

GaN TEMELLİ FOSFOR DÖNÜŞÜMLÜ BEYAZ LED ÜRETİMİ

Dr. Devrim KÖSEOĞLU

VESTEL Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.

devrim.koseoglu@vestel.com.tr

ÖZET

GaN temelli mavi LED çipin geliştirilmesinin ardından, fosfor dönüşümlü olarak beyaz ışık veren LED paketi üretim teknolojileri enerji verimliliği konusundaki en önemli araştırma alanlardan biri olmuştur. Uygun bir alttaş üzerine LED katmanlarının oluşturulması, çip işleme, elektronik paketleme ve fosfor harmanlama gibi aşamalardan oluşan bu süreç, LED çip paketlerinin elektronik ve optik karakterizasyonu ile sonlanmaktadır. Gün geçtikçe artan gereksinimler ve yeni uygulamalar düşünüldüğünde, yüklü miktarlarda seri LED üretimi yapabilen tesislere gereksinim olacağı açıktır. Farklı araştırma alanlarını birleştiren ve ar-ge içeriği yüksek olan güncel beyaz LED üretim teknolojilerinde yaygın kullanılan mavi LED çip üretim ve paketleme yöntemleri bu makalede özetlenmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Dünya elektrik üretiminin sera gazları salınımının en büyük etkeni olduğu ve aydınlatma için kullanılan miktarının toplam üretimin yüzde yirmisini geçtiği düşünüldüğünde, aydınlatmada LED teknolojisine geçişin önemi ortaya çıkmaktadır [1, 2]. Bu yüzden olacak ki, Nobel 2014 Fizik Ödülü, “enerji verimli beyaz ışık kaynaklarının geliştirilmesine olanak veren mavi LED”i geliştirdikleri için Isamu Akasaki, Hiroshi Amano ve Shuji Nakamura’ya verilmiştir [3].

İlk yüksek parlaklıklı mavi LED 1990’lı yıllarda Nakamura ve ekibinin öncülüğünde InGaN temelli olarak üretilmiştir [3]. İşlenmiş mavi LED çiplerinin ışık geçirgen ITO (indium tin oxide) ile elektriksel kontaklarının yapılması ve fosfor ile kaplanması çalışmalarıyla beyaz ışık yayan verimli LED paketlerinin oluşturulması aydınlatma sektöründe dönüm noktası olmuştur [4].

LED kullanım alanları özellikle yeni nesil görüntü ve aydınlatma uygulamalarıyla son yıllarda oldukça artmıştır. Ekran teknolojileri alanında LED’li ürünler günümüzde piyasada

en çok tercih edilen ürünler olmuştur. Aydınlatma alanında ise yakın gelecekte mevcut sistemlerin yerini yeni nesil LED’li lamba ve armatürlerin alması beklenmektedir [1, 2].

2. LED ÜRETİM AŞAMALARI

LED üretiminde epitaksiyel film oluşturmak için en çok kullanılan yöntem MOVPE (metal oxide vapour phase epitaxy - metal organik buhar fazı epitaksisi) ya da MOCVD (metal oxide chemical vapour deposition - metal organik kimyasal buhar yoğunlaştırma) olarak adlandırılan tekniktir [2]. MOVPE, alttaş üzerine ince katmanlar oluşturmak için geliştirilmiştir. Elektronik ve opto-elektronik teknolojisinde yaygın olarak kullanılan III-V bileşimi yarı-iletkenlerin üretimi için uygundur [5].

Aydınlatma için kullanılan mavi LED’ler GaN, SiC, Si ve safir gibi alttaşlar üzerinde büyütülen çoklu kuantum kuyu yapıları InGaN/GaN epitaksiyel ince filmlerden elde edilmektedir [2]. Işık şiddeti, büyütülen epitaksiyel yapının kalitesi, alttaşın özellikleri ve etkin elektron – deşik birleşmesini sağlayacak tasarımlara bağlıdır [2].



