

AlxGa1-xAs/GaAs Tabakalı Yarıiletken Yapıların Büyütülmesi ve Büyütülen Yapıların Yüksek Çözünürlüklü X-ışını Kırınımı (HR-XRD) Sistemi Kullanılarak Yapısal Analizleri

Growth of AlxGa1-xAs/GaAs Layered Semiconductor Structures and Structural Analysis of the Grown Structures Using High Resolution X-ray Diffraction (HR-XRD) System

Sabit KORCAK¹, Süleyman ÖZÇELİK²

1) Department of basic sciences, Faculty of Engineering, Artvin Çoruh University, Artvin, Türkiye

ORCID: 0000-0003-1140-6391, skorcak@artvin.edu.tr

2) Department of Photonics, Faculty of Applied Sciences, Gazi University, Ankara, Türkiye

ORCID: 0000-0002-3761-3711, sozcelik@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi: 20 Ara 2024 - **Kabul Tarihi:** 28 Nis 2025

DOI: 10.55205/joctensa.3120241592259

ATIF: Korcak, S., Özçelik, S., (2025). AlxGa1-xAs/GaAs Tabakalı Yarıiletken Yapıların Büyütülmesi ve Büyütülen Yapıların Yüksek Çözünürlüklü X-ışını Kırınımı (HR-XRD) Sistemi Kullanılarak Yapısal Analizleri. Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3 (1), 10-20.

Öz

Bu çalışmada elektronik ve optoelektronik cihazların üretilmesinde kullanılan AlxGa1-xAs/GaAs tek kuantum kuyulu (QW) süper örgüsü ve AlxGa1-xAs/GaAs çoklu kuantum kuyuları (MQWs) kristal yapılarının büyütülmesine karar verildi. Büyütme başlamadan Moleküler Demet Epitaksi (MBE) deki yükleme, hazırlık ve büyütme odaları vakuma alındı. Büyütme işlemi başlamadan önce AlxGa1-xAs/GaAs tek kuantum kuyulu (QW) süper örgüsü ve AlxGa1-xAs/GaAs çoklu kuantum kuyuları (MQWs) kristal yapılarının büyütülmesinde sırasıyla 625µm kalınlığında p-tipi GaAs ve 625µm kalınlığında p-tipi GaAs (Zn) alttaş kullanıldı. Alttaş üzerindeki herhangi bir kristal kusurlar veya safsızlıklar üzerine büyütülecek epitaksiyel tabakaların kalitesini ciddi olarak etkileyeceğinden, alttaş üzerindeki oksit tabakası büyüme öncesi arsenik basıncı altında büyüme odasında ısıl yöntemle kaldırıldı. Moleküler Demet Epitaksi V80H MBE sistemi ile AlxGa1-xAs/GaAs tek kuantum kuyulu (QW) süper örgüsü ve AlxGa1-xAs/GaAs çoklu kuantum kuyuları (MQWs) büyütüldü. Büyütülen AlxGa1-xAs/GaAs yarıiletkenlerinin kristal yapı analizleri incelendi. Yapıların kristal yapı analizleri Yüksek Çözünürlüklü X-ışını Kırınımı (HR-XRD) sistemi kullanılarak yapılarının özellikleri X-ışını kırınımı tekniği ile incelendi ve LEPTOS simülasyon programı ile analiz edildi. Bizim analizler için kullandığımız X-ışınları Cihazı (Bruker – AXS D8 Discover) Kurulumu: 4- kristalli Ge0022 simetrik monochromator (Si 002 için azami FWHM genişliği 0.00350), KFLCu2K X-ışını kaynağı, NaI dedektör, 1mm dedektör slit olarak sıralanabilir.

Anahtar Kelimeler: Moleküler Demet Epitaksi, Yarıiletken Büyütme, AlGaAs/GaAs, GaAs, X-ışını Kırınımı, Kristal Kusurlar

