak, saçılma katsayıları $S_{e/h}^{capture/escape,cc/ph}$ Boltzmann denklemlerinin yerine saçılma işleminin Kuantum kinetik yönteminden kaynaklanır [124]. Saçılma katsayılarının son durum yoğunluğu, sabit oranlar normalize edilerek verilir. Oranlar ters olarak **regmat_elelcapture** ve **regmat_elphcapture** program parametreleriyle orantılıdır. Deşik yakalama saçılma zamanlarının belirlenmesi ise **regmat_hlhlcapture** ve **regmat_hlphcapture** program parametresiyle belirlenir. Boyuna optik fononların (LO) ışıması ve fonon saçılmasının yakalanmasından dolayı sürekli durumlar enerjik olarak rezonans olmayan hapis durumlarıyla birlikte etkileşime uğrar. Fonon tutma numarası [131]:

$$n_{ph} = \left(\exp\left(\frac{\hbar\omega_{LO}}{k_B T_{latt}}\right) - 1 \right)^{-1} \quad (2.34)$$

ile verilir ; ω_{LO} boyuna optik fonon frekansını verir bu **regmat_hnuloph** program parametresiyle belirtilir.

2.3.14. Auger (Yeniden Birleşim)

Işınımsal olmayan yeniden birleşim R^{dark} hem hacimde hem de Kuantum kuyu bölgelerinde meydana gelir. Auger işleminde ilgili enerji elektron ve deşiklerle transfer olurken elektron ve deşikler yeniden birleşir.

Bu Denklem 2.35 ile verilir [131]:

$$R^{Auger} = (C_e^{Auger} n_e + C_h^{Auger} n_h) (n_e n_h - n_i^2) \quad (2.35)$$

burada n_i iç taşıyıcı yoğunluğudur. Auger katsayıları ısıya bağımlı olarak aşağıdaki gibidir :

$$C_{e/h}^{Auger}(T) = C_{e/h}^{Auger}(300K) \exp\left(-E_{e/h}^{Auger,act} \left(\frac{1}{k_B T} - \frac{1}{k_B 300K}\right)\right) \quad (2.36)$$

Auger katsayılarının oda sıcaklığında ayarlanması elektronlar ve deşikler için sırasıyla **regmat_Augn300** ve **regmat_Augp600** program parametreleriyle olur. Sıcaklık bağımlılığı aktivasyon enerjisiyle $E_{e/h}^{Auger,act}$ karakterize edilir ve **regmat_AugnEact** ve **regmat_AugpEact** program parametrelerinin

ayarılanmasıyla kabul edilir. **Auger** yeniden birleşim modeli lazer simülasyon diyalogundaki dizayn, kontrol kutularından aktive edilir.

2.3.15. Shockley-Read-Hall (SRH) Yeniden Birleşimi

SRH işlemi ayırıcı bölgelerdeki yeniden birleşmeyi tanımlar. LazerMOD da bu oran[131]:

$$R^{SRH} = \frac{n_e n_h - n_i^2}{\tau_h^{SRH} (n_e + n_e^{trap}) + \tau_e^{SRH} (n_h + n_h^{trap})} \quad (2.37)$$

Elektronlar ve deşikler için yaşama süresi sırasıyla τ_n^{SRH} ve τ_p^{SRH} ile verilir ki **regmat_SRH_tau_n** ve **regmat_SRH_tau_p** program parametreleriyle ayarlanır. Ayırıcı görevi $n_{e/h}^{trap}$ ile verilmiştir:

$$n_{e/h}^{trap} = N_{C/V}^{eff} F_{1/2} \left(\frac{\pm E_{trap} \mp E_{C/V}}{k_B T} \right) \quad (2.38)$$

Ayırma enerjisi E_{trap} malzeme parametresidir, **regmat_Et-Ev300** program parametresi ile değerlik bant kenarının ayarlanması yapılır. SRH yeniden birleşme modeli lazer simülasyon diyaloglarında dizayn edilen kontrol kutuları ile aktive edilir.

2.3.16. Ara Yüz Ayırıcı Yeniden Birleşmesi

Derin bölge ayırıcı malzeme ara yüzüyle beraber özellikle ilişkilidir. LazerMOD ilişkili etkilerin hesaplanması için ara yüz yeniden birleşme modeli sağlar. SRH moda benzer olarak, ara yüz yeniden birleşme oranı[131]:

$$R^{interface-SRH} = \frac{n_e n_h - n_i^2}{\frac{1}{v_h^{interface-SRH}} (n_e + n_e^{trap}) + \frac{1}{v_e^{interface-SRH}} (n_h + n_h^{trap})} \quad (2.39)$$

İle verilir. Ara yüz yeniden birleşme hızları elektronlar için **ifrec_vn** ve deşikler için **ifrec_vp** program parametreleriyle ayarlanır. En az 2 farklı malzeme arasında

model ayarlamasını yaparken öncelikli olarak tamsayı değeri **ifrec_priority** program parametresi ile atanır.

2.3.17. Kendiliğinden Yeniden Birleşme

Işıma yeniden birleşme süreci kendiliğinden ve eş zamanlı yeniden birleşmeyi içerir. **Z(ω)** foton spektrum durum yoğunluğuyla birlikte, kendiliğinden yeniden birleşme [131]:

$$R^{spon,bound} = \int d\omega Z(\omega) u(\omega) \quad (2.40)$$

U fotolüminesans veya kendiliğinden ışıma spektrumudur. Kuantum kuyularında fotolüminesans, bant yapısı hesaplaması olarak bilinen durum optik matris elemanlarından sağlanabilir, hacim bölgelerinde ve sürekli durumlar için Denklem 2.41 kullanılır :

$$R^{spon,bulk} = B(n_e n_h - n_i^2) \quad (2.41)$$

Einstein sabiti **B** malzeme parametresi **regmat_sponrecoef** program parametresi ile ayarlanır.

2.3.18. Uyarılmış Yeniden Birleşme

Lazer eşiği üstündeki uyarılmış ışıma, yeniden birleşme kanalının baskın ışımasıdır. Uyarılmış yeniden ışımaya , bağımsız oyuk modları (m,ω) içindeki foton ışımasından dolayı katkı olmaktadır[131] :

$$R^{stim} = \sum_{m,\omega} S_{m,\omega} |E_m|^2 \frac{c}{n_{eff,m}} g(\omega) \quad (2.42)$$

Burada, **g (ω)** kazanç tablosu veritabanı ara yüzü ile yapılan kazanç modeli veya tablolanmış data kazanç modeliyle belirlenir.

2.3.19. Taşıyıcı Akımı ve Hareketlilik (Mobilite)

Taşıyıcı süreklilik denklemlerinde akım yoğunluğu **J_{e/h}** kayma difüzyon teorisinden hesaplanır [131]:

$$J_{e/h} = \pm q D_{e/h} \nabla n_{e/h} + q \mu_{e/h} n_{e/h} \nabla E_{C/V} \pm q \mu_{e/h} n_{e/h} P_{e/h} \nabla T \quad (2.43)$$

Burada $D_{e/h}$ yayılma gücü, $\mu_{e/h}$ Mobilite ve $P_{e/h}$ elektronların ve deşiklerin termoelektrik gücüdür. İzotermal olmayan durumlar altında sıcaklık değişim derecelerinden dolayı ek olarak meydana gelen olaylardır. Fermi istatistikleri için, yayılma gücü Einstein denklemleriyle, taşıyıcı hareketiyle ilişkilidir [131] :

$$\frac{D_{e/h}}{\mu_{e/h}} = \frac{k_B T}{q} \frac{F_{1/2} \left(\frac{\pm F_{e/h} \mp E_{C/V}}{k_B T} \right)}{F_{-1/2} \left(\frac{\pm F_{e/h} \mp E_{C/V}}{k_B T} \right)} \quad (2.44)$$

Farklı modeller **el_lowfield_mobility** ve **hl_lowfield_mobility** temel tamsayı program parametreleri ile taşıyıcı hareketliliği için seçilir. Benzer bir yolla, yüksek elektrik alanlarında hareketin davranışı **el_highfield_mobility** ve **hl_highfield_mobility** temel tamsayı program parametreleri ile seçilir ve [131] :

$$\mu_{e/h} = \mu_{e/h}^{HF} (\bar{E}, \mu_{e/h}^{LF}) \quad (2.45)$$

İle verilir ki $\mu_{e/h}^{HF}$ yüksek alan mobilitesi, $\mu_{e/h}^{LF}$ elektronlar ve deşikler için düşük alan davranış fonksiyonu ve E elektrik alanlarıdır.

2.3.20. Durağan Hareketlilik

el_lowfield_mobility = 0 için elektron hareketliliği **kpmat_MOBN0** malzeme parametresiyle doğrudan belirlenir. Benzer olarak;

hl_lowfield_mobility = 0 için deşik hareketliliği **kpmat_MOBP0** malzeme parametresiyle doğrudan olarak belirlenir.

2.3.21. Sıcaklık Bağımlı Hareketlilik

el_lowfield_mobility = 1 / hl_lowfield_mobility = 1 için, sıcaklık bağımlılığı Denklem 2.46 kullanılarak hesaplanır [131]:

$$\mu_{e/h}^{LF} = \mu_{0,e/h} \left(\frac{T}{300K} \right)^{\delta_{0,e/h}} \quad (2.46)$$

$\delta_{0,e/h}$ üssel artışı, **kpmat_MOBN0_exp / kpmat_MOBP0_exp** malzeme parametresiyle verilirken, $\mu_{0,e/h}$ elektronlar ve deşikler için **kpmat_MOBN0 / kpmat_MOBP0** malzeme parametresiyle belirlenir. Sıcaklık bağımlı hareketlilik artan sıcaklık için artırılmış fonon saçılmasını başlatır, çoğu malzeme için 0 dan daha küçük olan üssel artışa neden olur.

2.3.22. Katkı ve Sıcaklık Bağımlı Hareketlilik Modeli

Sıcaklık ve katkı bağımlı hareketlilik modeli Arora ve ark. [125] tarafından önerilir, bu Silikon aygıtlar için orijinal olarak geliştirilmiştir ve daha sonraki çalışmalarda kaplama birleşik malzemelerini oluşturmuştur. Katışık saçılmadan dolayı, taşıyıcı hareketliliği katkı konsantrasyonu üzerinde genel olarak bağımlılık ortaya çıkarır. Düşük alan hareketliliği[125] :

$$\mu_{e/h}^{LF} = \mu_{dop,e/h} \left(\frac{T}{300K} \right)^{\delta_{dop,e/h}} + \frac{\mu_{0,e/h} \left(\frac{T}{300K} \right)^{\delta_{0,e/h}} - \mu_{dop,e/h} \left(\frac{T}{300K} \right)^{\delta_{dop,e/h}}}{1 + \left(\frac{N_{dop}}{N_{ref,e/h} \left(\frac{T}{300K} \right)^{\delta_{ref,e/h}}} \right)^{\alpha_{e/h} \left(\frac{T}{300K} \right)^{\delta_{\alpha,e/h}}}} \quad (2.47)$$

ile verilir ki $N_{dop} = N_A + N_D$ toplam katkı konsantrasyonunu gösterir. En yüksek hareketlilik $\mu_{0,e/h}$ ve sıcaklık bağımlılığı için ilişkili üssel artış daha önce sıcaklık bağımlı hareketlilik modelinde bahsedildiği gibi tanımlanır ve ayarlanabilir. Artan katkılar için, hareketlilik yaklaşımları en düşük Mobilite $\mu_{dop,e/h}$ tarafından verilen değerdir. Bu durum elektronlar ve deşikler için sırasıyla **arora_elmudop / arora_hlmudop** malzeme parametresi ile ayarlanır. Bu en düşük hareketliliğin sıcaklık bağımlılığı $\delta_{dop,e/h}$ üssel katsayıyla karakterizedir ve **arora_elmudopexp** ve **arora_hlmudopexp** malzeme parametresiyle özelleştirilerek kabul edilir. $\alpha_{e/h}$ ve $\delta_{\alpha,e/h}$ üssel artışı **arora_eldopexp1 / arora_hldopexp1** ve **arora_eldopexp2 / arora_hldopexp2**

malzeme parametreleriyle elde edilirler. Referans katkı yoğunluğu $N_{ref, e/h}$ ile bunun sıcaklık bağımlılığı $\delta_{ref, e/h}$ üssel artışıyla tanımlanır ve bunlar $arora_elnref / arora_hlnref$ ve $arora_elnrefexp / arora_hlnrefexp$ malzeme parametreleriyle özelleştirilir.

2.3.23. Yüksek Alan Hareketliliği

Taşıyıcıların hız doygunluk etkileri için yüksek alan hareketliliği hesaplanır. Model seçimi elektronlar ve deşikler davranış kontrolünde **el_highfield_mobility** ve **hl_highfield_mobility** temel program parametreleriyle kolaylaştırılır. Düşük alan için **el_highfield_mobility = 0 / hl_highfield_mobility = 0** ayarlamasıyla bunların yol açtığı etkiler ihmal edilebilir ve bu durum [131]:

$$\mu_{e/h}^{HF}(\vec{E}, \mu_{e/h}^{LF}) = \mu_{e/h}^{LF} \quad (2.48)$$

denklemleriyle verilir. Elektron ve deşik hareketliliğinin yüksek alan davranışı için basit model [131]:

$$\mu_{e/h}^{HF}(\vec{E}, \mu_{e/h}^{LF}) = \frac{\mu_{e/h}^{LF}}{\beta_{e/h} \sqrt{1 + \left(\frac{\mu_{e/h}^{LF} |\vec{E}|}{v_{sat, e/h}} \right)^{\beta_{e/h}}}} \quad (2.49)$$

olup bu model **el_highfield_mobility = 1 / hl_highfield_mobility = 1** ayarlamasıyla seçilir. Elektronlar ve deşikler için doygunluk hızı $V_{sat, e/h}$ modeli kullanılır ve [131] :

$$v_{sat, e/h}(T) = \frac{v_{sat, e/h}(300K)}{(1 - a_{sat, e/h}) + \frac{a_{sat, e/h} T}{300K}} \quad (2.50)$$

ile verilir. 300 K de doygunluk hızı sırasıyla **hfmob_elvsat** ve **hfmob_hlvsat** malzeme parametresiyle ayarlanır. Sıcaklık bağımlılık katsayısı $a_{sat, e/h}$ ise **hfmob_elvsattemp** ve **hfmob_hlvsattemp** program parametresiyle ayarlanır.

Denklem 2.49 da $\beta_{e/h}$ üssel artışı **hfmob_elexp** ve **hfmob_hlexp** program parametresiyle elde sağlanır. Yarıiletken bileşenler, elektron hareketliliği yüksek elektrik alanlarında lokal en yüksek olarak ortaya çıkar. Bu sistemin ilgisi **el_highfield_mobility = 2 / hl_highfield_mobility = 2** ayarlamasıyla ilgili taşıyıcılar için sıradaki model seçilebilir[131]:

$$\mu_{e/h}^{HF}(\vec{E}, \mu_{e/h}^{LF}) = \frac{\mu_{e/h}^{LF} + \frac{v_{sat,e/h}}{E_{HF,e/h}} \left(\frac{|\vec{E}|}{E_{HF,e/h}} \right)^3}{1 + \left(\frac{|\vec{E}|}{E_{HF,e/h}} \right)^4} \quad (2.51)$$

Alan kuvveti $E_{HF,e/h}$ elektronlar ve deşikler için **hfmob_elfield0** ve **hfmob_hlfield0** malzeme parametreleriyle ayarlanır.

2.3.24. Malzeme Ara Yüzleri

Malzeme ara yüzlerinde elektrik potansiyeli devamlıyken, Dirichlet hapis durumuna yol açar ki farklı fiziksel etkiler taşıyıcı transferiyle dikkat çeker. Elektronlar ve deşiklerin bant devamlılığının olmamasından dolayı $\Delta E_{C/V}$ enerji bariyerle karşılaşılabilir. Artmış kinetik enerjili taşıyıcılar bariyer yüksekliğini artırır ve bu durum termiyonik ışımayla tanımlanır. A ve B geniş ve dar aralık malzemelerini gösterir [131]:

$$J_{e/h,A \rightarrow B} = \frac{k_B^2 m_{e/h}^*}{2\pi^2 \hbar^3} \left[\exp\left(\frac{F_{e/h,A} - E_{C/V,A}}{k_B T}\right) - \exp\left(\frac{F_{e/h,B} - E_{C/V,B} - \Delta E_{C/V}}{k_B T}\right) \right] \quad (2.52)$$

$m_{e/h}^*$ yüksek bant kenar malzemesindeki taşıyıcı kütlesidir. Yeterli olmayan enerjiye sahip taşıyıcılar ara yüze geçer bu da Kuantum mekanik tünel altında olabilir. Tünel açma için basit bir yaklaşım hesaplaması ile elektrik alan fonksiyonu gibi bariyer yüksekliğini azaltmaktır. Bu da artan elektrik alan dayanıklılığı için artan tünel açma olasılığını yansıtır ki bu durum [131]:

$$\Delta E'_{C/V} = \Delta E_{C/V} - q \lambda_{tunnel} \max(0, \vec{E} \vec{n}_{surf}) \quad (2.53)$$

ile verilir. Burada, λ_{tunnel} etkin tünelleme uzunluğu olup **eff_tunnel_length** program parametresi ile ayarlanır. En_{surf} ara yüzdeki yüzey normali üzerinde elektrik alan projeksiyonudur. Tamsayı program parametresi **eff_tunnel_priority** ise bölgelerin önceliğinin yönetilmesinde kullanılır. Tünel açma modelinin kullanımı temel sembol tablosunda **run_barrier_lowering = 1** ayarlamasıyla seçilir.

2.3.25. Örgü Sıcaklık Akışkan Denklemi

Elektronik enerji taşıyıcı-fonon saçılma parçacıklarından dolayı kristal örgüye transfer olabilir ki bu da örgü sıcaklığında artışa yol açar. LazerMOD da örgü sıcaklık akışkan denklemi bireysel ısıtma etkilerinin tanımlanmasıyla çözülür[131]:

$$\left(C_L + \frac{3}{2} k_B (n_e + n_h) \right) \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \left(\kappa_L \nabla T - \vec{S}_e - \vec{S}_h \right) + H \quad (2.54)$$

ile verilir. Burada, $C_L = c_L \rho$ örgü ısı kapasitesi olup, özel ısı ve malzeme yoğunluğunun üretildiği **regmat_specific_heat** ve **regmat_material_density** malzeme parametreleriyle verilir. Bu durum lazer simülasyon diyalogunda kontrol kutusunun seçilmesiyle aktive edilirse, ısı akışkan denklemi aygıt içindeki ısı profilini belirler bu da taşıyıcı transferinin kendi tutarlılığındadır.

2.3.26. Isısal iletkenlik

Örgünün ısı iletkenliği sıcaklık bağımlılığını taşır ve [131]:

$$\kappa_L(T) = \kappa_L(300K) \left(\frac{T}{300K} \right)^{\delta_{\kappa_L}} \quad (2.55)$$

olup δ_{κ_L} üssel artışıyla 300 K de ısısal iletkenliği gösterir ve sırasıyla **regmat_thermconduct** ve **regmat_thermconduct_exp** malzeme parametresiyle ayarlanır.

2.3.27. Enerji Akışı

Elektron ve deşik enerji akışı [131]:

$$\vec{S}_{e/h} = \mp P_{e/h} T \vec{J}_{e/h} - \kappa_{e/h} \nabla T \quad (2.56)$$

ile verilir. Elektron ve deşik gazının ısısal iletkenliği [131]:

$$\kappa_{e/h} = n_{e/h} k_B T \mu_{e/h} P_{e/h} \quad (2.57)$$

ile verilir.

2.3.28. Isı Kaynakları

Denklem 2.54 deki H ısı kaynak katkılarının toplamıdır ve [131]:

$$H = H_{Joule} + H_{recombination} + H_{transient} \quad (2.58)$$

ile verilir. Isı üretimi ise :

$$H_{Joule} = -\frac{1}{q} \left(\bar{J}_e \nabla F_e + \bar{J}_h \nabla F_h \right) \quad (2.59)$$

ile verilir. Yeniden birleşme ısısı :

$$H_{recombination} = (F_e - F_h) R^{dark} \quad (2.60)$$

ile verilir. Isı üretim oranı taşıyıcı konsantrasyonunun geçici düzenlenmesinden meydana gelir :

$$H_{transient} = -T \left(\frac{\partial F_e}{\partial T} \frac{\partial n_e}{\partial t} + \frac{\partial F_h}{\partial T} \frac{\partial n_h}{\partial t} \right) \quad (2.61)$$

ile verilip Peltier ve Thomson ısı toplamı da :

$$H_{Peltier+Thomson} = -\bar{J}_e T \nabla P_e - \bar{J}_h T \nabla P_h \quad (2.62)$$

ile belirlenir.

2.3.29. Isısal Hapis Koşulları

Farklı sınır koşulları elektrotlarda ısı akış denklemiyle ilişkilendirilebilir. **elec_thermboundary = none** tercihiyle elektrot bölgesinin fiziksel veri sembol tablosu oluşturulmaz, kontak sınır yansıması gibi davranır. **elec_thermboundary = dirichlet** tercihiyle ise Dirichlet hapis durumu örgü ısısı belirlenir . Kontaktaki ısı fiziksel sembol tablosundan **elec_temperature** program parametresiyle belirlenir.

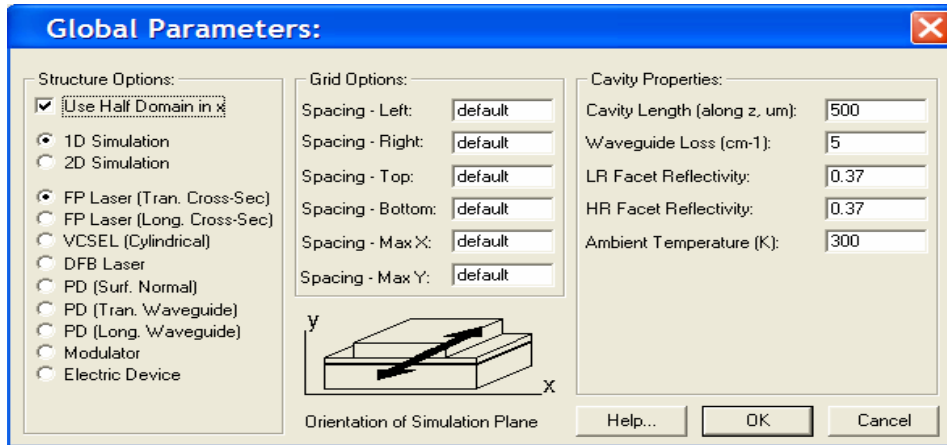
Elektrot fiziksel sembol tablosundan **elec_thermboundary = cauchy** tercihiyle Cauchy tip hapis durumu kontakta geçerli olur ki [131]:

$$\kappa_L \vec{n} \nabla T = \frac{G_{thermal}}{A} (T - T_{contact}) \quad (2.63)$$

ile verilir ki, $\vec{n}$ kontaktaki yüzey normali, A kontak yüzey alanı, $G_{thermal}$ elektrotla ilişkili ısı iletkenliği ve $T_{contact}$ ise elektrot fiziksel veri tablosundaki **elec_temperature** program parametresi tarafından özelleştirilir. Bölgelerin ısısal özellikleri, simülasyon alanında olmayan, ısısal iletkenlik parametresinde birleştirilebilir, elektrot bölgesiyle ilişkili fiziksel veriler sembol tablosundan **elec_thermconduct** program parametresi ile özelleştirilebilir.

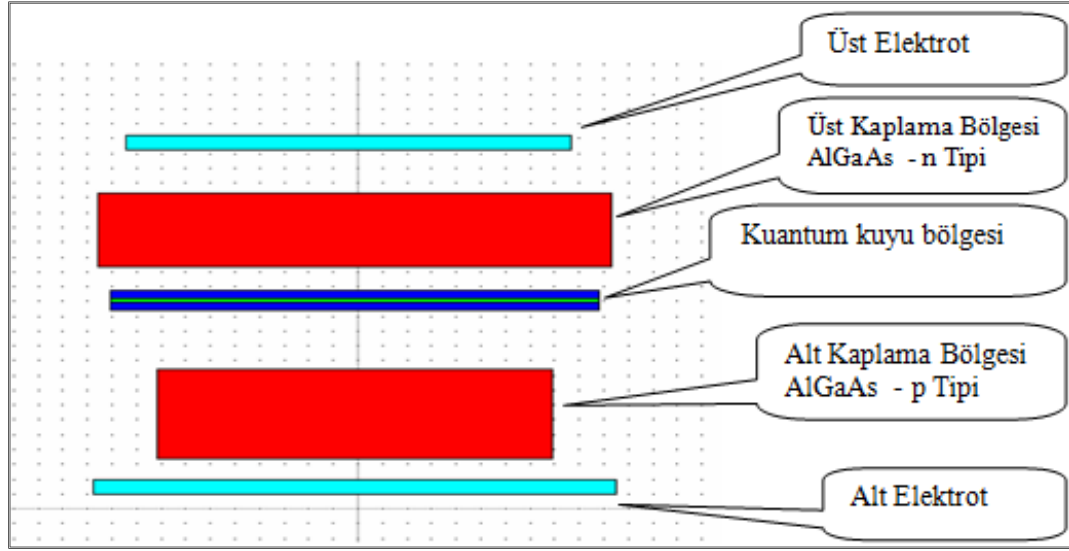
2.4. LaserMOD Aygıtı

LaserMOD programının genel amacı bir lazer simülasyon paketi ile Lazer modelleme ve tasarımı sağlamaktır. LaserMOD hem endüstriyel hem de Ar-Ge ve üniversite araştırma uygulamaları için tasarlanmış bir yazılımdır. LaserMOD yarıiletken lazerlerin optik ve elektronik özelliklerinin simülasyonu için bir fotonik cihaz tasarım aracıdır. Cihaz uygulamaları halen Fabry-Perot tipi gibi kenar yayıcı, VCSEL (dikey yayıcı) tipi lazerler ve foto-diyot lazerler gibi farklı tercihlerde lazerler üretilmesine izin vermektedir. LaserMOD ile bir kuantum kuyu aygıt tasarımı için aşağıda belirtilen yollar izlenecektir. İlk olarak **GLOBAL SETTING** bölümünden çalışılacak yapı ve lazerin türü ve temel aygıt büyüklükleri belirlenir. Şekil 2.6 da bu bölümden bir enstantene sunulmuştur. Bu raporda anlatılacak olan çalışmada genellikle 1D (bir boyutta) FP tipi Lazerler tercih edilmiştir.

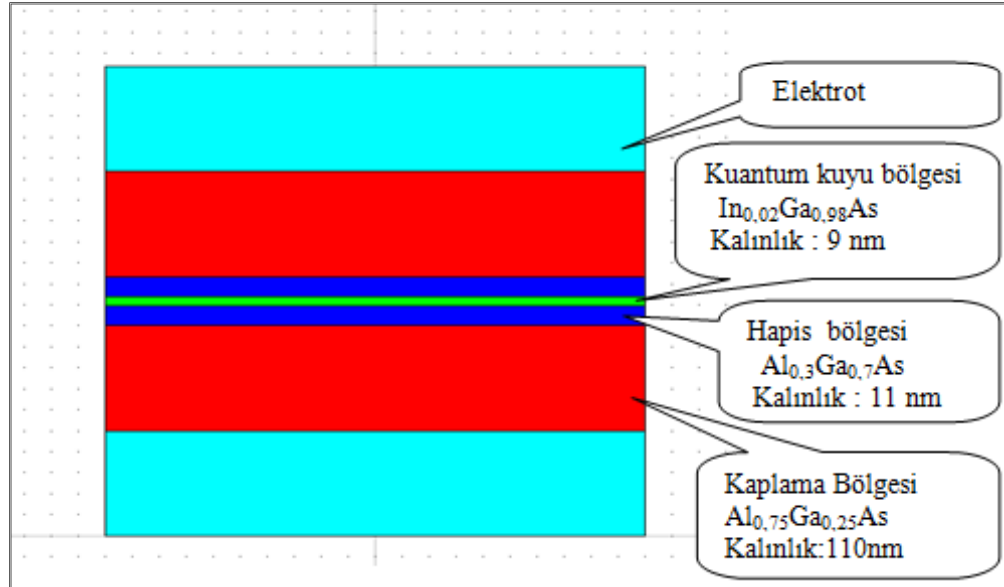


Şekil 2.6. Global Setting Bölümü ve Genel Tercihler Panosu

Lazer seçimi yapıldıktan sonra Aygıt isteğe uygun (örneğin: kuantum kuyu, çoklu kuantum kuyu, dikey oyuk lazerler, foto-diyotlar vb.) lazer düzenlerinin tasarlanmasını sağlar. Bunun için çizim araçları kullanılır. Ve bütün bölgeler gerekli malzemeler ile çizilir. Bu malzemeler tercihe göre belirlenir. Şekil 2.7.a ve 7.b de örnek bir kuantum kuyu tasarımı görülmektedir.

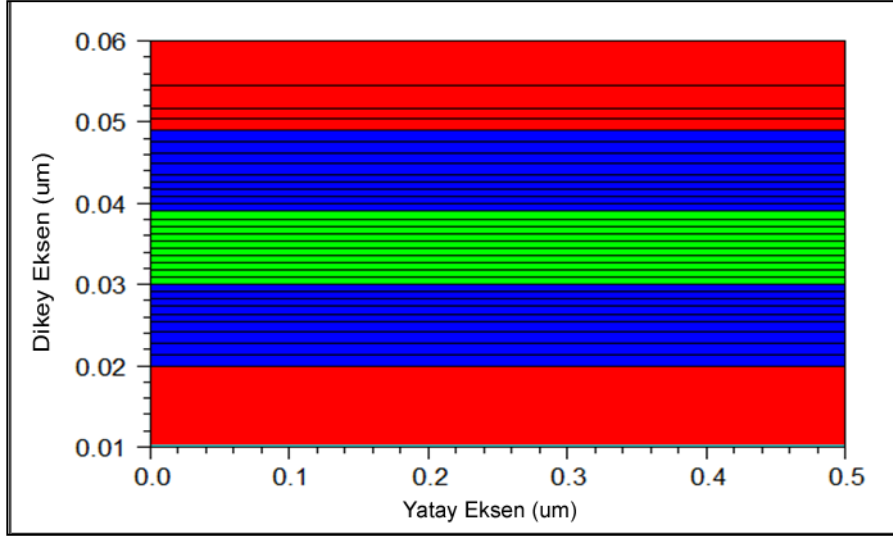


Şekil 2.7.a. Kuantum tek kuyu tasarımından bir aşama



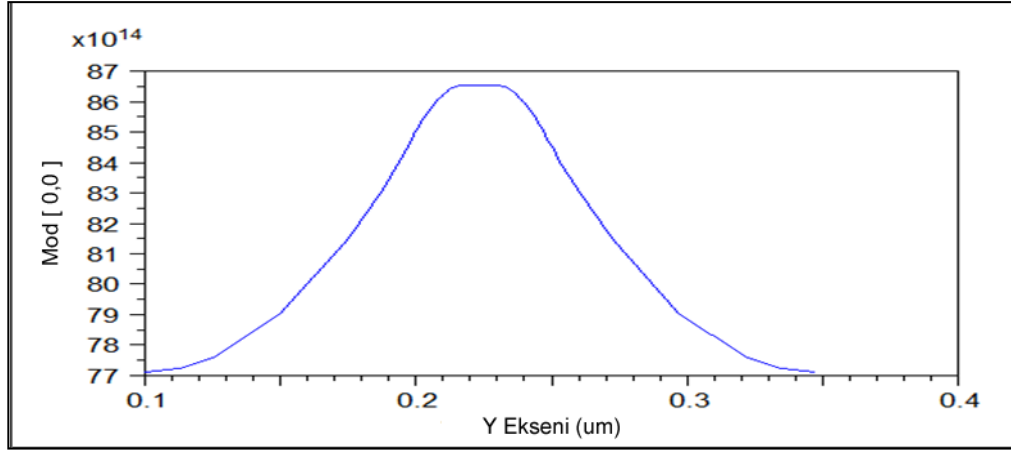
Şekil 2.7.b. { InGaAs } Kuantum tek kuyu tasarımı bitmiş durumda

Bu tasarımdan sonra **GENERATE MESH** bölümü üretilen aygıtın Mesh (Ağ-örgü) yapısına ait bir grafik oluşturur. Şekil 2.8 de buna bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.8. Aygıt tarafından üretilen Mesh (Ağ-örgü yapı) profili

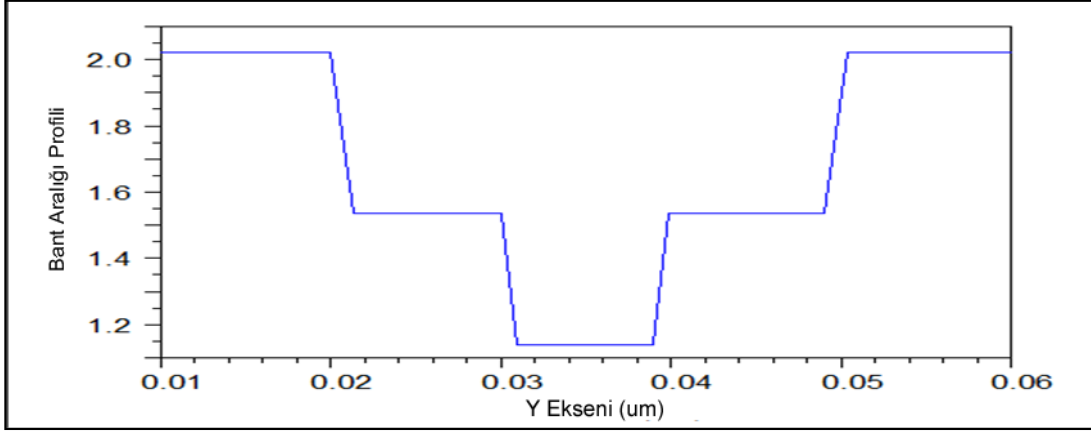
Mesh yapı ile aygıt üzerinde oluşan zorlanmalar ve örgü durumları hakkında genel bir bilgiye ulaşılabilir. Bundan sonra aygıtın **MOD CALCULATION** bölümünde üretilen yapının Mod Hesaplamaları ve grafiği oluşturulmaktadır. Şekil 2.9 da buna bir örnek verilmiştir.



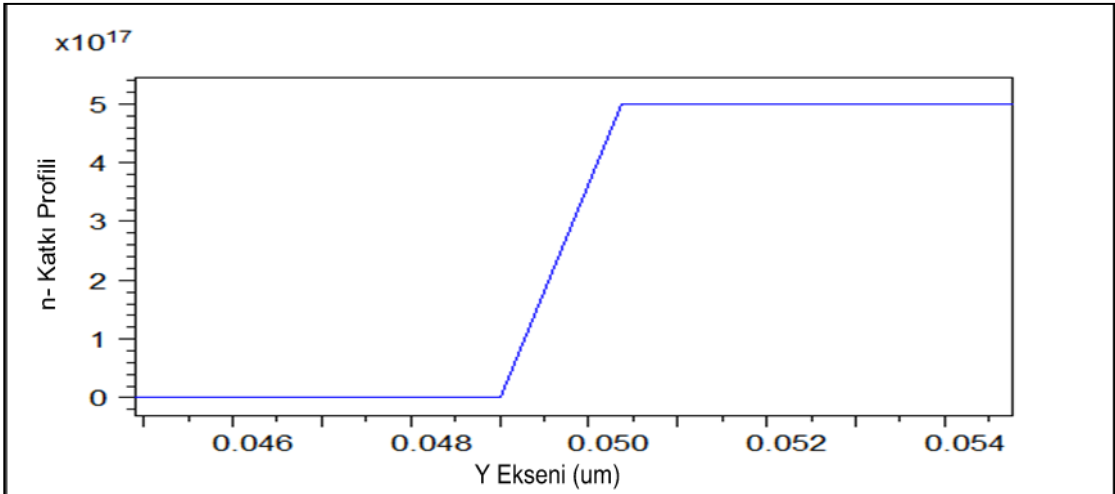
Şekil 2.9. Üretilen InGaAs Lazerin Mod profili

Daha sonra **GENERATE PROFILE** bölümünden aygıtın bölge bölge (aktif bölge, kuantum kuyu bölge, bariyer ve hapis bölgeleri gibi) bant-enerji grafikleri ve değerleri, kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan Malzemelerin alaşım oranları grafikleri ve değerleri ile ilave olarak isteğe bağlı özel (bazı program katsayıları gibi) ek grafikler üretilmektedir.

Şekil 2.10.a ve 2.10.b de GENERATE PROFILE bölümünden elde edilen bazı örnekler verilmiştir.



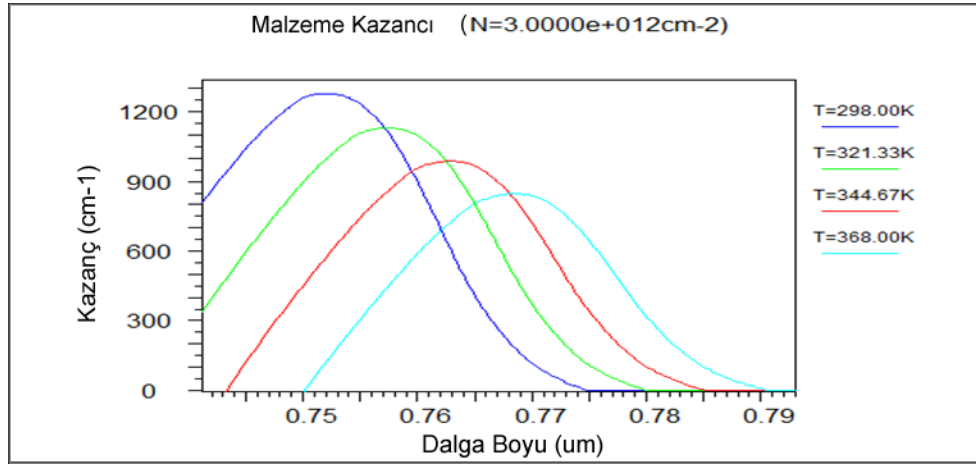
Şekil 2.10.a. Üretilen InGaAs Lazerin Bant Aralığı Profili



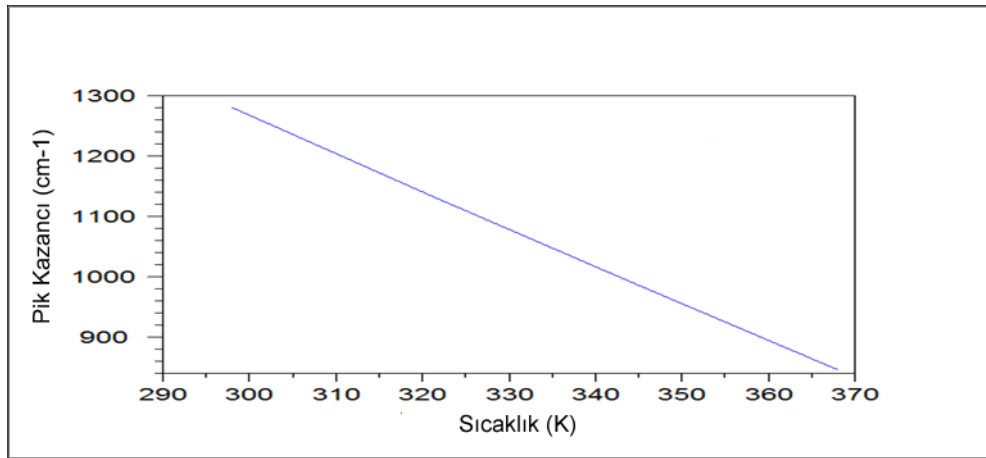
Şekil 2.10.b. Üretilen InGaAs Lazerin n- Katkı Profili

Sonraki aşama **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak (bu tercihler özelleştirilerek farklı simülasyonlar yapılabilir) malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indis değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmektedir.

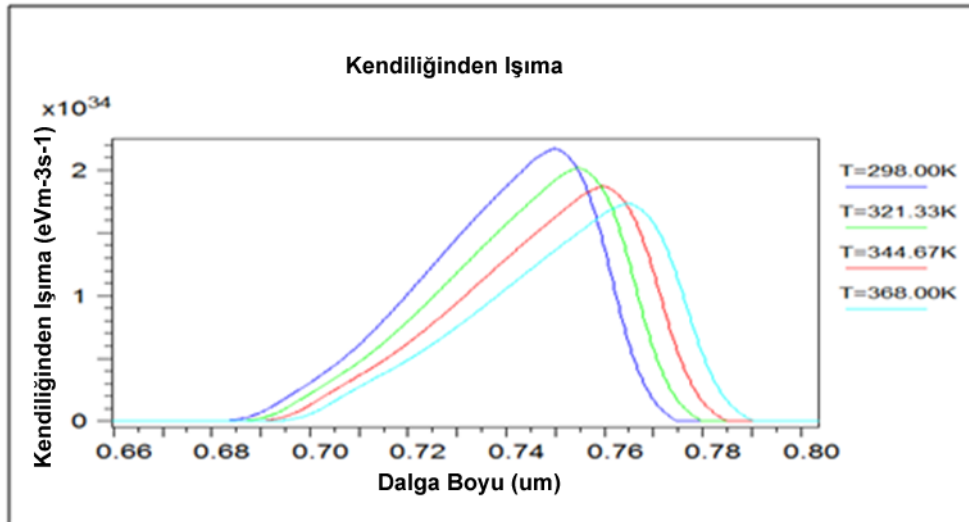
Şekil 2.11.a, 2.11.b ve 2.11.c de MATERIAL GAIN bölümünden elde edilen bazı örnekler verilmiştir.



Şekil 2.11.a. Üretilen InGaAs Lazerin Kazanç Grafiği



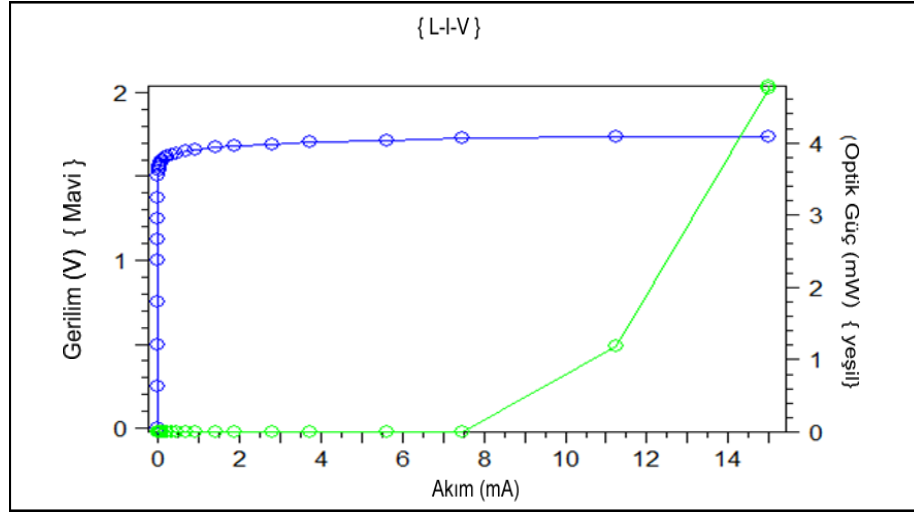
Şekil 2.11.b. Üretilen InGaAs Lazerin Pik-Kazanç Grafiği



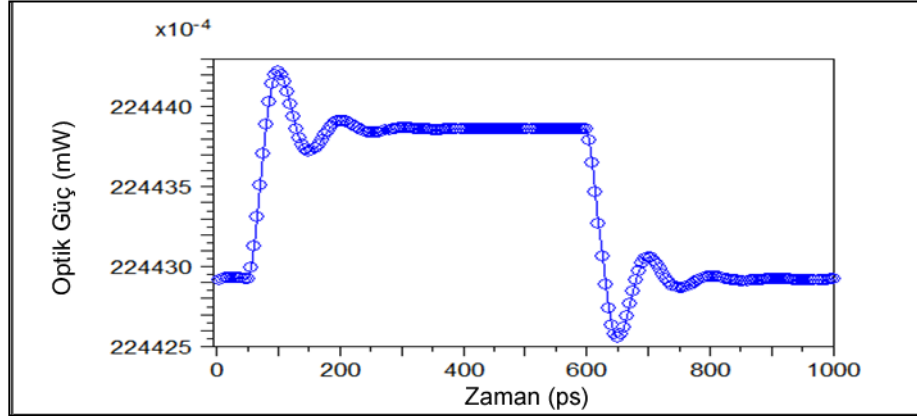
Şekil 2.11.c. Üretilen InGaAs Lazerin Kendiliğinden Işıma Grafiği

Bir sonraki aşama son aşamadır. Bu bölümde tasarlanan Lazerin Lazer Simülasyon işlemi yapılacaktır. **SIMULATE LASER** işlemi tasarlanan aygıtın L-I-V

grafiğini ve verilerini üretir. Şekil 2.12.a ve 2.12.b de SIMULATE LASER bölümünden elde edilen bazı örnekler verilmiştir.



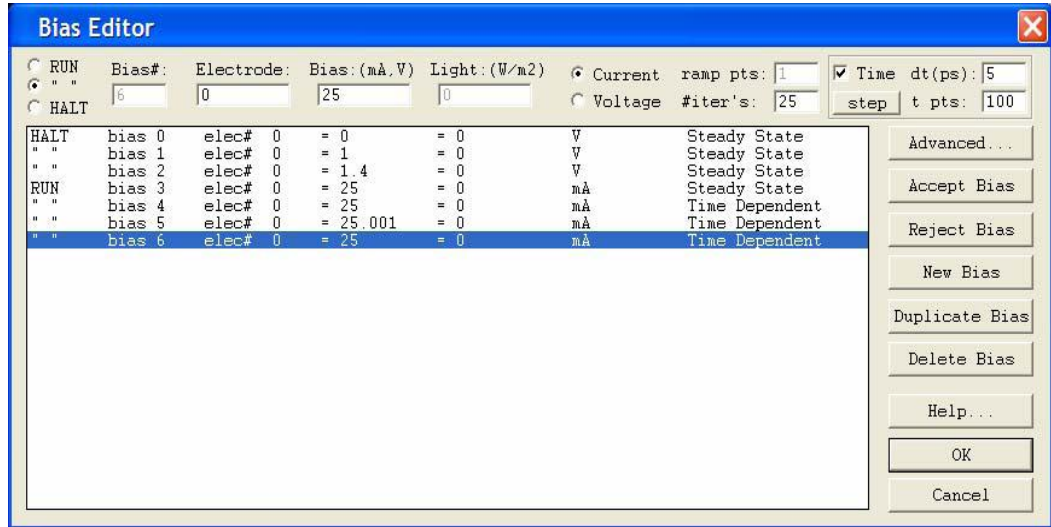
Şekil 2.12.a. Üretilen InGaAs Lazerin L-I-V Grafiği



Şekil 2.12.b. Üretilen InGaAs Lazerin Optik Güç – Zaman Grafiği

Burada önemli aşamalar mevcuttur. Bias (ön değerler) akım ve voltajı ayarları bu bölümde “**Bias Editor**” kısmında işlenir. Aygıt sonuçları girilen bu Bias değerlerine göre üretir. ilerleyen aşamalarda örnekler verilecektir. Şekil 2.13 de örnek bir Bias tablosu verilmiştir.

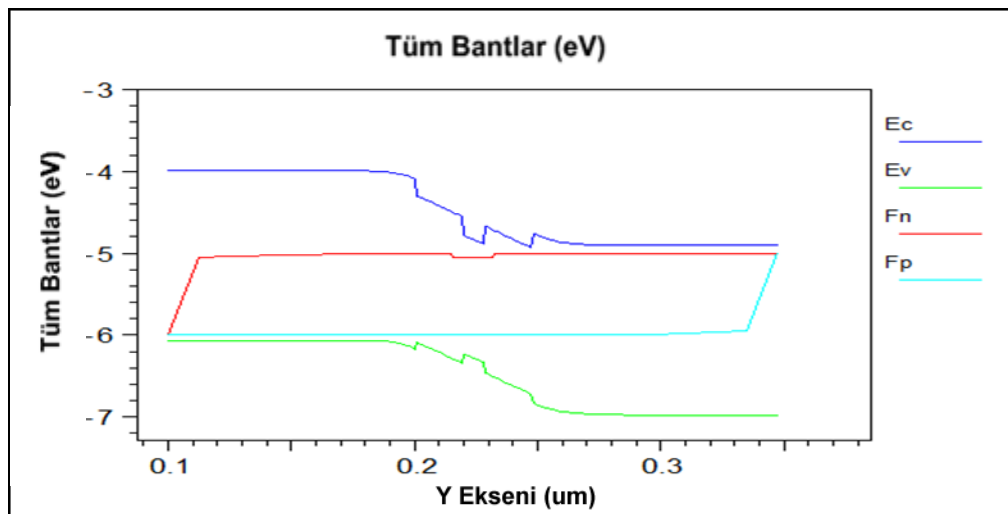
Simulate lazer süreci tasarlanan lazerle ilgili ürettiği verileri bilgisayarda bir dizine depolar. Bu veriler daha sonra **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılacaktır. Bu bölümde aygıt tarafından sunulan grafik türlerinden isteğe göre seçimlerle analiz yapılabilir.



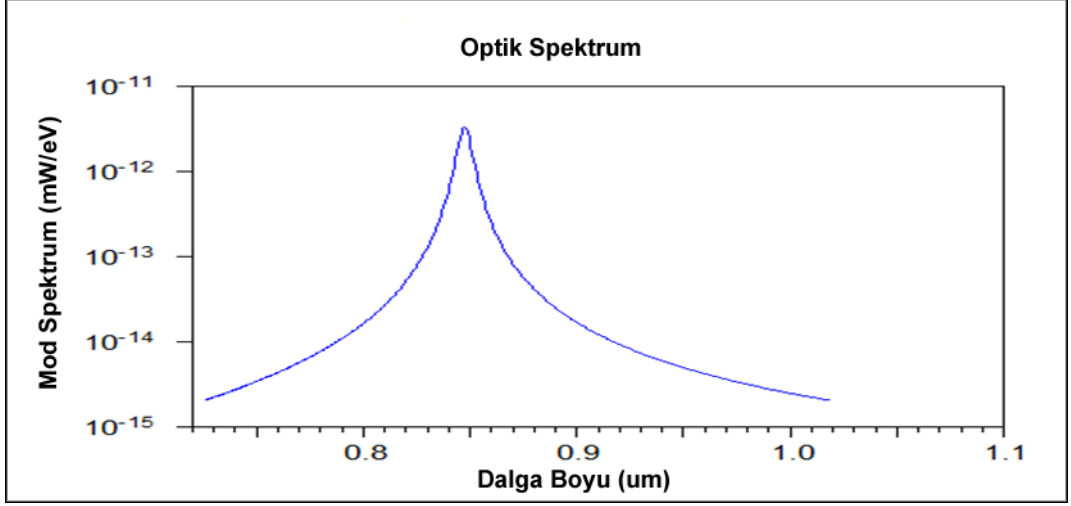
Şekil 2.13. Bias Editöründe I – V Ayarları

Simulate lazer süreci tasarlanan lazerle ilgili ürettiği verileri bilgisayarda bir dizine depolar. Bu veriler daha sonra **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılacaktır. Bu bölümde aygıt tarafından sunulan grafik türlerinden isteğe göre seçimlerle analiz yapılabilir.

Örneğin Yakın Alan, Uzak Alan, Enerji Bant , Yük taşıyıcıları, Dalga Fonksiyonları, Akım – Voltaj, Optik Spektrum, Güç- Akım, Modal Kazanç, Frekans Cevap vb. birçok analiz buradan elde edilebilir. Şekil 2.14.a ve 2.14b de **GENERATE PLOT** bölümünden elde edilen bazı keyfi örnekler verilmiştir.



Şekil 2.14.a. Üretilen InGaAs Lazerin Değerlik Bant Profili



Şekil 2.14.b. Üretilen InGaAs Lazerin Optik Spektrumu

Burada verilen tüm grafikler sadece LaserMOD işleyişi ve akışı hakkında bir fikir vermek amacıyla sunulmuştur.

Bölüm 3 de üzerinde çalışılan 25 ayrı yapının öngörülen tüm grafik ve analizleri detaylı ve geniş bir şekilde verilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde simülasyonda üretim aşamasına geçilmiştir. 25 farklı yapı LaserMOD aygıtı ile incelenmiştir. Bu işlemlerin hangi basamaklardan oluştuğu, üretilen aygıtların karakteristik bilgileri, parametreleri, oluşturulan yapıların bölge analizleri, çizelge, tablo ve ilgili grafikleri, bunların yorum ve değerlendirmeleri izleyen bölümlerde etraflıca verilmiştir.

3.1. { AlGaInAs } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar

3.1.1. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı simülasyonda üretilirken Fabry – Parot Ridge (sırt) tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [105]. Bu yapının simülasyon planı **Şekil 3.2.** de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 250 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 1.5 μm olarak tasarlanmıştır. Fabrikasyon işlemlerinde genellikle bir alt taş ile işleme başlanır. Burada alt taş olarak InP kullanılmıştır. Alt taş 1250 nm kalınlığındaki olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.108 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak **Çizelge 3.1.** ve **Şekil 3.1.** de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları **Çizelge 3.1.** de verilmiştir. Bundan sonra alt taş üzerine 10 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkı { 2. Bölge } $\text{Al}_{0,412}\text{Ga}_{0,067}\text{In}_{0,52}\text{As}$ geçiş bölgesi büyütülmüştür. Bir sonraki büyütme katkısız 110 nm kalınlıklı { 3. Bölge } $\text{Al}_{0,83}\text{Ga}_{0,17}\text{As}$ iç – kaplama bölgesidir. Bunu 10 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkı { 4. Bölge } $\text{Al}_{0,79}\text{Ga}_{0,21}\text{As}$ kaplama izlemektedir. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.313 kırılma indisine sahip 5 adet $\text{Al}_{0,226}\text{Ga}_{0,254}\text{In}_{0,52}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 6 adet 3.298 kırılma indisli $\text{Al}_{0,267}\text{Ga}_{0,253}\text{In}_{0,53}\text{As}$ bariyer arasında % 0.07 lik bir boyuna zorlanmaya sahiptir {5. Bölge }. Kuantum kuyu bölge **şekil 3.1.** de kırmızı

renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İlerleyen bölge 10 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 6. Bölge } $\text{Al}_{0,79} \text{Ga}_{0,21} \text{As}$ kaplamadır. Daha sonra katkısız 110 nm kalınlıklı { 7. Bölge } $\text{Al}_{0,83} \text{Ga}_{0,17} \text{As}$ iç – kaplama büyütülmüştür. Ardından 10 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı { 8. Bölge } $\text{Al}_{0,412} \text{Ga}_{0,067} \text{In}_{0,52} \text{As}$ geçiş bölgesi büyütülmüştür.

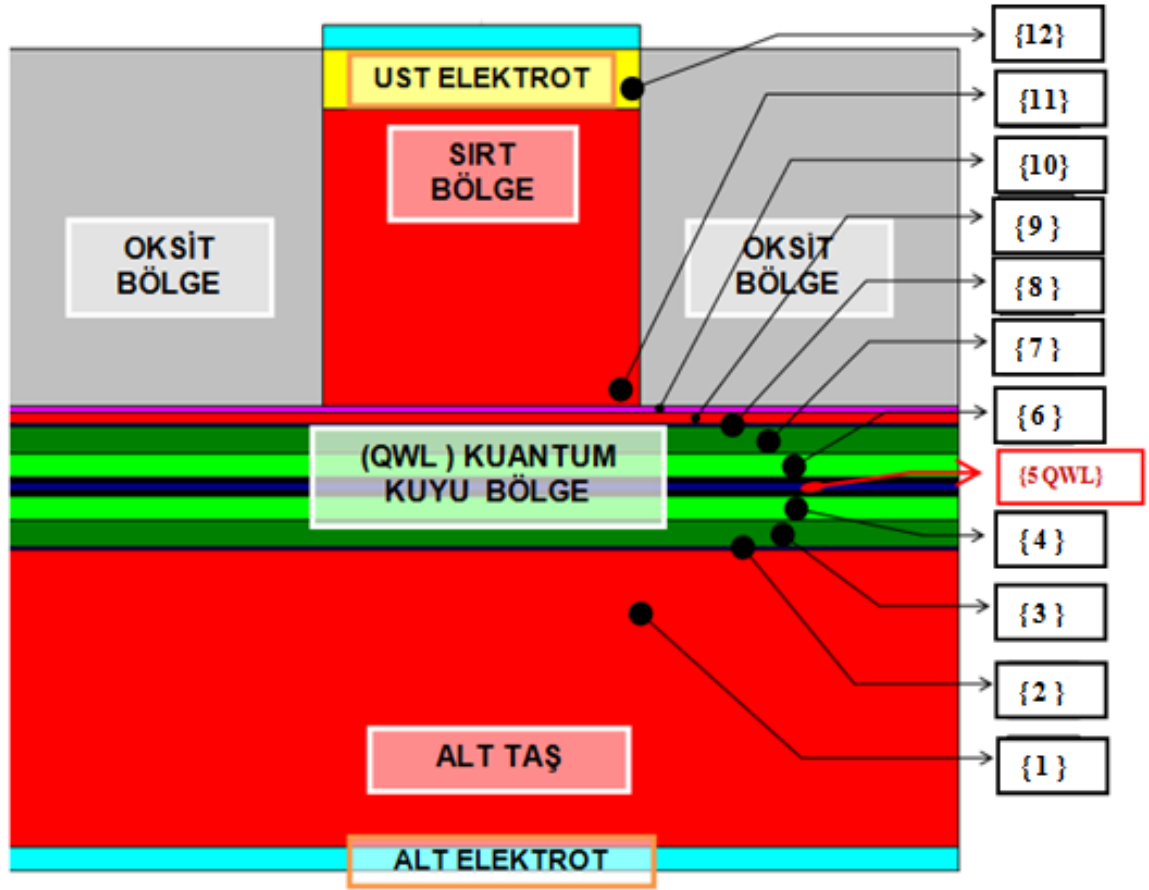
Bunun üzerine 50 nm kalınlıklı $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 9. Bölge } InP malzeme ara – bölge olarak büyütülmüştür. Yapının bu kısmına 25 nm kalınlıklı { 10. Bölge } katkısız $\text{Ga}_{0,829} \text{In}_{0,171} \text{As}_{0,374} \text{P}_{0,626}$ malzemesi sırt bölgeye geçiş kısmı olarak büyütülmüş olup bunun üzerine “Sırt Yapı” büyütülecektir. Sırt yapı **Şekil 3.2.** de iki Oksit tabakası arasında bir ara kesit ile gösterilmiştir.

İzleyen bölge 1250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı InP { 11. Bölge } dış p- kaplama ile büyütülmüştür.

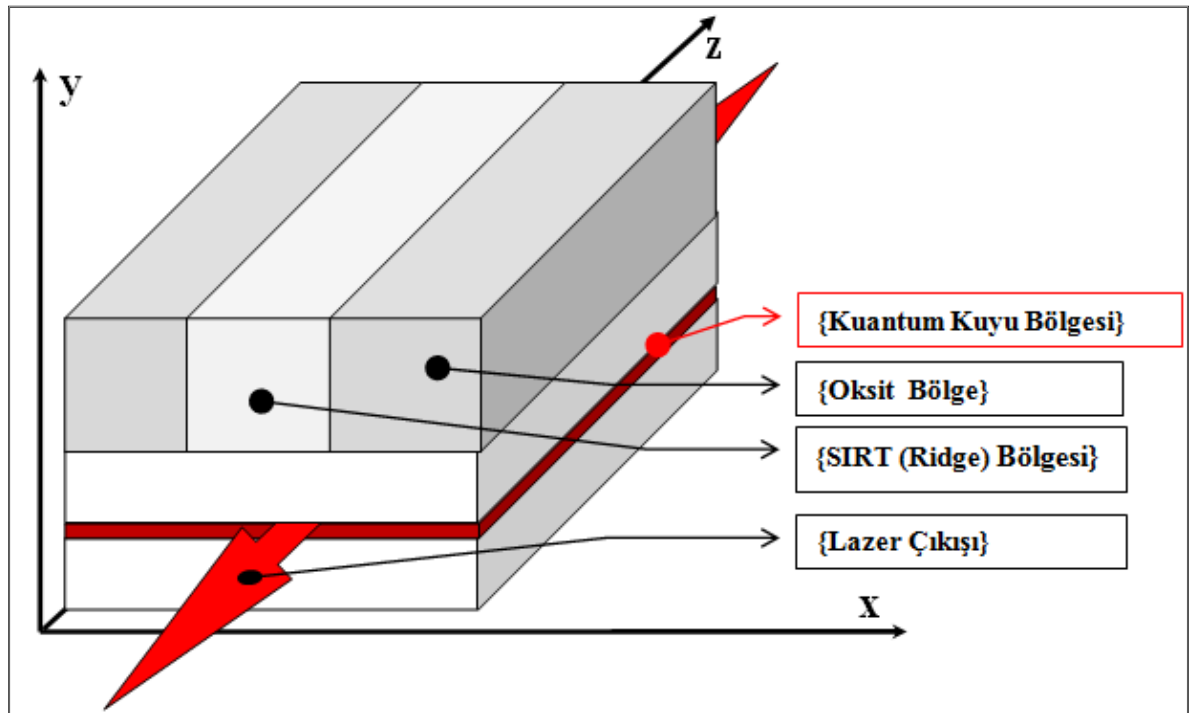
Bunun üzerine son olarak 250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı $\text{In}_{0,65} \text{Ga}_{0,35} \text{As}$ { 12. Bölge } kontak – kaplama büyütülerek { $\text{AlGaInAs} / \text{AlGaInAs} / \text{InP}$ } 1. Tip Lazer yapısı tamamlanmıştır.

