

## KÜANTUM NOKTA

Emek Göksu DURMUŞOĞLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisi



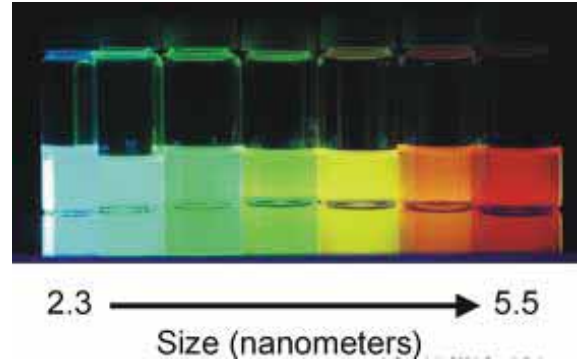
**Kuantum noktalar (Quantum dot)**, nano boyutlu kristallerdir ve yarı-iletkenlerdir. Kuantum noktaları için birkaç atomdan, binlerce atoma kadar atom barındırabilen devasa yapay bir atom diyebiliriz. Her ne kadar binlerce atoma kadar barındırabilir desek de bugün farklı uygulamalarda kullanılan kuantum noktaların çapları genellikle 2-15 nanometre (10-75 atom) uzunluğundadır (**nano, Latince de cüce demektir ve nanometre metrenin milyarda biridir, farklı bir deyişle saç telinin genişliği nanometreden 10.000 kez kalındır**).

Nano teknoloji günümüzde bilim dünyası için çok popüler bir konu durumunda. Nano teknoloji denince akla en önce gelmesi gereken şey boyuttur, çünkü insanoğlu çok uzun bir süredir nano boyutlu malzeme üretmesine rağmen nano teknoloji denince 100 nanometrenin altındaki malzemeler söz konusudur. Bunun sebeplerinden en önemlisi nano teknolojinin, bilimin son elli senelik trendi olan minyatürleştirmede (miniaturisation) yeni bir kademe olmasının yanı sıra olarak nano malzemelerin gösterdikleri kuantum etkileridir. Malzemeler genellikle 100 nanometre olarak kabul edilen sınırın altında kuantum mekaniğinin özelliklerini göstermeye başlar ki bu da kuantum noktalarının en önemli özelliklerinin nedenidir. Kuantum noktaları periyodik cetvelin II-VI, III-V grubu bileşiklerinden elde edebiliyoruz. Yani neredeyse bütün yarı-iletken - metal bileşiklerinden kuantum nokta elde etmek mümkündür.

Bugün ise optik ve elektriksel özelliklerinden kaynaklı en çok üretilen kuantum noktalar, **CdSe, InAs, CdS,**

**GaN, InGeAS, CdTe, PbS, PbSe, ZnS**'dir. Yapay atom denmelerinin sebebi ise boyutlarının değiştirilmesiyle bant boşluğunun değiştirilebiliyor olmasıdır. Yani kuantum noktalarda boyut kontrol edilebilir bir parametredir ki, bu özellik 'kuantum sınırlaması' (quantum confinement) etkisi ile birleşince kuantum noktalar sıra dışı optik ve elektriksel özelliklerde oluyorlar. Çünkü kuantum kısıtlaması etkisiyle kuantum noktaların boyutlarının değişmesiyle birlikte yaptıkları ışımaların rengi de değişiyor.

En küçük noktalar mavi iken büyük noktalar kırmızı ışımıyorlar. Yani bir Kuantum noktalara görülebilir bütün frekanslarda ışımaya yaptırabilmek ve hatta kızılötesi ışımaya yaptırabilmek kontrol edilebilir bir işlemdir. Bu sayede kuantum noktalar tıbbi görüntüleme işlemleri, LED'ler, güneş panelleri, elektronik ve bilgisayar uygulamaları için büyük gelişmeler vaat ediyorlar.



**Şekil 1:** Kuantum noktaların boyutlarının değişimiyle renklerinin değişimine örnek

## PEKİ, KÜANTUM NOKTALARIN BU SIRA DIŞI ÖZELLİKLERİNİN SEBEPLERİ NELERDİR?

Kuantum noktaların en büyük özelliklerini boyutlarıyla açıklamak mümkündür. Bu özellikleri anlatmak için biraz fizik hatırlayalım.