*Sorumlu Yazar: skorcak@artvin.edu.tr

ABSTRACT

In this study, it was decided to grow $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ single quantum well (QW) superlattice and $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ multiple quantum wells (MQWs) crystal structures used in the production of electronic and optoelectronic devices. Before the growth process started, the loading, preparation and growth chambers in Molecular Beam Epitaxy (MBE) were placed in vacuum. Before the growth process started, 625 μm thick p-type GaAs and 625 μm thick p-type GaAs (Zn) substrates were used in the growth of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ single quantum well (QW) superlattice and $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ multiple quantum wells (MQWs) crystal structures, respectively. Since any crystal defects or impurities on the substrate will seriously affect the quality of the epitaxial layers to be grown on it, the oxide layer on the substrate was removed by thermal method in the growth chamber before growth under arsenic pressure. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ single quantum well (QW) superlattice and $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ multiple quantum wells (MQWs) were grown by Molecular Beam Epitaxy V80H MBE system. Crystal structure analyzes of the grown $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ semiconductors were investigated. Crystal structure analyzes of the structures were investigated by using High Resolution X-ray Diffraction (HR-XRD) system, structural properties of the structures were investigated by X-ray diffraction technique and analyzed by LEPTOS simulation program. The X-Ray Device (Bruker – AXS D8 Discover) Setup that we used for our analyses: 4-crystal Ge0022 symmetric monochromator (maximum FWHM width for Si 002 is 0.00350), KFLCu2K X-ray source, NaI detector, 1 mm detector slit.

Keywords: Molecular Beam Epitaxy, Semiconductor Growth, $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$, GaAs, X-Ray Diffraction, Crystal Defects

GİRİŞ

Doğada doğal olarak bulunan yarıiletkenler Si ve Ge'dur. Bunlar mikrochip üretiminde kullanılan temel yarıiletkenlerdir. Bunlara ek olarak indium-fosfat (InP), galyum-nitrat (GaN), alüminyum-nitrat (AlN), indium-nitrit (InN), galyum-fosfat (GaP), alüminyum-arsenik (AlAs), indiyum-arsenik (InAs), indiyum-antimon (InSb) ve galyum-arsenik (GaAs) gibi ikili, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, $\text{GaIn}_{1-x}\text{P}$, $\text{AlIn}_{1-x}\text{As}$, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{InAs}_x\text{Sb}_{1-x}$ ve $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ gibi üçlü ve InGaAlAs gibi dördü alaşımlar da elektronik ve optoelektronik cihazların üretilmesinde temel elemanlardır. Ayrıca grup-III-nitrür bileşimleri son yıllarda teknolojik uygulamaları ile önemini arttıran yarıiletken malzemelerdir. Fakat bu yarıiletkenleri doğada saf olarak bulmak mümkün değildir. Bunlar yapay olarak belirli ve yüksek teknoloji gerektiren sistemlerle (yapay büyütme teknikleriyle) üretilebilmektedir.

Günümüzde epitaksiyel olarak tabaka-tabaka büyütülmüş yarıiletken ince filmler, mikroelettronik teknolojisinde, üniversite ve diğer araştırma birimlerinde teknolojik uygulamalara sahiptirler. Bu tür yarıiletken kristalleri yüksek kalitede büyütme, üretme ve geliştirmek Moleküler Demetle Kristal Büyütme (MBE) sistemi ile mümkündür. MBE tekniği, düşük büyütme hızına sahip olmasına rağmen, ultra yüksek vakumda ve kontrollü kristal

büyütülmesine imkan sağlaması açısından tercih edilen teknikler arasında ilk sırada yer alır. Ayrıca büyütme sırasında herhangi bir kimyasal reaksiyon olmadığı için kullanılabilir ve kontrol edilebilirliği açısından da en basit ve en teknolojik tekniktir [1]. Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde Yarıiletken Malzeme ve Teknolojileri Araştırma Biriminde, ülkemizde ilk olarak MBE sistemi, DPT-2001K120590 nolu proje kapsamında kurulmuştur [2].

MBE tekniği ile elde edilen yarıiletken malzemeler bundan önce mümkün olmayan yarıiletken (örneğin mavi ışık veren diyotlar - GaN, InGaN, AlGaN, SiC gibi) [3-6] ve bunlarla ilgili kuantum çukurları ve noktaları üretilmeye başlanmıştır [7-8]. Bu örnekleri çoğaltmak mümkündür. Örneğin, mikrodalga bölgesinde ve dijital devrelerde kullanılan SiGe, heteroyapılı çift kutuplu transistörlerin üretiminde kullanılan SiGe [9], optik yayıcılar, optik dalga kılavuzları ve dedektörler gibi optik iletişim sistemlerinde kullanılan InGaAlAs [10-11], güneş pilleri ve LED (light-emitting diyode) sistemlerinde kullanılan GaAs ve Al_xGa_{1-x}As [12] verilebilir. Günümüz Lazer teknolojisinin malzemeleri olan yarıiletken kuantum noktaları en iyi MBE tekniği ile üretilmektedir [13].

