

Fizik Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

Mühendisleri Odası



E-Bülten Sayı 53

Temmuz-Ağustos

2020

Mesleki Derlemeler

Kristal Tabanlı Fotovoltaik Güneş Panelleri Kalite Kontrol Uygulamaları ve Önemi

Cenk YILDIRIM

Fizik Mühendisi, ProErk Mühendislik Yazılım Ltd. Şti.

cenkyildirim@yahoo.com

Giriş

Türkiye'deki kurulu panel gücü 6.000 MW'ı geçmiş durumdadır ve yine bu kurulu gücün Yenilenebilir Enerji ve Kaynak Alanları (YEKA) ihalelerinin sonuçlanması ve çatı kurulumlarının artması ile hızlı bir şekilde 10.000 MW sınırını aşması kaçınılmaz görünmektedir. Söz konusu projelerde yurt dışından ithal edilen güneş panellerine uygulanan yüksek vergiler sebebi ile kullanılan panellerin büyük çoğunluğu yerli üreticilerden tedarik edilmektedir. Ülkemizde ilk fotovoltaik güneş paneli üretimi 2000'li yılların ortasına dayanmakta olup 2020 yılı itibarıyla üretim kapasiteleri 1 MW/yıldan 800 MW/yıla varan aralıkta 30'u aşkın fotovoltaik panel üreticisi bulunmaktadır. Yerli üreticiler kazandıkları deneyimler sayesinde sadece Türkiye'de kurulan projeler ile sınırlı kalmayıp yurt dışında da pek çok projeyi başarılı bir biçimde tamamlamışlardır. Ancak özellikle Uzak Doğu'dan ithal edilen panellerin, projelerin zaman kısıtları sebebi ile kontrolsüz bir biçimde kurulması sonucu ülkemizde pek çok santralde uygunsuz panel kullanımı kaynaklı enerji üretim kayıpları gözlenmektedir.

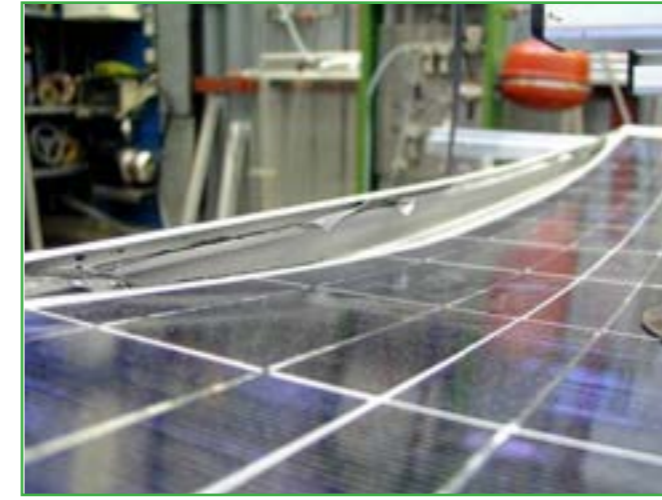
Bu kayıpların önemini anlamak için örnek vermek gerekirse Türkiye'de kurulu toplam santral gücünde yaşanacak % 1'lik bir verim kaybının yıl sonunda oluşturacağı zarar 100.000 MWh'ı bulabilir, bu da mevcut piyasa fiyatları ile 10.000.000 \$'lık bir parasal karşılığa denk gelmektedir. Sahada yapılan performans ölçümlerinde ise bazı güneş santrallerinde ölçülen verim kaybının % 10'ları aştığı tespit edilmiştir. Bu kayıpların bazıları montaj ve tasarım hataları sebebi ile olmakla birlikte büyük oranda güneş paneli kaynaklı verim düşüşleri gözlenmiştir.

Peki güneş panellerindeki hataları minimize etmek için özellikle üretim aşamasında ne gibi test ve kontroller yapılmalıdır?

Laboratuvar Testleri ve Sertifikasyon

Kristal tabanlı fotovoltaik modüllerin tasarımı, üretimi ve güvenlik ihtiyaçları için kullanılan temel standartlar IEC 61215-1, IEC 61730-1 ve IEC 61730-2'dir. Türkiye'deki yasal mevcut gereği özellikle şebeke bağlantılı sistemlerde bu standartlara göre sertifikalandırılmış panellerin kullanılması zorunludur.

Üretilen modüllerin sertifikasyon testine gönderilmeden tasarımının doğru yapılması büyük önem arz eder; hücreler, cam ve çerçeve gibi bileşenler arasındaki mesafelerin yeterli miktarda bırakılması maliyetleri bir miktar artırsa da hem imalat firelerinin azalması hem de uzun dönemde panellerin çalışma performansı için olumlu etkiye sahiptir. Bunun yanı sıra kullanılacak ham madde kalitesi ve birbiri ile uyumluluğu da bir diğer önemli parametredir. Bu aşamada yapılacak doğru seçimler PID (potential induced degradation), LID (light induced degradation), mikro çatlak, Snail Trail gibi pek çok panel kusurunun önüne geçmekte rol oynar. Yapılan ön tasarım ve üretim çalışmaları sonucu genelde 20 adet



Mekanik yük testi



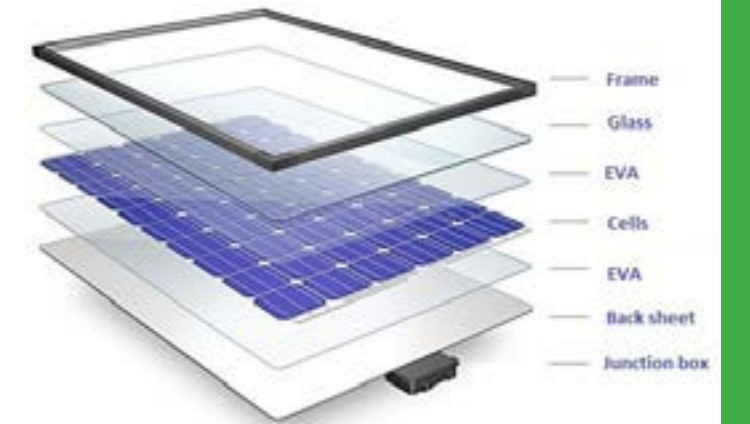
UV exposure testi

numune panel uzun zamanlı laboratuvar testleri için analize gönderilir ve bu testlerin tamamlanması genelde 9 ayı bulur. Bu aşamada panellere nemli ısı, termal döngü, UV exposure, yangın, mekanik yüklenme ve maksimum güç ölçümü gibi testler uygulanır. Eğer bu testlerin herhangi birinde problem yaşanır ise tasarım ve hammadde seçiminde değişikliğe gidilerek uzun vade de ortaya çıkabilecek sorunların önüne geçmek mümkün hale gelir.

Kullanılan Hammaddelerin Kalitesi ve Birbiriyle Uyumluluğu

Kristal tabanlı fotovoltaik modül üretiminde kullanılan temel hammaddeleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Güneş Hücresi
- Solar Cam
- Tab-Bus Ribbon (Bağlantı Telleri)
- Bağlantı Kutusu (J-Box)
- Enkapsülant (EVA vb.)
- Backsheet (Arka tabaka)
- Alüminyum Çerçeve
- Yapıştırma Silikonu/Bandı



radation), mikro çatlak, Snail Trail gibi pek çok panel kusurunun önüne geçmekte rol oynar. Yapılan ön tasarım ve üretim çalışmaları sonucu genelde 20 adet

Paneli Oluşturan Ham Maddeler ve Paneldeki Konumları

Türkiye’de fotovoltaik sanayinin gelişmesiyle birlikte kullanılan hammaddelerin büyük bir kısmı yerli olarak üretilmeye başlanmıştır. Bunun yanı sıra her bileşen için onlarca yurt dışı muadil üretici de bulunmaktadır. Doğru ham maddeyi seçmek için panel tasarımı esnasında temel kriterler maliyet ve kalite olarak ön plana çıkar. Ancak bunların dışında öngörülemez uzun vadeli etkiler de mevcuttur. Bunların başında ham maddelerin birbiri ile uyumu gelir. Örneğin; silikon için tasarlanmış bir alüminyum çerçeve de çoğu zaman çift taraflı yapıştırma bandı kullanıldığı da görülmektedir ya da hücreleri birbirine bağlayacak ribonlarda bağlantı yolları ile uyumsuz büyüklükte ve yetersiz gümüş katkıları teller kullanılabilir. Bunun gibi birbiri ile uyumsuz ya da düşük kaliteli ham madde kullanımı kısa vadede üretilen panellerin testleri geçmesi konusunda bir olumsuzluk arz etmemekle birlikte uzun vadede paneller sahaya kurulduktan yıllar sonra çeşitli problem ve hatalar gözlenmeye başlanmaktadır. Bunlardan en önemlisi hot spot ve snail trail olarak da bilinen fenomenlerdir. Bunun yanı sıra PID ve LID gibi sıkça görülen güç düşüşü yaratan durumlar da temel olarak panelde kullanılan ham maddeler ile ilgilidir.

