

# Nano Parçacıklar ve Nano Teller

Hakan ATEŞ<sup>1,♦</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Ankara

Başvuru: 17/02/2015 Kabul:30/03/2015

## ÖZET

Bu makale nano parçacık ve nano tellerin sentezi, yapısı ve geniş bir alanda özelliklerinin yanı sıra nano teknoloji hakkında da bir irdelemeyi sunmaktadır. Çalışma nano teknoloji ve malzemeleri tanımlamakta ve kısa bir tarih, üretim teknikleri ve uygulama alanları hakkında bilgi vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Nano teknoloji, Nano parçacık, Nano tel

## ABSTRACT

This article presents the review of nanotechnology as well as the synthesis, structure, and the wide-ranging properties of nanoparticles and nanowires. It determines this technology and materials, and gives information about brief history, production techniques and application areas.

**Keywords:** Nanotechnology, Nanoparticles, Nanowires

## 1. GİRİŞ

Nano teknolojinin en basit tanımı nano ölçekte teknolojidir. Nano fiber gibi nano teknolojinin bileşenlerinin tanımı nano ölçeği işaret etmektedir. Ancak yine de nano teknolojinin tanımı için nano ölçeğin tanımlanması gerekir. Nano ölçek 1-100 nm aralığını kapsamaktadır. Daha kapsamlı bir tanım ise atomik hassasiyet mühendisliği veya atomik hassasiyet teknolojisidir. Nano teknolojinin üzerinde yoğunlaştığı temel, yeni özellikler veya yeni çıkmış ve benzersiz özellikler bakımından bir tanım de Amerikan Ulusal Nano Teknoloji İnisiyatifi tarafından verilmiştir. Bu tarife göre; nano teknolojinin özü moleküler seviye çalışabilme yeteneği, atom atoma yapılanma, temel olarak yeni moleküler düzenlemelerle geniş yapılar oluşturmaktır şeklindedir. Nano teknoloji, yapısı ve bileşenleri yeni ve özellikle fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler, olaylar ve kendi nano ölçek ebatlarına bağlı olarak işlemler sergileyen malzeme ve sistemlerle ilgilidir [1]. Amerika Öngörü Enstitüsü ise yeni malzemeler ve faydalı ve benzersiz özelliklere sahip cihazlar üretmek için nano ölçekte yapısı kontrol edilen gelişmekte olan bir grup teknolojidir şeklinde tanımlamıştır. Nano ölçekte en az bir boyutta fonksiyonel düzenlenmeye sahip malzeme, cihaz ve sistemlerin tasarım, sentez, karakterizasyon ve

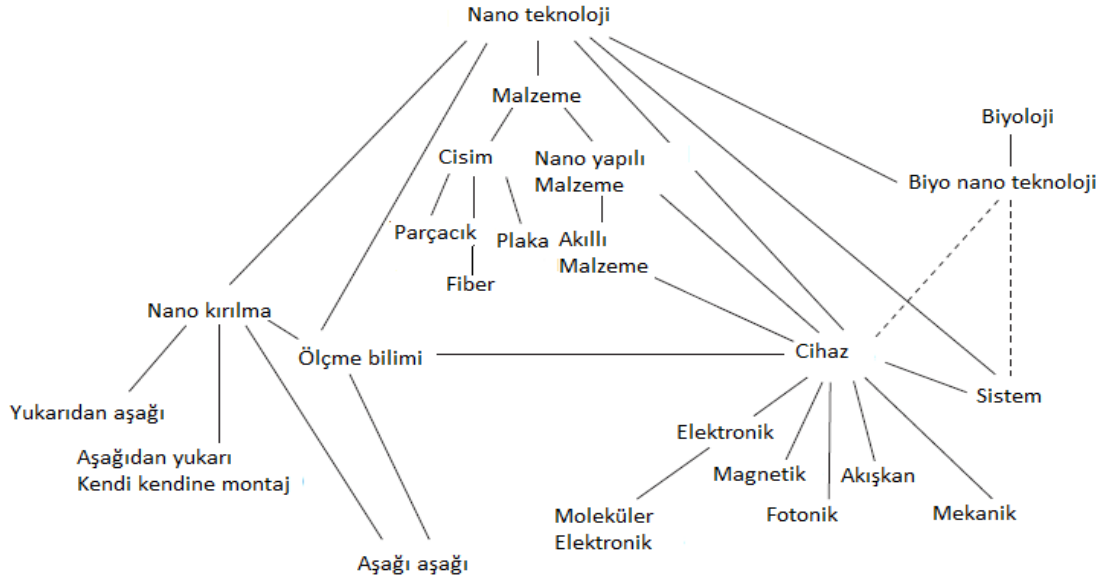
uygulamasıdır. Bu vurgu gerekli fonksiyonel performansı elde etmek için temel olan 100 nm'den aşağı boyutta yapılarıdaki malzemelerin işlemlerini vurgular [2]. Sözlük tanımı olarak ise nano teknoloji; nano ölçekte şekil ve ebatları kontrol edilen malzeme, cihaz ve sistemlerin tasarım, karakterizasyon, üretim ve uygulamalarıdır [3].