MBE tekniği ile elde edilen yarıiletken malzemelerin kullanıldığı yerler: bilgisayar, uzay araçları, TV'ler, radyolar, seyir sistemleri, telefonlar, aletlerde, araba ve diğer araçlarda, hava araçlarında, gemilerde, trenlerde, çamaşır makinelerinde, mikrodalga fırınlarında, görüntü oynatıcı aletlerde vb gibi [14]. Bu teknikle elde edilen Kızılötesi-infrared (KÖ) dedektörler; yangında, gaz analizlerinde, sağlık alanında (hızlı ve doğru sıcaklık ölçümü, vucut sıvısı analizi ve çeşitli hastalıkların teşhisi), askeri alanda (hedef belirleme-izleme, tank ve uçak gibi sıcak hedeflerin belirlenmesi) ve gece görüş sistemlerinde yararlı olarak kullanılmaktadır. Aynı teknikle elde edilen Lazer diyotlar ise tıpta (terapi, ameliyat, onkoloji, göz bilimi), malzeme üretiminde, baskıda, serbest uzayda yerel iletişim sistemlerinde, sensör ve alarm sistemlerinde, otomasyon ve robot biliminde, spektroskoplarda, araştırmalarda kullanılmaktadır [15].

MATERYAL VE YÖNTEM

Al_xGa_{1-x}As (x=0,2) Süperörgüsünün Büyütülmesi

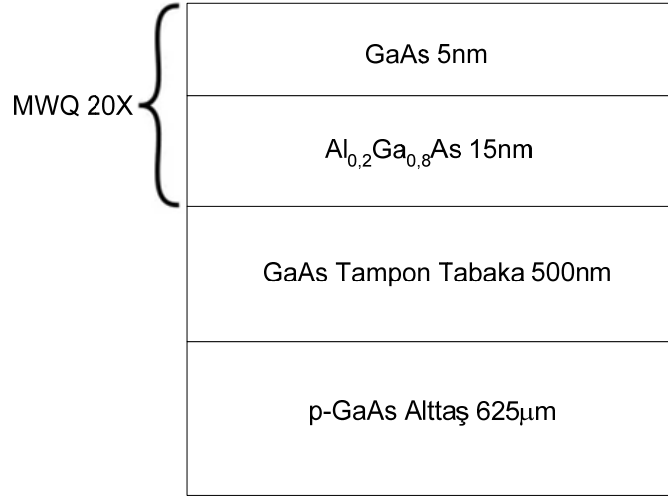
MBE de büyütülecek yapının Al oranı 0,2 olacak şekilde ayarlandı. Büyütülen yapının şematik gösterimi Şekil 1'de verildi.

Al_xGa_{1-x}As/GaAs yapısı, 625µm kalınlıklı p-tipi GaAs alttaş üzerine 500 nm tampon tabaka onun da üzerine 15 nm AlGaAs ve 5 nm GaAs'ten oluşan çoklu yapı olarak tasarlanmıştır.

GaAs yüzeyini açığa çıkarmak için önce alttaşın oksit temizliği yapılır. Alttaş olarak üretilmiş ince tabakaların kalitesine bağlı olarak, bu yüzey büyütme işlemi için istenildiği kadar pürüzsüz olmayabilir veya yüzeyinde çeşitli istenmeyen kusurlar bulunabilir. Epitaksiyel tabakaları pürüzsüz büyütebilmek için alttaş üzerine bir tampon tabaka büyütüldü.

Büyütülen p-tipi GaAs tampon tabaka 585°C alttaş sıcaklığında büyüme oranı GR(GaAs)2,78Å/s şeklinde ayarlandı. Bu değere karşılık gelen demete özdeş (BEP) Ga basıncı (akısı) 7,3x10⁻⁷ mbar ve As₂ akısı 1,0x10⁻⁵ mbar olacak şekilde ayarlandı. Büyümenin homojen

bir biçimde olabilmesi için numune eksen üzerinde dönmeye ayarlandı. Tampon tabaka büyütülmesinin başlatılması için Ga kesiciler açık konuma getirildi. Numune MBE'nin içine yerleştirildikten sonra Arsenik vanası örnek numune büyütülmesi sona erene kadar açık tutuldu.



Şekil 1. Al_xGa_{1-x}As/GaAs süperörgü yapısı

Al_xGa_{1-x}As/GaAs (x=0,2-0,6) tek kuantum kuyu (QW) büyütülmesi

Tek kuantum kuyulu (QW) Al_xGa_{1-x}As/GaAs yapısında bariyerin Al yüzde değeri 20 ile 60 arasında düzgün olarak değişecek şekilde tasarlandı. Büyütülen yapının şematik gösterimi Şekil 2'de verildi.

