

# İŞIK YAYAN DİYOTLAR İÇİN RENK DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Dr. Devrim KÖSEOĞLU

VESTEL Elektronik Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
devrim.koseoglu@vestel.com.tr

## ÖZET

*Işık yayan diyot (light emitting diode, LED) çiplerinin aydınlatma teknolojilerine uygulanmasının ardından LED ışığının rengini dönüştüren mekanizmalara gereksinim artmıştır. Bu nedenle, LED çip paketi içinde ya da uzağında konumlandırılabilen, istenilen spektrumda ışıyabilen ve renk dönüştürme verimliliği yüksek malzemeler üzerine yapılan araştırmalar giderek yoğunlaşmaktadır. Günümüzde genel aydınlatma amaçlı olarak kullanılan beyaz ışık yayan LED'ler çoğunlukla fosfor dönüşümlü olsa da, ekran teknolojilerindeki LED uygulamalarında son yıllarda kuantum nokta (quantum dot, QD) dönüşümlü ekran arka ışık üniteleri de yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu bildiride, fosfor temelli LED renk dönüştürücülerinin temel özellikleri ve uygulama yöntemleri özetlenmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Işık yayan diyotların (LED) üretim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte renk dönüştürücü malzemeler üzerine yapılan çalışmalar da artmıştır. İlk uygulamalar tek tip fosfor ile kaplanmış LED çiplere dayalı olsa da yeni nesil fosforların harmanlanmasına ve kuantum noktalara dayalı ışık kaynakları son yılların en ilgi çeken araştırma konuları arasında yer almaktadır. Özellikle aydınlatma ve ekran sistemlerimde LED'lerin kullanılmasıyla fosfor malzemeleri istenilen renk sıcaklığında, yüksek renk dönüşümlü ya da geniş renk gamutlu ve aynı zamanda da uzun ömürlü ürünlerin kritik komponentlerden birisi haline gelmişlerdir [1, 2, 3].

## 2. FOSFOR – POLİMER KOMPOZİTLER

LED uygulamalarında kullanılan fosforlar ışık uyarımlarını soğurup ardından belirli bir spektrumda ışıyarak renk dönüşümü yapmaları nedeniyle ilgi görmektedir. Genel aydınlatma uygulamalarında fosforlar

istenilen renk sıcaklığını verecek kompozisyondaki yapılar içinde çoğunlukla polimerler ile harmanlarak kullanılmaktadır. Öte yandan, ekran teknolojilerinde ise fosforlar arka-ışık ünitesinde ekranın renk uzayını belirleyen malzemeler olarak çip üzerinde ya da uzağında konumlandırılarak kullanılmaktadır [4, 5].

Kompozit malzemeler çoğunlukla birbirinden çok farklı özellikleri olan iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile elde edilen yapılardır. LED uygulamalarında fosforlar taşıyıcı polimerler ile birlikte kompozit malzemeler olarak yer alırlar.

Kompozit yapıları oluşturacak bileşenlerin yapı içinde ne gibi bir işlevi olacağı önem taşımaktadır. Fosfor içeren kompozitleri oluşturan polimerler için optik geçirgenlik önde gelen kriterlerden biridir. Bu tip polimerler özellikle fotonik ve optik uygulamalarında, mercekler, prizmalar, dalga kılavuzları, sıvı kristal ekranlar, doğrusal olmayan optik malzemeler ve optik element için yapıştırıcı ya da koruyucu yapılar olarak görev yaparlar.

Çoğu uygulamada optik özelliklerin dışında kompozitlerin mekanik ya da yapısal özellikleri de önem taşımaktadır. Kompozit yapının kullanım yerine göre ortama (sıcaklık, nem, toz,...vb.) dayanıklılık, kimyasal kararlılık, kullanım yerine göre mekanik sağlamlık gibi kriterleri sağlaması istenebilir. Bu nedenle, kompozitin bileşenlerinin yapısal özellikler açısından da analiz edilmesi gerekir. Çünkü bu yapısal özellikler malzemenin optik özelliklerinin ortamdaki değişikliklere bağlı olarak farklılık göstermesine neden olabilir. Örneğin, ısı ya da basınç gibi etkilerle doğrusal olmayan optik etkilerin oluşması gibi sonuçlar ortaya çıkabilir.