Nano malzemeler ise, nano teknolojide kullanılan malzemelere verilen genel bir isim olarak ortaya çıkmaktadır. Nano malzeme bilimi ise malzemelerin nano seviyede nasıl davrandıklarını inceleyen bilim dalıdır. Nano malzemelerin alan-hacim oranlarının yüksek olması yeni uygulamalara kapı açmaktadır. Örneğin mikro seviyede gözlenmeyen kataliz özellik, nano seviyede açığa çıkmaktadır. Bu, kuantum etkisi olarak da bilinir. Bu durum da biyo malzeme uygulamalarını etkilemektedir. Kuantum etkisi ile parçacıkların büyüklüğü azalır, malzemelerin elektronik özellikleri değişir; çeşitli metal, yarı iletken ve yalıtkan nano malzemeler mekanik, manyetik, optik ve kimyasal özelliklerindeki bu değişimle önem kazanır. Nano boyuta indirilen malzemelerin fiziksel özellikleri değişmektedir: Örneğin bakır normalde matken nano seviyede saydam, platin normalde inert iken nano seviyede katalitik, silikon makro seviyede yalıtkan nano seviyede iletken ve altın ise normalde hiç

reaksiyona girmez nano seviyede çok aktif bir elementtir. Nano teknoloji, malzemelerin bu alışılmadık özelliklerini kullanarak yeni malzeme, sistem ve cihaz geliştirilmesidir. Yani nano teknolojinin temelinde iki önemli hedef vardır. Birincisi özel üretim teknikleri kullanılarak geliştirilen nano malzemelerin değişik özelliklerinden faydalanmak, ikincisi de büyük ölçekli malzemelerin içyapılarını atom düzeyinde, kontrollü

olarak değiştirmek ve bu sayede onlara sıra dışı özellikler kazandırabilmektir [4, 5].

Nano teknoloji için bir ontoloji Şekil 1’de verilmiştir. Diyagramın sağ tarafında somut nesnelerin bir eksenli karmaşıklık sırası (malzeme, cihaz ve sistemlerin) ve diyagramın sol tarafında ise işlemler verilmiştir.



Şekil 1. Nano teknoloji için bir sistem kavramı [6].

Şekil 1’den de görüldüğü gibi nano malzemeler nano cisim ve nano yapılı malzeme olarak gruplanmıştır. Nano cisimler ise nano parçacık (üç dış boyutu nano ölçekte), nano fiber (iki dış boyutu nano ölçekte) ve nano plaka (bir dış boyutu nano ölçekte) olarak verilmiştir. Nano fiber de nano tel (elektriksel olarak iletken nano fiber), nano tüp (delikli nano fiber) ve nano çubuk (rijit nano fiber) olarak sınıflandırılabilir [6].

## 2. KISA TARİHÇE

Nano teknolojinin tarihi hakkında kısa bilgi verilmek istendiğinde Richard Feynman tarafından 1959 Caltech de verilen ders referans yapılır. “Tabanda bol miktarda yer var” başlıklı konuşması onun daha küçük makine parçaları üreten makineler hakkındaki ileri görüşünü açıklamaktadır. Bu daha küçük makineler için parçacıklar, atomik düzeydeki sıralanış ile basitçe elde edilmektedir [7].

Benzer görüş aynı zamanlarda Martin Minsky’den geldi: bir pire ebadında karmaşık makinelere sahip olmak açıkça mümkündür, belki onların bir tanesi bakteri hücresi ebadında olabilir, küçük hızlı bilgisayarlar inşa etmeye doğru modern çabaları düşün [8]. Robert Heinlein’in “Waldo” isimli (Ağustos 1942 de basıldı) kısa hikâyesinde de bu türden fikirlere giriş yapıldığı da vurgulanmalıdır. Birleştirici fikrin tohumları burada bulunabilir ancak kavram daha sonra Drexler tarafından zenginleştirilmiştir. Birleştirme bir evrensel nano ölçekte makinelerin birleştirilmesi, nano yapılı malzemelerin yapılmasının yanı sıra diğer

makineleri de yapmaya yeteneklidir. Birincil parçacıklar seviyesinde ayara giren bir dakika cihazı fikri J. Clerk Maxwell tarafından yaklaşık yüz yıl önce tasarlanmıştır.