Fabrika ISO 9001 ve Kalite Kontrol Prosedürleri

Özellikle büyük hacimli üretim yapan panel fabrikalarında tüm süreçlerin doğru yönetimi ve izlenebilirliği büyük önem arz etmektedir. Bunun içinde uluslararası standart olarak ISO 9001’i kullanmak işleri oldukça hızlandırıp kolaylaştırmaktadır. Giriş ham maddelerinin kontrolünden depolama koşullarına, üretimden nakliye ve müşteri memnuniyeti

takibine kadar tüm süreçler her bir fabrika için fotovoltaik panel üretimine göre özelleştirilerek kalitenin sürekliliği sağlanmalıdır. Böylece hem kalite artırılmış hem de pahalı ham maddeler kullanılarak üretilen modüllerde imalat fireleri azaltılmış olacaktır.

Fabrikada Test Aşamaları

Hücre-Ribbon Çekme (Peeling) Testi

Çekme testi temel olarak güneş hücresi ve ribbon tel arasındaki lehim sonrası yapışma miktarını ölçmek için kullanılır. Bu kontrol sonucu lehim kalitesi ölçülerek uzun yıllar elektrik ve ısı yükü altında çalışacak güneş panelleri içerisinde oluşabilecek bağlantı kopmaları ve mikro çatlaklar gibi istenmeyen durumların önüne geçilebilir.



Enkapsülant-Cam-Backsheet Çekme (Peeling) Testi

Laminasyon sonrası prosesin doğruluğunu ölçmek ve malzemelerin doğru yapışıp yapışmadığını test etmek için uygulanan bir çekme testidir.

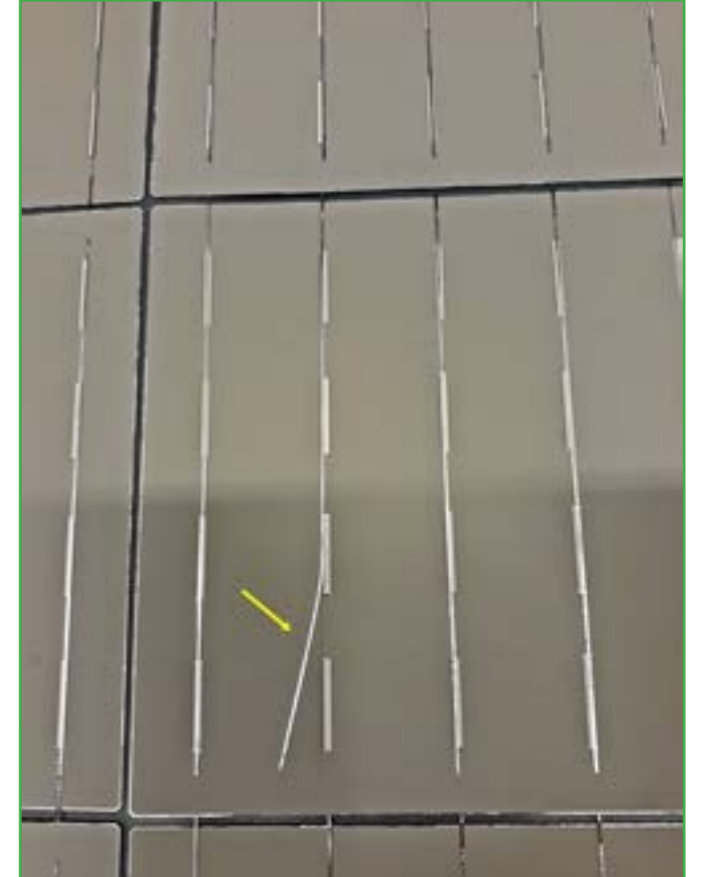
Jel İçerik Testi



Güneş panelleri 25 yıl boyunca atmosferik şartlar altında çalışabilecek şekilde üretilmelidir. Bunu sağlamanın en önemli yolu hücrelerin cam içinde lamine edilmesi işlemidir. Bu işlemin kalitesi hakkında bilgi sahibi olmanın temel yöntemi ise, jel içerik (jel content) testidir. Bu test sayesinde yapışma, sararma, delaminasyon gibi pek çok problem paneller santral sahasında gitmeden engellenebilir.

Hücre Dizilim Görsel Kontrol

Bu kontrolün amacı panel içinde lehimlenen alt dizelerin daha önceden belirtilen toleranslar içinde olduğunu kontrol etmektir, bunun yanı sıra hücreler arası bağlantı kaybı gibi durumlar da tespit edilerek laminasyon öncesi gerekli tamirat işlemleri yapılabilir.



Panel Dizilim Görsel Kontrol

Bu kontrol sayesinde panel üzerinde oluşabilecek asimetrik dizilimler kontrol edilir. Ayrıca panel içinde istenmeyen yabancı maddeler var ise, temizleme işlemi bu aşamada yapılır.



Panel Görsel Kontrol

Bu aşamada paneller müşteriye teslim edilmeden önce asimetri, kirlilik, yabancı madde gibi kusurlara göre kontrol edilerek ayrılır, eğer modüller bu kriterleri karşılamıyor ise genelde "B sınıfı" olarak ayrılır.



Elektrolüminesans Kontrolü (Laminasyon Öncesi)

Laminasyona hazır olan yarı mamul panellere bu aşamada son kontrol yapılır, panel üretimi esnasında oluşabilen elektriksel bağlantı hataları, mikro çatlaklı güneş hücreleri gibi pek çok kusur bu noktada ayrılıp tamir edilerek üretim esnasında oluşabilecek fire miktarı büyük oranda azaltılabilir.

Toprak Süreklilik, İzolasyon ve Yüksek Voltaj Testi

Bu testler sayesinde güneş panellerinin özellikle montaj ve işletme aşamasında ortaya çıkabilecek can güvenliği ile ilgili olası kusurları elektriksel olarak ölçülür. Hatalı paneller ayrılarak duruma göre tamir ya da imha edilir.



Güç Ölçümü

Üretilen modüllerin beyan edilen güç sınıfında olup olmadığı, olası hücre ve diyot arızaları bu aşamada tespit edilir. Üretim hattında yapılan en önemli test güç ölçümü aşamasıdır. Ancak bu testin yapılabilmesi için en kritik nokta test ünitelerinin kalibrasyonlarının düzenli yapılması ve akredite bir laboratuvar tarafından üretilen kalibrasyon panellerinin kullanılmasının gereğidir.



Ölçümler 1000 W/m² ışınım, AM 1.5 spektrum, 25°C sıcaklık şartları olarak bilinen STC'de (standart test conditions) yapılır. Bu şartların oluşturulması için fabrikalarda güneş simülatörü olarak adlandırılan özel ölçüm cihazları kullanılır.

Paketleme Öncesi Elektrolüminesans Testi

Elektrolüminesans görüntüleme, fotovoltaik modüllerin voltaj geri beslemesi sonucu yaydığı üst kızılötesi dalga boyundaki ışığı analiz ederek, modülü oluşturan hücreler üzerindeki kristal yapı hakkında bilgi veren bir yöntemdir.

Bu yöntem kullanılarak; modül üzerinde oluşan mikro çatlaklar, hücre ve modül üretimi esnasında oluşan problemler (lehim kusurları, omik kontaklar vb), modül montajında oluşan arızalar ve çalışmayan bölgeler kolaylıkla belirlenebilir.

Paketleme öncesi yapılan elektrolüminesans

testi üretim esnasında oluşan mikro çatlakların tespitini sağlar, bu sayede paneller kalite kriterlerine göre sınıflandırılarak ayrılır.

Bu test sayesinde üretici güneş panellerinin sevkiyat öncesi durumlarını kayıt altına alarak ileride ortaya çıkabilecek olumsuz durumlara karşı kendi güvence altına alır.