Çizelge 3.1. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n-InP (alttaş)	1250 / 5	3.108
2.	n- $\text{Al}_{0,412}\text{Ga}_{0,067}\text{In}_{0,52}\text{As}$	10 / 5	3.235
3.	$\text{Al}_{0,83}\text{Ga}_{0,17}\text{As}$	110 / katkısız	3.247
4.	n- $\text{Al}_{0,79}\text{Ga}_{0,21}\text{As}$	10 / 5	3.269
5.	(QWL) $\text{Al}_{0,226}\text{Ga}_{0,254}\text{In}_{0,52}\text{As}$ (BAR) $\text{Al}_{0,267}\text{Ga}_{0,203}\text{In}_{0,53}\text{As}$ 5 qwl - 6 bariyer	5 - 10 / katkısız	3.313 / 3.298
6.	p- $\text{Al}_{0,79}\text{Ga}_{0,21}\text{As}$	10 / 5	3.269
7.	$\text{Al}_{0,83}\text{Ga}_{0,17}\text{As}$	110 / katkısız	3.247
8.	p- $\text{Al}_{0,412}\text{Ga}_{0,067}\text{In}_{0,52}\text{As}$	10 / 5	3.235
9.	p- InP	50 / 5	3.108
10.	$\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$	25 / katkısız	3.149
11.	p- InP (sırt)	1250 / 5	3.108
12.	p- $\text{In}_{0,65}\text{Ga}_{0,35}\text{As}$ (sırt)	250 / 5	3.437



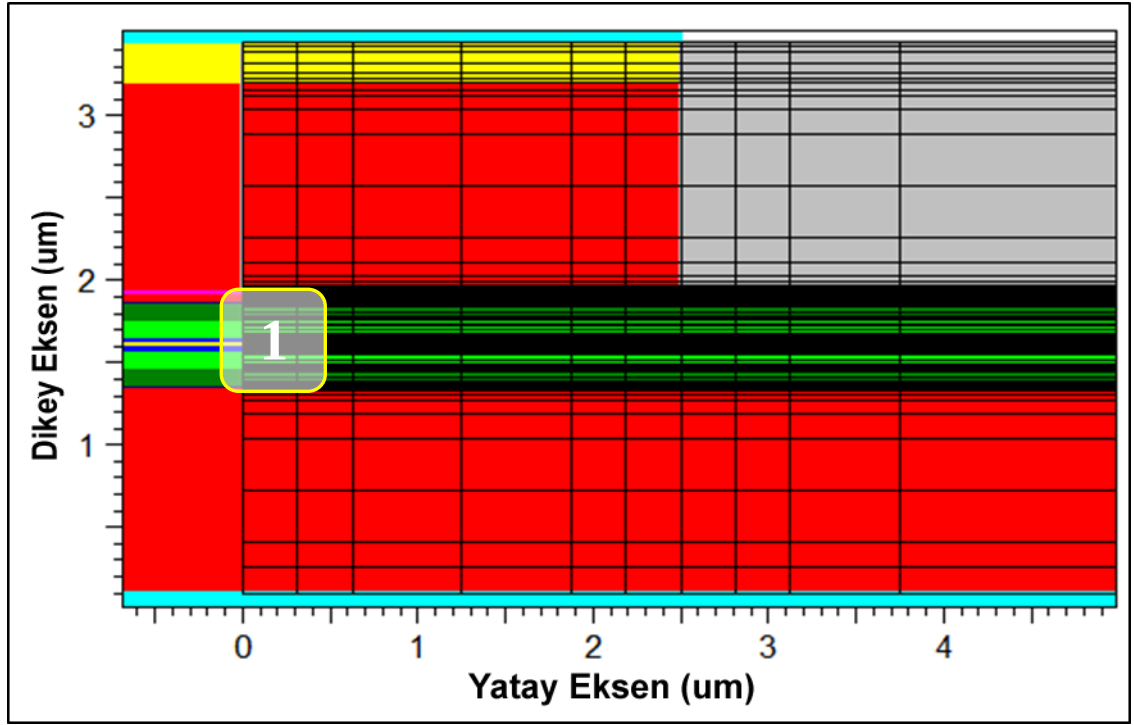
Şekil 3.1. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı Laser Profili



Şekil 3.2. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı { F-P SIRT } simülasyon planı

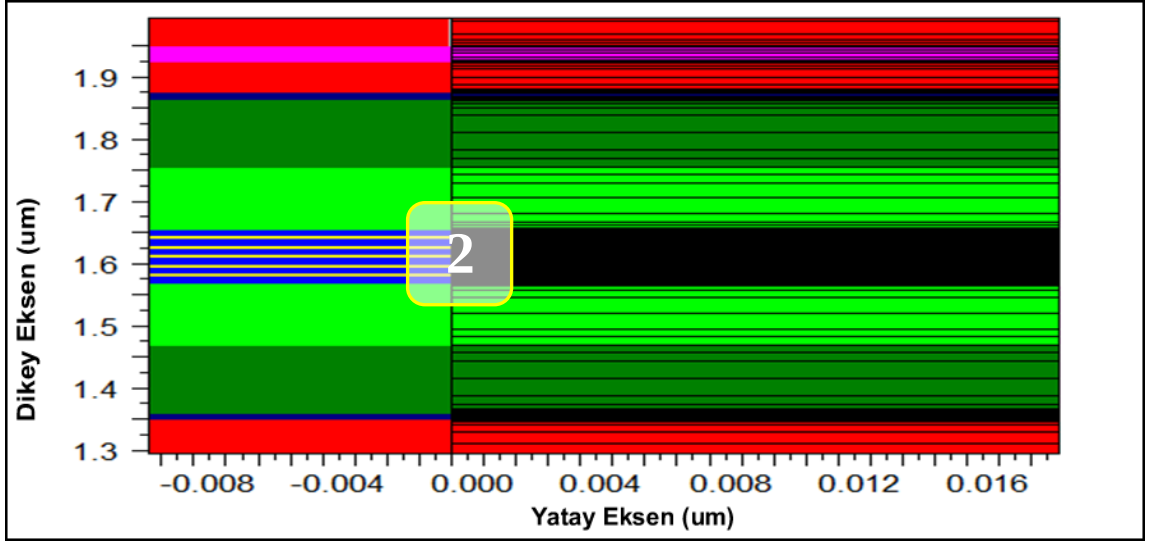
Tüm bu işlemlerden sonra LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu tür grafikler çift-farklı-yapılı malzemeler arasında oluşan zorlanmalar hakkında yorum yapma olanağı sağlar. Bu zorlanmalar enine, boyuna ve sıfır zorlanmalar olarak sınıflandırılabilirler.

Çizgiler arası mesafelerde orantısız durumlar bu zorlanmaları ifade eder. Program Kuantum Kuyu bölge ile etrafındaki bariyerler, kaplama veya hapis bölgeleri arasındaki zorlanma türünü data olarak da üretmektedir. Bu sonuç her yapının malzeme kompozisyonları açıklanırken verilmiştir. Örneğin bu Yapı $\text{Al}_{0,226}\text{Ga}_{0,254}\text{In}_{0,52}\text{As}$ Kuantum Kuyuları , $\text{Al}_{0,267}\text{Ga}_{0,253}\text{In}_{0,53}\text{As}$ bariyerler arasında % 0.07 lik bir boyuna zorlanmaya sahiptir .



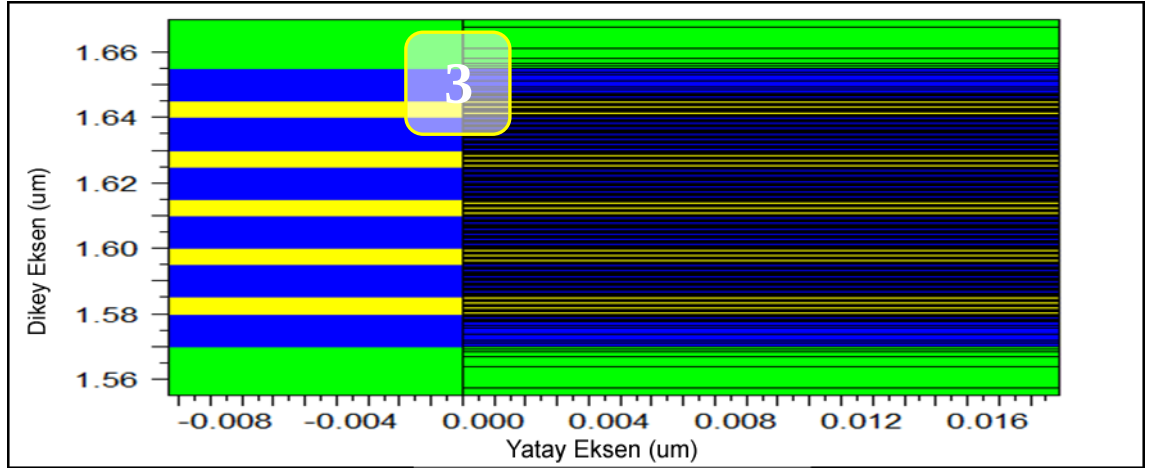
Şekil 3.3. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 1. Tip Yapı Mesh profili

Burada çerçeve içindeki 1 nolu bölgeye yakınlaşma yapılarak bu bölge hakkında gözlem yapma imkanı Şekil 3.4. de verilmiştir.



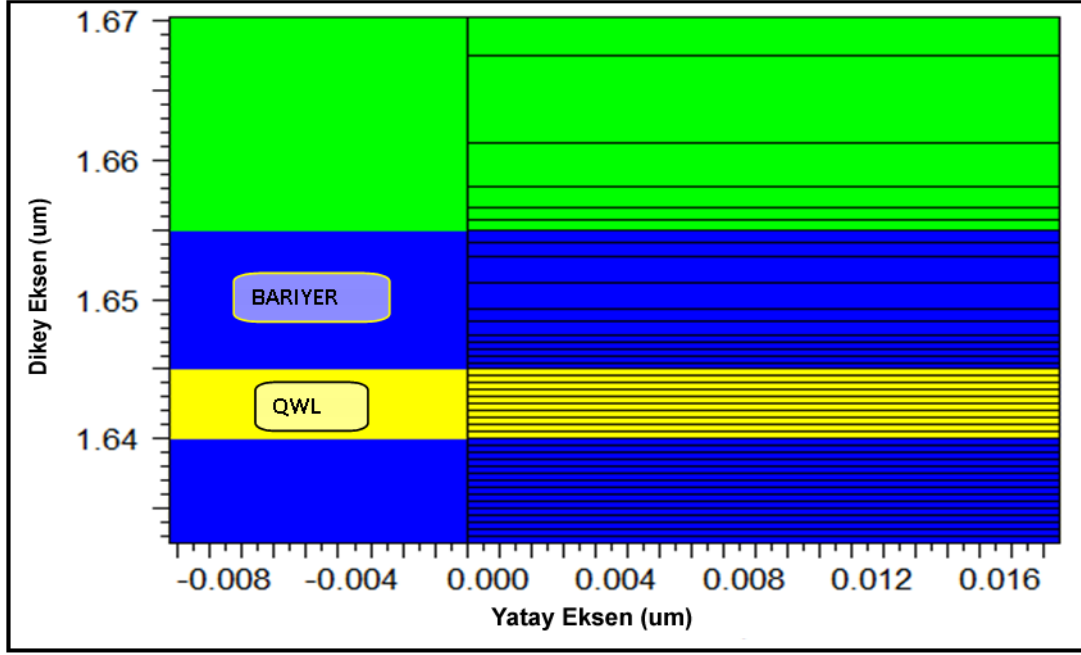
Şekil 3.4. Mesh profilinde 1 nolu bölgeye yaklaşma yapılması

Tekrar çerçeve içindeki 2 nolu bölgeye yaklaşma yapılarak bu bölge hakkında gözlem yapma imkanı Şekil 3.5 de verilmiştir.



Şekil 3.5. Mesh profilinde 2 nolu bölgeye yaklaşma yapılması

Şekil 3.5. de sol üst çerçeve içindeki 3 nolu bölgeye yaklaşma yapılarak bu bölge hakkında gözlem yapma imkanı Şekil 3.6 da verilmiştir. Burada yatay siyah ince çizgiler arasındaki orantı mavi (hapis – sınırlama bölgesi) bölgeden sarı (Kuantum Kuyu) bölgeye geçerken gittikçe daralarak oluşan zorlanmayı açıkça gösterir.

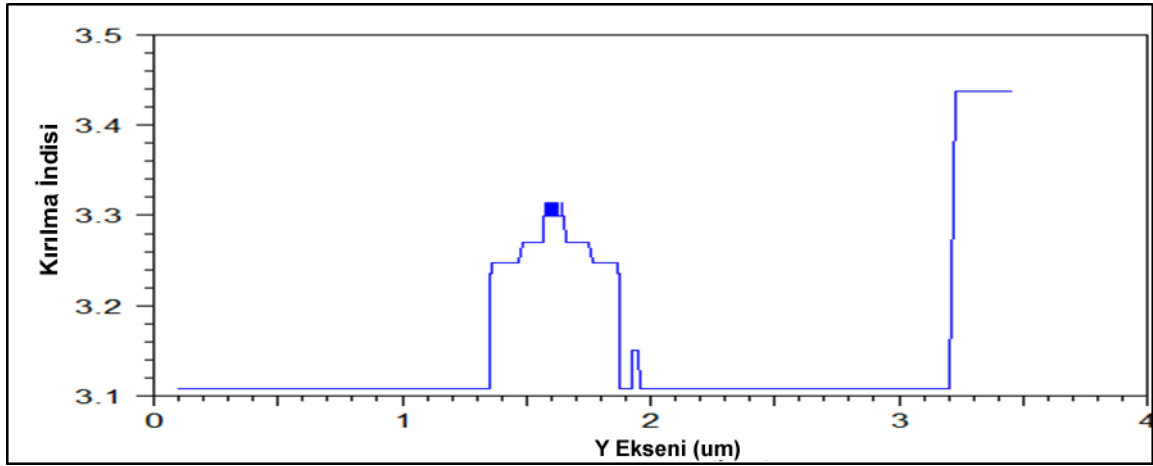


Şekil 3.6. Mesh profilinde 3 nolu bölgeye yaklaşma yapılması

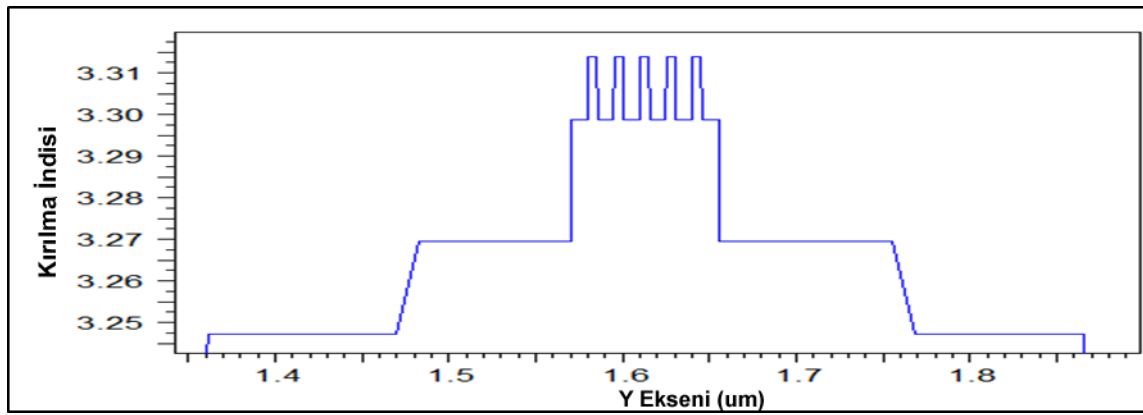
Mesh profilleri bundan sonraki tüm yapılarda bu kadar detaylı gösterilmeyip sadece en genel görünümü ile bir fikir vermek amacıyla Şekil 3.3 teki formatta verilecektir.

Ardından aygıtın **MOD CALCULATION** bölümünde Lazer yapının Mod Hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler izleyen bölümde Optik Mod Spektrumu olarak gösterilecektir.

Daha sonra **GENERATE PROFILE** bölümünden Lazer aygıtın bölge bölge (aktif bölge ,kuantum kuyu bölge,bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilmiştir. Burada Şekil 3.7 – 3.10 arasında bazı sonuçlar verilmiştir.

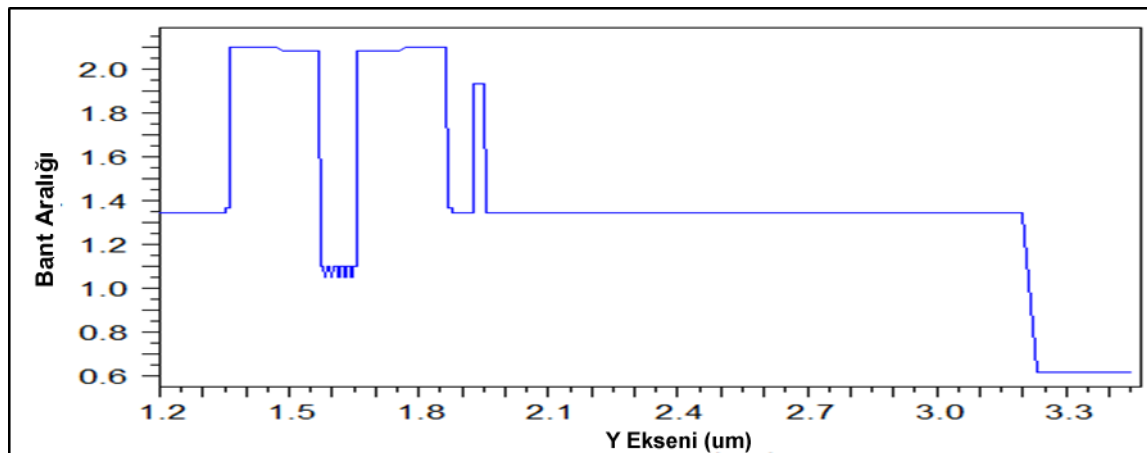


Şekil 3.7. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili

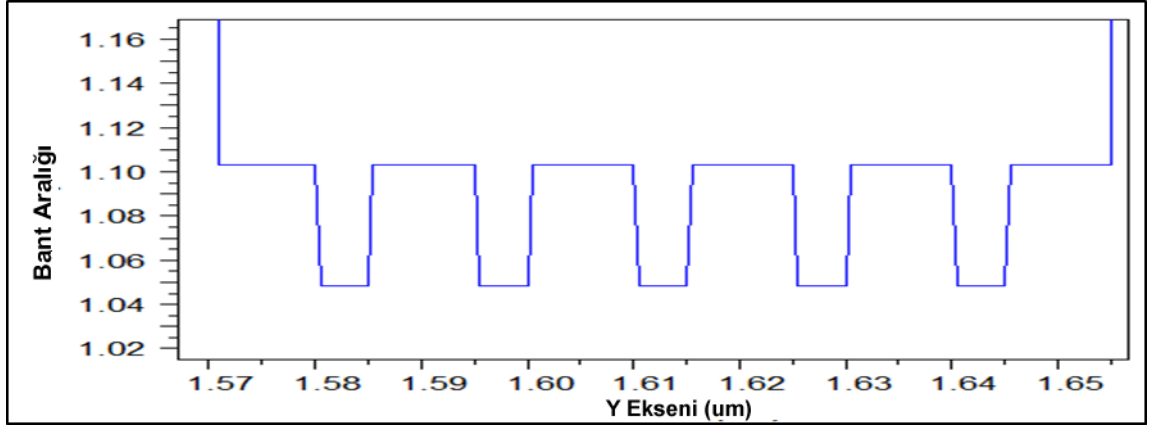


Şekil 3.8. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili (Kuyu Bölge)

Bu yapıda Şekil 3.8. de görüldüğü gibi kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler sırasıyla kuyu bölge ve bariyerler için 3.313 / 3.298 olup Çizelge 3.1. de indis değerleri tüm bölgeler için tek tek verilmiştir.

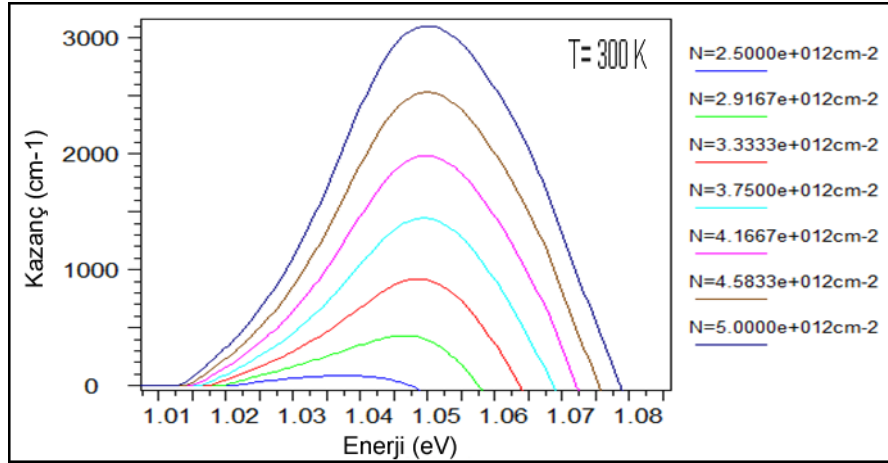


Şekil 3.9. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1. Tip Yapı Bant Aralığı Profili



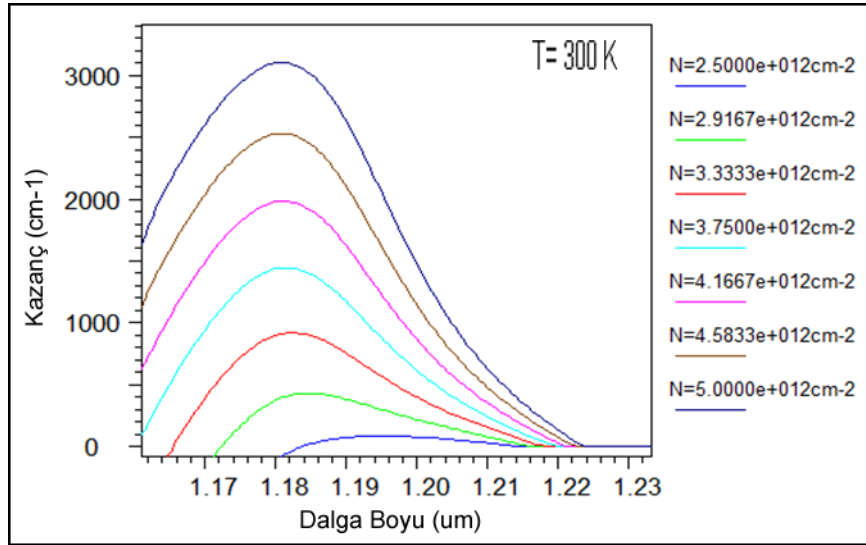
Şekil 3.10. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu)

Bu yapıda Şekil 3.9 ve 3.10. da görüldüğü gibi kuantum kuyusu bant enerjisi 1.04823 eV değerinde olup 1.10307 eV değerindeki bariyer band enerjisinden daha düşüktür. Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri , Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri , Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Bunlar aşağıda geniş bir şekilde yorumlanmıştır.



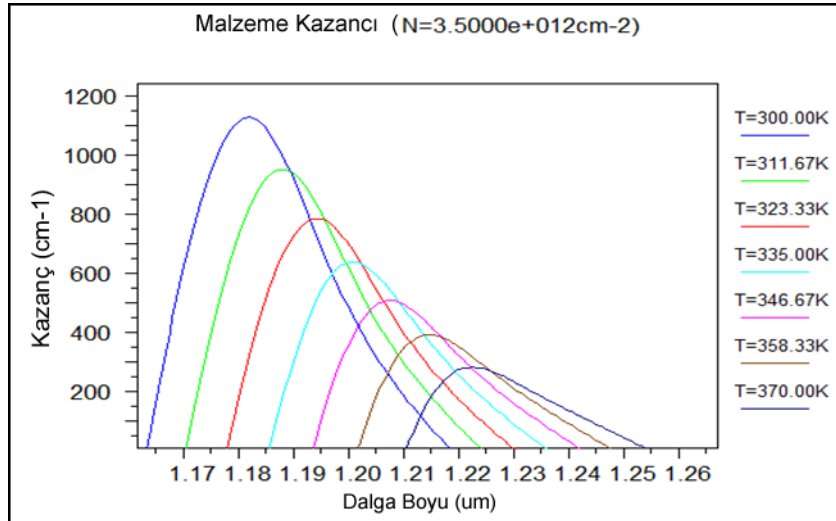
Şekil 3.11. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1

Bu Yapının ortam sıcaklığı 300 K derece olarak ayarlanmıştır. Şekil 3.11. de taşıyıcı yoğunlukları $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ile $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ arasında değiştirilerek malzeme kazancı incelenmiştir. Taşıyıcı yoğunluğu arttıkça malzeme kazancının arttığı gözlenmiştir. En yüksek malzeme kazancı $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde 3000 cm^{-1} civarında olmuştur.



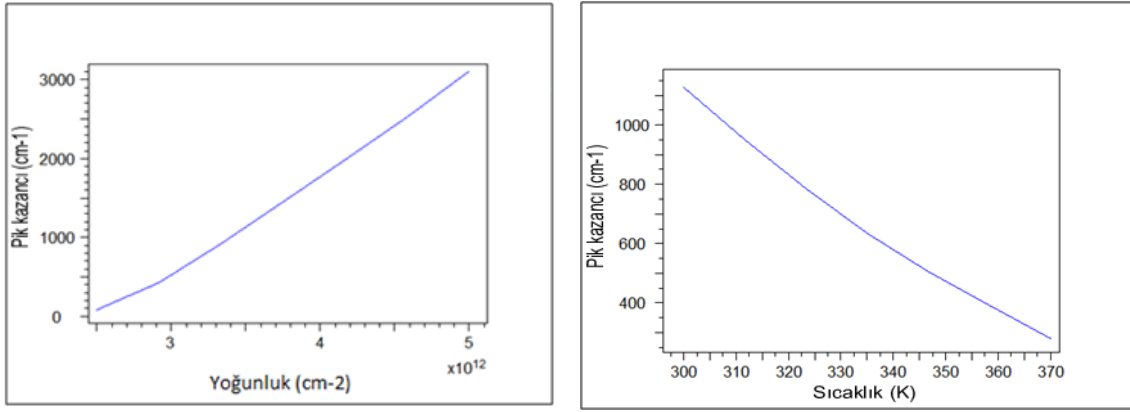
Şekil 3.12. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2

Şekil 3.12. de ortam sıcaklığı değiştirilmeden taşıyıcı yoğunluğu değiştirilerek lazerin dalga boyuna bakılmıştır. Bu durumda taşıyıcı yoğunluğu arttıkça dalga boyunda azalma (çok az bir değişim) ile birlikte kazancın yükseldiği gözlenmiştir. Lazer dalga boyu optimum değer olarak 1.18 μm civarındadır.



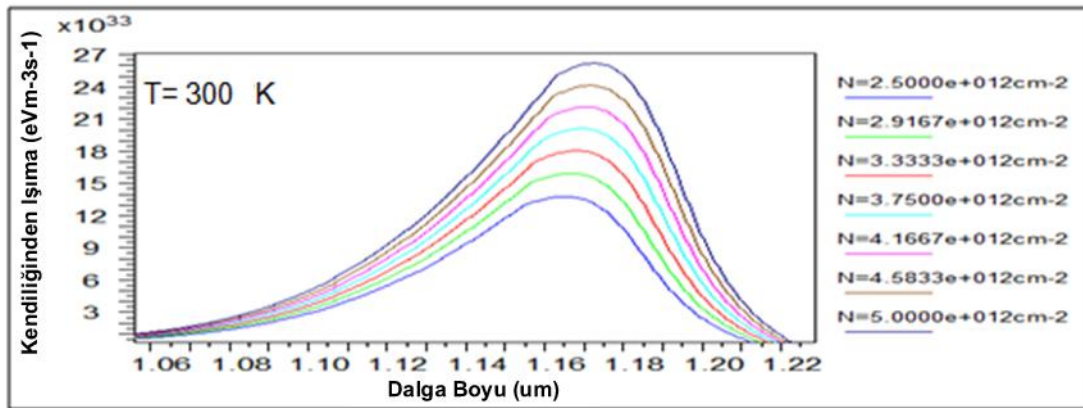
Şekil 3.13. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 3

Şekil 3.13. de bu Yapı optimum taşıyıcı yoğunluğu olarak alınan $3.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde sıcaklık ayarları değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Ortam sıcaklığı 300K den 370K dereceye kadar artarken dalga boyunun arttığı ve kazancın azaldığı görülmektedir. 300K de en yüksek kazanç ve en az dalga boyu elde edilmiştir.

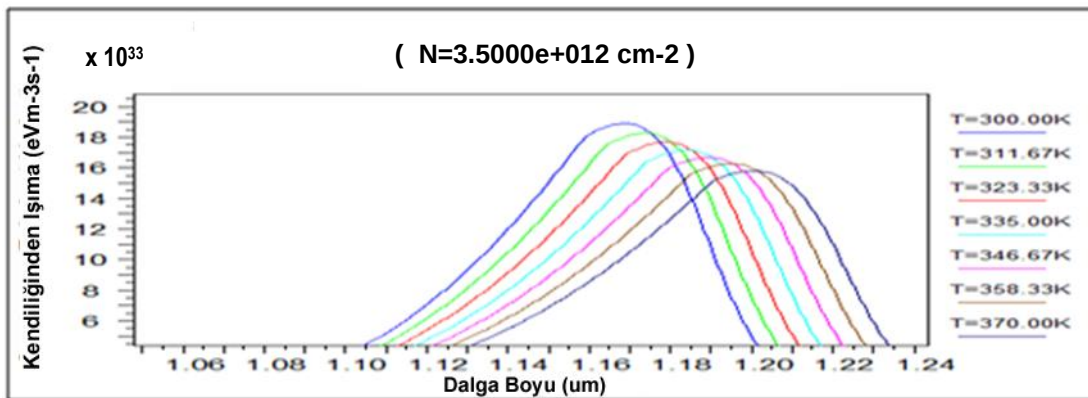


Şekil 3.14. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip Yapı Pik Kazanç Grafikleri

Şekil 3.14. de lazerin pik kazanç grafikleri yer almaktadır. Burada soldaki grafikte taşıyıcı yoğunluğuna göre malzeme kazancının giderek arttığı görülmektedir. Sağdaki grafikte ise sıcaklık arttırıldıkça malzeme kazancının azaldığı görülmektedir. Bölüm 4. de yapılan çalışmalar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.15. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 1



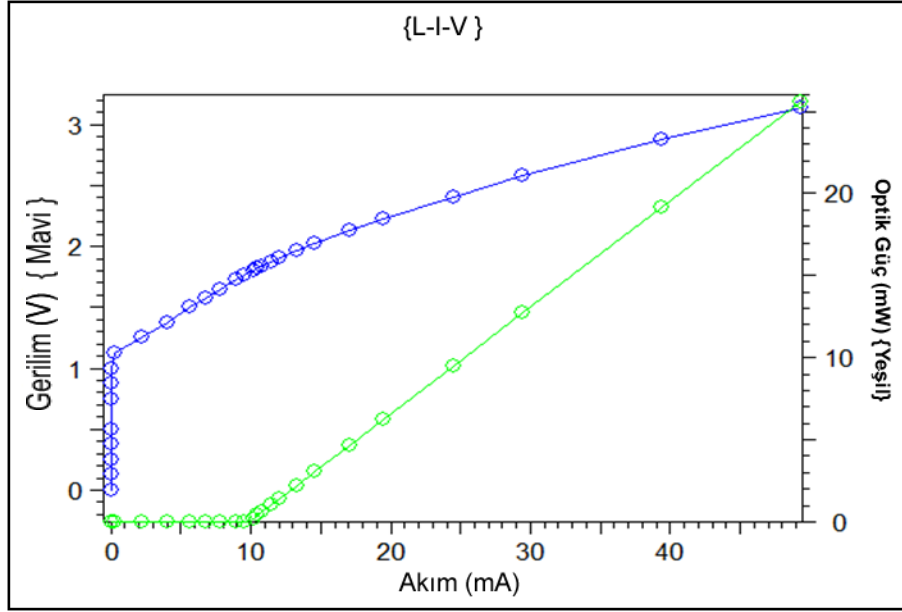
Şekil 3.16. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 2

Şekil 3.15. ve 3.16. da lazerin kendiliğinden ışıma grafikleri görülmektedir. Şekil 3.15. de ışıma değerinin sıcaklık 300K de iken taşıyıcı yoğunluğu arttıkça azaldığı görülmüştür. Şekil 3.16. da ise ışıma değerinin taşıyıcı yoğunluğu $3.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken sıcaklık arttıkça azaldığı görülmüştür. Sonraki aşamada **SIMULATE LASER** işlemi ile tasarlanan Lazer aygıtın { L-I-V } grafiği ve verileri üretilmiştir. Bias (başlangıç) akım ve voltajı denilen ön değerlerin ayarları bu bölümde **Bias Editor** kısmında işlenir. LaerMOD aygıtı lazer simülasyonunu girilen bu başlangıç değerlerine göre yapacaktır. Burada girilecek Voltaj ve Akım değerleri doğrudan Lazer çıkışını etkileyeceği için bu aşama Lazer için en önemli noktalardan birisidir. Bu yapıda kullanılan parametreler Çizelge 3.2. de aşağıda verilmiştir. Bias akım ve voltaj değerlerinin artışının Lazer çıkışına etkisi incelenmiştir. Bu şekilde aygıt çalıştırılınca üretilen L-I-V profillerinde görülmüştür ki Lazer gücü Bias akımı ve voltajı arttıkça artmaktadır. Bias artışları belli bir değerden fazla tutulmamalıdır. Bu durumda Lazer yapıda mekanik – termal bozulmalar meydana gelecektir. Bu tür optimizasyon işlemleri bu çalışmada ele alınmamıştır.

Çizelge 3.2. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu

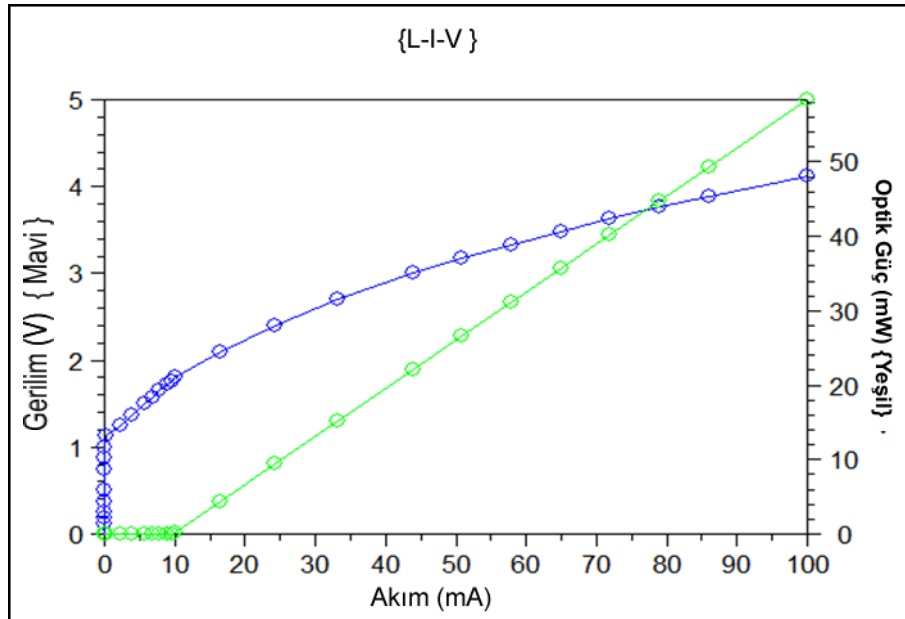
L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri
Bias 0	0 V	Bias 1	1 V	Bias 2	1.5 V
Bias 3	1.8 V	Bias 4	2 V	Bias 5	50 mA
Bias 6	100 mA				

Bias Editöründe Zamana Bağlı Simülasyon tercihi veya Kararlı Durum simülasyonu tercih yapılabilir. Bu tercihlerin Lazer çıkışına bir etkisi yoktur sadece farklı bir analiz (Optik Güç – Zaman tepki sonuçlarının üretilmesi gibi) yapma imkânı sağlar. *Bu çalışmada sadece kararlı durum simülasyonları yapılmıştır.*



Şekil 3.17. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı L-I-V Grafiği 1

Şekil 3.17 de görüleceği gibi verilen başlangıç değerleri ile 10 mA lik bir eşik akımından sonra lazer aktive olmuş ve lazerin çıkış gücü Bias 5 te belirtilen 50 mA lik başlangıç değerinde 26 mW civarında olmuştur . Bias 6 da verilen 100 mA lik başlangıç değerinde 26 mW civarında olmuştur . Şekil 3.18 de bu durum görülmektedir. Burada lazer çıkış gücünün 58 mW civarında olduğu görülmektedir. Bu durumda LaserMOD tarafından kararlığı koruma için Bias voltaj değerinin 2 V' un üzerine çıkarıldığı görülmektedir.

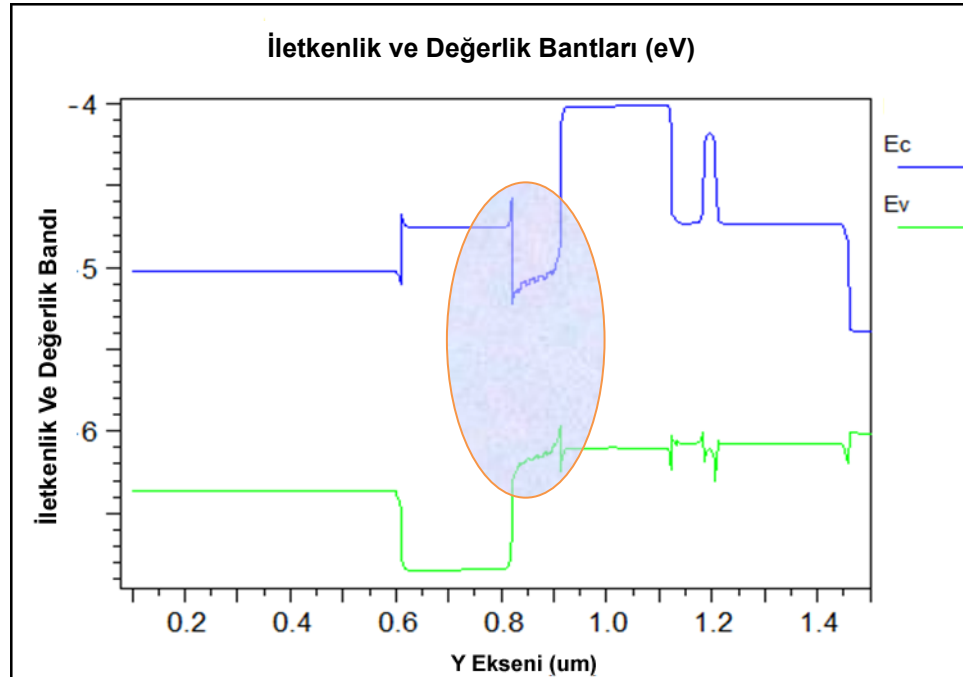


Şekil 3.18. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı L-I-V Grafiği 2

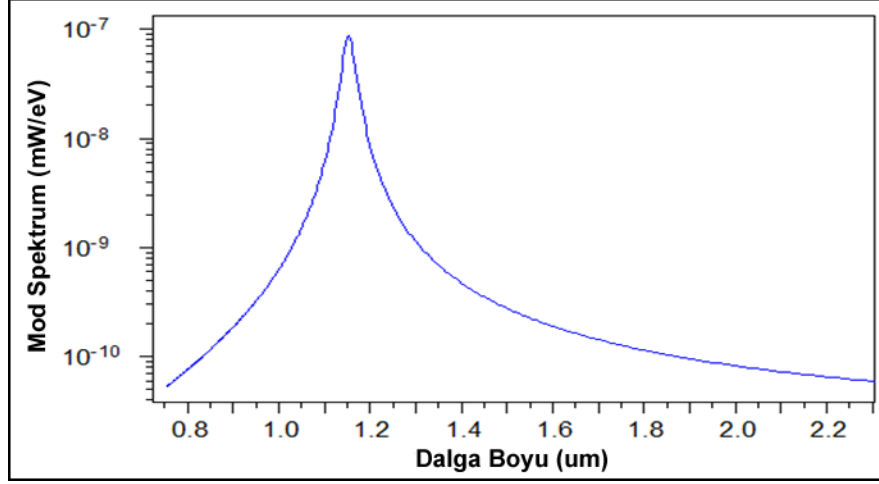
Bu aygıtta elde edilen sonuçlar Bölüm 4. de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Simulate lazer süreci tasarlanan lazerle ilgili ürettiği verileri bilgisayarda bir dizine depolar. Bu veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılmaktadır. Böylece LaserMOD aygıtı kullanılarak birtakım analizler yapılabilmektedir. Bunlar Yakın Alan , Uzak Alan , Enerji Bant , Akım – Voltaj , Optik Spektrum, Güç- Akım, vb. analizlerdir. Bu çalışmanın hacmi sınırlı olduğundan bunlardan bazıları analiz edilmiş ve teze konulmuştur.

Şekil 3.19. da bu Yapının iletkenlik ve yalıtkanlık bant profili verilmiştir. Burada Kuantum Kuyu Bölgesi oval bir pencere ile dikkate sunulmuştur. E_c iletkenlik(C), E_v ise değerlik(V) bandı enerji durumlarını ifade etmektedir.

Şekil 3.20. de bu Yapı Mod Spektrumu – Dalga Boyu grafiği verilmiştir. Sıcaklık 300 K ve taşıyıcı yoğunluğu $3.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken bu lazerde 1.18 μm dalga boyu civarında Pik gözlenmiştir. Bu grafikte Lazerin Optik Spektrumuna bir bakış sağlanmıştır.



Şekil 3.19. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1. Tip Yapı (C - V) Bant Profili



Şekil 3.20. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı Optik Spektrum Profili

Böylece { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 1.Tip Yapı da 10 mA eşik akımında 26 mW civarında Lazer çıkışı elde edilmiştir. Bu lazerin en yüksek pik değeri 1.18 μm dalga boyu civarında olup, lazer malzeme kompozisyonlarında yapılabilecek lokal değişikliklerle bu sonuçlar optimize edilebilir. Yapılan bir çok denemelerden sonra en uygun olanlar buraya alınmıştır.

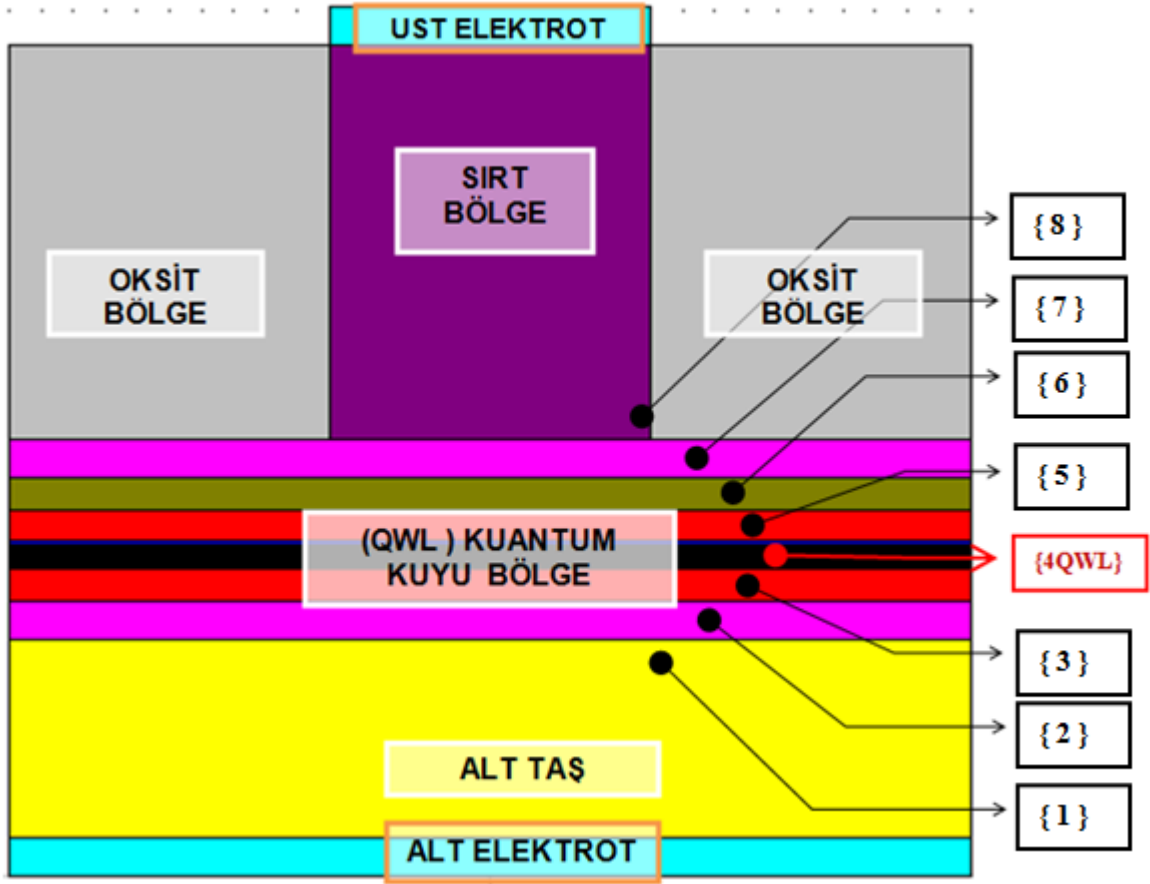
3.1.2. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot Ridge tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [99]. Bu yapının simülasyon planı **Şekil 3.2.** de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir.. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 1 μm olarak tasarlanmıştır Burada alt taş olarak InP kullanılmıştır. Alt taş 500 nm kalınlığındaki olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.108 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak **Çizelge 3.3.** ve **Şekil 3.21.** de gösterilmiştir. Bu Yapı izleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları **Çizelge 3.3.** de verilmiştir. Bundan sonra alt taş üzerine 100 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı { 2. Bölge } $\text{Ga}_{0,829} \text{In}_{0,171} \text{As}_{0,374} \text{P}_{0,626}$ yükseltilmiş hapis bölgesi büyütülmüştür. Bunu 80 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı { 3.

Bölge } $\text{Al}_{0,79} \text{Ga}_{0,21} \text{As}$ kaplama izlemektedir. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.379 kırılma indisine sahip 5 adet $\text{Al}_{0,146} \text{Ga}_{0,166} \text{In}_{0,687} \text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 7 adet (beşi 5nm kalınlıkta Bariyer ve ikisi 8.5nm iç sınırlama bariyerleri (SCH)) 3.298 kırılma indisli $\text{Al}_{0,232} \text{Ga}_{0,306} \text{In}_{0,461} \text{As}$ bariyer malzeme arasında % 1.53 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir {4. Bölge }. Kuantum kuyu bölge Şekil 2 de kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İlerleyen bölge 80 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 5. Bölge } $\text{Al}_{0,79} \text{Ga}_{0,21} \text{As}$ kaplamadır. Bunun üzerine 80 nm kalınlıklı $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 6. Bölge } InP malzeme ara – bölge olarak büyütülmüştür. Ardından 100 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 7. Bölge } $\text{Ga}_{0,829} \text{In}_{0,171} \text{As}_{0,374} \text{P}_{0,626}$ yükseltilmiş hapis bölgesi büyütülmüştür. Bu malzeme sırt bölgeye geçiş kısmı olarak büyütülmüş olup bunun üzerine “Sırt Yapı” büyütülecektir. Sırt yapı Şekil 3.2. de iki Oksit tabakası arasında bir ara kesit ile gösterilmiştir. Bunun üzerine son olarak izleyen bölgede 1000nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı $\text{Al}_{0,79} \text{Ga}_{0,21} \text{As}$ { 8. Bölge } kaplama bölgesi büyütülerek { $\text{AlGaInAs} / \text{AlGaInAs} / \text{InP}$ } 2. Tip Lazer yapısı tamamlanmıştır.

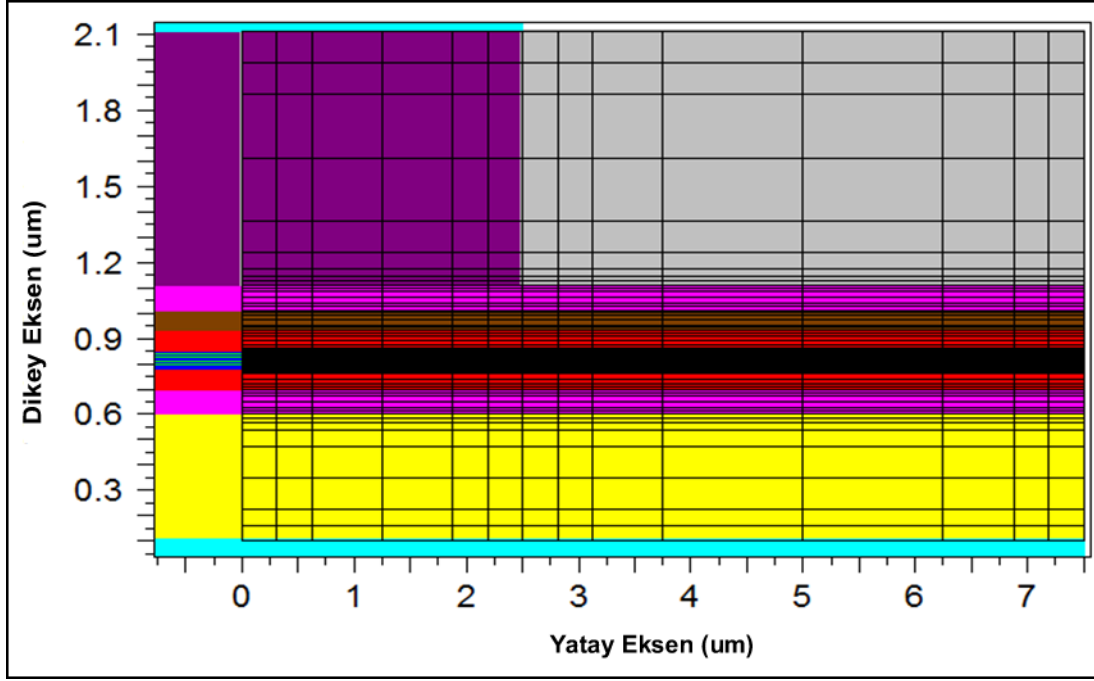
Çizelge 3.3. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n-InP (alttaş)	500 / 5	3.108
2.	n- $\text{Ga}_{0,829} \text{In}_{0,171} \text{As}_{0,374} \text{P}_{0,626}$	100 / 5	3.149
3.	n- $\text{Al}_{0,79} \text{Ga}_{0,21} \text{As}$	80 / 5	3.269
4.	(QWL) $\text{Al}_{0,146} \text{Ga}_{0,166} \text{In}_{0,687} \text{As}$ (BAR) $\text{Al}_{0,232} \text{Ga}_{0,306} \text{In}_{0,461} \text{As}$ 6 qwl- 7 bariyer	5 - 5 - 8.5(SCH) / katkısız	3.379 / 3.298
5.	p- $\text{Al}_{0,79} \text{Ga}_{0,21} \text{As}$	80 / 5	3.269
6.	p- InP	80 / 5	3.108
7.	p- $\text{Ga}_{0,829} \text{In}_{0,171} \text{As}_{0,374} \text{P}_{0,626}$	100 / 5	3.149
8.	p- $\text{Al}_{0,79} \text{Ga}_{0,21} \text{As}$ sırt	1000 / 5	3.269



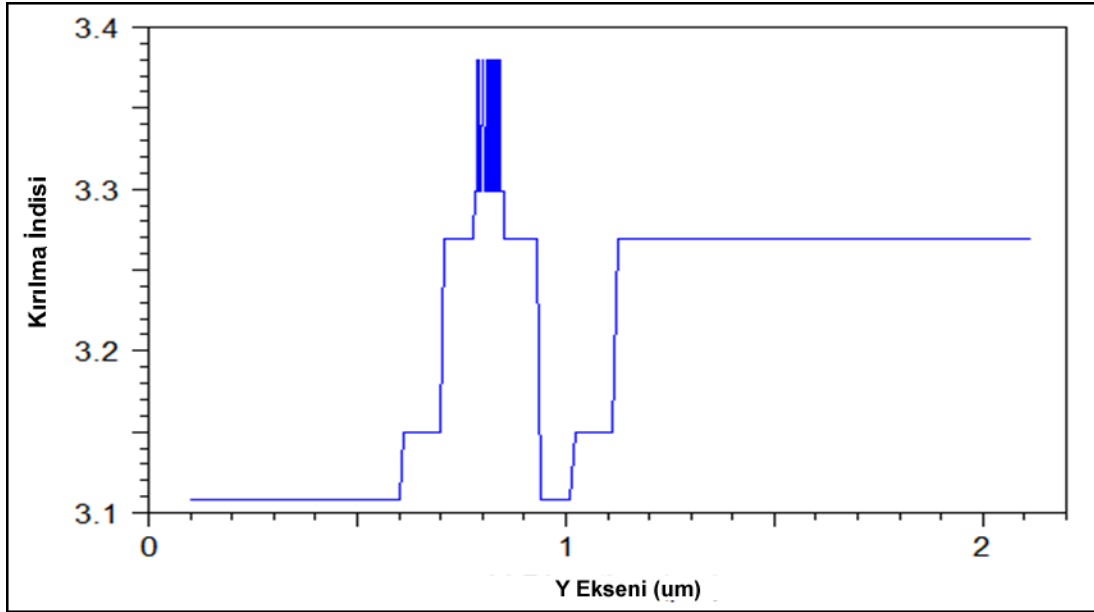
Şekil 3.21. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2. Tip Yapı Laser Profili

Tüm bu işlemlerden sonra LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu Yapı $\text{Al}_{0,146}\text{Ga}_{0,166}\text{In}_{0,687}\text{As}$ Kuantum Kuyuları $\text{Al}_{0,232}\text{Ga}_{0,306}\text{In}_{0,461}\text{As}$ bariyerler arasında % 1.53 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir .Şekil 3.22 de LaserMOD aygıtıyla oluşturulan Mesh profili görülmektedir. Ardından aygıtın **MOD CALCULATION** bölümünde Lazer yapının Mod Hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler izleyen bölümde Optik Mod Spektrumu olarak gösterilecektir. Daha sonra **GENERATE PROFILE** bölümünden Lazer aygıtın bölge bölge (aktif bölge ,kuantum kuyu bölge,bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilmiştir.

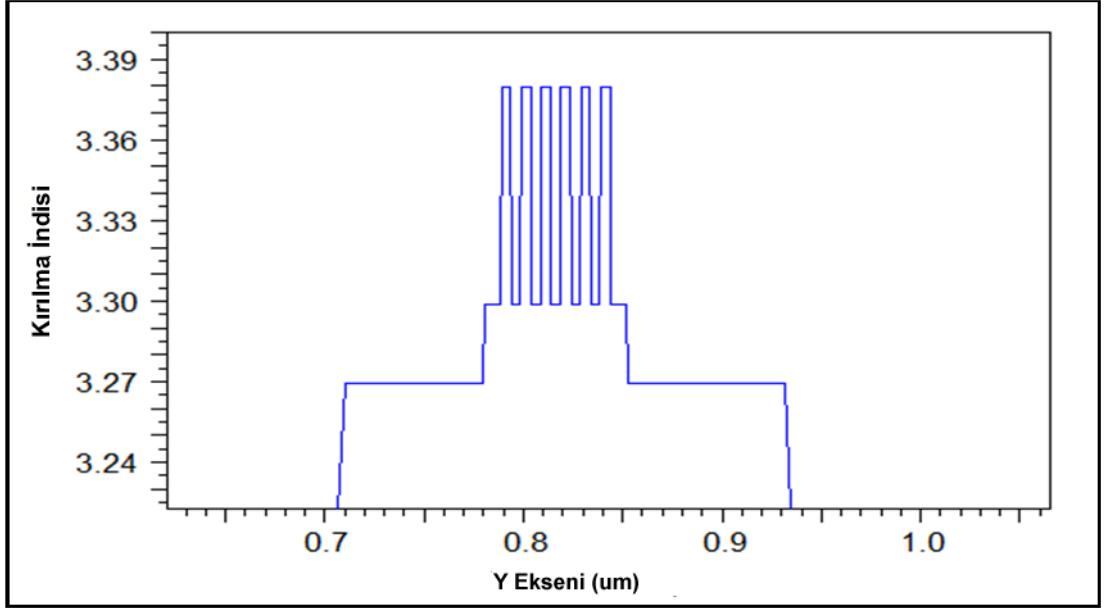


Şekil 3.22. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 2. Tip Yapı Mesh profili

Aşağıda Şekil 3.23 – 3.26 arasında bazı analiz sonuçları verilmiştir.

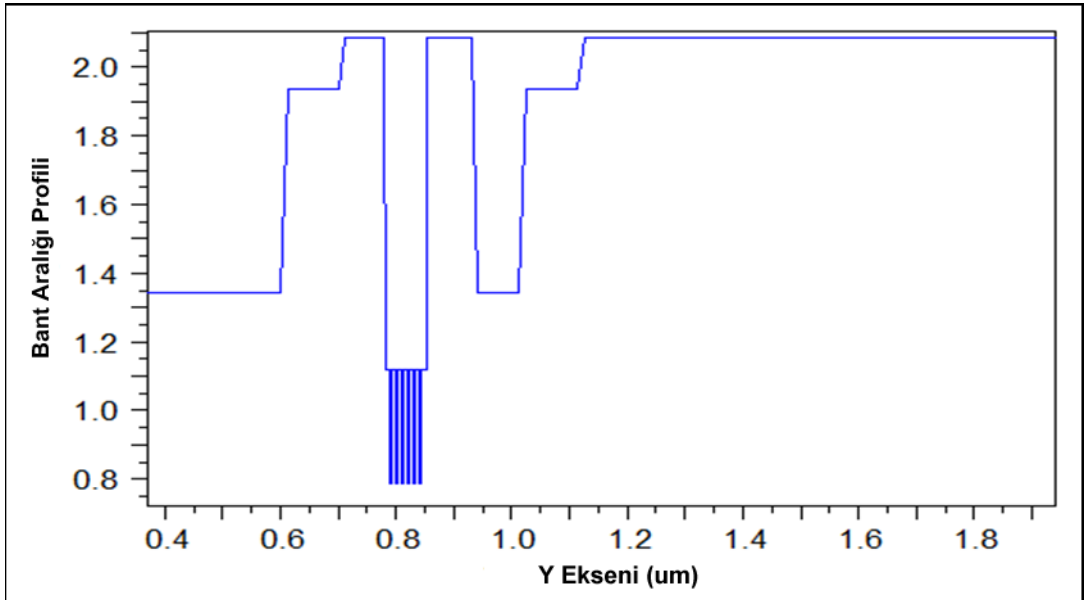


Şekil 3.23. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili

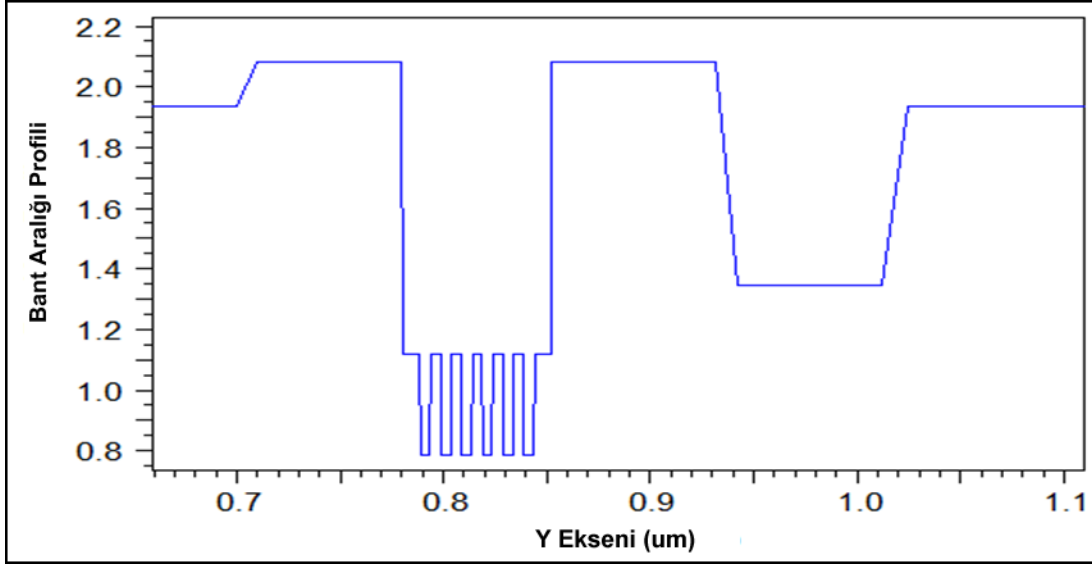


Şekil 3.24. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Kırılma İndisi Profili (Kuyu B.)

Bu yapıda Şekil 3.24 de görüldüğü gibi kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler sırasıyla kuyu bölge ve bariyerler için 3.379 / 3.298 olup Çizelge 3.3 de indis değerleri tüm bölgeler için tek tek verilmiştir.

