

Aydınlatmada LED ve LED Üretim Teknolojileri

Use of LED's in Lighting and LED Production Technologies

Kadir Vahaplar¹, Ayşe Özlem Gürdal², Gökçen Kesgin³

¹ Radboud University Nijmegen, PhD, The Netherlands / Faculty of Science, Physics
Vestel LED Aydınlatma, ARGE
kadir.vahaplar@vestel.com.tr

² Galatasaray Üniversitesi / Uluslararası İlişkiler
Vestel LED Aydınlatma, Pazarlama
ayse.gurdal@vestel.com.tr

³ UC Berkeley Management Msc, İTÜ İnşaat ve İşletme Müh.
Vestel LED Aydınlatma, Pazarlama
gokcen.kesgin@vestel.com.tr

Özet

Işık yayan diyot (LED), elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken devre elemanıdır. Çeşitli değişik alanlarda kullanılabilen LED'ler, aydınlatma gereçlerinde ışık kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Bu yazı içeriğinde genel aydınlatma uygulamalarında kullanılan LED çiplerin üretim aşamalarından ve teknik özelliklerinden bahsedilecektir. LED çiplerin tipik üretim akışı; alttaş, epitaksi, çip işleme, biçimlendirme ve paketleme olarak ilerler. Bu aşamalar tek tek irdelenerek LED çip üretimi detaylı olarak anlatılacaktır.

1. Giriş

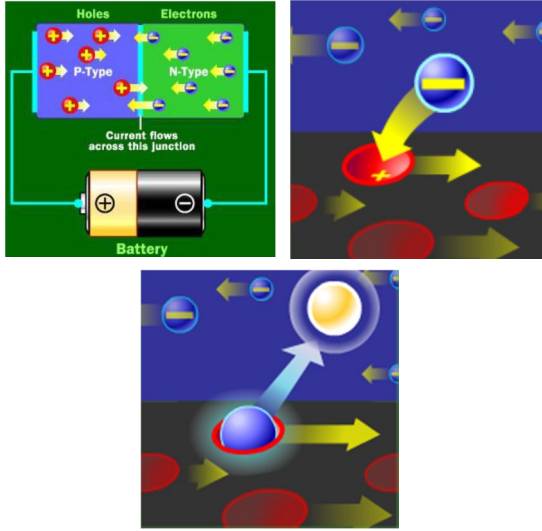
Aydınlatma dünyasının geleceği olarak gelişimine hızla devam eden ışık yayan diyotlar (LED), elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken bir devre elemanıdır. Teknolojide pekçok alanda kullanılan LED'lerin son yıllarda popüler kullanım alanlarından biri de aydınlatma sektörüdür. Aydınlatma armatürleri içinde ışık kaynağı olarak kullanılabilen LED'ler, sağladıkları %80'lere varan enerji tasarrufu, 100.000 saatlere uzun ömür ve kullanım esnekliği gibi

faýdalarla aydınlatma tasarımında yeni bir çağa geçiş olarak görülmektedirler.

LED üretimi alttaş, epitaksi, çip işleme, biçimlendirme ve paketleme aşamalarından oluşan kompleks bir kimyasal süreç olarak ilerler.

2. LED ve Aydınlatma

LED çip, p-tipi ve n-tipi yarı iletken katmanlardan oluşur. Bu katmanlar, p-tipi artı yüklü iyonlar ve n-tipi de negatif yüklü iyonların katkılanmış olduğu yarı iletken katmanlardır. Yeterli gerilim uygulandığında katmanlar arasından akım geçmeye başlar. Bu uygulama sonucunda negatif ve pozitif yüklerin (electron-hole) kombinasyonu sonucu ortaya çıkan enerji, foton (ışık) olarak yayılır. Bu işlem elektrolüminesans olarak da bilinmektedir. Resim 1'de de görüldüğü gibi artı ve eksi kutuplara potansiyel uygulandığında negatif yüklerin pozitif yükler ile kombinasyonu sonucu foton (ışık) ortaya çıkar.



Resim 1. LED'in ışık yayma prensibi.