Resim 1: MOVPE cihazı (<http://www.aixtron.com/>)

Beyaz ışık veren LED'ler ise mavi dalga boylarında (~ 450 nm) ışık veren diyotların fosforla kaplanması sonucunda oluşturulmaktadır. Beyaz LED üretiminde mikro-elektronik paketleme teknolojisi ve fosfor kimyası kritik önem taşımaktadır. Üretilen beyaz LED çip paketlerinin elektriksel ve optik karakterizasyonu sonucunda sınıflandırılması da LED üretimindeki bir diğer aşamadır.

3. MOVPE YÖNTEMİ İLE MAVİ LED ÜRETİMİ

Yüksek hacimli üretime uygun olduğu için seri üretimde MOVPE sistemleri kullanılmaktadır. Son yıllarda MOVPE sistemlerinin tasarımlarında yapılan iyileştirmeler oluşturulan katmanların kalitesini, tekrarlanabilirliğini, büyütme oranını, katkılama kontrolünü arttırmış ve tam otomatik sistemlerin geliştirilmesini sağlamıştır.

MOVPE yönteminin başlıca üç aşaması vardır [5, 6]:

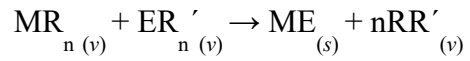
1) Büyütülmek istenen malzemenin öncüllerini (precursor) taşıyacak gazların

ısıtılmış alttaş (substrate) üzerine gönderilmesi,

2) Öncül moleküllerin yüksek ısıdan dolayı ayrışması ve alttaş üzerinde yoğunlaşması,

3) Atomların alttaş yüzeyine bağlanması ve epitaksiyel katmanları oluşturması (örneğin, GaN, GaAs, ... , vb).

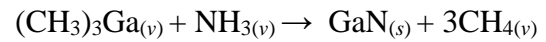
MOVPE reaksiyonunu tanımlayan kimyasal tepkime ise genel olarak şu şekilde yazılabilir:



şeklinde yazılabilir. Burada R ve R' methyl (CH_3) veya ethyl (C_2H_5) ya da hidrojen, M grup II ya da grup III metali, E ise grup V ya da grup VI elementi tanımlar. n sayısı II-IV ya da III-V reaksiyonu oluşmasına göre 2 ya da 3 olabilir. v ve s ise gaz ve katı fazlarını belirtir [7].

Çoğu MOVPE cihazı temelde gaz tankları, iletim ve dağıtım sistemleri, reaktör olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği bölüm, kontrol ve ölçme birimleri ile atık depolayıcı ünitelerden oluşur [5, 6].

MOVPE yöntemi ile GaN temelli LED üretim aşamaları basitçe şöyle özetlenebilir: İlk olarak taşıyıcı gazlar (H_2 ve N_2) fokurdacı (bubbler) adı verilen sıvı haldeki metal oksit öncüllerini (TMGa, TMIIn, TMAI, TEGa, Cp_2Mg) taşıyan tüplere gönderilir. Metal oksit öncülleri taşıyıcı gazlarla karışarak tüplerden ayrılır. Kontrol üniteleri öncülleri de içeren bu gaz karışımını reaktöre yönlendirir. Sıcaklık etkisiyle reaktörde oluşun;



tepkimesi ile GaN katmanları oluşur [7, 8, 9].

LED yapısı çeşitli katmanlardan oluşur. Bu yapıyı oluştururken katkılama (doping) işlemleri de gerçekleştirilir. Örneğin, biscyclopentadienyl - magnesium (CP_2Mg) ve disilane (Si_2H_6) gibi p-tipi ve n-tipi katkılama kaynakları kullanılır. InGaN çoklu kuantum kuyularını (MQW) oluşturmak için taşıyıcı azot gazı ile In katkılama yapılır. Ayrıca Mg katkılı p-tipi katmanları aktive etmek için azot ortamında yüksek sıcaklıkta ısıl işlemler (annealing) de uygulanmaktadır. Son aşamada ise bu tepkimeler boyunca reaktörde açığa çıkan atık gazların depolanması sağlanır [9].