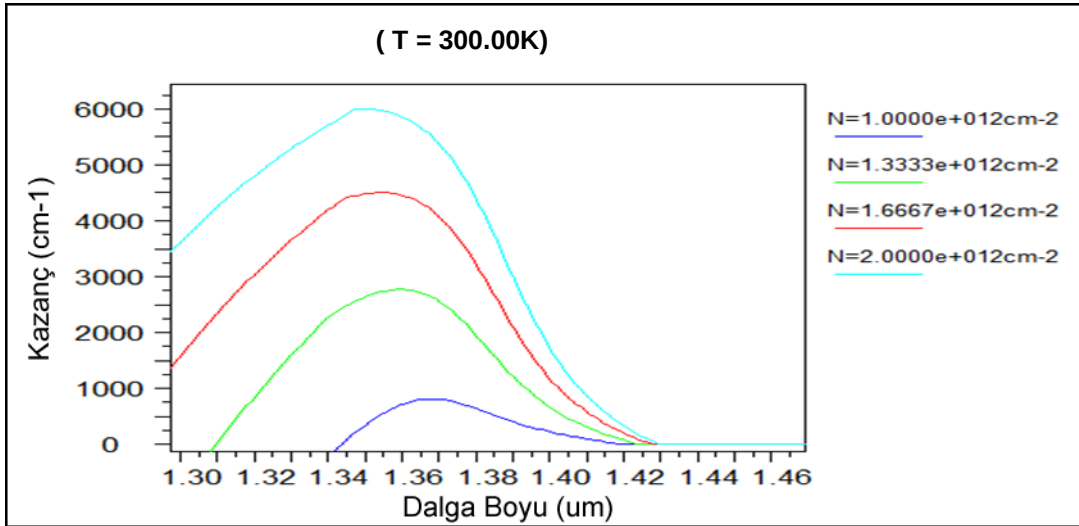


Şekil 3.25. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Bant Aralığı Profili



Şekil 3.26. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu)

Bu yapıda Şekil 3.25 ve 3.26 da görüldüğü gibi kuantum kuyusu bant enerjisi 0.78746 eV değerinde olup 1.11856 eV değerindeki bariyer band enerjisinden daha düşüktür. Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri , Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri , Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Bunlar aşağıda geniş bir şekilde yorumlanmıştır.

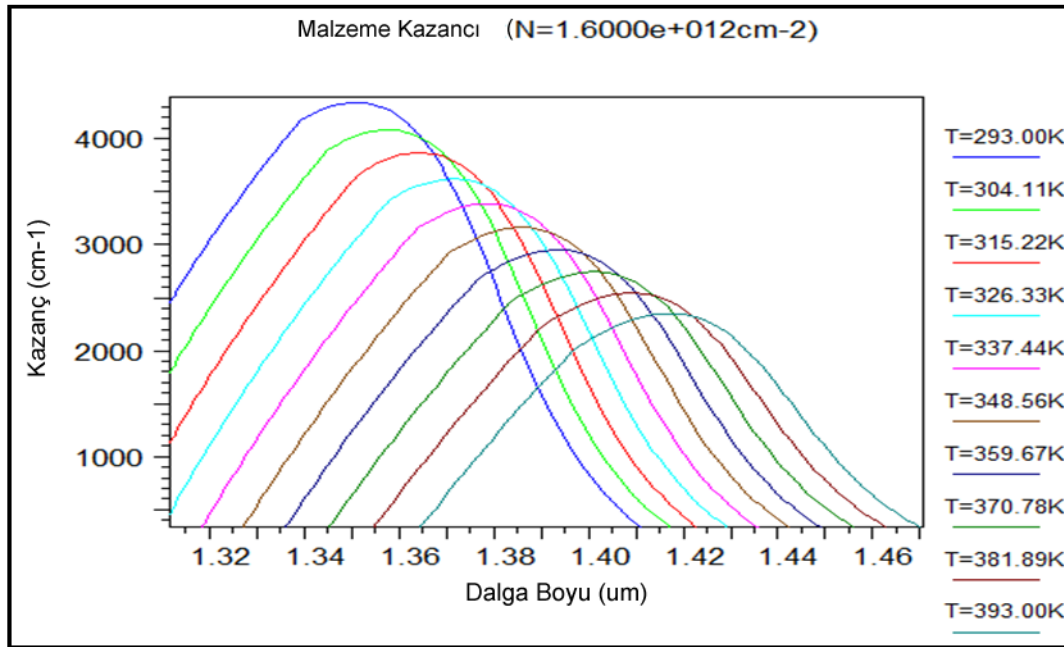


Şekil 3.27. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1

Bu Yapı ortam sıcaklığı 300 K derece olarak ayarlanmıştır. Şekil 3.27 de taşıyıcı yoğunlukları $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ile $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ arasında değiştirilerek malzeme

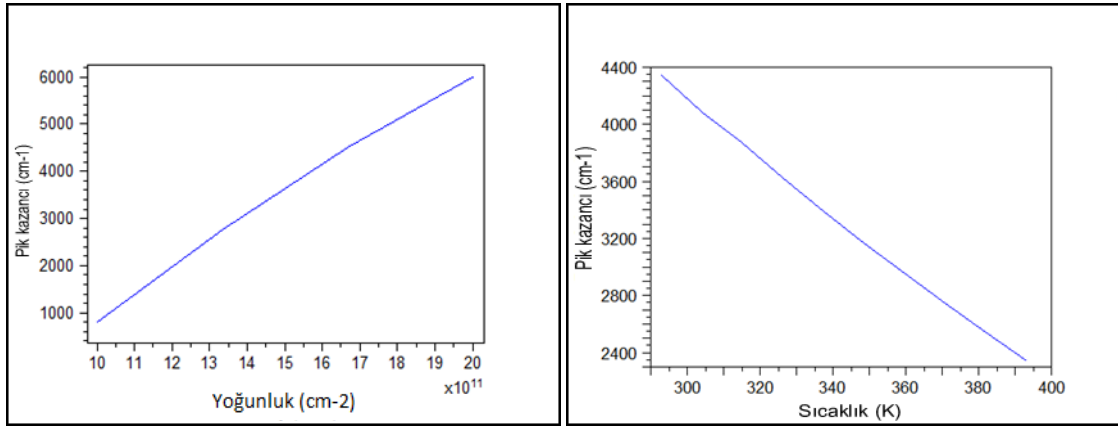
kazancı incelenmiştir. Taşıyıcı yoğunluğu arttıkça malzeme kazancının arttığı gözlenmiştir. En yüksek malzeme kazancı taşıyıcı yoğunluğu $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken 6000 cm^{-1} civarında olmuştur. Malzeme kazancının taşıyıcı yoğunluğu arttıkça yükseldiği gözlenmiştir.

Şekil 3.28 de bu Yapı optimum taşıyıcı yoğunluğu olarak öngörülen $1.6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde sıcaklık ayarları değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Ortam sıcaklığı 293 K den 393 K dereceye kadar artarken dalga boyunun ve kazancın azaldığı görülmektedir. 293 K de en yüksek kazanç ve en az dalga boyu elde edilmiştir. Bu malzeme kazanç değerinin 4500 cm^{-1} civarında olduğu görülmektedir.



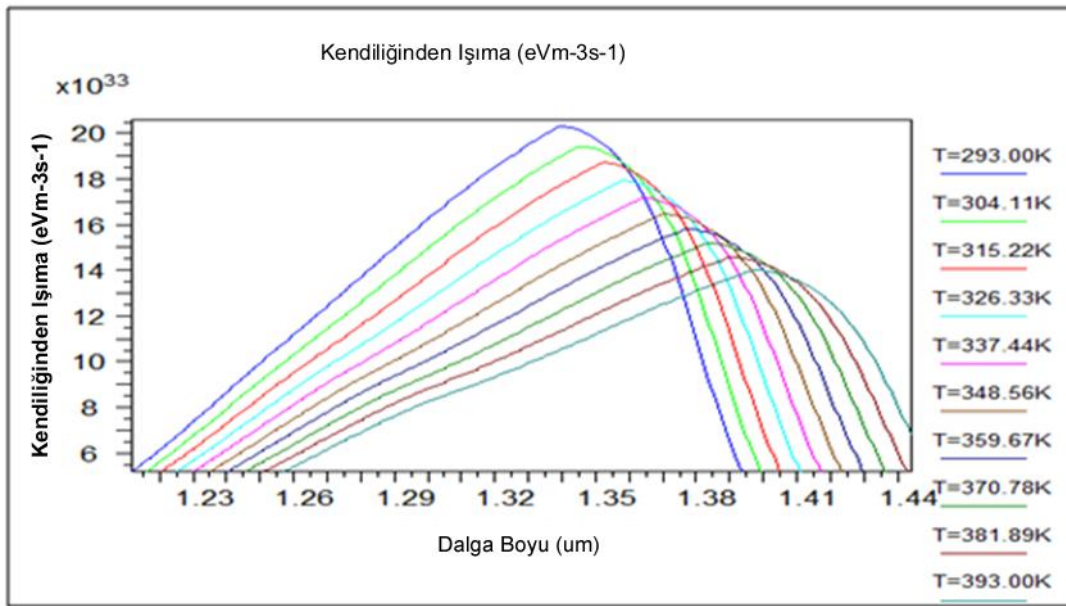
Şekil 3.28. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2

Yukarıda Şekil 3.27 ve 3.28 den görüleceği gibi lazer dalga boyu optimum değer olarak 1.35 µm civarındadır. Bu çalışmalar Bölüm 4. de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



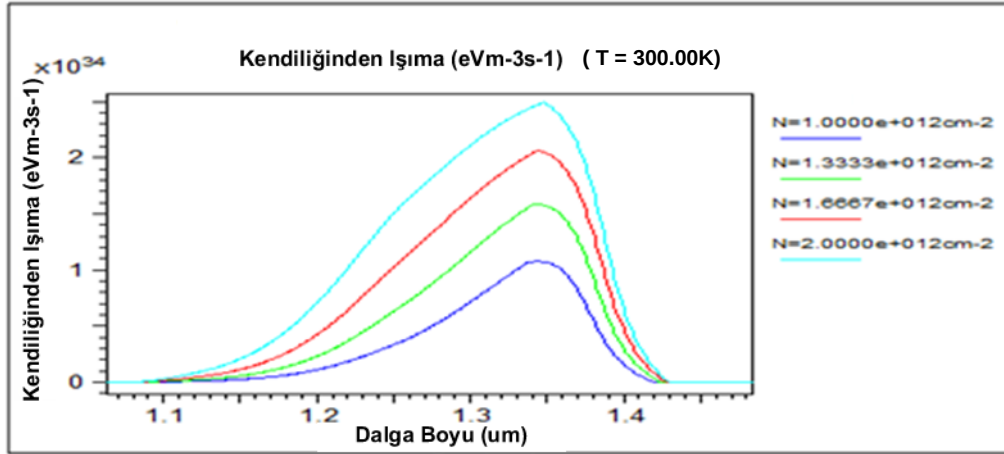
Şekil 3.29. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip Yapı Pik Kazanç Grafikleri

Şekil 3.29 da lazerin pik kazanç grafikleri yer almaktadır. Burada soldaki grafikte taşıyıcı yoğunluğuna göre malzeme kazancının giderek arttığı görülmektedir. Sağdaki grafikte de sıcaklık artırılınca malzeme kazancının azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.30. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 1

Şekil 3.30 - 3.31 de lazerin kendiliğinden ışıma grafikleri görülmektedir. Şekil 3.30 da taşıyıcı yoğunluğu $1.6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken ışıma değerinin sıcaklık arttıkça (293 K – 393 K aralığında) azaldığı görülmüştür. Bununla beraber bu aralıkta dalga boyundaki artışta göze çarpmaktadır. Şekil 3.31 de ise ortam sıcaklığı 300 K de sabit tutulurken taşıyıcı yoğunluğu artırıldıkça ($1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ile $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ aralığında) ışıma değerinin arttığı gözlenmiştir.



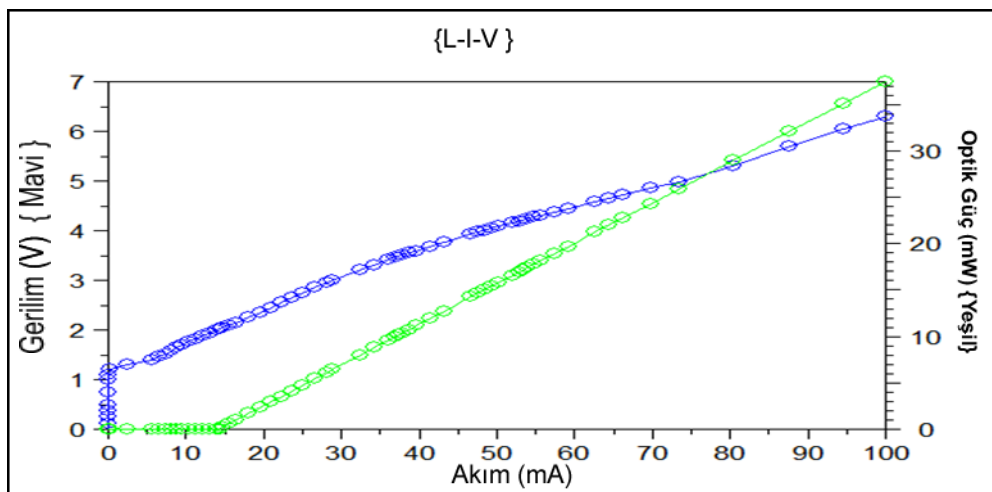
Şekil 3.31. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği 2

Bir sonraki aşamada **SIMULATE LASER** işlemi ile tasarlanan Lazer aygıtın { L-I-V } grafiği ve verileri üretilmiştir. Bu yapıda kullanılan parametreler Çizelge 3.4 de aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.4. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu

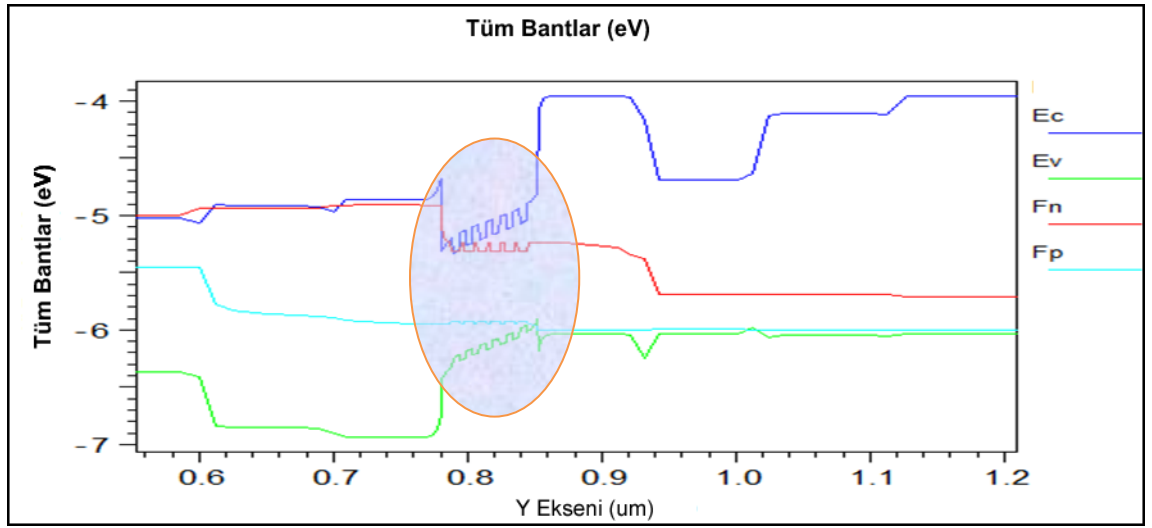
L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri
Bias 0	0 V	Bias 1	1 V	Bias 2	1.4 V
Bias 3	2 V	Bias 4	3 V	Bias 5	100 mA

Şekil 3.32 de görüleceği gibi verilen başlangıç değerleri ile 15 mA civarında bir eşik akımından sonra lazer aktive olmuş ve lazerin çıkış gücü Bias 5 te belirtilen 100 mA lik başlangıç değerinde 37 mW civarında olmuştur . Bu aygıtta elde edilen sonuçlar. Bölüm 4. de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

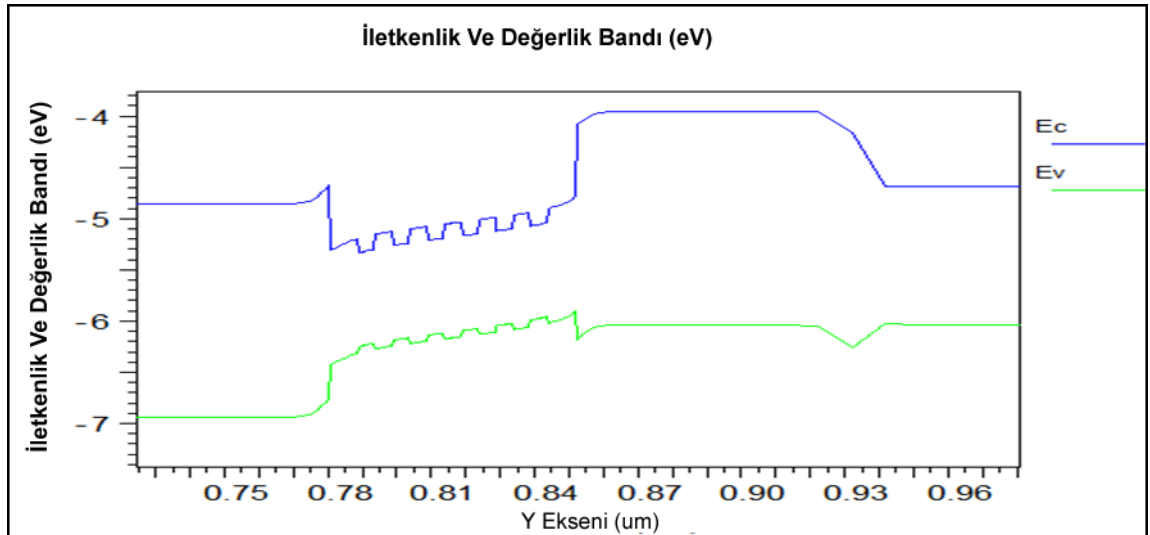


Şekil 3.32. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı L-I-V Grafiği

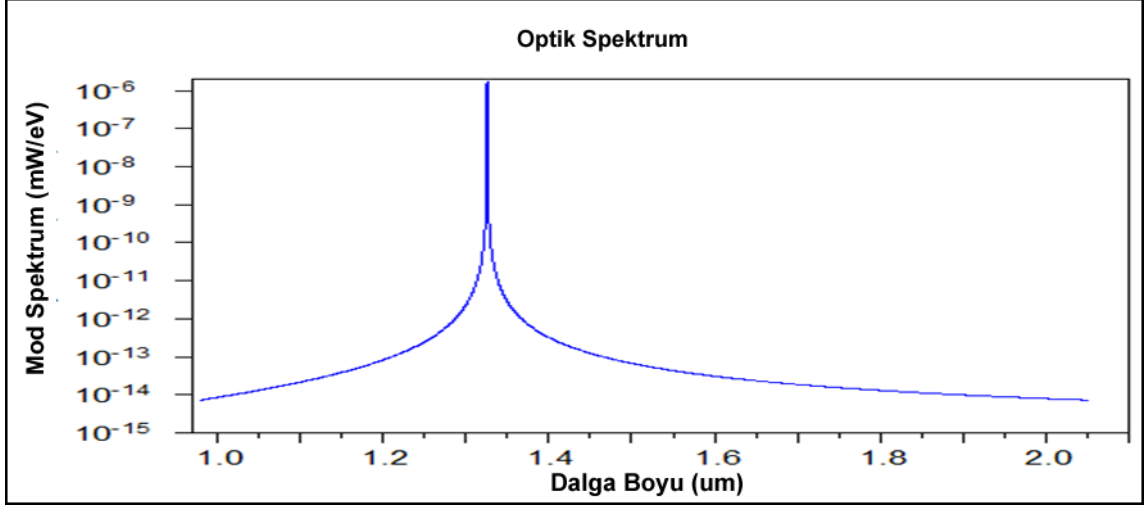
SIMULATE LASER sürecinde lazerle ilgili üretilen veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılarak birtakım analizler yapılmış ve bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.33 de bu Yapı Tüm Bant ların profili verilmiştir. Elektron (Fn) ve (Hole) deşiklerin (Fp) bant profilleri de bu grafikte verilmiştir. Burada Kuantum Kuyu Bölgesi oval bir pencere ile dikkate sunulmuştur. Bu bölgeye Şekil 3.34 de (C - V) bant profili olarak yaklaşma yapılmıştır. Şekil 3.35 de bu Yapı Mod Spektrumu – Dalga Boyu grafiği verilmiştir. Sıcaklık 300 K ve taşıyıcı yoğunluğu $1.6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken bu lazerde 1.35 μm dalga boyu civarında Pik gözlenmiştir. Bu grafikte Lazerin Optik Spektrumuna bir bakış sağlanmıştır.



Şekil 3.33. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı için Tüm Bant Profili



Şekil 3.34. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı (C - V) Bant Profili



Şekil 3.35. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı Optik Spektrum Profili

Böylece { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 2.Tip Yapı da 15 mA eşik akımında 37 mW civarında Lazer çıkışı elde edilmiştir. Bu lazerin en yüksek pik değeri 1.35 μm dalga boyu civarında olup, lazer malzeme kompozisyonlarında yapılabilecek lokal değişikliklerle bu sonuçlar optimize edilebilir. Yapılan bir çok denemelerden sonra en uygun olanlar buraya alınmıştır.

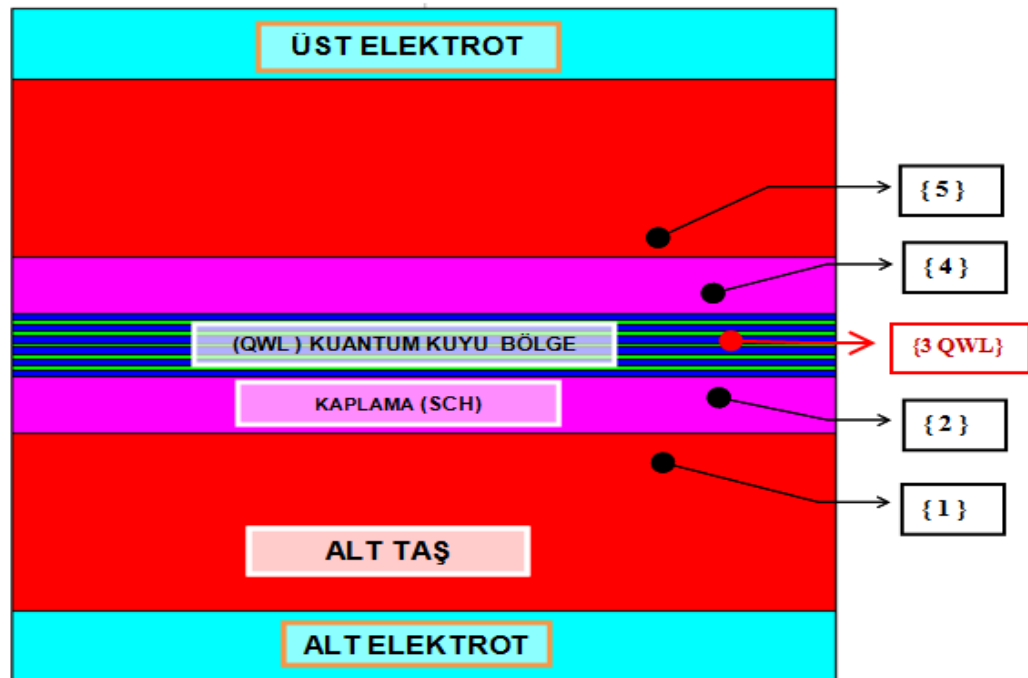
3.1.3. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken şu aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı **Şekil 3.37** de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [107]. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Burada alt taş olarak GaAs kullanılmıştır. Alt taş 250 nm kalınlığındaki olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.300 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak **Çizelge 3.5** ve **Şekil 3.36** da gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları **Çizelge 3.5** de verilmiştir. Bundan sonra alt taş üzerine 80 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı { 2. Bölge } $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15} \text{As}$ kaplama bölgesi büyütülmüştür. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı

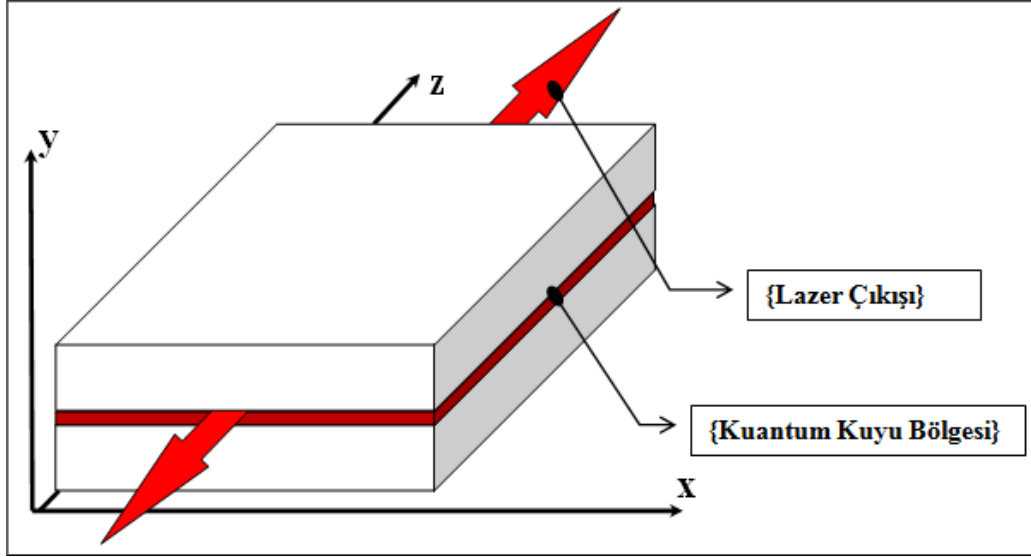
3.379 kırılma indisine sahip 5 adet $\text{Al}_{0,146}\text{Ga}_{0,166}\text{In}_{0,687}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 7 adet 3.298 kırılma indisli $\text{Al}_{0,232}\text{Ga}_{0,306}\text{In}_{0,461}\text{As}$ bariyer arasında % 1.53 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir {3. Bölge}. Kuantum kuyu bölge şekil 3 'de kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İlerleyen bölge 80 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 4. Bölge } $\text{Al}_{0,85}\text{Ga}_{0,15}\text{As}$ kaplamadır. Son olarak 250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı GaAs { 5. Bölge } kontak–kaplama büyütülerek {AlGaInAs /AlGaInAs /GaAs} 3. Tip Lazer yapısı tamamlanmıştır.

Çizelge 3.5. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n- GaAs (alttaş)	250 / 5	3,300
2.	n- $\text{Al}_{0,85}\text{Ga}_{0,15}\text{As}$	80 / 5	3,235
3.	(QWL) $\text{Al}_{0,146}\text{Ga}_{0,166}\text{In}_{0,687}\text{As}$ (BAR) $\text{Al}_{0,232}\text{Ga}_{0,306}\text{In}_{0,461}\text{As}$ 5 qwl- 7 bariyer	5 - 10 / katkısız	3.379 / 3.298
4.	p- $\text{Al}_{0,85}\text{Ga}_{0,15}\text{As}$	80 / 5	3,235
5.	p- GaAs	250 / 5	3,300

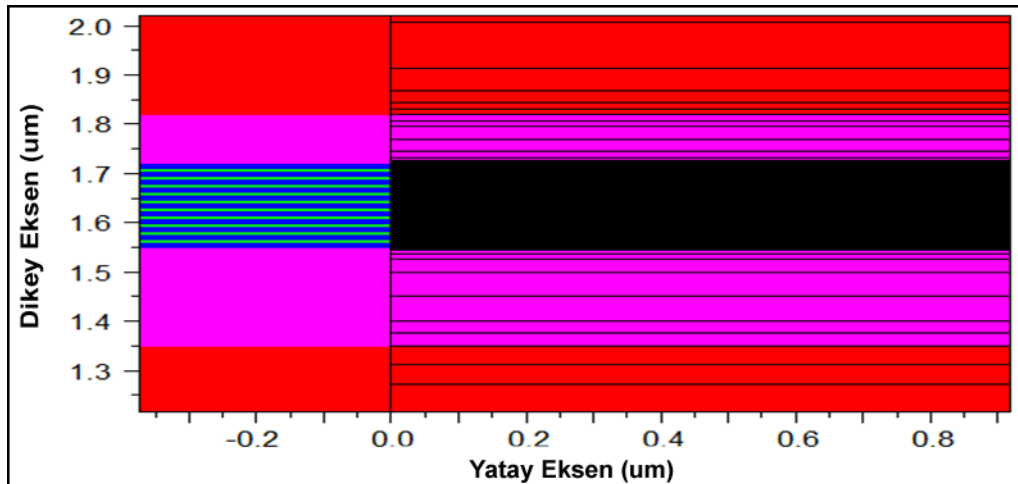


Şekil 3.36. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı Lazer Profili



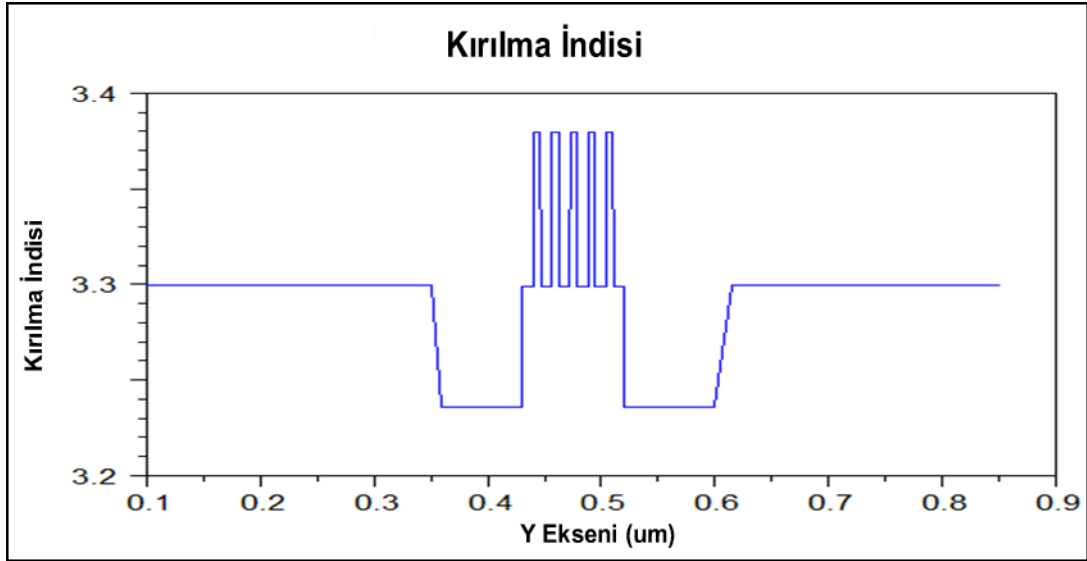
Şekil 3.37. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı { F P } simülasyon planı

Tüm bu işlemlerden sonra LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu Yapı $\text{Al}_{0,146}\text{Ga}_{0,166}\text{In}_{0,687}\text{As}$ Kuantum Kuyuları $\text{Al}_{0,232}\text{Ga}_{0,306}\text{In}_{0,461}\text{As}$ bariyerler arasında % 1.53 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir .Şekil 3.38 de LaserMOD aygıtıyla oluşturulan Mesh profili görülmektedir. Ardından aygıtın **MOD CALCULATION** bölümünde Lazer yapının Mod Hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra **GENERATE PROFILE** bölümünden Lazer aygıtın bölge bölge (aktif bölge ,kuantum kuyu bölge,bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilmiştir.



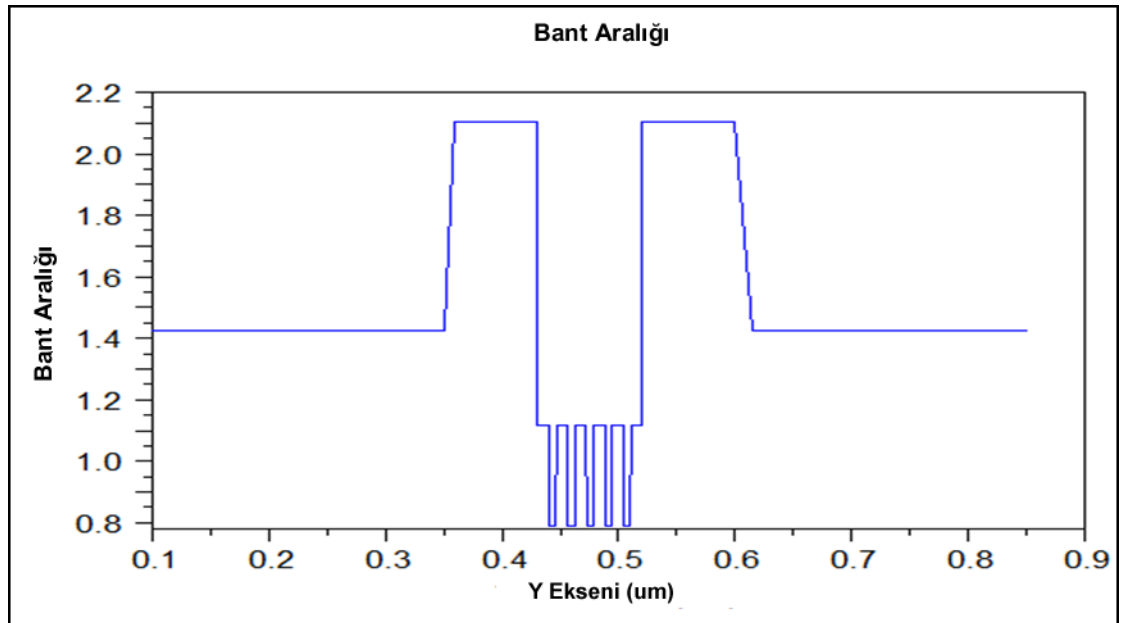
Şekil 3.38. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 3. Tip Yapı Mesh profili

Aşağıda Şekil 3.23 – 3.26 arasında **GENERATE PROFILE** bölümünde üretilen simülasyonda bazı analiz sonuçları verilmiştir.

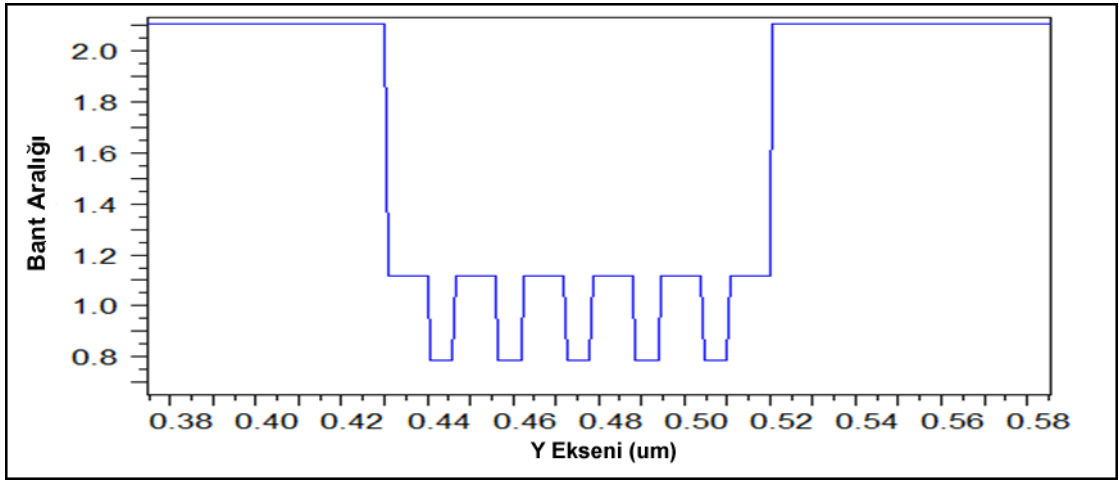


Şekil 3.39. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili

Bu yapıda Şekil 3.39 da görüldüğü gibi kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler sırasıyla kuyu bölge ve bariyerler için 3.379 / 3.298 olup Çizelge 3.5 de indis değerleri tüm bölgeler için tek tek verilmiştir.

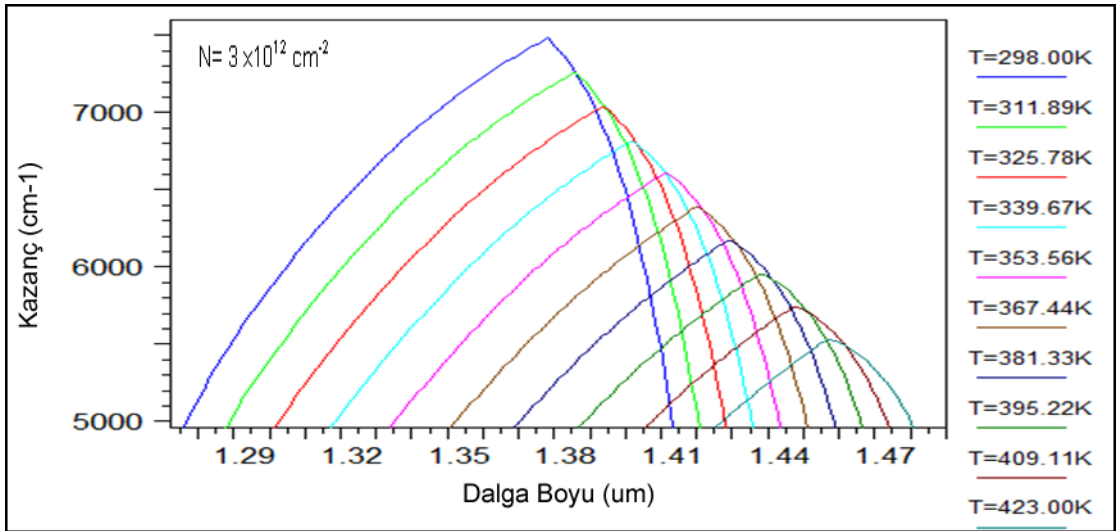


Şekil 3.40. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3. Tip Yapı Bant Aralığı Profili



Şekil 3.41. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3.Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu)

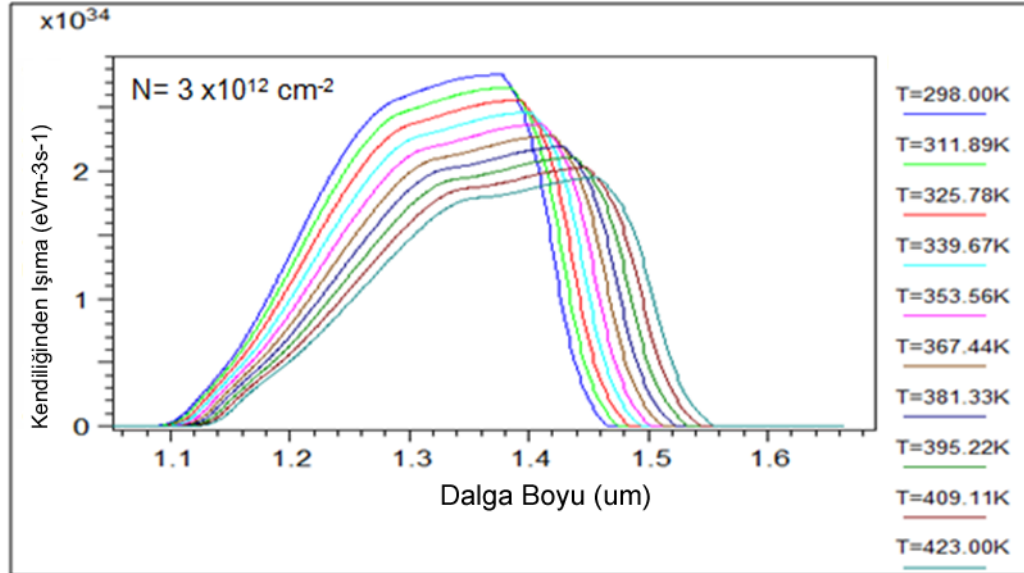
Bu yapıda Şekil 3.40 ve 3.41 da görüldüğü gibi kuantum kuyusu bant enerjisi 0.73690 eV değerinde olup 1.06517 eV değerindeki bariyer band enerjisinden daha düşüktür. Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Bunlar aşağıda geniş bir şekilde yorumlanmıştır.



Şekil 3.42. { AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs } 3.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği

Şekil 3.42 de bu yapıda öngörülen optimum taşıyıcı yoğunluğu $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde sıcaklık ayarları değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Ortam sıcaklığı 298 K den 423 K dereceye kadar artarken dalga boyunun ve

kazancın azaldığı görülmektedir. 298 K de en yüksek kazanç ve en az dalga boyu elde edilmiştir. Burada malzeme kazanç değerinin 7500 cm^{-1} civarında olduğu görülmektedir. Şekil 3.42 de görüleceği gibi lazer dalga boyu optimum değer olarak $1.38 \text{ } \mu\text{m}$ civarındadır.



Şekil 3.43. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3.Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği

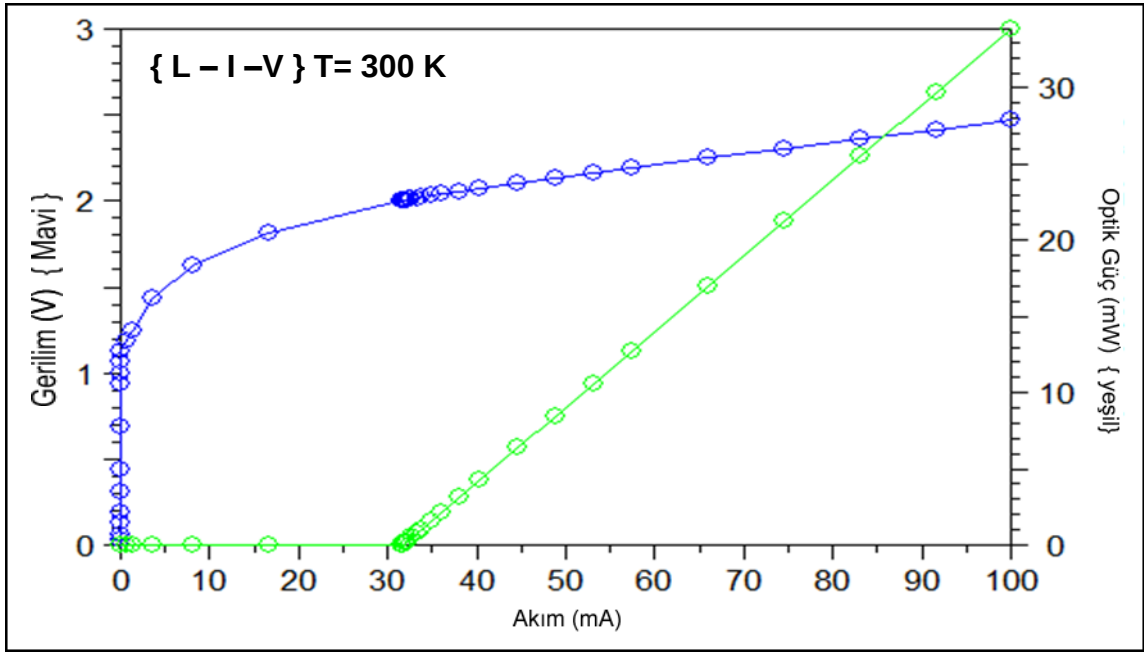
Şekil 3.43 de taşıyıcı yoğunluğu $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken ışıma değerinin sıcaklık arttıkça (298 K – 423 K aralığında) azaldığı görülmüştür. Ayrıca bu aralıkta dalga boyunda da orantılı bir artış görülmektedir.

Bir sonraki aşamada **SIMULATE LASER** işlemi ile tasarlanan Lazer aygıtın { L- I - V } Güç - Akım –Voltaj grafiği ve verileri üretilmiştir. Bu yapıda kullanılan parametreler Çizelge 3.6 da aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.6. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3. Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu

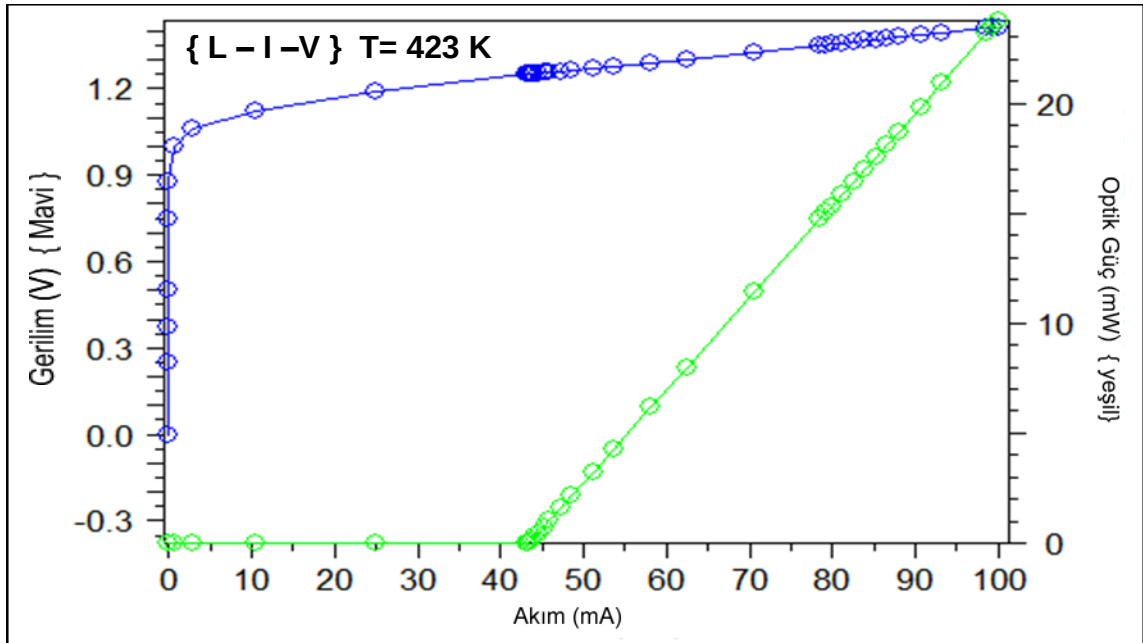
L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri
Bias 0	0 V	Bias 1	1 V	Bias 2	1.25 V
Bias 3	1.35 V	Bias 4	100 mA		

Bu yapıda lazer çıkış gücü Şekil 3.44 de 300 K için, Şekil 3.45 de 423 K için incelenmiştir.



Şekil 3.44. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3.Tip Yapı L-I-V Grafiği 1

Şekil 3.44 de görüleceği gibi verilen başlangıç değerleri ile 30 mA civarında bir eşik akımından sonra lazer aktive olmuş ve lazerin çıkış gücü Bias 4 te belirtilen 100 mA lik başlangıç değerinde 34 mW civarında olmuştur .

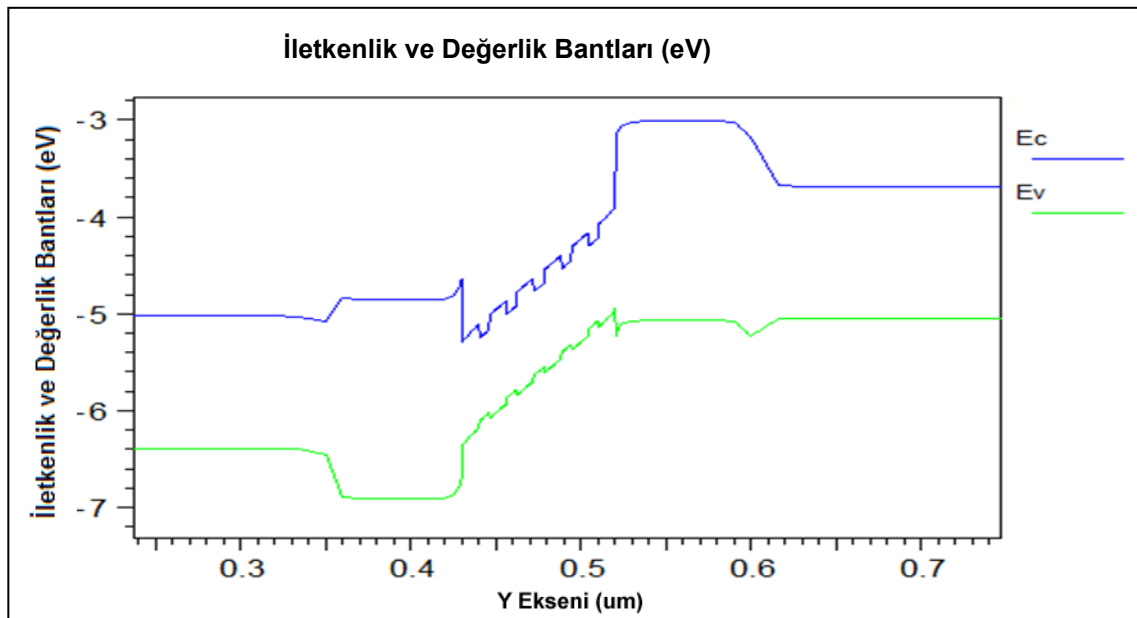


Şekil 3.45. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3.Tip Yapı L-I-V Grafiği 2

Şekil 3.45 de ise sıcaklık artırılıp 423 K değerine getirildiği zaman verilen başlangıç değerleri ile 43 mA civarına yükselen bir eşik akımından sonra lazer

aktive olmuş ve lazerin çıkış gücü Bias 4 te belirtilen 100 mA lik başlangıç değerinde 24 mW civarına düşmüştür. Deneysel çalışmalarda [107] da artan sıcaklıklarda lazer çıkışını koruyabilmek karşılaşılan güncel zorluklardan biri olmaya devam etmektedir. Yukarıdaki analizler Bölüm 4. de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

SIMULATE LASER sürecinde lazerle ilgili üretilen veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılarak birtakım analizler yapılmış ve bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir. Bu yapı bir önceki yapıyla yakın kompozisyonlarda olduğundan sadece Kuantum Kuyu Bölgesine Şekil 3.46 da (C - V) bant profili ile yaklaşma yapılmıştır.



Şekil 3.46. { AlGaInAs/AlGaInAs/ GaAs } 3.Tip Yapı (C - V) Bant Profili

Böylece { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 3.Tip Yapı da 300 K de 30 mA eşik akımı civarında 34 mW civarında Lazer çıkışı elde edilmiştir. Bu lazerin en yüksek pik değeri 1.38 μm dalga boyu civarında olup, lazer malzeme kompozisyonlarında yapılabilecek lokal değişikliklerle bu sonuçlar optimize edilebilir.

Bir önceki yapı ile yaklaşık değerler elde edilmesi aynı tür yapılarda lokal değişikliklerle neler ortaya konabileceği hakkında fikirler vermektedir.

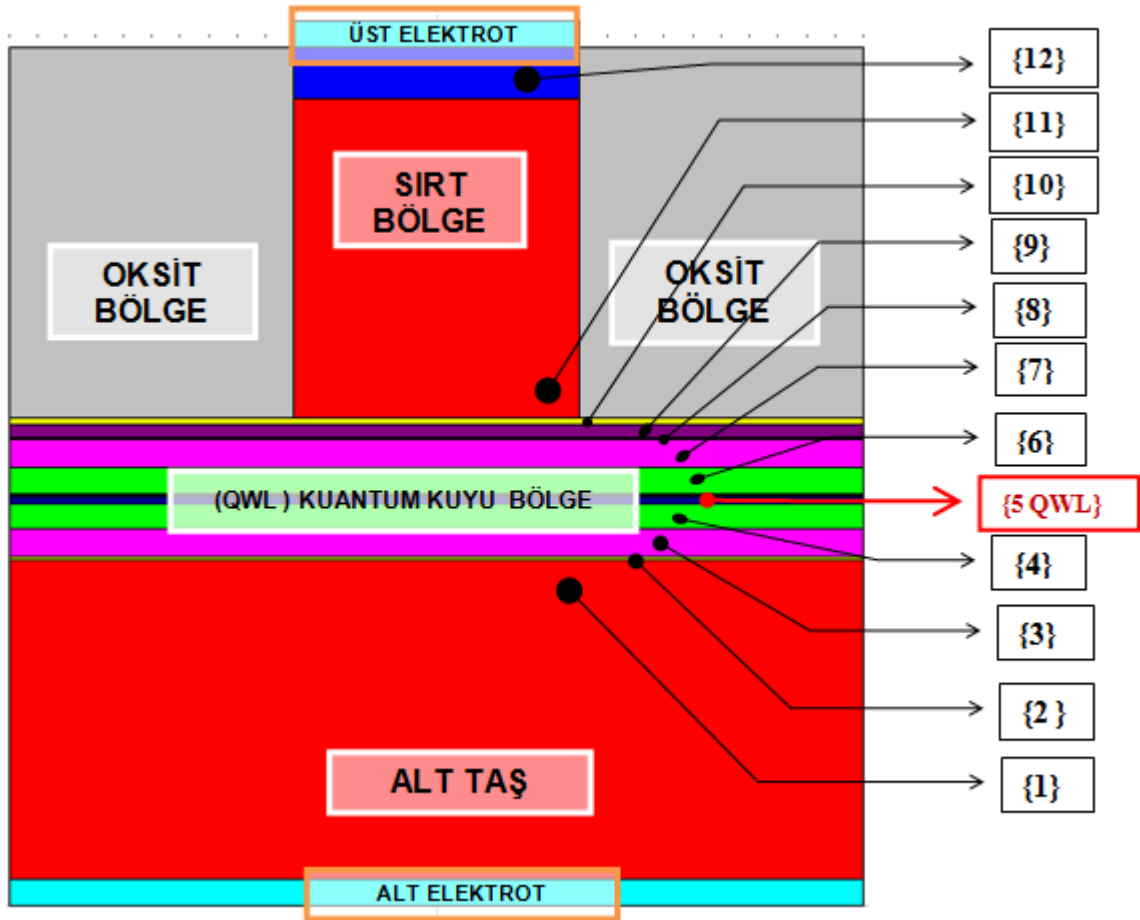
3.1.4. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot Ridge tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı **Şekil 3.2** de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [108]. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 313 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 0.6 μm olarak tasarlanmıştır. Burada alt taş olarak InP kullanılmıştır. Alt taş 1250 nm kalınlığındaki olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.108 olup bu bölge; { 1. Bölge } olarak **Çizelge 3.7** ve **Şekil 3.47** de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları **Çizelge 3.7** de verilmiştir. Bundan sonra alt taş üzerine 10 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı { 2. Bölge } $\text{Al}_{0,412}\text{Ga}_{0,067}\text{In}_{0,52}\text{As}$ geçiş bölgesi büyütülmüştür. Bir sonraki büyütme $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı 110 nm kalınlıklı { 3. Bölge } $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15}\text{As}$ iç – kaplama bölgesidir. Bunu 10 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı { 4. Bölge } $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15} \text{As}$ kaplama izlemektedir. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.386 kırılma indisine sahip 2 adet $\text{Al}_{0,161}\text{Ga}_{0,102}\text{In}_{0,737}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 3 adet 3.301 kırılma indisli $\text{Al}_{0,267}\text{Ga}_{0,253}\text{In}_{0,53}\text{As}$ bariyer arasında % 1.40 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir {5. Bölge }. Kuantum kuyu bölge **Şekil 4** 'de kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İlerleyen bölge 10 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkılı {6. Bölge} $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15} \text{As}$ kaplamadır. Daha sonra 110nm kalınlıklı $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi { 7. Bölge } $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15}\text{As}$ iç – kaplama büyütülmüştür. Ardından 10 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı { 8. Bölge } $\text{Al}_{0,412}\text{Ga}_{0,067}\text{In}_{0,52}\text{As}$ geçiş bölgesi büyütülmüştür. Bunun üzerine 50 nm kalınlıklı $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkılı { 9. Bölge } InP malzeme ara – bölge olarak büyütülmüştür. Yapının bu kısmına 25 nm kalınlıklı { 10. Bölge } katkısız $\text{Ga}_{0,829} \text{In}_{0,171} \text{As}_{0,374} \text{P}_{0,626}$ malzemesi sırt bölgeye geçiş kısmı olarak büyütülmüş olup bunun üzerine “Sırt Yapı” büyütülecektir. Sırt yapı **Şekil 3.2** de iki Oksit tabakası arasında bir ara kesit ile gösterilmiştir. İzleyen bölge 500 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı InP { 11. Bölge } dış p- kaplama ile

büyütülmüştür. Bunun üzerine son olarak 100 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı $\text{In}_{0,42} \text{Ga}_{0,58} \text{As}$ { 12. Bölge } kontak – kaplama büyütülerek { $\text{AlGaInAs} / \text{AlGaInAs} / \text{InP}$ } 4. Tip Lazer yapısı tamamlanmıştır.

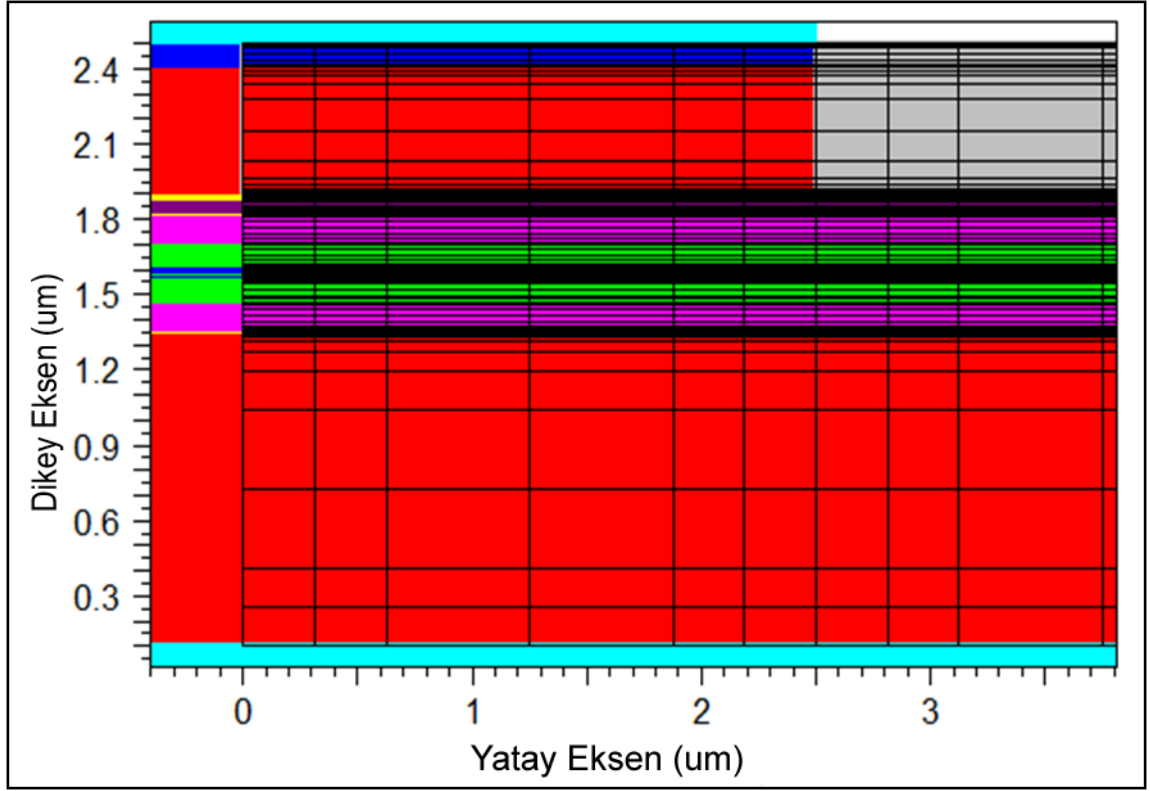
Çizelge 3.7. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n-InP (alttaş)	1250 / 5	3.108
2.	n- $\text{Al}_{0,412} \text{Ga}_{0,067} \text{In}_{0,52} \text{As}$	10 / 5	3.238
3.	n- $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15} \text{As}$	110 / 5	3.237
4.	n- $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15} \text{As}$	10 / 1	3.237
5.	(QWL) $\text{Al}_{0,161} \text{Ga}_{0,102} \text{In}_{0,737} \text{As}$ (BAR) $\text{Al}_{0,267} \text{Ga}_{0,253} \text{In}_{0,53} \text{As}$ 2 qwl- 3 bariyer	5 - 10 / katkısız	3.386 / 3.301
6.	p- $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15} \text{As}$	10 / 1	3.237
7.	p- $\text{Al}_{0,85} \text{Ga}_{0,15} \text{As}$	110 / 5	3.237
8.	p- $\text{Al}_{0,412} \text{Ga}_{0,067} \text{In}_{0,52} \text{As}$	10 / 5	3.238
9.	p- InP	50 / 5	3.108
10.	$\text{Ga}_{0,829} \text{In}_{0,171} \text{As}_{0,374} \text{P}_{0,626}$	25 / 5	3.151
11.	p- InP sırt	500 / 5	3.108
12.	p- $\text{In}_{0,42} \text{Ga}_{0,58} \text{As}$ sırt	100 / 1	3.392



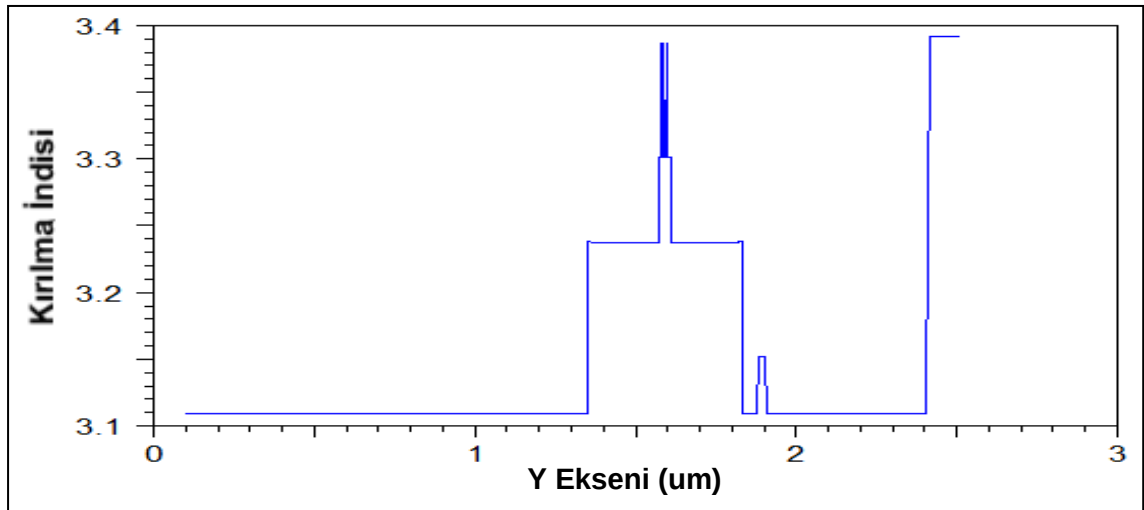
Şekil 3.47. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip Yapı Laser Profili

Tüm bu işlemlerden sonra LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu yapı $\text{Al}_{0,161}\text{Ga}_{0,102}\text{In}_{0,737}\text{As}$ Kuantum Kuyuları $\text{Al}_{0,267}\text{Ga}_{0,253}\text{In}_{0,53}\text{As}$ bariyerler arasında % 1.40 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir. Şekil 3.48 de LaserMOD aygıtıyla oluşturulan Mesh profili görülmektedir. Ardından aygıtın **MOD CALCULATION** bölümünde Lazer yapının Mod Hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler izleyen bölümde Optik Mod Spektrumu olarak gösterilecektir. Daha sonra **GENERATE PROFILE** bölümünden Lazer aygıtın bölge bölge (aktif bölge ,kuantum kuyu bölge,bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilmiştir. Şekil 3.48 de lazer yapının Mesh profili verilmiştir.