Bu yapı p-tipi GaAs alttaş üzerine 0,5 µm tampon tabaka onun da üzerine 1 µm p-Al_{0,6}Ga_{0,4}As, 0,15µm Al_xGa_{1-x}As (x=60-20), 50 Å GaAs katkılanmış QW, 0,15µm Al_xGa_{1-x}As (x=20-60), 1µm n-Al_{0,6}Ga_{0,4}As ve 0,25 µm n-GaAs'ten oluşan yapı tasarlanmıştır. Büyütme süreci yukarıdaki kısımda anlatılan büyütme metodolojisi ile aynıdır.

Yine ilk olarak alttaş üzerindeki oksit tabakası kaldırılmıştır. Tampon tabaka büyütülmesinde bu numune süperörgü numunesinden farklı olarak Berilyum (Be) katkı malzemesi kullanılmıştır.

Şekil 2'de verilen QW yapısının büyütülme sıcaklığı 660°C olarak tasarlandı. Bunu takiben alttaş üzerine ilk olarak 5000Å kalınlığında p-tipi (Be katkılı) GaAs tampon tabakası 2,78Å/s'lik Ga büyüme oranıyla büyütüldü. Sonra 1µm kalınlığında p-tipi Al_{0,6}Ga_{0,4}As ($n_{Be}=1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) tabakası büyütüldü. Bu işlem sırasında büyütme oranları sırasıyla Al için 1Å/s ve Ga için 0,67Å/s'dir. Bunu takiben 0,15µm kalınlığında Al_xGa_{1-x}As (x=60%-20%) tabakası büyütüldü. Bu büyütülen tabaka boyunca Al oranı %20'den %60'a kadar düzenli artacak şekilde Al hücre sıcaklığı otomatik olarak arttırıldı. Burada büyüme oranları sırasıyla AlAs için 0,447Å/s ve GaAs için 0,67Å/s'dir. Daha sonra 50Å kalınlığında katkısız GaAs kuyu tabakası 0,67 Å/s'lik büyüme oranıyla büyütüldü. Bunu takiben 0,15µm kalınlığında Al_xGa_{1-x}As (x=20%→60%) tabakası

büyütüldü. Bu büyütülen tabaka boyunca Al oranı %20'den %60'a kadar lineer olarak azalacak şekilde Al hücre sıcaklığı otomatik olarak azaltıldı. Burada büyüme oranları sırasıyla AlAs için $0,447\text{\AA}/\text{s}$ ve GaAs için $0,67\text{\AA}/\text{s}$ 'dir. Bunu takiben ise $1\mu\text{m}$ kalınlığında n-tipi $\text{Al}_{0,6}\text{Ga}_{0,4}\text{As}$ ($n_{\text{Si}}=5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$) tabakası büyütüldü. Daha sonra $0,25\mu\text{m}$ kalınlığındaki n-tipi GaAs ($n_{\text{Si}}=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$) üst tabakası $2,78\text{\AA}/\text{s}$ 'lik büyüme oranıyla büyütüldü. Son olarak alttaş sıcaklığı $0,1^\circ\text{C}/\text{s}$ 'lik adımlarla 250°C 'ye düşürüldü ve As_2 akısı vanası kapatılarak büyütme işlemi tamamlandı.

Büyüme işlemi tamamlandıktan sonra numune sıcaklığı 250°C 'nin altına düştüğünde, numune büyütme odasından taşıyıcı yardımıyla çıkartılarak yükleme odasından dışarıya alındı.

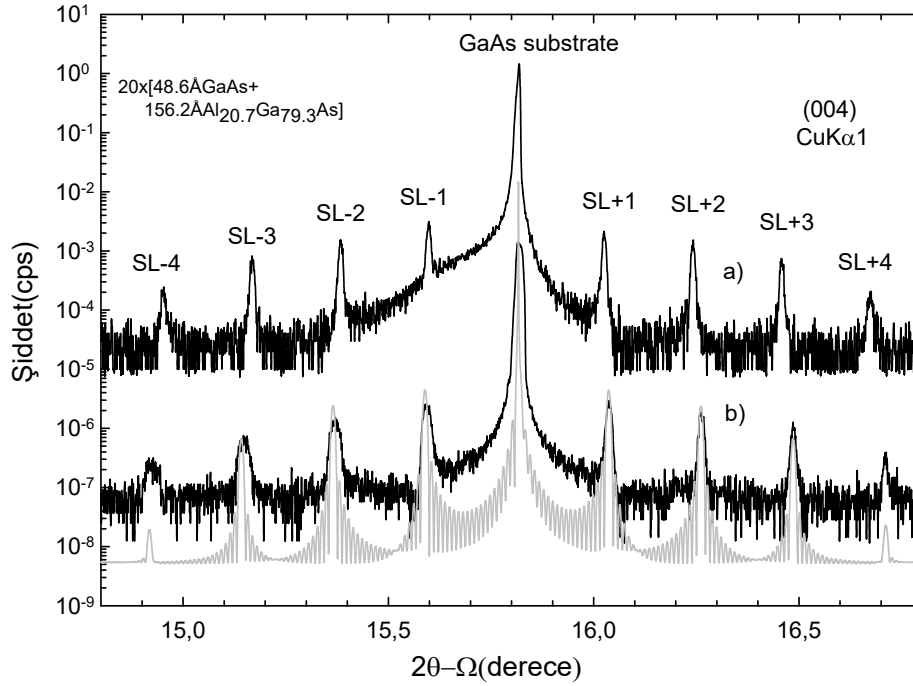
n-GaAs $0,25\mu\text{m}$
n- $\text{Al}_{0,6}\text{Ga}_{0,4}\text{As}$ $1,0\mu\text{m}$
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=20-60$) $0,15\mu\text{m}$
GaAs $50\text{\AA}$ katkılanmamış QW
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=60-20$) $0,15\mu\text{m}$
p- $\text{Al}_{0,6}\text{Ga}_{0,4}\text{As}$ $1,0\mu\text{m}$
GaAs $0,5\mu\text{m}$ (Be) p-tipi Tampon Tabaka
p-GaAs (Zn) Alttaş $625\mu\text{m}$