4. GaN LED YAPISI

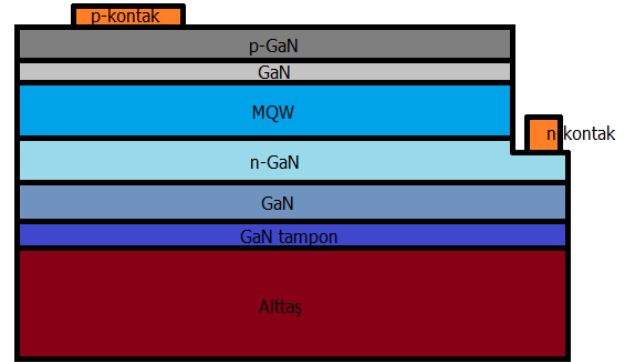
Nitrit temelli yarı-iletkenlerin (GaN, AlN, InN, ..., vb) ince epitaksiyel filmlerinin üretim teknolojilerinin geliştirilmesi elektromanyetik spektrumun morüstü, mavi ve yeşil bölgelerinde ışık kaynakları geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Böylelikle çeşitli fosfor bileşimlerinden yararlanarak beyaz ışık üretiminin önü açılmıştır.

Mavi ve morüstü ışık yayan nitrit temelli LED yapıları genellikle GaN ve InGaN ince filmlerinden olarak üretilmektedir. Bu LED yapıları InGaN kuantum kuyusu içeren p-n eklemelerinden oluşmaktadır [8].

Bu yapı, p ve n tipi GaN tabakalar arasında ışık üreten InGaN çoklu kuantum kuyuları (MQW) içeren ve alttaş üzerinde büyütülen epitaksiyel katmanları içermektedir.

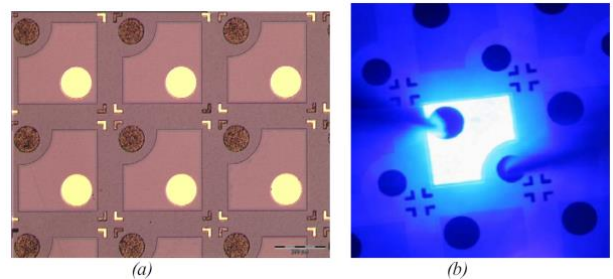
Modern nitrit temelli LED yapıları genel olarak mavi ve yeşil renklerde tek InGaN kuantum kuyusu, morüstünde ise AlGaIn kuantum kuyusu kullanırlar. LED veriminin artırılması için yapı tasarımının iyi tanımlanması gereklidir. Ek olarak, epitaksiyel büyütme sırasında katmanların kusursuz olarak üretilmesi gerekmektedir [9].

En basit LED çip üretimi safir alttaş üstünde MOVPE ile büyütülmüş n-GaN / MQW / p-GaN yapısından oluşur. p ve n tipi GaN katmanlara ohmik kontak yapmak gerekir. p-tipi ohmik kontak en üst katmana yapılır. n-tipi GaN katmana kontak yapmak için ise aşındırma (etching) yapılması gerekmektedir. Bu işlemlerin ardından ohmik kontaklar oluşturulur [9]. Böyle bir MESA yapısına örnek aşağıda verilmiştir.



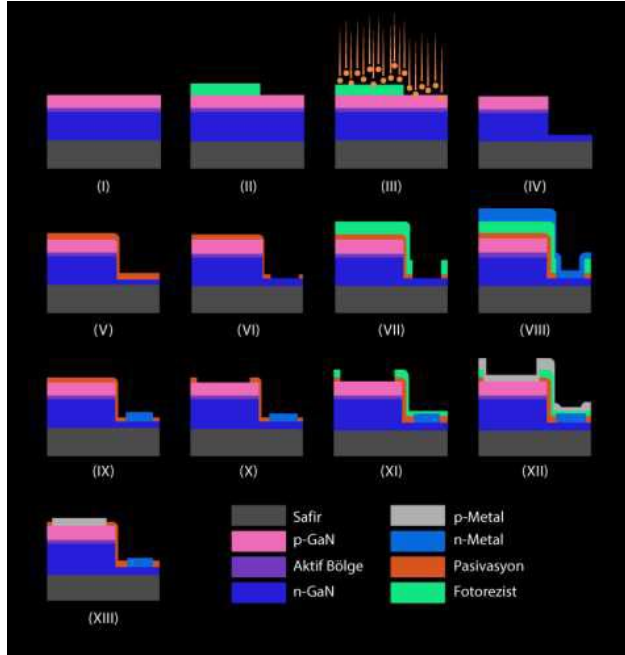
Resim 2: LED katmanları ve kontaktarı [9].