Aşırı hassas mühendislik eğilimi yarı iletken işleme endüstrisinde acımasız minyatürleşme ile gösterilir. Bose un elektromanyetik dalgaları alan galena kristaline patent aldığı düşünülmekteydi. Peşinden 1906 da Pickard’ın silikon kristali için patenti gelir. Termiyonik vana 1974’de Fleming ve triyot 1906’da Forest tarafından keşfedildi. Bunlar mantık kapılarının temeli oldu, 20000 vana içeren ENIAC ile zirveye ulaştı. Bell laboratuvarlarında 1947’de nokta temaslı transistörün keşfi termiyonik vanayı işledi, ancak 1953’te ilk ticari transistör kullanımı gerçekleşti. Bir yıl sonra da ilk transistörlü radyo devreye girdi. 1971 yılında Intel ilk 2000 transistörlü mikro işlemciyi tanıttı ve LE120A Handy’nin keşfi ile Japonya’da ise cep hesap makinesi kullanıma sunuldu. 1981 de IBM in kişisel bilgisayarından önce Apple II görüldü. 2000’li yıllara kadar 180nm işlem teknolojisi ile üretilen Pentium 4 cip 1,2x106 transistörlü bilgisayarlar vardı. Yakın zamanlarda GHz ve THz gibi saniyede geçiş yapabilen özellikler aşıldı. Bu gibi ürünler için üretim alanları da oldukça pahalı bir maliyet sergilemektedir. Cip başın maliyetin sürekli düşmesine rağmen (örneğin 1997 de cep telefonu cip maliyeti 20 \$ iken 2007 de 2\$ olmuştur), ilgili iş alanları maliyeti çok büyük bir şekilde devam etmektedir [6]. Güneş enerjisinden çok

daha verimli faydalanmak için paneller üzerine çalışmalar devam etmektedir.

### 3. KULLANIM ALANLARI VE ÜRETİM TEKNİKLERİ

Nano malzeme ve teknolojilerinin genel anlamda kullanım alanları elektronik, opto-elektronik, enerji depolama, yeni malzeme geliştirme ve yarı iletkenler olmakla beraber nano teknoloji disiplinler arası (Fizik, Kimya, Biyoloji, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Bilgi Teknolojileri, Makine ve Elektrik – Elektronik Mühendislikleri gibi bilimleri buluşturan) bir bilim dalıdır.

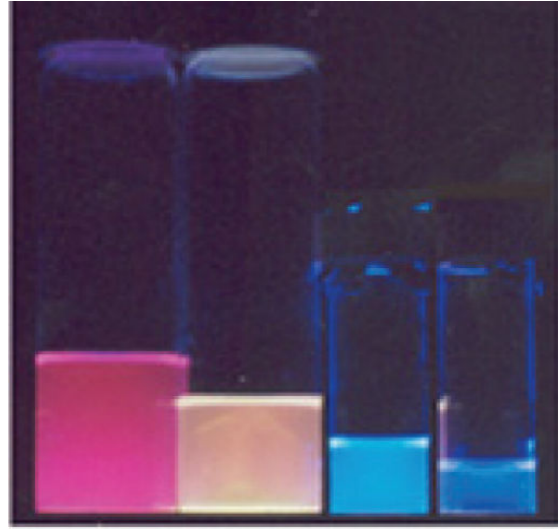
Genel olarak nano kristal ve nano parçacıkların üretim yöntemleri yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı olarak gruplandırılabilir. Yukarıdan aşağıya yaklaşımında hacimsel malzemeye mekanik ve/veya kimyasal işlemler uygulanarak malzemenin nano boyuta indirilmesi sağlanır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımında ise; atomik veya moleküler boyuttaki malzemelere kimyasal reaksiyonlar uygulanarak büyütme ve parçacıkların oluşumu sağlanır. Yaş kimyasal yöntemler (sol-Jel, kimyasal çöktürme, mekan kimyasal yöntem), buhar yöntemleri (soy gaz yoğunlaştırma, anlık eritme ve yoğunlaştırma, sprey dönüşüm), öğütme mekanik alaşımlama ve buhar-sıvı-katı yöntemleri olarak bilinmektedir. Bunun yanı sıra nano kaplama teknikleri (buhar biriktirme, fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, yarı iletken ve optik kaplamalar için lazer destekli CVD uygulamaları, termal sprey, daldırma ve döndürme ile, elektrolitik ile, litografi işlemleri) üstün özellikli ürünler de elde edilmektedir [9-14].

### 4. NANO PARÇACIKLAR

Nano boyutlu malzeme olarak tanımlanan yapılar; nano kristaller, nano parçacıklar, nano tüpler, nano teller, nano çubuklar veya nano ince filmler üzerine ilginin yoğunlaşmasının temel sebebi maddelerin belli boyut aralığında hacimsel yapılarından farklı olarak olağanüstü özellikler ve işlevler göstermeleridir [15,16].

Boyutları 1-100 nm aralığında olan tozlar veya parçacıklar olarak belirtilen nano parçacıklar nano boyutlu malzemelerin ve nano teknolojinin temelini oluşturmaktadır [16, 17]. Bu parçacıklar diğer ticari malzemelerden genelde daha farklı ve üstün özellikler sergilemektedir. Nano parçacıkların özelliklerinin çekiciliğinin öne çıkan nedenleri ise; kuantum boyut etkileri, elektronik yapısının boyut bağımlılığı, yüzey atomlarının benzersiz karakterleri ve yüksek yüzey/hacim oranı olarak söylenebilir [18]. Nano parçacık sentezi yüksek aktiviteli katalizörler, optik uygulamalar için özel malzemeler ile birlikte süper iletkenler, aşınmaya karşı dayanıklı katkılar, yüzey aktif maddeler, ilaç taşıyıcılar ve özel teşhis aletleri gibi birçok teknolojik ve tıbbi ürünlerin hazırlanmasının yolunu açmıştır. Öte yandan, malzemelerin nano boyut seviyesinde kontrolü nano taşıyıcılar, algılayıcılar, nano makinalar ve yüksek yoğunluklu veri depolama hücreleri gibi kendine özgü işlemleri yerine getiren

minyatürleştirilmiş aygıtların üretilmesine izin vermektedir [15-18]. Nano yapı malzemelerin ve cihazların tasarlanmasını, üretimini ve işlevsel olarak kullanımını kapsayan nano teknoloji alanındaki yeni gelişmeler için ilk adım nano parçacıkların üretimidir. Nano parçacıklar geniş bir kimyasal bileşim aralığı ve yapıda üretilebilirler. Artık çekirdek-kabuk, katkılı, sandviç, boşluklu, küresel, çubuk benzeri ve çok yüzü gibi farklı yapıya sahip metal, metal alaşımı, seramik ve polimer esaslı veya bunların karışımından istenilen özelliklere sahip nano parçacıklar hazırlanabilmektedir [18]. Şekil 2’de değişik Si nano parçacıkların UV ışında fotoğrafı verilmiştir.

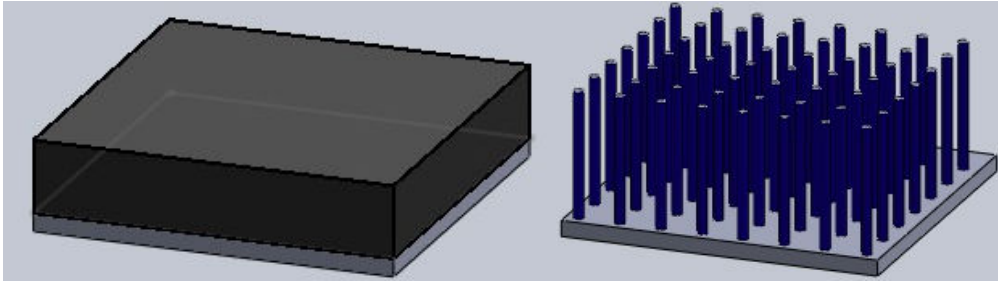


Şekil 2 Si nano parçacıklar [5]

### 5. NANO TELLER

Bir nanometre (1- 100 nm) civarında çapa sahip olan farklı uzunluklarda, iletken ya da yarı iletken tellere nano tel denir. Diğer bir tarifile nano teller, birkaç nanometre büyüklükte bir genişliğe sahip olan yapılarıdır. Uzunluk istenen değerde olabilir. Nano-seviyede kuantum mekanik özelliklerin önemi artmaktadır ve bu yüzden bu teller "kuantum telleri" olarak da adlandırılır. Birçok nano tel çeşidi vardır: bunlara metalik (Ni, Pt, Au, Fe), yarıiletken (Si, Ge, InP, GaN), ve yalıtkan (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>) örnek verilebilir. Bu listeye yine tek boyutlu olan karbon nano tüpler de dahil edilebilir. Moleküler nano teller ise yan yana gelmiş inorganik (Mo<sub>6</sub>S<sub>9</sub>I<sub>x</sub>) ya da organik moleküler (DNA) ünitelerin oluşturduğu yapılarıdır. Uzunluk-genişlik oranı 1000 ve daha üstü olduğu için, genellikle tek boyutlu olarak kabul edilirler [19-22].

Örneğin Şekil 3’ de görülen temsili şematik resimde nano teller, üstteki hacimli malzemeye göre 300 kat daha büyük yüzey alanına sahiptir. Burada hacimli malzemenin kalınlığı ile nano tellerin uzunluğu aynı yapılmıştır. Ayrıca resimdeki nano tellerin aralarında nano tellerin çapı kadar boşluk bırakılmıştır.



Şekil 3 Parçacık büyüklüğünün azalması ile yüzey alanının artması prensibine bir örnek.

## 6. NASIL ÜRETİLİRLER

Yukardan aşağı ve aşağıdan yukarı olmak üzere iki temel nano tel sentezleme yaklaşımı vardır. Yukardan aşağıya yaklaşımı litografi veya elektrorez gibi çeşitli tekniklerle malzemeyi büyük bir parçadan küçük parçalara ayırmayı esas alır. Aşağıdan yukarı yaklaşım ise esas kurucu bileşene ilave atomlar birleştirerek nano tel sentezlenir. Çoğu sentez tekniklerinde aşağıdan yukarı yaklaşımını kullanır. Nano tel üretiminde uzaklaştırma, kimyasal biriktirme, buhar biriktirme ve buhar-sıvı-katı büyümeyi içeren birçok yaygın laboratuvar tekniği kullanılır. Şablon yardımı ile sentezleme, buhar-sıvı-katı sentezleme (VLS) ve diğer sentez (çözelti faz sentezleme gibi) metotları mevcuttur [23-32]. İyon parça teknolojisi ise 8 nm çapa kadar nano telin homojen büyüme ve parçalanmasını sağlar. En yaygın üretim tekniği VLS sentezlemedir [33, 34]. Bu teknik, hammadde lazerle kopartılmışsa ya da gaz halde ise kullanılır. Hammaddeye önce katalizör eklenir. Nano teller için en iyi katalizörler sıvı metal (mesela altın) nano-tanecikleridir. Hammadde bu nano tanecikleri doyurmaya başlar. Metal nano parçacık aşırı doygunluğa ulaştığı zaman hammadde katılır ve dışarıya doğru nano tel olarak büyür. Nano telin boyu istediğiniz değere ulaştıncaya kadar, hammaddeyi verme kesilir. Nano tel büyürken hammaddeyi değiştirilirse, birbirini izleyen birçok malzemeden oluşmuş bir nano tel üretilmiş olur.

## 7. NANO TELLERİN KULLANIM YERLERİ

Nano tellerle p-tipi ve n-tipi yarıiletkenler oluşturulmuştur. İki farklı yolla p-n eklemi üretilir: birinci yol fiziksel olarak p-tipi tel ile n-tipi tel keşitirilmesiyle. İkinci metot ise bir teli farklı farklı ilavelerle uzunluğu boyunca doyurarak p-n eklemi üretilmesidir. Birçok p-n eklemi birleştirerek, mantıksal kapılar oluşturulmuştur. İleride, nano teller devredeki küçük bileşenleri birbirine bağlamada kullanılabilir. Tipik nano teller 1000 veya daha fazla en-boy oranı sergilediklerinden dolayı 1D (tek boyutlu) maddeler olarak adlandırılırlar. Nano teller kütle (bulk) veya 3D malzemelerde görülmeyen birçok ilginç özelliğe sahiptirler. Nano tellerin içindeki elektronların yanlamasına sınırlı olmaları ve bunun sonucunda enerji seviyelerinin geleneksel sürekliliklerinden veya kütle malzemelerde bulunan bantlardan farklı olmasını sağlar [35, 36].

Nano teller elektronikte, opto-elektronikte (ışıkla etkileşen elektronik aletler), nano elektromekanik

cihazlarda, ileri kompozitlerde ilave olarak, nano ölçekli nicelik cihazlarında metalik ara bağlantılar için, alan yayıcılar olarak ve biyo-moleküler nano algılayıcılar için uç olarak oldukça önemli uygulamalarına sahiptir [36-38].

Öte yandan güneş panelleri üzerine yapılan çalışmalarda güneş enerjisini elektrik enerjisine daha verimli dönüştürebilecek yeni malzemeler geliştirilmesi ve böylece bu sistemlerin üretim maliyetini düşürmesi amaçlanmaktadır. Güneş panelleri, iki ayrı tip yarı iletkenin bir araya getirilmesiyle oluşan p-n ekleminden ve bu eklem arkasında ve önünde anot katot görevi gören elektrotlardan oluşur. Birinci nesil güneş panellerinin ana malzemesi tekli ve çoklu kristal silisyumdur. İkinci nesil güneş panelleri optik emilimi yüksek amorf silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellürit ve bakır indiyum galyum selenit ince filmler ile üretilir. Üçüncü nesil güneş panelleri ise birinci ve ikinci nesil gözellere alternatif, hayli yeni ve gelişmekte olan, çoğu nano teknoloji içeren yeni malzemelere ve yeni yaklaşımlara dayanan sistemlerdir. Nano teller, her üç nesil güneş panelinde de, hem yarı iletken aktif malzemede hem de yükleri toplamaya yönelik elektrotlarda kullanılabilir. Güneş panelleri, yarı iletken aktif malzemede kullanılan hizalanmış nano teller ile üç farklı mimaride üretilir. Bunlar Şekil 3'te gösterilmektedir. Esnek güneş panelleri hem hafif olmakta hem de birçok mobil uygulamayı beraberinde getirmektedir. Güneş panellerinin verimliliğini azaltan unsurlardan biri de güneş ışığının hayli büyük bir kısmının güneş panelini oluşturan yarı iletken tarafından soğurulmadan yansmasıdır. Bu problemi ortadan kaldırmaya yönelik olarak yansımayı önleyici ince film kaplamalar geliştirilmiştir [39-42].