LED teknolojileri ve uygulamalarında kullanılan fosforlar tanecikli (granular) yapılı olup inorganik bileşiklerden oluşmaktadır. Tane yapıda inorganik tanecikler ile polimerik malzemeler (örneğin, polydimethylsiloxane, PDMS: silikon) ile genellikle üç farklı yöntemle birleştirilebilirler: Birinci yöntemde, fosforlar ile polimerler çözelti ya da ergimiş fazda harmanlanırlar. Bu yöntem en pratik yol olmasına karşın çeşitli olumsuz yanları bulunmaktadır. Bunların en önemlisi taneciklerin homojen dağılım oranının oldukça düşük olmasıdır. İkinci yöntemde, fosfor taneciklerinin varlığında polimerizasyon gerçekleştirilir. Yerinde polimerizasyon (in situ polymerization) olarak adlandırılan bu yöntem taneciklerin homojen dağılımı için etkin bir yöntem olarak görülmektedir. Kompozit hazırlamanın üçüncü yöntemi ise polimer zincirlerinin varlığında taneciklerin oluşturulmasıdır. Bu yöntemde polimer içerisinde tanecik oluşum tepkimesinin gerçekleşmesi gerekmektedir. Ancak polimerik ortamın akışkanlığının azolması (viscosity) nedeniyle tepkime girdilerinin

tamamının ürüne dönüşmesi olasılığı düşüktür.

### **3. RENK DÖNÜŞTÜRÜCÜ OLARAK FOSFORLAR**

LED'lerin çalışma prensipleri ve teknolojisinin ana hatları bilinmektedir. Aydınlatma alanında yaygın olarak kullanılan LED'ler GaN, InGaN ve AlGaN gibi yarı-iletken malzemelere dayalıdır. Bu malzemelerle elektromanyetik spektrumun yeşil, mavi ve mor-ötesi bölgelerinde ışıma elde edilebilmektedir [6].

Aydınlatmada kırmızı, mavi ve yeşil LED'ler birlikte kullanılarak beyaz ışık elde edilebildiği gibi mavi ya da mor-ötesi ışıma yapan LED'lerden birisi ile bu ışımayı beyaz ışığa dönüştüren fosforlarla da beyaz ışık elde edilebilmektedir. Yaygın olarak kullanılan ikinci yöntemde LED ışığını dönüştüren fosforlar genellikle çip paketinde LED zarı üzerine kaplanmaktadır [4].

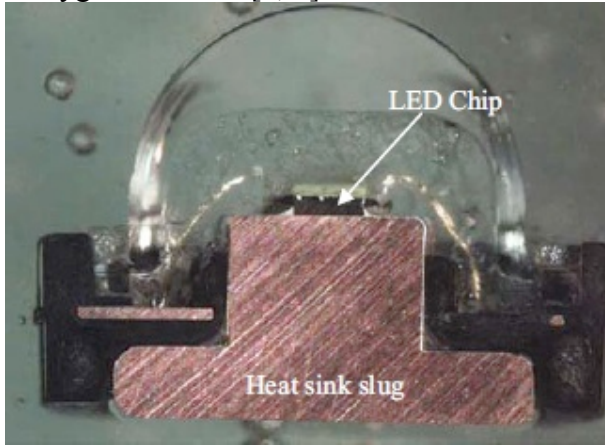
### **4. LED ÇİP PAKETİ İÇİN FOSFOR UYGULAMALARI**

Özellikle mavi ışık yayan GaN LED buluşuyla, LED zarı ve fosfor – polimer enkapsulasyonu içeren çip paketleri beyaz ışık elde etmede birincil yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntem ile oluşturulan standart bir LED çipi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır [4, 7]:

- 1) Mavi LED zarı (blue LED die)
- 2) Çipin yerleştirileceği ve elektriksel bağlantılarının yapılacağı çerçeve (lead frame)
- 3) Yansıtıcı (reflector)
- 4) Fosforlu renk dönüştürücü kaplama (encapsulation)
- 5) Lens

Bu bileşenlerden oluşan fosfor dönüştürücü bir LED çip paketine örnek fotoğraf aşağıda verilmiştir (bkz. Resim 1).