Elektrolüminesans ilk defa 1907 yılında H. J. Round tarafından bulunmuştur. LED'in ilk kaydedilmiş bulunuşu da 1927 yılında Oleg Losev tarafından. 1990'lara kadar düşük enerjili LED'ler gösterge gibi uygulamalarda kullanılmıştır [3]. Yüksek güçte LED'lerin üretimi ise 90'lı yılların sonlarını bulmuştur. Genel aydınlatma için beyaz ışık ve yüksek akılara ihtiyaç olması nedeniyle genel aydınlatmada LED kullanımı ancak 2000'lerde başlamıştır. Günümüzde ise LED aydınlatma ürünleri, aydınlatma piyasasında belli bir pazar payına sahiptir. Yıllar içinde teknolojik gelişmeler ile LED armatürlerin pazar payı ve üretim rakamları ciddi oranda artmıştır. Dünyada 2014 yılında genel LED aydınlatma pazarında %7 artış bildirilmiş ve bu büyümenin artmaya devam ederek 2018'de 16 milyar dolar olması öngörülmektedir [1].

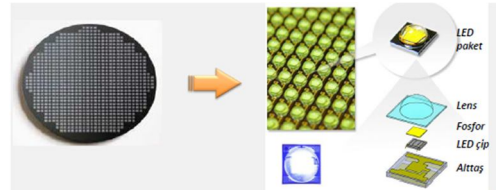
3. LED Üretimi

LED çipin yapısı, daha önce de belirtildiği gibi yarı iletken malzemelerden meydana gelir ve ışık rengini, dalga boyunu ve frekansını bu yarı iletken malzemeler belirler. Örneğin, mavi renkli ışık yayınımlı istenirse GaN veya InGaN kullanmak gerekir.

LED çipler ile beyaz ışığı oluşturmak için de iki farklı yöntem vardır. Birincisi, RGB yani kırmızı, yeşil ve mavi renkli LED çiplerin birleşimi ile beyaz ışık elde

edilebilir. Bu yöntem ile renk sıcaklığı çok kolay ayarlanabilir ancak CRI (Color Rendering Index) yani renk geriverimleri ve etkinlik faktörleri düşük olmaktadır. Diğer bir yöntem ise mavi ışık üzerine fosfor kaplamaktır. Bu yöntem genel aydınlatmada en çok kullanılan yöntemdir. Tek LED çip kullanımı, kolay kontrolü, ikincil optiklerle ışığın kolay yönlendirilebilmesi, yüksek renk geriverimi ve yüksek etkinlik faktörü bu yöntemin avantajlarıdır. Bu durumda fosfor kaplamalı beyaz bir LED çip paketi aşağıdaki öğelerden oluşacaktır (Resim 2);

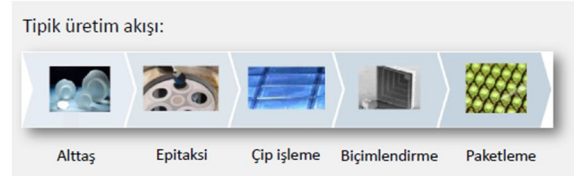
- Altaş (wafer),
- Ana bileşen olarak ışık akısını (lumen) ve verimini (lm/W) belirleyen yarı iletken çip,
- Mavi ışığı beyaz ışığa çevirerek tonlarını belirleyen fosfor,
- Işık kontrolünü sağlayan lens.



Resim 2. Fosfor teknolojiye beyaz bir LED çip paketin yapısı

LED üretim teknolojilerinde tipik üretim akışı Resim 3'te de görülebileceği gibi altaş, epitaksi, çip işleme, biçimlendirme ve paketleme olarak ilerler.

Üretim süreci altaş malzemelerin kontrolü ve temizlenmesi ile başlar. Örneğin 2" (50mm) çapındaki bir safir (Al_2O_3) altaştan yaklaşık 4000 adet çip elde edilir.