Aşağıda MESA yapısı oluşturulmuş mavi LED çipler ve I-V testleri sırasındaki ışımaya gösteren fotoğraf aşağıda verilmiştir [9].



Resim 3: LED çipler ve test sırasında çıkan mavi ışık [9].

Elektriksel kontaktarın oluşturulmasının ardından mavi çipler kesilerek ayrılır ve paketleme aşamasına geçilir.



Resim 4: Safir üzerine oluşturulmuş mavi GaN çipleri için çip işleme (mesa) aşamalarının grafik özeti.

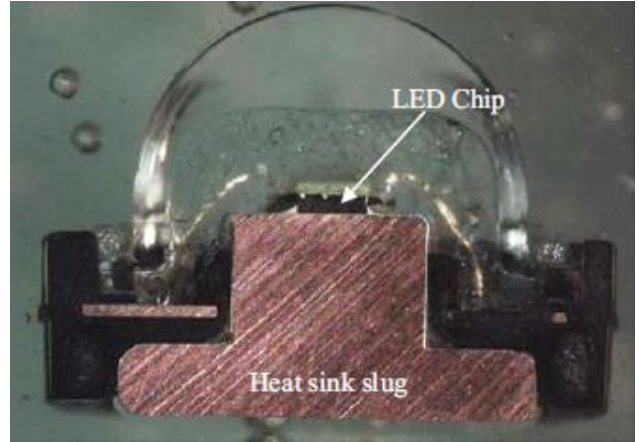
5. BEYAZ LED ÇİP PAKETİ

Standart bir beyaz LED çip paketi şu bileşenlerden oluşur [10]:

- 1) Mavi LED çip (zar – die)
- 2) Çipin oturtulacağı ve elektriksel bağlantıların yapılacağı çerçeve (şasi – lead-frame)
- 3) Yansıtıcı
- 4) Fosforlu dolgu (encapsulant)
- 5) Lens

Böyle bir fosfor dönüşümlü beyaz LED çip paketi için örnek fotoğraf aşağıda verilmiştir.

Paketleme aşamasının başında mavi LED çiplerin elektriksel ve optik testleri yapılır. Tek tek bu testlere göre kodlanan mavi çipler özel dizgilere alınır ve şasi üzerine LED çip zarı genellikle epoxy ya da eutectic bonding yöntemi ile yapıştırılır ve test edilir. Ardından son derece ince teller (genellikle altın) ile elektriksel bağlantıları yapılır ve test edilir [10].

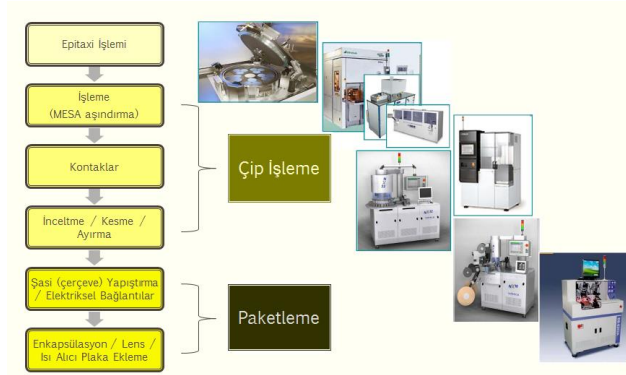


Resim 5: Lumileds HB-LED paketi kesiti (Prismark / Binghamton University) [10].