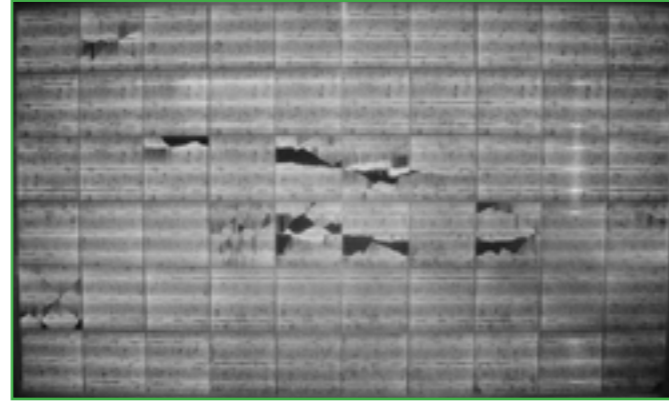
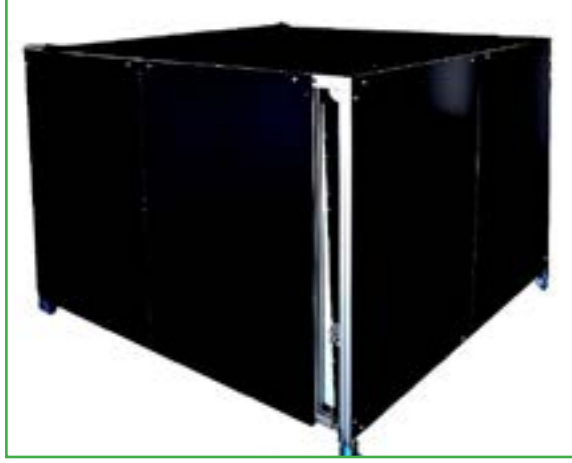


Fotovoltaik modüller üretildikten sonra uygun bir şekilde taşınıp montajları yapılmazsa aynı şekilde hücrelerinde yapısal kusurlar oluşur. Bu kusurların laboratuvar ortamında tespit edilmesi çok zahmetli ve maliyetli olacağından santral sahasında tespit edilmesi daha uygundur.

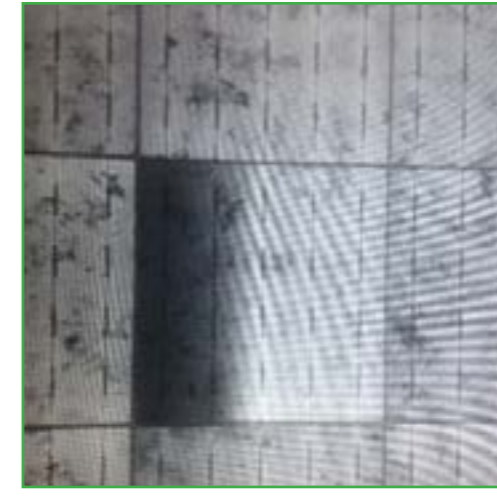
Proerk Mühendislik, Ar-Ge çalışmaları netice-

sinde geliştirdiği elektrolüminesans üniteleriyle hem fabrika ortamında hem de santral sahasında elektrolüminesans test hizmeti vermektedir. Geliştirmiş

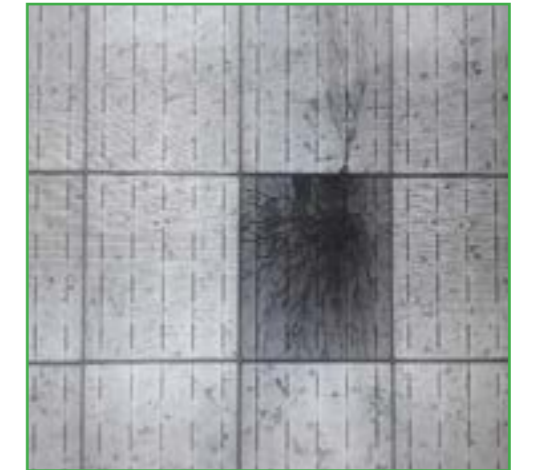
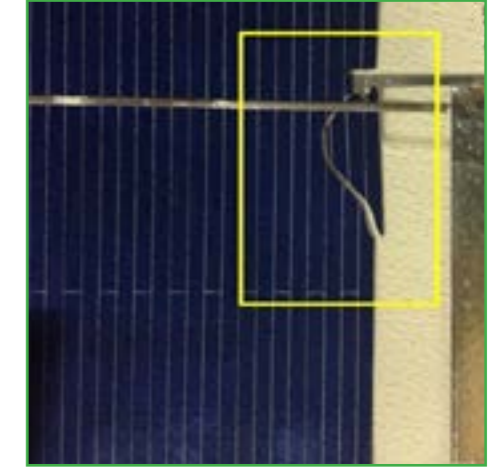
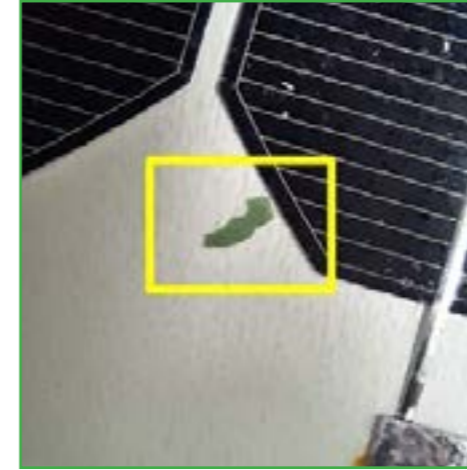
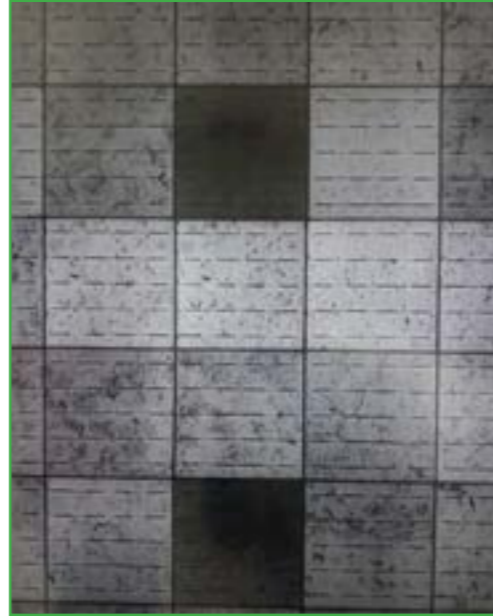
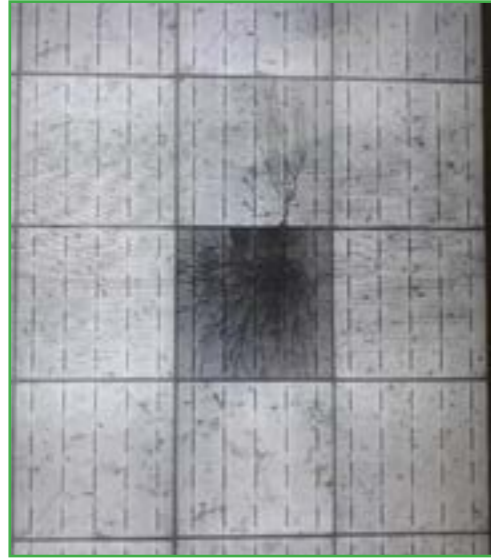
olduğumuz Elektrolüminesans ünitesiyle çekilmiş olan EL görüntüsünden bir örnek de aşağıda verilmiştir:

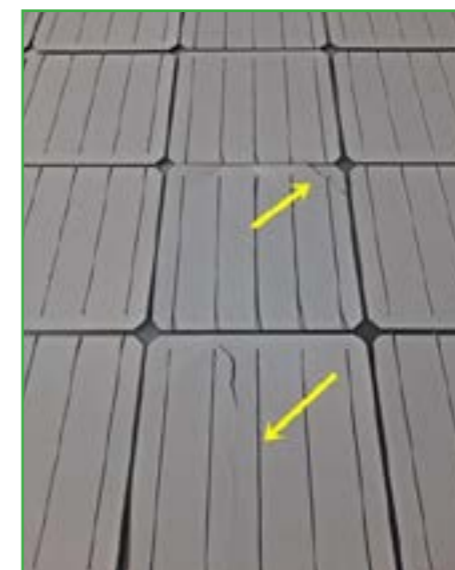
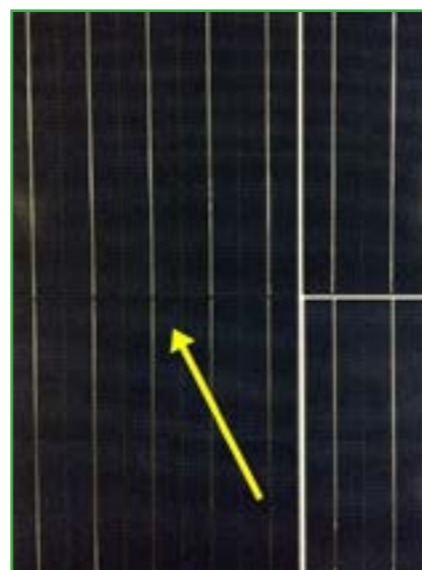
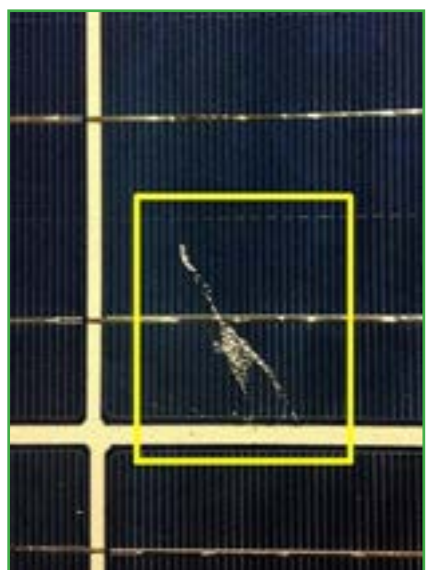
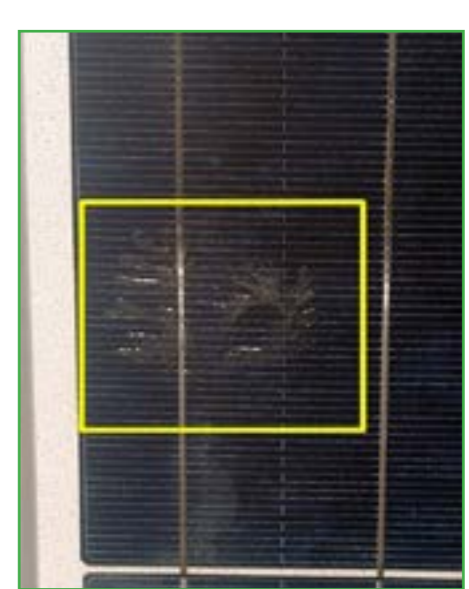
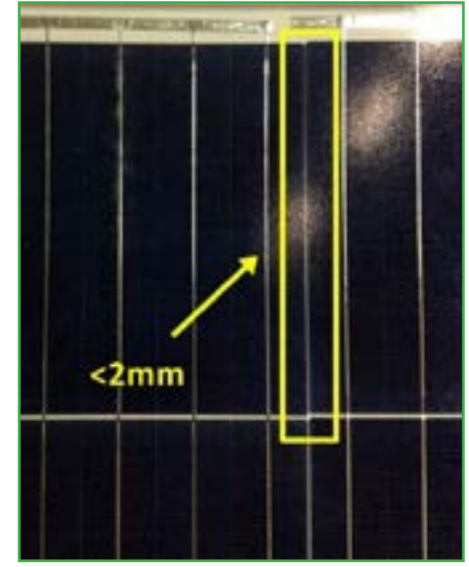
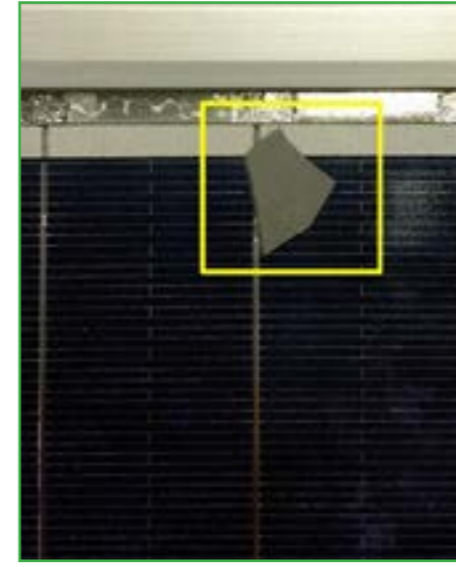
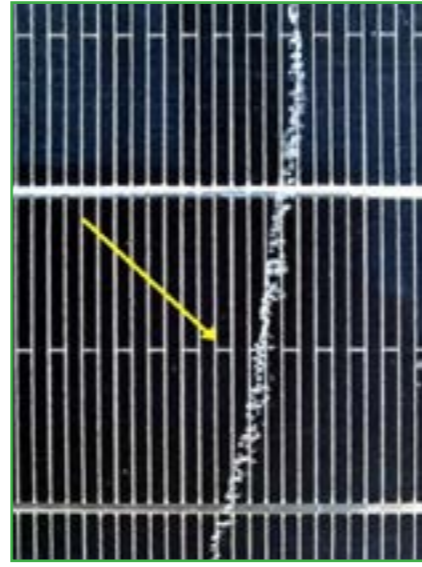


Hatalı Panel Elektrolüminesans (EL) Fotoğrafları



Proerk Mühendislik Tarafından Sahada Tespit Edilen Bazı Üretim Hataları





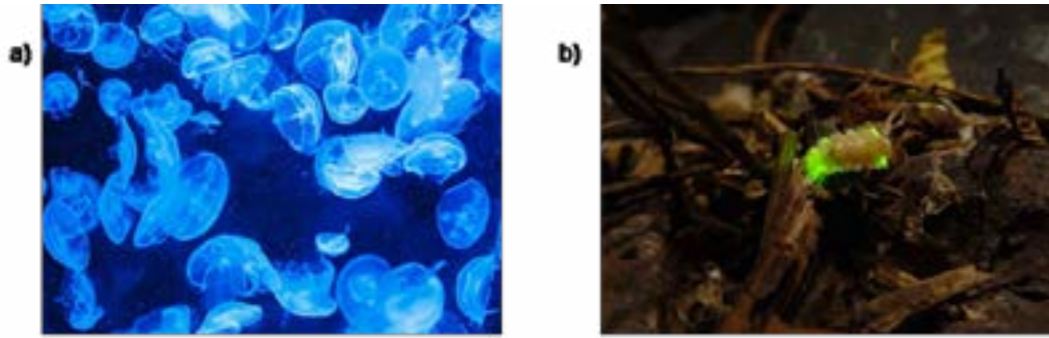
Mesleki Derlemeler

Işıldamanın Kısa Bir Tarihi

Dr. Selin PIRAVADILI MUCUR
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü
Fotonik ve Elektronik Sensörler Laboratuvarı
selin.piravadili@tubitak.gov.tr

TÜBİTAK'ın tüm günlük döngüsü; onun güneş, ay ve yıldızlar, kısaca ışık ile olan ilişkisine bağlıdır. Tarih öncesi dönemlerden beri ışık insanlığı büyülemiş ve insanoğlunda merak uyandırmış ve ona dini ve felsefi anlamalar katmasına neden olmuştur. "Işıldama"nın ya da diğer adıyla da "lüminesans"ın tarihi milattan önceki (M.Ö.) zamanlara dayanmaktadır. Güneş, yıldırım, kutup ışıkları, ateş, ay ve ışıldayan canlılar gibi nereden geldiği bu bilinmez ışık insanlığı büyülemiş olmalıdır. Elbette ki, gözleme dayalı olan bu tarihsel bulgulara Sanskritçe yazılı varoluşun temel nedeni ve kökenini anlatan Hint

metinlerinde ateşböceklerine atıflarla rastlamak mümkündür [1]. Ateşböcekleri, larvalar, fener balığı, mercanlar ve planktonlar biyo-ışımaya (biyolüminesans) yaparlar. Herhangi dış kaynağa gereksinim duymadan üreme, avlanma, ilişki kurma ve savunma gibi temel nedenlerle Şekil 1'de görüldüğü gibi kimyasal enerjinin kimyasal bir tepkime sonucu ışık olarak dışarı çıkması olayıdır. Bu özellikteki canlılar renk veren lüsiferin proteinini ve lüsiferaz enzimini üretir. Lüsiferin proteininin oksijen ile kimyasal tepkimeye girmesi sonucu ışıldama meydana gelir.



Şekil 1.
Bioluminesans yapan
a) deniz anaları
b) ateşböceği
c) fener balığı.



Yunan filozofu Aristoteles (M.Ö. 384-322) "Hayvanların Tarihçesi" adlı eseriyle canlılardaki ışımayı inceleyen ilk kişi olarak bilinmektedir ve oldukça geniş bir soğuk ışık bilgisi ortaya koymuştur. Aristoteles ölü balığın, etin ve ayrıca mantarların ışıldamasını gözlemlemiştir.

Lüminesans kelimesi ilk kez 1888 yılında bir Alman fizikçi ve bilim tarihçisi Eilhard Wiedemann tarafından kullanılmıştır [2]. Latince "lümen", "ışık" anlamına gelmektedir. Bu özelliği gösteren malzemelere de "ışıyan malzemeler", daha sonra keşfedilen Fosfor malzemeler de "ışık taşıyıcı" malzemeler olarak bilinirdi. Gerçekte ışıldama, maddelerin, ısı değişimsiz elektromanyetik (em) ışınım yapmasıdır. Kaynağın ısısında bir değişim olmaması nedeniyle "soğuk ışık" olarak da adlandırılır. E. Wiedemann ışıldamayı halen geçerli bir sınıflama olan uyarılma durumuna bağlı olarak altı gruba ayırmıştır.