Hiç ısınan bir demirin renginin neden önce kırmızıya sonra da beyaza döndüğünü veya ısınan ampulün neden ışık vermeye başladığını düşündünüz mü? Bunun sebebi etrafımızdaki görebildiğimiz maddeyi görebilmemizle aynıdır ve birazdan açıklayacağım bir takım fiziksel olaylara dayanır.

Atomlar, genel anlamda (-) yüklü elektron, (+) yüklü proton ve yüksüz kabul edilen nötron parçacıklarından oluşurlar. Protonlar ve nötronlar atomun merkezinde çekirdeği oluştururlar. Çekirdek, protonlar nedeniyle

(+) yüklü olduğu için (-) yüklü elektronları çekerler ve elektronlar bu çekim kuvvetiyle atom etrafındaki yörüngelerde (orbital) hareket ederler (Aydın, Dünyanın etrafında dönmesi gibi).

**Bulk** (10 nanometreden çok daha büyük; yığın anlamına gelir) malzemelerde elektronlar devamlı olarak ve düzensiz yörüngelerde hareket halindedirler. Elektronların hareket halinde oldukları yörüngelerin atomun çekirdeğine olan mesafeler, **enerji seviyeleri** olarak tanımlanır ve atomlar farklı enerji seviyesi aralıklarına sahiptirler. Bu enerji seviyeleri bulk malzemelerde birbirine öylesine yakındır ki, bilim insanları bu seviyeleri sürekli şekilde tanımlarlar yani aralarındaki enerji farkı yok sayılacak kadar küçüktür.

Elektronların genelde bulunduğu bu bölgeye **değerlilik (valans) bandı** denir. Değerlilik bandının üstünde öyle bir enerji seviyesi vardır ki bu bölgeye **bant boşluğu** denir ve elektronlar için bu bölge yasaklı diye tasvir edilir, çünkü elektronlar bu enerji seviyesine çıkacak enerjiye sahip değildirler. Değerlilik bandı tanımından da anlaşılacağı üzere her malzeme için bant boşluğu aralığı farklıdır. Bant boşluğunun üzerindeki enerji seviyelerine ise iletkenlik bantları denir.

Daha önce de açıkladığım üzere elektronların önemli bir miktarı değerlilik bandında bulunurlar, bunun sebebi atomun çekirdeğinin elektronlara uyguladığı çekim kuvvetidir. Bir elektronun değerlilik bandından, iletkenlik bandına çıkabilmesi için tek yol elektronun bant boşluğunu geçmesine yetecek veya daha fazla enerjiye sahip olmasıdır. **Elektronlar bu enerjiyi ısı, voltaj, foton akışı gibi uyarılarla yani dış bir uyarın sayesinde elde edip iletkenlik bandına sıçrayış yapabilirler ve enerjisi artan elektrona uyarılmış elektron denir.** Buradan da anlaşılacağı üzere bant boşluğu mesafesi, bir malzemenin iletkenlik özelliklerinde en önemli belirleyici etkenlerden biridir. Çünkü bu boşluk ne kadar büyük olursa elektronun bu boşluğu geçmesi için gereken enerji o kadar artacaktır. Bundan dolayı, iletken malzemelerde bant boşluğu kısayken, yalıtkan malzemelerde bu boşluk daha büyüktür ve yarı-iletkenler ise ikisinin arasında bir bant boşluğuna sahiptirler.

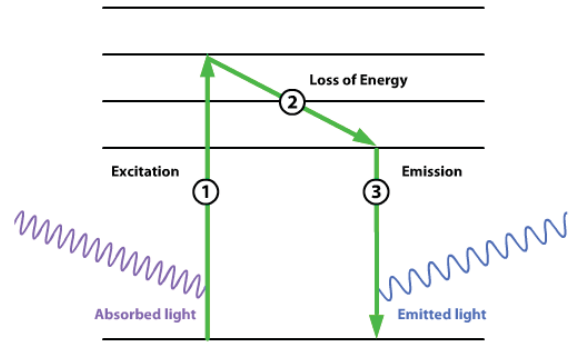
**İletkenlerde** bu boşluk o kadar azdır ki çok küçük uyarılar sonucunda elektronlar bu bantlar arasında sürekli geçişler yaparak sürekli bir enerji akımını sağlarlar. **Yalıtkan malzemelerde** ise bir elektronun iletkenlik bandına geçebilmesi için öyle büyük enerjiler gereklidir ki, normal koşullarda bu tip maddeleri yalıtkan kabul ederiz (mesela bazı penselerin sapında '10000 Volta kadar

yalıtkandır' yazar). Yarı-iletken malzemeler ise modern elektroniğin ana elemanlarıdır, çünkü bu tip malzemeler ancak biraz önce saydığımız dış uyarılar sonucunda enerjiyi iletirler. Günümüzde yarı-iletkenler bilgisayarlar, devreler ve bütün elektronik cihazlarda kullanılırlar.

## PEKİ, ELEKTRON İLETKENLİK BANDINA ATLADIKTAN SONRA NELER OLUR?

Doğada herşey kararlı olduğu haline dönmeye çalışır. Bu uyarılmış elektron için kararlı olduğu değerlilik bandında yerine dönmektir. Uyarılmış elektronun değerlilik bandındaki yeri boş kaldığı için burası **boşluk** olarak tasvir edilir ve uyarılmış elektron, değerlilik bandına dönerken sahip olduğu enerjiyi harcaması gereklidir. Bu enerji çıkışı ışınım şeklinde gerçekleşir ve **elektron ne kadar enerjiye sahipse (yani bant boşluğu ne kadar büyükse) yaydığı enerjide o kadar fazladır.** Yani elektron değerlilik bandına dönerken ışık saçır ki nesnelerin renklerini de bu sayede görürüz.

Her malzemenin absorbladığı (emdiği) farklı bir enerji frekansı ve yaydığı (emission) enerji frekansı aralığı vardır, bu da farklı renkler yaymalarının sebebidir. Ama bu daha detaylı uzun bir konu, şimdi konumuza dönecek olursak; bulk yarı-iletken malzemeler yukarıda bahsettiğimiz gibi iletkenlik gösterirler.

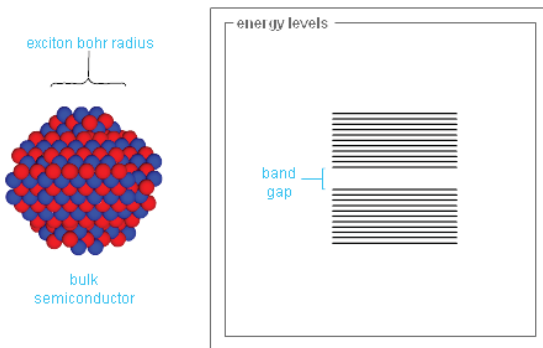


**Şekil 2:** Elektronun iletkenlik bandına geçip tekrardan değerlilik bandına dönüş çevrimi

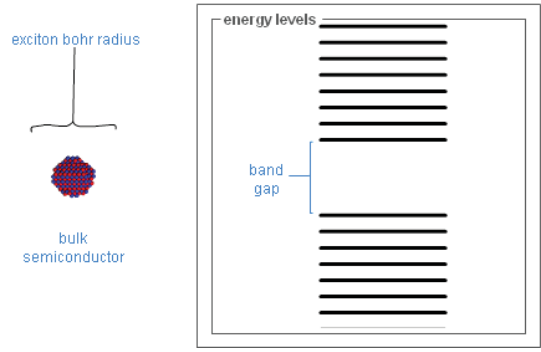
Kuantum noktalar da yarı-iletkenlerdir yani iletkenlik özellikleri belli uyarılar sonucu ortaya çıkar ve değerlilik, iletkenlik bantları ve bant boşluklarının hepsi de prensip olarak aynıdır, fakat büyük bir farkla. Malzemelerde uyarılmış atomla, boşluk (değerlilik bandındaki yeri) arasındaki mesafeye '**Exciton Bohr Radius**' (Bohr uyarım yarıçapı) ve elektron-boşluk çiftine '**Exciton**' denir ve bu mesafe her malzeme için farklıdır.

Bulk malzemelerde yarı-iletken kristalin boyutları exciton Bohr yarıçapından çok daha büyüktür ki, bu exciton için yeterli bir boşluk anlamına gelir. Kristalin bu mesafeye eşit veya daha küçük hale geldiğini düşünelim. Bu durumda enerji seviyeleri artık sürekli şekilde davranmak yerine ayrık şekilde davranıyorlar. Aralarında küçük ve sonlu ayrımlar oluyor. Bu ayrık enerji seviyelerine sahip duruma 'kuantum sınırlaması' deniyor, bu duruma daha sonra döneceğiz. Bu durumdaki malzemeler artık bulk (yığın) malzemenin özelliklerini göstermiyorlar, bu durumdaki malzemeye gösterdiği kuantum özellikleri ve boyutları nedeniyle '**Kuantum Nokta**' diyoruz.