LED paketlemede yapısal ve optik karakterizasyonları yapılan LED zarfları elektriksel ve ısı iletimin sağlanacağı çerçevelere oturtulur, test edilir ve sınıflandırılır. Bu aşamaların ardından, LED çip paketi üretimindeki en kritik adım renk dönüştürücü enkapsülasyonun hazırlanması ve uygulanmasıdır [4, 5].



Resim 1: Lumileds HB-LED paketkesiti (Prismark/Binghamton University) [4].

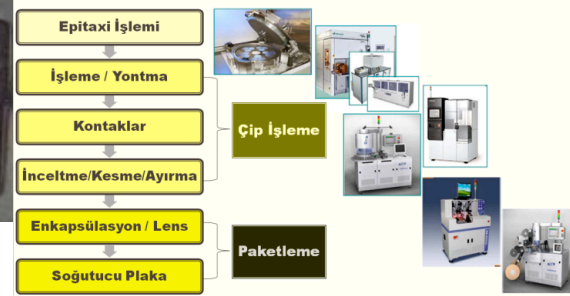
Mavi LED'lerin optik özelliklerine göre sınıflandırılması sırasında elde edilen optik karakterizasyon bilgisine bağlı olarak istenilen spektrumu oluşturacak fosforların belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre uygun fosfor ya da fosforlar harmanlanarak optik geçirgenliği yüksek, ısıya dayanıklı ve kaplayıcı – koyurucu özelliği bulunan bir polimer ile karıştırılarak (genellikle silikon) enkapsülasyon oluşturulur. Çipler bu kompozit malzeme ile kaplandıktan (dispensing) sonra kütleme (curing) odasına alınır ve bu kompozit dolguların katılaşması sağlanır. Bu aşama sonunda LED çip paketi hazırlanmış olur [7. 8. 9].

Üretilen beyaz LED'lerin elektriksel ve optik testlerinin yapılması sonrasında

sınıflandırılmakta ve kullanıcıya sunulmak üzere makaralara sarılmaktadır. Tüm bu LED çip paketleme üretim aşamalarını özetleyen şema aşağıda verilmiştir (bkz. Resim 2).

## 5. FOSFORLARIN ÖZELLİKLERİ

Sanayide ışık dönüştürücü olarak kullanılan bir çok fosfor bulunmaktadır. Bu malzemeler gerek kimyasal yapısı ve içeriği, gerekse yüzey ve morfolojik özellikleri açısından farklılık göstermektedir. Bunun yanında seçilen fosfor malzemesinin tanecik boyutu ve polimer içindeki oranının yine uygulamaya göre optimize edilmelidir.



Resim 2: LED çip üretim aşamaları

Fosforlar bir polimer içine genellikle tanecikli yapıda eklenirler. Bu şekilde hazırlanan kompozitlerde ışık ile maddenin etkileşmesini ilgilendiren uyarılma ve ışımaya spektrumları, kuantum verimi, soğurma, saçılma ve kırıcılık gibi fiziksel özellikler önem taşımaktadır. Ayrıca bu tip inorganik mikro-tanecikli polimer kompozitlerde optik özellikleri etkileyen geçirgenlik azalması ve yapısal özellikleri de etkileyen tortulaşma (sedimentation) problemleri görülmektedir. Bu nedenle, polimerin kırıcılık indisi, soğurma spektrumu, akışkanlığı ve inorganik bileşenlerin özgül ağırlığı, tanecik büyüklüğü gibi parametreler arasında bir denge noktası yakalanmalıdır [4, 5].