1. Fotolüminesans; Işıkla uyarılma ile elde edilen ışıldamadır. (**Şekil 2a**).

2. Tribolüminesans; Mekaniksel ışıldama: Malzeme ayrıldığında, yırtıldığında, çizildiğinde, ezildiğinde veya ovulduğunda ışıldamanın elde edilmesidir (**Şekil 2b**). Mekanik ışıldama birçok mineralin ışıldaması nedeniyle muhtemelen insanlığın mağaralarda yaşadığı dönemde keşfedildi. Bunun yanında, 1605 yılında Francis Bacon "bıçakla kenarı kazınan sert şekerin ışık verdiğini" bildirdi [3]. 1700'lerin sonunda, kuvars, elmas, yakut, bazı mineral ve seramik malzemelerin mekaniksel ışımaya sergilediği

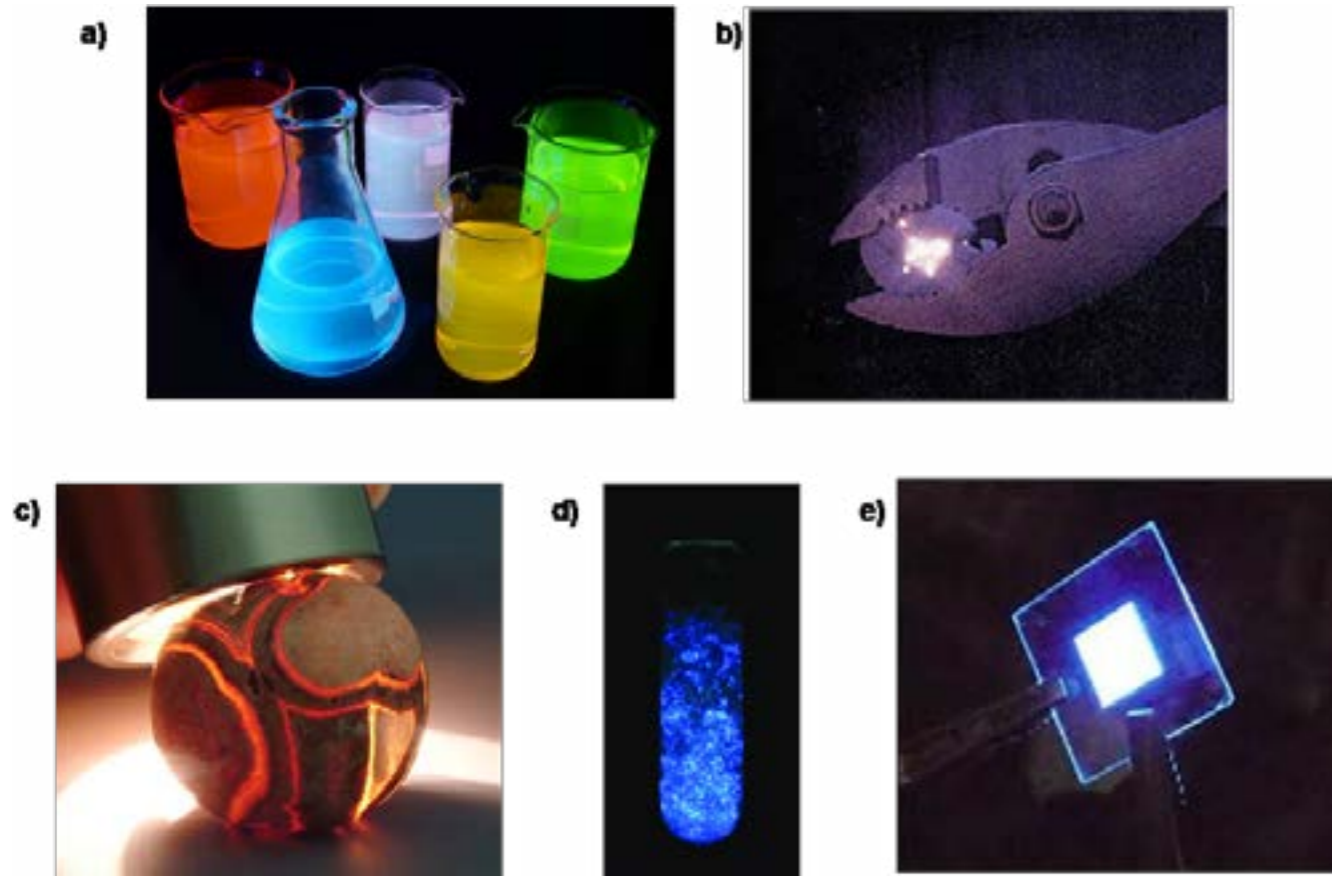
rapor edilmiştir [4].

3. Termolüminesans; Isıl ışıldama: Öncesinde em radyasyondan veya diğer iyonlaştırıcı radyasyondan enerji emildiğinde, sonradan malzemenin ısıtılması üzerine elde edilen ışıldamadır (**Şekil 2c**). Wiedemann ve Schmidt (1895) floritte ve $CaF_2:Mn$ 'de termolüminesansı (TL) raporlayan ilk kişilerdir [5]. Daha sonra 1700'ün başında Oldenberg [6] ve sonrasında 1940-1950 yıllarında Farrington Daniels ve çalışma arkadaşlarının araştırmaları öne çıkmıştır [7].

4. Kristalloluminesans: Kristalleşme sırasında üretilen ışıldamadır. İlk olarak 1800'lerde sulu bir çözeltiden potasyum sülfatın hızlı kristalleşmesi sonucu bildirilmiştir. (**Şekil 2d**).

5. Kemilüminesans; Kimyasal tepkime sonucu ışıldama. Tüm biyo-ışımalar kemilüminesans örnekleridir.

6. Elektrolüminesans; Elektriksel ışıldama: Malzemenin içinden geçen elektrik akımına veya malzemeye uygulanan elektriksel alana tepki olarak elde edilen ışıldamadır (**Şekil 2e**). Kalsiyum sülfürün fosforesans malzeme olarak 1700 yılında Friedrich Hoffmann tarafından sentezi, 1817 yılında J. F. John tarafından stronsiyumsülfür sentezi ve 1865 yılında Çinkosülfürün Theodor Sidot tarafından sentezi gerçekleştirilmiştir [8]. Destriau [9] 1936 yılında katılarda fosfor bazlı yüksek alan altında elektrolüminesansın keşfini yapmıştır.



Şekil 2. Uyarılma durumuna bağlı olarak a) Fotolüminesans; UV ışık altında çözeltilerden elde edilen ışıldama [10], b) Tribolüminesans, nane şekerinin ezilmesiyle elde edilen ışıldama [11], c) Termolüminesans, ısı işlem altında ışıldayan seramik [12], d) Kristalloluminesans; Sulu çözelti içinde sodyum klorürden elde edilen ışıldama [13], e) Elektrolüminesans; mavi renk organik ışık yayan diyot (OLED) [14].

İşıldamanın tarihini anlatırken Bologna (Barit) taşından da bahsetmek önemlidir. İtalyan kuduracı ve simyacı Vincenzo Cascariolo, 1603 yılında doğal mineral bariti ($BaSO_4$) altın yaratmak için kullanmış, fakat altın elde etmek yerine kalıcı olarak ışıldayan bir malzeme elde etmiştir [15]. Böylelikle Bolognian taşı meşhur olmuş, gelecek yıllar için çalışma konusu yaratmış ve günümüze geldiğimizde barit taşı takı ve süslemelerde kullanılmaktadır.

Robert Boyle'un başlıca işıldama çalışmaları elmaslarla başlamış, parlayan ahşap, balık ve ete genişlemiş ve fosfor elementiyle sona ermiştir. Boyle muhtemelen fosforesans, termolüminesans, elektrolüminesans ve tribolüminesans elmasla tanımlayan ilk kişidir [16]. 1684 yılında Waller, beyaz

şeker, somun şekeri ve kaya tuzu gibi maddelerin bir havanda ezildiğinde yoğun bir ışık elde ettiğini bildirmiştir [17].

Hindistan'da 1920'lerden itibaren boya maddeleri, organik bileşikler, nadir toprak bileşikleri, yakut, elmas ve korindon (korendon, alüminyum oksit minerali) gibi ultraviyole ve görünür radyasyonlara maruz kalan doğal minerallerin işıldaması üzerine çalışmalar bildirilmiştir [18]. 1940'tan sonra, X-ışınları, UV, katot ışınları ve iyonlaştırıcı radyasyonlar tarafından uyarılan fosforların işıldama özellikleri üzerine çalışmalar Hintli bilim adamları tarafından gerçekleştirilmiştir. Raman ve öğrencileri [19-21] elmas kristallerinin işıldama özelliklerinin açıklanmasında temel katkılarda bulunmuşlardır.