Resim 3. Tipik bir LED üretim süreci

Daha sonra MOCVD (metal organik kimyasal buhar yoğunlaştırma) ya da MOVPE (metal organik buhar fazı epitaksisi) olarak adlandırılan yöntem ile, bir alttaş üzerine ince katmanlar oluşturulur. Oluşturulan katmanların kalitesi yüksektir (tekrarlanabilirlik, büyütme oranı, katkılama). Aynı sistemde farklı malzemeler büyütülebilir ve farklı arayüzler, katmanlar oluşturulabilir. MBE (Molecular Beam Epitaxy) yöntemine göre ekonomiktir ve yüksek derecede vakum gerektirmez.



Resim 4. Aixtron ve Veeco firmalarına ait MOCVD cihazları.

MOCVD cihazları yüksek frekanslı uygulamalar için kullanılabilir ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen yapılar oluşturulabilir. Işık kaynağı ya da algılayıcısı olarak kullanıma uygun cihazlar yapılabilir.

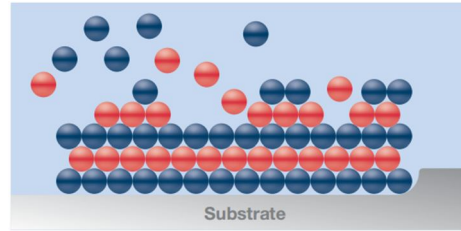


Resim 5. Aixtron firmasına ait Closed Coupled Showerhead 19x4" MOCVD (metal organik kimyasal buhar yoğunlaştırma) cihazı.

MOCVD işlemi aşamaları aşağıdaki şekilde ilerler.

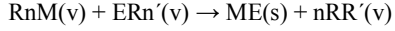
1. Büyütülmek istenen malzemenin öncüllerini taşıyacak gazların ısıtılmış alttaş üzerine gönderilmesi, Öncül moleküllerin yüksek ısıdan dolayı ayrışması (örn. Ga ile As, Ga ile N, ...) ve alttaş üzerinde yoğunlaşması,
2. Atomların alttaş yüzeyine bağlanması ve kristalin katmanlarını oluşturması (örn. GaAs, GaN, ...)

olarak sıralanabilir.



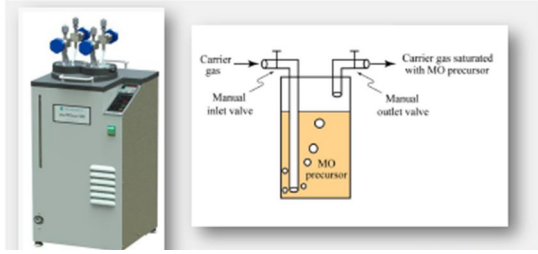
Resim 6. Alttaş (wafer) üzerinde gerçekleşen malzeme büyütme prosesi [2].

Genel olarak MOCVD reaksiyonunu tanımlayan kimyasal tepkime aşağıdaki gibidir:



şeklinde yazılabilir. Burada R ve R' methyl (CH₃) veya ethyl (C₂H₅) 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 buharı fazlarını belirtir.

MOCVD yönteminde taşıyıcı gazlar (H₂ ve N₂) bubbler adı verilen sıvı haldeki metal oksit öncüllerini (TMGa, TMI_n, TMAI, TEGa, Cp₂Mg) taşıyan tüplere gönderilir. Metal oksit öncülleri taşıyıcı gazlar tutunarak tüplerden ayrılır. Öncülleri de içeren gaz reaktöre yönlendirilir.



Resim 7. MOCVD cihazlarında kullanılan bubbler ve içeriği.

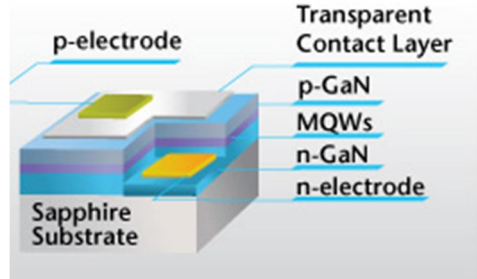
Bugüne kadar çeşitli MOCVD reaktör tasarımları yapılmıştır. Bunlardan başlıcaları:

- Yatay Reaktör
- Dikey Reaktör
- Kovan Reaktör
- Dönen Disk Reaktörü
- Yassı Reaktör'dür.