Şekil 2. Kuantum kuyulu $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ yapısı

Herhangi bir yöntemle üretilen bir kristalde yapılacak ilk şey, bu kristalin birim hücrenin simetrisini ve boyutunu tanımlamaktır. Birim hücrenin şekli, simetrisi ve boyutu X-ışını Kırınımı yöntemi ile otomatik olarak belirlenir. Ayrıca, numune mükemmel (kusursuz) bir kristal veya katmanlı bir ise x-ışını demeti açının sadece birkaç katı kadar saçılacaktır. Burada elde edilen veriler kullanılarak, numunenin kimyasal bileşenleri, kristal tabakanın kalınlığı, örgü kusurları ve örgü uyumsuzlukları gibi özellikler de otomatik olarak belirlenebilir [16].

BULGULAR VE TARTIŞMA

Öncelikle ilk olarak, AlGaAs QW yapısının büyütülmesinde kalibrasyon amacıyla üretilen $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ süperörgüsünün, büyüme oranını belirlemek için malzeme oranlarının XRD piklerinin simülasyonu ve değerlendirilmesi yapılarak kalınlık ve Al yüzdesi belirlendi. Bu yapının ω - 2θ taraması, simülasyon eğrisi ile birlikte Şekil 3'de verilmektedir. Burada $15,8^\circ$ 'de gözlenen en yüksek pik GaAs (004)'den gelmektedir.



Şekil 3. $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}/\text{GaAs}$ MQW süperörgü yapısının ω - 2θ taraması. Noktalı eğriler deneysel eğriye fit edilerek bulunan eğriyi gösterir

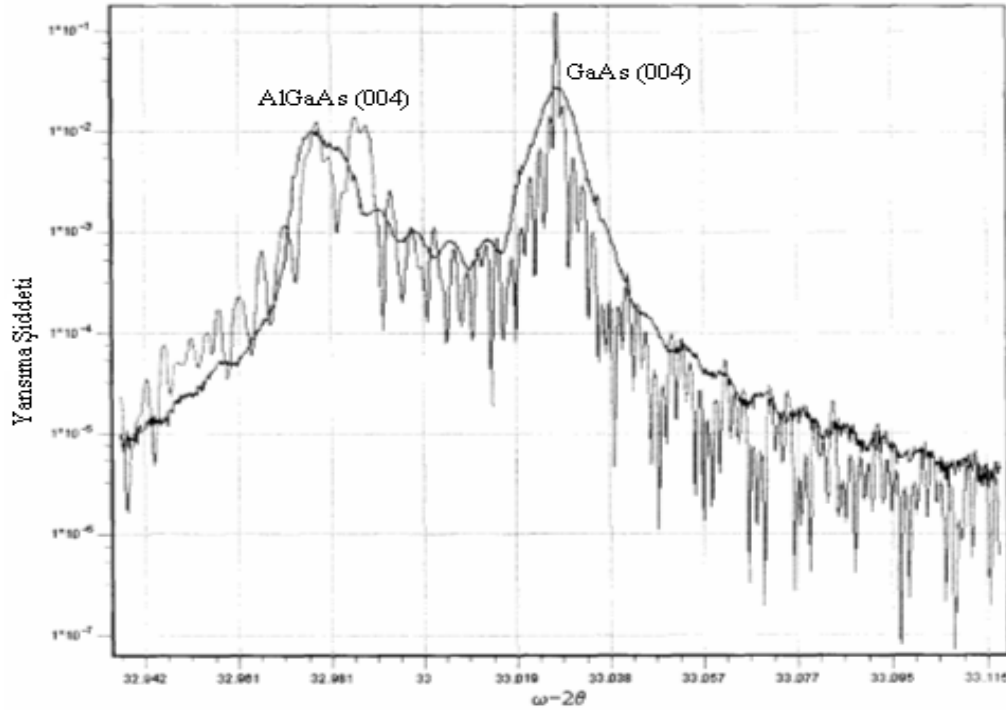
Testlerin sayısal değerlerini içeren Tablo 1, istenilen hedef kalınlık ve konsantrasyon değerlerine ulaşıldığını göstermektedir.

