



InGaN/GaN LED Yapıların Mozaik Yapı Analizi

İlknur Kars Durukan^{1*}, Mustafa Kemal Öztürk^{1,2}, Süleyman Özçelik^{1,2}, Ekmel Özbay³

¹ Department of Physics, Faculty of Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey

² Photonics Research Center, Gazi University, Ankara, Turkey

³ Department of Physics, Bilkent University, Bilkent, Ankara, Turkey

(İlk Geliş Tarihi 31 Mayıs 2018 ve Kabul Tarihi 15 Kasım 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.429153)

Öz

Bu çalışmada, MOCVD yöntemi ile üretilen InGaN/GaN ışık yayan diyot (LED) yapılarının mozaik yapıları analiz edildi. Safir alttaş üzerine biriktirilen, farklı In kompozisyonuna sahip InGaN/GaN bariyer tabakasının mozaik yapı üzerine etkisi Yüksek Çözünürlü X Işını Kırınımı (HR-XRD) yöntemi ile karakterize edildi. Amacımız mozaik yapı hesaplarından yararlanarak LED yapısının kalitesini arttırmaktır. Günümüzde LED'lerin geniş bir kullanım alanına sahip olmasından dolayı sektörde büyük bir pazar payı bulunmaktadır. Özellikle InGaN gibi, GaN bazlı LED'ler arsenik bazlı LED'lerden daha yüksek güç, sıcaklık ve frekans aralıklarında çalışabilirler. Ancak GaN tabanlı LED'ler hala yüksek kusur yoğunluklarına sahiptir. Bu nedenle çalışmalarımızda mozaik yapı analizi yapıldı. Hesaplamalarımızda Vegard ve William Hall yarı deneysel metotları kullanıldı. Kompozisyonun, kenar ve vida türü kusurların azalmasına yol açan önemli bir faktör olduğunu söyleyebiliriz.

Anahtar kelimeler: LED yapılar, mozaik yapı analizi, XRD, MOCVD.

Mosaic Structure Analysis of InGaN / GaN LED Structures

Abstract

In this study, Mosaic structures of InGaN / GaN light emitting diode (LED) structures produced by MOCVD method were analyzed. The effect of the InGaN / GaN barrier layer deposited on the sapphire substrate on the mosaic structure characterized by high resolution X-ray diffraction (HR-XRD) method. Our aim is to increase the quality of the LED structure by taking advantage of the mosaic structure calculations. Today, LEDs have a large market in the industry for the reason that they have a wide use. In particular, GaN-based LEDs, such as InGaN, operate at higher power, temperature and frequency ranges than arsenic-based LEDs. But GaN-based LEDs still have high defect densities. For this reason, we performed mosaic structure analysis in our work. In our calculations, Vegard and William's Hall quasi-experimental methods were used. We can say that the composition is an important factor leading to the reduction of edge and screw type defects.

Key words: LED structures, mosaic structure analysis, XRD, MOCVD.

¹ Sorumlu Yazar: Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Teknikokullar/Ankara, ilknurdurukan@gazi.edu.tr

1. Giriş

Işık yayan diyotlar 1907 yılında icat edilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Ancak LED lerin ticari hale gelmesi 1960 lı yılların sonunu bulmuştur. İlk LED' ler çok küçük yoğunlukta ve düşük enerjili fotonlar yayabilen (kızılötesi ve kırmızı renkte ışık) diyotlardı. Bu diyotlar gösterge ışıklarında ikaz ve işaret verici olarak kullanılıyordu. Kırmızı LED'e ilave olarak sarı, son dönemlerde ise GaN gibi yarı iletken alaşım malzemeler kullanılarak mavi renkli ışık yayabilen LED'ler geliştirildi. Özellikle, Katkılı / katkısız Galyum Nitrat (GaN) geniş spektral aralıkta çalışma özelliğine sahip olmasının yanında yüksek elektrik iletkenliği nedeniyle III-V yarı iletkenlere kıyasla yaygın olarak kullanılmaktadır [1,2]. Heteroepitaksiyal büyütmelerde, GaN bazlı ışık yayan diyot (LED) katmanları esas olarak metal-organik kimyasal Buhar biriktirme tarafından sentezlenir [3,4]. Ancak, GaN ve farklı alttaşlar arasındaki termal genleşme katsayısı ve mismatch yüksek kaliteli filmlerin elde edilmesini engeller [5-7]. Dolayısıyla bu durum LED yapılarının verimliliğini ve dayanıklılığını etkiler. Büyüme sırasında, alttaş ve LED katmanları arasındaki tutarsızlık yüksek dislokasyon yoğunluklarına (10^7-10^{11} cm⁻²), yapıda zorlama, gerilme ve mozaik kusurlara sebebiyet vermektedir [8,9].