Fosforlar çoğu polimer içinde birleşince öbeklenme eğilimi göstermektedirler. Böyle durumlarda fosforların yüzey aktif madde ile çevrenmeleri yararlı olabilir. Ayrıca polimerin fosforun içinde iyi dağılacağı ve ışığa verimini düşürmeyen özelliği olması gerekmektedir. Öte yandan, polimer matrisi içerisine eklenen fonksiyonel maddelerin de tane boyutu kompozit malzemelerdeki önemli bir diğer parametredir.

İlk fosfor dönüşümlü GaN LED uygulamalarında tek tip fosfor ile beyaz ışık elde edilmiştir. Günümüzde de yaygın olarak kullanılan bu yöntemin avantajı yapının basit ve ekonomik olmasıdır. Ancak ışık kayıplarının (fosforun performansına bağlı olarak) yüksek olması, mavi ışığın spektrum içinde baskın olarak parlaması ve renksel geriveriminin düşük olması gibi önemli sorunları vardır. Özellikle yüksek ışık akısı gerektiren uygulamalarda renksel geriverim daha da azalmaktadır. Ayrıca LED çip paketinin ısınmasına bağlı olarak enkapsulasyon malzemeleri zamanla sararmaya neden olmaktadır [4].

RGB fosfor ve UV LED kullanıldığı uygulamalarda ise istenilen renk sıcaklıklarına ve yüksek renksel geriverime ulaşmak mümkündür. Ancak ışık kaynağı ısındığında fosforların soğurma performansları düşmektedir. Ayrıca her bir fosforun ısı altında ışığa profilleri farklı olduğundan renk kaymaları meydana gelmektedir. Öte yandan, LED çip enkapsulasyon malzemesinin UV ışığına dayanıksız olması ürün ömrünü oldukça azaltmaktadır [4].

Farklı renklerdeki üç (RGB) ya da daha fazla LED'in bir arada kullanılmasına dayalı uygulamalarda fosfor ya da kuantum nokta kullanılmasına gerek yoktur. Ancak farklı LED'lerin ömürlerinin farklı olması

ve diğer uygulamalara göre kompleks LED sürücü elektroniğine ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları vardır. Ayrıca maliyet açısından da avantajlı değildir.

Beyaz ışık yayan fosfor dönüşümlü GaN LED ışık kaynakları gelecekte bilinen tüm aydınlatma uygulamalarında diğer ışık kaynaklarının yerini alabilecek potansiyele sahiptir [1, 2]. Bu nedenle, istenilen renk sıcaklığında, yüksek renksel geriverim ve yüksek performanslı (kuantum verimli) fosfor dönüşümlü LED yapılarının iyileştirme çalışmaları yoğun olarak devam etmektedir. Özellikle mavi LED ışık kaynaklarının fosfor veya fosfor karışımları ile kaplanması, mavi dalga boyunu daha iyi soğurabilen yeni ve ekonomik fosfor sentezleme çabaları, farklı dalga boylarında ışığa (emisyon) yapabilen çoklu LED'lerin kullanılması gibi çalışmalar bunlara örnektir.

## 6. UZAK FOSFOR UYGULAMALARI

Günümüzde optik verimi yüksek ve enerji tüketimi düşük aydınlatma sistemlerine duyulan gereksinim her geçen gün artmaktadır. Uzak fosfor uygulaması hem mavi LED ışığını beyaza dönüştürmede kullanılan fosforların uygun renk sıcaklığı (correlated colour temperature, CCT) ve yüksek geri-verim endeksine (colour rendering index, CRI) göre belirlenmesi, hem de fosfor karışımlarının koruyucu yapılar içinde harmanlanması temeline dayanan ve renk dönüşüm katmanının mavi LED yüzeyinden uzakta konumlandırılması esasına dayanan bir yöntemdir [4, 5].

Uzak fosforlu tasarımlarda yüksek CRI, istenilen CCT, dayanıklı ince kaplama yapısına ve yüksek optik verimliliğe sahip fosforlu kompozit polimer filmler ya da kaplamalar ile renk dönüşümü yapılır.

Böylelikle birim fosfordan elde edilen verim artırılabilir. Bu yöntem benzer şekilde LCD temelli ekran teknolojilerinde renk uzayını (gamut) arttırmak amaçlı olarak arka-ışık ünitesinde de kullanılabilir.