Mavi çip üretiminde, Biscyclopentadienyl magnesium (CP₂Mg) ve disilane (Si₂H₆) ise p-tipi ve n-tipi katkılama kaynağı olarak kullanılır. InGa_n çoklu kuantum kuyularını (MQW) oluşturmak için taşıyıcı azot gazı ile In katkılama yapılır (diğer katmanlar için

H₂). LED yapılı örnekler Mg katkılı p-tipi katmanları aktive etmek için azot ortamında 730°C'de 30 dk. süre ile ısıtılardan (annealing) geçirilir.

Resim 9'da görebildiğiniz gibi öncelikle alttaş üzerine GaN buffer dediğimiz bir ön tabaka hazırlanır onun üzerine GaN kristal düzeni sağlar ve daha sonra bahsettiğimiz n ve p tipi GaN tabakaları arasında çoklu kuantum kuyuları içeren katmanla bu işlem sonlanır.

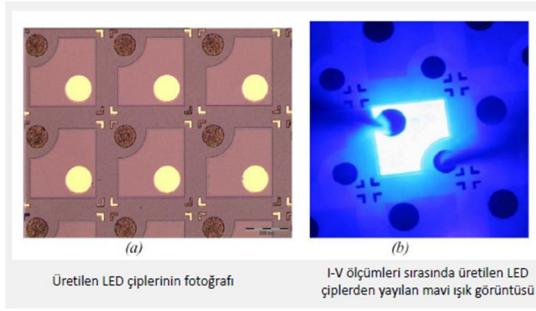


Resim 8. LED çip tabakaları.

Bu işlem tamamlandıktan sonra ICP (Induction Couples Plasma) sistemi ile maskeleme yapılarak mesa yapıları oluşturulur (Resim 8). Bu mesa yapıları LED çipin kutuplarını belirler ve tabakalar arasından geçecek akım kontaklarını belirlemektir. E-beam Evaporator ile p-n elektrotları oluşturulur.

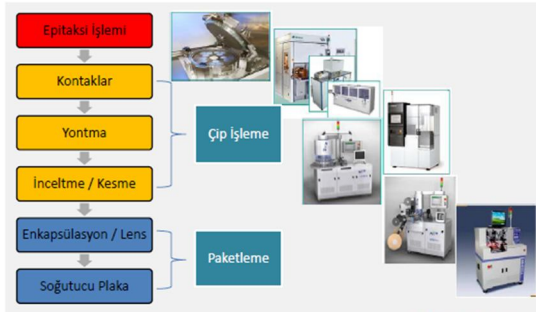
Bu elektriksel kontaklar, farklı malzemeler kullanılarak farklı kalınlıklarda oluşturulabilir. Ancak malzemelerin iletkenliği önemlidir. Bu nedenle nikel veya titanyum kullanılabilir.

Bu katmanların sonlandırılmasından sonra Resim 9'da gösterildiği gibi LED çip yapısı oluşmuş olur ve kutuplar (p-n jonksiyon noktaları) arasına gerilim uygulandığında mavi ışık elde edilir.



Resim 9. LED çip üretimi ve elde edilen mavi ışık görüntüsü.

Epitaksi işlemi kullanılarak yarı iletken malzemelerin katmanları oluşturulmuştur. Daha sonra kontakların yapılması, yontulması ve alttaş üzerinde inceltme ve kesme işlemleri tamamlandıktan sonra çipe fosfor eklenir ve lens montajı yapılır, soğutucu plakalarla paketleme işlemi gerçekleşir ve LED çip paketi hazır hale gelir.

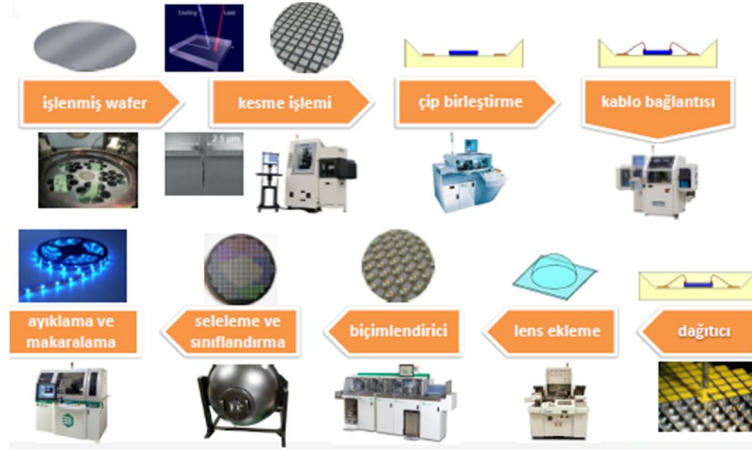


Resim 10. LED Çip üretim aşamaları.

Çip işleme tamamlandıktan sonra paketleme aşamasına geçilir. Öncelikle işlenmiş wafer, lazer ile istenilen çip boyutlarında kesilir. Kesilen bu çipler, kullanılacak olan paketlere (silikon, seramik yada plastik) yerleştirilir ve sağlamlığı test edilir. Daha sonra mesa yapılarında bulunan p ve n jonksiyon noktalarına ve paket içerisindeki anot ve katota bağlantılar yapılır ve kablo sağlamlıkları itme-çekme testleriyle kontrol edilir. Bu yapının üzeri istenen renk sıcaklığına göre farklı oranlarda dağıtıcı dediğimiz fosforla kaplanır (Resim 11).

Bu işlemten sonra ikincil optik (lens) kullanılacaksa bu malzeme yerleştirilir ve biçimlendirmeye gönderilir. LED paketlerin yapısı biçimlendirildikten sonra seleleme ve sınıflandırma aşamalarına geçilir. MOCVD ile oluşturulan yarı iletken katmanların homojen şekilde büyütülmesi beklenir. Fakat büyümenin tam olarak homojen olmayışı, LED çiplerden farklı dalga boylarında ışık yayılmasına, farklı ışık akılarına ve farklı ileri gerilim değerlerine sahip olmalarına sebep olmaktadır. Bu aşamada üretilen LED çiplerin söz konusu parametrelere göre sınıflandırmaları gerekmektedir. Aynı optik ve elektronik özelliklere sahip LED çip paketleri aynı makaralara sarılarak paketlenir.

Chip on Board (COB) olarak tanımlanan LED paketlerinde ise 20-100 arası LED çipler birbirlerine çok yakın olarak konumlandırılarak küçük alanlardan büyük ışık akısı elde etmek için kullanılırlar. Resim 12’de farklı LED çip sayıları ve tipleri kullanılarak üretilen LED paketleri görülmektedir.



Resim 11. LED Çip paketleme aşamaları.



Resim 12. Farklı LED çip sayıları ve tipleri kullanılarak üretilen LED paketleri ve sınıflandırmaları.

4. Sonuç

LED, günümüzde pekçok alanda kullanılan bir ışık kaynağıdır. Aydınlatma alanında kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Işık yayan diyot (LED), elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken devre elemanı olan LED teknolojisi, sağladığı enerji tasarrufu, uzun ömür ve kullanım esnekliği gibi faydalarla aydınlatma sektörünün geleceğinde önem teşkil etmektedir.

LED üretimi alttaş, epitaksi, çip işleme, biçimlendirme ve paketleme aşamalarından oluşan kompleks bir kimyasal süreç olarak ilerler. Bu süreçler sonucunda

aydınlatma amaçlı da kullanılabilecek yüksek verimlilikte LED'ler üretilir.

5. Kaynaklar

- [1] Market and Technology Reports, Status of the LED Industry, 2013 (<http://www.i-micronews.com/reports/Status-LED-Industry/14/394/>)
- [2] Aixtron MOCVD catalogue.
- [3] <http://www.edisontechcenter.org/LED.html>