Bizim çalışmamızda, iki farklı LED çoklu kuantum kuyu yapısı c yönelimli safir (001) alttaş üzerine biriktirildi. Mozaik yapı parametreleri HR-XRD ile elde edildi ve farklı In oranı parametresinin yapıdaki kusur yoğunluğu üzerindeki etkileri tartışıldı.

2. Deneysel Şartlar

LED Çoklu kuantum kuyu (Multi Kuantum Well=MQW) yapılar c yönelimli safir (001) alttaş üzerine AlN/GaN çekirdek tabakası Metal Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD) yöntemi ile büyütüldü. Büyütme işlemi boyunca reaktör basıncı sabit tutuldu. MQW yapı büyütülmeden önce AlN/GaN tampon tabakası üretilmiş ve daha sonra n-tipi GaN-Si tabakası büyütülmüştür. Örnek 5-periyotlu In_xGa_{1-x}N tabakası içermektedir. Daha sonra GaN aktif tabakası büyütülmüştür. En üst tabaka Mg katkı p-tipi GaN biriktirilmiştir. Ayrıca, blok tipi tabaka için p-tipi AlN kullanılmıştır. Birinci (örnek A) ve ikinci (örnek B) örneklerin kalınlıkları 14.707 nm ve 13.386 nm dir. Örnek A ve B nin In oranları ise % 9.658 ve % 16.396 dir. Örneklerin yapısal özellikleri ve kusur analizi HR-XRD tekniği ile karakterize edildi.

p-blok tipi tabaka	GaN
InGaN/GaN bariyer tabakası	InGaN
	GaN
n ⁺ kontak	GaN
Tampon tabaka	AlN/GaN
Çekirdek	AlN/GaN
Alttaş	Safir

Şekil 1: LED yapılarının şematik görüntüsü

3. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 1 de Örnek A ve B nin GaN tabakalarının (002), (004), (006), (102) ve (121) düzlemlerinin teta ve FWHM (ortalama yarı genişlik) değerleri verilmektedir. (002), (004), (006) düzlemleri hegzagonal kristal yapının düzlemleridir [10]. Hegzagonal yapıların yapı kalitesi ve kusur özellikleri talodaki veriler aracılığıyla analiz edilebilir. In_xGa_{1-x}N tabakasının kalitesi, GaN tabakası aktif tabaka olduğu için, GaN tabakasına oldukça bağlıdır [11]. Tablo 1 incelendiğinde, A ve B örneği için (002) düzleminde FWHM değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu, diğer simetrik (004) ve (006) düzlemlerinde ise B örneğinin, A örneğine göre FWHM değerinin daha düşük olduğunu görmekteyiz. Bu durum bize yüksek In oranına sahip B örneğinin A örneğine göre yapı kalitesinin daha iyi olduğu sonucunu göstermektedir. Aynı tablodan asimmetrik düzlemleri olan (102) ve (121) düzlemleri incelendiğinde yine A örneğinin FWHM değeri B örneğinden yüksek olduğu görülmektedir. Asimmetrik düzlemler, simetrik düzlemlerle aynı davranışı gösterdiğinden aynı şekilde B örneğinin yapı kalitesinin A örneğinden daha iyi olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 1: A ve B örnekleri için GaN tabakalarının (002), (004), (006), (102) ve (121) düzlemlerinin teta ve FWHM değerleri

Örnek A			Örnek B		
(hkl)	θ	FWHM	(hkl)	θ	FWHM
(002)	17.497	0.063	(002)	17.328	0.057
(004)	36.677	0.101	(004)	36.466	0.062
(006)	63.152	0.238	(006)	62.955	0.078
(102)	24.037	0.311	(102)	24.049	0.105
(121)	48.833	0.466	(121)	48.818	0.136

Leszczynski ve ark. yaptığı çalışmada yüksek çözünürlüklü XRD kırınımı kullanılarak homoepitaksiyel GaN' ın strainsiz örgü parametreleri a: 3.187 Å şeklinde bulunmuştur [12]. Bizim çalışmamızda ise a parametresi A ve B örnekleri için sırasıyla 3.298 Å ve 3.189 Å olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada c: 5.185 Å olarak bulunmuştur [12]. Bizim çalışmamızdaki c parametresi ise yine A ve B örnekleri için 5.108 Å ve 5.179 Å olarak bulunmuştur.

LED yapıya ait a ve c zorlama değerleri, a ve c örgü parametreleri kullanılarak elde edilebilir. Zorlamanın sayısal değeri, zorlamanın türüne göre negatif veya pozitif olabilmektedir. Eğer değer pozitif ise zorlama germe şeklinde, negatif ise sıkıştırma şeklindedir [13]. Yapının a-yönündeki zorlama değerleri A örneği için 3.43×10^{-2} Å ve B örneği için 4.41×10^{-5} Å dır. A örneğinin a-yönündeki zorlama değeri, B örneğinden daha yüksek olduğu ve ayrıca zorlama türünün germe şeklinde olduğu görülmektedir. LED örneklerindeki c yönündeki zorlama değerleri A ve B örnekleri için 14.7×10^{-3} Å ve 1.07×10^{-3} Å değerlerinde olup, zorlamanın türü sıkıştırma şeklindedir.

Biaksial (çift eksenli) zorlama ve hidrostatik (hacimsel) zorlama değerleri, zorlama ve yarıdeneysel denklemler ($\epsilon_c = \epsilon_c^b + \epsilon_h$ ve $\epsilon_a = \epsilon_a^b + \epsilon_h$) kullanılarak hesaplandı.

Nokta türü kusurlar, hidrostatik zorlamaya sebep olur. GaN yapısındaki hidrostatik zorlama N_{Ga},Ga_N yerdeğişim tipi

nokta kusurlar, N_i ve Ga_i ara yer tipi nokta kusurlar ve V_N ve V_{Ga} boşluk tipi kusurlardan oluşur. Ga atomunun kovalent yarıçapı N atomundan oldukça geniştir. Bu nedenle yapıda Ga_N , Ga_i ve N_i tipi kusur varsa yapıda örgü genişlemesi olur, N_{Ga} , V_{Ga} ve V_N tipi kusur varsa yapıda örgü daralması oluşur. B örneğinin hidrostatik zorlama değeri (-0.68×10^{-3}) , A örneğinden (2.29×10^{-3}) daha küçüktür. Hidrostatik zorlama değerinin mutlak değeri önemlidir. Negatif işaret olması yapı üzerinde sıkıştırma etkisi olduğunu ve ayrıca N_{Ga} , V_{Ga} ve V_N tipi kusurların olduğunu göstermektedir [14].

Biaksial zorlama, hidrostatik zorlamadan farklıdır. Örgü parametreleri düzlemde eşit şekilde genişler. Heteroepitaksiyel filmlerdeki stres biaksiyeldir [15-19]. GaN/Al_2O_3 heteroyapılarındaki aratabakalar ve alttaş örgü parametrelerinin arasındaki örgü uyumsuzluğu tarafından oluşturulan gerilme biaksialdır. c ve a yönündeki biaksial zorlama ϵ_c^b şeklinde verilir. Hidrostatik zorlama ise ϵ_h ,

$$\epsilon_h = \frac{1-\nu}{1+\nu} \left(\epsilon_c + \frac{2\nu}{1-\nu} \epsilon_a \right) \quad [1]$$

$$\nu = \frac{c_{13}}{c_{13}+c_{33}} \quad [2]$$

ν poisson oranıdır, c_{13} ve c_{33} GaN'nin elastik sabitleridir. Brillion saçılması ölçümleri ile elde edilen c_{13} ve c_{33} elastik sabitlerinin değerleri Wright tarafından hesaplanmıştır [20]. GaN için bu değerler $c_{13} = 106 \text{ GPa}$ ve $c_{33} = 398 \text{ GPa}$ dir. a-yönündeki biaksiyel zorlama değerleri A örneği için 3.20×10^{-2} ve B örneği için 7.24×10^{-4} olarak bulunmuştur. c-yönündeki biaksiyel zorlama değerleri ise A örneği için -1.70×10^{-2} ve B örneği için 3.9×10^{-4} olarak bulunmuştur. a-yönündeki biaksiyel zorlamanın türü gerilme iken c-yönündeki ise sıkışma şeklindedir. Biaksiyel zorlama, soğutma süreci boyunca farklı tip dislokasyonlar nedeniyle oluşur.

Gerçekte heteroepitaksiyel yapılarda baskın olan stress biaksiyeldir. Biaksiyel stresin temel nedeni ise aratabaka ve alttaş arasındaki örgü uyumsuzluğudur. GaN tabakasındaki biaksiyel stress

$$\sigma_f = M_f \epsilon_a^b \quad [3]$$

ifadesi ile verilir. Burada M_f biaksiyel elastik modülüdür. M_f ise

$$M_f = c_{11} + c_{12} + 2 \frac{c_{13}^2}{c_{33}} \quad [4]$$

ile verilir. c_{ij} değerleri kullanılarak [14] $M_f = 478.5 \text{ GPa}$ olarak bulunmuştur. LED örneklerinin düzlem içi biaksiyel zorlama değerleri A örneği için 15.33 iken B örneği için 0.34 olarak hesaplanmıştır. In oranı arttıkça düzlem içi biaksiyel zorlama değeri azalmıştır.

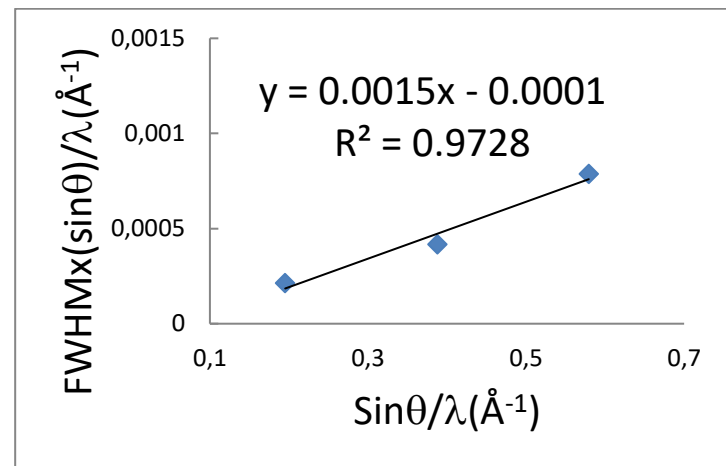
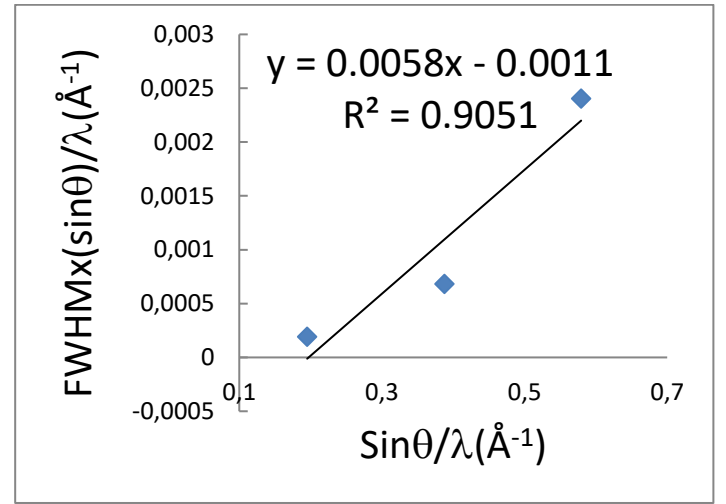
Epitaksiyel tabakaların kusur yoğunluğu mozaik model ile açıklanmıştır. Bu model ile dört parametre Tilt (eğim) ve twist (burkulma) açıları ve Yanal-dikey kristal uzunlukları tanımlanır. Tilt ve twist açıları, kristalografik yönelimin açılal