## 7. METALİK NANOPARÇACIKLAR İLE FOSFOR VERİMİ ARTTIRIMI

Fosforların performanslarını arttırmak amaçlı olarak nano boyutlu metalik parçacıkların etkileri de ilgi çeken araştırma konuları arasındadır. Nano boyuttaki altın, gümüş gibi metallerin plazmon rezonans soğurumları ve buna bağlı ışımaları nedeniyle bazı moleküllerin ya da inorganik fosforların luminesans şiddetlerini arttırdığına ilişkin çalışmalar bulunmaktadır. Bu nedenle nano boyutta sentezlenmiş parçacıkların matrikse eklenmiş fosforların ışımaya özellikleri üzerine etkisi ilgi çeken bir araştırma alanıdır [10, 11].

## 8. FOSFORLARIN KUANTUM VERİMİ

Kuantum verimi ışık dönüştürücü malzemelerin uyarıcı ışığı soğurma ve ardından ışımaya performanslarını tanımlayan bir kavramdır. Dış kuantum verimi (external quantum efficiency, EQE) ve iç kuantum verimi (internal quantum efficiency, IQE) ve olarak iki şekilde tanımlanır. Bunlardan dış kuantum verimi yayılan fotonların uyarıcı fotonlara oranıdır. İç kuantum verimi ise yayılan fotonların soğurulan fotonlara oranıdır [12, 13].

Kuantum verimi bir fosforun uyarıcı ışığı ne kadar iyi soğurup ne kadar ışığının ölçüsüdür. Bu nedenle, fosfor seçimindeki en önemli parametrelerden birisidir.

## 9. SONUÇ

Genel aydınlatma ve ekran ışık ünitesi sistemlerinde LED'ler kadar fosfor ve kuantum noktaları gibi ışık dönüştürücü malzemeler de sistem performansını etkileyen faktörler arasındadır. Bu nedenle, sistem bileşenlerinin seçimi ve uygulama yöntemi dikkatlice belirlenmelidir.

## 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] P. Schlotter, et al. "Luminescence conversion of blue light emitting diodes," Appl. Phys. A, Vol. 64, pp. 417–418, 1997.
- [4] D. Lu&C.P. Wong (Eds.), "Materials for Advanced Packaging", Ch. 18, pp. 629 – 680, Springer, 2009.
- [5] T. Güner, D. Köseoğlu, M.M. Demir, "Multilayer Design of Hybrid Phosphor Film for Application in LEDs", Optical Materials, Vol. 60, pp. 422 – 430, Elsevier, 2016
- [6] Nyugen, XL et al. "The fabrication of GaN-based light emitting diodes (LEDs)", Adv. Nat. Sci.: Nanoscience & Nanotechnology 1, 025015, 2010.
- [7] D. Köseoğlu, "GaN Temelli Fosfor Dönüşümlü Beyaz Led Üretimi", IV. ETUK – VIII. Aydınlatma Sempozyumu Bildirileri, sayfa: 23–27, 2015
- [8] L. Chen, et al. "Light Converting Inorganic Phosphors for White Light-Emitting Diodes", Materials, 3, pp. 2172 - 2195, 2010.

- [9] Jeff Perkins, “LED Packaging Challenges”, IEEE Electronic Components and Technology Conference, ECTC 2012.
- [10] S.D. Solomon, et al, “Synthesis and Study of Silver Nanoparticles”; Journal of Chemical Education, Vol. 84, No. 2, 2007
- [11] D. Köseoğlu & K. Ertekin, “Phosphor Arrangement and Method”, European Patent Office, EP16189940.6
- [12] N. Murase & C. Li, “Consistent determination of photoluminescence quantum efficiency for phosphors in the form of solution, plate, thin film, and powder”, J. of Luminescence, Vol. 128, Iss. 12, pp. 1896-1903, 2008
- [13] L.S. Rohwer & J.E. Martin, “Measuring the absolute quantum efficiency of luminescent materials”, J. of Luminescence, Vol. 115, Iss. 3–4, pp. 77-90, 2005