Aydınlatma tarihi sadece birkaç asırdır, ilk

zamanlarda ışık kimyasal yollarla üretilmiştir. Bu oldukça verimsiz bir yol olsa da, üretilen ısı metal aletlerin gelişimini ve yiyeceklerin pişirilmesini sağlayarak insanların hayatlarını iyileştirmiştir. Bu, teknolojik yeteneklerin hızlı bir şekilde arttığının göstergesidir. Daha sonra mum ve kandil gibi özel ışık kaynakları geliştirilmiştir. Işık kaynaklarındaki gelişmeler, fiziksel ve kimyasal süreçler konusundaki artan anlayışımız yeni ışık kaynakları üretimine yol açmaktadır. Işık üretiminin hala oldukça verimsiz olduğu akkor lambalarda, bir tel filamentini ısıtmak için elektrik akımı kullanılır ve bu da parlamasını sağlar. Akkor lambanın çalışma prensiplerini anlamının kuantum mekaniği gerektirdiğini belirtmek de ilginçtir. Akkor lambaların geniş çaplı üretimi için cam, vakum teknolojisi ve metalürji gerektiriyordu. Geliştirilen vakum teknolojisi daha sonra elektron tüplerinin, X-ışını tüplerinin ve gaz deşarj lambalarının geliştirilmesinde çok önemliydi. Gaz deşarj lambalarında, hem ısı hem de ışık yaratan bir gaz deşarjı üretilir. Işık, gaz fazındaki uyarılmış atomlar veya moleküller tarafından üretilir. Birçok gaz deşarj lambası, deşarj tarafından üretilen ışığı emen ve farklı bir frekansta ışığa dönüştüren parlak malzemeler kullanır. Fosfor malzemelerin geliştirilmesi, yüksek saflıkta malzeme bilimi gerektirmektedir.

Ekim 2014'te Nobel Ödülü'nün 3 Japon bilim insanına verilmesiyle ışığın bir kez daha merkezi bir konumda olduğu anlaşılmıştır [22]. Isamu Akasaki, Hiroshi Amano ve Shuji Nakamura, enerji tasarruflu ve çevre dostu yeni bir ışık kaynağı olan mavi ışık yayan diyot (LED) icat ettikleri için ödüllendirilmişlerdir. Nobel Ödülü insanlığa en büyük yararı sağlayan bir buluşa verildiğinden; mavi LED kullanarak beyaz ışık eldesi yeniden oluşturulabilmektedir. LED lambalar eski ışık kaynaklarına göre daha uzun ömürlü

ve daha verimlidir. Kırmızı (1950) ve yeşil ışık yayan diyotlar neredeyse yarım asırdır bizimle birlikte, ancak aydınlatma teknolojisinde gerçekten devrim yapmak için mavi ışığa ihtiyaç olduğundan mavi LED'in keşfi son derece önemlidir. Sadece kırmızı, yeşil ve mavi üçlüsü aydınlatma amacıyla kullanabilen beyaz ışığı üretebilmektedir. Mavi ışık otuz yıl boyunca bir sorun olmaya devam etti. I. Akasaki, H. Amano ve S. Nakamura inorganik yarı iletkenlerden parlak mavi ışık elde ettiklerinde, aydınlatma teknolojisinin temel bir dönüm noktasına ulaşılmıştır. Akkor ampuller 20. yüzyılı aydınlattı; 21. yüzyılı da LED lambalar aydınlatmaya başlamıştır.

Işık yayan bir diyodun yapısına baktığımızda, bir dizi katmanlı yarı iletken malzemeden oluştuğunu görebiliriz: negatif elektron fazlalığı olan n-tipi bir tabaka ve pozitif boşluk fazlalığı olan bir tabaka olarak da adlandırılan bir p-tipi tabaka. Aralarında, yarı iletkene bir elektriksel gerilim uygulandığında negatif elektronların ve pozitif deliklerin yönlendirildiği aktif bir katman vardır. Elektronlar ve boşluklar birleştiğinde yeniden birleşirler ve ışık meydana gelir. Işığın dalga boyu tamamen yarı iletkene bağlıdır; mavi ışık kısa dalga ucunda olduğundan sadece bazı malzemelerde üretilebilir. LED'de, elektrik doğrudan fotonlara dönüştürülür, elektriğin çoğunun ısıya ve sadece küçük bir miktarın ışığa dönüştürüldüğü diğer ışık kaynaklarına kıyasla verimlilik çok daha fazladır. Bu nedenle, yeni LED'ler eski ışık kaynaklarına kıyasla ışık yaymak için daha az enerji gerektirir. Bir yarı iletken yayılan ilk ışık raporu 1907 yılında Nobel Ödülü sahibi 1909 Guglielmo Marconi'nin iş arkadaşı Henry J. Round tarafından yazılmıştır. Daha sonra 1920'lerde ve 1930'larda Sovyetler Birliği'nde Oleg V. Losev [23-25], ışık yayılımı ile ilgili daha yakın çalışmalara girişlerdir.

Katı hal ışık kaynaklarının tarihsel gelişimi üzerine literatür mevcuttur [26-28].

Organik ışık yayan diyotlara (OLED) baktığımızda ise temel yapısı Şekil 3'te görüldüğü gibi organik katmanların iki elektrot arasına yerleştirilmesiyle oluşmaktadır.

Burada, genellikle indiyum kalay oksit (ITO) ve

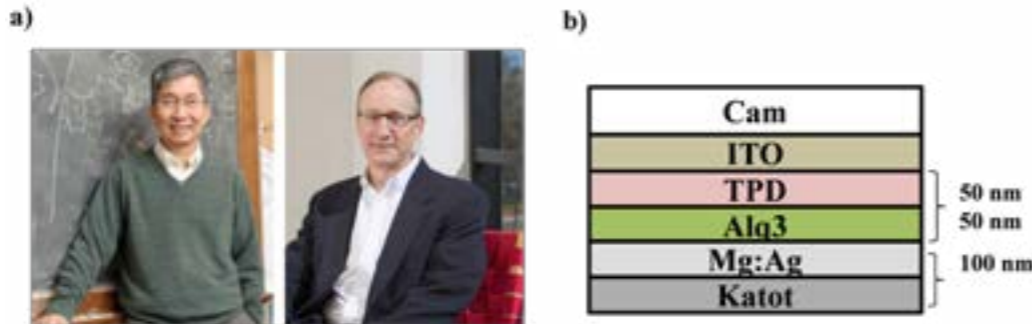


Şekil 3: Temel OLED yapısı.

metal (alüminyum, gümüş, altın v.b.) sırasıyla anot ve katot olarak rol oynamaktadır. Anot-katot arasına elektrik alan uygulandığında organik katmanlardan oluşan boşluk taşıyıcı tabaka (HTL) ve elektron taşıyıcı tabaka (ETL) arayüzünde kontak oluştururlar. Böylece, bu bölgede etkili elektron-boşluk birleşmesi meydana gelerek ışınım elde edilmektedir. Boşluk ve elektron iletimi birbirinden bağımsız olarak iyileştirilebilmektedir, böylece boşluk ve elektron akımı dengelenebilmektedir. Yayılan ışığın rengi ise farklı ışık yayan organik malzemelerin kullanılmasıyla elde edilmektedir. Organik ışıldamanın tarihine baktığımızda, 1953'te Bernanose ve çalışma grubu tarafından AC

Şekil 4: Verimli ve düşük çalışma gerilimine sahip ilk organik ışık yayan diyot teknolojisi

a) Ching Tang ve Steven van Slyke; Eastman Kodak
b) aygıt mimarisi.



modda ve 1963' te Pope ve çalışma grubu tarafından DC modda çalışan ilk organik elektrolümine-sans (EL) hücresi imal edilmiştir [29]. Daha sonra, ışık yayan polimer kullanılarak AC modda çalışan aygıt yapılmıştır []. Parlak bir EL, toz grafit elektrotlu antrasen kristalinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Antrasen kristali içinde boşluk akımı ilk kez Martin Pope ve çalışma grubu tarafından 1960 yılında gözlenmiştir. Yeni ufuklar açan bu keşifte, elektron ve boşluk enjekte eden kontak malzemelerinin enerji seviyelerinden de bahsedilmiştir [30]. Üç yıl sonra aynı grup, doğru akım (DC) uygulayarak tek kristal ve safsızlık içeren antrasenden elektrolüminesansı ilk olarak gözlediğini bildirmiştir [31]. Bunu takiben, Helfrich ve Schneider tek kristal antrasende boşluk ve elektron enjekte eden elektrotlar kullanarak EL üretmeyi başarmışlardır. 1982 yılında, Vincentt ve çalışma grubu EL elde etmek için organik ince filmi (0.6 µm) vakum ortamında termal buharlaştırma yöntemiyle kaplamışlardır [32]. Çalışma gerilimi 100 V' nin altına düşürülmüş ancak, EQE hala çok düşük kalmıştır (~%0.05).

Şekil 4a' da görüldüğü gibi 1980' lerde Tang ve Van Slyke çığır açan çalışmada, boşluk ve elektron iletiminden sorumlu iki ince organik film katmanlarıyla (toplam kalınlığı ~135 nm) özgün bir aygıt yapısı ile EL üretilmişlerdir (Şekil 4b). Parıltı değeri yüksek ilk OLED çok katmanlı ince film aygıtların üretimiyle elde edilmiştir [33,34]. Bu keşif, bu alandaki gelişmelerin hızlanmasını teşvik etmiştir.