Tablo 1. Süperörgü yapısının XRR ve HXRD'dan elde edilen sonuçları

Tabaka	ρ_{sim}	$\rho_{\text{theo.}}$	$t(\text{nm})$		$\sigma(\text{nm})$	X
	$\pm 0,03\text{g}/\text{cm}^2$	g/cm^2	$\pm 1\%$		$\pm 0,1$	
	XRR	-	XRR	HXRD	XRR	HXRD
GaAs	5,6338	5,3176	4,8578	4,856	1,2261	-
$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	5,4846	4,9889	15,622	15,621	1,9964	20,7
GaAs	5,2527	5,3176	544,83	544,829	4,1530	-
Tampon						
GaAs Altaş	-	-	-	-	-	-

$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ MQW yapısının analizinde elde edilen verileri kullanılarak büyütülen $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ ($x=0,2 \rightarrow 0,6$) tek kuantum kuyulu yapının XRD ω - 2θ taraması Şekil 4'de verilmektedir. Burada AlGaAs ve GaAs pikleri sırasıyla $32,980^\circ$ ve $33,029^\circ$ 'de görülmektedir. Tablo 2 ise bize istenilen kalınlık ve konsantrasyon hedeflerine ulaşıldığını göstermektedir. Bu kalibrasyon

numunesi kullanılarak elde edilen verilerin tekrarlanabilir büyütme sağlandığını göstermesi açısından önemlidir. Ancak, büyütülen yapının ω -2 θ pik pozisyonları ve yarıgenişlikleri gözönüne alındığında, kristal kalitesinin çok iyi olmadığı görüldü.



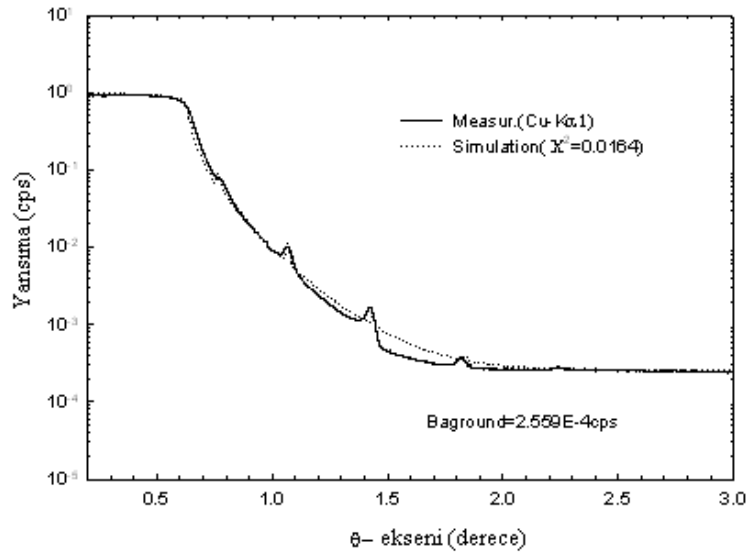
Şekil 4. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ QW LED yapısının ω -2 θ taraması. Noktalı eğriler deneysel eğriye fit edilerek bulunan eğriyi gösterir [17]

Tablo 2. QW LED yapısının XRR ve HXRD'dan elde edilen sonuçları [17]

Materyal	Kalınlık (nm)	Konsantrasyon X,%	Yoğunluk (g/cm^2)
GaAs	522,0148	0,00	5,31763
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	1099,9540	39,06	4,36480
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	111,9915	15,46	5,00002
GaAs	5,5965	0,00	5,31763
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	148,2542	60,29	4,36480
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	1006,2920	46,69	5,00002
GaAs	579,6157	0,00	5,31763
GaAs	0,0000	0,00	5,31763