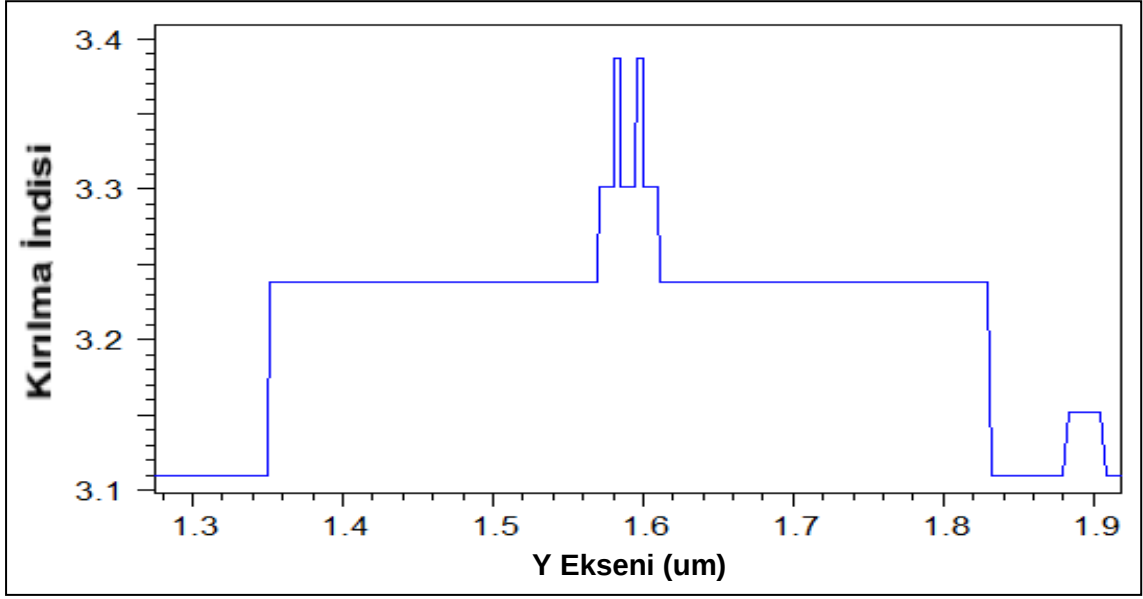


Şekil 3.48. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 4. Tip Yapı Mesh profili

Aşağıda Şekil 3.49 – 3.51 arasında **GENERATE PROFILE** bölümünde üretilen simülasyonda bazı analiz sonuçları verilmiştir.

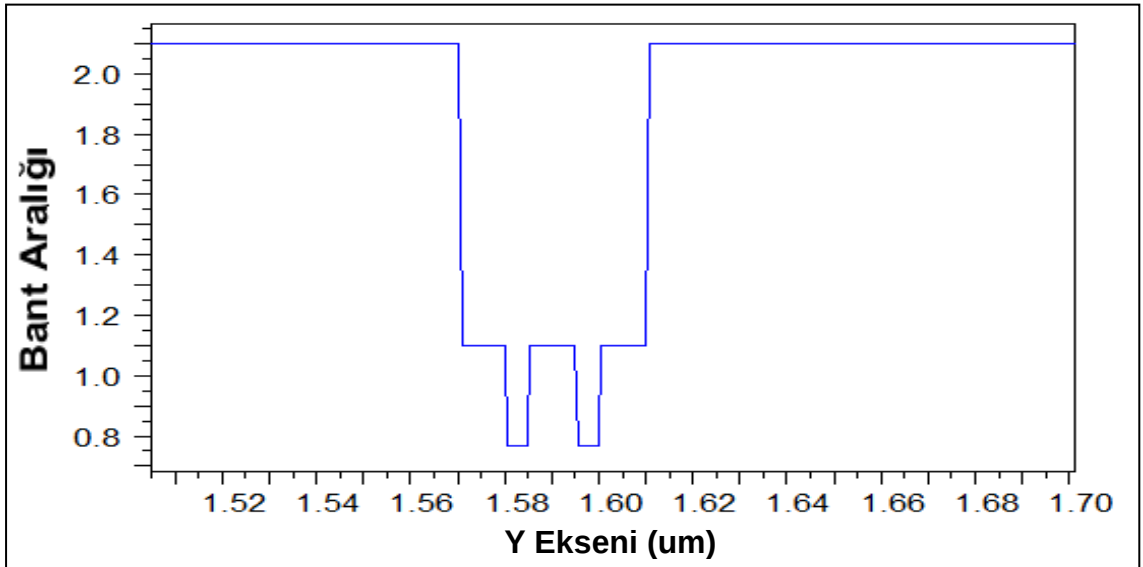


Şekil 3.49. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili



Şekil 3.50. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili (Kuyu B.)

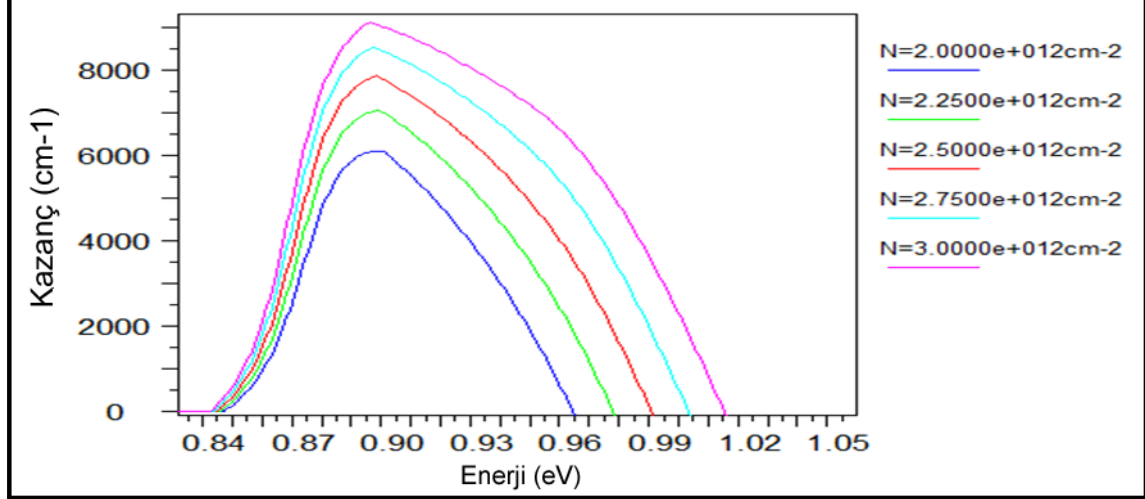
Bu yapıda Şekil 3.50 da görüldüğü gibi kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler sırasıyla kuyu bölge ve bariyerler için 3.386 / 3.301 olup Çizelge 3.7 de indis değerleri tüm bölgeler için tek verilmiştir.



Şekil 3.51. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4. Tip Yapı Bant Aralığı Profili (Kuyu B.)

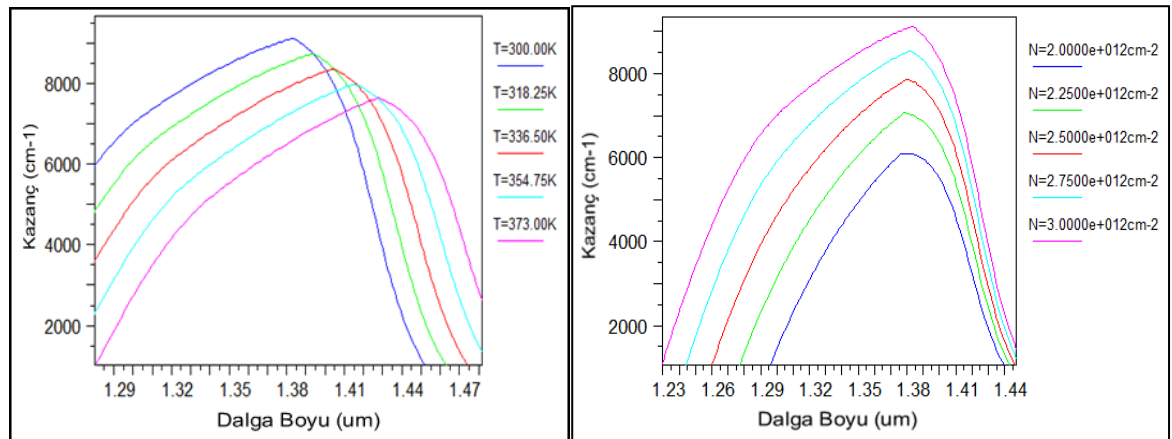
Bu yapıda Şekil 3.51 de görüldüğü gibi kuantum kuyusu bant enerjisi 0.76809 eV değerinde olup 1.09780 eV değerindeki bariyer band enerjisinden daha düşüktür. Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece

olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Bunlar aşağıda geniş bir şekilde yorumlanmıştır.



Şekil 3.52. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1

Bu Yapı ortam sıcaklığı 300 K derece olarak ayarlanmış ve Şekil 3.52 de taşıyıcı yoğunlukları $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ile $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ arasında değiştirilerek malzeme kazancı incelenmiştir. Taşıyıcı yoğunluğu arttıkça malzeme kazancının arttığı gözlenmiştir. En yüksek malzeme kazancı $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde 9000 cm^{-1} civarında olmuştur. Bölüm 4. de yapılan bu çalışma deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aşağıda Şekil 3.53.a ve 3.53.b de malzeme kazancı ile dalga boyu ilişkisi sıcaklık ve taşıyıcı yoğunluğu değiştirilerek incelenmiştir.



a) $N = 3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$

b) $T = 300 \text{ K}$

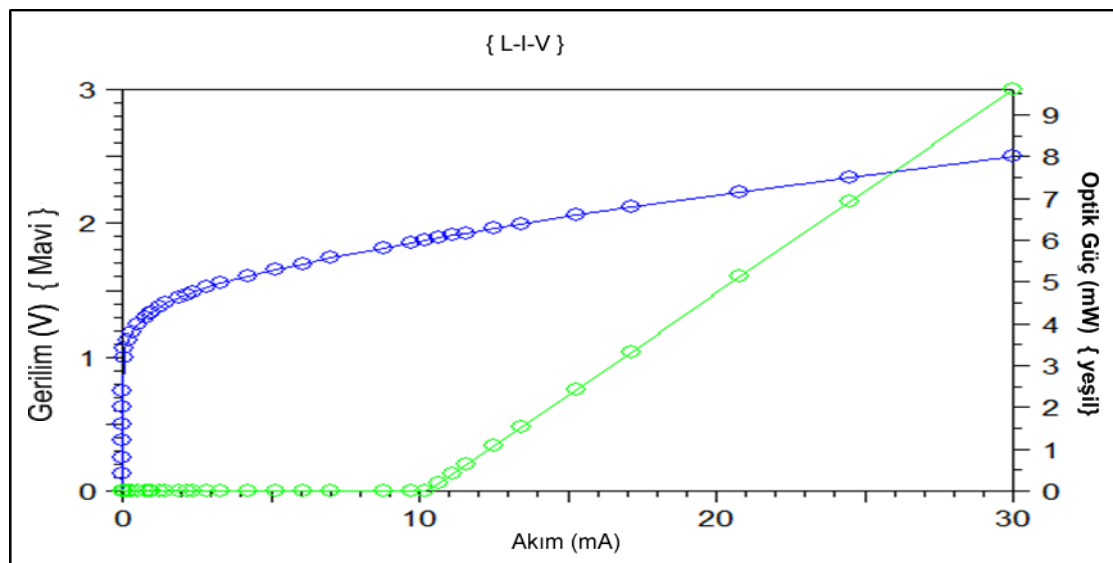
Şekil 3.53. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4.Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2

Şekil 3.53.a da bu Yapı optimum taşıyıcı yoğunluğu olarak alınan $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde sıcaklık ayarları değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Ortam sıcaklığı 300K den 373K dereceye kadar artırılırken dalga boyunun arttığı ve malzeme kazancının azaldığı görülmektedir. 300K de en yüksek kazanç ve en az dalga boyu elde edilmiştir. Şekil 3.53.b de ise ortam sıcaklığı (300 K) değiştirilmeden taşıyıcı yoğunluğu değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Bu durumda taşıyıcı yoğunluğu arttıkça dalga boyunda artarak çok az bir değişim olmakla birlikte kazancın yükseldiği gözlenmiştir. Lazer dalga boyu pik değer olarak $1.38 \mu\text{m}$ civarında elde edilmiştir. Bir sonraki aşamada **SIMULATE LASER** işlemi ile tasarlanan Lazer aygıtın { L - I - V } Güç - Akım – Voltaj grafiği ve verileri üretilmiştir. Bu yapıda kullanılan parametreler Çizelge 3.8 de aşağıda verilmiştir. Lazer çıkış gücü Şekil 3.54 de 313 K için incelenmiştir.

Çizelge 3.8. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4. Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu

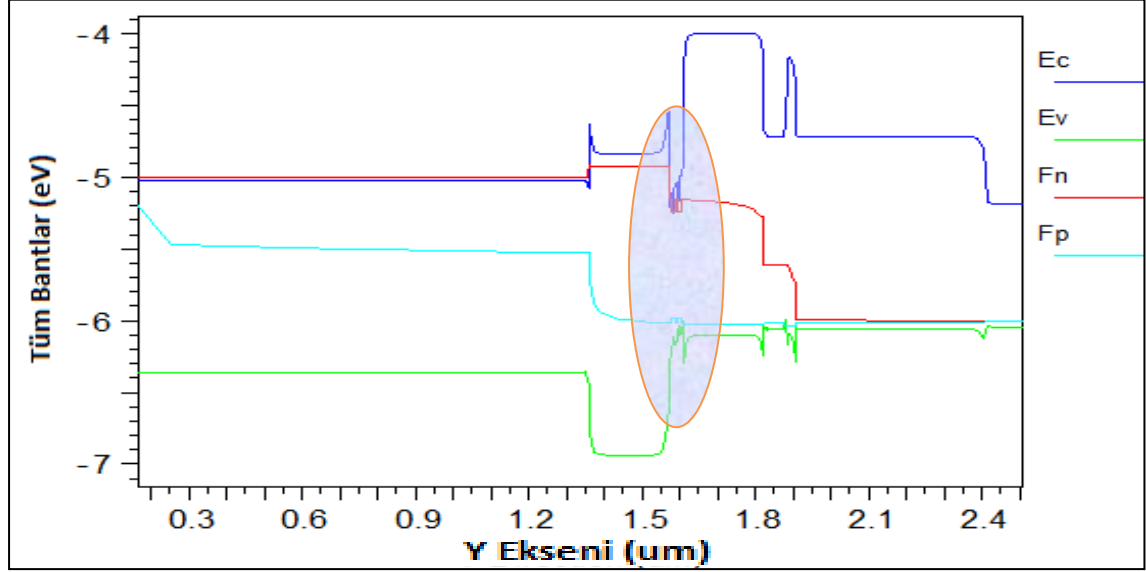
L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri
Bias 0	0 V	Bias 1	1 V	Bias 2	1.25 V
Bias 3	2 V	Bias 4	30 mA		

Şekil 3.54 de görüleceği gibi verilen başlangıç değerleri ile 10 mA civarında bir eşik akımından sonra lazer aktive olmuş ve lazerin çıkış gücü Bias 4 te belirtilen 30 mA lik başlangıç değerinde 9.5 mW civarında olmuştur.

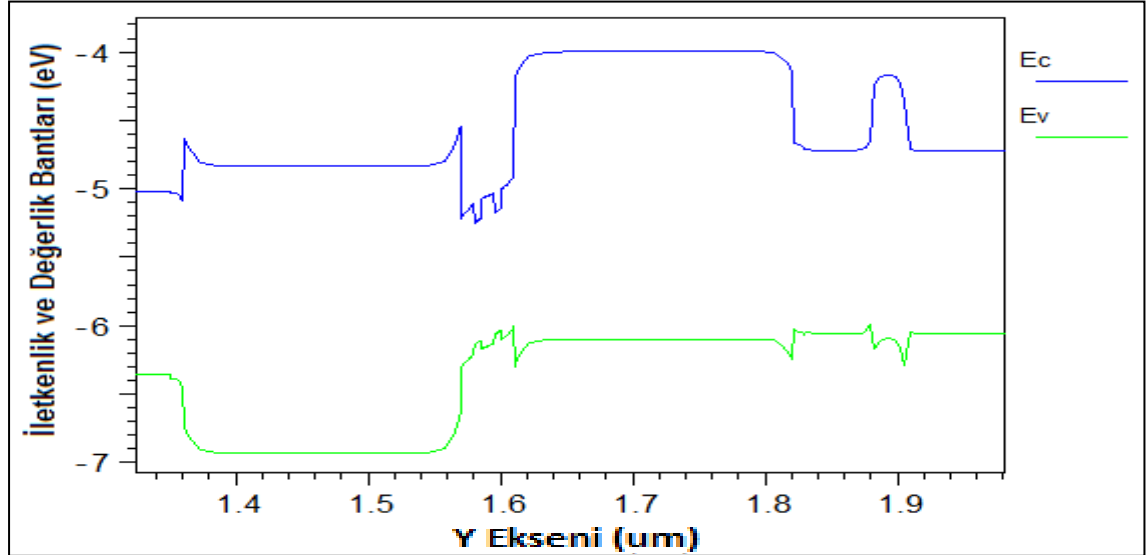


Şekil 3.54. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4. Tip Yapı L-I-V Grafiği

Yukarıdaki analizler Bölüm 4 de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. **SIMULATE LASER** sürecinde lazerle ilgili üretilen veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılarak birtakım analizler yapılmış ve bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir. . Şekil 3.55 de bu Yapı Tüm Bant ların profili verilmiştir. Elektron (F_n) ve deşiklerin (F_p) bant profilleri de bu grafikte verilmiştir. Burada Kuantum Kuyu Bölgesi oval bir pencere ile dikkate sunulmuştur. Bu bölgeye Şekil 3.56 da (C - V) bant profili olarak yaklaşma yapılmıştır.



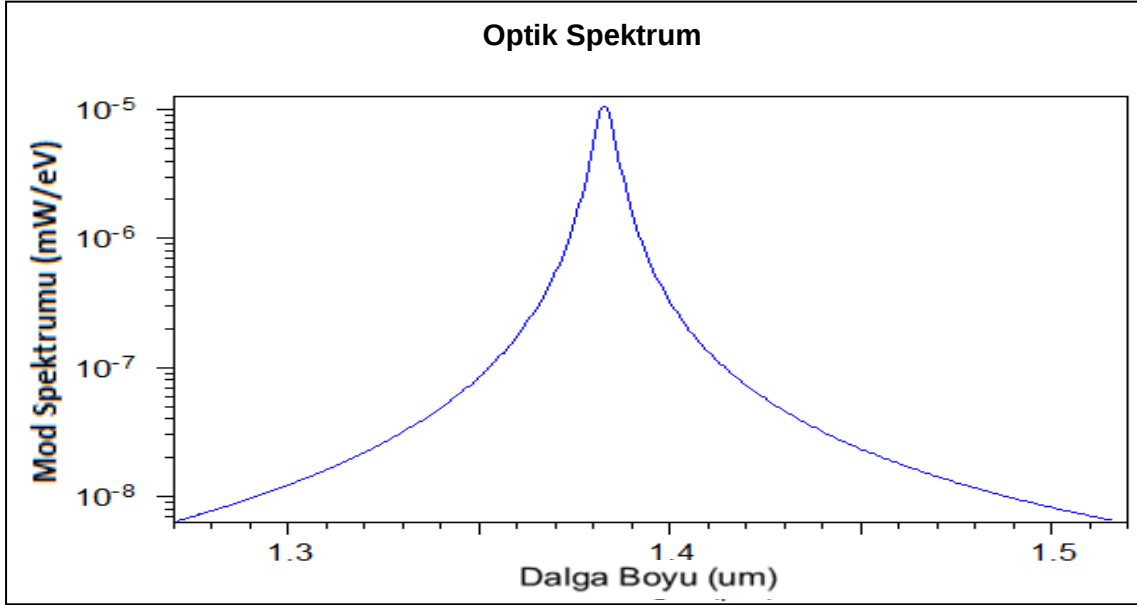
Şekil 3.55. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4. Tip Yapı için Tüm Bant Profili



Şekil 3.56. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4. Tip Yapı (C - V) Bant Profili

Şekil 3.57 de bu Yapı Mod Spektrumu – Dalga Boyu grafiği verilmiştir. Sıcaklık 313 K ve taşıyıcı yoğunluğu $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken bu lazerde 1.38 μm dalga boyu

civarında Pik gözlenmiştir. Bu grafikte Lazerin Optik Spektrumuna bir bakış sağlanmıştır.



Şekil 3.57. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4.Tip Yapı Optik Spektrum Profili

Böylece lazer malzeme kompozisyonlarında yapılabilecek lokal değişikliklerle elde edilen tüm bu sonuçlar optimize edilebilir. Bu lazer yapıda elde edilen sonuçlarla bir önceki yapı sonuçları arasında yaklaşık değerler elde edilmesi bu tür yapılarda lokal değişiklikler sonucu neler ortaya konabileceği hakkında bilgiler sunmaktadır. Yukarıda incelenen bu 4 ayrı yapıyla ilgili analizler neticesinde sonuç itibariyle { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } türü Kuantum Kuyu yapıların genellikle 1.3 μm civarında optimum dalga boyu sağladığı görülmüştür. Ayrıca bu yapılar 10 mA eşik akımı civarında aktive olup yapılan lokal değişiklikler sonucunda 20mW ~ 30 mW civarlarında lazer çıkışı üretmektedirler.

3.2. { GaInAsP } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar

3.2.1. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı :

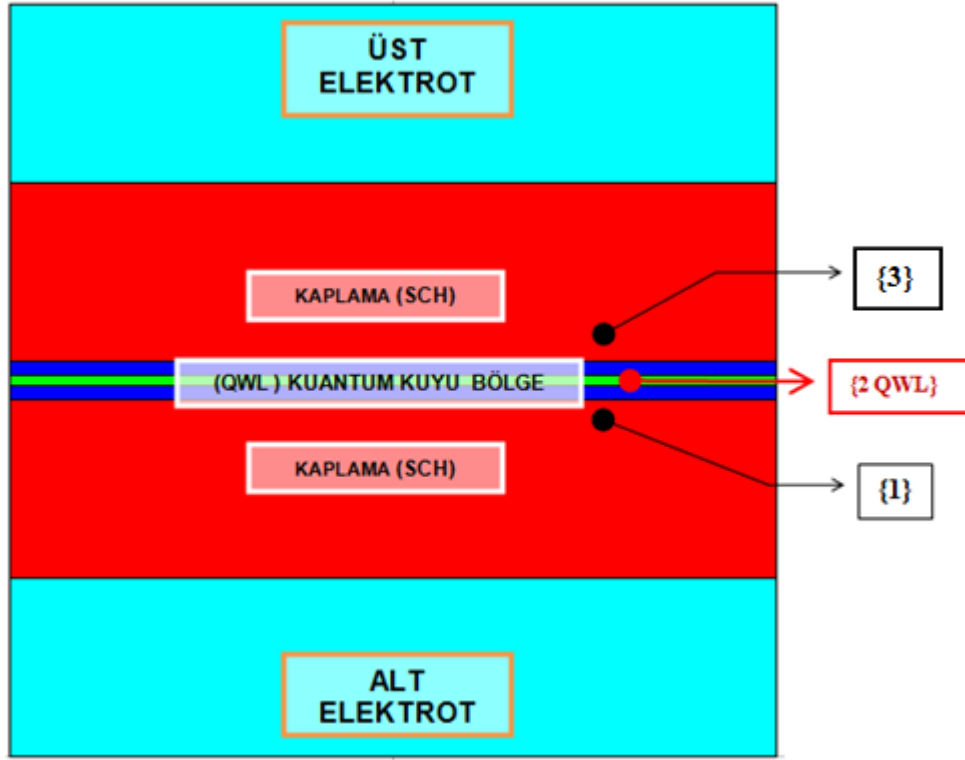
Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır.

Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [100]. Burada alt taş – kaplama olarak GaP kullanılmıştır. Alt taş – kaplama 100 nm kalınlığında olup $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.018 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.9 ve Şekil 3.58 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.9 da verilmiştir. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) { 2. Bölge } olup burada kuantum kuyular 6 nm kalınlıklı 3.298 kırılma indisine sahip ve 1 adet $\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.02}\text{As}_{0.981}\text{P}_{0.019}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 2 adet 3.062 kırılma indisli $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ bariyer – sınırlama bölgesi arasında % 0.03 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir.

Kuantum kuyu bölge Şekil 3.58 de kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. Son olarak 100 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı GaP { 3. Bölge } kontak–kaplama büyütülerek { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Lazer yapısı tamamlanmıştır.

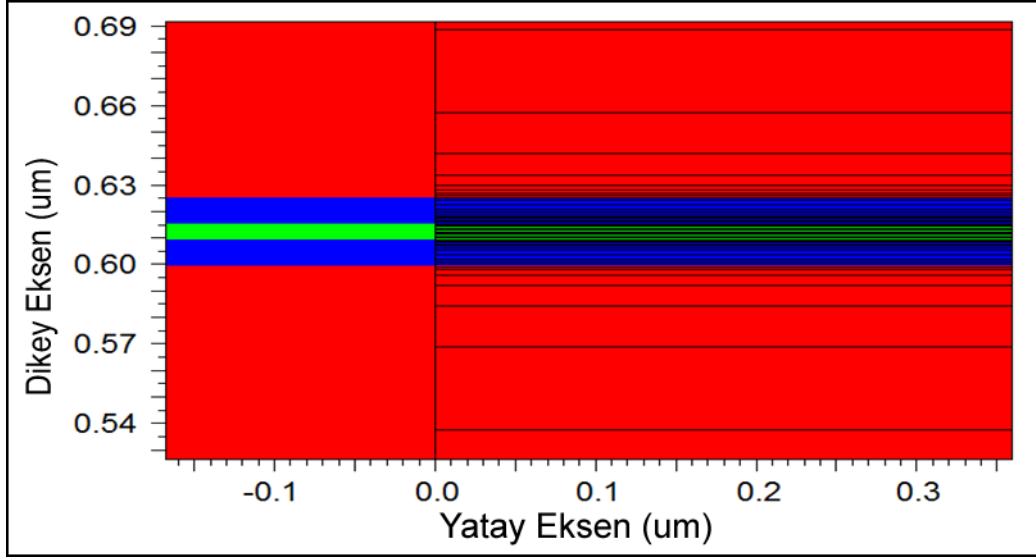
Çizelge 3.9. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n- GaP Kaplama	100 / 1	3.018
2.	(QWL) $\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.02}\text{As}_{(0.981)}\text{P}_{(0.019)}$ (BAR) $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 1 qwl– 2 bariyer	6 - 8 / katkısız	3.298 / 3.062
3.	p- GaP Kaplama	100 / 5	3.018



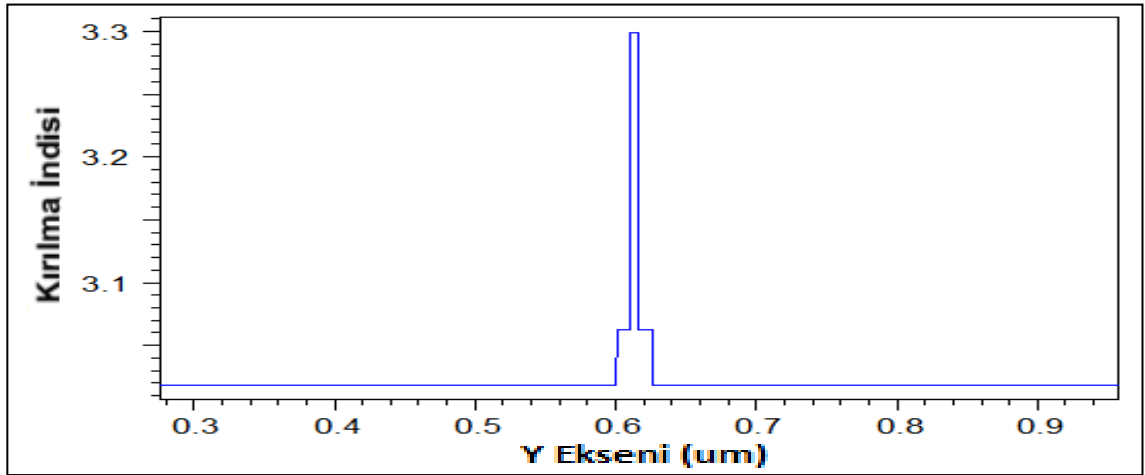
Şekil 3.58. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Laser Profili

Tüm bu işlemlerden sonra LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu Yapı $\text{Ga}_{0,98}\text{In}_{0,02}\text{As}_{0,981}\text{P}_{0,019}$ Kuantum Kuyuları $\text{Ga}_{0,51}\text{In}_{0,49}\text{P}$ bariyerler arasında % 0.03 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir. Şekil 3.59 da LaserMOD aygıtıyla oluşturulan Mesh profili görülmektedir. Ardından aygıtın **MOD CALCULATION** bölümünde Lazer yapının Mod Hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra **GENERATE PROFILE** bölümünden Lazer aygıtın bölge bölge (aktif bölge ,kuantum kuyu bölge,bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilmiştir.

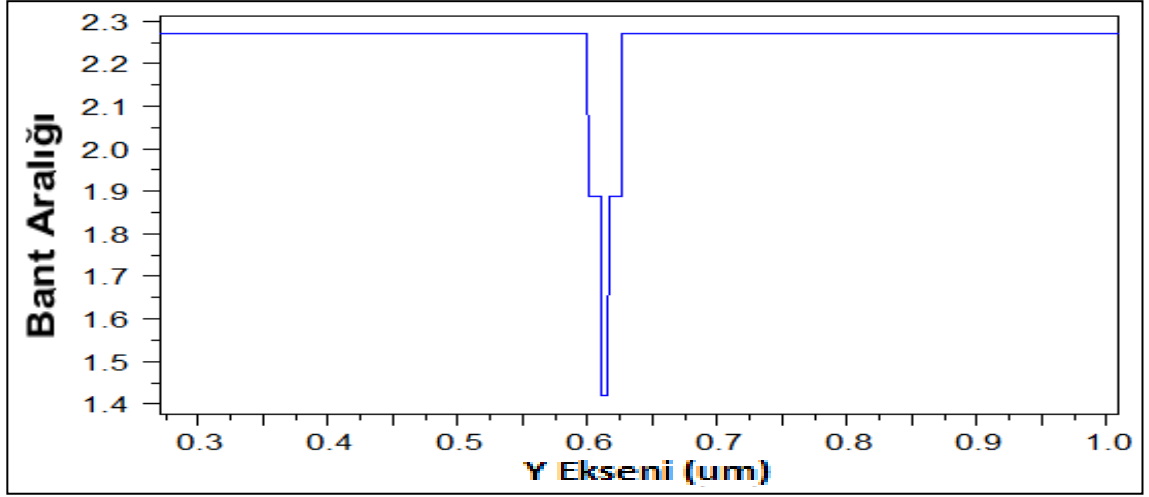


Şekil 3.59. LaserMOD aygıtı tarafından üretilen 1. Tip Yapı Mesh profili

Aşağıda **GENERATE PROFILE** bölümünde üretilen simülasyonda bazı analiz sonuçları verilmiştir. Bu yapıda Şekil 3.60 da görüldüğü gibi kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler sırasıyla kuyu bölge ve bariyerler için 3.298 / 3.062 olup Çizelge 3.9 da indis değerleri tüm bölgeler için tek tek verilmiştir.

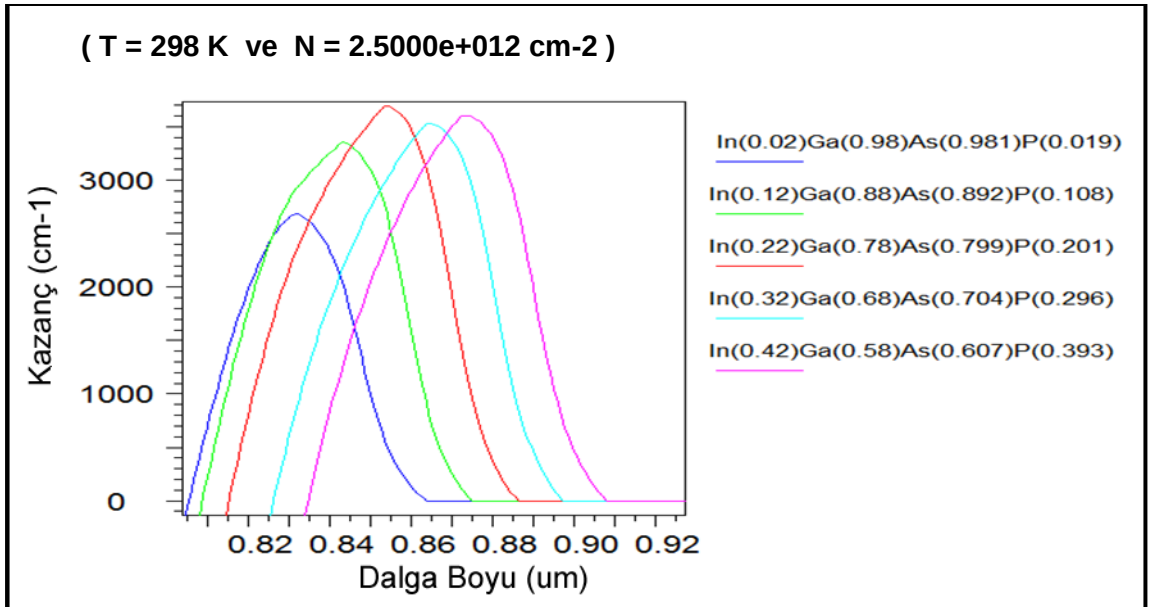


Şekil 3.60. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili

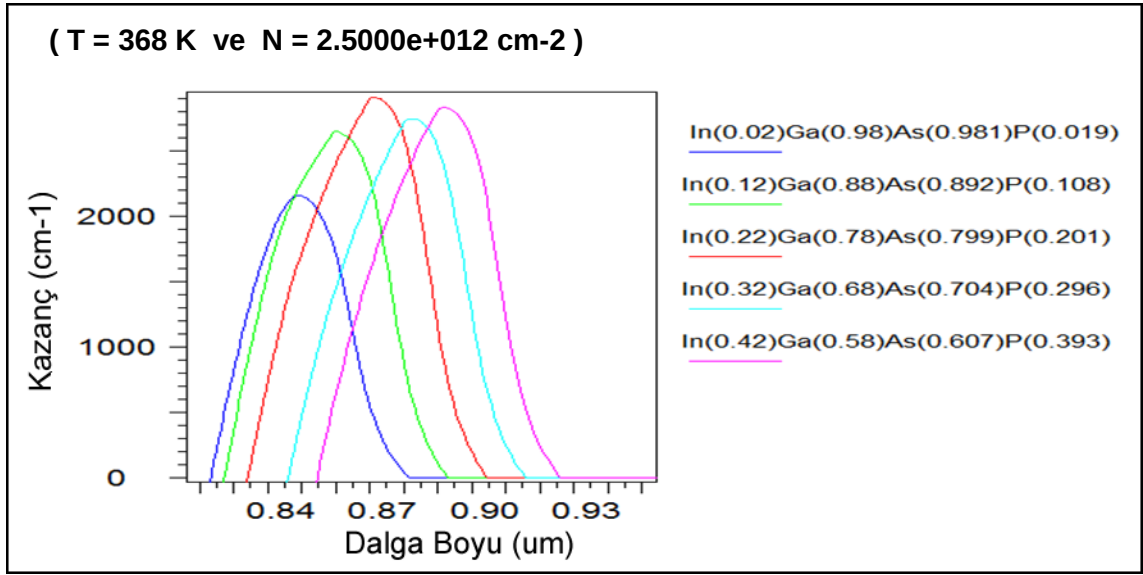


Şekil 3.61. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Bant Aralığı Profili

Bu yapıda Şekil 3.61 de görüldüğü gibi tipik olarak kuantum kuyusu bant enerjisi 1.41945 eV değerinde olup 1.88864 eV değerindeki bariyer band enerjisinden daha düşüktür. Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Bunlar aşağıda geniş bir şekilde yorumlanmıştır.

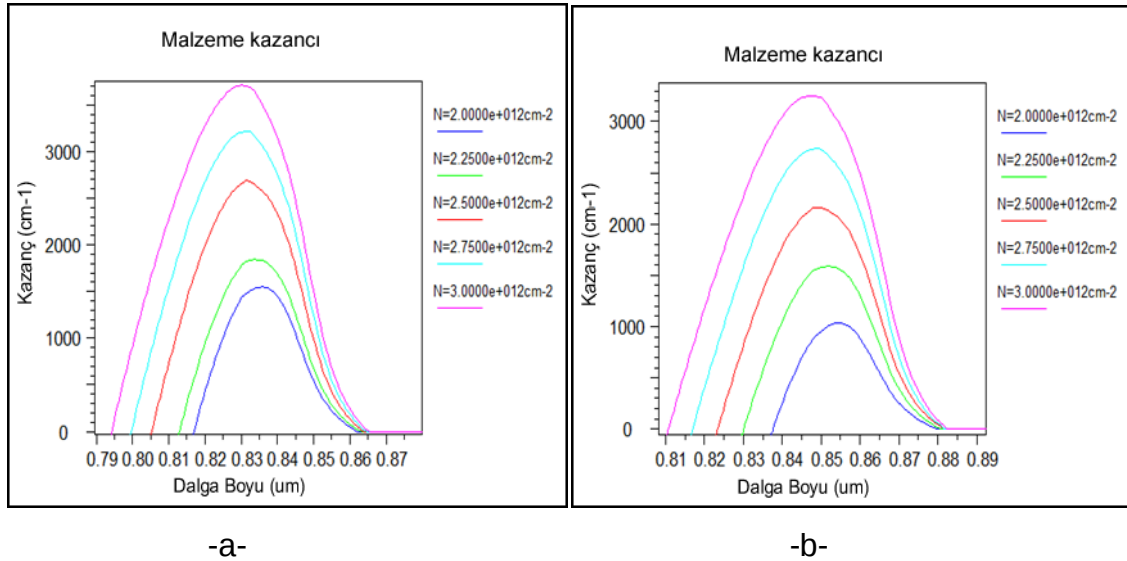


Şekil 3.62. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1



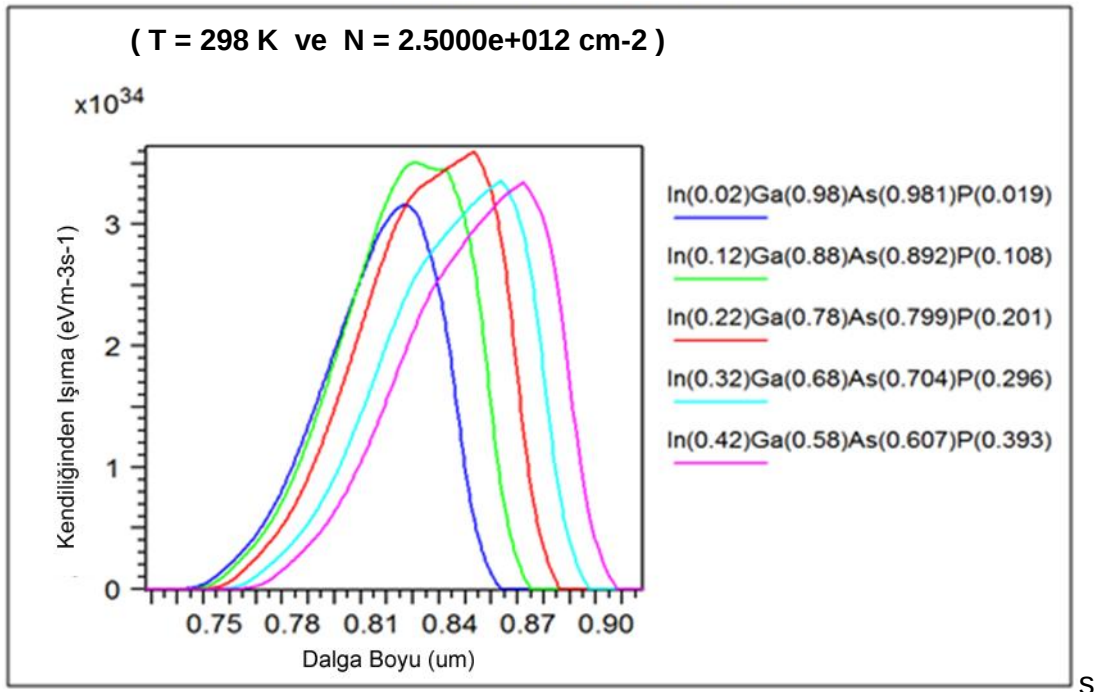
Şekil 3.63. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2

Bu çalışmada diğerlerine nazaran farklı bir metotla yapıdaki { In } İndiyum malzemesinin kompozisyonunda yapılan lokal değişiklikler ve buna bağlı olarak tüm malzeme kompozisyonlarında meydana gelen değişikliklerin ortaya koyduğu durum incelenmiştir. Şekil 3.62 ve 3.63 de bu durum sırasıyla 298 K ve 368 K sıcaklıkları için verilmiştir. Sıcaklık artışının tüm malzeme kompozisyonları için kazancı düşürdüğü ve dalga boyunu artırdığı görülmüştür. Ayrıca İndiyum malzemesinin kompozisyonundaki artışla kazancın ve dalga boyunun arttığı görülmüştür.



Şekil 3.64. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 3

Şekil 3.64 de bu yapıda optimum değerleri görebilmek amacıyla lazer $\text{In}_{(0.02)}$ kompozisyonunda iken sırasıyla 298 K ve 368 K sıcaklıkları için taşıyıcı yoğunluklarının değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu tip metotlar ve çalışmalar optimum değeri bulmakta oldukça faydalıdır. Burada malzeme kazanç değerinin optimum 3500 cm^{-1} civarında olduğu görülmektedir. Şekil 3.64.a ve 3.64.b de görüleceği gibi lazer dalga boyu optimum değer olarak $0.85 \mu\text{m}$ (850 nm) civarında değişimler göstermektedir. Şekil 3.65 de taşıyıcı yoğunluğu optimum taşıyıcı yoğunluğu $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ve sıcaklık 298 K değerinde iken kendiliğinden ışıma önce arttığı ve İndiyum kompozisyonu 0.22 değerinden sonra tekrar azaldığı gözlenmiştir.



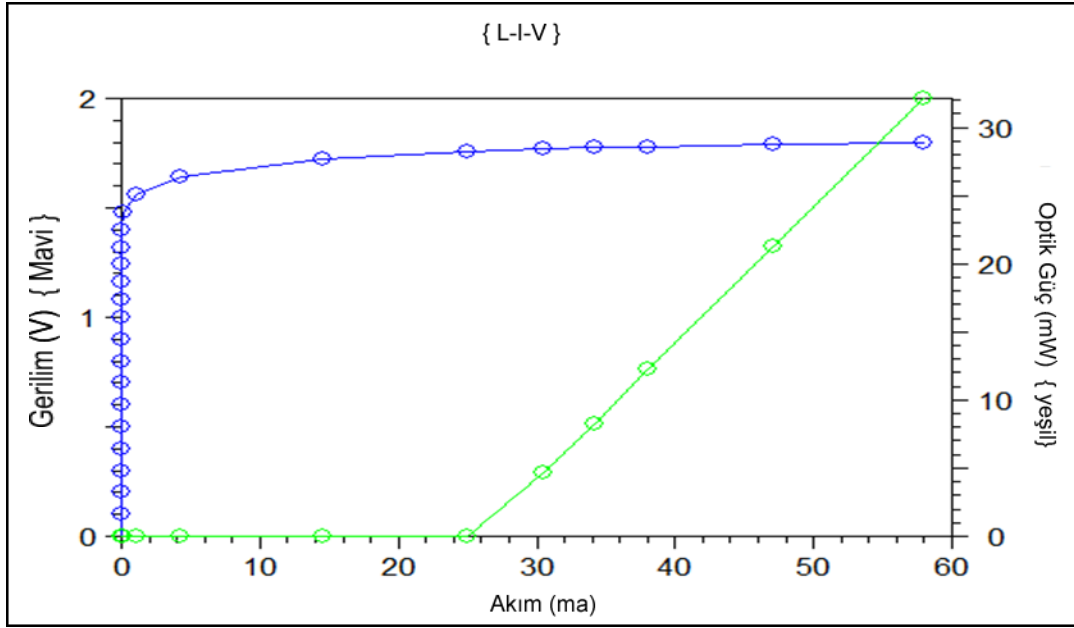
Şekil 3.65. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip için Kendiliğinden Işıma Grafiği

Ayrıca bu aralıkta artan kompozisyon oranıyla birlikte dalga boyunda da orantılı bir artış görülmektedir. Bir sonraki aşamada **SIMULATE LASER** işlemi ile tasarlanan Lazer aygıtın { L- I - V } Güç - Akım –Voltaj grafiği ve verileri üretilmiştir. Bu yapıda kullanılan parametreler Çizelge 3.10 da aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.10. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı L-I-V Bias Tablosu

L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri
Bias 0	0 V	Bias 1	1 V	Bias 2	1.8 V
Bias 3	1.35 V	Bias 4	60 mA		

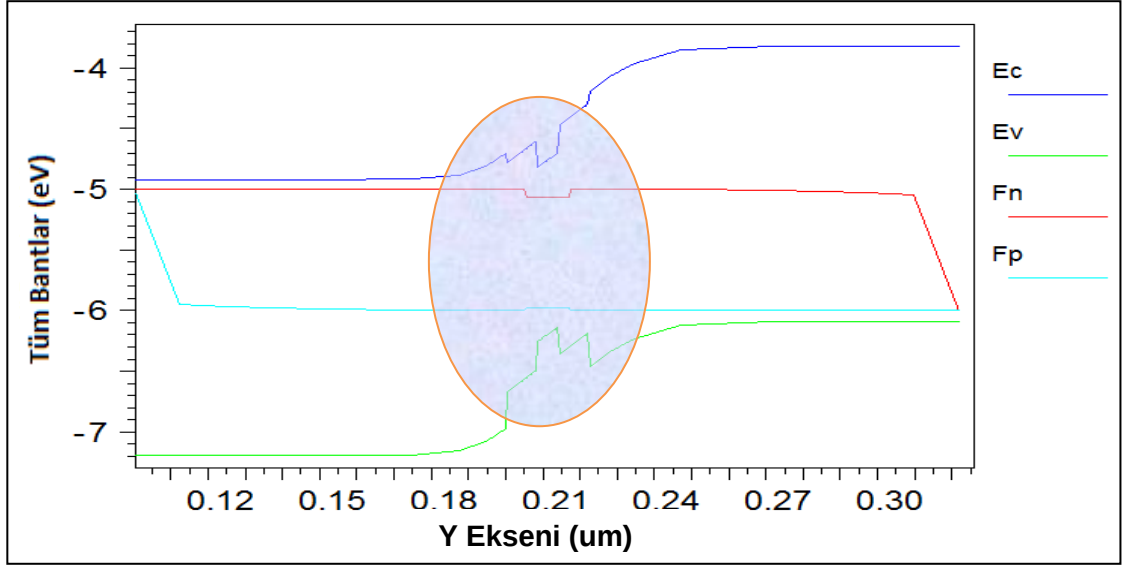
Bu yapıda lazer çıkış gücü Şekil 3.66 da 300 K sıcaklığında incelenmiştir. Lazerin 25 mA civarında bir eşik akımından sonra aktive olduğu görülmüştür. Lazerin çıkış gücü Bias 4 te belirtilen 60 mA lik başlangıç değerinde 35 mW civarında olmuştur.



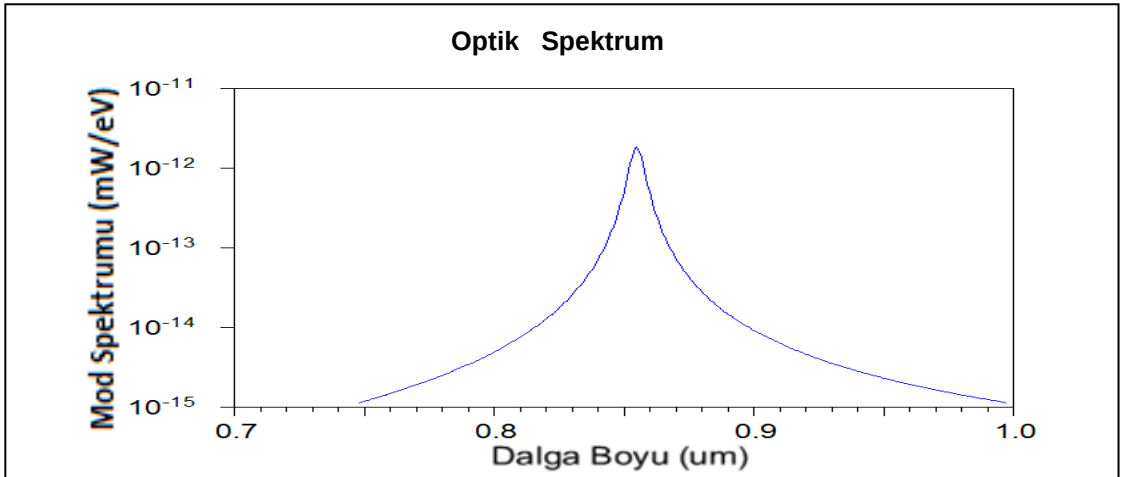
Şekil 3.66. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı L-I-V Grafiği

SIMULATE LASER sürecinde lazerle ilgili üretilen veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılarak birtakım analizler yapılmış ve bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.67 de bu Yapı Tüm Bant ların profili verilmiştir. Elektron (F_n) ve (Hole) deşiklerin (F_p) bant profilleri de bu grafikte verilmiştir.

Burada Kuantum Kuyu Bölgesi oval bir pencere ile dikkate sunulmuştur. Şekil 3.68 de bu Yapı Mod Spektrumu – Dalga Boyu grafiği verilmiştir. Sıcaklık 300 K ve taşıyıcı yoğunluğu $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken bu lazerde 0.85 μm dalga boyu civarında Pik gözlenmiştir. Bu grafikte Lazerin Optik Spektrumuna bir bakış sağlanmıştır.



Şekil 3.67. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı için Tüm Bant Profili



Şekil 3.68. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı Optik Spektrum Profili

Böylece { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip Yapı da 15 mA eşik akımında 37 mW civarında Lazer çıkışı elde edilmiştir. Bu lazerin en yüksek pik değeri 0.85 μm (850 nm) dalga boyu civarında olup, lazer malzeme kompozisyonlarında yapılabilecek lokal değışikliklerle bu sonuçlar optimize edilebilir.

3.2.2. { GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot Ridge tipi lazer yapı olarak dizayn

edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.2 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [105]. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 0.3 μm olarak tasarlanmıştır. Burada alt taş olarak GaAs kullanılmıştır. Alt taş 200 nm kalınlığındaki olup $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.311 olup bu bölge {1. Bölge} olarak Çizelge 3.11 ve Şekil 3.69 da gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.11 de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n-GaAs (alttaş)	200 / 1	3.311
2.	GaAs	35 / katkısız	3.311
3.	$\text{As}_{0,82} \text{P}_{0,18} \text{Ga}$	12 / katkısız	3.262
4.	(QWL) $\text{Ga}_{0,15} \text{In}_{0,85} \text{As}_{0,64} \text{P}_{0,036}$ (BAR) $\text{Ga}_{0,18} \text{In}_{0,82} \text{As}_{0,4} \text{P}_{0,6}$ 3 qwl- 4 bariyer	5 - 10 / katkısız	3.352 / 3.256
5.	$\text{As}_{0,82} \text{P}_{0,18} \text{Ga}$	12 / katkısız	3.262
6.	p- $\text{Al}_{0,75} \text{Ga}_{0,25} \text{As}$	100 / 5	3.303
7.	p- $\text{Al}_{0,75} \text{Ga}_{0,25} \text{As}$ sırt	250 / 5	3.303
8.	p- GaAs sırt	50 / 5	3.311

Daha sonra katkısız 35 nm kalınlıklı { 2. Bölge } GaAs dış - kaplama büyütülmüştür. Bundan sonra katkısız 12 nm kalınlıklı {3.Bölge} $\text{As}_{0,82} \text{P}_{0,18} \text{Ga}$ geçiş – kaplama bölgesi büyütülmüştür. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.352 kırılma indisine sahip 3 adet $\text{Ga}_{0,15} \text{In}_{0,85} \text{As}_{0,64} \text{P}_{0,036}$ malzemedan oluşturulmuştur. Kuyular 4 adet 3.256 kırılma indisli $\text{Ga}_{0,18} \text{In}_{0,82} \text{As}_{0,4} \text{P}_{0,6}$ bariyer arasında % 0.99 luk bir enine zorlanmaya

sahiptir {4. Bölge}. Kuantum kuyu bölge şekil 3. de kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İlerleyen bölge katkısız 12 nm kalınlıklı { 5. Bölge } $As_{0,82}P_{0,18}Ga$ geçiş – kaplama bölgesi büyütülmüştür. Bundan sonraki bölge 100 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı { 6. Bölge } $Al_{0,75}Ga_{0,25}As$ malzeme ara – bölge olarak büyütülmüştür.

Yapının bu kısmına konan bu { 6. Bölge } $Al_{0,75}Ga_{0,25}As$ malzeme malzemesi sırt bölgeye geçiş kısmı olarak büyütülmüş olup bunun üzerine “Sırt Yapı” büyütülecektir. İzleyen bölge 250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı $Al_{0,75}Ga_{0,25}As$ { 7. Bölge } dış p- kaplama ile büyütülmüştür. Bunun üzerine son olarak 50 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı GaAs { 8. Bölge } kontak – kaplama büyütülerek { GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.2.3. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot Ridge tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.2 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır.

Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [110]. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 0.55 μm olarak tasarlanmıştır.

Burada alt taş olarak InP kullanılmıştır. Alt taş 250 nm kalınlığındaki olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.108 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.12 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.12 de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n-InP (alttaş)	250 / 5	3.108
2.	n- $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$	12 / 5	3.149
3.	(QWL) $\text{Ga}_{0,24}\text{In}_{0,76}\text{As}_{0,79}\text{P}_{0,21}$ (BAR) $\text{Ga}_{0,29}\text{In}_{0,71}\text{As}_{0,55}\text{P}_{0,45}$ 5 qwl- 6 bariyer	6.4 - 8 / katkısız	3.379 / 3.285
4.	p- $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$	12 / 1	3.149
5.	p- InP sırt	550 / 1	3.108

Daha sonra 12 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkı { 2. Bölge } $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$ malzeme kaplama olarak büyütülmüştür. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.379 kırılma indisine sahip 5 adet $\text{Ga}_{0,24}\text{In}_{0,76}\text{As}_{0,79}\text{P}_{0,21}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 6 adet 3.285 kırılma indisli $\text{Ga}_{0,29}\text{In}_{0,71}\text{As}_{0,55}\text{P}_{0,45}$ bariyer arasında % 1.13 lük bir enine zorlanmaya sahiptir {3. Bölge }. Kuantum kuyu bölge Şekil 3.77 de kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İzleyen bölge 12 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 4. Bölge } $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$ malzemeden kaplama olarak büyütülmüştür. İzleyen bölge 550 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı InP { 5. Bölge } sırt kontak – kaplama olarak büyütülerek { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.2.4. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 4. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak

tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [104]. Burada alt taş – kaplama olarak InP kullanılmıştır. Alt taş 250 nm kalınlığındaki olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.108 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.13 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.13 de verilmiştir.

Çizelge 3.13. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n-InP (KAPLAMA)	250 / 5	3.108
2.	n- $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$	12 / 5	3.149
3.	(QWL) $\text{Ga}_{0,13}\text{In}_{0,87}\text{As}_{0,58}\text{P}_{0,42}$ (BAR) $\text{Ga}_{0,15}\text{In}_{0,85}\text{As}_{0,31}\text{P}_{0,69}$ 5 qwl- 6 bariyer	7.5 - 10 / katkısız	3.321 / 3.216
4.	p- $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$	12 / 5	3.149
5.	p- InP (KAPLAMA)	250 / 5	3.108

Daha sonra 12 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkılı { 2. Bölge } $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$ malzeme hapis- sınırlama olarak büyütülmüştür. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.321 kırılma indisine sahip 5 adet $\text{Ga}_{0,13}\text{In}_{0,87}\text{As}_{0,58}\text{P}_{0,42}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 6 adet 3.216 kırılma indisli $\text{Ga}_{0,15}\text{In}_{0,85}\text{As}_{0,31}\text{P}_{0,69}$ bariyer arasında % 1.01 lik bir enine zorlanmaya sahiptir {3. Bölge }.

İzleyen bölge 12 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkılı { 4. Bölge } $\text{Ga}_{0,829}\text{In}_{0,171}\text{As}_{0,374}\text{P}_{0,626}$ malzemeden hapis-sınırlama olarak büyütülmüştür . İzleyen bölge 250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı InP { 5. Bölge } kontak – kaplama olarak büyütülerek { GaInAsP / GaInAsP / InP } 4. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.3. { InGaNAS} Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar

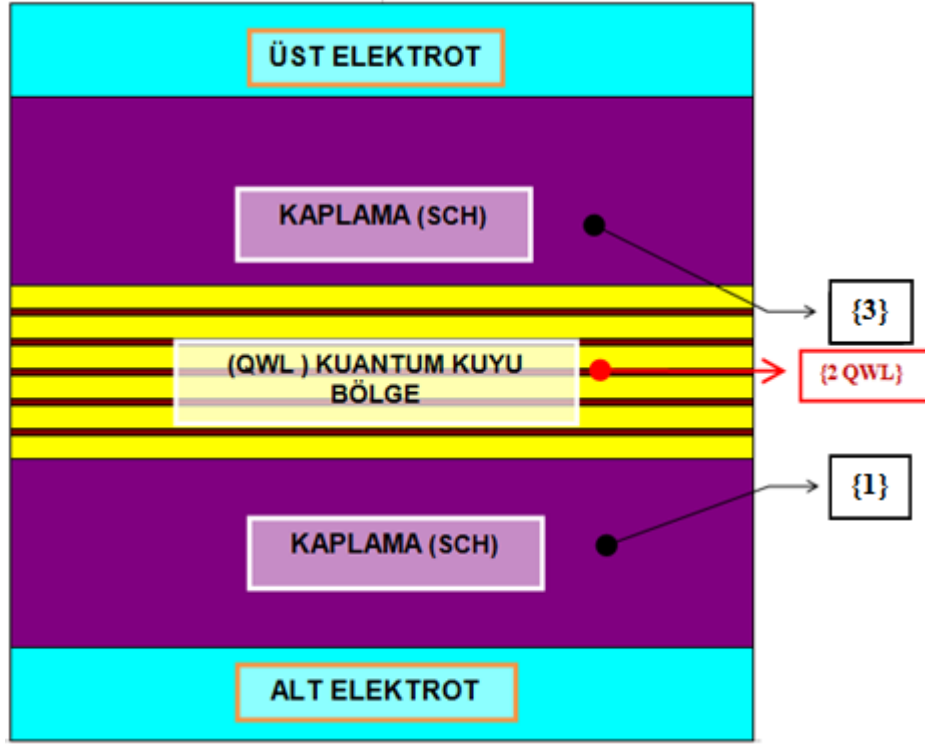
3.3.1. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [111,114]. Burada alt taş –kaplama olarak GaAs kullanılmıştır. Alt taş 200 nm kalınlığında olup $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir p- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.300 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.14 ve Şekil 3.69 da gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.14 de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- GaAs KAPLAMA	200 / 1	3.300
2.	(QWL) $\text{In}_{0,38}\text{Ga}_{0,62}\text{N}_{0,015}\text{As}_{0,985}$ (BAR) GaAs 5 qwl– 6 bariyer	5 - 25 / katkısız	3.363 / 3.300
3.	n- GaAs KAPLAMA	200 / 1	3.300

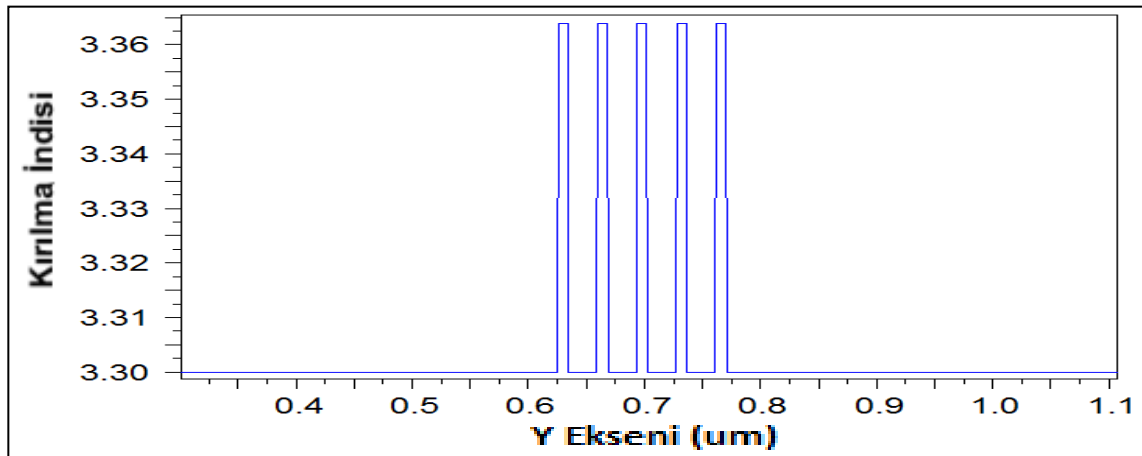
Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.363 kırılma indisine sahip 5 adet $\text{In}_{0,38}\text{Ga}_{0,62}\text{N}_{0,015}\text{As}_{0,985}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 6 adet 3.300 kırılma indisli GaAs bariyer arasında % 2.37 lik bir enine zorlanmaya sahiptir { 2. Bölge }. Kuantum kuyu bölge Şekil 3.69 da kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İzleyen bölge 200 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkılı GaAs { 3. Bölge } kontak – kaplama olarak büyütülerek { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Lazer yapısı tamamlanmıştır.