1970' lerin ortasına gelindiğinde, kristal ve amorf organik bazlı EL aygıtların gelişmelerine paralel olarak, çözeltiden ve ucuz yöntemlerle işlenebilirlikleri nedeniyle polimerler araştırılmaya başlanmıştır. İlk polimer OLED çalışmaları, poli(vinilkarbazol) (PVCz) filmi kullanarak İngiltere ulusal laboratuvarında gerçekleştirilmiştir [35].

1990 yılında Friend ve Burroughes'in ITO üzerine polifenilen-vinilen'i (PPV,100 nm) dönel kaplama yöntemiyle kaplayarak yüksek verimli yeşil ışık yayan aygıt elde etmişlerdir [36].

Baldo'nun 1998 yılında yaptığı çalışmada fosforesans katkılı platinyum okta-etilporfin (PtOEP) kullanılarak üçlü eksitonların (triplet) sayesinde % 25 olan iç verim sınır değeri aşılmıştır. Daha sonra Adachi ve çalışma arkadaşları geniş band aralıklı malzemeye fosforesans katkılı olarak iç kuantum veriminde (IQE) ise % 100'lere yaklaşmışlardır [37].

Kaynaklar

1. Paul Deussen, Sixty Upanishads of the Veda, Volume 2, Motilal Banarsidass, ISBN 978-8120814691, pages 556-557
2. https://research.uni-leipzig.de/catalogus-professorum-lipsiensium/leipzig/Wiedemann_1039/
3. F. Bacon, The Advancement of Learning, Book IV, Chap. 3, 1605
4. T. Wedgwood, Experiments and observations on the production of light from different bodies, by heat and by attrition, Phil. Trans. 82 (1792) 270-282
5. E. Wiedemann, "Über Fluorescenz und Phosphorescenz, I. Abhandlung" (On fluorescence and phosphorescence), Annalen der Physik 34 (1888) 446-463
6. H. OLDENBERG, Phil. Trans. Abrdg. 3 (1705) 345.
7. Getman, F. H., & Daniels, F. (1943). Outlines of physical chemistry. New York: J. Wiley and Sons, Inc.
8. T. Sidot, Recherches sur la cristallisation de quelque sulphures métalliques et sur les propriétés de la blende hexagonale, Comptes Rend. Acad. Sci. Paris 62 (1866) 999
9. G. Destriau, Recherches sur les scintillations des sulfures de zinc aux rayons. J. Chim. Phys. 33 (1936) 587
10. <https://en.wikipedia.org/wiki/Photoluminescence>
11. Monette, Z., Kasar, A.K. & Menezes, P.L. Advances in triboluminescence and mechanoluminescence. J Mater Sci: Mater Electron 30, 19675–19690 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02369-8>
12. <https://archaeologynewsnetwork.blogspot.com/2015/04/thermoluminescence-dating-refined>.

Organik malzemelerin çeşitliliği, kimyasal yollarla özelliklerinin ayarlanabilirliği, kompozisyonunun kontrolü ve inorganik malzemelere göre basit işlenebilirliğinin olması gibi özellikleriyle ışık yayan aygıtlar (LED) için cezbedici olmuştur. Bu hem küçük molekül OLED' ler (SMOLED) ve hem de polimer LED' ler (PLED) için halen hızlı bir oranda büyüme devam eden yoğun araştırma ve geliştirme alanı yaratmıştır [38-39].

Organik moleküller hızla gelişmeye devam etmektedir. Son on yılda geliştirilen, termal olarak gecikmeli floresan moleküller (TADF) [40-41] ve hiperfloresan moleküller [42] aydınlatma sektöründe gelecek vadetmektedir.

Sonuç olarak, ışıldama ve ışık ateşböceklerinden başlayarak LED'lere gelene kadar tüm bu tarihsel serüveninde dini ve felsefi yorumlara malzeme olmuş, efsanelere taşınmış fakat sonunda akıl ve bilim ile açıklanarak arındırılmıştır.



html

13. J. Chem. Phys. 136, 064512 (2012); <https://doi.org/10.1063/1.3684548>
14. <https://www.printedelectronicsworld.com/articles/3573/true-blue-light-emission-improves-led-displays>
15. J.Holsa, Persistent luminescence beats the afterglow: 400 years of persistent luminescence, *Electrochem. Soc. Interface* 18(4) (2009) 42–45
16. R. Boyle, Experiments and considerations touching colours, *Royal Society Proceedings, London*, 1664, pp. 413- 423.
17. R. Waller, *Essayes of natural experiments made in the Academie del Cimento*, Original Italian written in 1667: Translation by Waller in 1684, 160 pp. London.
18. H.N. Bose, Luminescence and allied phenomena. *Ind. J. Hist. of Science* 27(4) (1992) 409-419.
19. S. Bhagavantam, *Indian J. Phys.* 5 (1930) 169.
20. Mani, The fluorescence and absorption spectra of diamond in the visible region, *Proc. Indian Acad. Sci.* 19 (1944) 231-252; Spectroscopic study of luminescence patterns in diamond, *Proc. Indian Acad. Sci.* 20 (1944) 155-162.
21. P.G.N. Nayar, *Proc. Indian Acad. Sci. A* series of 6 papers appeared in Vol. 13-15 (1941-42).
22. Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm, <http://kva.se>, and at <http://nobelprize.org>
23. O.V. Losev, Luminous carborundum detector and detection effect and oscillations with crystals, *Phil. Mag.* 5 (39) (1928) 1024–1044; doi:10.1080/14786441108564683
24. O.V. Losev, *Physik. Zeitschr.* 34 (1933) 397–403.
25. N. Zheludev, The life and times of the LED – a 100-year history, *Nature Photonics*, 1 (2007) 189-192.
26. E.F. Schubert, and K.J. Kyu, Solid-State Light Sources Getting Smart, *Science* 308 (2005) 1274.
27. N. Savage, LEDs light the future, *Technology Review* 103(5) (2000) 38–44.
28. V.K. Khanna, *Fundamentals of Solid State Lighting: LEDs, OLEDs, and Their Application in Illumination and Displays*, CRC Press, Boca Raton, FL., USA, 2014.
29. Pope, M., H. Kallmann, and P. Magnante, Electroluminescence in organic crystals. *The Journal of Chemical Physics*, 1963. 38(8): p. 2042-2043

30. Hartman, W.A. and H. Armstrong, Electroluminescence in organic polymers. *Journal of Applied Physics*, 1967. 38(5): p. 2393-2395.
31. Kallmann, H. and M. Pope, Bulk conductivity in organic crystals. *Nature*, 1960. 186(4718): p. 31.
32. Pope, M., H. Kallmann, and P. Magnante, Electroluminescence in organic crystals. *The Journal of Chemical Physics*, 1963. 38(8): p. 2042-2043
33. Vincett, P., et al., Electrical conduction and low voltage blue electroluminescence in vacuum-deposited organic films. *Thin solid films*, 1982. 94(2): p. 171-183.]
34. Tang, C.W. and S.A. VanSlyke, Organic electroluminescent diodes. *Applied physics letters*, 1987. 51(12): p. 913-915.
35. Partridge, R., Electroluminescence from polyvinylcarbazole films: 3. Electroluminescent devices. *Polymer*, 1983. 24(6): p. 748-754.
36. Burroughes, J.H., et al., Light-emitting diodes based on conjugated polymers. *nature*, 1990. 347(6293): p. 539
37. Adachi, C., et al., Nearly 100% internal phosphorescence efficiency in an organic light-emitting device. *Journal of Applied Physics*, 2001. 90(10): p. 5048-5051.
38. Nalwa, H.S., *Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices*, Ten-Volume Set. Vol. 1. 2000: Academic Press.
39. Shinar, J. and V. Savvateev, Introduction to organic light-emitting devices, in *Organic Light-Emitting Devices*. 2004, Springer. p. 1-41.
40. Endo, A., et al., Efficient up-conversion of triplet excitons into a singlet state and its application for organic light emitting diodes. *Applied Physics Letters*, 2011. 98(8): p. 42.
41. Zhang, Q., et al., Efficient blue organic light-emitting diodes employing thermally activated delayed fluorescence. *Nature Photonics*, 2014. 8(4): p. 326
42. <https://www.fluxim.com/tadf-oled-simulation>

ÖĞRENCİ ÜYELERİMİZE ÖDÜLLÜ MANTIK SORUSU



Murat'la Zeynep iki kardeş, her gün okula otobüsle gidiyorlar. Akşamları anneleri, ders bitiminde okulda olacak şekilde, evden arabayla çıkıyor, çocukları okuldan alıyor ve birlikte eve dönüyorlar. Bir gün, öğretmen gelmediğinden, okul erkenden tatil ediliyor... Murat'la Zeynep okuldan çıkıp, annelerinin geleceği yoldan eve doğru yürümeye başlıyorlar; 30 dakika yürüdükten sonra annelerinin arabasıyla karşılaşıyorlar ve eve her zamankinden 40 dakika önce dönmüş oluyorlar.