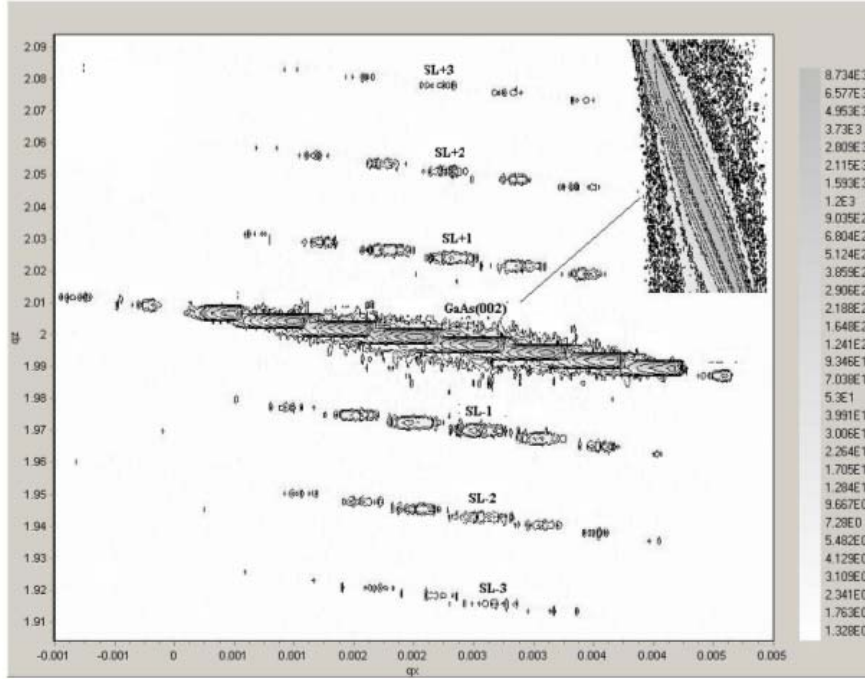
Tüm yapıların, değişkenliklerini (kalınlık, konsantrasyon, yoğunluk, strain,...) elde edebilmek için yüksek çözünürlüklü monokromotörlerin kullanılması gereklidir. Biz ölçümlerimizde bu özelliklerde bir monokromatör kullandık.

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ MQW yapısının x-ışını yansıma grafiği Şekil 5’de verilmektedir. Prensip olarak katmanların kalınlıkları ve kimyasal bileşimlerinin yanı sıra ara yüzeylerin pürüzlülüğü de ölçümlerden gözlemlenebilir. Şekilde 0° - $0,7^\circ$ aralığında plato bölgesi güçlü bir şekilde düzgündür (pürüzsüzdür). Bu durum numune yüzeyinin homojen (üniform) olduğunu gösterir. Yansıma eğrileri üssel davranış sergilemektedir ve SL+4 sıralı uydu tepe noktaları (pikleri) Şekil 5’de görülmektedir. Yansıma eğrilerinde uydu tepe noktaları çok net bir şekilde gözlemlendi. Uydu pik yüksekliği, ara yüzey pürüzlülüğüne ve katmanlar arasındaki yoğunluk farkına bağlıdır. Ayrıca periyotlar katmanının kalınlığına da bağlıdır. Alt faktörlerin (etkenlerin) uydu piklerine katkısı önemlidir. Diğer yandan uydu piklerinin periyodik oluşumu da numunenin yönelimine bağlıdır.



Şekil 5. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ MQW LED yapısının yansıma grafiği [18]

Şekil 6’da $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ MQW yapısında ölçülen alttaşın (002) yöneliminde ters uzay haritası görülmektedir. Şekil 6’daki uydu pikleri ve GaAs (tampon) pikleri, XRR ve hemde HRXRD sonuçlarından elde edilen grafikleri doğrulamaktadır.



Şekil 6. Altaşın (002) yöneliminde $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ MQW ölçülen ters uzay haritası

SONUÇ

MBE’de büyütülen $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ süper örgüsüne ait XRD’de elde ettiğimiz verilerinin değerlendirilmesi sonucunda şu sonuçlara ulaştık; büyütülen yapının kristal kalitesinin iyi olduğu, kabul edilebilir bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu, büyüme hedeflerinin tabaka kalınlıkları ve Al yüzdesi analizi ile büyüme hedeflerinin tutarlı gerçekleştiği tespit edildi. Bununla birlikte tek kuantum kuyulu $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=20 \rightarrow 60$) numunesinin tek kristal büyümesinde problem olmamasına rağmen cihaz geliştirmede kullanılabilecek kristal kalitesinin yakalanamadığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesi Yarıiletken Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarında çalışan Prof.Dr.Mustafa Kemal ÖZTÜRK ve Devlet Planlama Teşkilatı’na 2001 K 120590 nolu projeye desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Cho A., “Film Deposition by Molecular Beam Technique”, *J. Vac. Sci. Tech.*, 8:31 (1971).