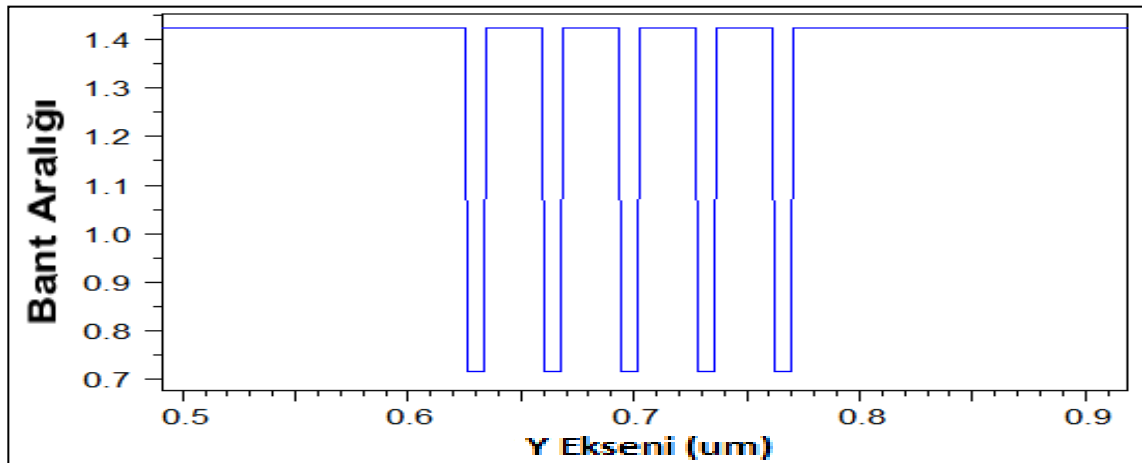
Şekil 3.69 . { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Laser Profili

Tüm bu işlemlerden sonra LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu Yapı $\text{In}_{0,38}\text{Ga}_{0,62}\text{N}_{0,015}\text{As}_{0,985}$ Kuantum Kuyuları GaAs bariyerler arasında % 2.37 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir. Bazı analizler öncekilerle yapısal olarak benzerlik arz ederek tekrarlanacağından yer fazlalığı teşkil etmemesi için teze alınmasına gerek görülmemiştir. Ardından aygıtın **MOD CALCULATION** bölümünde Lazer yapının Mod Hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra **GENERATE PROFILE** bölümünden Lazer aygıtın bölge bölge (aktif bölge, kuantum kuyu bölge, bariyer ve hapis bölgeleri gibi) Bant - Enerji grafikleri ve değerleri, Kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilmiştir. Aşağıda **GENERATE PROFILE** bölümünde üretilen simülasyonda bazı analiz sonuçları verilmiştir. Bu yapıda Şekil 3.70 de görüldüğü gibi kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler

sırasıyla kuyu bölge ve bariyerler için 3.363 / 3.300 olup Çizelge 3.14 de indis değerleri tüm bölgeler için tek tek verilmiştir.



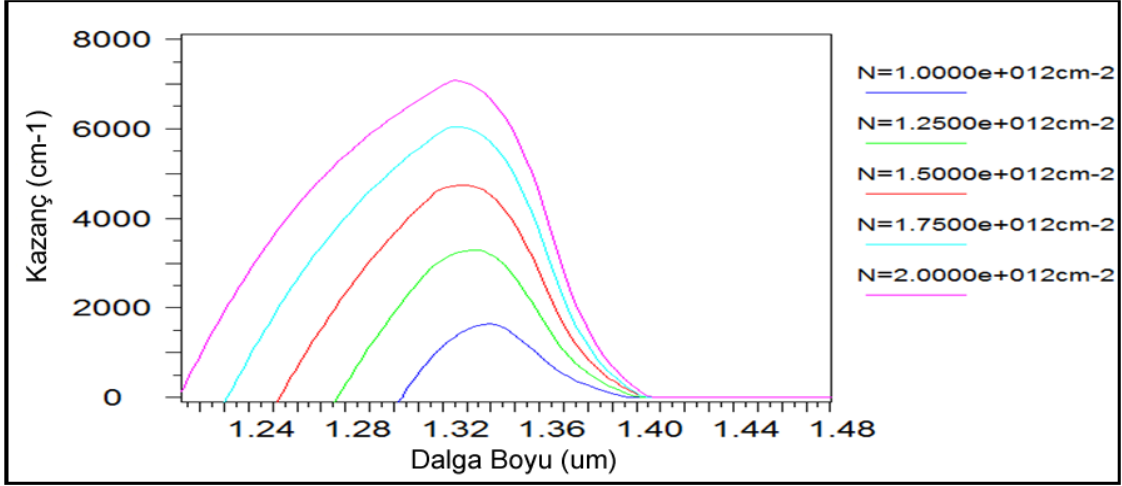
Şekil 3.70 . { InGaNaS / GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi Profili



Şekil 3.71 . { InGaNaS / GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Bant Aralığı Profili

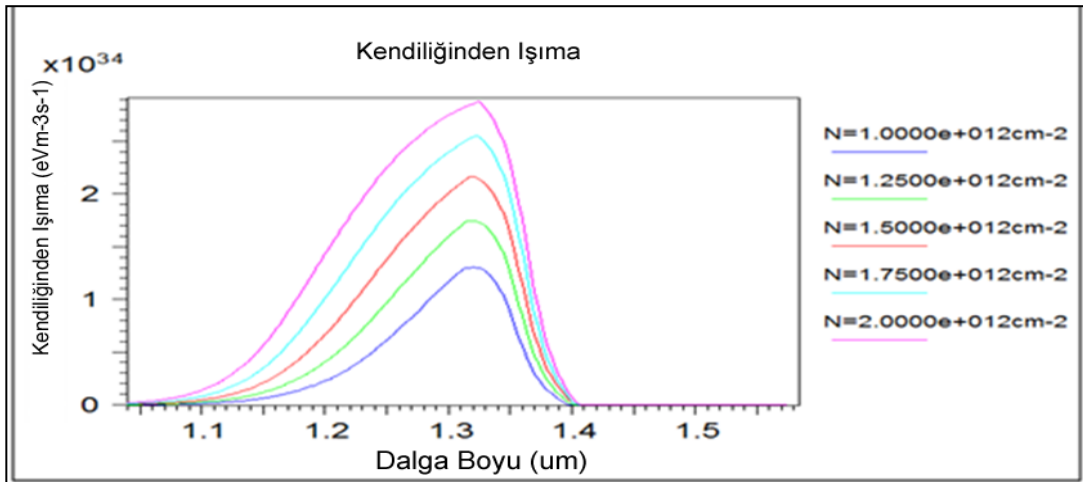
Bu yapıda Şekil 3.71 de görüldüğü gibi kuantum kuyusu bant enerjisi 0.7160 eV değerinde olup 1.4240 eV değerindeki bariyer bant enerjisinden daha düşüktür.

Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Bunlar aşağıda geniş bir şekilde yorumlanmıştır.



Şekil 3.72 . { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği

Şekil 3.72 de ortam sıcaklığı 300 K değerinde iken bu yapının malzeme kazancı incelenmiştir. Burada sıcaklıklar sabitken taşıyıcı yoğunluğu değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir . Burada sıcaklık sabitken taşıyıcı yoğunluğu değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Bu durumda taşıyıcı yoğunluğu $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ile $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ aralığında arttıkça dalga boyunda artarak çok az bir değişim olmakla birlikte kazancın yükseldiği gözlenmiştir. Lazer dalga boyu öngörülen optimum taşıyıcı yoğunluğu $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde optimum değer olarak 1.33 μm civarında gözlenmiştir.

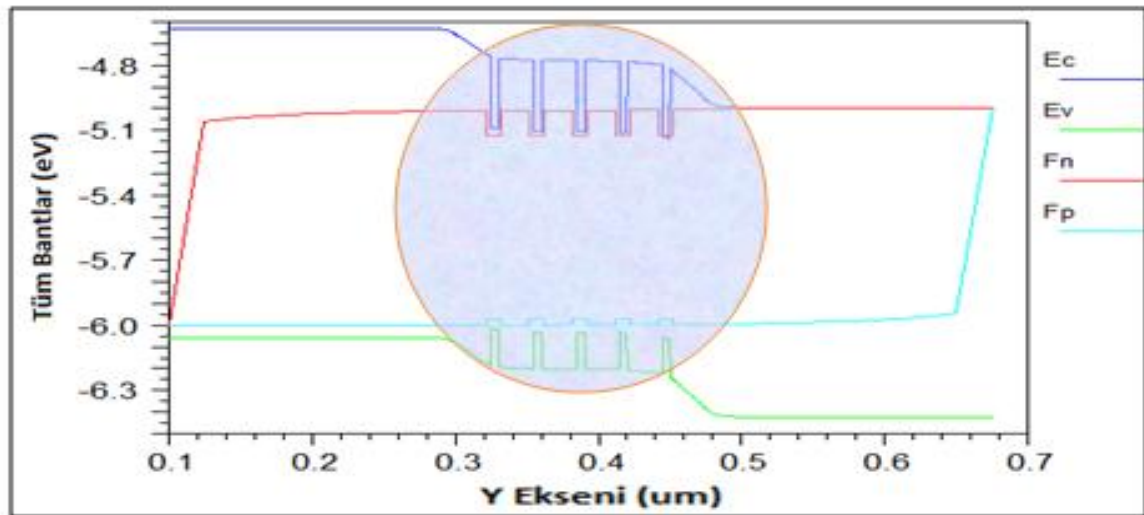


Şekil 3.73 . { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği

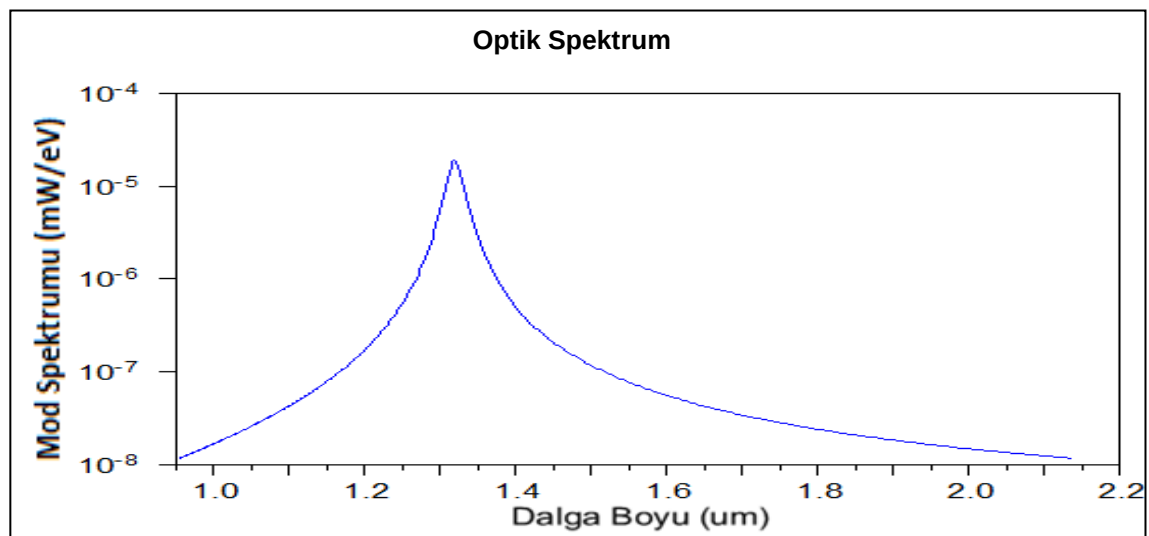
Şekil 3.73 te ortam sıcaklığı 300 K iken taşıyıcı yoğunluğu değiştirilmesiyle elde edilen sonuç görülmektedir. Taşıyıcı yoğunlukları $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ile $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$

aralığında değiştirilmiştir. Bu durumda taşıyıcı yoğunluğu arttıkça dalga boyunda artarak çok az bir değişim olmakla birlikte ışıma değerinin yükseldiği gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Bölüm 4 de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu tip lazerlerin {L–I–V} analizleri izleyen yapılarla birlikte 4. Bölümde ele alınmıştır.

SIMULATE LASER sürecinde lazerle ilgili üretilen veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılarak birtakım analizler yapılmış ve bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.74 de bu Yapı için Tüm Bantlar profili verilmiştir. Elektron (F_n) ve (Hole) deşiklerin (F_p) bant profilleri de bu grafikte verilmiştir. Burada Kuantum Kuyu Bölgesi oval bir pencere ile dikkate sunulmuştur.



Şekil 3.74 . { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Tüm Bant Profili



Şekil 3.75 . { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 1. Tip Yapı Optik Spektrum Profili

Şekil 3.75 de bu Yapı Mod Spektrumu – Dalga Boyu grafiği verilmiştir. Sıcaklık 300 K ve taşıyıcı yoğunluğu $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken bu lazerde 1.33 μm dalga boyu civarında Pik gözlenmiştir. Bu grafikte Lazerin Optik Spektrumuna bir bakış sağlanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar deneysel sonuçlarla beraber Bölüm 4 de ele alınmıştır.

3.3.2. { InGaNaS/ GaNaS / GaAs } 2. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot Ridge tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.2 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [113,105]. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 0.3 μm olarak tasarlanmıştır .

Burada alt taş olarak GaAs kullanılmıştır. Alt taş 200 nm kalınlığındaki olup $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.311 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.15 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.15 de verilmiştir.

Bundan sonra alt taş üzerine 50 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı { 2. Bölge } $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ geçiş bölgesi büyütülmüştür. Bir sonraki büyütme 35 nm kalınlıklı { 3. Bölge } katkısız GaAs ile sağlanmıştır. Daha sonra 12 nm kalınlıklı katkısız { 4. Bölge } $\text{As}_{0.82}\text{P}_{0.18}\text{Ga}$ iç – kaplama bölgesidir. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyu 6.4 nm kalınlıklı 3.371 kırılma indisine sahip 1 adet $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}_{0.015}\text{As}_{0.985}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyu 2 adet 3.303 kırılma indisli $\text{GaN}_{0.01}\text{As}_{0.99}$ bariyer – sınırlama arasında % 2.36 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir {5. Bölge }.

Çizelge 3.15. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n- GaAs (alttaş)	200 / 1	3.311
2.	n- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$	50 / 1	3.303
3.	GaAs	35 / katkısız	3.311
4.	$\text{As}_{0.82} \text{P}_{0.18} \text{Ga}$	12 / katkısız	3.262
5.	(QWL) $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}_{0.015}\text{As}_{0.985}$ (BAR) $\text{GaN}_{0.01}\text{As}_{0.99}$ 1 qwl– 3 bariyer	6.4 - 8 / katkısız	3.371 / 3.303
6.	$\text{As}_{0.82} \text{P}_{0.18} \text{Ga}$	12 / katkısız	3.262
7.	p- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$	50 / 5	3.303
8.	p- GaAs	20 / 5	3.311
9.	p- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ sırt	250 / 5	3.303
10.	p- GaAs sırt	50 / 5	3.311

İlerleyen bölge 12 nm kalınlıklı katkısız { 6. Bölge } $\text{As}_{0.82} \text{P}_{0.18} \text{Ga}$ iç – kaplama bölgesidir. Bundan sonra 50 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkılı { 7. Bölge } $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ geçiş bölgesi büyütülmüştür. Bir sonraki büyütme 20 nm kalınlıklı $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkılı { 8. Bölge } GaAs sırt bölgeye geçiş bölgesi ile sağlanmıştır. İzleyen bölge 250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı { 9. Bölge } $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ dış-kaplama ile büyütülmüştür. Bunun üzerine son olarak 50 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı GaAs { 10. Bölge } kontak – kaplama büyütülerek { InGaNaS/ GaNaS / GaAs } 2. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.3.3. { InGaNaS/ AsPGa/ GaAs } 3. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot Ridge tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.2 de x-y-z eksenlerinde

3 – Boyutta gösterilmiştir. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [113,105]. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 0.3 μm olarak tasarlanmıştır . Burada alt taş olarak GaAs kullanılmıştır. Alt taş 200 nm kalınlığındaki olup $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.311 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.16 da gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.16 da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n- GaAs (alttaş)	200 / 1	3.311
2.	n- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$	50 / 1	3.303
3.	GaAs	35 / katkısız	3.311
4.	$\text{As}_{0.82} \text{P}_{0.18} \text{Ga}$	12 / katkısız	3.262
5.	(QWL) $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}_{0.015}\text{As}_{0.985}$ (BAR) $\text{As}_{0.82} \text{P}_{0.18} \text{Ga}$ 1 qwl– 3 bariyer	6.4 - 8 / katkısız	3.371 / 3.262
6.	$\text{As}_{0.82} \text{P}_{0.18} \text{Ga}$	12 / katkısız	3.262
7.	p- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$	100 / 5	3.303
8.	p- GaAs	20 / 5	3.311
9.	p- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ sırt	250 / 5	3.303
10.	p- GaAs sırt	50 / 5	3.311

Bundan sonra alt taş üzerine 50 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n-tipi katkılı { 2. Bölge } $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ geçiş bölgesi büyütülmüştür. Bir sonraki büyütme 35 nm kalınlıklı { 3. Bölge } katkısız GaAs ile sağlanmıştır. Daha sonra 12 nm kalınlıklı katkısız { 4. Bölge } $\text{As}_{0.82} \text{P}_{0.18} \text{Ga}$ iç – kaplama bölgesidir. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyu 6.4 nm kalınlıklı 3.371 kırılma indisine sahip 1 adet $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}_{0.015}\text{As}_{0.985}$ malzemeden

oluşturulmuştur. Kuyu 2 adet 3.262 kırılma indisli $As_{0,82}P_{0,18}Ga$ bariyer – sınırlama arasında % 2.80 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir {5. Bölge }. İzleyen bölge 12 nm kalınlıklı katkısız { 6. Bölge } $As_{0,82}P_{0,18}Ga$ iç – kaplama bölgesidir. Bundan sonra 100 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 7. Bölge } $Al_{0,75}Ga_{0,25}As$ geçiş bölgesi büyütülmüştür. Bir sonraki büyütme 20 nm kalınlıklı $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkı { 8. Bölge } $GaAs$ sırt bölgeye geçiş bölgesi ile sağlanmıştır. İzleyen bölge 250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı { 9. Bölge } $Al_{0,75}Ga_{0,25}As$ dış-kaplama ile büyütülmüştür. Bunun üzerine son olarak 50 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p – tipi katkı $GaAs$ { 10. Bölge } kontak – kaplama büyütülerek { $InGaNaS / AsPGa / GaAs$ } 3. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.3.4. { $InGaNaS / GaAs / GaAs$ } 4. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [114]. Burada alt taş –kaplama olarak $GaAs$ kullanılmıştır. Alt taş 500 nm kalınlığında olup $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir p- tipi katkı ile büyütülmüştür.

Alt taş kırılma indisi 3.300 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.17 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.17 de verilmiştir.

Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 6 nm kalınlıklı 3.364 kırılma indisine sahip 1 adet $In_{0,35}Ga_{0,65}N_{0,008}As_{0,992}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 2 adet 3.300 kırılma indisli $GaAs$ bariyer arasında % 2.29 luk bir enine zorlanmaya sahiptir { 2. Bölge }.

Çizelge 3.22. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- GaAs KAPLAMA	500 / 1	3.300
2.	(QWL) $\text{In}_{0,35}\text{Ga}_{0,65}\text{N}_{0,008}\text{As}_{0,992}$ (BAR) GaAs 1 qwl– 3 bariyer	6 - 25 / katkısız	3.364 / 3.300
3.	n- GaAs KAPLAMA	500 / 1	3.300

İzleyen bölge 500 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkılı GaAs {3.Bölge} kontak–kaplama olarak büyütülerek {InGaNaS/GaAs/ GaAs} 4. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.3.5. { InGaNaS/ AsPGa/ GaAs } 5. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot Ridge tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.2 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [112].

Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Lazer aygıtın sırt yüksekliği 0.3 μm olarak tasarlanmıştır . Burada alt taş olarak GaAs kullanılmıştır. Alt taş 200 nm kalınlığındaki olup $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir n- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.311 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.18 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri, n ve p- tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.18 de verilmiştir .

Bir sonraki büyütme alt taş üzerine 35 nm kalınlıklı { 2. Bölge } katkısız GaAs ile sağlanmıştır. Daha sonra 12 nm kalınlıklı katkısız { 3. Bölge } $\text{As}_{0,82} \text{P}_{0,18} \text{Ga}$ iç – kaplama bölgesidir. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyu 6.4 nm kalınlıklı 3.371 kırılma indisine sahip 3 adet $\text{In}_{0,35}\text{Ga}_{0,65}\text{N}_{0,02}\text{As}_{0,98}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyu 4 adet 3.262 kırılma indisli $\text{As}_{0,82} \text{P}_{0,18} \text{Ga}$ bariyer – sınırlama arasında % 2.70 oranında bir enine zorlanmaya sahiptir {4. Bölge }.

Çizelge 3.18. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	n- GaAs (alttaş)	200 / 1	3.311
2.	GaAs	35 / katkısız	3.311
3.	As _{0,82} P _{0,18} Ga	12 / katkısız	3.262
4.	(QWL) In _{0,35} Ga _{0,65} N _{0,02} As _{0,98} (BAR) As _{0,82} P _{0,18} Ga 3 qwl– 4 bariyer	6.4 - 20 / katkısız	3.366 / 3.262
5.	As _{0,82} P _{0,18} Ga	12 / katkısız	3.262
6.	p- Al _{0,75} Ga _{0,25} As	100 / 5	3.303
7.	p- Al _{0,75} Ga _{0,25} As sırt	250 / 5	3.303
8.	p- GaAs sırt	50 / 5	3.311

İlerleyen bölge sonra 12 nm kalınlıklı katkısız { 5. Bölge } As_{0,82} P_{0,18} Ga iç – kaplama bölgesidir. Bundan sonraki büyütme 100 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p-tipi katkılı { 6. Bölge } Al_{0,75} Ga_{0,25} As sırt bölgeye geçiş bölgesi ile sağlanmıştır . İzleyen bölge 250 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkılı { 7. Bölge } Al_{0,75} Ga_{0,25} As dış-kaplama ile büyütülmüştür. Bunun üzerine son olarak 50 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p – tipi katkılı GaAs { 8. Bölge } kontak – kaplama büyütülerek { InGaAs/ AsPGa/ GaAs } 5. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.4. { AlGaAs} Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar

3.4.1. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı :

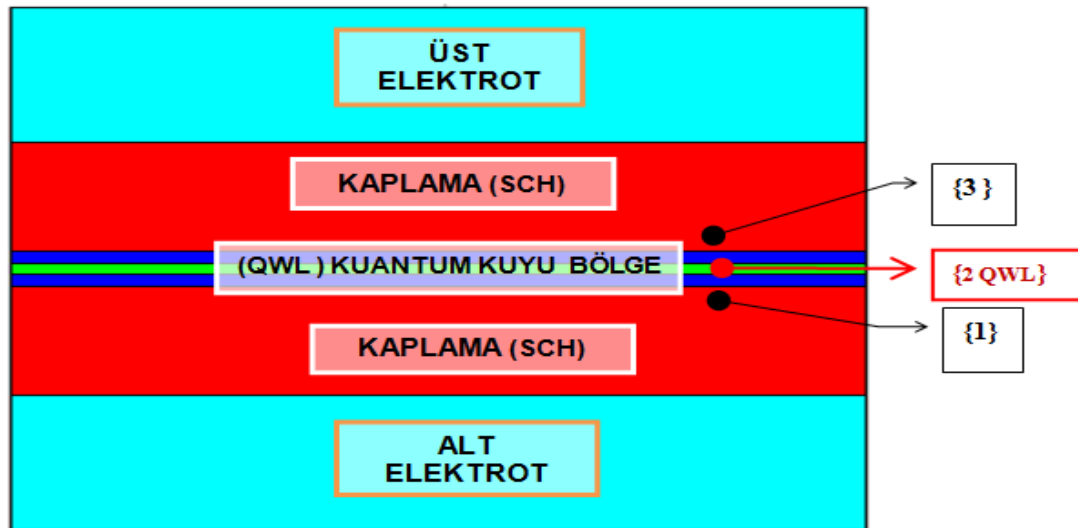
Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak

tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [126]. Burada alt taş – kaplama olarak $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ kullanılmıştır. Alt taş 80 nm kalınlığında olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir p- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.302 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.19 ve Şekil 3.76 da gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.19 da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

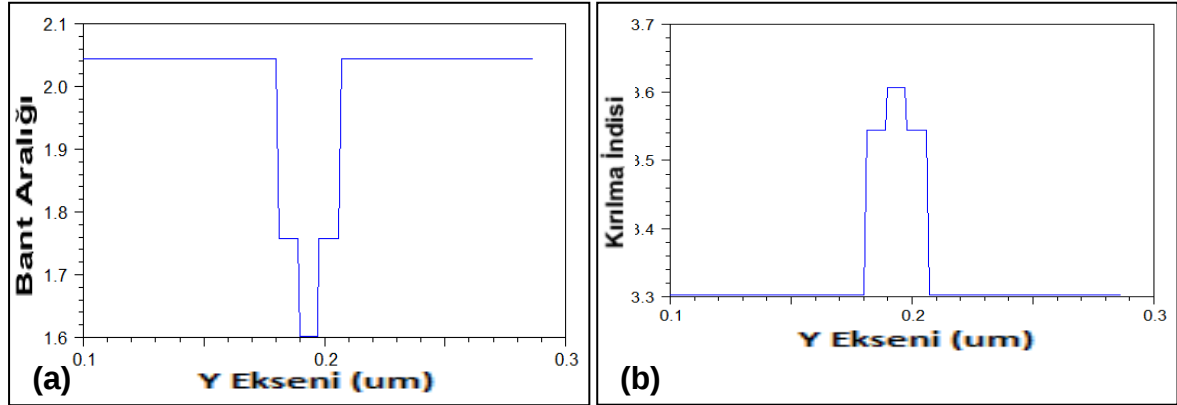
	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ kaplama	80 / 5	3.302
2.	(QWL) $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{As}$ (BAR) $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 1 qwl– 2 bariyer	8 - 9 / katkısız	3.606 / 3.544
3.	n- $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ kaplama	500 / 1	3.302

Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 8 nm kalınlıklı 3.606 kırılma indisine sahip 1 adet $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 2 adet 3.544 kırılma indisli $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ bariyer { 2. Bölge } arasında % 0.01 lik bir boyuna zorlanmaya sahiptir. Kuantum kuyu bölge Şekil 3.76 da kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İzleyen bölge 500 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkılı $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ {3.Bölge} kontak–kaplama olarak büyütülerek { AlGaAs / AlGaAs / AlGaAs } Lazer yapısı tamamlanmıştır.



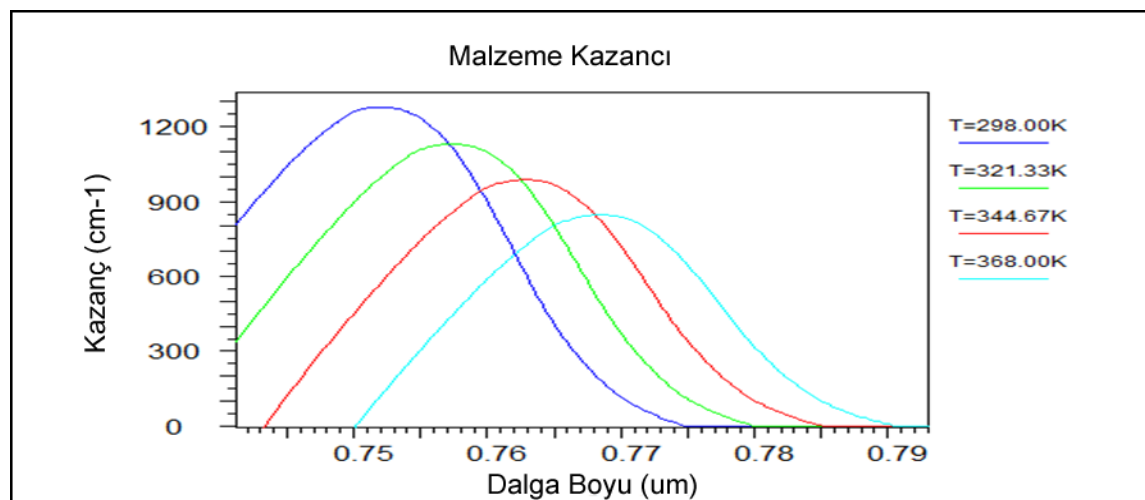
Şekil 3.76. { AlGaAs / AlGaAs / AlGaAs } Yapı Lazer Profili

Bu yapıyla geleneksel olarak AlGaAs kuyulu lazerlere bir bakış amaçlanmıştır. LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu Yapı $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{As}$ Kuantum Kuyuları $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ bariyerler arasında % 0.01 oranında bir boyuna zorlanmaya sahiptir.



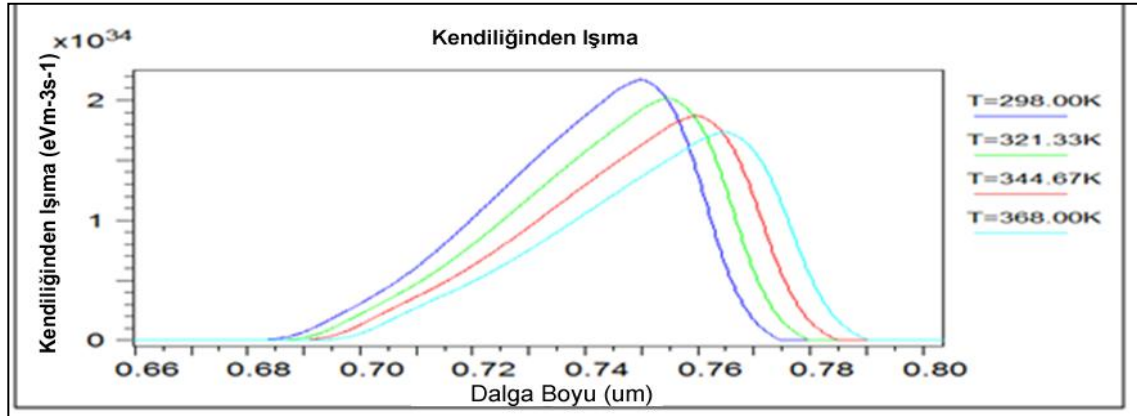
Şekil 3.77. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Kırılma İndisi ve Bant Profilleri

Bu yapıda Şekil 3.77.a da görülebileceği gibi kuantum kuyusu bant enerjisi 1.6338 eV değerinde olup 1.7895 eV değerindeki bariyer bant enerjisinden daha düşüktür. Bu yapıda kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler sırasıyla Şekil 3.77.b de görülebileceği gibi kuyu bölge ve bariyerler için 3.606 / 3.544 olup Çizelge 3.19 da indis değerleri tüm bölgeler için tek tek verilmiştir. Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir.



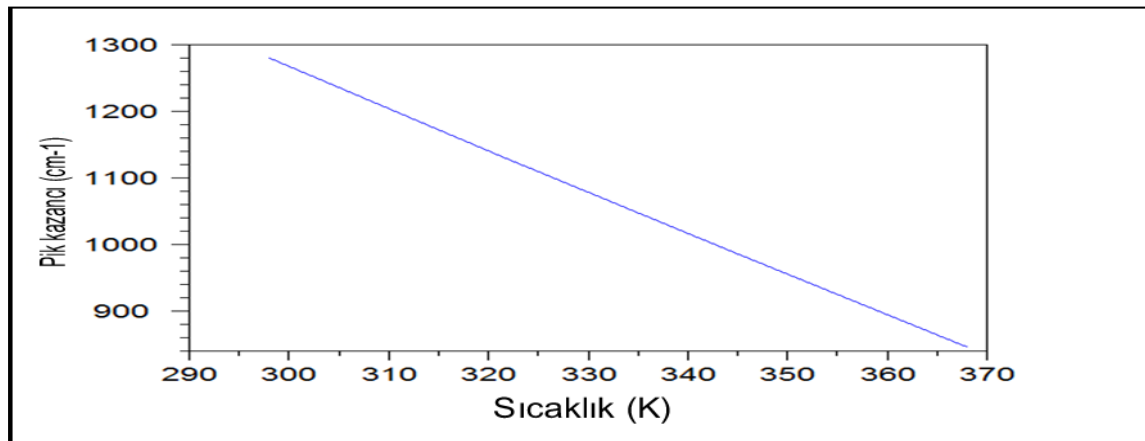
Şekil 3.78 . { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Malzeme Kazanç Grafiği

Şekil 3.78 de bu yapının optimum taşıyıcı yoğunluğu $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde ve ortam sıcaklığı 298 K den 368 K dereceye kadar artırılırken, dalga boyunun arttığı ve malzeme kazancının azaldığı görülmektedir. 298 K de en yüksek kazanç ve en az dalga boyu elde edilmiştir. Burada optimum dalga boyu 750 nm civarı görülmüştür. Analizlerden lazer için kazancın taşıyıcı yoğunluğu $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerindeyken 800 cm^{-1} ile 1300 cm^{-1} arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 3.79. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Kendiliğinden Işıma Grafiği

Şekil 3.79 da ise lazerin kendiliğinden ışımaya grafiği görülmektedir. Burada sıcaklık parametresinin malzeme üzerindeki kendiliğinden ışımaya etkilerine bakılmıştır. Lazerin taşıyıcı yoğunluğu $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken sıcaklık 298 K ile 368 K aralığında arttırıldıkça kendiliğinden ışımaya değerinin azaldığı görülmüştür.



Şekil 3.80 . { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Malzeme Pik Kazanç Grafiği

Malzeme kazancıyla ilgili yukarıda yapılan analizlere destek sağlanabilmesi amacıyla Şekil 3.80 de malzeme pik kazancı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak

verilmiştir. Bir sonraki aşamada **SIMULATE LASER** işlemi ile tasarlanan Lazer aygıtın { L-I-V } grafiği ve verileri üretilmiştir. Bu yapıda kullanılan parametreler Çizelge 3.20 de aşağıda verilmiştir.

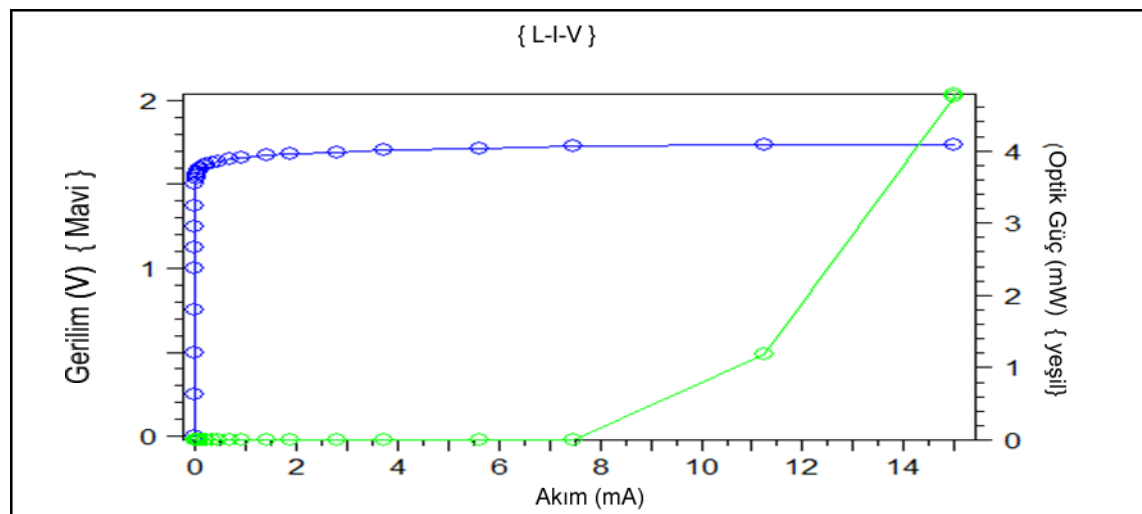
Çizelge 3.20. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Bias Tablosu

L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri
Bias 0	0 V	Bias 1	1 V	Bias 2	1.5 V
Bias 3	15 mA	Bias 4	30 mA		

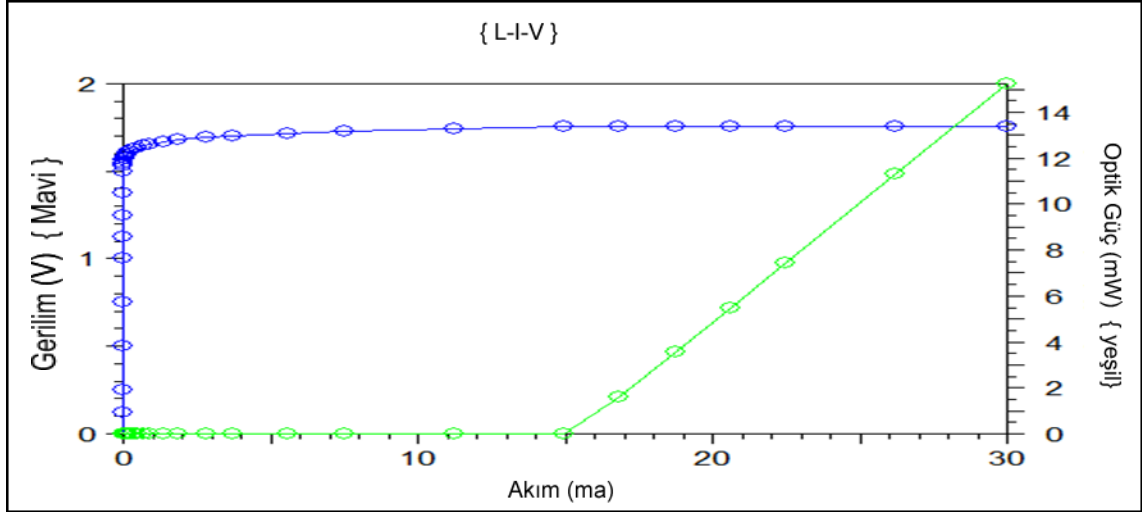
Şekil 3.81 de 298 K sıcaklıkta 7.5 mA civarında bir eşik akımından sonra lazer aktive olmuş lazerin çıkış gücü Bias 3 te belirtilen 15 mA başlangıç değerinde 4.8 mW civarında olmuştur.

Şekil 3.82 de bu kez 300 K sıcaklıkta 15 mA civarına yükselen eşik akımından sonra lazer aktive olmuş lazerin çıkış gücü Bias 4 te belirtilen 30 mA başlangıç değerinde 15 mW civarına yükseldiği görülmüştür.

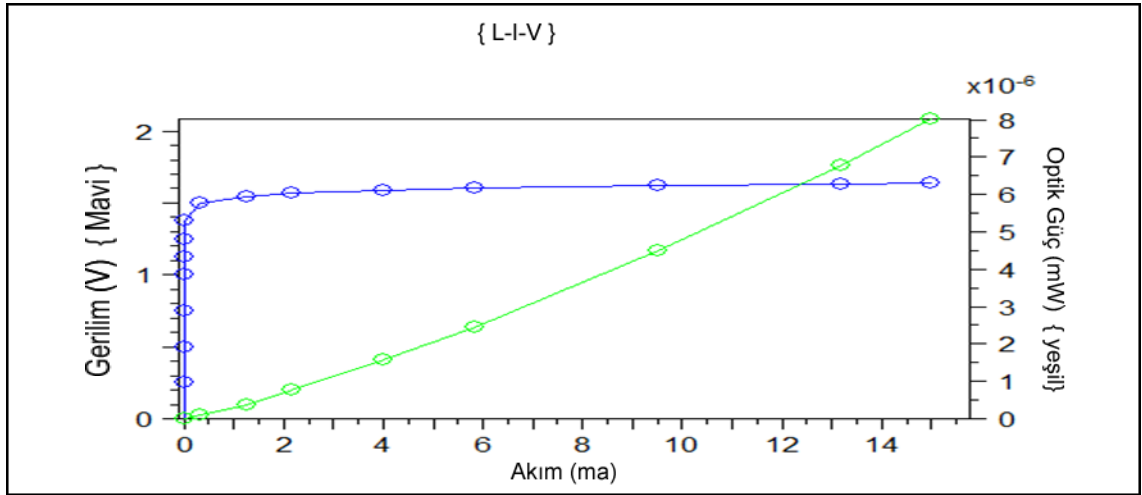
Şekil 3.83 de ise 368 K sıcaklığına getirilen lazerin eşik akımının büyük bir düşüşle 1 mA civarına inmesiyle lazer aktive olmuş fakat beklenin tersine lazerin çıkış gücü Bias 3 te belirtilen 15 mA başlangıç değerinde 8×10^{-6} mW civarına indiği görülmüştür.



Şekil 3.81 . { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Grafiği - 298 K -



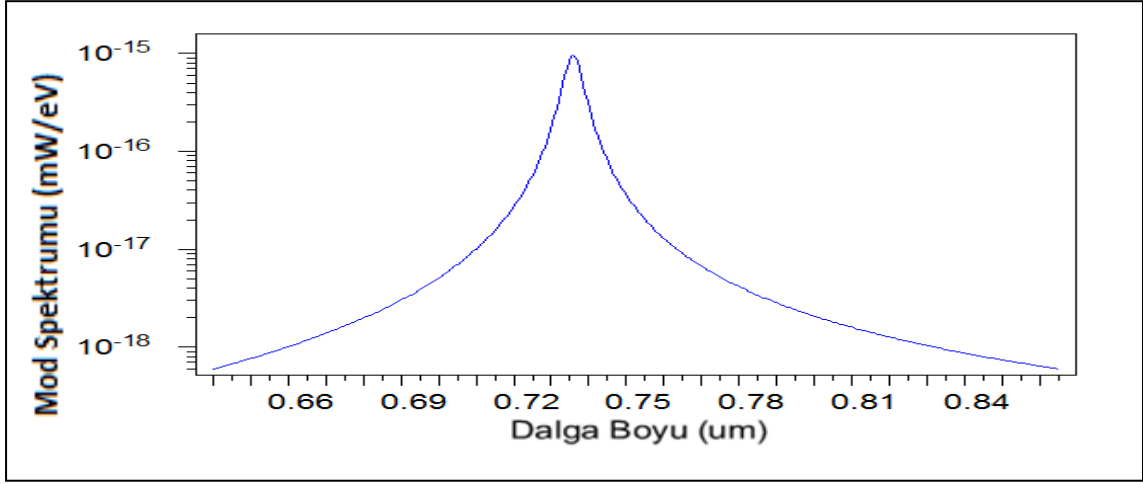
Şekil 3.82 . { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Grafiği - 300 K –



Şekil 3.83 . { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Grafiği - 368 K –

Şekil 3.81 ve 3.82 de görülen orantılı artışın tersine Şekil 3.83 deki büyük azalış nano boyutlarda henüz tam anlamıyla ortaya konamayan ve deneysel – teorik destekler bekleyen nano belirsizliklerdir. Bu tip çalışmaların böylesi durumlarında tekrar deneysel yaklaşımlarla desteklenip yeni fiziksel yaklaşımlarla simülasyon üretilmesi gerekmektedir.

SIMULATE LASER sürecinde lazerle ilgili üretilen veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılarak birtakım analizler yapılmıştır.



Şekil 3.84 . { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs} Yapı Optik Spektrum Profili

Şekil 3.84 de bu yapı için Mod Spektrumu – Dalgı Boyu grafiğı verilmiştir. Sıcaklık 300 K ve taşıyıcı yoğunluğu $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken bu lazerde 736 nm dalgı boyunda Pik gözlenmiştir. Malzeme kompozisyonlarındaki hassas değışikliklerle veya taşıyıcı yoğunluğu katkılarıyla istenilen dalgı boyuna ulaşmak mümkün olmakla birlikte deneysel çalışmalarla bu durumların desteklenmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla beraber Bölüm 4 de ele alınmıştır.

3.5. { InGaAs } Kuantum Kuyusu Üzerindeki Çalışmalar

3.5.1 { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı :

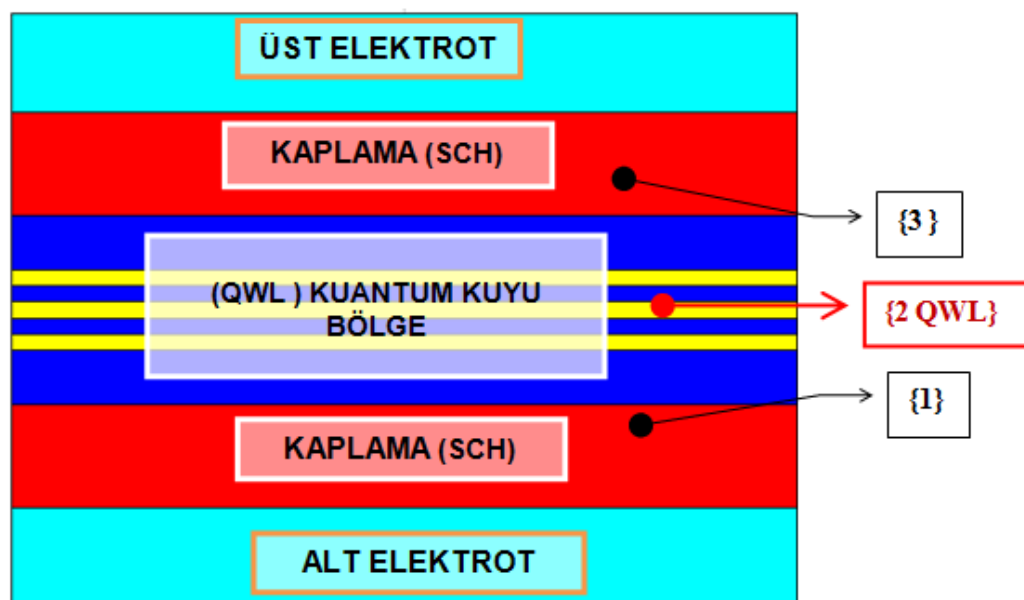
Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [119]. Burada alt taş – kaplama olarak $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ kullanılmıştır. Alt taş 104 nm kalınlığında olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir p- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.636 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.21 ve Şekil 3.85 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.21 de verilmiştir.

Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 16 nm kalınlıklı 3.338 kırılma indisine sahip 3 adet $\text{In}_{0,18}\text{Ga}_{0,82}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 2 şer adet 3.300 kırılma indisli GaAs 16 nm bariyer ve 56 nm sınır-hapis arasında % 1.27 lik bir enine zorlanmaya sahiptir { 2. Bölge }.

Çizelge 3.21. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

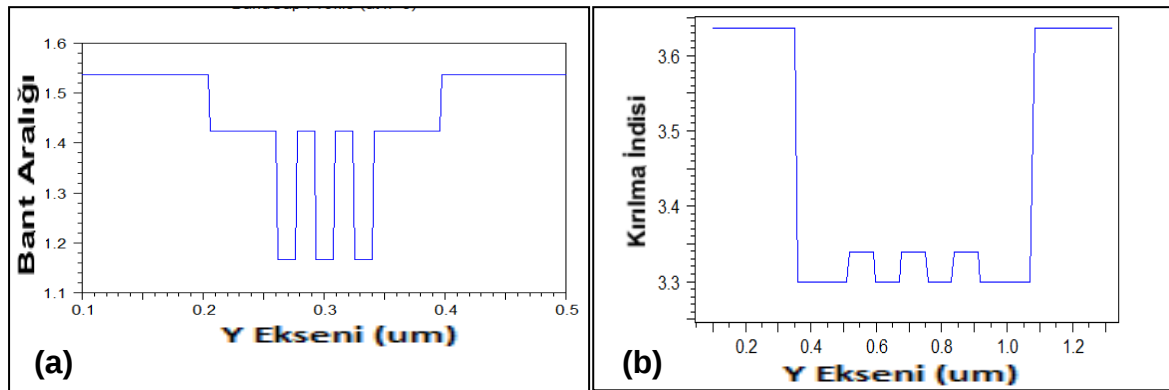
	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ kaplama	104 / 5	3.636
2.	(QWL) $\text{In}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{As}$ (BAR) GaAs 3 qwl– 4 bariyer	16 – 16 – 56(SCH) / katkısız	3.338 / 3.300
3.	n- $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ kaplama	104 / 1	3.636

Kuantum kuyu bölge Şekil 3.85 de kırmızı renkli kutu içinde ayrıca dikkate sunulmuştur. İzleyen bölge 104 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkılı $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ { 3. Bölge } kontak – kaplama olarak büyütülerek { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Lazer yapısı tamamlanmıştır.



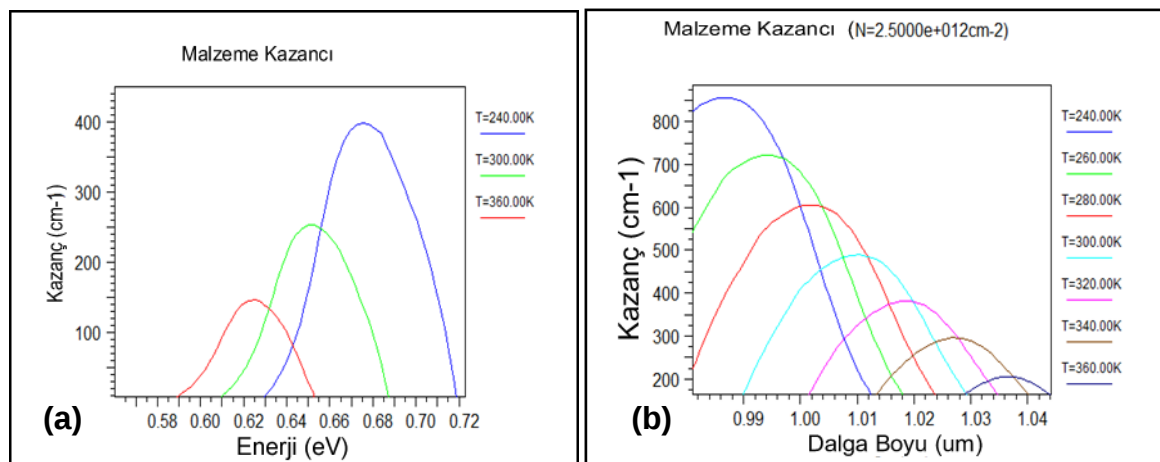
Şekil 3.85. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Laser Profili

Bu yapıyla geleneksel olarak InGaAs kuyulu lazerlere bir bakış amaçlanmıştır. LaserMOD programının **GENERATE MESH** bölümünden, Lazer yapının Ağ-örgü yapısına ait bir örgü şekli çıkarılmıştır. Bu yapıda Şekil 3.86.a dan görülebileceği gibi kuantum kuyusu bant enerjisi 1.1669 eV değerinde olup 1.4240 eV değerindeki bariyer bant enerjisinden daha düşüktür. Bu yapıda kuantum kuyu bölge indisi bariyer ve kaplamadan yüksek bir değere sahiptir. Bu değerler Şekil 3.86.b de görülebileceği gibi sırasıyla kuyu bölge ve bariyerler için 3.338 / 3.300 olup Çizelge 3.21 de indis değerleri tüm bölgeler için tek tek verilmiştir.



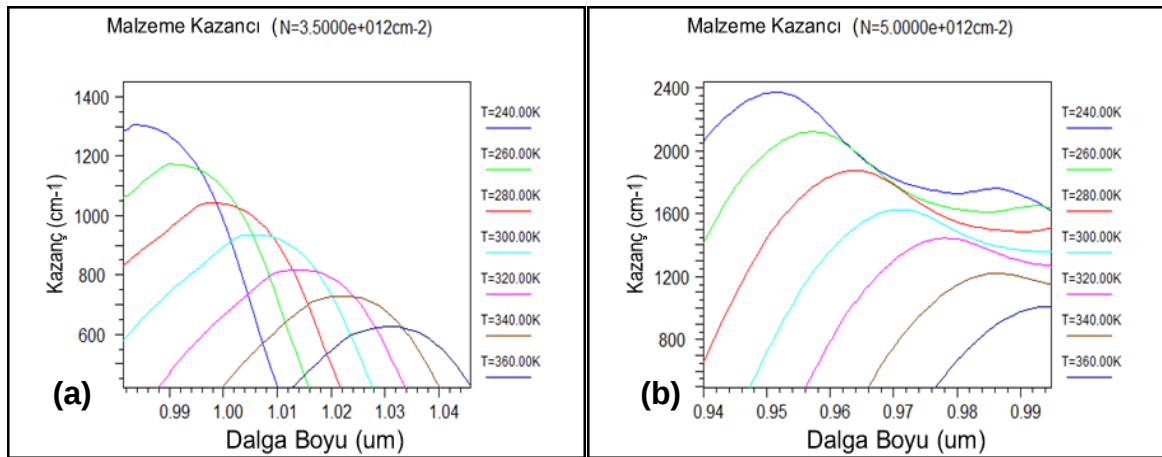
Şekil 3.86. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip Yapı Kırılma İndisi ve Bant Profilleri

Sonraki aşamada **MATERIAL GAIN** bölümünden istenilen sıcaklık (Kelvin derece olarak) değerleri ve Taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, Kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, Pik Kazanç grafikleri ve verileri, Kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir.



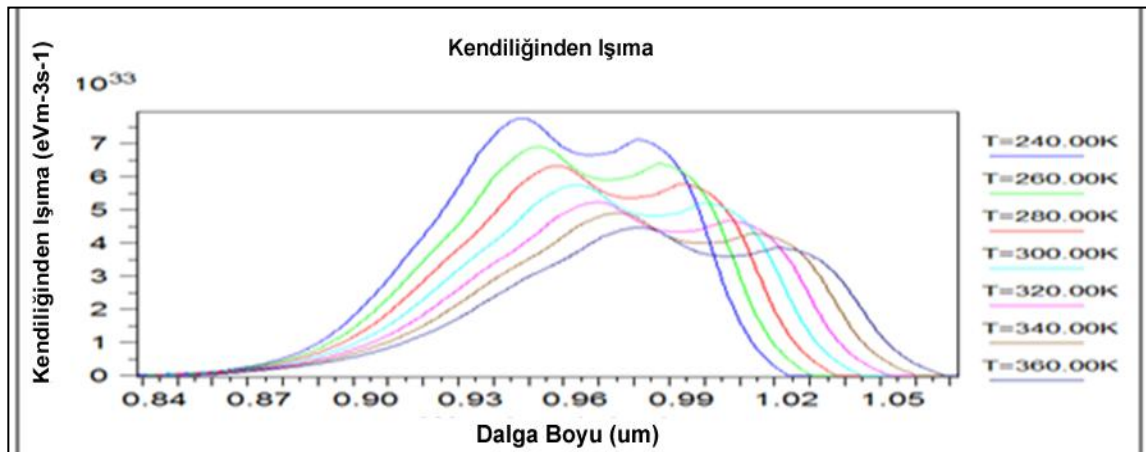
Şekil 3.87. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 1

Şekil 3.87.a da bu yapı için taşıyıcı yoğunluğu olarak $1.6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken ortam sıcaklığı 240 K den 360 K dereceye kadar artırılırken malzeme kazancının ve enerjinin azaldığı görülmektedir. 240 K de en yüksek kazanç ve enerji görülmüştür. Şekil 3.87.b de bu yapı için taşıyıcı yoğunluğu olarak $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken ortam sıcaklığı 240 K den 360 K dereceye kadar artırılırken dalga boyunun artarken malzeme kazancının azaldığı görülmektedir. 240 K de en yüksek kazanç ve en az dalga boyu elde edilmiştir. Burada optimum dalga boyu $1 \mu\text{m}$ civarındadır.



Şekil 3.88. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Malzeme Kazanç Grafiği 2

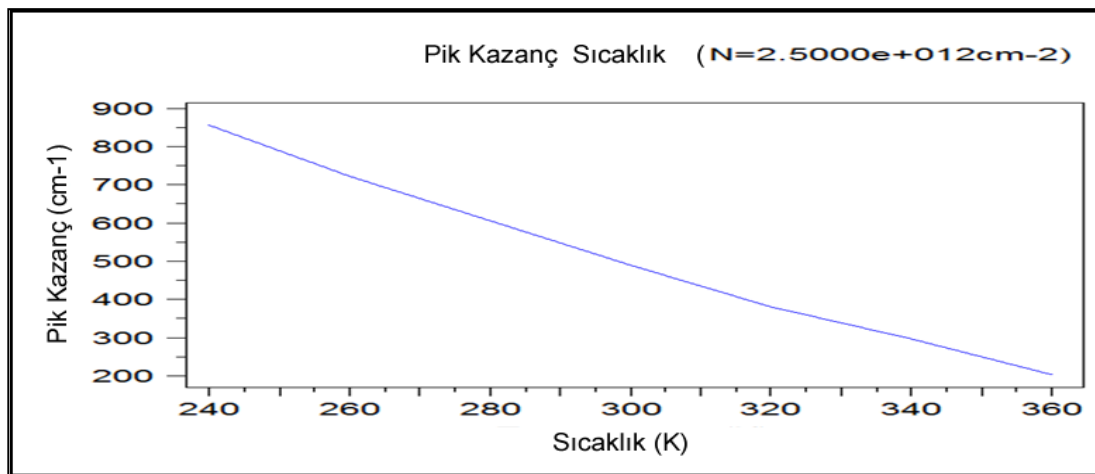
Şekil 3.88.a ve 3.88.b de taşıyıcı yoğunluğu sırasıyla $3.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ve $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken kazancın giderek arttığı ve en fazla 2400 cm^{-1} değerine ulaşmakla birlikte ışınım dalga boyunun azalarak 950 nm civarına düştüğü görülmektedir. Şekil 3.89 da ise lazerin kendiliğinden ışınım grafiği görülmektedir.



Şekil 3.89. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Kendiliğinden Işınım Grafiği

Burada sıcaklık parametresinin malzeme üzerindeki kendiliğinden ışıma etkilerine bakılmıştır. Lazerin taşıyıcı yoğunluğu $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde iken ortam sıcaklığı 240 K den 360 K dereceye kadar artırılırken kendiliğinden ışıma değerinin azaldığı görülmüştür.

Malzeme kazancıyla ilgili yukarıda yapılan analizlere destek sağlanabilmesi amacıyla Şekil 3.90 da malzeme pik kazancı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak verilmiştir.



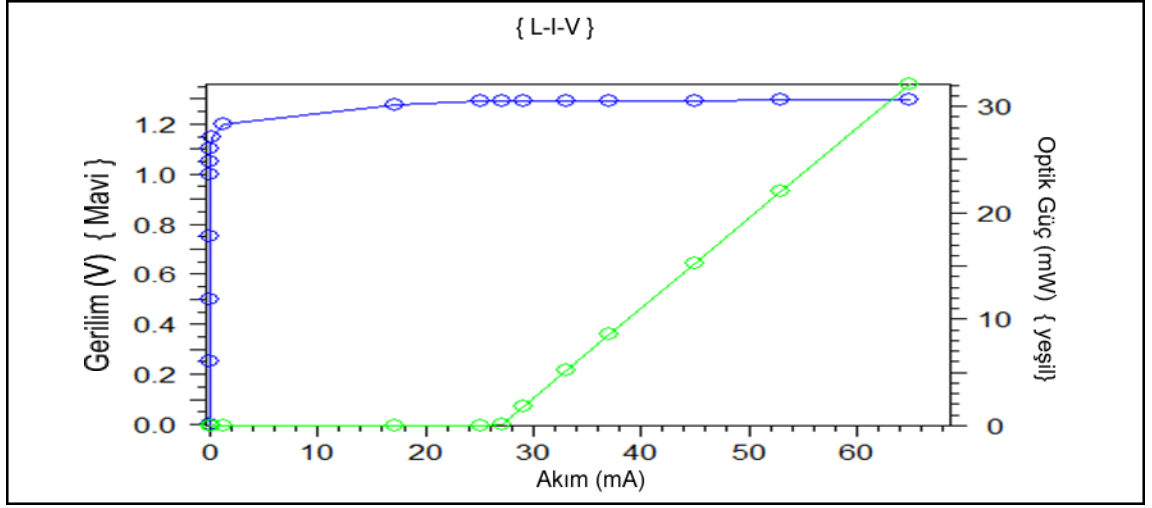
Şekil 3.90. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip Yapı Malzeme Pik Kazanç Grafiği

Bir sonraki aşamada **SIMULATE LASER** işlemi ile tasarlanan Lazer aygıtın { L-I-V } grafiği ve verileri üretilmiştir. Bu yapıda kullanılan parametreler Çizelge 3.22 de verilmiştir.

Çizelge 3.22. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip L-I-V Bias Tablosu

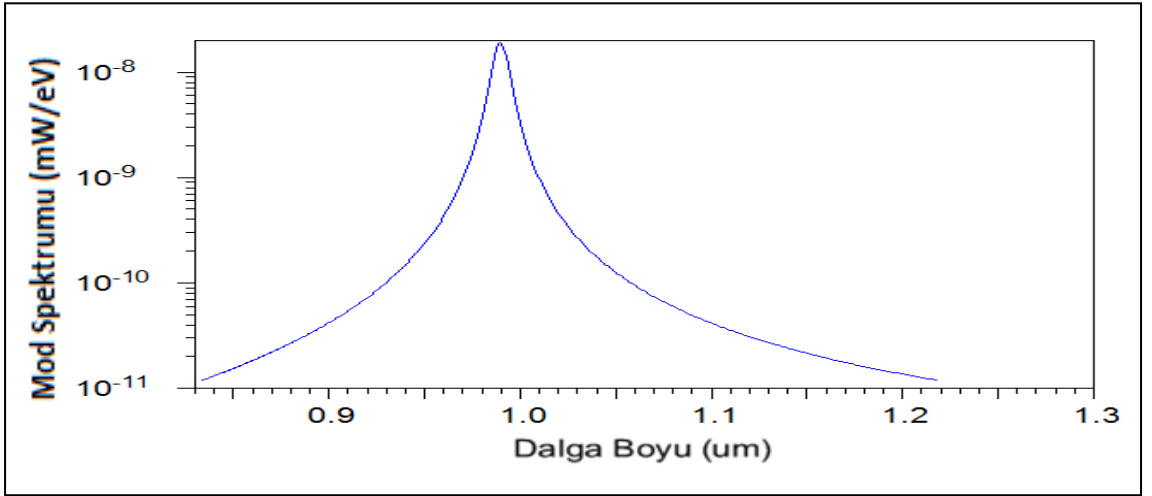
L-I-V Bias	Bias Değeri	L-I-V Bias	Bias Değeri
Bias 0	0 V	Bias 1	1 V
Bias 2	1.25 V	Bias 3	65 mA

Şekil 3.91 de 300 K sıcaklıkta 27 mA civarında bir eşik akımından sonra lazer aktive olmuş lazerin çıkış gücü Bias 3 te belirtilen 65 mA başlangıç değerinde 32 mW civarında olmuştur.



Şekil 3.91. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı L-I-V Grafiği

SIMULATE LASER sürecinde lazerle ilgili üretilen veriler **GENERATE PLOT** bölümünde kullanılarak birtakım analizler yapılmıştır. Şekil 3.92 de bu yapı için Mod Spektrumu – Dalga Boyu grafiği verilmiştir. Sıcaklık 300 K ve taşıyıcı yoğunluğu $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ iken bu lazerde 990 nm dalga boyunda Pik gözlenmiştir.



Şekil 3.92. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs} 1. Tip Yapı Optik Spektrum Profili

Malzeme kompozisyonlarındaki hassas değişikliklerle veya taşıyıcı yoğunluğu katkılarıyla istenilen dalga boyuna ulaşmak mümkün olmakla birlikte deneysel çalışmalarla bu durumların desteklenmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla beraber Bölüm 4 de ele alınmıştır.

3.5.2. { InGaAs / AsPGa / AlGaAs } 2. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [119].

Burada alt taş – kaplama olarak $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ kullanılmıştır. Alt taş 30 nm kalınlığında olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir p- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.585 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.23 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.23 de verilmiştir.

Çizelge 3.23. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ KAPLAMA	30 / 5	3.585
2.	p- $\text{As}_{0.83} \text{P}_{0.17} \text{Ga}$	15 / 5	3.253
3.	(QWL) $\text{In}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{As}$ (BAR) $\text{As}_{0.83} \text{P}_{0.17} \text{Ga}$ 4 qwl– 5 bariyer	16 – 16 – 56(SCH) / katkısız	3.338 / 3.253
4.	n- $\text{As}_{0.83} \text{P}_{0.17} \text{Ga}$	15 / 1	3.253
5.	n- $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ KAPLAMA	30 / 1	3.585

Daha sonra 15 nm kalınlığındaki $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ p- tipi katkı { 2. Bölge } $\text{As}_{0.83} \text{P}_{0.17} \text{Ga}$ malzeme hapis- sınırlama olarak büyütülmüştür. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 16 nm kalınlıklı 3.338 kırılma indisine sahip 4 adet $\text{In}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 3.253 kırılma indisli 2 adet $\text{As}_{0.83} \text{P}_{0.17} \text{Ga}$ malzemeden 56 nm sınır-hapis ve 3 adet 16 nm bariyer arasında % 1.18 lik bir enine zorlanmaya sahiptir { 3. Bölge }.

Daha sonra 15 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkı { 4. Bölge } $\text{As}_{0,83} \text{P}_{0,17} \text{Ga}$ malzeme hapis - sınırlama olarak büyütülmüştür. Daha sonra 30 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkı { 2. Bölge } $\text{Al}_{0,2} \text{Ga}_{0,8} \text{As}$ malzeme kontak – kaplama olarak büyütülerek { InGaAs / AsPGa/ AlGaAs} 2. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.5.3. { InGaAs / GaAs / GaAs} 3. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [127].

Burada alt taş – kaplama olarak GaAs kullanılmıştır. Alt taş 140 nm kalınlığında olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir p- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.300 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.24 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.24 de verilmiştir.

Çizelge 3.24. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- GaAs kaplama	140 / 5	3.300
2.	$\text{Ga}_{0,61} \text{In}_{0,39} \text{As}_{0,27} \text{P}_{0,73}$	200 / katkısız	3.144
3.	(QWL) $\text{In}_{0,46} \text{Ga}_{0,54} \text{As}$ (BAR) GaAs 3 qwl– 4 bariyer	5 – 20 / katkısız	3.398 / 3.300
4.	$\text{Ga}_{0,61} \text{In}_{0,39} \text{As}_{0,27} \text{P}_{0,73}$	200 / katkısız	3.144
5.	n- GaAs kaplama	155 / 1	3.300

Daha sonra 200 nm kalınlığındaki katkısız { 2. Bölge } $\text{Ga}_{0,61}\text{In}_{0,39}\text{As}_{0,27}\text{P}_{0,73}$ malzeme hapis- sınırlama olarak büyütülmüştür. Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 5 nm kalınlıklı 3.398 kırılma indisine sahip 3 adet $\text{In}_{0,46}\text{Ga}_{0,54}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 3.300 kırılma indisli 2 adet GaAs malzemeden bariyer arasında % 3.19 luk bir enine zorlanmaya sahiptir {3. Bölge}. Daha sonra 200 nm kalınlığındaki katkısız { 4. Bölge } $\text{Ga}_{0,61}\text{In}_{0,39}\text{As}_{0,27}\text{P}_{0,73}$ malzeme hapis- sınırlama olarak büyütülmüştür. Daha sonra 155 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkı { 5. Bölge } GaAs malzeme kontak – kaplama olarak büyütülerek { InGaAs / GaAs / GaAs } 3. Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.5.4. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } 4. Tip Yapı :

Bu yapının dizaynı LaserMOD aygıtı ile yapılırken izleyen aşamalar uygulanmıştır. Bu lazer aygıtı üretilirken Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilecektir. Bu yapının simülasyon planı Şekil 3.37 de x-y-z eksenlerinde 3 – Boyutta gösterilmiştir. Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmıştır. Ortam sıcaklığı 300 K olup sağ ve sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır. Benzeri bir çalışma referansta bulunmaktadır [115]. Burada alt taş – kaplama olarak $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ kullanılmıştır. Alt taş 100 nm kalınlığında olup $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ bir p- tipi katkı ile büyütülmüştür. Alt taş kırılma indisi 3.590 olup bu bölge { 1. Bölge } olarak Çizelge 3.25 de gösterilmiştir. İzleyen tüm bölgelerin kırılma indisleri n ve p - tipi katkı oranları ve malzeme kompozisyonları Çizelge 3.25 de verilmiştir.

Çizelge 3.25. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ kaplama	100 / 5	3.590
2.	(QWL) $\text{In}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$ (BAR) $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ 1 qwl– 2 bariyer	8 – 16 / katkısız	3.338 / 3.539
3.	n- p- $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ kaplama	100 / 1	3.590

Sonraki bölge Kuantum kuyu bölge (QWL) olup burada kuantum kuyular 8 nm kalınlıklı 3.338 kırılma indisine sahip 1 adet $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ malzemeden oluşturulmuştur. Kuyular 2 adet 3.3539 kırılma indisli 16 nm GaAs bariyer arasında % 1.03 lük bir enine zorlanmaya sahiptir { 2. Bölge }. İzleyen bölge 100 nm kalınlığındaki $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ n- tipi katkı $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ { 3. Bölge } kontak – kaplama olarak büyütülerek { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs} 4.Tip Lazer yapısı tamamlanmış ve 1. Tiptekine benzer çalışmalar bu tip içinde yapılmıştır.

3.5.5. { InGaAs / AlGaInAs/ InP } 5. Tip Yapı :

Bu ve bundan sonraki izleyen lazer yapılarda sadece “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiş ve lazerler Şekil 3.37 de belirtilen Fabry – Parot tipi lazer yapı olarak dizayn edilmiş, bu yapıların Lazer oyuk uzunluğu (z- ekseninde) 500 μm olarak planlanmış olup ortam sıcaklığı 300 K alınmış ve sağ - sol yüzey yansıtıcılıkları 0.37 olarak tasarlanmıştır.

Çizelge 3.26. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- InP kaplama	100 / 5	3.108
2.	(QWL) $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{As}$ (BAR) $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.5}\text{As}$ 1 qwl– 2 bariyer	7 – 6 / katkısız	3.304 / 3.340
3.	n- InP kaplama	100 / 1	3.108

Çizelge 3.26 da 5. Tip yapının “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiştir. Yine bu yapının benzeri bir çalışma referansda bulunmaktadır [126].

3.5.6. { InGaAs / GaInAsP / InP } 6. Tip Yapı :

Çizelge 3.27 de 6. Tip yapının “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.27. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- InP kaplama	500 / 5	3.108
2.	(QWL) $\text{In}_{0,02}\text{Ga}_{0,98}\text{As}$ (BAR) $\text{Ga}_{0,64}\text{In}_{0,36}\text{As}_{0,83}\text{P}_{0,17}$ 1 qwl– 2 bariyer	9 – 70 / katkısız	3.304 / 3.320
3.	n- InP kaplama	500 / 1	3.108

Bu yapının benzeri bir çalışma referansda bulunmaktadır [126].

3.5.7. { InGaAs / GaAs / AlGaAs } 7. Tip Yapı :

Çizelge 3.28 de 7. Tip yapının “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiştir

Çizelge 3.28. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ kaplama	480 / 5	3.533
2.	(QWL) $\text{In}_{0,02}\text{Ga}_{0,98}\text{As}$ (BAR) GaAs 1 qwl– 2 bariyer	8 – 90 / katkısız	3.343 / 3.300
3.	n- $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ kaplama	480 / 1	3.533

Bu yapının benzeri bir çalışma referansda bulunmaktadır [126].

3.5.8. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs } 8. Tip Yapı :

Çizelge 3.29 da 8. Tip yapının “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.29. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- $\text{In}_{0.26}\text{Ga}_{0.74}\text{As}$ (alt taş)	50 / 5	3.355
2.	$\text{Ga}_{0.26}\text{In}_{0.74}\text{P}$ kaplama	20 / katkısız	3.084
3.	(QWL) $\text{In}_{0.46}\text{Ga}_{0.54}\text{As}$ (BAR) $\text{Ga}_{0.39}\text{In}_{0.61}\text{As}_{0.27}\text{P}_{0.73}$ 1 qwl– 2 bariyer	8 - 20 / katkısız	3.398 / 3.171
4.	n- $\text{Ga}_{0.26}\text{In}_{0.74}\text{P}$ kaplama	20 / 1	3.084

Bu yapının benzeri bir çalışma referansda bulunmaktadır [116].

3.5.9. { InGaAs / GaInAsP / InP } 9. Tip Yapı :

Çizelge 3.30 da 9. Tip yapının “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.30. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- InP (alt taş)	50 / 5	3.108
2.	$\text{Ga}_{0.26}\text{In}_{0.74}\text{P}$ kaplama	20 / katkısız	3.084
3.	(QWL) $\text{In}_{0.46}\text{Ga}_{0.54}\text{As}$ (BAR) $\text{Ga}_{0.39}\text{In}_{0.61}\text{As}_{0.27}\text{P}_{0.73}$ 1 qwl– 2 bariyer	8 - 20 / katkısız	3.398 / 3.171
4.	n- $\text{Ga}_{0.26}\text{In}_{0.74}\text{P}$ kaplama	20 / 1	3.084

Bu yapının benzeri bir çalışma referansda bulunmaktadır [116].

3.5.10. { InGaAs / GaInAsP / GaAs } 10. Tip Yapı :

Çizelge 3.31 de 10. Tip yapının “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.31. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- GaAs (alt taş)	50 / 5	3.300
2.	Ga _{0.26} In _{0.74} P kaplama	20 / katkısız	3.084
3.	(QWL) In _{0.46} Ga _{0.54} As (BAR) Ga _{0.39} In _{0.61} As _{0.27} P _{0.73} 1 qwl– 2 bariyer	8 - 20 / katkısız	3.398 / 3.171
4.	n- Ga _{0.26} In _{0.74} P kaplama	20 / 1	3.084

Bu yapının benzeri bir çalışma referansda bulunmaktadır [116].

3.5.11. { InGaAs / GaAsP / GaAs } 11. Tip Yapı :

Çizelge 3.32 de 11. Tip yapının “Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri “ tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.32. Lazer Bölge Yapısı ve Parametreleri

	Bölge	Kalınlık (nm) / Katkı ($\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)	Kırılma İndisi (n)
1.	p- GaAs (ALT TAŞ)	250 / 5	3.300
2.	p- Al _{0.3} Ga _{0.7} As	50 / 5	3.533
3.	GaAs	5 / katkısız	3.300
4.	(QWL) In _{0.4} Ga _{0.5} As (BAR) GaAs _{0.7} P _{0.3} 1 qwl– 2 bariyer	10 - 10 / katkısız	3.385 / 3.218
5.	GaAs	5 / katkısız	3.300
6.	n- Al _{0.3} Ga _{0.7} As	50 / 1	3.533
7.	n- GaAs	5 / 1	3.300

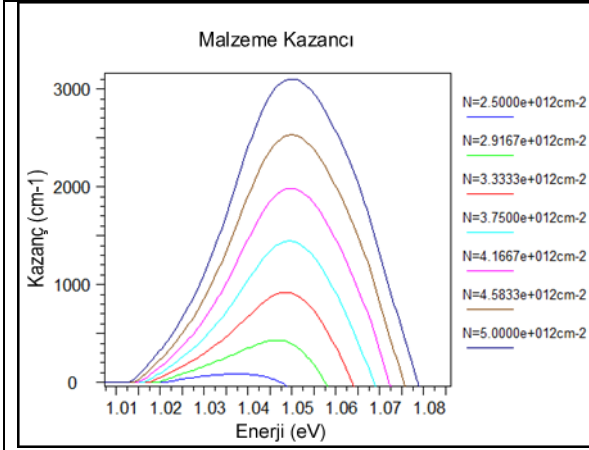
Bu yapının benzeri bir çalışma referansda bulunmaktadır [111].

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

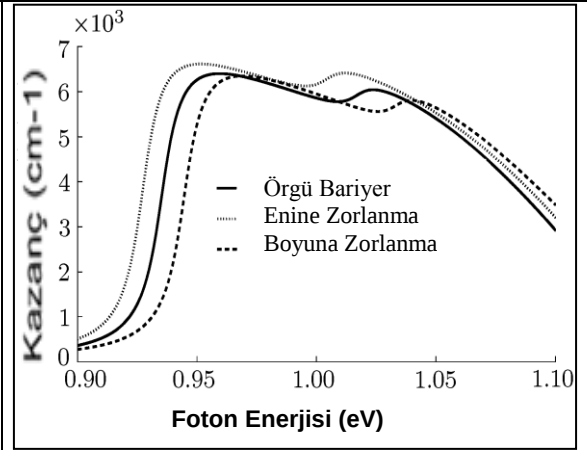
Bu bölümde yapılan lazer simülasyon çalışmalarında elde edilen tüm sonuçlar lazer yapı türlerine göre bir sırayla ele alınmıştır. Sonuçlar mevcut çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bölümde verilen şekiller bu çalışmada üretilen lazer yapılarla bu konuda daha önce yapılan deneysel ve teorik çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Daha sonra tüm bu analiz ve karşılaştırmalar Çizelge 4.1 ve 4.2 de tablolar halinde verilmiştir.

Bu çalışmada LaserMOD aygıtıyla yapılan simülasyonlarla bugün dünya üzerindeki en genel kuantum kuyu lazer çalışmalarına teorik bir bakış sağlanmıştır. Bu açıdan yapılan mevcut aktif - aktüel çalışmalar takip edilmiş ve 5 çeşit farklı yapı kuantum kuyu malzemesinin farklı kompozisyon ve formatlarda dizaynı ile 25 farklı yapı incelenmiş ve analizi yapılmıştır. LaserMOD ile üretilen lazer yapılar simülasyonda üretilirken Fabry – Parot veya Fabry – Parot (sırt) tipi lazer yapı olarak dizayn edilmiştir. Bunlar Çizelge 4.2 de belirtilmiştir. Lazer aygıtların bölge- bölge (aktif bölge,kuantum kuyu bölge,bariyer ve hapis bölgeleri gibi) bant - enerji grafikleri ve değerleri, kırılma indis profili ve değerleri, katkı oranları (n tipi ve p tipi bölgeler için) grafikleri ve değerleri, cihazda kullanılan malzeme kompozisyonları üretilmiştir. LaserMOD ile sıcaklık değerleri ve taşıyıcı yoğunlukları ayarlanarak malzeme kazanç grafiği ve verileri, kırılma indisi değişim grafik ve değerleri, pik kazanç grafikleri ve verileri, kendiliğinden ışıma grafik ve değerleri üretilmiştir. Ayrıca tasarlanan lazer aygıtların { L-I-V } grafiği ve verileri üretilmiş ve lazer güçleri incelenmiştir.

Elde edilen değer ve grafiklerin daha önceden yapılan deneysel ve teorik sonuçlar ile karşılaştırmaları yapılmış , böylece deneysel ve diğer teorik sonuçlar tartışılmıştır.

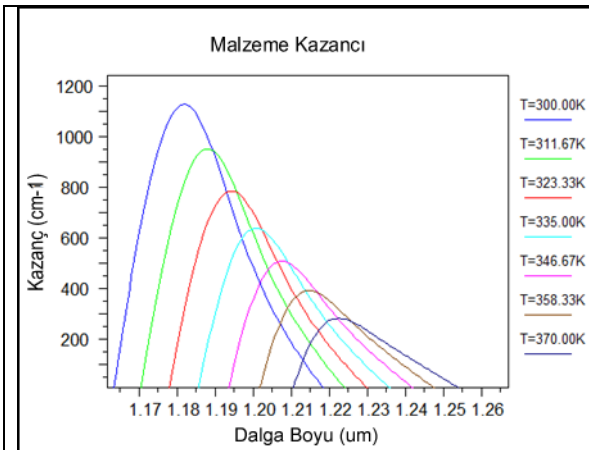


Şekil 4.1. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip yapı Malzeme Kazanç Grafiği

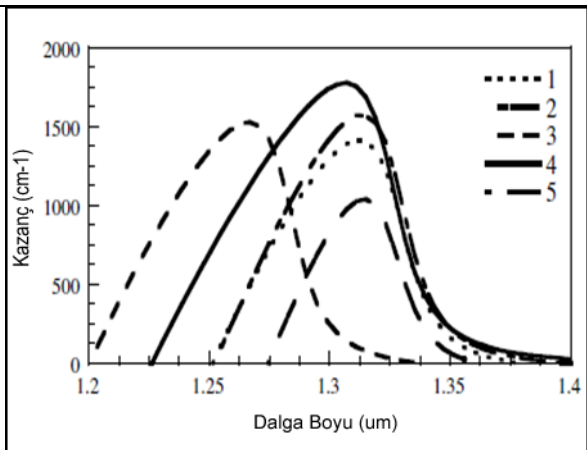


Şekil 4.2. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } Malzeme Kazanç Grafiği [103]

Şekil 4.1. de LaserMOD ile bu çalışmada üretilen 1.tip yapı malzeme kazanç - enerji grafiği ve Şekil 4.2. de üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Kazanç değerlerinde kısmen farklılık görülmekle birlikte lazer enerjisindeki yakınlıklar göze çarpmaktadır. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine yaklaştırabilir.



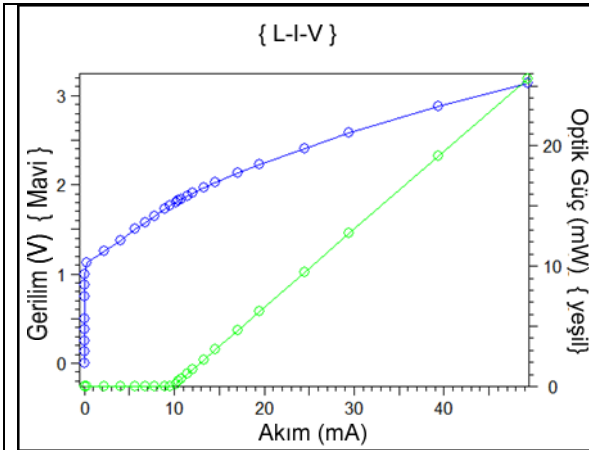
Şekil 4.3. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip yapı Malzeme Kazanç Grafiği



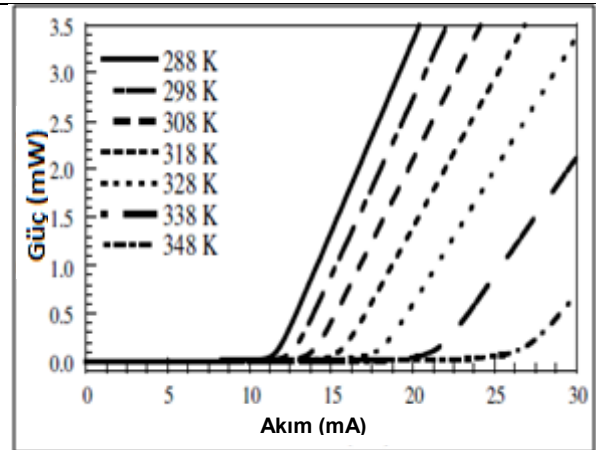
Şekil 4.4. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } Malzeme Kazanç Grafiği [105]

Şekil 4.3. de LaserMOD ile üretilen 1.tip yapı malzeme kazanç ve lazer dalga boyu grafiği ve Şekil 4.4. de üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Kazanç değerlerinde benzeri yakınlıklar görülmekle beraber

lazer dalga boylarında da yakınlıklar görülmektedir. Şekil 4.4. de **1,2,3,4** ve **5** ile temsil edilen sonuçlar sadece yapının bariyer kalınlıkları veya bileşik kompozisyonlarındaki çok küçük değişiklikleri temsil etmektedir. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da yaklaştırabilir.

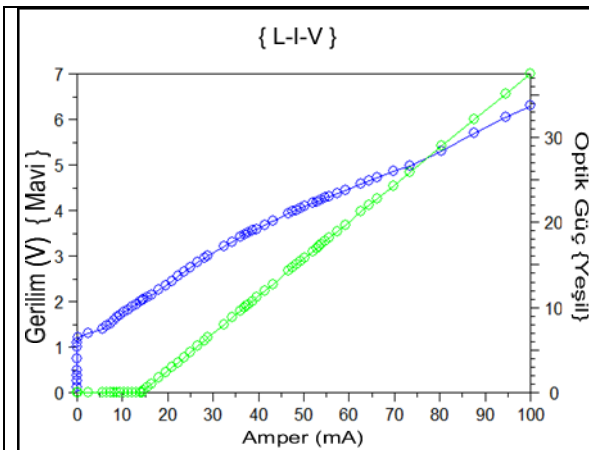


Şekil 4.5. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 1.Tip yapı L-I-V Grafiği

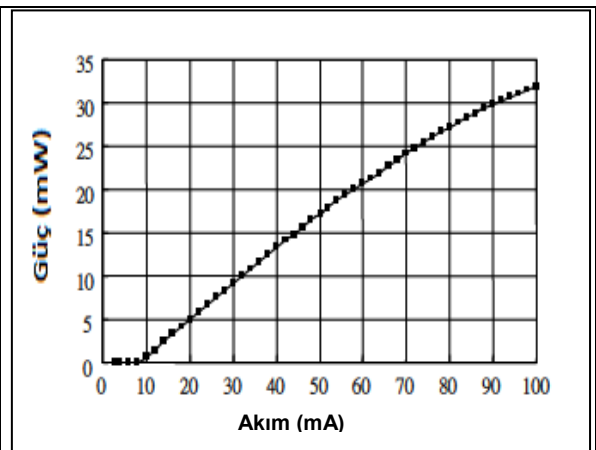


Şekil 4.6. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } L-I Grafiği [105]

Şekil 4.5. de LaserMOD ile üretilen 1.tip yapı L-I-V grafiği ve Şekil 4.6. da üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Burada görüleceği gibi eşik akım değerleri birbirine çok yakın olup 10 mA civarındadır. Lazer çıkışı da uyum içinde görülmektedir.

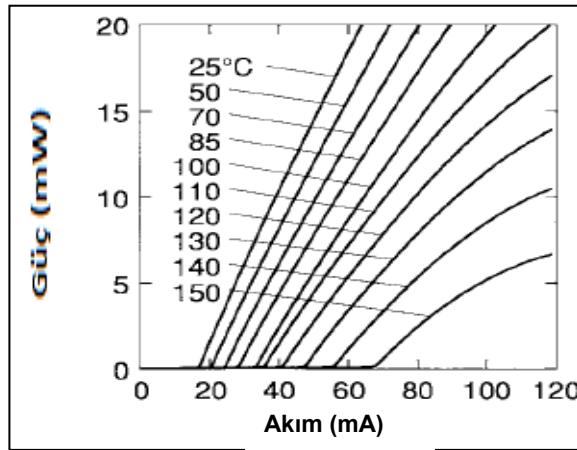
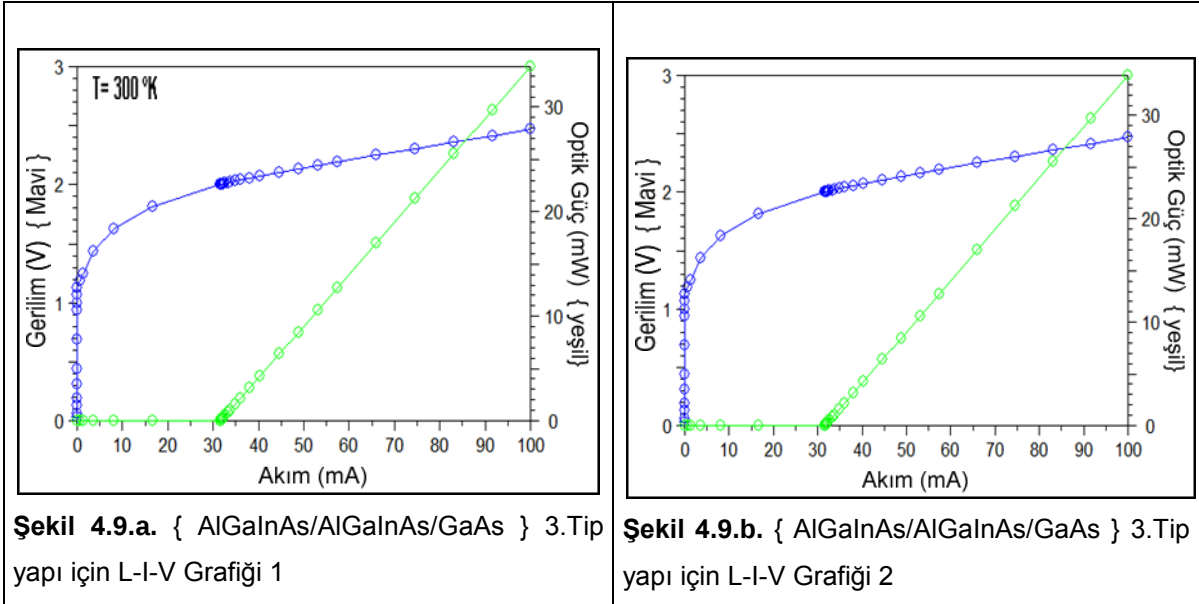


Şekil 4.7. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 2.Tip yapı L-I-V Grafiği



Şekil 4.8. { AlInGaAs / AlInGaAs / InP } L-I Grafiği [99]

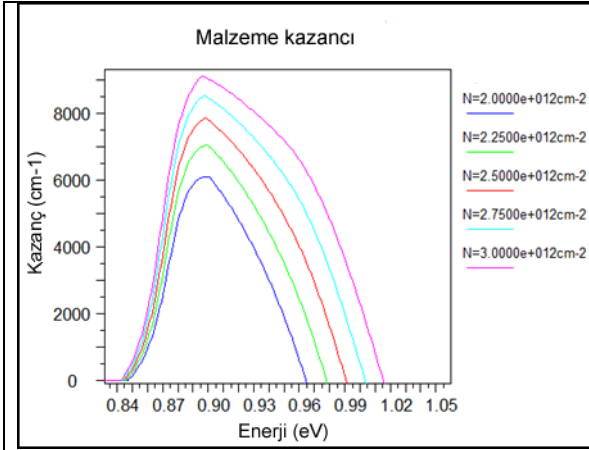
Şekil 4.7. de LaserMOD ile üretilen 2.tip yapı L-I-V grafiği ve Şekil 4.8. de üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Burada görüleceği gibi eşik akım değerleri birbirine çok yakın olup 15 mA civarındadır. Lazer çıkışı da 100 mA başlangıç değerlerinde 35 mW civarında olup deneysel çalışmayla uyum içinde görülmektedir.



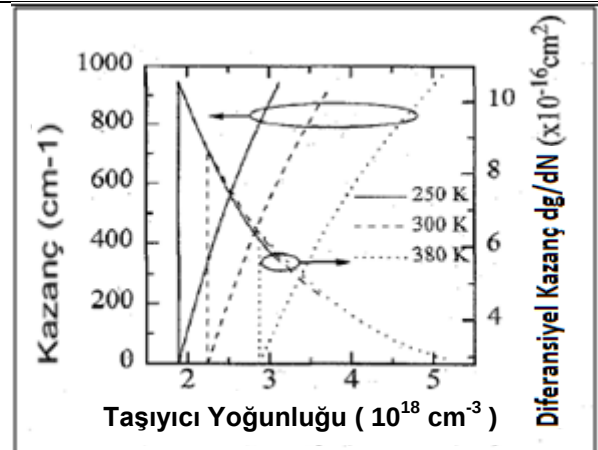
Şekil 4.10. { AlInGaAs / AlInGaAs / InP } L-I Grafiği [107]

Şekil 4.9.a ve 4.9.b de LaserMOD ile üretilen 3.tip yapı L-I-V grafiği ve Şekil 4.10 da üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Burada görüleceği gibi eşik akım değerleri yakınlık içinde olup bu çalışmada artan (27 C ile 70 C arasında) sıcaklıkla 30 mA – 43 ma civarında bir değişim göstermiştir. Deneysel çalışmada ise (25 C ile 150 C arasında) 20 mA ile 60 mA

civarında bir değişim görülmektedir. Lazer çıkışlarına dikkat edilecek olursa sıcaklık arttıkça azalma görülmektedir. Bu çalışmada 34 mW ile 43 mW arasında çıkış değerleri elde edilmiştir ve bu değerlerin deneysel çalışmayla uyum içinde görülmektedir.



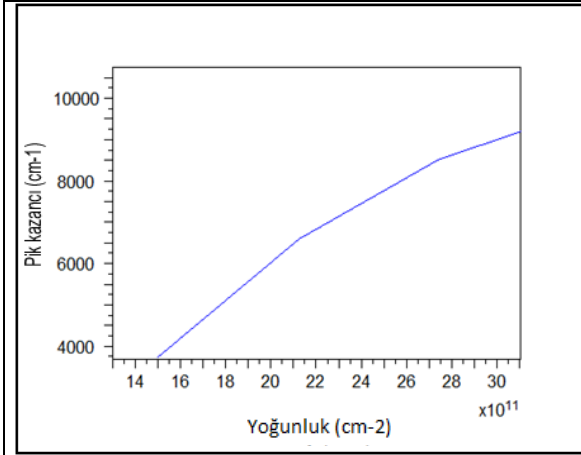
Şekil 4.11. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4.Tip yapı Malzeme Kazanç Grafiği



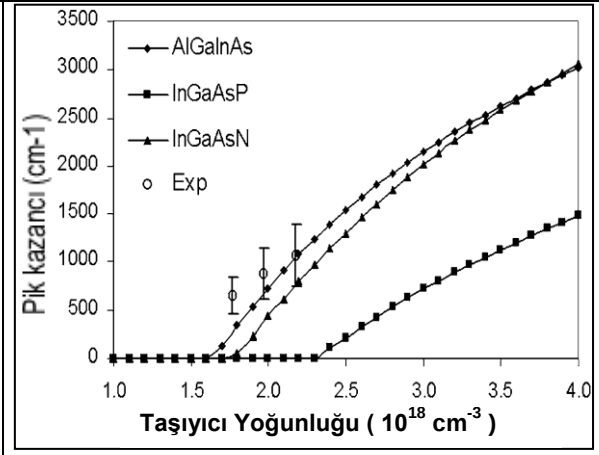
Şekil 4.12. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } Malzeme Kazanç Grafiği [108]

Şekil 4.11. de LaserMOD ile üretilen 1.tip yapı malzeme kazanç ve lazer enerji grafiği ve Şekil 4.12. de üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Kazanç değerlerinde x10 oranında bir farklılık görülmesi bu çalışmada { FP SIRT } bölgesi ilavesiyle birlikte kuantum kuyu sayısının azaltılması olmuştur.

Bu çalışmada 300 K sıcaklığında taşıyıcı yoğunluğu artırılmasıyla birlikte ($2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ - $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ aralığında) kazançta artışlar görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada da taşıyıcı yoğunluğu arttıkça kazançtaki artış net bir şekilde görülmektedir.

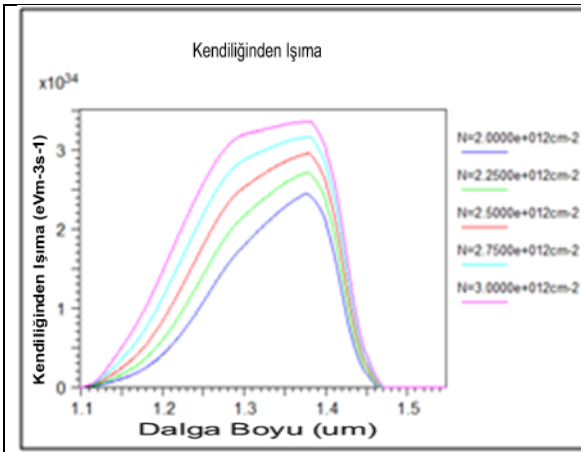


Şekil 4.13. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } 4.Tip yapı Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği

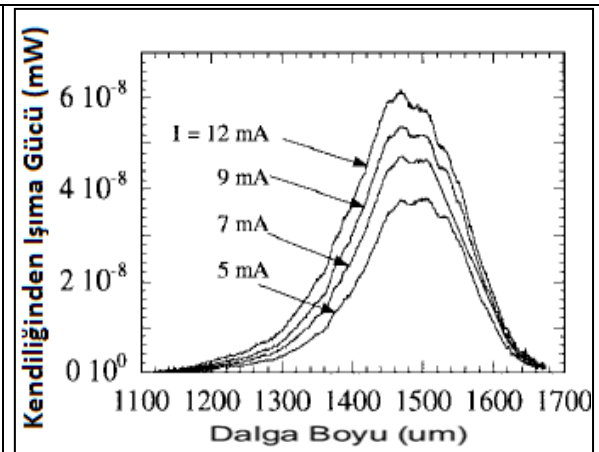


Şekil 4.14. { AlGaInAs / AlGaInAs / InP } Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği [104]

Şekil 4.13 ve 4.14 de bu sırasıyla bu çalışma ve deneysel – teorik çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Kazanç değerlerinde farklılık görülmesi bu çalışmada { FP SIRT } bölgesi ilavesiyle birlikte Kuantum Kuyu sayısının azaltılması olmuştur. Her iki çalışmada malzemeler 300 K sıcaklığında incelenmişlerdir.



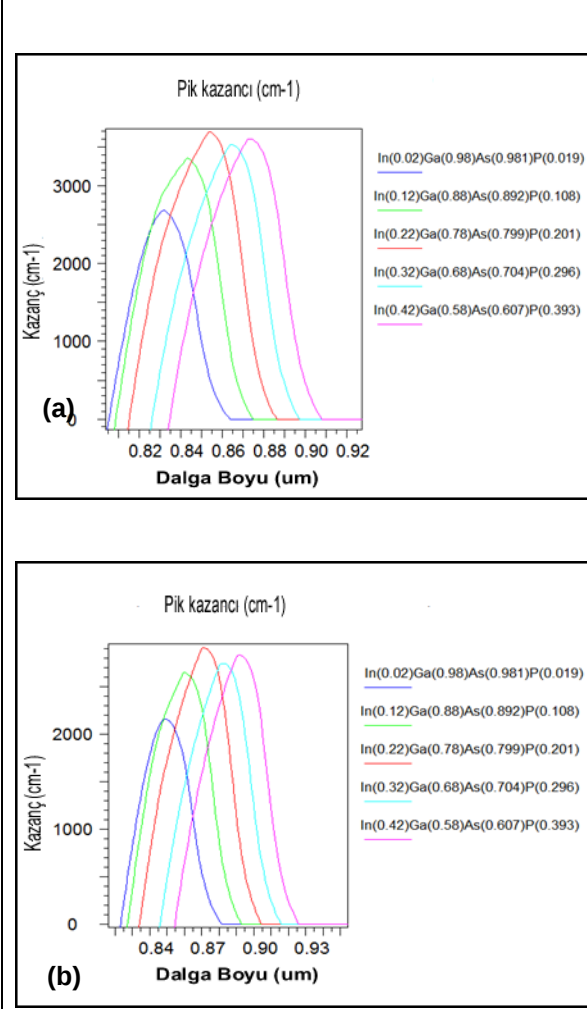
Şekil 4.15. { AlGaInAs/AlGaInAs/InP } 4.Tip yapı için Kendiliğinden Işıma (PL) Grafiği



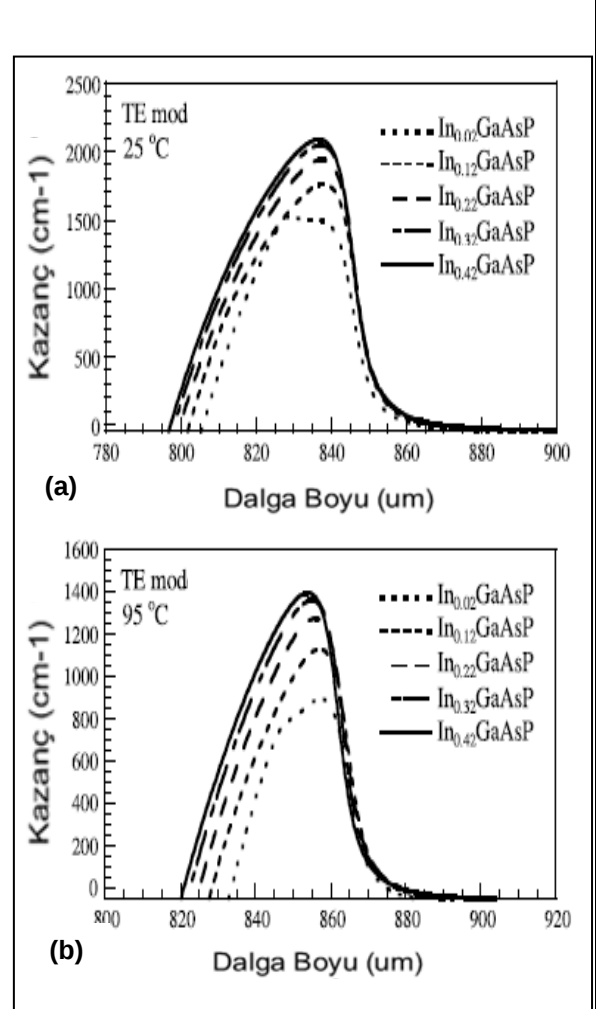
Şekil 4.16. { AlInGaAs / AlInGaAs / InP } PL Grafiği [106]

Şekil 4.15 ve 4.16 da sırasıyla bu çalışma ve deneysel çalışma arasında kendiliğinden ışıma durumları incelenmiştir. Her iki çalışmada malzemeler 300 K sıcaklığında incelenmişlerdir. Bu çalışmadaki eşik akımı 10 mA civarında olmuş ve ışıma dalga boyu 1400 nm civarında olmuştur. Elde edilen sonuçların deneysel

çalışma ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha uyumlu hale getirebilecektir.

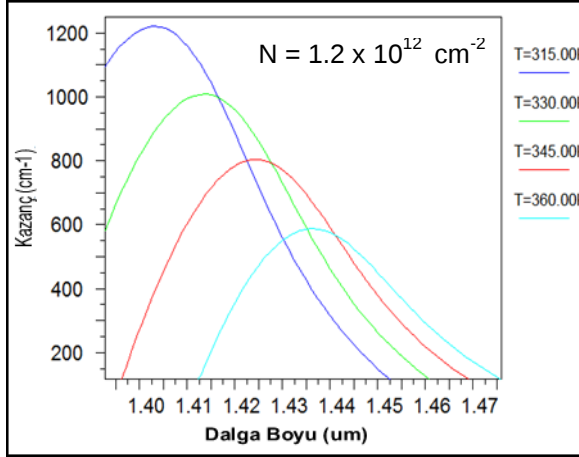


Şekil 4.17. { GaInAsP / GaInP / GaP } 1. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

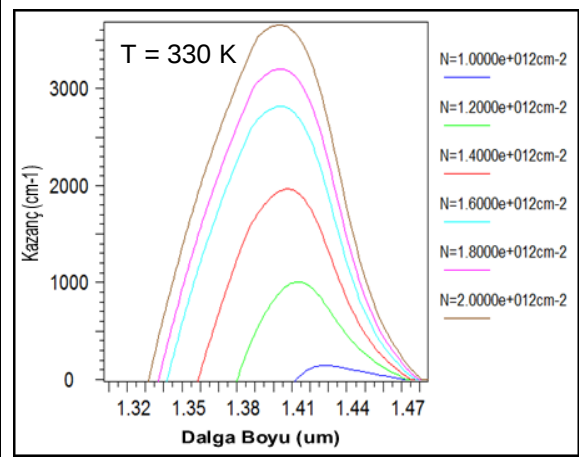


Şekil 4.18. { InGaAsP / GaInP / GaP } lazeri Malzeme Kazanç Grafiği [100]

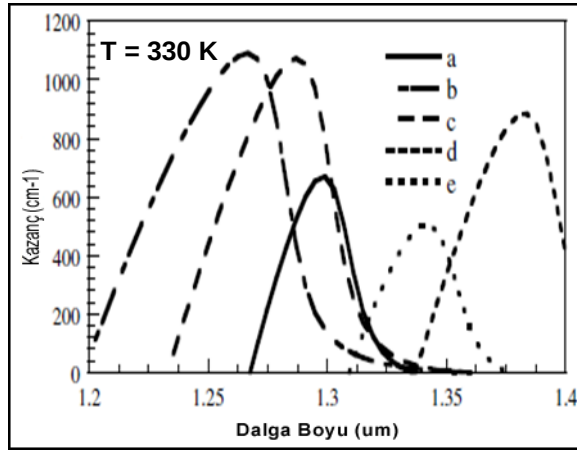
Şekil 4.17.a ve 4.17.b de LaserMOD ile üretilen 1.tip yapı malzeme kazanç grafiği ve Şekil 4.18.a ve 4.18.b de ise üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Şekillerin -a- bölümleri 298 K (25 C) ve -b- bölümleri ise 368 K (95 C) için malzeme kazanç – dalga boyu çalışmalarını gösterir. Lazer dalga boyları ve malzeme kazançlarında uyum görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişikliklerle iyileştirmeler yapılabilir.



Şekil 4.19. { GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

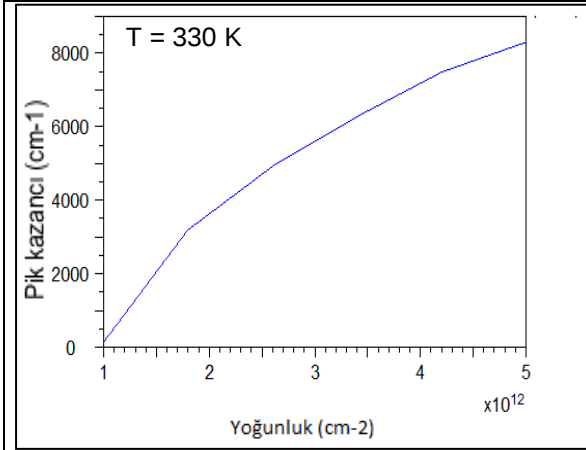


Şekil 4.20. { GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

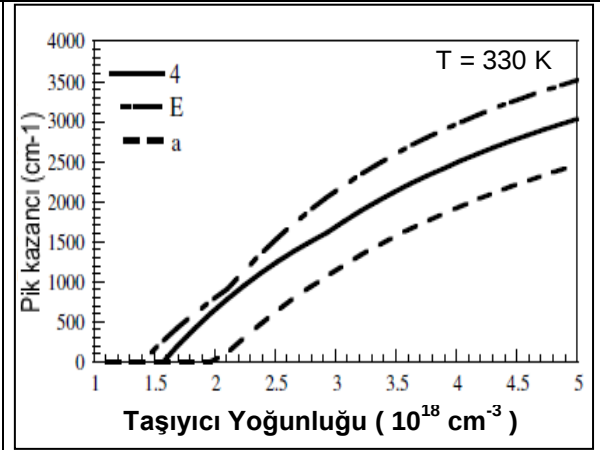


Şekil 4.21. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği [105]

Şekil 4.19 , 4.20 ve 4.21 de bu çalışma ve deneysel çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Kazanç değerlerinde farklılık görülmesi bu çalışmada { FP SIRT } bölgesindeki ilave malzeme ve kalınlık farklılıklarıyla birlikte Kuantum Kuyu sayısının azaltılmasından kaynaklanabilmektedir. Kazanç değerlerinde benzeri yakınlıklar görülmekle birlikte lazer dalga boylarında da yakınlıklar görülmektedir. Şekil 4.21 de a,b,c,d ve e ile temsil edilen sonuçlar sadece yapının bariyer / kuyu kalınlıkları veya bileşik kompozisyonlarındaki küçük değişiklikleri temsil etmektedir. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da yaklaştırabilir.

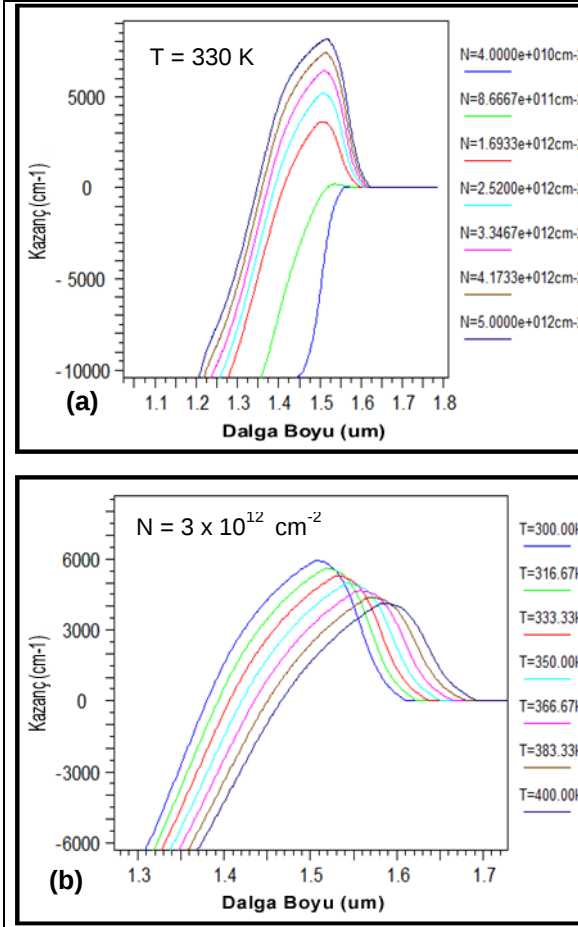


Şekil 4.22. { GaInAsP / GaInAsP / GaAs } 2. Tip yapı Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği

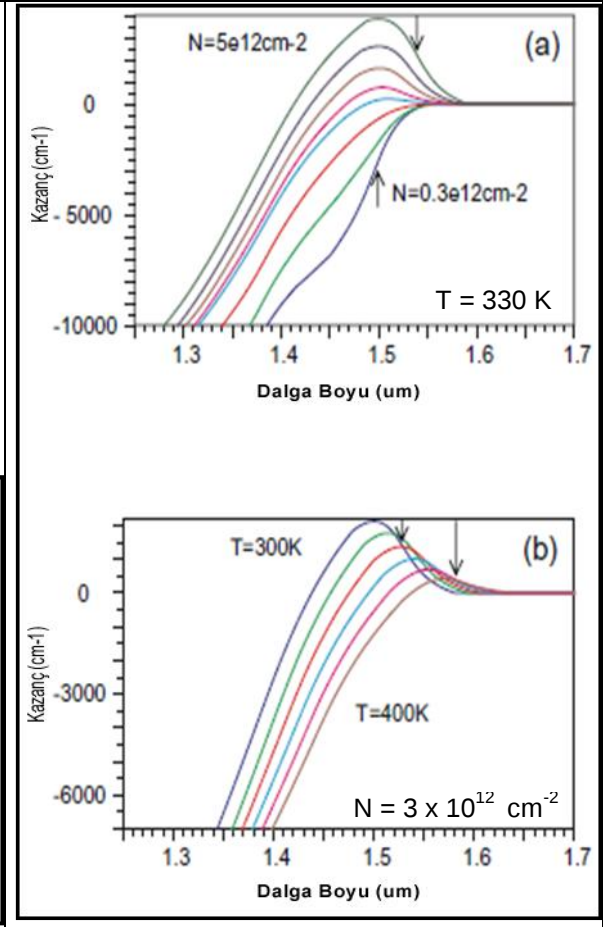


Şekil 4.23. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği [105]

Şekil 4.22 ve 4.23 de sırasıyla bu çalışma ve deneysel çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Kazanç değerlerinde farklılık görülmesi bu çalışmada { F P –SIRT } bölgesindeki ilave malzeme ve kalınlık farklılıklarıyla birlikte Kuantum Kuyu sayısının azaltılmasından kaynaklanabilmektedir. Her iki çalışmada malzemeler 330 K sıcaklığında incelenmişlerdir. Şekil 4.22 de **4**, **E** ve **a** ile temsil edilen yapılar sırasıyla **AlGaInAs/InP**, **InGaAs/GaAs**, ve **InGaAsP/InP** yapıları temsil etmektedir. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da yaklaştırabilir.

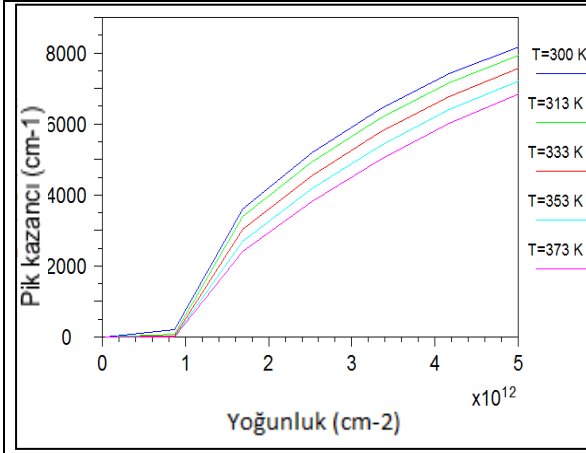


Şekil 4.24. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

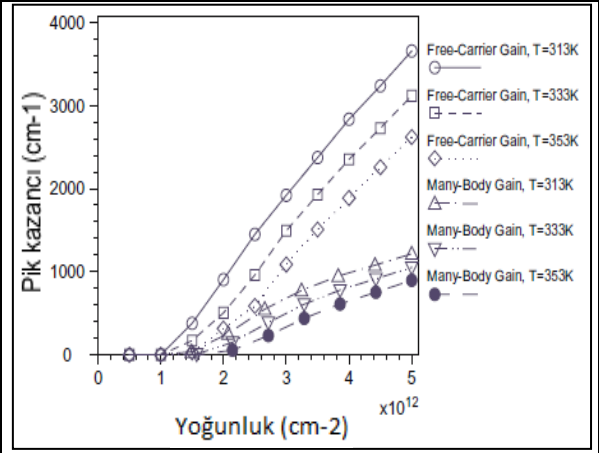


Şekil 4.25. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği [110]

Şekil 4.24.a da ortam sıcaklığı (300 K) değiştirilmeden taşıyıcı yoğunluğu değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlar Şekil 4.25.a da görülen teorik çalışma ile çok yakın değerler içermektedir. Her iki çalışmada da Lazer dalga boyları optimum değer olarak 1.5 μm civarında olduğu görülmektedir. Şekil 4.24.b de ise bu yapı için optimum taşıyıcı yoğunluğu olarak alınan 3 x 10¹² cm⁻² değerinde sıcaklık ayarları değiştirilmesiyle elde edilen sonuçlar görülmektedir. Ortam sıcaklığı 300 K den 400 K dereceye kadar artırılırken dalga boyunun arttığı ve malzeme kazancının azaldığı görülmektedir. 300 K de en yüksek kazanç ve en az dalga boyu elde edilmiştir . Bu sonuçlar Şekil 4.25.b de görülen teorik çalışma ile çok yakın değerler içermektedir.

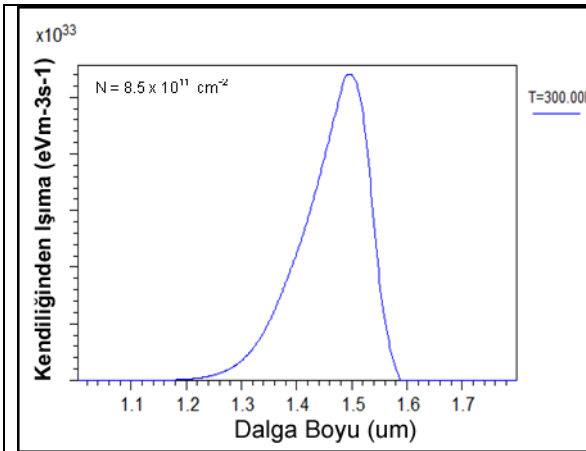


Şekil 4.26. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip yapı Malzeme Pik Kazanç Grafiği

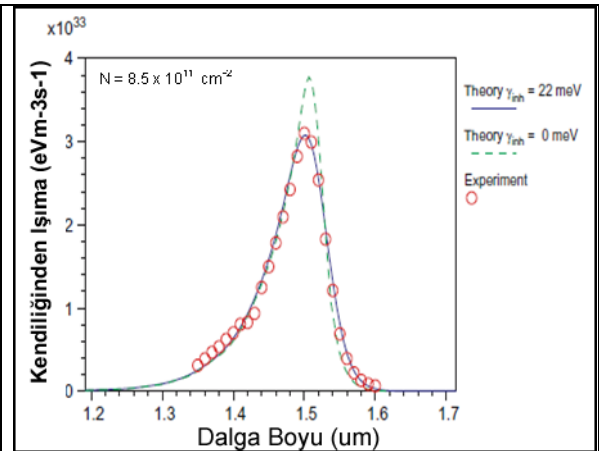


Şekil 4.27. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer için Malzeme Pik Kazanç Grafiği [110]

Şekil 4.26 ve 4.27 de sırasıyla bu çalışma ve teorik çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Kazanç değerlerinde farklılık görülmesi kompozisyon farklılıkları ve bölge kalınlıklarından kaynaklanmaktadır. Her iki çalışmada malzemeler 300 K sıcaklığında incelenmişlerdir.

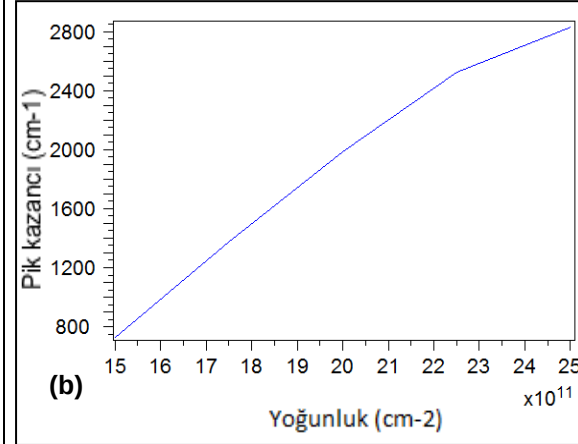
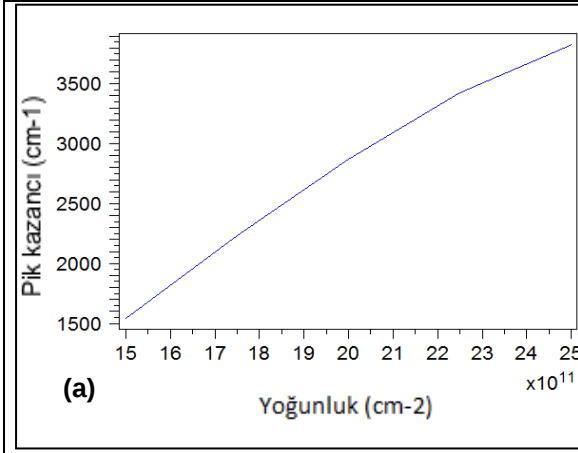


Şekil 4.28. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 3. Tip yapı PL Grafiği

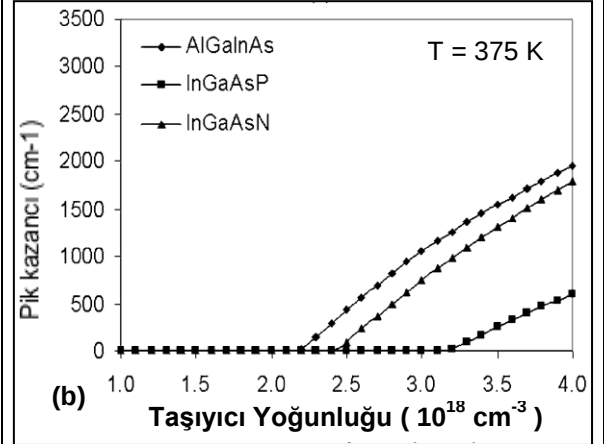
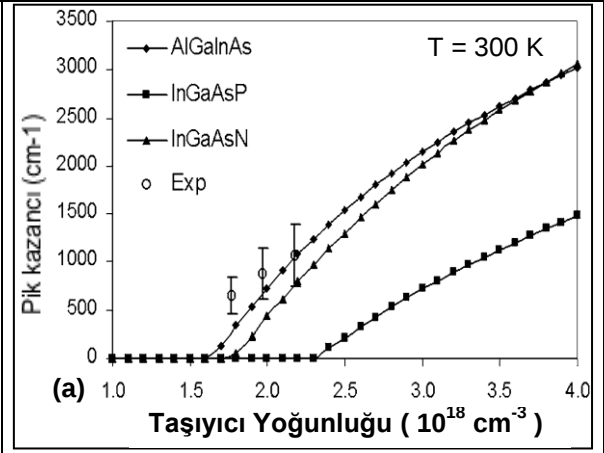


Şekil 4.29. { InGaAsP / InGaAsP / InP } lazer için PL Grafiği [110]

Şekil 4.28 ve 4.29 da sırasıyla bu çalışma ve deneysel-teorik çalışmalar arasında kendiliğinden ışıma durumları incelenmiştir. Her iki çalışmada malzemeler 300 K sıcaklığında ve $0.85 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ taşıyıcı yoğunluğunda incelenmişlerdir. Elde edilen sonuçların deneysel-teorik çalışmalar ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha uyumlu hale getirilebilir.