Okul kaç dakika erken tatil edildi?

- a- 30 dakika b- 40 dakika c- 50 dakika d- 70 dakika

Geçen haftanın ödüllü mantık sorusu



Bir banyo küvetin dolması 18 dakika sürdü, halbuki normal olarak 6 dakikada küvet doluyordu... (dalgınlıkla boşaltma borusunun tıpasını açık bırakmışım)... Musluğu kapattım. Musluğu kapattıktan sonra, bizim dolu küvet kaç dakikada boşaldı dersiniz?

SORUNUN CEVABI

Küvet bir yandan doluyor bir yandan boşalıyor ve sonuçta dola biliyorsa boşalma hızı dolma hızından daha küçük demektir; yani boşalma süresi dolma süresinden daha uzun olacaktır.

Dolu küvetin (K) Boşalma hızına B dakika/K diyelim. Boş küvetin Dolma hızı D = 6 dakika/K olduğuna göre, 1 dakikada Küvetin 1/6 kadarı dolarken 1/B kadarı boşalıyor. Küvet 18 dakikada doldu; bu demektir ki, (1/6 - 1/B) küvetin 18 de 1' idir; öyleyse,

$$1/B = 1/6 - 1/18 = 1/9 \quad \text{veya} \quad \mathbf{B = 9 \text{ dakika}}$$



TMMOB'den Haberler

TMMOB Yönetim Kurulu ve Oda Başkanları Ortak Toplantısı



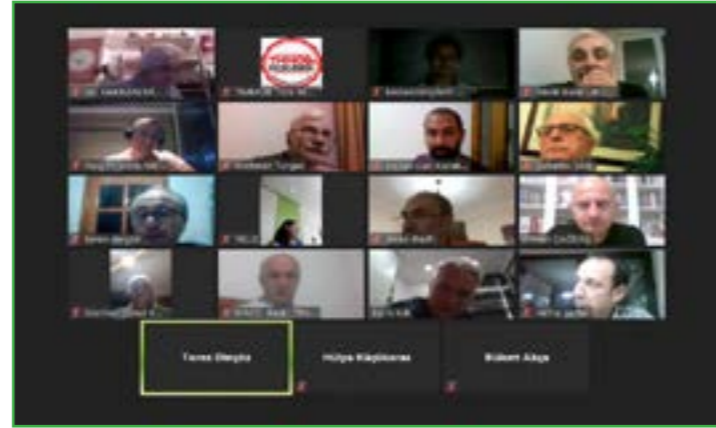
TMMOB Yönetim Kurulu ve Oda Başkanları Ortak Toplantısı, 13 Haziran 2020 tarihinde "Haftalık Değerlendirme" gündemi ile çevirim içi olarak gerçekleştirildi.

13.06.2020

TMMOB Saymanı ve Oda Sayman Üyeleri Ortak Toplantısı

TMMOB Saymanı ve Oda Sayman Üyeleri Ortak Toplantısı çevirim içi olarak gerçekleştirildi.

11.06.2020



Çalışanların Emeklerine El Konulmasına İzin Vermeyeceğiz!



Kıdem Tazminatı'nın kaldırılarak "Tamamlayıcı Emeklilik Sistemi" adı altında gasp edilmesi girişimlerine ilişkin TMMOB Yönetim Kurulu Başkanı Emin Koramaz tarafından basın açıklaması yapıldı.

23.06.2020

Baro Başkanlarına Yönelik Engeller Derhal Kaldırılsın!

22.06.2020

Baro Başkanları tarafından başlatılan "Savunma Yürüyüşü"nü Ankara girişinde polis tarafından engellenmesi üzerine TMMOB Yönetim Kurulu Başkanı Emin Koramaz tarafından basın açıklaması yapıldı.

KMO: Mahkeme, KMO Yönetiminin Görevden Alınmasına Dair Kararı Kaldırdı!

26.06.2020

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası (KMO), Ankara Bölge Adliye Mahkemesi'nin KMO Yönetiminin görevden alınmasına dair kararı kaldırmasına ilişkin olarak 26 Haziran 2020 tarihinde bir basın açıklaması yaptı. Ankara Bölge Adliye Mahkemesi KMO Yönetiminin görevden alınmasına dair kararı kaldırdı. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı müfettişlerinin Kimya Mühendisleri Odasında idari ve mali denetim yapmaya yönelik girişimlerine Oda Yönetim Kurulunun direnime gösterdiği gerekçesiyle Bakanlığın yapmış olduğu başvuru üzerine KMO 45. Dönem Yönetim Kurulu üyelerinin görevlerinden alınmasına, yerlerine yenilerinin seçilmesine Ankara 24. Asliye Hukuk Mahkemesince 25.09.2017 tarihinde karar verilmişti.

27. Yılında Sivas Katliamını Unutmadık!

02.07.2020

2 Temmuz 1993'te yaşanan Sivas Katliamı'nın 27. yılında TMMOB Yönetim Kurulu Başkanı Emin Koramaz tarafından basın açıklaması yapıldı.

1993 yılında Sivas'ta 4.'sü düzenlenen Pir Sultan Abdal Kültür Şenliği'ne katılan aydın, sanatçı ve edebiyatçıların kaldığı otelin yakılarak 35 kişinin öldürülmesi, ülkemizin en trajik katliamlarından biri olarak tarihe geçti. Katliamın 27. yılında kaybettiğimizi özlemle anıyor, katliamı gerçekleştiren gerici-faşist linç güruhunu lanetliyoruz.



Yönetim Kurulu ve Oda Başkanları Ortak Toplantısı

04.07.2020



TMMOB Yönetim Kurulu ve Oda Başkanları Ortak Toplantısı, "Haftalık Değerlendirme" gündemi ile çevirim içi olarak gerçekleştirildi.

Artık Yeter!

09.07.2020

Hendek'te yaşanan patlamadan artakalan patlayıcıların taşınması sırasında 9 Temmuz'da yaşanan ve 3 askerin hayatını kaybettiği patlama üzerine TMMOB Yönetim Kurulu Başkanı Emin Koramaz tarafından basın açıklaması yapıldı.

İhmal, tedbirsizlik ve sorumsuzluklar yüzünden yaşadığımız can kayıplarının acıları birbirine karışmaya devam ediyor. 3 Temmuz'da Hendek'te yaşanan patlamadan artakalan patlayıcıların taşınması sırasında yaşanan yeni bir patlama bir kez daha yüreklerimize acı düşürdü. Patlamada hayatını kaybeden 3 askerimizin ailesine başsağlığı diliyoruz. Yaralanan 6 askeri personelin en kısa zamanda sağlığına kavuşmasını diliyoruz.

BMO: Sosyal Medyaya Yeni Düzenleme: Görme, Duyma, Söyleme!

23.07.2020

TMMOB Bilgisayar Mühendisleri Odası (BMO) TBMM'nin gündemindeki "Sosyal Medya Düzenlemesi" üzerine bir basın açıklaması yaptı.

TMMOB Yönetim Kurulu ve Oda Başkanları Ortak Toplantısı

23.07.2020

TMMOB Yönetim Kurulu ve Oda Başkanları Ortak Toplantısı, "Haftalık Değerlendirme" gündemi ile çevirim içi olarak gerçekleştirildi.



GENEL MERKEZ

Dr. Abdullah ZARARSIZ Y.K. Başkanı
fmo@fmo.org.tr

İSTANBUL ŞUBE

Alper MERTOĞLU Şube Y.K. Başkanı
fmoist@fmo.org.tr

ADANA İL TEMSİLCİLİĞİ

Prof. Dr. Yüksel UFUKTEPE - İl Temsilcisi
ufuk@cu.edu.tr

BURSA İL TEMSİLCİLİĞİ

Nigar ÖZEY - İl Temsilcisi
nigarozey@gmail.com

İZMİR İL TEMSİLCİLİĞİ

Şule BAYRAKTUTAN - İl Temsilcisi
bayraktutans@gmail.com

GAZİANTEP İL TEMSİLCİLİĞİ

Prof. Dr. Necmettin YAZICI İl - Temsilcisi
yazici@gantep.edu.tr

MERSİN İL TEMSİLCİLİĞİ

Umut SALCAN - İl Temsilcisi
umutsalcan@gmail.com

Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

Fizik Mühendisleri Odası



E-Bülten Sayı 53

Temmuz-Ağustos 2020

FMO e-bülten ile ilgili
görüş, öneri, değerlendirme ve yazılarınızı
e-posta adresimize iletebilirsiniz.

Mithatpaşa Cad., No:44/16
Kızılay/ANKARA

Tel:0 312 431 5542
Fax:0 312 435 75 44

fmo@fmo.org.tr
<http://www.fmo.org.tr>