Korçak S., “ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ve $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ Tabakalı Yarıiletken Yapıların Optik ve Yapısal Özelliklerinin Tayini”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Şubat 2007.

- Foxon C. T., Cheng T. S., Novikov S. V. Et al., "The growth and properties of group III nitrides", *Journal of Crystal Growth*, 150:892 (1995).
- Morkoç H., Strite S., Gao G. B., Lin M. E., Sverdlov B., Burns M., "Large band-gap SiC, III-V nitride and II-VI ZnSe based semiconductor device technologies", *Journal of Applied Physics*, 76 (3):1363-1398 (1994).
- Nakamura S., Mukai T., Senoh M., "Candela-class high-brightness InGaN/AlGaN double-hetero structure blue-light-emitting diodes", *Applied Physics Lett.*, 64:1687 (1994).
- Akasaki I., Detchprohm T. And Hiramatsu K., "Observation of resonant Raman lines during the photoluminescence", *Applied Physics Lett.*, 68:1265 (1996).
- Strite S. And Morkoç H., "GaN, AlN and InN: A review" *J. Vac. Sci. Technol. B*, 10 (4):1237-1266 (1992).
- Bantien F. And Weber J., "Manganese luminescence in AlGaAs-alloys and AlGaAs/GaAs quantum wells", *Solid state communications*, 61 (7):423-426 (1987).
- Schuppen A., Gruhle A., Kibbel H., Erben U. and Koing U., *Electron Lett.*, 30:1187 (1994).
- Fukatsu S., Yoshida H., Fujiwara A., Takahashi Y., Shiraki Y. And Ito R., "Spectral blue shift of photoluminescence in strained layer Si_{1-x}Ge_x/Si quantum well structure grown by gas source Si MBE", *Applied Physics Lett.*, 61:804 (1992).
- Boroff R., Merlin R., Chin H. And Bhattacharya P. K., "Raman scattering by optical phonons in In_{1-y}Al_yGa_{1-x}As lattice matched to InP" *Applied Physics Lett.*, 53 (17):1652 (1988).
- Siegle H., Eckey L., Hoffmann A., Thomsen C., Meyer B. K., Schikora D., Hankeln M. And Lischka K., "Quantitative determination of hexagonal minority phase in cubic GaN using Raman spectroscopy", *Solid State Comm.*, 96:943-949 (1995).
- Rosa F. R., Antonio M. And Juan C. M., "Determination of the origin of the series resistance through electroluminescence measurements of GaAs and Al_xGa_{1-x}As solar cells and LEDs", *Solid-State Electronics*, 42 (4):567-571 (1998).
- Bloch J., Shah J., Hobson W. S., Lopata J. and Chu S. N. G., "Optical properties of multiple layers of self-organized InAs quantum dots emitting at 1,3µm", *Applied Physics Lett.*, 75:2199 (1999).
- Huffaker D. L. and Deppe D. G., "Nonlinear optical and electro-optic properties of InAs/GaAs self-organized quantum dots", *Applied Physics Lett.*, 63:3202 (1993).
- Huang F., "X-ray Reflectivity Studies of Thin Film", *Center for Materials for Information Technology The University of Alabama*, 1-2 (2005)



Stephenson G. B., Eastman J. A., Thompson C., Auciello O., Thompson L. J., Munkholm A., Fini P., DenBaars S. P. And Speck J. S., "Observation of growth modes during metal-organic chemical vapor deposition of GaN" *Applied Physics Letters*, 74:3326-3328 (1999).

Korcak S., Gümüş H., Öztürk M. K., Altuntaş H., Kılıç A. İ., Bengi A., Mamadov T. S. And Özçelik S., "Al_xGa_{1-x}As/GaAs Kuantum Kuyu Yapısının Büyütülmesi ve X-ışınları Difraksiyonu Ölçümleri", *XI. Yoğun Madde Fiziği Toplantısı*, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2004).

Yazar Katkıları

Bu çalışmada, araştırma konusunun belirlenmesi, literatür taramasının yapılması, analizlerin gerçekleştirilmesi ve metnin yazımı 1. Yazar Sabit KORCAK tarafından gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemlerin seçimi, analizlerin uygulanması ve sonuçların yorumlanması aşaması, grafiklerin oluşturulması ve makalenin nihai düzenlemeleri de ortak yazarların ortak katkılarıyla oluşturulmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından çıkar çatışmasının olmadığı rapor edilmiştir.

Etik Bildirim

Çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir.