

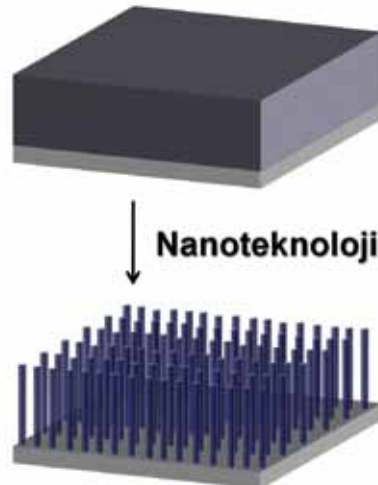
Nanoteknoloji Güneş Enerjisi Dönüşümünde Yeni Ufuklar Açıyor

Nanoteknoloji

“Nano” kelimesi, Yunancada “cüce” anlamına gelen “nanos” kelimesinden türetilmiştir. Bir nanometre, metrik ölçü sisteminde bir metrenin milyarda birine eşittir. Nanoteknolojinin temelinde iki önemli hedef vardır. Birincisi özel üretim teknikleri kullanılarak geliştirilen nanomalzemelerin değişik özelliklerinden faydalanmak, ikincisi büyük ölçekli malzemelerin iç yapılarını atom düzeyinde, kontrollü olarak değiştirmek ve bu sayede onlara sıradışı özellikler kazandırabilmek.

Nanoteknolojinin başarısı malzemelerin nano büyüklükteki yüzeylerine ve kuantum etkileşimlerine dayanır. Nanomalzemelerin yüzey alanlarının hacimlerine oranı çok yüksektir. Örneğin Şekil 1’de görülen nanoteller, üstteki hacimli malzemeye göre 300 kat daha büyük yüzey alanına sahiptir.

Ayrıca nanomalzemelerde, kuantum büyüklük etkisi de, azalan parçacık büyüklüğüyle malzemelerin elektronik özelliklerini değiştirir. Ancak sadece elektronik özelliklerindeki değil, çeşitli metal, yarı iletken ve yalıtkan nanomalzemeler mekanik, manyetik, optik ve kimyasal özelliklerindeki değişimle de önem kazanır. Örneğin, opak malzemeler nano büyüklükte şeffaf olabilir, yalıtkan malzemeler iletken hale gelebilir, platin gibi reaksiyona girmeyen malzemeler katalizör görevi üstlenebilir ve alüminyum gibi kararlı malzemeler yanıcı hale gelebilir.



Şekil 1: Parçacık büyüklüğünün azalması ile yüzey alanının artmasına bir örnek. Hacimli malzemenin kalınlığı (a) ile nanotellerin uzunluğu (b) aynı. Resimdeki nanotellerin aralarında nanotellerin çapı kadar boşluk var.

Nanoteller, yeni nesil güneş gözelerinde başarı ile uygulandı

Nanoteller, çapı 100 nanometreden küçük, farklı uzunluklarda, iletken ya da yarı iletken çubuklardır. Uzunlukları çaplarından binlerce defa fazladır, dolayısıyla tek boyutlu kabul edilirler. Nanoteller çok değişik kimyasal bileşimlerde üretilebilir. Metalik (altın, gümüş, nikel, demir), oksit (çinko oksit, demir oksit, magnezyum oksit, titanyum oksit, kalay oksit ve bakır oksit), yarı iletken (silisyum, germanyum, galyum arsenit, indiyum fosfit), nitrit (alüminyum nitrit, galyum nitrit, silisyum nitrit) ve kalkojen (kadmiyum sülfid, kadmiyum selenit, kadmiyum tellürit, kurşun sülfid, bakır sülfid) nanoteller bunlardan sadece bazılarıdır. Bu listeye yine tek boyutlu olan karbon nanotüpler de dahil edilebilir.

Nanomalzemeleri üretmek için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme, moleküler ışın epitaksisi, lazer veya ark buharlaştırma yöntemleri bu yöntemlerin başlıcalarıdır. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi, altlık üzerinde çok kontrollü yapıda ve geometride nanomalzeme üretimine olanak verir. Şekil 2’deki ODTÜ logosu, kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile üretilen karbon nanotüplerin kontrollü üretimine örnektir. Alternatif olarak düşük sıcaklıklarda, çözelti içinde gerçekleşen, hidrotermal ve elektrokaplama yöntemleri de geliştirilmiştir.

Ayrıca “yukarıdan aşağıya” yöntemler olan hacimli malzemelerin kimyasal dağlanması, mekanik öğütülmesi veya reaktif gazla dağlanması gibi yön-

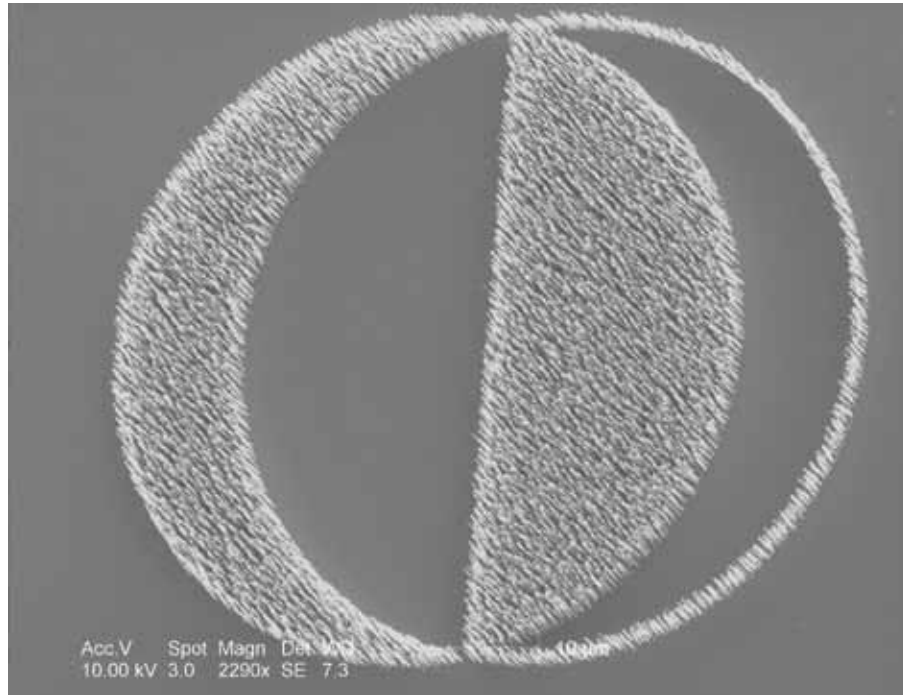
temlerle de nanomalzemeler üretilebilir. Bu yöntemler karmaşık düzenekler ve cihazlar gerektirmediği için maliyetleri “aşağıdan yukarıya” grubuna giren yöntemlere kıyasla çok daha düşüktür.

Güneş gözeleri üzerine yapılan çalışmaların neredeyse tamamı, güneş enerjisini elektrik enerjisine daha verimli dönüştürebilecek yeni malzemeler geliştirmeyi ve böylece bu sistemlerin üretim maliyetini düşürmeyi amaçlar. Güneş gözeleri, iki ayrı tip yarı iletkenin bir araya getirilmesiyle oluşan p-n ekleminden ve bu eklem arkasında ve önünde anotkatot görevi gören elektrotlardan oluşur. Birinci nesil güneş gözelerinin ana malzemesi tekli ve çoklu kristal silisyumdur. İkinci nesil güneş gözeleri optik emilimi yüksek amorf silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellürit ve bakır indiyum galyum selenit ince filmler ile üretilir. Birinci nesil güneş gözelerinin üretim maliyeti nispeten yüksektir. İnce film gözeler ise ucuzdur, ama verimleri düşüktür.

Üçüncü nesil güneş gözeleri ise birinci ve ikinci nesil gözelere alternatif, hayli yeni ve gelişmekte olan, çoğu nanoteknoloji içeren yeni malzemelere ve yeni yaklaşımlara dayanan sistemlerdir. Nanoteller, her üç nesil güneş gözesinde de, hem yarı iletken aktif malzemede hem de yükleri toplamaya yönelik elektrotlarda kullanılabilir. Güneş gözeleri, yarı iletken aktif malzemede kullanılan hizalanmış nanoteller ile üç farklı mimaride üretilebilir. Bunlar Şekil 3'te gösterilmektedir. Şekil 3 (a)'da, (b)'de ve (c)'de, sırasıyla, nanotel uzunluk ekseninde eklemli, nanotel çap ekseninde eklemli ve optik soğurucu ince film içerisine gömülmüş nanoteller görülüyor.

Nanotellerin ve nanoparçacıkların güneş gözelerinde kullanılması birçok avantajı beraberinde getiriyor. Özellikle düşük sıcaklıklarda, ekonomik hammaddeler kullanılarak üretilen nanotellerin, güneş gözelerinde verim artışı sağlaması bekleniyor. Geniş güneş panellerinin ve tarlalarının kapladığı alanlar göz önüne alındığında, nanotel üretiminin hayli büyük ölçekte gerçekleştirilmesi gerektiği anlaşılıyor. Nanomalzemeler üretim sonrasında tercihen bir sıvı içerisine alınıp rulodan ruloya kaplama, serigrafik kaplama, püskürtmeli kaplama ve inkjet kaplama gibi hayli basit yöntemlerle kaplanabilir. Bu da güneş gözesi üretim maliyetini düşürür.

Nanoteller ve nanoparçacıklar ile güneş gözelerini esnek yapmak mümkündür. Hacimli kristal malzemelerde belirli bir kalınlığın altındaki ince filmler esnetilmeye çalışıldığında çatlaklar oluşur, filmler altlık yüzeyinden ayrılabilir. Nanomalzemeler kullanılarak üretilen güneş gözelerinde ise nanomalzemelerin esnek yapısı ve nanomalzemeler arası boş-

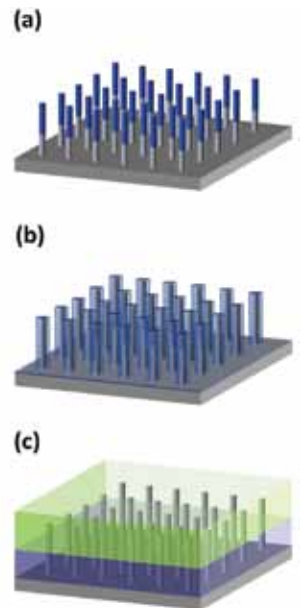


luğun gerilme kuvvetini soğurması sayesinde altlık yüzeyinden ayrılmalar önlenir. Esnek güneş gözeleri hem hafif olacak hem de birçok mobil uygulamayı beraberinde getirecektir.

Güneş gözelerinin verimliliğini azaltan unsurlardan biri, güneş ışığının hayli büyük bir kısmının güneş gözesini oluşturan yarı iletken tarafından soğurulmadan yansmasıdır. Bu problemi ortadan kaldırmaya yönelik olarak yansımayı önleyici ince film kaplamalar geliştirilmiştir. Altlık yüzeyine dik hizalanmış nanoteller, yansıma kayıplarını en aza indirmek için yansımayı önleyici kaplamalara bir alternatif olabilir. Üstelik nanoteller sırf yansımayı önlemekle kalmayıp güneş ışığını da birbiri ardına gelen iç yansımalar ile güneş gözesi içine hapsederek optik soğurumu artırabilir. Artan optik soğurum güneş gözesinin verimini de artırır.

Temel bilim açısından son derece önemli olan tek bir silisyum nanotelin kullanıldığı güneş gözeleri 2007 yılında laboratuvar ortamında üretilmiş ve yaklaşık 200 pikowatt (10^{-12} watt) enerji üretilmiştir. Bu düşük enerji değeri, tek silisyum nanotel güneş gözelerinin nanoelektronik sistemlerde güç kaynağı olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca tek bir nanotel için p-n eklemi oluşturmak ve ardından nanotelin p-tipi ve n-tipi uçlarına ayrı ayrı elektrot kaplamak hayli masraflıdır, dolayısıyla bu tür güneş gözelerinin büyük ölçekli üretimi mümkün görünmüyor. Uygulamalı bilim ve teknoloji açısından tek bir nanotel değil, nanotellerin toplu halde bulunduğu yapılar (Şekil 3) güneş gözeleri için daha uygun görünüyor.

Şekil 2: Silisyum altlık üzerinde ODTÜ logosu. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile üretilen karbon nanotüplerin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.



Şekil 3: Nanotellerle üretililecek güneş gözesi mimarileri

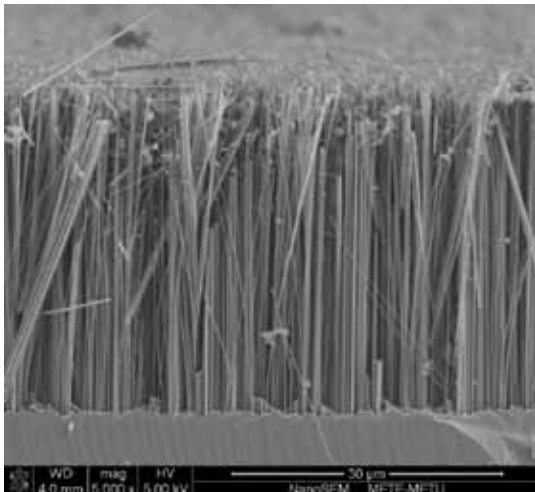
Yeni malzemelerin kullanıldığı güneş gözelerinde de nanotellerin benzersiz özelliklerinden faydalanılıyor. Organik güneş gözelerinde yaygın olarak kullanılan fotoaktif madde, fonksiyonelleştirilmiş karbon nanoparçacıklar ile p-tipi yarı iletken bir polimerin oluşturduğu nanokompozit malzemedir. Organik güneş gözelerinde cihaz verimliliğini polimer morfolojisi belirler, ancak morfoloji kontrolü henüz mümkün değil, çünkü elektron hareketliliği düşük nanoparçacıklar kullanılıyor, bu parçacıklar topaklanıyor ve elektronlar da nanoparçacık topakları arasından zıplayarak ilerliyor. Ayrıca kullanılan nanoparçacıklar, organik elektronik malzemelerin fiyat avantajını ortadan kaldıracak kadar pahalı olabiliyor. Karbon nanoparçacıklar yerine çeşitli yarıiletken nanotellerin kullanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Şekil 3 (c)'te görüldüğü gibi hizalanmış nanotellerin organik güneş gözelerinde kullanımı, polimer morfolojisini ve dizilimini kontrol altında tutup polimer hareketliliğini etkin şekilde kullanmaya yöneliktir.

Şeffaf ve iletken elektrot olarak kullanılan ITO (İndiyum Kalay Oksit) ise güneş gözelerinden başka birçok uygulamada ihtiyaç duyulan, ancak indiyum kaynaklarının azalması karşısında fiyatı her geçen gün artan bir malzeme. Karbon nanotüp (KNT) ince filmler, ITO'ya alternatif oluşturuyor. KNT'ler grafen tabakaların kıvrılmasıyla oluşturulan, silindir şeklinde, dikışsiz ve içi boş tüplerdir (Şekil 2). KNT ince filmler, elektronik özelliklerinin tek bir KNT'ye göre düşük olmasına rağmen, üretim kolaylıkları sayesinde orta ölçüde performans gerektiren geniş alanlı, ucuz ve esnek elektronik malzemeler için benzersiz bir fırsat oluşturuyor. KNT ince filmlerin belki de en önemli özeliği

şeffaf ve iletken olmaları, ayrıca elektriksel ve optik geçirgenliklerinin kolaylıkla kontrol edilebilir olmasıdır. Geliştirilen üretim yöntemleri ile KNT'lerin fiyatları, ITO ile kıyaslandığında, her geçen gün ucuzluyor. Kararlı karbon bağlarından ötürü KNT ince filmlerin kimyasal dayanımı yüksektir. Süngerimsi KNT yapısından ötürü de ince filmler esnek olmaktadır.

Nanotellerin güneş gözelerine uygulanması çalışmalarında GÜNAM'ın öncü bir rolü var. Silisyum nanoteller “yukarıdan aşağıya” bir yöntem olan kimyasal dağlama metodu ile çözelti içinde, atmosferik basınçta ve neredeyse oda sıcaklığında üretiliyor. Kimyasal dağlama yöntemiyle üretilen nanotellerin aşılama miktarı ve taşıyıcı yoğunluğu, üretimde kullanılan silisyum altlığı ile aynı olmakta. Dolayısıyla kimyasal dağlama yöntemi ile tekrarlanabilir silisyum nanotel üretimi mümkün. Bu proje kapsamında, literatürdeki çalışmalar geliştirilmiş ve istenilen nanotel morfolojisi için gerekli üretim parametreleri kontrollü deneyler sonucunda belirlenmiştir. Şekil 4'te GÜNAM'da üretilen silisyum nanotel dizilerinin kesit taramalı elektron mikroskobu görüntüsü veriliyor. Şekilde de görüldüğü üzere, nanoteller yüzeye dik olarak hizalanmış şekilde üretilmektedir.

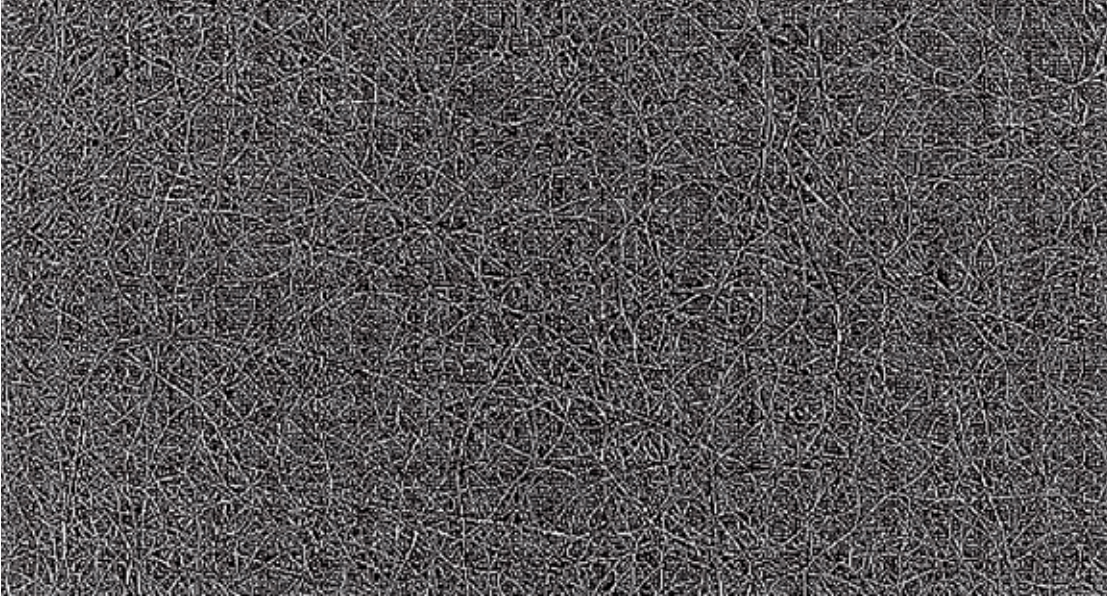
Standart bir güneş gözesi üzerinde nanotel üretimi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Bilindiği gibi silisyum altlıkların yüzeyinde oluşan optik yansımalar güneş gözesi veriminin düşük olmasına yol açar. Bunu engellemek amacıyla ek maliyet getiren optik yansıtma nitrat kaplamalar yapılmaktadır. Silisyum altlıklar üzerinde nanoteller üretildiğinde optik yansımaların % 95 oranında azaldığı gözlenmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, üzerinde si-



Şekil 4: Silisyum altlık üzerinde üretilen nanotellerin kesit taramalı elektron mikroskobu görüntüsü



Şekil 5: Değişik işlemlerden geçirilmiş silisyum altlıklar ve silisyum güneş gözeleri



lisyum nanotel üretilmiş silisyum altlık yansıtma kaplamayla kaplanmadığı halde görünüşü siyah ve mattır. Ayrıca yine aynı fotoğrafta görüldüğü üzere, çözelti bazlı kimyasal dağlama yöntemi kullanılarak geniş alanda (16×16 cm²) homojen nanotel dizileri üretimi gerçekleştirilmiştir.

Nanokristaller, güneş ışığı tayfının daha etkili kullanılmasını sağlıyor

Mevcut güneş gözeleri Güneş'ten gelen ışımının ancak bir bölümünden yararlanır. Tayfın önemli bir bölümü kullanılamaz. Bunun nedeni teknolojik yetersizlik değil, malzeme ve gözenin sınırlayan özellikleridir.

Üçüncü nesil güneş gözelerinin diğer sistemlere göre daha ucuz ve daha verimli sistemler olması

bekleniyor. Bu hedefe ulaşmak için güneş ışığı tayfının daha geniş kapsamda kullanılması gerekiyor. Bu yöndeki araştırmalar yaygın olarak nanokristal güneş gözeleri, ardışık ince film güneş gözeleri, fotoelektrokimyasal gözeler, polimer gözeler ve boya sentezli gözeler üzerine yoğunlaşmış durumda.

Bilim insanları uzunca bir süredir üçüncü nesil gözelerle yönelik çalışmalar yürütüyor. Bu çalışmalarda ayrıca yarı iletken nanokristaller kullanılarak birden fazla bant aralığına sahip malzemenin aynı göze içinde kullanılması ve böylece güneş ışığı tayfının farklı bölümlerine duyarlı aygıtların aynı göze içinde oluşturulması hedefleniyor.

Bu tür gözeleri üretmek için kullanılan nanokristallerin kontrollü bir biçimde üretimi büyük önem taşıyor. Bu nedenle, nanokristal üretiminin ve optik özelliklerinin anlaşılması üzerine çok sayıda araştırma projesi yürütülmüştür. GÜNAM'da üretilen, nanokristaller içeren malzemenin kesit görüntüsü bu çalışmalara bir örnektir (Şekil 6).

Nobel ödüllü ünlü fizikçi Richard Feynman'ın 1959 yılında yaptığı "Aşağıda Daha Çok Yer Var" başlıklı konuşmasında öngördüğü nanoteknoloji ve nanobilim, artık günlük hayatta kullanılabilecek ürünlerle karşımıza çıkıyor. Toplumların artan enerji ihtiyaçlarının ve bu doğrultuda şekillenen enerji üretim sistemlerinin nanoteknoloji ile kesişmesi şaşırtıcı değil. Güneş'in bizlere sunduğu sonsuz enerjiyi değerlendirerek doğrudan elektrığe çeviren güneş gözeleri de nanoteknoloji ile yeni ufuklar açmaya devam ediyor.



Şekil 6: GÜNAM'da üretilen nanokristallerin geçirimli elektron mikroskop görüntüleri: silisyum karbür malzemesi içinde üretilen silisyum nanokristal bantları

Kaynak

Ozdemir, B., Kulakci, M., Turan, R., Unalan, H. E., "Effect of electroless etching parameters on the growth and reflection properties of silicon nanowires", *Nanotechnology*, Cilt 22, s. 155606, 2011.