dağılımını belirler. Dikey ve yanal kristal uzunlukları, mozaik blok büyüklüğü hakkında bilgi verir [21].

Yatay mozaik uzunluğu ve eğim açısı (002), (004) ve (006) hegzagonal miller düzlemleri kullanılarak William-Hall yönteminin grafiği çizilerek bulundu (Şekil 2) [22,23]. Grafiğin eğiminden eğim açısı bulundu. A örneği için eğim açısı 0.0058 bulunurken, B örneği için 0.0015 olarak bulundu. Grafiğin y eksenini kestiği noktadan y_0 belirlenerek yatay mozaik uzunluğu

$$L_u = \frac{0.9}{2y_0} \quad [5]$$

denklemleri kullanılarak bulunur. A örneği için yatay mozaik uzunluğu 4.95×10^{-4} bulunurken, B örneği için 0.45×10^{-4} olarak bulundu. A örneğinin R^2 uyum değeri 0.9051 iken, B örneğinin R^2 uyum değeri 0.9728 olarak bulundu. Bu değerlerin makaledeki sonuçlarla uyumlu olduğu görüldü. Ayrıca; B örneğinin LED yapılar için daha uygun olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 2: LED yapıların William Hall grafikleri

A ve B örneklerinin vida ve kenar tipi kusur değerleri hesaplandı. Vida tipi kusur değerleri aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$K_{vida} = \frac{\text{eğim açısı}^2}{4.35|b|^2} \quad [6]$$

Denklemdaki b Burger vektör uzunluğudur ve değeri 0.519 dur. A ve B örneklerinin vida tipi kusur değerleri 8.75×10^5 ve 5.85×10^4 dir.

Kenar tipi kusur değerleri aşağıdaki denklem ile verildi. Denklemdaki b Burger vektör uzunluğudur ve değeri 0.039 dur. L_{II} ise yatay mozaik uzunluğudur.

$$K_{kenar} = \frac{\text{burkulma açısı}}{2.1|b|L_{II}} \quad [7]$$

A ve B örneklerinin kenar tipi kusur değerleri 2.99×10^9 ve 8.69×10^7 dir. Her iki tip kusur yoğunluğunda In oranı arttıkça kusur yoğunluğunun azaldığı görülmektedir.

4. Tartışma

LED Çoklu kuantum kuyu (Multi Kuantum Well=MQW) yapılar c yönelimli safir (001) alttaş üzerine AlN/GaN çekirdek tabakası Metal Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD) yöntemi ile büyütüldü. LED üretiminde sıklıkla kullanılan bu yapıların, In oranının artışı ile mozaik yapılarındaki etki incelendi. In oranının artışı ile zorlama etkisinin ve kenar-vida dislokasyon yoğunluğunun azaldığı sonuçlarına varıldı. In oranı % 16.396 olan B örneğinin LED yapılar için daha uygun olduğu görüldü.