Kullanılan nano parçacıklardan dolayı organik elektronik malzemelerin fiyat avantajını ortadan kaldıracak kadar pahalı olma ihtimaline karşı karbon nano parçacıklar yerine çeşitli yarıiletken nano tellerin kullanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin şeffaf ve iletken elektrot olarak kullanılan İndiyum Kalay Oksit (ITO-indium tin oxide) ise güneş panellerinden başka birçok uygulamada ihtiyaç duyulan bir alternatif olmasına karşın, indiyum kaynaklarının azlığı nedeniyle fiyatı artan bir malzemedir. Bu duruma alternatif olarak karbon nano tüp (KNT) ince filmler düşünülmüştür. KNT ince filmlerin en önemli özellikleri şeffaf ve iletken olmaları, elektriksel ve optik geçirgenliklerinin kolaylıkla kontrol edilebilir ve fiyatlarının günden güne ucuzluyor olmasıdır. Dahası kararlı karbon bağları KNT ince filmlerin kimyasal

dayanımı artırmakta, süngerimsi KNT yapısı esnek olmaktadır [43].

Silisyum nano teller “yukarıdan aşağıya” bir yöntem olan kimyasal dağlama metodu ile çözelti içinde, atmosferik basınçta ve neredeyse oda sıcaklığında üretilmektedir. Kimyasal dağlama yöntemiyle üretilen nano tellerin aşılama miktarı ve taşıyıcı yoğunluğu, üretimde kullanılan silisyum altlığının ile aynı olmaktadır. Böylece kimyasal dağlama yöntemi ile tekrarlanabilir silisyum nano tel üretilmesi mümkün hale gelmektedir [44- 48].

Taşınabilir elektronik cihazları ve elektrik araçlarında elektrik enerjisinin depolanmasına olan talep yeniden şarj edilebilir bataryalarda teknolojik ilerlemenin itici gücü olarak görülmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalardan bazıları da esnek ve katı Li bataryalar ve malzemeleri üzerindedir ve başarı ile devam etmektedir [49].

Ag nano teller üzerine yapılan çalışmaların verdiği sonuçlar düzlemsel yüzeyler ve hücre görüntüleme üzerine biyo duyarlılığın flüoresan temelli uygulamaları için Ag nano tellerin bir gelecek vaat ettiği anlaşılmıştır [50].

## 8. SONUÇ

Nano teknoloji hızla gelişmekte olan ve yeniliklere açık olan çok disiplinli bir bilim dalıdır. Kullanım alanları yaygınlaşmakta olan nano teknoloji ürünleri hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Nano teknoloji günümüz ürünlerini daha hafif, daha dayanıklı, daha hızlı, daha küçük ve daha kapasiteli yapmaktadır. Birçok alana yayılmış ve insan hayatını kolaylaştırırken ülkeleri de zenginleştirmektedir.

Biryandan Si nano teller, Ag nano teller ve karbon nano tüpler üzerine yeni ve yoğun çalışmalar devam ederken, diğer alanlarla da ortak gelecekler çizilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, Prof. Dr. M. H. Nayfeh, University of Illinois at Urbana-Champaign'e ve TUBITAK 2219 proje desteğine teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- [1] National Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan, pp. 19–20. Washington, D.C., National Science and Technology Council, Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology 2000.
- [2] Corbett J., et al., “Nanotechnology: international developments and emerging products”, **Ann. CIRP** 49 (2), 523–545, 2000.
- [3] Abad, E. et al., NanoDictionary, Collegium Basilea, Basel, 2005.
- [4] Callister WD, Rethwisch DG, **Materials Science and Engineering**. Eight Editions, 2013.
- [5] Kumar, V. **Nanosilicon**, ISBN: 978-0-08-044528-1, First Edition, 2007.