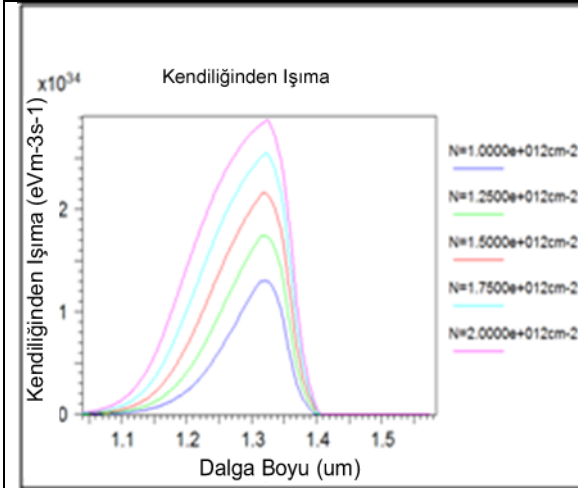


Şekil 4.30. { GaInAsP / GaInAsP / InP } 4. Tip yapı Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği

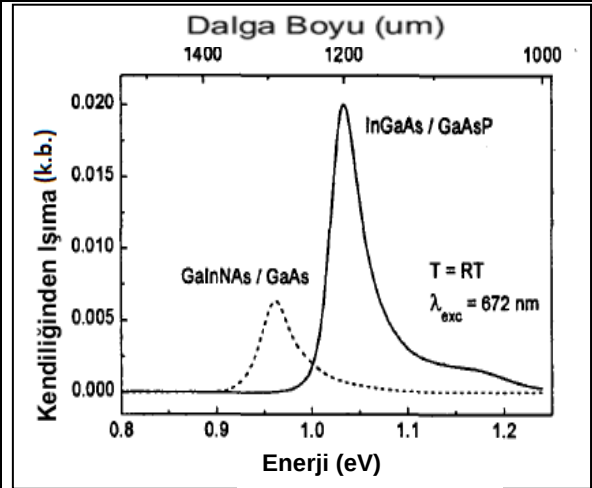


Şekil 4.31. { InGaAsP / InGaAsP / InP } Malzeme Pik Kazanç ve Taşıyıcı yoğunluğu Grafiği [104]

Şekil 4.30 ve 4.31 de bu sırasıyla bu çalışma ve deneysel – teorik çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Her iki çalışmada şekillerin -a- grafiklerinde malzemeler 300 K sıcaklığında ve -b- grafiklerinde ise malzemeler 375 K sıcaklığında incelenmişlerdir. Bu çalışmada Kuantum Kuyu kalınlıkları 7 nm alınmış olup karşılaştırılan çalışmada ise 6 nm kullanılmıştır. Burada elde edilen sonuçların deneysel-teorik çalışmalar ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları isteğe göre analiz edilebilir.



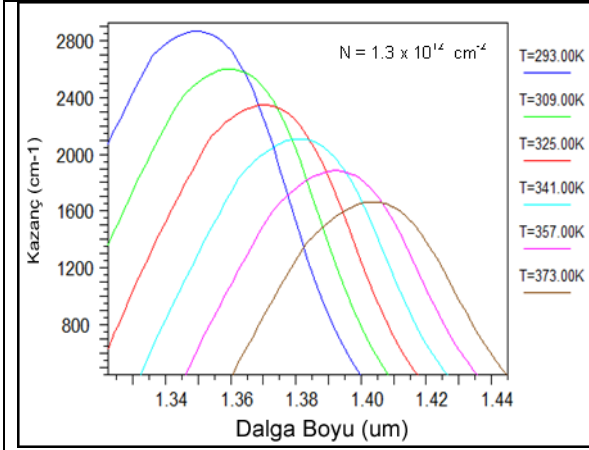
Şekil 4.32. { InGaAs/ GaAs / GaAs } 1. Tip yapı PL Grafiği



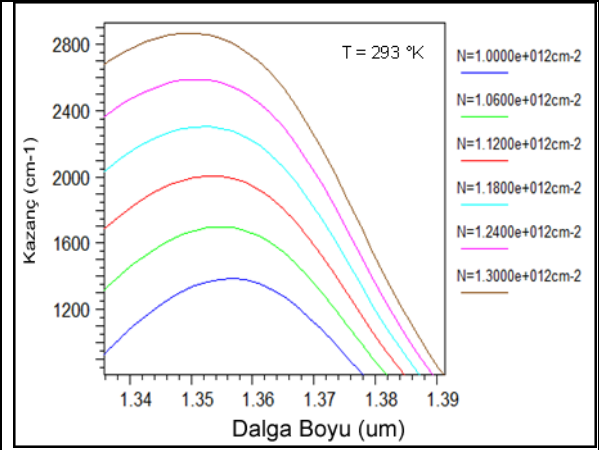
Şekil 4.33. { GaInAs/ GaAs / GaAs } lazer için PL Grafiği [111]

Şekil 4.32 ve 4.33 de sırasıyla bu çalışma ve deneysel çalışmalar arasında kendiliğinden ışıma durumları incelenmiştir. Her iki çalışmada malzemeler oda sıcaklığı civarında incelenmiştir.

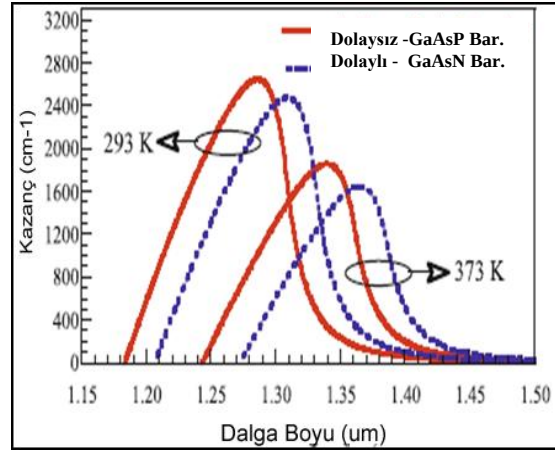
Elde edilen sonuçların deneysel çalışmalar ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha uyumlu hale getirilebilir.



Şekil 4.34. { InGaNaS / GaNaS / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

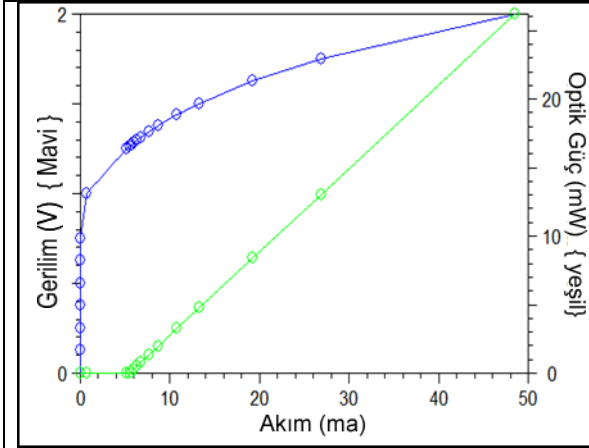


Şekil 4.35. { InGaNaS / GaNaS / GaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

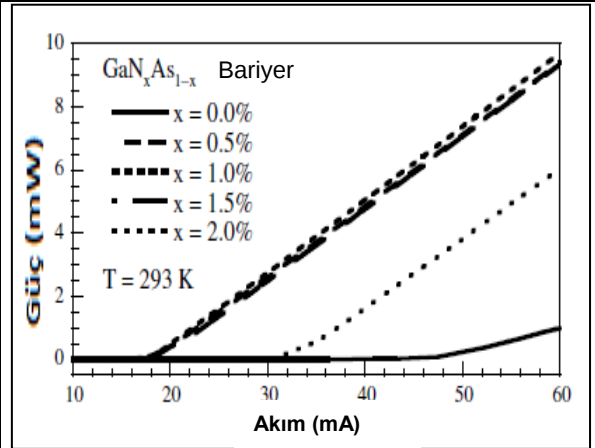


Şekil 4.36. { InGaNaS / GaAsN / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği [113]

Şekil 4.34 , 4.35 ve 4.36 da bu çalışma ve deneysel çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Kazanç değerlerinde benzeri yakınlıklar görülmekle birlikte lazer dalga boylarında da yakınlıklar görülmektedir.

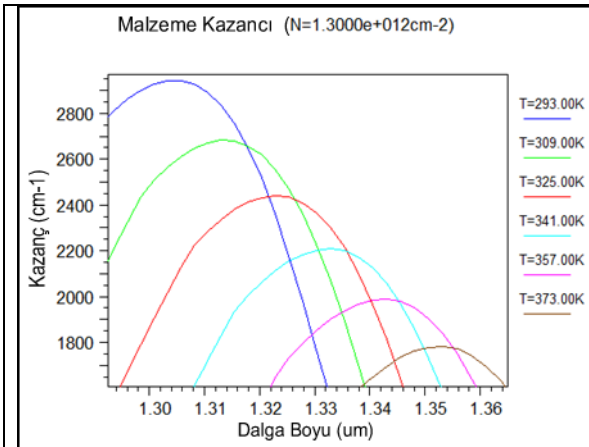


Şekil 4.37. { InGaNAS / GaNAS / GaAs } 2. Tip yapı L-I-V Grafiği

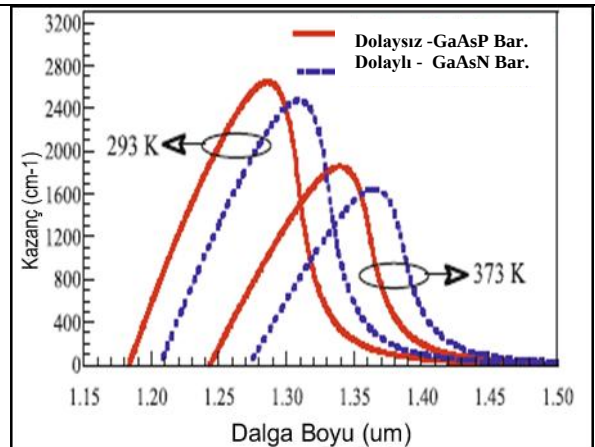


Şekil 4.38. { InGaNAS / GaNAS / GaAs } lazer için L-I Grafiği [105]

Şekil 4.37. de LaserMOD ile üretilen 2.tip yapı L-I-V grafiği ve Şekil 4.38 de üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Bu çalışmada {N} kompozisyonu 0.01 ve {As} kompozisyonu ise 0.99 alınmıştır. Deneysel çalışmada ise {N} kompozisyonu 0 ~ 0.02 aralığında incelenmiştir. Burada görüleceği gibi eşik akım değerleri birbirine yakınlık göstermiştir. Lazer çıkışları deneysel çalışmayla uyum içinde görülmektedir. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da uyumlu hale getirebilir.

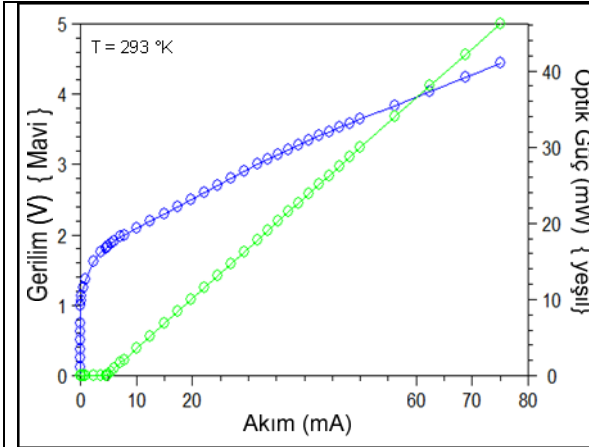


Şekil 4.39. { InGaNAS / AsPGa / GaAs } 3. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

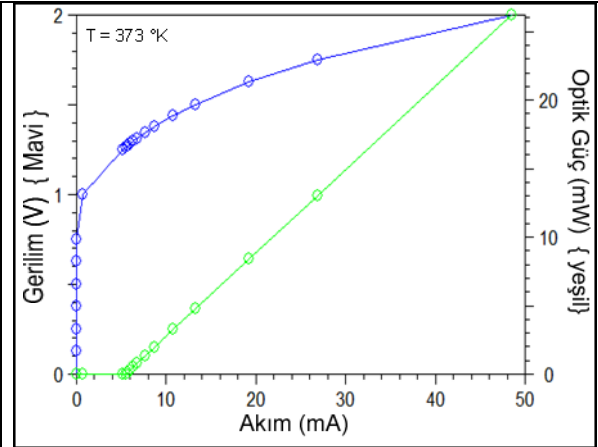


Şekil 4.40. { InGaNAS / GaAsP / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği [113]

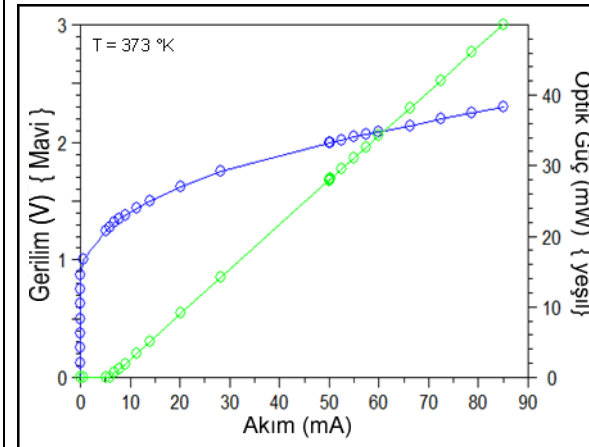
Şekil 4.39 ve 4.40 da bu çalışma ve deneysel çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 4.40 da kırmızı çizgilerle belirtilen GaAsP bariyerli yapı ile bu çalışmada aynı temelli AsPGa bariyerleri ile sınırlandırılan Kuantum Kuyu incelenmiştir. Burada en yüksek ve en düşük sıcaklıklardaki kazanç ve dalga boylarındaki benzerlikler dikkat çekmektedir.



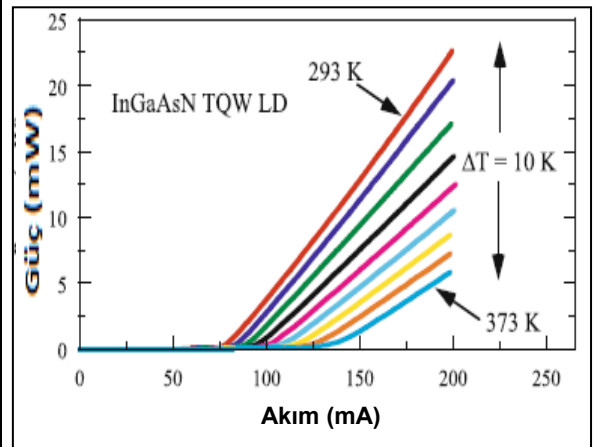
Şekil 4.41. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 3. Tip Yapı için L-I-V Grafiği



Şekil 4.43. { InGaNaS / GaNaS / GaAs } 2. Tip yapı L-I-V Grafiği

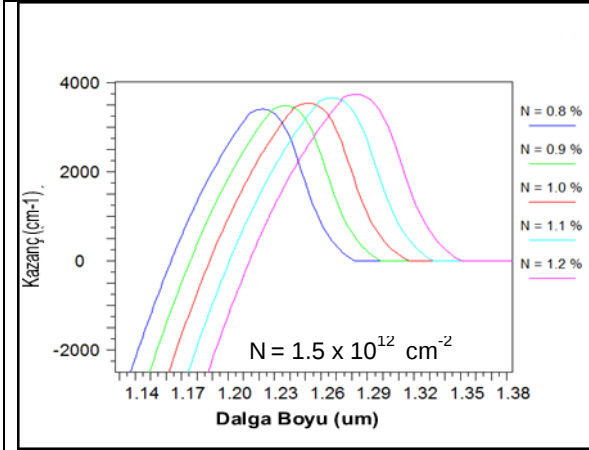


Şekil 4.42. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 3. Tip Yapı için L-I-V Grafiği

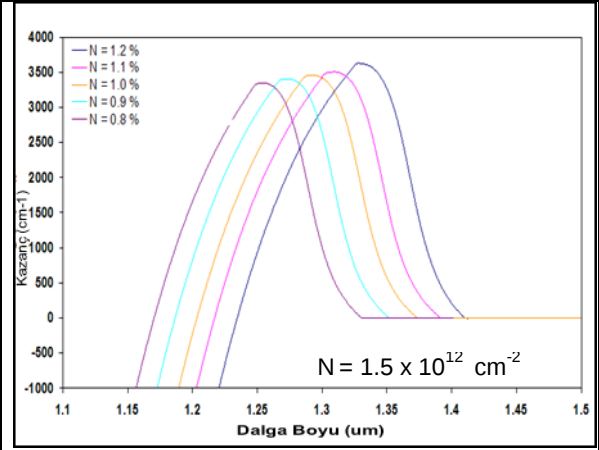


Şekil 4.44. { InGaNaS } temelli lazerler için L-I Grafiği [113]

Şekil 4.41, 4.42 ve 4.43 ile bu çalışmada Şekil 4.44 de verilen aynı kuantum kuyu temelli lazerlerin genel olarak deneysel-teorik sonuçları verilmiştir. Lazer çıkışlarının deneysel-teorik çalışmalarla uyum içinde görülmektedir. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da uyumlu hale getirebilir.

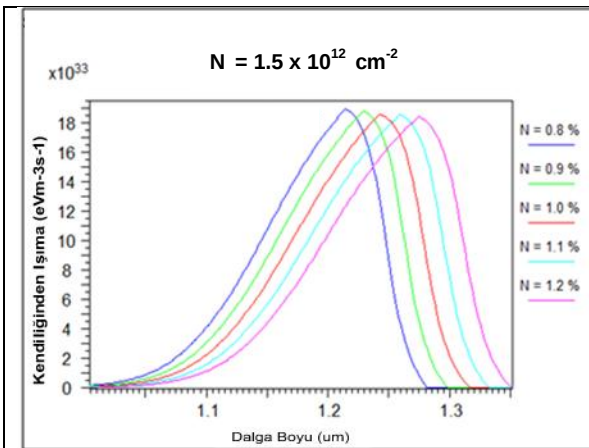


Şekil 4.45. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 4. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

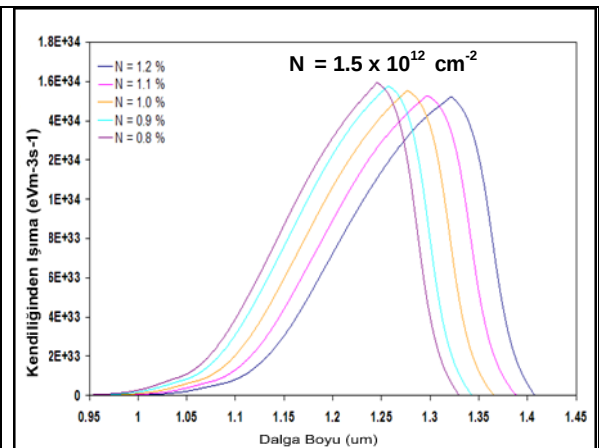


Şekil 4.46. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği [114]

Şekil 4.45 ile bu çalışmada ve Şekil 4.46 da ise verilen aynı tip lazerin deneysel-teorik sonuçları verilmiştir. Çalışmalarda Nitrojen kompozisyonları % 0.8 ile % 1.2 değerleri arasında artırılarak lazerin 300 K de malzeme kazancı incelenmiştir. InGaNAS kuyudaki { N } kompozisyonları arttıkça malzeme kazancının ve dalga boyunun arttığı görülmüştür. Bu çalışmadaki Kazanç değerleri olan 3395 cm^{-1} ile 3740 cm^{-1} arasındaki değerler ile Şekil 4.46 da verilen deneysel – teorik çalışmadaki değerlerin uyum içinde olduğu görülmüştür. Dalga boylarının da uyumlu olduğu görülmüştür.

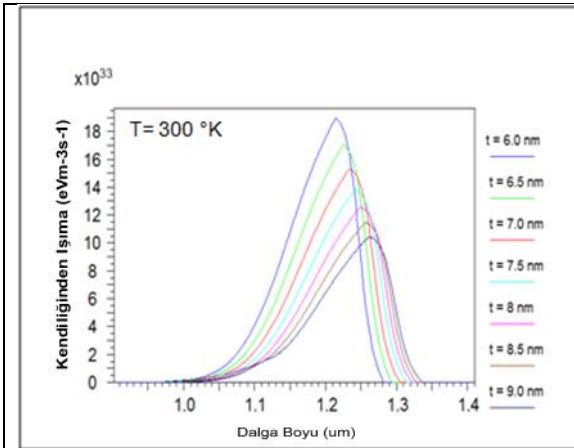


Şekil 4.47. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 4. Tip yapı için PL Grafiği -1-

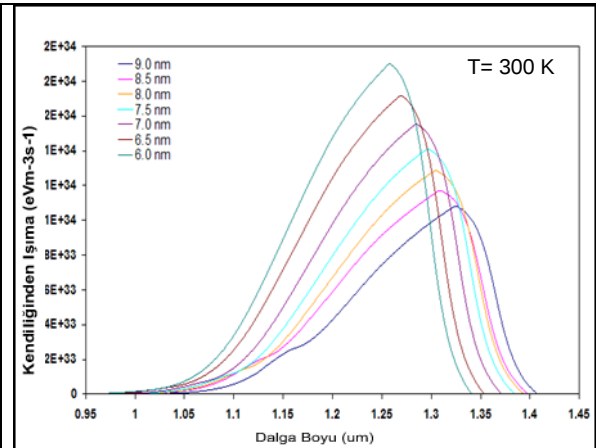


Şekil 4.48. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } lazer için PL Grafiği -1- [114]

Şekil 4.47 ile bu çalışmada ve Şekil 4.48 de verilen aynı tip lazerlerin deneysel-teorik sonuçları verilmiştir. Çalışmalarda Nitrojen kompozisyonları % 0.8 ile % 1.2 değerleri arasında artırılarak lazerin 300 K de kendiliğinden ışıma değerleri incelenmiştir. InGaNAS kuyudaki { N } kompozisyonları arttıkça kendiliğinden ışıma değerlerinin ve dalga boyunun arttığı görülmüştür .



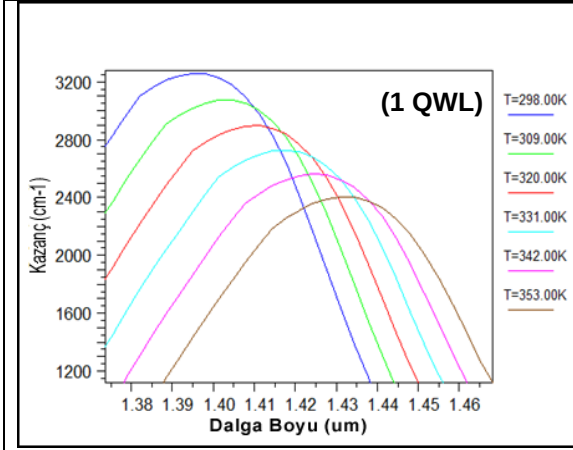
Şekil 4.49. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } 4. Tip yapı için PL Grafiği -2-



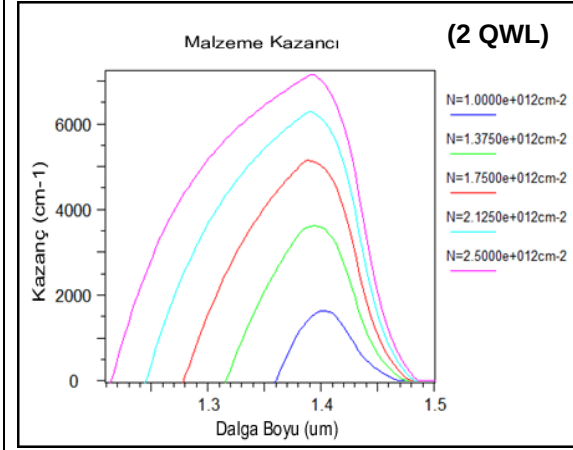
Şekil 4.50. { InGaNAS/ GaAs / GaAs } lazer için PL Grafiği -2- [114]

Şekil 4.49 ile bu çalışmada ve Şekil 4.50 de verilen aynı tip lazerlerin kuantum kuyu kalınlıklarının 6 nm ~ 9 nm aralığında artırılmasıyla oluşan etkiler incelenmiştir.

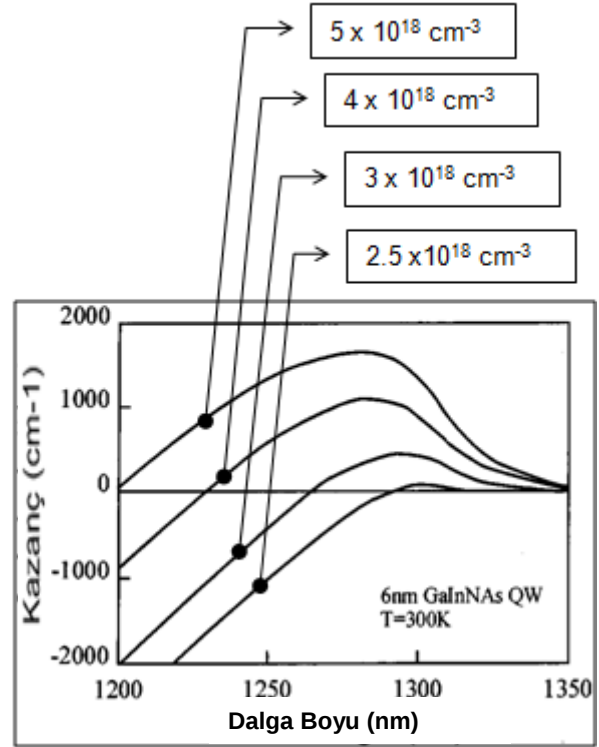
Şekil 4.49 ve Şekil 4.50 de görüldüğü gibi taşıyıcı yoğunluğu $1.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ değerinde ve sıcaklık 300 K de iken kuyu kalınlığındaki artışla beraber kendiliğinden ışıma değerinin azalırken dalga boyunun arttığı görülmüştür.



Şekil 4.51. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 5. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 1



Şekil 4.52. { InGaNaS / AsPGa / GaAs } 5. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 2

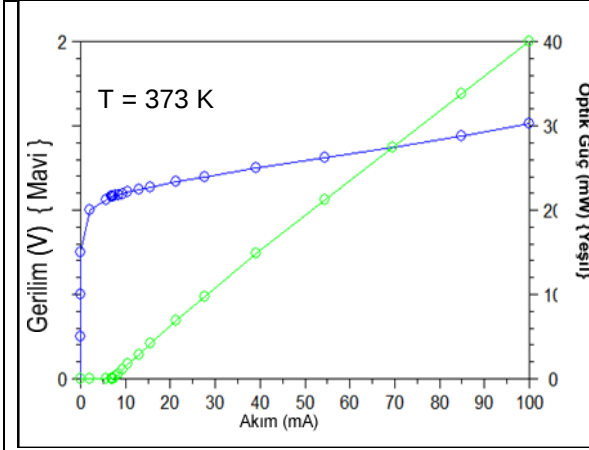


Şekil 4.53. { InGaNaS / GaAs / GaAs } lazer için Malzeme Kazanç Grafiği [112]

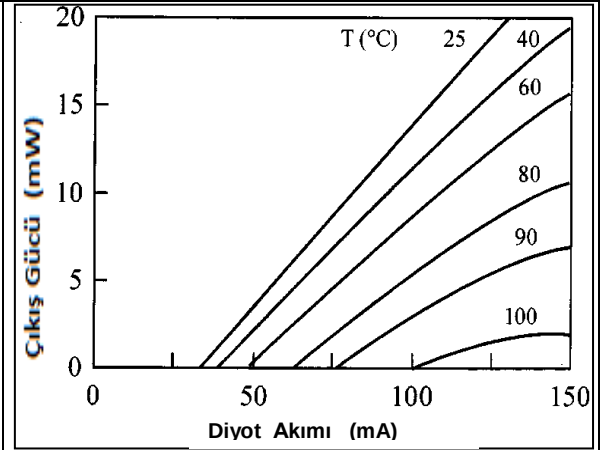
Şekil 4.51 , 4.52 ve 4.53 de bu çalışma ve deneysel çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Kazanç değerlerinde benzeri yakınlıklar görülmekle birlikte lazer dalga boylarında da yakınlıklar görülmektedir.

Burada görülen kısmi farklılıkların bu çalışmada kullanılan (AsPGa) bariyer ile deneysel çalışmadaki (GaAs) bariyer yapılar ve Sırt yapı kalınlıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da uyumlu hale getirebilir.



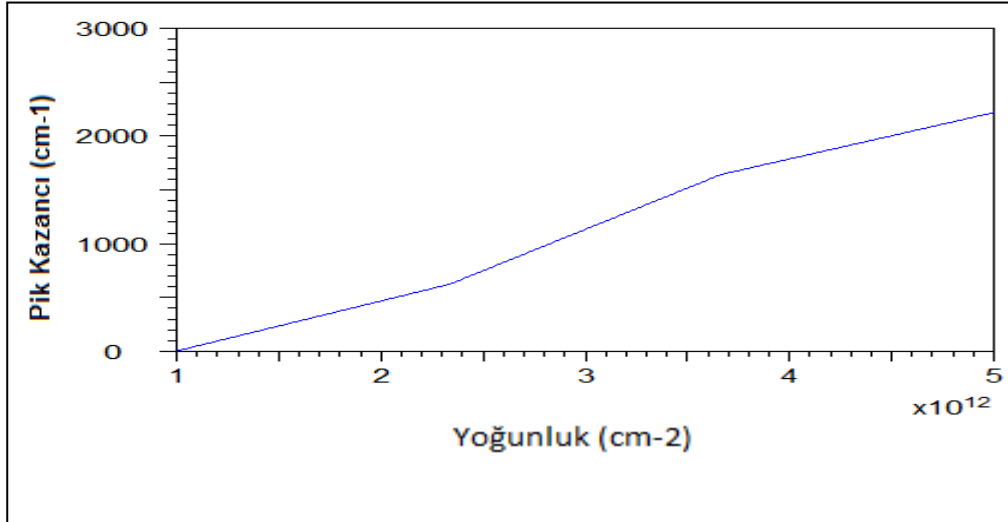
Şekil 4.54. { InGaNaNAs / AsPGa / GaAs } 5. Tip Yapı için L-I-V Grafiği



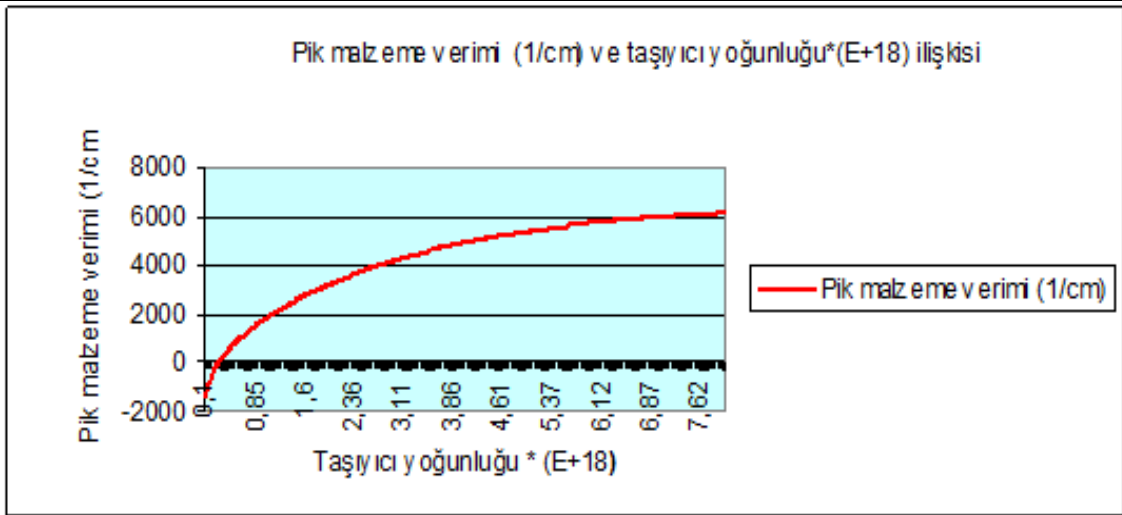
Şekil 4.55. { InGaNaNAs / GaAs / GaAs } lazer için L-I Grafiği [112]

Şekil 4.54 ile bu çalışmada Şekil 4.55 de verilen aynı kuantum kuyu temelli lazerlerin genel olarak deneysel sonuçları verilmiştir. Lazer çıkışlarının deneysel-teorik çalışmalarla uyum içinde görülmektedir. Burada görülen kısmi farklılıkların bu çalışmada kullanılan (AsPGa) bariyer ile deneysel çalışmadaki (GaAs) bariyer yapılar ve Sırt yapı kalınlıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da uyumlu hale getirebilir.



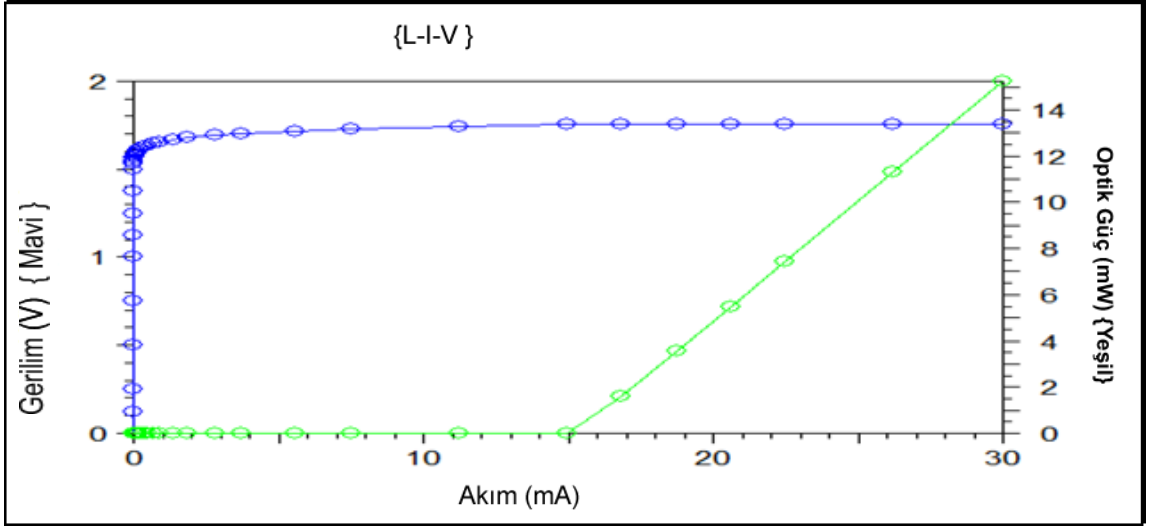
Şekil 4.56. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Pik Malzeme Kazanç Grafiği



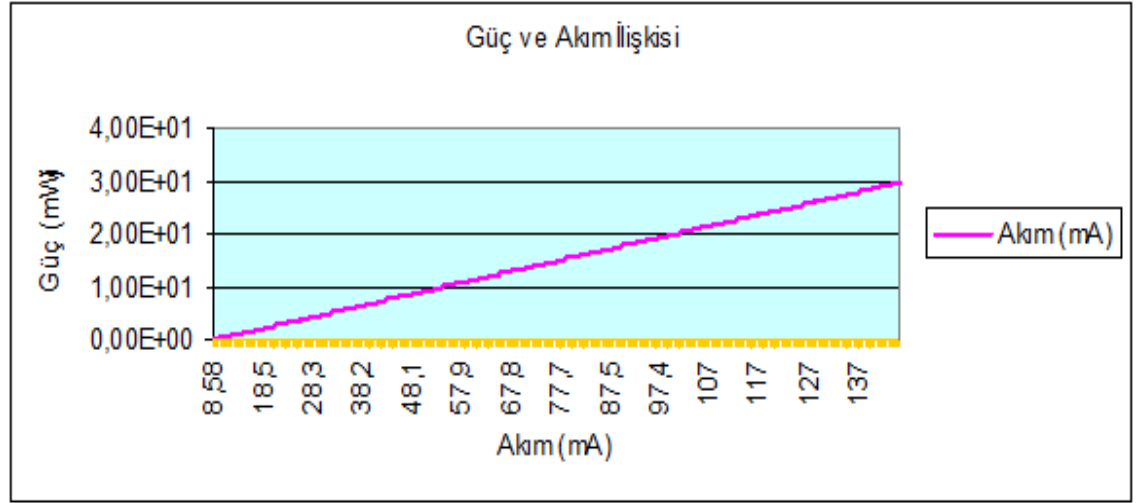
Şekil 4.57. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı Pik Malzeme Kazanç Grafiği [126]

Şekil 4.56 ile bu çalışmada Şekil 4.57 ile başka bir teorik çalışmada aynı kuantum kuyu temelli lazerlerin pik malzeme kazançları verilmiştir.

Pik sonuçlarının teorik çalışma ile uyumlu olduğu görülmektedir. Burada görülen kısmi farklılıkların çalışmalardaki malzeme kompozisyonlarından ve teorik yaklaşım farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmüştür.



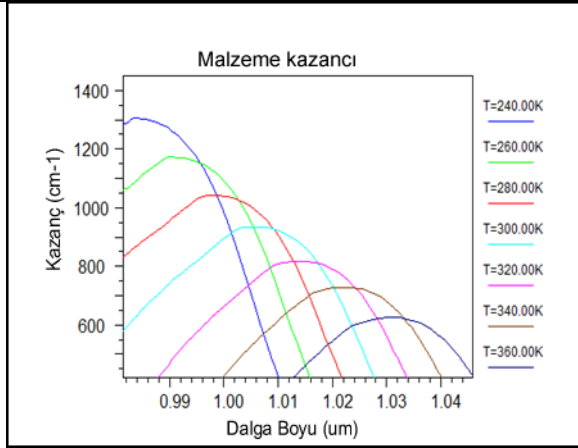
Şekil 4.58. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Grafiği



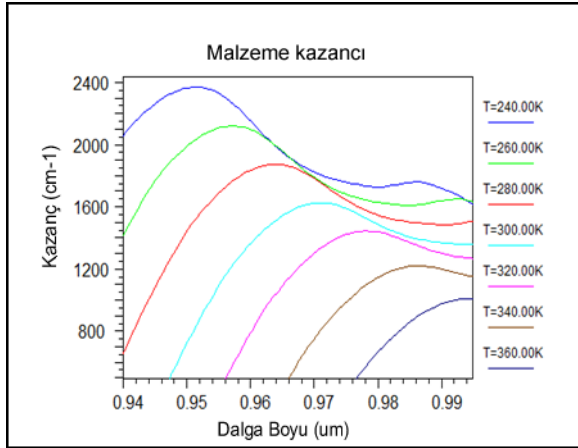
Şekil 4.59. { AlGaAs/ AlGaAs/ AlGaAs } Yapı L-I-V Grafiği [126]

Şekil 4.58 ile bu çalışmada Şekil 4.59 ile başka bir teorik çalışmada aynı kuantum kuyu temelli lazerlerin teorik lazer gücü sonuçları verilmiştir.

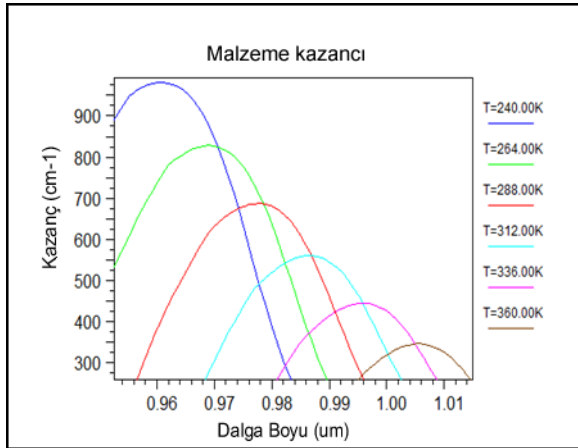
Lazer çıkışlarının teorik çalışma ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Burada görülen kısmi farklılıkların çalışmalardaki malzeme kompozisyonlarından ve teorik yaklaşım farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmüştür.



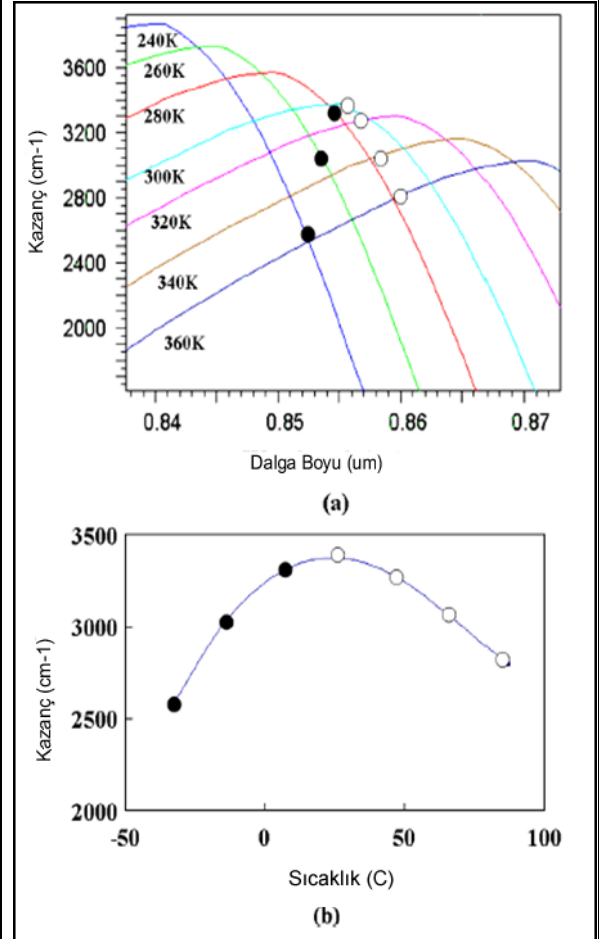
Şekil 4.60. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 1



Şekil 4.61. { InGaAs / GaAs/ AlGaAs } 1. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 2



Şekil 4.62. { InGaAs / AsPGa/ AlGaAs } 2. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği 3



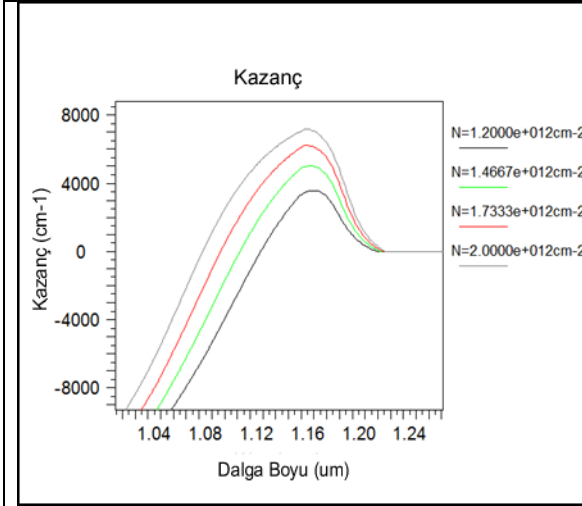
Şekil 4.63. { GaAs } Kuyu Lazerleri Malzeme Kazanç Grafiği [119]

Şekil 4.60 , 4.61 ve 4.62 de bu çalışma ile 4.63a. ve 4.63.b deki deneysel çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Burada kuantum kuyular farklı olmakla birlikte tipik olarak birlikte ele alınan malzemelerdir [119].

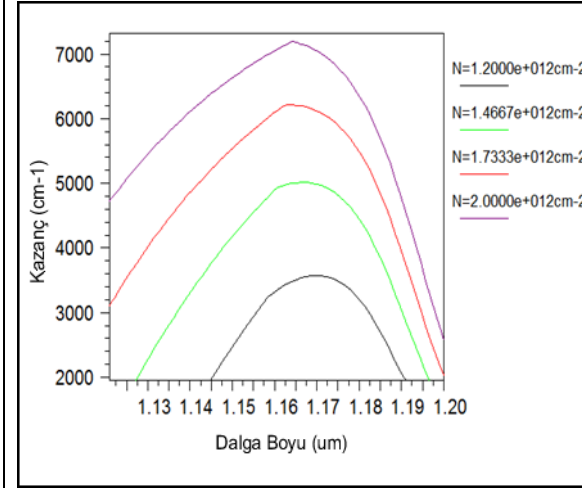
Bu karşılaştırma ile kuyuların farklı olmaları yanı sıra kazanç ve dalga boyu yakınlıklarını incelemektir. Uyumluluk göstermesi bakımından deneysel çalışmadaki gibi sıcaklığı 240 K den 360 K dereceye kadar artırınca kazanç değerlerinde benzeri yakınlıklar görülmüştür.

Şekil 4.60 ve Şekil 4.61 de aynı bariyerle Şekil 4.62 de farklı bariyere sahip çalışmalarda dalga boyları 980 nm (genel olarak InGaAs kuyulu lazerlerde böyledir) civarında iken Şekil 4.63 de 850 nm (genel olarak GaAs kuyulu lazerlerde böyledir) civarındadır.

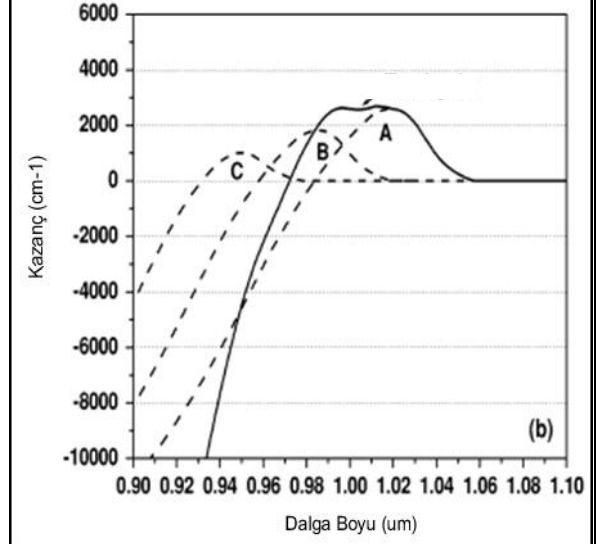
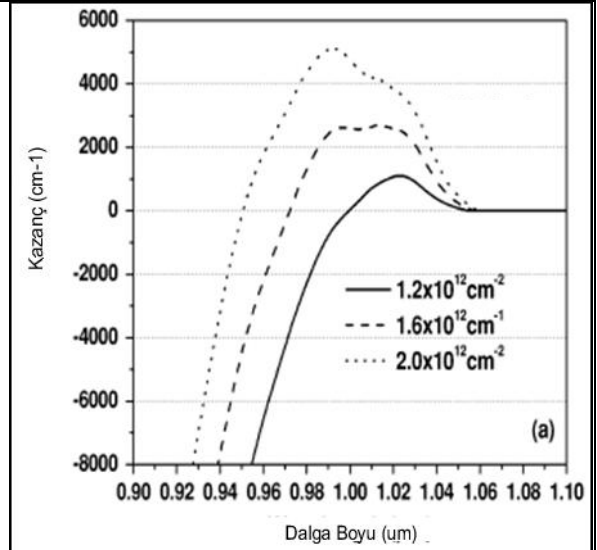
Burada görülen kısmi farklılıkların bu çalışmada kullanılan (InGaAs) kuyular ile deneysel çalışmadaki (GaAs) kuyulardan kaynaklanmaktadır. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçlar analiz edilebilir.



Şekil 4.64. { InGaAs / GaAs / GaAs } 3. Tip yapı için (300 K) Malzeme Kazanç Grafiği 1



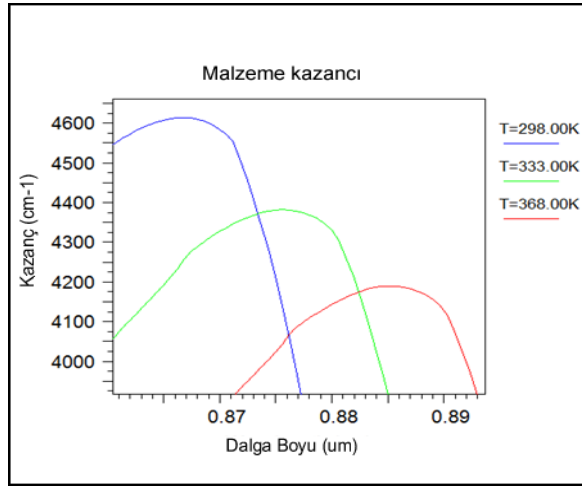
Şekil 4.65. { InGaAs / GaAs / GaAs } 3. Tip yapı için (300 K) Malzeme Kazanç Grafiği 2



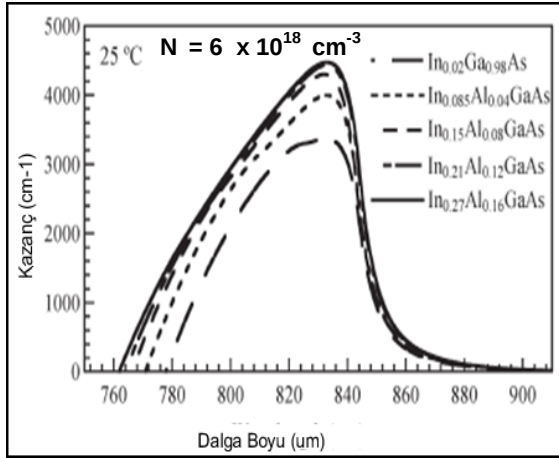
Şekil 4.66. { InGaAs / GaAs } Lazeri (300 K) Malzeme Kazanç Grafiği [127]

Şekil 4.64 ve 4.65 de bu çalışma ile 4.66.a. ve 4.66.b deki deneysel çalışmalar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 4.66.b deki **A,B** ve **C** ile belirtilen durumlar sırasıyla $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ kuyu kompozisyonlarındaki x değerleri için 0.25, 0.21 ve 0.15 değerlerinde üretilen deneysel malzemeleri tanımlar.

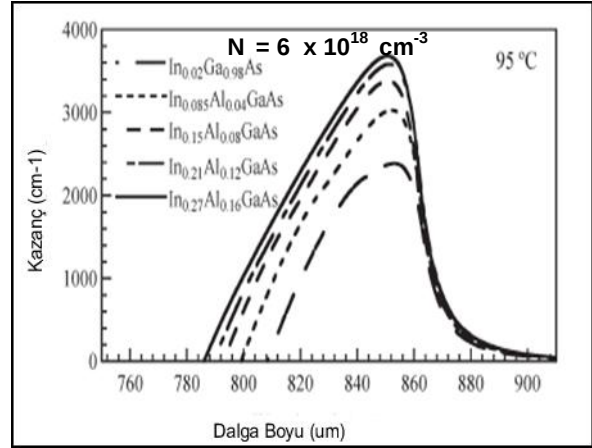
Böylece Şekil 4.64, 4.65 ve 4.66.a ve 4.66.b de kazanç değerlerinde ve lazer dalga boylarında yakınlıklar görülmüştür.



Şekil 4.67. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } 4. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği



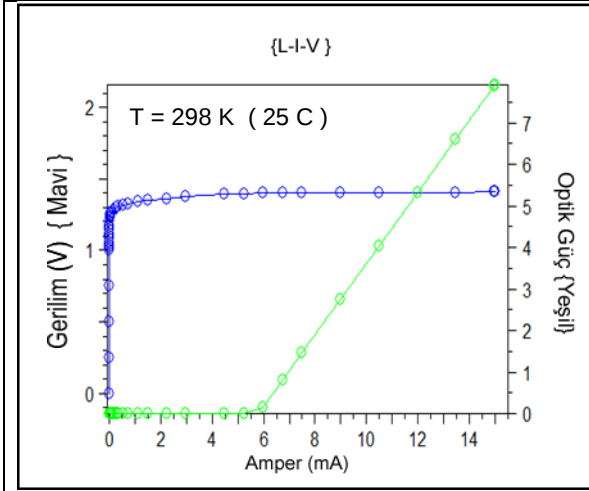
Şekil 4.68. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } Lazeri (298 K) Malzeme Kazanç Grafiği [115]



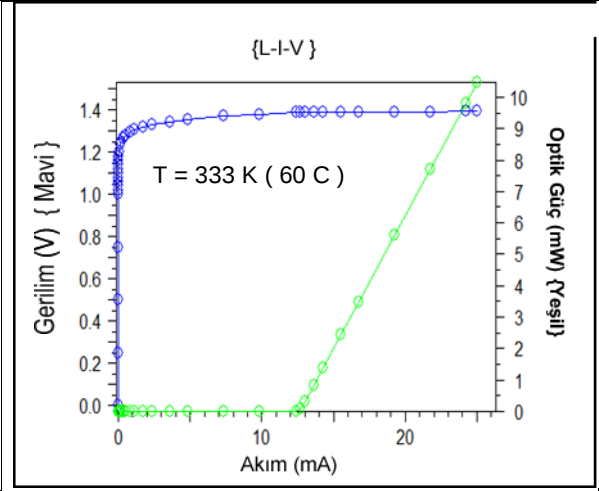
Şekil 4.69. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs } Lazeri (368 K) Malzeme Kazanç Grafiği [115]

Şekil 4.67. de LaserMOD ile üretilen 4. tip yapı malzeme kazanç grafiği ve Şekil 4.68 ve 4.69 da ise sırasıyla 298 K (25 °C) ve 368 K (95 °C) için üretilen aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir.

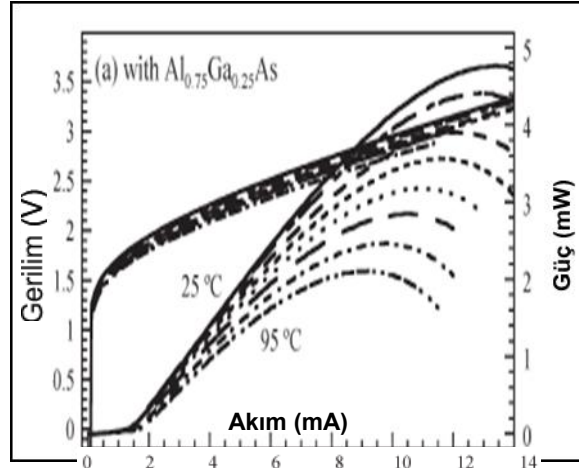
Lazer dalga boyları ve malzeme kazançlarında uyum görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişikliklerle iyileştirmeler yapılabilir.



Şekil 4.70. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs} 4. Tip yapı L-I-V Grafiği (298 K)



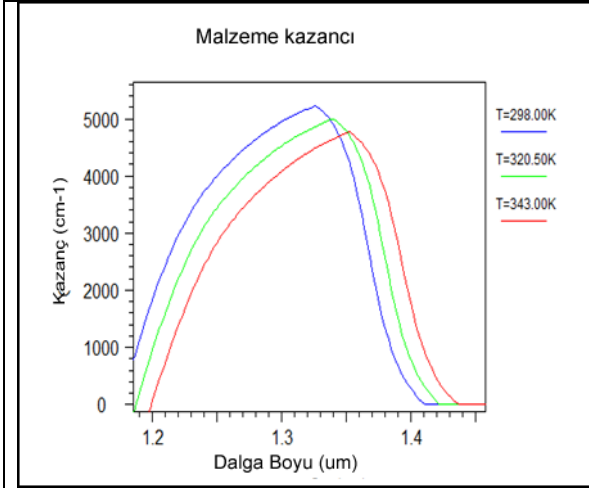
Şekil 4.71. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs} 4. Tip yapı L-I-V Grafiği (333 K)



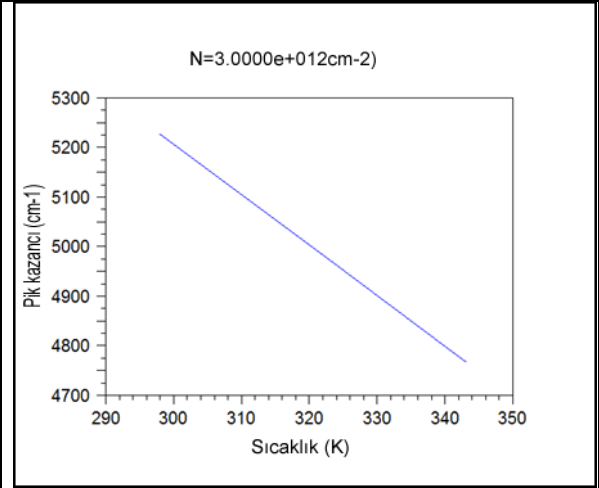
Şekil 4.72. { InGaAs / AlGaAs/ AlGaAs} Lazer için L-I-V Grafiği [115]

Şekil 4.70 ve 4.71 de sırasıyla 298 K ve 333 K sıcaklığında LaserMOD ile üretilen 4.tip yapı L-I-V grafiği ve Şekil 4.72 de üretilen aynı tip malzemenin 298 K (25 C) ve 368 K (95 C) derecede deneysel sonuçları görülmektedir.

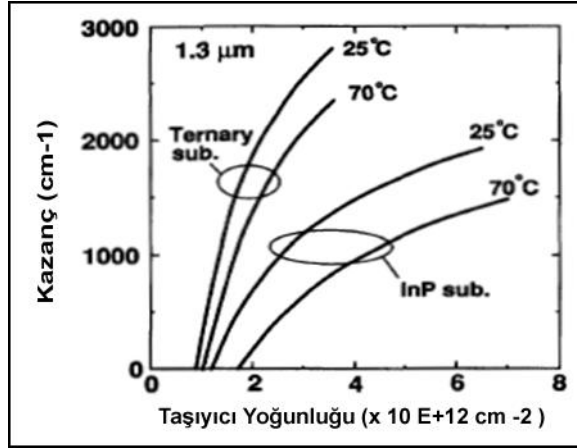
Burada görüleceği gibi eşik akım değerleri birbirine yakınlık göstermiştir. Lazer çıkışları deneysel çalışmayla uyum içinde görülmektedir. Malzeme kompozisyonlarında, bölge kalınlıkları ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişiklikler sonuçları birbirine daha da uyumlu hale getirebilir.



Şekil 4.73. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs } 8. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği



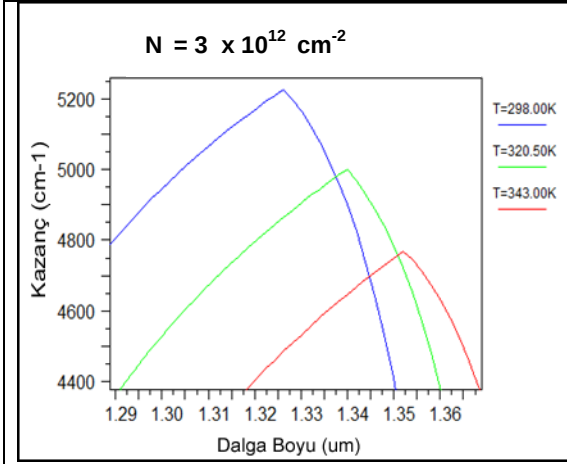
Şekil 4.74. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs } 8. Tip yapı Pik Malzeme Kazanç Grafiği



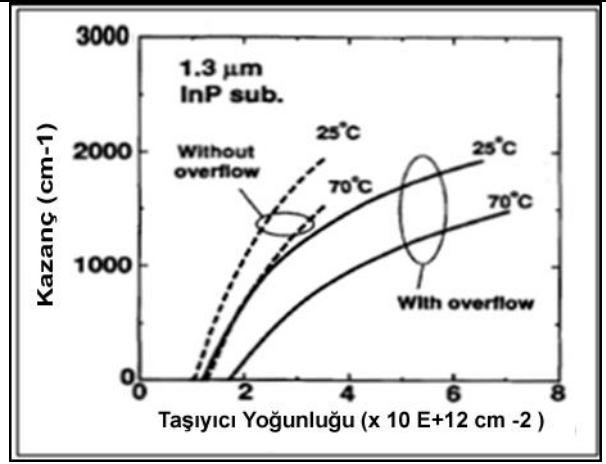
Şekil 4.75. { InGaAs / GaInAsP / InGaAs ve InP } Kuyu Lazerleri Malzeme Kazanç Grafiği [116]

Şekil 4.73 de LaserMOD ile üretilen 8. tip yapı malzeme kazanç grafiği, Şekil 4.74 de 8. tip yapı pik malzeme kazanç grafiği ve Şekil 4.75 de ise sırasıyla 298 K (25 C) ve 343 K (70 C) için üretilen aynı tip malzemenin üçlü InGaAs alt taş ve InP alt taş kullanılarak elde edilen deneysel sonuçları görülmektedir.

Lazer dalga boyları 1.3 µm civarında olup malzeme kazançlarında uyum görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişikliklerle iyileştirmeler yapılabilir.

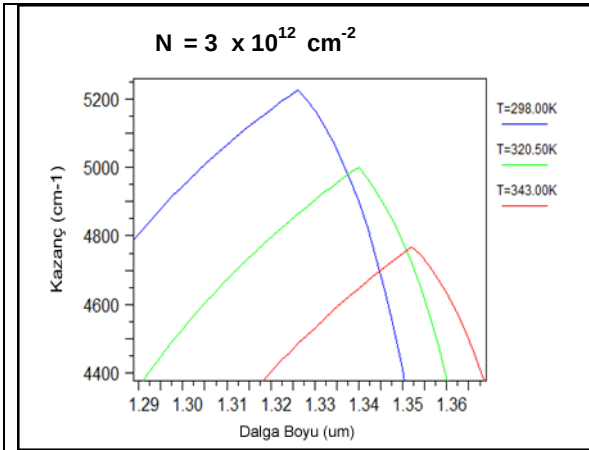


Şekil 4.76. { InGaAs / GaInAsP / InP } 9. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği

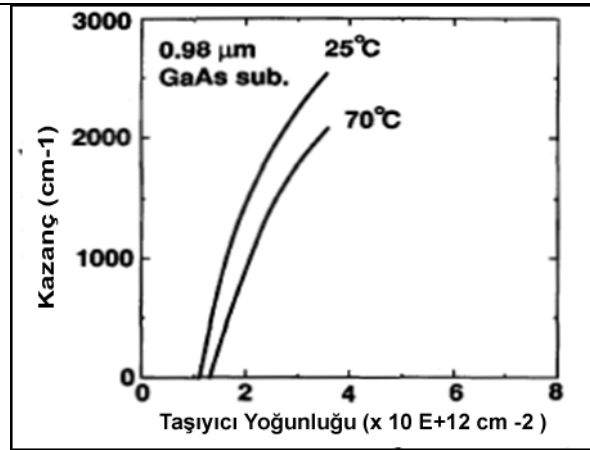


Şekil 4.77. { InGaAs / GaInAsP / InP } Kuyu Lazeri Malzeme Kazanç Grafiği [116]

Şekil 4.76 da LaserMOD ile üretilen 9. tip yapı malzeme kazanç ve Şekil 4.77 de ise sırasıyla 298 K (25 C) ve 343 K (70 C) için üretilen aynı tip malzemenin InP alt taş kullanılarak elde edilen deneysel sonuçları görülmektedir. Lazer dalga boyları 1.3 µm civarında olup malzeme kazançlarında uyum görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişikliklerle iyileştirmeler yapılabilir.



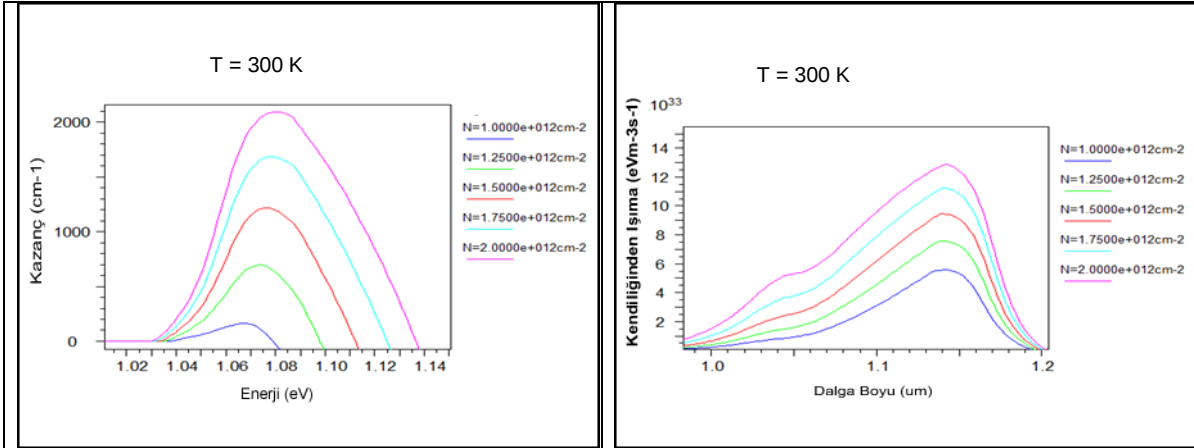
Şekil 4.78. { InGaAs / GaInAsP / GaAs } 10. Tip yapı için Malzeme Kazanç Grafiği



Şekil 4.79. { InGaAs / GaInAsP / GaAs } Kuyu Lazeri Malzeme Kazanç Grafiği [116]

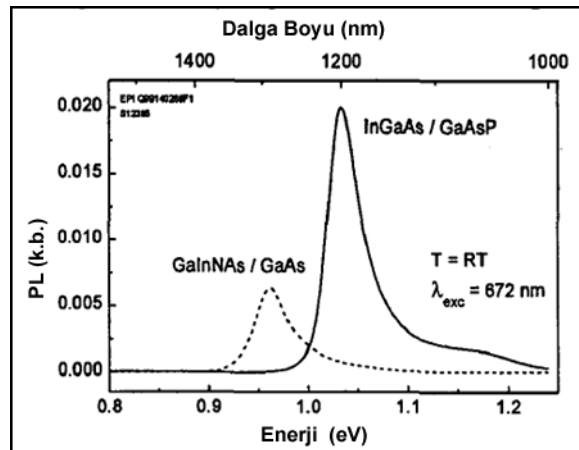
Şekil 4.78 de LaserMOD ile üretilen 10. tip yapı malzeme kazanç grafiği ve Şekil 4.79 da ise sırasıyla 298 K (25 C) ve 343 K (70 C) için üretilen aynı tip malzemenin GaAs alt taş kullanılarak elde edilen deneysel sonuçları görülmektedir. Lazer dalga boylarınfa 300 nm civarında bir fark olup olup

malzeme kazançlarında uyum görülmüştür. Malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek lokal ilave veya değişikliklerle iyileştirmeler yapılabilir.



Şekil 4.80. { InGaAs / GaAsP / GaAs } 11. Tip yapı için Malzeme Kazanç - Enerji Grafiği

Şekil 4.81. { InGaAs / GaAsP / GaAs } 11. Tip yapı için PL – Dalga Boyu Grafiği



Şekil 4.82. { InGaAs / GaAsP } Kuyu Lazeri PL- Dalga Boyu - Enerji Grafiği [111]

Şekil 4.80 de LaserMOD ile üretilen 11.tip yapının malzeme kazancı ile Şekil 4.81 de PL grafikleri ve Şekil 4.82 de aynı tip malzemenin deneysel sonuçları görülmektedir. Bu çalışmada 300 K oda (T=RT) sıcaklığında taşıyıcı yoğunluğunun artırılmasıyla ($1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \sim 2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ aralığında) elde edilen kazanç, enerji ve dalga boylarının deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmektedir. Burada 1.2 µm civarında optimum dalga boyu deneysel çalışma ile uyumlu olup bu değer malzeme kompozisyonlarında ve parametrik değerlerde yapılabilecek değişikliklerle analiz edilebilir.

Çizelge 4.1. Çalışılan Tüm Lazer Yapıların Optimum Sonuçları Tablosu

LAZER MALZEME ADI Kuyu / Bariyer / Alttaş	MALZEME KAZANCI cm ⁻¹	KENDİLİĞİN. IŞIMA x10 ³³ eV m ⁻³ s ⁻¹	DALGA BOYU nm	EŞİK AKIMI mA	BIAS VOLTAJI V	BIAS AKIMI mA	IŞIMA GÜCÜ mW
AlGaInAs / AlGaInAs / InP 1.Tip	1100	19x10 ³³	1180	10	2	50	26
AlGaInAs / AlGaInAs / InP [105]	1000 -1700		1200 - 1325	≈10		≈50	≈25
AlGaInAs / AlGaInAs / InP 2.Tip	4500	20 x10 ³³	1300	15	3	100	37
AlGaInAs / AlGaInAs / InP [103]	≈ 6500						
AlGaInAs / AlGaInAs / InP [99]				≈10		100	≈32
AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs 3.Tip	7500	27 x10 ³³	1380	30	1.35	100	34
AlGaInAs / AlGaInAs / InP [107]				≈18		100	≈40
AlGaInAs / AlGaInAs / InP 4.Tip	9000	33x10 ³³	1380	10	2	30	9.5
AlGaInAs / AlGaInAs / InP [106]			≈1450				
AlGaInAs / AlGaInAs / InP [104]	≈3000						
AlGaInAs / AlGaInAs / InP [108]	≈1000						
GaInAsP / GaInP / GaP 1.Tip	3500	35 x10 ³³	850	25	1.35	60	35
InGaAsP / GaInP / GaP [100]	≈2200		≈840				
GaInAsP / GaInAsP / GaAs 2.Tip	1200	20 x10 ³³	1400	8	1.25	54	24
InGaAsP / InGaAsP / GaAs [105]	≈1100		1300 - 1400				
GaInAsP / GaInAsP / InP 3.Tip	5900	25 x10 ³³	1500	20	1.7	200	1.8
InGaAsP / InGaAsP / InP [110]	≈4000		≈1500				
GaInAsP / GaInAsP / InP 4.Tip	3800	15 x10 ³³	1350	30	1.7	80	26
InGaAsP / InGaAsP / InP [104]			≈1300				
InGaAs / GaAs / GaAs 1.Tip	7000	28 x10 ³³	1330	-	-	-	-
GaInAs / GaAs / GaAs [111]			1200				
InGaAs / GaAs / GaAs 2.Tip	2900	14 x10 ³³	1380	6	2	50	28
InGaAs / GaAsN / GaAs [113]	≈2500		≈1300				
InGaAs / GaAs / GaAs [105]				≈18		50	≈10

Çizelge 4.1. (devam)

LAZER MALZEME ADI Kuyu / Bariyer / Alttaş	MALZEME KAZANCI cm ⁻¹	KENDİLİĞİN. IŞIMA x10 ³³ eVm ⁻³ s ⁻¹	DALGA BOYU nm	EŞİK AKIMI mA	BIAS VOLTAJI V	BIAS AKIMI mA	IŞIMA GÜCÜ mW
InGaNaS / AsPGa / GaAs 3.Tip	2900	15 x10 ³³	1300	5	2	75	46
InGaNaS / GaAsP / GaAs [113]	≈2600		≈1280			200	5 - 23
InGaNaS / GaAs / GaAs 4.Tip	3700	18 x10 ³³	1250	10	1.18	25	10
InGaNaS / GaAs / GaAs [114]	≈3300	≈16 x10 ³³	≈1280				
InGaNaS / AsPGa / GaAs 5.Tip	3200	13 x10 ³³	1400	5	1.25	100	40
InGaNaS / GaAs / GaAs [112]	≈1500		≈1280	≈30		100	≈18
AlGaAs / AlGaAs / AlGaAs	1250	20 x10 ³³	750	15	1.5	30	15
AlGaAs / AlGaAs / AlGaAs [126]	≈3500			≈9		40-137	1 - 4
InGaAs / GaAs / AlGaAs 1.Tip	480	5 x10 ³³	990	27	1.25	65	32
GaAs Kuyulu Lazerler [119]	≈2900		≈850				
InGaAs / AsPGa / AlGaAs 2.Tip	950	6 x10 ³³	970	14	1.25	25	9
InGaAs / GaAs / GaAs 3.Tip	4400	25x10 ³³	1160	10	1.54	65	25
InGaAs / GaAs Lazeri [127]	1000- 5000		≈1000				
InGaAs / AlGaAs / AlGaAs 4.Tip	2200- 4600		870	6	1.5	25	16
InGaAs / AlGaAs / AlGaAs [115]	3500- 4500		≈830	≈2			1 - 5
InGaAs / AlGaInAs / InP 5.Tip	310	1.3x10 ³³	1350	-	-	-	-
InGaAs / GaInAsP / InP 6.Tip	330		1100	-	-	-	-
InGaAs / GaAs / AlGaAs 7.Tip	170		935	-	-	-	-
InGaAs / GaInAsP / InGaAs 8.Tip	4900	20x10 ³³	1330	3	1.25	50	4.4
InGaAs / GaInAsP / InGaAs [116]	≈3000		≈1300				
InGaAs / GaInAsP / InP 9.Tip	5200		1330	3	1.25	50	27
InGaAs / GaInAsP / InP [116]	≈2000		≈1300				
InGaAs / GaInAsP / GaAs 10.Tip	5200		1330	2	1.25	50	32
InGaAs / GaInAsP / GaAs [116]	≈2900		≈980				

Çizelge 4.1. (devam)

LAZER MALZEME ADI Kuyu / Bariyer / Alttas	MALZEME KAZANCI cm ⁻¹	KENDİLİĞİN. IŞIMA x10 ³³ eVm ⁻³ s ⁻¹	DALGA BOYU nm	EŞİK AKIMI mA	BIAS VOLTAJI V	BIAS AKIMI mA	IŞIMA GÜCÜ mW
InGaAs / GaAsP / GaAs 11.Tip	1200	10x10 ³³	1150	3	1.25	30	16
InGaAs / GaAsP Lazeri [111]			≈1200				

Çizelge 4.1. de bu çalışmada simülasyonla tasarımı yapılan 25 farklı – yapılı lazer türünün bir çok deneme ve malzeme parametrelerinde yapılan farklı değişiklikler sonucu elde edilen teorik simülasyon değerleri ayrı ayrı verilmiştir.

Ayrıca tabloda mavi renkli olarak dikkate sunulan 25 referansın bu çalışmadaki 25 ayrı yapı ile benzer sonuçları verilerek etraflıca analiz yapma imkanı sağlanmıştır.

Böylesi bir tablo hem ülkemizde bir ilk olma hemde dünya üzerinde sayılı karşılaştırmalar arasında bir ilk olma özelliğini taşımaktadır. Yine bu tablo ile çalışmada ele alınan aynı türden birbirine yakın olan malzeme türleri aynı sütünlarda sıralanarak elde edilen bulguların analizine imkan verilmiştir.

Özellikle üzerinde çalışılan Malzeme Kazancı, Pik Kazanç değerleri, Lazer Gücü, Kendiliğinden Işıma değerleri ve bunların yanında Lazer Gücü için gerekli Eşik Akımı değerleri burada verilmiştir. Böylesi bir çalışma bir çok araştırma ve çalışmaya ışık tutatacak bir nitelikte olup bu bölümde önceki sayfalarda, yapılan güncel karşılaştırmalarla mevcut aktif çalışmalara olan yakınlığı sunulmuştur. Bu tablo ile birbirine yakın malzeme türlerindeki farklılıkların nedenleri araştırılabilir. Bunun için tablodaki malzeme kompozisyonlarına bakılabilir.

Bazı değerlerin farklılığı; kullanılan alt taş kalınlığı, kuyu kalınlığı, taşıyıcı yoğunlukları, katkı oranları, malzeme bölge kalınlıkları gibi birçok etkene dayanabilir. Böylece bu tablodan ilgili karşılaştırmalar ve analizler yapılabilir.

Çizelge 4.2. Çalışılan Tüm Lazer Yapıların Parametrik Değerleri Tablosu

LAZER MALZEME ADI Kuyu / Bariyer / Alttaş	Kuyu Kaln. nm	Bary. Kaln. nm	Sıcaklık K	Zorlanma Enine / Boyuna %	E_c / E_v eV	Taşıyıcı Yoğun. x10 ¹² cm ⁻³	FP / FPSırt
AlGaInAs / AlGaInAs / InP 1.Tip	5	10	300	0.07 Boyuna	1.048/1.103	3.5	FPSırt
AlGaInAs / AlGaInAs / InP 2.Tip	5	5	300	1.53 Enine	0.787/1.118	1.6	FPSırt
AlGaInAs / AlGaInAs / GaAs 3.Tip	5	10	300	1.53 Enine	0.736/1.065	3	FP
AlGaInAs / AlGaInAs / InP 4.Tip	5	10	313	1.40 Enine	0.768/1.097	3	FPSırt
GaInAsP / GaInP / GaP 1.Tip	6	8	300	0.03 Enine	1.419/1.888	2.5	FP
GaInAsP / GaInAsP / GaAs 2.Tip	5	10	300	0.99 Enine	0.778/1.043	1.2	FPSırt
GaInAsP / GaInAsP / InP 3.Tip	6.4	8	300	1.13 Enine	0.735/1.020	3	FP
GaInAsP / GaInAsP / InP 4.Tip	7.5	10	300	1.01 Enine	0.849/1.138	2.5	FP
InGaNaAs / GaAs / GaAs 1.Tip	5	25	300	2.37 Enine	0.716/1.424	2	FP
InGaNaAs / GaNaAs / GaAs 2.Tip	6.4	8	300	2.36 Enine	0.720/1.249	1.3	FPSırt
InGaNaAs / AsPGa / GaAs 3.Tip	6.4	8	293	2.8 Enine	0.720/1.619	1.3	FP
InGaNaAs / GaAs / GaAs 4.Tip	6	25	300	2.29 Enine	0.843/1.424	1.5	FP
InGaNaAs / AsPGa / GaAs 5.Tip	6.4	20	300	2.70 Enine	0.654/1.619	1.3	FPSırt
AlGaAs / AlGaAs / AlGaAs	8	9	300	0.01 Boyuna	1.633/1.789	3	FP

Çizelge 4.2. (devam)

LAZER MALZEME ADI Kuyu / Bariyer / Alttaş	Kuyu Kaln. nm	Bary. Kaln. nm	Sıcaklık K	Zorlanma Enine / Boyuna %	E_c / E_v eV	Taşıyıcı Yoğun. x10 ¹² cm ⁻³	FP / FPSırt
InGaAs / GaAs / AlGaAs 1.Tip	16	16	300	1.27 Enine	1.166/1.424	2.5	FP
InGaAs / AsPGa / AlGaAs 2.Tip	16	16	300	1.18 Enine	1.166/1.639	2.5	FP
InGaAs / GaAs / GaAs 3.Tip	5	20	300	3.19 Enine	0.841/1.449	1.6	FP
InGaAs / AlGaAs / AlGaAs 4.Tip	8	16	300	1.03 Enine	1.193/1.774	3	FP
InGaAs / AlGaInAs / InP 5.Tip	7	6	300	3.45 Boyuna	1.367/ 0.936	2.5	FP
InGaAs / GaInAsP / InP 6.Tip	9	70	300	1.84 Boyuna	1.394/1.122	2.5	FP
InGaAs / GaAs / AlGaAs 7.Tip	8	90	300	0.14 Enine	1.367/1.396	6	FP
InGaAs / GaInAsP / InGaAs 8.Tip	8	20	300	1.40 Enine	0.801/1.406	3	FP
InGaAs / GaInAsP / InP 9.Tip	8	20	300	1.39 Enine	0.818/1.423	3	FP
InGaAs / GaInAsP / GaAs 10.Tip	8	20	300	1.39 Enine	0.818/1.423	3	FP
InGaAs / GaAsP / GaAs 11.Tip	10	10	300	3.83 Enine	0.888/1.807	1.6	FP

Çizelge 4.2. de ise çalışmada ele alınan 25 farklı – yapılı lazer türünün yapılan deneme ve malzeme parametrelerindeki değişiklikler sonucunda kullanılan optimum lazer parametreleri verilmiştir.

Bu tablo ile birbirine yakın olan malzeme türleri aynı sütünlarda sıralanarak kullanılan parametreler dikkate sunulmuştur. Burada lazer tasarımında önemli parametreler verilmiş olup bunlar, Kuyu ve Bariyer Kalınlıkları (nm olarak), Sıcaklık (K derece olarak), Kuyu Zoru (% enine veya boyuna zorlanma olarak), İletkenlik ve Değerlik Bandı Enerjileri (eV olarak), Taşıyıcı Yoğunluğu (x10¹²cm⁻³ olarak) ve Lazer Yapı Türü (Fabr-Parot ve Fabr-Parot Sırt olarak) şeklindedir.

Ülkemizde Kuantum Kuyu Lazer fabrikasyonu henüz bulunmayıp sadece gözlem, araştırma ve deneme çalışmaları birkaç üniversitede ancak dar bir çerçevede başlangıç aşamasında olduğu göz önüne alınırsa yapılan bu çalışmanın bu sahada ülkemizdeki çalışmalara ışık tutacağı ve bu alandaki AR-GE çalışmaları için bir temel teşkil edeceği düşünülmektedir.

Ayrıca bu çalışmada ele alınan lazer türleri bilim dünyasında üzerinde durulan en önemli çalışmalar olup bir yılı aşan bir araştırma ve gözlem sonucunda bu kanaate varılıp, çalışılacak 5 farklı türde ve kendi içlerindeki kompozisyon çeşitleriyle 25 ayrı yapıda lazer türü belirlenmiştir.

Yapılan tüm lazer simülasyonları bu bölümde referanslarla gösterilen aktif –aktüel çalışmalar baz alınarak uygulandığından çalışma aynı zamanda üzerinde en çok durulan mevcut aktif Kuantum Kuyu Lazer çalışmalarında etraflı bir analizi ve araştırması durumuna geçmiştir.

Burada çalışılan lazer türlerinin Çizelge 4.1 ve 4.2 de belirtilen özellik, parametre ve diğer karakteristik durumları (Bölüm 3 de geniş bir şekilde sunulduğu üzere) göz önüne alınarak ülkemizde yeni bir Kuantum Lazer AR-GE yapılanması ve faaliyeti başlatılabilir, simülasyon çalışmalarında buradan yola çıkarak yeni araştırmalar yapılabilir ve tüm bunlarla beraber laboratuvar çalışmalarının çok zahmetli, masraflı ve sınırlı olduğu düşünülürse buradaki değerler baz alınıp pratik deneysel çalışmalar başlatılabilir veya desteklenebilir.

Bu itibarla çalışmanın ülkemizde bir ilk olma özelliğini taşımakla beraber bu alanda yapılacak benzeri çalışmalara bir örnek teşkil edeceği ve ülkemizde gelişecek olan Nano Teknoloji – Yarıiletken Kuantum Kuyulu Lazer çalışmalarına katkı sağlayacağı ümit edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Zory, P. S., Quantum Well Lasers, Academic Press, London,1993.
- [2] RSoft Design Group, Inc.,400 Executive Blvd. Ste 100 ,Ossining, NY 10562 USA , <http://www.rsoftdesign.com> .
- [3] Bhattacharya, P., in Semiconductor Optoelectronic Devices, 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 301, 1997.
- [4] Saleh, B., Teich, M., in Fundamentals of Photonics. New York: John Wiley & Sons, 569, 1995.
- [5] Ashoori, R., Nature, 379, 413(1996).
- [6] Dingle, R., Quantum Semiconductor Structures, Elsevier, Academic Press, 1991.
- [7] Datta, M., Dilli, Z., Wasiczko, L., Quantum Dot Lasers, ENEE 697 Term Project, 2000.
- [8] Tsang, W.T., 28, pp. 596(1976).
- [9] Ledentsov, N. N., Semiconductors, 32, 343 (1998).
- [10] Jiang, H. S., J., IEEE Journal of Quantum Electronics, 34, 1188 (1998).
- [11] Park, G. H., D.L., Zou, Z., Shchekin, O.B., Deppe, D.G., IEEE Photonics Technology Letters, 11, 301 (1999).
- [12] Zhukov, A. E. E., A.Y., Kovsh, A.R., Ustinov, V.M., Zaitsev, S.V., Gordeev, N.Y., Kopchatov, V.I., Lunev, A.V., Tsatsul'nikov, A.F., Volovik, B.V., Ledentsov, N.N., Kop'ev, P.S., Semiconductors, 32, 795 (1998).
- [13] Zaitsev, S. V. G., N.Y., Kopchatov, V.I., Ustinov, V.M., Zhukov, A.E., Egorov, A.Y., Kovsh, A.R., Kop'ev, P.S, Japanese Journal of Applied Physics, 38, 601 (1999).
- [14] Ustinov, V. M. Z., A.E., Egorov, A.Y., Kovsh, A.R., Zaitsev, S.V., Gordeev, M.Y., Kopchatov, V.I., Ledentsov, N.N., Tsatsul'nikov, A.F., Volovik, B.V., Kop'ev, P.S., Alferov, Z.I., Ruvimov, S.S., Liliental-Weber, Z., Bimberg, D., Electronics Letters, 34, 670 (1998).
- [15] Linder, K. K. P. J., Qasaimeh, O., Liu, X.F., Krishna, S., Bhattacharya, P., Jiang, J.C., Applied Physics Letters, 74, 1355 (1999).
- [16] Saito, H. N. K., Ogura, I., Sugou, S., Sugimoto, Y., Applied Physics Letters, 69, 3140 (1996).

- [17] Asryan, L. V. S., R.A., Applied Physics Letters, 74, 1215 (1999).
- [18] Huffaker, D. L. B. O., Graham, L.A., Streetman, B.G., Deppe, D.G., Applied Physics Letters, 70, 2356 (1997).
- [19] Huffaker, D.e.a., IEEE Photonics Technology Letters, 10, 1623 (1998).
- [20] Ustinov, V. M. M., N.A., Zhukov, A.E., Kovsh, A.R., Egorov, A.Y., Lunev, A.V., Volovik, B.V., Krestnikov, I.L., Musikhin, Y.G., Bert, N.A Kop'ev, P.S., Alferov, Z.I., Applied Physics Letters, 74, 2815 (1999).
- [21] Zou, Z.e.a., IEEE Photonics Technology Letters, 10, 1623 (1998).
- [22] Asryan, L. V. S., R.A., IEEE Journal of Quantum Electronics, 34, 841 (1998).
- [23] Mogg, S., Long-Wavelength Vertical-Cavity Lasers: Materials and Device Analysis, KTH, 2003.
- [24] Choquette, K. D., and Hou, H. Q., Proceedings of the IEEE, 85, 1730 (1997).
- [25] Heinrich, J., Zeeb, E., and Ebeling, K. J., IEEE Photon. Technol. Lett, 9, 1555(1997).
- [26] Schnitzer, P., Grabherr, M., Jager, R., Joos, J., Jung, C., King, R., Michalzik, R., Schmid, W., Wiedenmann, D., and Ebeling, K. J. High performance " VCSEL arrays for optical interconnection, in " Proc. IEEE 48th Electronic Components and Technology Conference (ECTC'98), Seattle, WA, USA, 762, 1998.
- [27] Thibeault, B. J., Bertilsson, K., Hegblom, E. R., Strzelecka, E., Floyd, P. D., Naone, R., and Coldren, L. A., IEEE Photon. Technol. Lett., 9, no. 1, 11(1997).
- [28] Satuby, Y., and Orenstein, M., IEEE Photon. Technol. Lett., 10, 760 (1998).
- [29] Herrick, R. W., and Petro, P. M., IEEE J. Quantum Electron., 34, 1963 (1998).
- [30] Coldren, L. A., and Corzine, S. W., Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits. New York, NY: Wiley, 1995.
- [31] Kim, J. K., Hall, E., Sjöolund, O., Almuneau, G., and Coldren, L. A., Electron. Lett., 35, ,1085,(1999).
- [32] Dias, I. F. L., Nabet, B., Kohl, A., and Harmand, J. C., Electron. Lett., 33, 716(1997).

- [33] Babic, D. I., Piprek, J., Streubel, K., Mirin, R. P., Margalit, N. M., Mars, D. E., Bowers, J. E., and Hu, E. L., IEEE J. Quantum Electron., 33, 1369 (1997).
- [34] Henry, C. H., Logan, R. A., Merrit, F. R., and Luongo, J. P., IEEE J. Quantum Electron., QE-19, 947(1983).
- [35] Chalmers, S. A., Lear, K. L., and Killeen, K. P., Appl. Phys. Lett., 62, 1585 (1993).
- [36] Lear, K. L., and Schneider, R. P., Jr., Appl. Phys. Lett., 68, 605 (1996).
- [37] Kogelnik, H., and Shank, C. V., J. Appl. Phys., 453, 2327(1972).
- [38] Babić, D. I., Döhler, G. H., Bowers, J. E., and Hu, E., IEEE J. Quantum Electron., 33, 2195(1997).
- [39] Kojima, K., Morgan, R. A., Mullaly, T., Guth, G. D., Focht, M. W., Leibenguth, R. E., and Asom, M. T., Electron. Lett., 29, 1771(1993).
- [40] Kurihara, K., Numai, T., Ogura, I., Yasuda, A., Sugimoto, M., and Kasahara, K., J. Appl. Phys., 73, 21(1993).
- [41] Schubert, E. F., Tu, L. W., Zydzik, G. J., Kopf, R. F., Benvenuti, A., and Pinto, M. R., Appl. Phys. Lett., 60, 466(1992).
- [42] Peters, M. G., Thibeault, B. J., Young, D. B., Scott, J. W., Peters, F. H., Gossard, A. C., and Coldren, L. A., Appl. Phys. Lett., 63, 3411(1993).
- [43] Adachi, S., J. Appl. Phys., 54, 1844(1983).
- [44] Nakwaski, W., J. Appl. Phys., 64, 159(1988).
- [45] Adachi, S., Physical Properties of III–V Semiconductor Compounds: InP, InAs, GaAs, GaP, InGaAs, and InGaAsP. New York, NY: Wiley, 1992.
- [46] Osinski, M., and Nakwaski, W., Electron. Lett., 29, 1015 (1993).
- [47] Guden, M., and Piprek, J., Model. Simul. Mater. Sci. Eng., 4,349(1996).
- [48] Chou, T.M., User's manual for gain program, University press, 2003
- [49] Piprek, J., Tröger, T., Schröter, B., Kolodzey, J., and Ih, C. S., IEEE Photon. Technol. Lett., 10, 81(1998).
- [50] Baba, T., Yogo, Y., Suzuki, K., Koyama, F., and Iga, K., Electron. Lett., 29, 913(1993).
- [51] Uomi, K., Yoo, S. J. B., Scherer, A., Bhat, R., Andreadakis, N. C., Zah, C., Koza, M. A., and Lee, T. P., IEEE Photon. Technol. Lett., 6, 317(1994).
- [52] Uchiyama, S., Yokouchi, N., and Ninomiya, T., IEEE Photon. Technol. Lett., 9, 141(1997).

- [53] Fisher, M. A., Huang, Y.Z., Dann, A. J., Elton, D. J., Harlow, M. J., Perrin, S. D., Reed, J., Reid, I., and Adams, M. J., IEEE Photon. Technol. Lett., 7, 608(1995).
- [54] Streubel, K., Rapp, S., Andre, J., and Wallin, J., IEEE Photon. Technol. Lett., 8, 1121(1996).
- [55] Salet, P., Gaborit, F., Pagnod-Rossiaux, P., Plais, A., Derouin, E., Pasquier, J., and Jacquet, J., Electron. Lett., 33, 2048(1997).
- [56] Debray, J., Sagnes, J., Le Roux, G., Legay, P., Quillec, M., Kazmierski, C., Madani, R., and Palmier, J. F., IEEE Photon. Technol. Lett., 11, 770 (1999).
- [57] Kwon, O.K., Yoo, B.S., Shin, J.H., Baek, J.H., and Lee, B., IEEE Photon. Technol. Lett., 12, 1132 (2000).
- [58] Dudley, J. J., Ishikawa, M., Babic, D. I., Miller, B. I., Mirin, R., Jiang, W. B., Bowers, J. E., and . Hu, E. L., Appl. Phys. Lett., 61, 3095(1992).
- [59] Babić, D. I., Streubel, K., Mirin, R. P., Margalit, N. M., Bowers, J. E., Hu, E. L., Mars, D. E., Yang, L., and Carey, K., IEEE Photon. Technol. Lett., 7, 1225 (1995).
- [60] Karim, A., Abraham, P., Lofgreen, D., Chiu, Y.J., Piprek, J., and Bowers, J., Appl. Phys. Lett., 78, 2632(2001).
- [61] Jayaraman, V., Geske, J. C., MacDougall, M. H., Peters, F. H., Lowes, T. D., and Char, T. T., Electron. Lett., 34, 1405(1998).
- [62] Qian, Y., Zhu, Z. H., Lo, Y. H., Huraker, D. I., Deppe, D. G., Hou, H. Q., Hammons, B. E., Lin, W., and Tu, Y. K., Electron. Lett., 33, 1052(1997).
- [63] Rapp, S., Salomonsson, F., Bentell, J., Sagnes, I., Moussa, H., M'eriadec, C., Raj, R., Streubel, K., and Hammar, M., Electron. Lett., 35, 49(1999).
- [64] Goldstein, L., Fortin, C., Starck, C., Plais, A., Jacquet, J., Boucart, J., Rocher, A., and Poussou, C., Electron. Lett., 34, 268(1998).
- [65] Gebretsadik, H., Bhattacharya, P. K., Kamath, K. K., Qasaimeh, O. R., Klotzkin, D. J., Caneau, C., and Bhat, R., Electron. Lett., 34, 1316(1998).
- [66] Yuen, W., Li, G. S., Nabiev, R. F., Boucart, J., Kner, P., Stone, R. J., Zhang, D., Beaudoin, M., Zheng, T., He, C., Yu, K., Jansen, M., Worland, D. P., and Chang-Hasnain, C. J., Electron. Lett., 36, 1121 (2000).
- [67] Shau, R., Ortsiefer, M., Roskopf, J., Böhm, G., Kohler, F., and Amann, M.-C., Electron. Lett., 37, 1295(2001).

- [68] Hall, S. E., Almuneau, G., Kim, J. K., Buell, D. A., Kroemer, H., and Coldren, L. A., Appl. Phys. Lett., 78, 1337(2001).
- [69] Soda, H., Iga, K., Kitahara, C., and Suematsu, Y., Jpn. J. Appl. Phys., 18, 2329 (1979).
- [70] Agrawal G. P., and Dutta, N. K., Semiconductor Lasers. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [71] Wilmsen, C., Temkin, H., and Coldren, L. A., Eds., Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers: Design, Fabrication, Characterization, and Applications. New York, NY: Cambridge University Press, 1999.
- [72] Li, H., and Iga, K., Eds., Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser Devices. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003.
- [73] Kawaguchi, M., Gouardes, E., Schlenker, D., Kondo, T., Miyamoto, T., Koyama, F., and K. Iga, Electron. Lett., 36, 1776 (2000).
- [74] Kondo, T., Schlenker, D., Miyamoto, T., Chen, Z., Kamaguchi, M., Gouardes, E., Koyama, F., and Iga, K., Jpn. J. Appl. Phys. 1, 40, 467(2001).
- [75] Sakaguchi, T., Koyama, F., and Iga, K., Electron. Lett., 24, 928 (1988).
- [76] Chailertvanitkul, A., Iga, K., and Moriki, K., Electron. Lett., 21, 303(1985).
- [77] Miyamoto, T., Takeuchi, K., Koyama, F., and Iga, K., IEEE Photon. Technol. Lett, 9, 1448(1997).
- [78] Young, D. B., Scott, J. W., Peters, F. H., Peters, M. G., Majewski, M. L., Thibeault, B. J., Corzine, S. W., and Coldren, L. A., IEEE J. Quantum Electron., 29, 2013(1993).
- [79] Coleman, J. J., Strained layer quantum well heterostructure lasers in Quantum Well Lasers, San Diego, CA, USA: Academic Press, 1993.
- [80] Chinn, S.R., Zory, P.S., and Reisinger, A.R., IEEE J. Quantum Electronics, 24(1988).
- [81] Zory, P.S., Quantum Well Lasers, Academic Press Inc., 1993.
- [82] Lau, K. M., Ultralow threshold quantum well lasers in Quantum Well Laser, Zory, P., Ed. San Diego, CA: Academic, 1993.
- [83] Corzine, S. W., Quantum well lasers, San Diego, CA: Academic, 1993.
- [84] Chinn, S. R., Zory, P., and Reisinger, A.R., IEEE J. Quantum Electron., 24, 2191(1988).

- [85] Asada, M., "Intraband relaxation effect on optical spectra," in Quantum Well Laser, Zory, P., Ed. San Diego, CA: Academic, 1993.
- [86] Sandra, R., IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, 7, 340(2001).
- [87] Ustinov, V. M., Kovsh, A.R., Zhukov, A.E., Egorov, A.Y., Ledentsov, N.N., Lunev, A.V., Shernyakov, Y.M., Maksimov, M.V., Tsatsul'nikov, A.F., Volovik, B.V., Kop'ev, P.S., Alferov, Z.I, Technical Physics Letters, 24, 22 (1998).
- [88] Lott, J., Ledentsov, N. N., Ustinov, V. M., Maleev, N. A., Zhukov, A. E., Kovsh, A. R., Maximov, M. V., Volovik, B. V., and Alferov, Z. I., Electron. Lett., 36, 1384 (2000).
- [89] Huffaker, D. L. P., Zou, G., Scheckin, Z., Deppe, O.B., D.G, Applied Physics Letters, 73, 2564 (1998).
- [90] Zou, Y S., Osinski, P., Grodzinski, P., Dapkus, D., Rideout, W. C., Sharfin, W. F., Schlafer, J., and Crawford, F. D., IEEE J. Quantum Electron., 29, 1565(1993).
- [91] Chung, S.L., Physics of Optoelectronic Devices, John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [92] Chou, T.M., Theory and Design Application of Strained Separate-Confinement Heterostructure Quantum Well Lasers, SMU, Dallas, TX, 1995.
- [93] McIlroy, P. W. A., Kurobe, A., and Uematsu, Y., IEEE J. Quantum Electron., QE-21, 1958(1985).
- [94] Adams, A. R., O'Reilly, E. P., and Silver, M., Strained layer quantum well lasers in Semiconductor Lasers, San Diego, CA: Academic, 1999.
- [95] Adams, A. R., O'Reilly, E. P., and Silver, M., Strained layer quantum well lasers in Semiconductor Lasers 1, San Diego, CA: Academic, 1999.
- [96] Phillips, A. F., Sweeney, S. J., Adams, A. R., and Thijs P. J. A., IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., 5, 40.111(1999).
- [97] Higashi, T., Sweeney, S. J., Philips, A. F., Adams, A. R., O'Reilly, E. P., Ucida, T., and Fujii, T., IEEE Photon. Technol. Lett, 11, 409(1999).
- [98] Fehse, R., Sweeney, S. J., Adams, A. R., O'Reilly, E. P., Egorov, A.Y., Riechert, H., and Illek, S., Electron Lett., 37, 92(2001).

- [99] Lee, W.D., Shih T.T., and Chen, T.F.N., "10 Gb/s Fabry-Perot Laser with Enhanced Confinement Layers" *Jpn. J. Appl. Phys.*
- [100] Kuo, Y.K., Chen, J.R., Liou, B.T., "Numerical study on strained InGaAsP/InGaP quantum wells for 850-nm vertical-cavity surface-emitting lasers", *Appl. Phys. B* 86, 623–631 (2007).
- [101] Chen, J.R., Ling, S.C., Huang, H.M., Kuo, Y.K., Wang, S.C., "Numerical study of optical properties of InGaN multi-quantum-well laser diodes with polarization-matched AlInGaP barrier layers", *Appl. Phys. B* 95, 145–153, (2009).
- [102] Selmic, S.R., Tso-Min, C., JiehPing, S., Kirk, J.B., Mantie, A., Butler, J.K., "Design and Characterization of 1.3 μ m AlGaInAs–InP Multiple-Quantum-Well Lasers", *IEEE Journal On Selected Topics In Quantum Electronics*, Vol. 7, No. 2, March/April 2001.
- [103] Yekta, V.B., and Kaatuzian, H., "A Novel Investigation on Using Strain in Barriers of 1.3 μ m AlGaInAs-InP Uncooled", *Multiple Quantum Well Lasers*, *Commun. Theor. Phys. (Beijing, China)*, 54, pp. 529–535, (2010).
- [104] Yong J. C. L., et al., "1.3- μ m Quantum-Well InGaAsP, AlGaInAs, and InGaAsN Laser Material Gain: A Theoretical Study", *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, Vol. 38, No. 12, December 2002.
- [105] Yen-Kuang, K., et al., "Numerical study on gain and optical properties of AlGaInAs, InGaAs, and InGaAsP material systems for 1.3 μ m semiconductor lasers", *Optics Communications* 275, 156–164, (2007).
- [106] Minch, J., Park S. H., et al., "Theory and Experiment of InGaAsP and InGaAlAs Long-Wavelength Strained Quantum-Well Lasers", *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, Vol. 35, No. 5, May 1999.
- [107] Ishikawa, T., et al., "Well-Thickness Dependence of High-Temperature Characteristics in 1.3 μ m AlGaInAs–InP Strained-Multiple-Quantum-Well Lasers", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 10, No. 12, December 1998.
- [108] Jen-Wei, P., and Jen-Inn, C., "Theoretical Study of the Temperature Dependence of 1.3 μ m AlGaInAs-InP Multiple-Quantum-Well Lasers", *IEEE Journal Of Quantum Electronics*, Vol. 32, No. 12, December 1996.

- [109] Joachim, P., et al., "Self-Consistent Analysis of High-Temperature Effects on Strained-Layer Multiquantum-Well InGaAsP–InP Lasers", IEEE Journal Of Quantum Electronics, Vol. 36, No. 3, March 2000.
- [110] Grote, B., et al., "Fabry–Perot Lasers: Temperature and Many-Body Effects", Optoelectronic devices: advanced simulation and analysis, 27-61, 2005.
- [111] Hetterich, M., et al., "Comparison of GaInNAs / GaAs and strain-compensated InGaAs / GaAsP quantum wells for 1200-1300 nm diode lasers ",Lasers and Electro-Optics Society 1999 12th Annual Meeting., LEOS '99. IEEE ,Vol.1. , 8-11 Nov. 1999.
- [112] Borchert, B., et al., "Static and Dynamic characteristics of 1.29 μm GaInNAs Ridge-Waveguide Laser Diodes", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 12, No. 6, June 2000.
- [113] Kuo, Y.K., et al., "Numerical study on InGaAsN/GaAs multiple-quantum-well laser with GaAsP and GaAsN barriers", Appl Phys B 93,497–506,(2008).
- [114] Sharizal, A.M., et al., "Design Optimization of GaInNAs Quantum Wells for Long Wavelength VCSEL", ICSE Proc. 2008, Johor Bahru, Malaysia,2008.
- [115] Yi-An, C., et al., "Theoretical and Experimental Analysis on InAlGaAs/AlGaAs Active Region of 850-nm Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers", Journal Of Lightwave Technology, Vol. 24, No. 1, January 2006.
- [116] Hiroshi, I., and Ikuo, S., Analysis of Temperature Dependent Optical Gain of Strained Quantum Well Taking Account of Carriers in the SCH Layer " ,IEEE Photonics Technology Letters,Vol. 6, No. 3, March 1994.
- [117] Chen, C., et al., "Temperature Analysis of threshold Current in Infrared Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers", IEEE Journal Of Quantum Electronics, Vol. 42, No. 10, October 2006.
- [118] Scarmozzino, R., Gopinath, A., Pregla, R., and Helfert, S., "Numerical Techniques for Modeling Guided-Wave Photonic Devices," ,J. Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 6, p.150 (2000).
- [119] Paul, A., von, Phys. Rev. B, vol. 46, no. 23, Dec. 1992-I, pp.15377-81.
- [120] Paul, A., von, Phys. Rev. B, vol. 46, no. 23, Dec. 1992-I, pp.15382-86.
- [121] Rossler, U., "Nonparabolicity and Warping in the Conduction Band of GaAs", Solid State Communications, Vol.49,No.10, pp.943-947 (1984).

- [122] Arora, N.D., Hauser, J.R., and Roulston, D.J., "Electron and hole mobilities in silicon as a function of concentration and temperature", IEEE Trans. electron. Devices 29, p.292 (1982).
- [123] Chow, W.W., Koch, S.W., et al., "Semiconductor-Laser fundamentals, Physics of the Gain Materials", Springer, Berlin 1999.
- [124] Hader, J., et al., IEEE J. Quantum Electron., Vol.35, No. 12, p.1878 (1999).
- [125] Soref, R., Bennett, B., et al., "Electrooptical Effects in Silicon", IEEE Journal of Quantum Electronic 23, 123 (1987).
- [126] Olgun, D., Çift Farklı Yapı Seçimi Ve Kuantum İletkenlerinde Uygulanması İle Kuantum Noktalı Lazerin Gelişiminin Ve Üstünlüklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2007.
- [127] Weihong, J., Thompson, D.A., and Robinson, B.J., "Influence of Facet Coating on the Dual Wavelength Operation of Asymmetric InGaAs–GaAs Quantum-Well Lasers", IEEE Journal Of Quantum Electronics, Vol. 41, No. 5, May 2005.
- [128] Hader, J., et al., IEEE Photon Technol. Lett., Vol.14, No.6, p.762 (2002).
- [129] Hader, J., et al., Sol. Stat. Electron., 47 (3), p.513 (2003).
- [130] Haensch, W., Vogelsang, T., Kirchner, R., and Orlowski, M., "Carrier transport near the Si/SiO₂ interface of a MOSFET", Solid-State Electron., vol. 32, p.839, (1989).
- [131] LaserMOD User's Manual 2010, [http:// www.rsoftdesign.com](http://www.rsoftdesign.com).
- [132] Mi, Z., Bhattacharya, P., "Analysis of the Linewidth-Enhancement Factor of Long-WavelengthTunnel-Injection Quantum - Dot Lasers", IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 43, issue 5, pp. 363-369,2007.
- [133] Jianjun, G. , "Microwave Modeling and Parameter Extraction Method for Quantum-Well Lasers", Journal of Lightwave Technology, Vol. 26, Issue 14, pp. 2245-2250 (2008).
- [134] Bai, Z.G., Liu, J.J., "Stress effects on the binding energy of shallow - donor impurities insymmetrical GaAs/AlGaAs double quantum - well wires", Journal of Physics: Condensed Matter, Volume 19, Issue 34, pp. 346218 (2007).
- [135] Akram, M. N., Kjebon, O., Chacinski, M. , Schatz, R., Berggren, J. , Olsson F., Lourdudoss, S., Berrier , A., "Experimental characterization of high-speed 1.55 μ m buried heterostructure InGaAsP/InGaAlAs quantum-well lasers" ,JOSA B, Vol. 26, Issue 2, pp. 318-327 (2009) .

- [136] Venkatachalam, A., Yoder, P.D., Klein, B., Kulkarn, A., “Nitride Band-Structure Model in a Quantum Well Laser Simulator”, Numerical Simulation of Optoelectronic Devices, NUSOD '07. International Conference (2007).
- [137] Qasaimeh, O. , “Analytical Model for Cross-Gain Modulation and Crosstalk in Quantum-Well Semiconductor Optical Amplifiers”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 26, Issue 4, pp. 449-456 (2008).
- [138] Kolesik, M. M., “Time-Domain Vertical-External-Cavity Semiconductor Laser Simulation “,IEEE Journal of Quantum Electronics, Volume 43, Issue 7, pp. 588-596 (2007).
- [139] Sokolovskiĭ, G.S., Vinokurov, D.A., Deryagin, A.G., Dudelev, V.V., Kuchinskiĭ, V.I., Losev, S.N., Lyutetskii, A.V., Pikhtin, N.A., Slipchenko, S.O., Sokolova, Z.N., Tarasov, I.S., “Switching between generation of two quantum states in quantum-well laser diodes”, Pis'ma Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, Vol. 34, No.16, pp. 58–64 (2008).
- [140] Lim, J.J., MacKenzie, R., Sujecki, S., Sadeghi, M., Wang, S.M., Wei, Y.Q., Gustavsson, J.S., Larsson, A., Melanen, P., Sipila, P , Uusimaa, P., George, A.A., Snowton, P.M., Larkins, E.C.,”Simulation of double quantum well GaInNAs laser diodes”, Optoelectronics, IET., 1(6), pp.260-265 (2008).
- [141] Khadour, A., Bouchoule, S., Aubin, G., Tourrenc, J. P., Miard, A., Harmand, J. C., Decobert, J., Oudar, J. L., "Mode Locked 1550 nm VECSEL Using a Two Quantum Wells GaInNAs Saturable Absorber," in Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference and Photonic Applications Systems Technologies, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America), paper CThF5 (2008).
- [142] Braun, H., Rogowsky, S., Schwarz, U. T., Bruninghoff, S., Lell, A., Lutgen, S., Strauss, U.,” Supermodes in Broad Ridge (Al,In)GaN Laser Diodes”, IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 45, no. 9, pp. 1074-1083(2009).
- [143] Morozov, Y. A., Leinonen, T., Morozov, M., Yu.Popov, V.V., Pessa, M., “OPTical pumping of non-identical quantum wells in an active region of semiconductor vertical-external-cavity surface-emitting laser”, 4th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers(2008).

- [144] Tropper, A., "Femtosecond Semiconductor Lasers," in CLEO:2011 - Laser Applications to Photonic Applications, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2011), paper CThG3 (2011).
- [145] Qiao, Z., Zhang S., Gao,X., Li, Z., Lu P., Lie, H., Qu, Y., Lui, G. J., Bo B., "Broad area semiconductor lasers with tailored gain" , 10th Russian-Chinese Symposium on Laser Physics and Laser Technologies (RCSLPLT) and 2010 Academic Symposium on Optoelectronics Technology (ASOT)(2010).
- [146] Tijero, J.M.G., Odriozola, H., Borruel, L., Esquivias, I., " Quasi-3D Model of Edge-emitting Lasers Accounting for Coherent and Incoherent Coupling of Lateral Modes", Conference on Electron Devices, Spanish (2007).
- [147] Gao, J., "Microwave Modeling and Parameter Extraction Method for Quantum-Well Lasers", Journal of Lightwave Technology, Volume 26, Issue 14, pp. 2245 - 2250 (2008).
- [148] Bohringer, K., "Microscopic Spatio-Temporal Dynamics of Semiconductor Quantum Well Lasers and Amplifiers", Institut fur Technische Physik Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt (DLR) (2007).
- [149] Wartak, M. S., Weetman, P., Rusek, P., "Differential Gain in InGaAsN/GaAs Double QuantumWell Structures by Numerical Simulations", Research Letters in Physics , Vol 2008, Issue 1 (2008).
- [150] Lim, J. J., Sujecki, S. , Lang L., et al., "Design and Simulation of Next-Generation High-Power, High-Brightness Laser Diodes", IEEE Journal Of Selected Topics In Quantum Electronics, Vol. 15, NO. 3 (2009).

EKLER

Örnek olması bakımından simülasyon programının ürettiği, 25 ayrı Lazer yapıdan elde edilen veri ve analiz sonuçlarından sadece bir tanesi için aşağıda 1,2 ve 3. eklerde sonuçlar gösterilmiştir.

EK 1:

Tmp.txt dosyası: programın yapıyı analiz edip çalışmaya hazır hale gelmesi için tüm parametrelerin değerlerinin kullanıcı tarafından verilenler ve program veri kütüphanesinden alınanların bulunduğu dosya.

```
current_active_region = 5
fem_nev = 1
fem_order = 1
glob_temp = 300
las_length = 250
plot_MatI = 1
plot_QWell = 1
plot_axis = lambda
plot_biasnum = 1
plot_runlog = 1
plot_xmax = 2.5
plot_ymax = 3.45
plot_ymin = 0.1
run_bpm_nuby = 500
run_calculation = profile
run_gain_maxdens = 3.5e+012
run_gain_maxtemp = 370
run_gain_mindens = 3.5e+012
run_gain_numpts = 7
run_gain_sweep = temperature
run_profile_type = bandgap
run_residual = 1e-009
spectrum_start = default
w = 15
wq = 5
wr = 5
x = 0
xyrect 1
    element_type = 1
    x = x
    y = 0.1
    width = w
    height = 1.25
    physicaldata
        dope_dendop = 5e+018
        elem_matfile = InP.mat
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 2
    element_type = 1
    color = 1
    x = x
```

```
y = 1.25 rel element 1
width = w
height = 0.01
physicaldata
    dope_dendop = 5e+018
    elem_conc_iy = 0.48
    elem_matfile = AlGaInAs.mat
    reg_conc_i = 0.86
    reg_filmat = auto
    reg_material = auto
    reg_regtype = generic
end physicaldata
end xyrect
xyrect 3
    element_type = 1
    color = 2
    x = x
    y = 0.01 rel element 2
    width = w
    height = 0.11
    physicaldata
        elem_matfile = AlGaAs.mat
        reg_conc_i = 0.83
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 4
    element_type = 1
    color = 10
    x = x
    y = 0.11 rel element 3
    width = w
    height = 0.1
    physicaldata
        dope_dendop = 5e+018
        elem_matfile = AlGaAs.mat
        reg_conc_i = 0.79
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 5
    element_type = 2
    x = x
    y = 0.1 rel element 4
    width = w
    height = 0.085
    physicaldata
        elem_conc_iy = 0.48
        elem_matfile = AlGaInAs.mat
        elem_numwells = 5
        elem_well_thick = 0.005
        kpsys_carr_temp = glob_temp
        kpsys_latt_temp = glob_temp
        kpsys_nconc = run_gain_maxdens
        kpsys_pconc = run_gain_maxdens
        reg_conc_i = 0.47
        reg_filkp = auto
        reg_filmat = auto
```

```

                reg_material = auto
                reg_regtype = qw
            end physicaldata
        physicaldataB
            elem_conc_iy = 0.47
            elem_matfile = AlGaInAs.mat
            elem_sch_thick = 0.01
            reg_conc_i = 0.568085
            reg_filmat = auto
            reg_material = auto
            reg_regtype = sch
        end physicaldataB
    end xyrect
xyrect 6
    element_type = 1
    color = 10
    x = x
    y = 0.085 rel element 5
    width = w
    height = 0.1
    physicaldata
        dope_dendopa = 5e+018
        elem_matfile = AlGaAs.mat
        reg_conc_i = 0.79
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 7
    element_type = 1
    color = 2
    x = x
    y = 0.1 rel element 6
    width = w
    height = 0.11
    physicaldata
        elem_matfile = AlGaAs.mat
        reg_conc_i = 0.83
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 8
    element_type = 1
    color = 1
    x = x
    y = 0.11 rel element 7
    width = w
    height = 0.01
    physicaldata
        dope_dendopa = 5e+018
        elem_conc_iy = 0.48
        elem_matfile = AlGaInAs.mat
        reg_conc_i = 0.86
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 9
    element_type = 1
    x = x
    y = 0.01 rel element 8
    width = w
    height = 0.05
    physicaldata
        dope_dendopa = 5e+018
        elem_matfile = InP.mat
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic

```

```

        end physicaldata
    end xyrect
xyrect 10
    element_type = 1
    color = 13
    x = x
    y = 0.05 rel element 9
    width = w
    height = 0.025
    physicaldata
        elem_conc_iy = 0.374
        elem_matfile = GaInAsP.mat
        reg_conc_i = 0.829
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 11
    element_type = 1
    x = x
    y = 0.025 rel element 10
    width = wr
    height = 1.25
    physicaldata
        dope_dendopa = 5e+018
        elem_matfile = InP.mat
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 12
    element_type = 1
    color = 14
    x = x
    y = 1.25 rel element 11
    width = wr
    height = 0.25
    physicaldata
        dope_dendopa = 5e+018
        elem_conc_iy = 0.35
        elem_matfile = InGaAs.mat
        reg_conc_i = 0.65
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = generic
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 13
    element_type = 3
    x = 5 rel element 11
    y = 0.025 rel element 10
    width = wq
    height = 1.5
    physicaldata
        elem_matfile = Oxide.mat
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto
        reg_regtype = oxide
    end physicaldata
end xyrect
xyrect 14
    element_type = 3
    x = -5 rel element 11
    y = 0.025 rel element 10
    width = wq
    height = 1.5
    physicaldata
        elem_matfile = Oxide.mat
        reg_filmat = auto
        reg_material = auto

```

```

                reg_regtype = oxide
            end physicaldata
        end xyrect
    xyrect 15
        element_type = 4
        x = x
        y = 0
        width = w
        height = 0.1
        physicaldata
            elec_electrode = 1
            elec_temperature = glob_temp
        end physicaldata
    end xyrect
    xyrect 16
        element_type = 4
        x = x
        y = 0.25 rel element 12
        width = wr
        height = 0.1
        physicaldata
            elec_electrode = 0
            elec_temperature = glob_temp
        end physicaldata
    end xyrect

    bias 0
        bias_bias = voltage
        bias_biasvalue = 0
        bias_electrode = 0
        bias_incoming_pw = 0
        bt_active = 500
        bt_biasnumb = 0
        n_steps = 1
        sim_Tamb = glob_temp
        sim_lstead = 1
        sim_resbnd = run_residual
    end bias 0

    bias 1
        bias_bias = voltage
        bias_biasvalue = 1
        bias_electrode = 0
        bias_incoming_pw = 0

```

```

        bt_active = 502
        bt_biasnumb = 1
        n_steps = 4
        sim_Tamb = glob_temp
        sim_lstead = 1
        sim_resbnd = run_residual
    end bias 1
    bias 2
        bias_bias = voltage
        bias_biasvalue = 1.5
        bias_electrode = 0
        bias_incoming_pw = 0
        bt_active = 502
        bt_biasnumb = 2
        n_steps = 4
        sim_Tamb = glob_temp
        sim_lstead = 1
        sim_resbnd = run_residual
    end bias 2
    bias 3
        bias_bias = voltage
        bias_biasvalue = 1.8
        bias_electrode = 0
        bias_incoming_pw = 0
        bt_active = 502
        bt_biasnumb = 3
        n_steps = 4
        sim_Tamb = glob_temp
        sim_lstead = 1
        sim_resbnd = run_residual
    end bias 3
    bias 4
        bias_bias = voltage
        bias_biasvalue = 2
        bias_electrode = 0
        bias_incoming_pw = 0
        bt_active = 502
        bt_biasnumb = 4
        n_steps = 4
        sim_Tamb = glob_temp
        sim_lstead = 1
        sim_resbnd = run_residual
    end bias 4

```

EK 2:

tmp_QUANTUMWELLS.txt dosyası: programın Lazer Simülasyonu sonucu Kuyu bölgesi için ürettiği özel veri tablosu.

QWell: Al(0.226)Ga(0.254)In(0.520)As(1.000) / Barrier: Al(0.267)Ga(0.203)In(0.530)As(1.000)

Parameters:	<u>Barrier:</u>	<u>QWell:</u>
Temperature:	0.025851	
Electron Density:	3.5e+016	
Hole Density:	3.5e+016	
Lattice constant:	5.86982	
Widths:	150.000	50.000
edge at G6c:	1.08772	1.04439
edge at G8v:	-0.01535	0.00405
edge at G7v:	-0.35576	-0.34262
Bulk -- E(G6c)-E(G8v):	1.10307	1.04823
Bulk -- E(G8v)-E(G7v):	0.34041	0.34258
Bulk -- E(G7c)-E(G8v):	4.45155	4.44424
Bulk -- E(G8c)-E(G7c):	0.19973	0.19934
SO coupling (delm):	-0.10235	-0.09966
Matrix element P:	9.33567	9.41528
Matrix element P':	7.24818	7.38902

Matrix element Q:	0.00000	0.00000
Luttinger parameter 1:	0.21030	0.02231
Luttinger parameter 2:	-1.34906	-1.45605
Luttinger parameter 3:	-0.59979	-0.69891
Renorm const A at G6c:	-15.68955	-16.07699
Renorm const B:	-0.00000	0.00000
Static dielectric const:	13.09956	13.21453
hydrostatic strain:	-0.00000	-0.00534
uniaxial strain:	-0.00000	-0.00252

QW has 0.07 % tensile strain

EK 3:

tmp_MATERIALS.txt dosyası: programın Lazer Simülasyonu ile malzeme için bölge bölge (kuyu , bariyer, alttaş , v.b.) tüm karakteristik parametre değerleri , sabitleri içeren ana veri tablosundan bir bölüm.

MATERIAL PARAMETERS BY REGION FOR RUN 'tmp':

	Region 1 (bulk)	Region 2 (barr)	Region 2 (qw)	Region 2 (barr)	Region 3 (bulk)
Material:	AlGaAs.mat	GaAs.mat	InGaAs.mat	GaAs.mat	AlGaAs.mat
Alloy:	(X=0.3, Y=0)	(X=0, Y=0)	(X=0.2, Y=0)	(X=0, Y=0)	(X=0.3, Y=0)
regmat_SRH_taub	5e-007	5e-007	5e-007	5e-007	5e-007
regmat_SRH_tauap	5e-007	5e-007	5e-007	5e-007	5e-007
regmat_Et-Ev300	0.795	0.75	0.6354	0.75	0.795
regmat_sponrecoef	2e-016	2e-016	2e-016	2e-016	2e-016
regmat_Augp600	8.4e-043	1.2e-042	9.6e-043	1.2e-042	8.4e-043
regmat_Augn300	1.33e-043	1.9e-043	2.626e-043	1.9e-043	1.33e-043
regmat_krelaxener	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
regmat_hotqmax	5e+008	5e+008	5e+008	5e+008	5e+008
regmat_hnuloph	0.039527	0.035	0.034	0.035	0.039527
regmat_tauloph	1e-012	1e-012	1e-012	1e-012	1e-012
regmat_scaterer	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
regmat_elelcapttime	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013
regmat_elphcapttime	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013
regmat_hlhlcapttime	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014
regmat_hlphcapttime	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014
regmat_elelscttime	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013
regmat_elphscttime	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013	1e-013
regmat_hlhlsccttime	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014
regmat_hlphsccttime	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014	5e-014
regmat_lo_frac	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
regmat_delta_e	0.000505619	0.000505619	0.000505619	0.000505619	0.000505619
impact_CrSz_lambdan	4.35e-009	3.9e-009	4.38e-009	3.9e-009	4.35e-009
impact_CrSz_lambdap	4.35e-009	3.9e-009	4.38e-009	3.9e-009	4.35e-009

ÖZGEÇMİŞ

Sinan YAŞAR, 1973 Ankara doğumludur. 1996 yılında Selçuk Üniversitesi Fizik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 1999-2000 yılları arasında askerliğini yapmıştır. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 2006'da Yüksek Lisansını "A~90 Civarındaki Bazı İzotoplarda Karma-Simetri Durumlarının İncelenmesi" konulu tezi ile tamamlamıştır. Doktorasını Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 2011 yılında "Çift Farklı Yapı Seçiminin Kuantum İletkenlerinde Uygulanması İle Kuantum Kuyu Lazerlerin İncelenmesi" konulu tezi ile tamamlamıştır. 2007- 2010 yılları arasında Kırıkkale Üniversitesi Fizik Bölümünde "Bazı Deforme Çekirdeklerin Elektromanyetik Geçişlerinin Kutupsal Karışım Oranlarının Ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi" adlı 107T557 Nolu TÜBİTAK Projesinde Bursiyer olarak görev almıştır. Halen Fizik Öğretmeni olarak çalışmaktadır. Konuları ile ilgili 2 adet makale ve 3 adet bildirisi vardır.