Referanslar

- [1] Cho, H.K., Lee, J.Y., Yang, G.M., Kim, C.S., 2001. Appl. Phys. Lett. 79 (2), 215–217.
- [2] Colby, R., Liang, Z., Wildeson, I.H., Ewoldt, D.A., Sands, T.D., García, R.E., Stach, E.A., 2010. Nano, 10 (5), 1568–1573.
- [3] Chang, S.J., Lin, Y.C., Su, Y.K., Chang, C.S., Wen, T.C., Shei, S.C., Ke, J.C., Kuo, C.W., Chen, S.C., Liu, C.H., 2003. Solid-State Electron., 47 (9), 1539–1542.
- [4] S. Hu, S. Liu, Z. Zhang, H. Yan, Z. Gan, H. Fang, 2015. J. Cryst. Growth, 415, 72–77.
- [5]. Öztürk, M. K., Arslan, E., Kars, İ., Özçelik, S., Özbay, E., 2013. Mater. Sci. in Semi.Pro., 16, 83–88.
- [6] Arslan, E., Ozturk, M.K., Ozcelik, S., Özbay, E., 2009. Current Applied Physics, 9 (2), 472–477.
- [7] Huang, L., Liu, F., Zhu, J., Kamaladasa, R., Preble, E.A., Paskova, T., Evans, K., Porter, L., Picard, Y.N., Davis, R.F., 2012. J. Cryst. Growth, 347 (1), 88–94.
- [8] Hu, Y.-L., Krämer, S., Fini, P.T., Speck, J.S., 2012. Appl. Phys. Lett., 101 (11), 112102–112105.
- [9] Lobanova, A.V., Kolesnikova, A.L., Romanov, A.E., Karpov, S.Y., Rudinsky, M.E., Yakovlev, E.V., 2013. Appl. Phys. Lett., 103, 15.
- [10] Kars Durukan, İ., Öztürk, M.K., Çörekçi, S., Tamer, M., Baş, Y., Özçelik, S. and Özbay, E., 2017. J. Nanoelectron. Optoelectron. 12, 109-117.
- [11]. Kars Durukan, İ., Öztürk, M. K., Özçelik, S., and Özbay, E., 2017. Politeknik Dergisi, 20(3), 531-536.

[12] Leszczynski, M., Teisseyre, H., Suski, T., Grzegory, I., Bockowski, M., Jun, J., Pakula, K., Baranowski, J.M., Foxon, C.T. and Cheng, T.S., 1996. Applied Physics Letters, 69,73.

[13] Cho, S. I., Chang, K. and Kwon, M. S., 2007. Journal of Materials Science, 42, 3569–3572.

[14] Harutyunyan, V.S., Aivazyan, A.P., Weber, E.R., Kim, Y., Park, Y., Subramanya S.G., 2001. Journal of Physics D: Applied Physics, 34, A35.

[15] Kisielowski, C., Kruger, J., Ruvimov, S., Suski, T., Ager, J. W., Jones, E., Liliental-Weber, Z., Rubin, M., Weber, E. R., Bremser, M.D. and Davis, R. F., 1996. Physical review B, 54, 17745.

[16] Kisielowski, C., 1999. Semiconductors and Semimetals, 57, 275-317.

[17] Perry, W. G., Zheleva, T., Bremser, M. D., Davis, R. F., Shan, W. and Song, J. J., 1997. Journal of Electronic Materials, 26, 224.

[18] Skromme, B. J., Zhao, H., Wang, D., Kong, H. S., Leonard, M. T., Bulman, G. E. and Molnar, R. J., 1997. Applied Physics Letters, 71, 829.

[19] Cetin, S. S., Öztürk, M. K., Özçelik, S., Özbay, E., 2012. Crystal Research and Technology, 47, 824– 833.

[20] Polian, A., Grimsditch, M. and Grzegory, I., 1996. Journal of Applied Physics, 79, 3343.

[21] Kars Durukan, İ., Akpınar, Ö., Avar, C., Gultekin, A., Öztürk, M. K., Özçelik, S., and Özbay, E., 2018. J. Nanoelectron. Optoelectron., 13, 331–334.

[22] Metzger, T., Höppler, R., Born, E., Ambacher, O., Stutzmann, M., Stömmmer, R., Schuster, M., Göbel, H., Christiansen, S., Albrecht, M. and Strunk, H.P., 1998. Philosophical Magazine a-Physics of Condensed Matter Structure Defects, 77,1013.

[23] Williamson, G. K. and Hall, W. H., 1953. Acta Metallurgica, 1, 22.