- [6] Ramsden J., “Nanotechnology: An introduction” (ISBN: 978-0-08-096447-8) 2011 Elsevier.
- [7] Feynman R., There’s plenty of room at the bottom, **J. Microelectromech. Syst.** **1**, 60–66, 1992 (transcript of a talk given by the author on 26 December 1959 at the annual meeting of the American Physical Society at the California Institute of Technology).
- [8] Minsky M.L., “Where is our microtechnology? in: The Scientist Speculates”, **I.J. Good**, (Ed.), Heinemann, London, pp. 139, 1962.
- [9] Wolfgang L. Bottom-up Methods for Making Nanotechnology Products. <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1079>, Erişim 15 Aralık 2014.
- [10] Sergeev B. E., “Nanochemistry”, Elsevier B. V., Amsterdam, Netherlands, 2006.
- [11] Stephen, W., Richard, J. and Alison, G., 2003. Physics at the Nanoscale, and Nanotechnology Production Methods with Special Focus on Biology. <http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1207>, Erişim 15 Aralık 2014.
- [12] Zaki, A. Processing and Synthesis Techniques for the Preparation of Nanomaterials. <http://www.azonano.com/details.asp?ArticleID=1710>, Erişim 15 Aralık 2014.
- [13] Türker, M., Asal gaz yoğunlaştırma metodu ile nano boyutlu Ag tozlarının üretimi ve özelliklerinin değerlendirilmesi, **Turkish J. Eng. Env. Sci.**, 26, 147-154, 2002.
- [14] Edelstein A. S. Cammarata R. C., “Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications”, Institute of Physics Publishing, Bristol 2001.
- [15] Goldstain A., Handbook of Nanophase Materials, Marcel Dekker Inc, New York 1997.
- [16] Rao C.N. R., Müller A., Cheetham A. K. “The Chemistry of Nanomaterials” V. 1, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim 2005.
- [17] Miller J. C., Serrato R., Represas- Cardenas J. M., Kundahl, G., “The Handbook of Nanotechnology”, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2004.
- [18] Liveri, V. T., “Controlled Synthesis of Nanoparticles in Microheterogeneous Systems”, Springer Science & Business Media, Inc., New York 2006.
- [19] Bharat Bushan “Handbook of Nanotechnology” third edition, ISBN: 978-3-642-02524-2, (2010).
- [20] Dresselhaus M.S., Lin Y.-M., Rabin O., Jorio A., Souza Filho A.G., Pimenta M.A., Saito R., Samsonidze G.G., Dresselhaus G. “Nanowires and nanotubes”, **Mater. Sci. Eng. C** 23, 129–140 2003.
- [21] Huber C.A., Huber T.E., Sadoqi M., Lubin J.A., Manalis S., Prater C.B. “Nanowire array composites”, **Science** 263, 800–802 1994.
- [22] Braun E., Eichen Y., Sivan U., Ben-Yoseph G. “DNAtemplated assembly and electrode attachment of a conducting silver wire”, **Nature** 391, 775–778, 1998.
- [23] Zheng M.J., Zhang L.D., Li G.H., Shen W.Z. “Fabrication and optical properties of large-scale uniform zinc oxide nanowire arrays by one-step electrochemical deposition technique”, **Chem. Phys. Lett.** 363, 123–128, 2002.