Beyaz LED üretiminde en kritik aşamalardan birisi fosforlu enkapsulasyon hazırlamadır. Mavi LED'in testleri sırasında elde edilen optik karakterizasyon bilgisine bağlı olarak istenilen spektrumu oluşturacak fosforun belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre uygun fosfor ya da fosforlar harmanlanarak optik geçirgenliği yüksek, ısıya dayanıklı ve kaplayıcı – koyurucu özelliği bulunan bir polimer ile karıştırılarak (genellikle silicone) enkapsulasyon oluşturulur. Çipler bu enkapsulasyon ile kaplandıktan (dispensing) sonra kütleme (curing) odasına alınır ve dolguların katılaşması sağlanır. Bu aşama sonunda LED çip paketi hazırlanmış olur [10, 11, 12].

Üretilen beyaz LED'lerin elektriksel ve optik testlerinin yapılması sonrasında sınıflandırılmakta ve kullanıcıya sunulmak üzere makaralara sarılmaktadır.

LED çip paketleme üretim aşamalarını özetleyen şema aşağıda verilmiştir.



Resim 6: LED çip üretim aşamaları.

6. SONUÇ

Uluslararası standartlara uygun, üretim, kullanım ve bakım maliyeti düşük aydınlatma yöntemleri arasında LED temelli sistemler geleceğin aydınlatma yöntemi olarak görülmektedir. LED teknolojisindeki gelişmeler, son yıllarda özellikle GaN bazlı yarı-iletken araştırmalarından önemli derecede etkilenmiştir. LED yapılarının oluşturulması ve sonrasında paketlenmesi ile üretilen beyaz ışık yayan diyotların kullanıldığı sistemler, aydınlatma uygulamalarında her geçen gün daha fazla yer tutmaktadır.

Türkiye’de ise LED üretim teknolojileri ve uygulama alanları ne yazık ki yeterli olgunluğa ulaşamamıştır. Uluslararası standartlarda, verimli ve ekonomik ürünlerin geliştirilmesi bilimsel ve teknolojik gelişmeleri temel alan yaklaşımlara bağlıdır. Yarı-iletken teknolojisi buna tipik bir örnektir.

KAYNAKLAR

- [1] C.J. Humphreys, “Solid-State Lighting”, MRS Bulletin, Vol. 33, pp 459 – 470, April 2008.
- [2] M.R. Krames, et al. “Status and Future of High-Power Light-Emitting Diodes for Solid-State Lighting”, J. of Display Technology, Vol. 3, No. 2, June 2007.

- [3] Nobelprize.org: Press Release 01/10/2014: The Nobel Prize in Physics (http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/press.pdf).
- [4] P. Schlotter, et al. “Luminescence conversion of blue light emitting diodes,” Appl. Phys. A, Vol. 64, pp. 417–418, 1997.
- [5] A.G. Thompson “MOCVD Technology for Semiconductors”, Material Letters, 30 (1997), pp.255-263.
- [6] J. Coleman, “Metalorganic Chemical Vapor Deposition for Optoelectronic Devices”, Proc. of the IEEE, Vol. 85, No. 11, November 1997.
- [7] K. Sehnan (Ed.), “Handbook of Thin Film Deposition Processes and Techniques”, ch. 4, pp 151-205, 2nd Ed., 2001.
- [8] Kai Fu, et al. “Kinetic Monte Carlo study of metal organic chemical vapour deposition growth dynamics of GaN thin film at microscopic level”, J. Appl. Phys., 103, 103524, 2008.
- [9] Nyugen, XL et al. “The fabrication of GaN-based light emitting diodes (LEDs)”, Adv. Nat. Sci.: Nanoscience & Nanotechnology 1, 025015, 2010.
- [10] D. Lu & C.P. Wong (Eds.), “Materials for Advanced Packaging”, ch. 18, pp. 629 – 680, Springer, 2009.
- [11] L. Chen, et al. “Light Converting Inorganic Phosphors for White Light-Emitting Diodes”, Materials, 3, 2172-2195, 2010.
- [12] Jeff Perkins, “LED Packaging Challenges”, IEEE Electronic Components and Technology Conference, ECTC 2012.