Buradan kuantum noktaların diğer bir önemli özelliğine ulaşıyoruz. Başta söylediğimiz gibi kuantum noktalar birçok atomdan oluşan yapay devasa atomlardır ve kuantum noktaya atom ekleyip, çıkartabiliriz. Kuantum noktalar, exciton Bohr yarıçapından küçük olduğu için enerji seviyelerinin şeklinin boyutlarıyla alakalı olduğunu bildiğimize göre ve kuantum noktaların boyutlarını değiştirebildiğimize göre bu bize enerji seviyeleriyle oynayabildiğimiz bir malzeme verir ki bu eşsiz ve çok sıra dışı bir özelliktir. Bunun anlamı, kimyada bildiğimiz doğada bulunan elementlerin listesi olan klasik periyodik cetvelin yanına onun gibi onlarca periyodik cetvel eklemektir, yani beklediğimiz özelliklere sahip yapay atomlar demektir. **Bu da özellikle mühendislik dünyası için bir devrimdir; ihtiyacınıza göre özelliklerde malzemeler üretmek.**



**Şekil 3:** Exciton Bohr yarıçapından büyük malzemelerde band boşluğu mesafesi



**Şekil 4:** Exciton Bohr yarıçapından küçük malzemelerde band boşluğu mesafesi

Bu noktada kuantum noktaları, optik uygulamalar için eşsiz kılan özellik olan kuantum sınırlaması özelliğini anlatmakta yarar var. Kuantum noktaların boyutlarının exciton Bohr yarıçapından küçük olduğunu söylemiştik ki uyarılmış bir elektron bu mesafe kadar uzağa gitmek isteyecek fakat sınırlandırılmış olduğu için gidemeyecektir ve kuantum mekaniğine özgü özellikler gösterecektir ki **kuantum sınırlaması** terimi buradan gelmektedir.

Bulk bir malzemede sınırlandırma yoktur, kuantum kuyusunda (quantum well) tek boyutta, kuantum telde (quantum wire) iki boyutta ve kuantum noktada ise üç boyutta sınırlandırma söz konusudur.

Kuantum noktada üç boyutta da sıkışan elektron enerjisini üst seviyelere çıkarak harcamadığı için kinetik enerjisi artmaya başlar ki bundan dolayı dalga boyunu kısaltır. Bunun sonucunda elektronun yaptığı ışımının rengi değişir ve bununla birlikte daha yüksek enerjiye sahip olduğu için yaptığı ışımaya da daha şiddetli (daha parlak) olur. Yani biz malzemenin boyutunu exciton Bohr yarıçapının altına indirdiğimizde sıra dışı bir kuantum özelliği olan malzemenin renginin değişmesi özelliği ortaya çıkar.

Kuantum noktalarda boyut kontrol edilebilir bir değişken olduğu içinde noktamızın boyutunu değiştirerek rengini de kontrol edebilme kabiliyetine sahip oluyoruz ki bu mühendislik uygulamaları için inanılması zor bir alan daha açıyor; **daha verimli çalışan güneş panelleri, tıpta teşhis için kullanılan biyo-ajanlar, çok daha az enerjiyle çalışan lazerler, istenilen renkte LED aydınlatmalar, az enerjiyle çalışan ve daha fazla aydınlatan ampuller, çok daha az enerjiyle çalışan plazma televizyon ve ekranlar, bunlar kuantum noktaların düşünülen uygulama alanlarından sadece birkaçı.**



**Şekil 5:** Biyo-ajanlar eklenerek farklı tümör hücrelerini bulması için ayarlanmış kuantum noktaların UV ışığı altında görüntülenmesi. Kuantum noktaların hastalık teşhisinde çığır açması bekleniyor.

#### KAYNAKLAR

- <http://uwnews.org/uweek/article.aspx?id=42599>
- <http://www.evidenttech.com/>
- <http://jama.ama-assn.org/content/292/16/1944.extract>