- [24] Mao Y., Wong S.S. "General, room-temperature method for the synthesis of isolated as well as arrays of single-crystalline ABO<sub>4</sub>-type nanorods", **J. Am. Chem. Soc.** 126, 15245–15252, 2004.
- [25] Zhang X.Y., Zhang L.D., Lei Y., Zhao L.X., Mao Y.Q. "Fabrication and characterization of highly ordered Au nanowire arrays", **J. Mater. Chem.** 11, 1732–1734, 2001.
- [26] Cui Y., Lauhon L.J., Gudixen M.S., Wang J., Lieber C.M. "Diameter-controlled synthesis of single crystal silicon nanowires", **Appl. Phys. Lett.** 78, 2214–2216, 2001.
- [27] Gates B., Yin Y., Xia Y. "A solution-phase approach to the synthesis of uniform nanowires of crystalline selenium with lateral dimensions in the range of 10-30 nm", **J. Am. Chem. Soc.** 122, 12582–12583, 2000.
- [28] Mayers B., Gates B., Yin Y., Xia Y. "Large-scale synthesis of monodisperse nanorods of Se-Te alloys through a homogeneous nucleation and solution growth process", **Adv. Mater.** 13, 1380–1384, 2001.
- [29] Gates B., Wu Y., Yin Y., Yang P., Xia Y. "Singlecrystalline nanowires of Ag<sub>2</sub>Se can be synthesized by templating against nanowires of trigonal Se", **J. Am. Chem. Soc.** 123, 11500–11501, 2001.
- [30] Gates B., Mayers B., Wu Y., Sun Y., Cattle B., Yang P., Xia Y. "Synthesis and characterization of crystalline Ag<sub>2</sub>Se nanowires through a template-engaged reaction at room temperature", **Adv. Funct. Mater.** 12, 679–686, 2002.
- [31] Yu H., Gibbons P.C., Buhro W.E. "Bismuth, tellurium and bismuth telluride nanowires", **J. Mater. Chem.** 14, 595–602, 2004.
- [32] Peng X., Wickham J., Alivisatos A.P. "Kinetics of II–VI, III–V colloidal semiconductor nanocrystal growth: Focusing of size distributions", **J. Am. Chem. Soc.** 120, 5343–5344, 1998.
- [33] Wagner R.S., Ellis W.C. "Vapor-liquid-solid mechanism of single crystal growth", **Appl. Phys. Lett.** 4, 89–90, 1964.
- [34] Wu Y., Yang P. "Direct observation of vapor-liquid-solid nanowire growth", **J. Am. Chem. Soc.** 123, 3165–3166, 2001.
- [35] Wissner-Gross, A. D. "Dielectrophoretic reconfiguration of nanowire interconnects", **Nanotechnology** 17, 4986–4990, 2006.
- [36] Vizcaino, J. L. P., Nunez, C. G. A. "Fast, effective manipulation of nanowires for electronic devices". **SPIE newsroom**, doi:10.1117/2.1201312.005260. edit 2013.
- [37] Engel, Yoni; Elnathan, R.; Pevzner, A.; Davidi G.; Flaxer E.; Patolsky F.; "Supersensitive Detection of Explosives by Silicon Nanowire Arrays", **Angewandte Chemie international edition** 49 (38): 6830–6835. doi:10.1002/anie.201000847, 2010.
- [38] Elnathan R., Kwiat M., Pevzner A., Engel Y., Burstein L., Khatchourints A. Lichtenstein A., Kantaev R., Patolsky F., "Biorecognition Layer Engineering: Overcoming Screening Limitations of Nanowire-Based FET Devices". **Nano Letters** 12 (10): 5245–5254, doi: 10.1021/nl302434w, 2012.
- [39] Fan Z., Ruebusch D. J., Rathore A. A., Kapadia R., Ergen O., Leu P. W., Javey A., "Challenges and prospects of nanopillar based solar cells", **Nano Res.** 2 829–43, 2009.
- [40] Kayes B. M., Atwater H. A., Lewis N. S., "Comparison of the device physics principles of planar and radial p–n junction nanorod solar cells", **J. Appl. Phys.** 97 114302, 2005.
- [41] Garnett E., Yang P., "Light trapping in silicon nanowire solar cells" **Nano Lett.** 10 1082–7, 2010.
- [42] Kelzenberg M. D., Boettcher S. W., Petykiewicz J. A., Turner-Evans D. B., Putnam M. C., Warren E. L., Spurgeon J. M., Briggs R. M., Lewis N. S., Atwater H. A., "Enhanced absorption and carrier collection in Si wire arrays for photovoltaic applications", **Nat. Mater.** 9 239–44 2010.
- [43] Turan R., Unalan H. E., Ozdemir B., Kulakci M., "Nano teknoloji güneş enerjisi dönüşümünde yeni ufuklar açıyor" **Bilim ve Teknik**, 62-65, Haziran 2011
- [44] Ozdemir B., Kulakci M., Turan R., Unalan H. E., "Effect of electroless etching parameters on the growth and reflection properties of silicon nanowires", **Nanotechnology**, V 22, 7pp 155606, 2011. doi:10.1088/0957-4484/22/15/155606
- [45] Noha Elhalawany, Yulia Maximenko, S.-Tung Yau and Munir H. Nayfeh, Soluble silicon nanoparticles-polyaniline capsules for bio sensing and imaging, **J. Materials Research** 28, 210, 2013.
- [46] Kevin Mantey, Munir H. Nayfeh, Bahjat Al-Hreish, Jack Boparai, Ashok Kumar, Larry D. Stephenson, Andrew J Nelson, Salman A. Alrokayan and Khalid M. Abu-Salah, Silicon nanoparticle-functionalized fiberglass pads for sampling, **J. Appl. Phys.** 109, 064321, 2011.
- [47] Qiang Liu, Munir H. Nayfeh, Siu-Tung Yau, A silicon nanoparticle-based polymeric nanocomposite material for glucose sensing, **J. Electro analytical Chemistry** 657 172–175, 2011.
- [48] Kevin Mantey, Munir H. Nayfeh, Bahjat Al-Hreish, Jack Boparai, Ashok Kumar, Larry D. Stephenson, Andrew J Nelson, Salman A. Alrokayan and Khalid M. Abu-Salah, Silicon nanoparticle-functionalized fiberglass pads for sampling, **J. Appl. Phys.** 109, 064321, 2011.
- [49] Di Wei , Pritesh Hiralal, Haolan Wang , Husnu Emrah Unalan , Markku Rouvala , Ioannis Alexandrou , Piers Andrew , Tapani Ryhänen , Gehan A.J. Amaratunga "Hierarchically structured nanocarbon electrodes for flexible solid lithium batteries" **Nano Energy** 2 , 1054-1062, 2013
- [50] B. Abel, S. Coskun, M. Mohammed, R. Williams, H. E. Unalan, K. Aslan, "Metal-Enhanced Fluorescence from Silver Nanowires with High Aspect Ratio on Glass Slides for Biosensing Applications", **J. Phys. Chem. C** 119, 675, 2015.