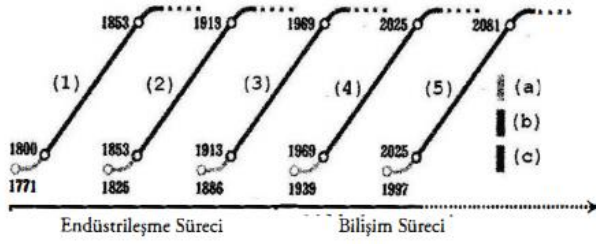


NANOTEKNOLOJİ

BİLİM VE TEKNOLOJİNİN GELİŞİM SÜRECİ

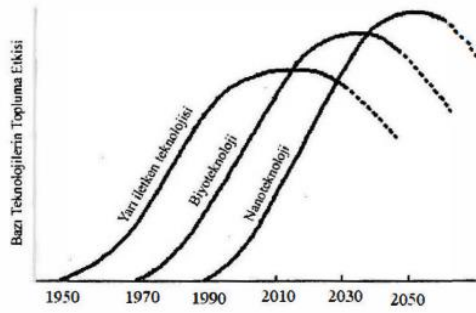
Bilim ve teknolojideki gelişmelerin sonucunda toplumların refah seviyesi yükselmektedir. Son iki buçuk asırdaki teknolojik gelişmeler buna iyi bir örnektir. 1700'lü yılların son çeyreğinde başlayan tekstil endüstrisindeki gelişmeler, ardından 1800'lü yılların ortalarında başlayan demiryollarındaki gelişmeler, 1900'lü yılların başlarında gelişen otomobil endüstrisi, 1900'lü yılların ortalarına yakın bir zamanda gelişen bilgisayar teknolojisi ve nihayet 1900'lü yılların sonlarında henüz başlangıç aşamasında olan nanoteknoloji. Söz konusu teknolojik gelişmeler şematik olarak gösterilmiştir:



Son iki buçuk asırdaki teknolojik gelişmeler. (1) tekstil, (2) demir-yolu, (3) otomobil, (4) bilgisayar, (5) nanoteknoloji. (a) başlaması, (b) yaygınlaşması, (c) gelişimini tamamlaması.

Günümüze kadar ilk üç teknolojik gelişme sürecini tamamlamış görünüyor, bilgisayar teknolojisi henüz gelişme sürecinde, nanoteknoloji ise henüz başlangıç safhasındadır.

Temel bilimlerin doğrudan uygulaması olarak nitelenebilecek teknolojik gelişmelerin başında yarıiletken teknolojisi (elektronik teknolojisi), biyoteknoloji (biyolojik yapılardaki gelişmeler, yani hücre seviyesinde yapılan gelişmeler) ve nanoteknoloji sayılabilir. Bu teknolojik gelişmelerin toplum refahını yükseltmedeki etkileri zamana göre şematik olarak gösterilmiştir.



Bazı teknolojik gelişmelerin toplum refahını yükseltmedeki etkilerinin zamana göre değişimi.

Yukarıdaki şemalardan da anlaşılacağı gibi nanoteknoloji henüz başlangıç aşamasında olduğundan, bu sahada çalışma yapma fırsatı her toplum için vardır. Nanoteknoloji alanında ise Türkiye için bu kaçırılmayacak bir fırsattır.

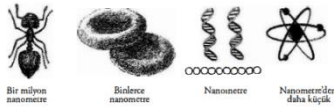
NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİDE GELİŞMELER VE UYGULAMALAR

Nanoteknoloji, atom ve moleküllerin bir araya getirilmesi ile nanometre ölçeklerde işlevli yapıların oluşturulması şeklinde özetlenebilir. Peki neden nanometre? Bunu anlamak ve nanometrenin büyüklüğünü zihninizde daha iyi canlandırabilmek için önce değişik uzunluk ölçülerini fiziksel açıdan karşılaştıralım:

İsim	Sembol	Değeri	Eşdeğeri	Açıklama
gigametre	Gm	10^9	1 gigametre = 1.000.000.000 metre = 1 milyar metre	Güneşin çapı yaklaşık olarak 1.390.000 kilometre veya 1.39Gm
megametre	Mm	10^6	1 megametre = 1.000.000 metre = 1 milyon metre	Yaklaşık olarak İzmir - Elazığ arası kuş uçuşu mesafe

İsim	Sembol	Değeri	Eşdeğeri	Açıklama
kilometre	km	10^3	1 kilometre = 1000 metre = bin metre	Boğaz Köprüsü'nün uzunluğu yaklaşık olarak 1,5 km
hektometre	hm	10^2	1 hektometre = 100 metre = yüz metre	Bir futbol sahası uzunluğu
dekametre	dcm	10	1 dekametre = 10 metre = on metre	Orca cinsi balının uzunluğu
metre	m	1		Kır yalanın uzunluğu
desimetre	dm	10^{-1}	1 desimetre = 0,1 metre = metrenin onda biri	Bir beyaz farenin uzunluğu
sanтимetre	cm	10^{-2}	1 santimetre = 0,01 metre = metrenin yüzde biri	İnsan elinde serçe parmağının tutak genişliği
milimetre	mm	10^{-3}	1 milimetre = 0,001 metre = metrenin binde biri	Ptirenin boyu
mikrometre (veya mikron)	µm	10^{-6}	1 mikrometre = 0,000001 metre = metrenin milyonda biri	Bakterilerin boyu
nanometre	nm	10^{-9}	1 nanometre = 0,000000001 metre = metrenin milyarda biri	Yaklaşık olarak insan saçı kalınlığının yüzbinde biri

1 nanometre (nm) 10^{-9} metre (m), metrenin milyarda biri, atomların büyüklüğü yaklaşık 0,1 nanometre (nanometrenin onda biri), insan saçının kalınlığı yaklaşık 100.000 nanometredir. Kullanılabilir bir nanoyapının büyüklüğünün 1 - 100 nanometre olduğu dikkate alınırsa nanoteknolojinin uğraş alanının atomlar ve moleküller düzeyinde olduğu açık bir şekilde görülür. Aslında, nanometre gerçekten de tam sınırdaki bir büyüklük, atomlar tek tek ele alındığında onların kendine has kuantum dünyası (mikroskopik dünya) için büyük, el ile tutulan, göz ile görülen davranışları (makroskopik dünya) için ise çok küçük olduğundan nanometre boyutlarında bir maddenin bu iki dünyanın karışımı ilginç özellikler taşıyacağı kuşku götürmez.



Farklı büyüklüklerin karşılaştırılması: Karıncanın başının genişliği bir milyon nanometre, biyolojik hücrelerin çapı bin nanometre, on tane yan yana konmuş hidrojen atomu bir nanometre, ONA molekülleri yaklaşık 2.5 nanometre, atomların çapları nanometrenin onda biridir. Bir insan saçının kalınlığı yaklaşık 100.000 nanometredir. Nanoteknoloji, nanoölçek ebatlardaki yapıların ve bileşenlerinin fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri değişen malzeme ve sistemlerle ilgilenir. Nanoölçekte belli bir işlevi olabilecek yapıların malzemelerini ve kendilerini kontrollü bir şekilde üretebilmek, özelliklerini ve işlevlerini belirleyecek nanoebatlarda aygıt yapabilmek, bu aygıtları günlük hayatımızda kullanılır hale getirmek nanobilim ve nanoteknolojinin hedefidir. Nanoebattaki yapıların özelliklerini makroskopik ölçekteki yapıların özelliklerini inceleyen, ölçen yöntemlerle tam

olarak belirlemek mümkün değildir. Nanoölçekteki yapıların farklılıkları sadece ebatlarının küçüklüğü ile ilgili değil, ayrıca küçük ebatlarda farklı fiziksel özelliklerin ortaya çıkması ile de ilişkilidir. Ebatlar küçüldükçe kuantum özellikler (mikroskopik özellikler) daha belirgin hale gelir. Bunun en önemli sonuçlarından birisi atomların geometrik düzeninin maddenin bazı fiziksel özelliklerini etkilemesidir. Karbondan yapılmış malzemeler bu konuda çok iyi örneklerdir. İşin ilginç tarafı, karbondan başka elementlerden oluşmuş yapıların da boyutu azalınca benzer özellikler göstermesidir. Örneğin, bizmut kristali ile bizmut nanotelini ele alalım. Bizmut kristali makroskopik ebatta yarımetal bir malzemedir, fakat nanotel halinde yarıiletken bir malzeme özelliği göstermektedir. Aynı atomlardan oluştuğu halde farklı geometride birbirinden apayrı davranışa sahip iki farklı malzeme karşımıza çıkmaktadır, üstelik her iki yapıda da atomların birbirlerine bağlanma şekilleri aynıdır; Başka bir örnekte altını ele alalım; altın elementi makroskopik büyüklükte sarı renkli görünürken nanoebatlarda kırmızı renkte görünür. Yani maddenin sırf elektronik özellikleri değil, optik özellikleri de boyutu ile değişir. Bundan şu sonuç çıkartılabilir; malzemelerin nanoölçekteki yapılarını kontrol etmeyi başarmakla birçok özelliği ve dolayısı ile işlevleri kontrol edilebilmektedir.

Malzemelerin elektronik,optik..vb. fiziksel özellikleri boyutuna göre değişmektedir.Nanobilim bununla ilgili olarak araştırmalar ve çalışmalar yapar.

Bir maddenin aynı boyutta olmasına rağmen farklı özellik ve yapıda olabilir. Bizmuttan örnek verilecek olursa;



Çubuk yapının iç kısmı kristal yapı özelliğindedir, tüp yapının içi boştur, atom dizisi şeklindeki yapılar ise bir kristal yüzeyine dizilmiş atomlardan oluşur. Bunların hepsi nanotel olarak değerlendirilebilir.

Nanoteknolojinin Gelişme Süreci

Şimdi biraz da nanoteknolojinin tarihçesinden söz edelim. Bu konuya ünlü fizikçi Richard Feynman (1918-1988) ile başlamak uygun olacaktır. Richard Feynman, öngöruları, bilimi herkese yayma çabaları ve verdiği seminerleri ile fizikçiler arasında tanınmış bir bilim adamıdır. Kuantum elektrodinamiği sahasında yapmış olduğu çalışmalarla 1965 yılında Fizik Nobel ödülünü almıştır. Bu ünlü fizikçi 1959'da bir konferansta "There is plenty of room at the bottom" (Aşağıda daha çok yer var) başlıklı bir konuşma yapmıştır. Feynman bu konuşmasında eğer atom ve molekül büyüklüklerinde imalat yapılabilirse birçok yeni keşiflerin olabileceğini söylemiş, Feynman bu konuşmasında ayrıca böyle bir şeyin gerçekleşebilmesi için ilk başta nano ölçekte özel ölçme ve üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Feynman'ın bu meşhur konuşması nanobilim ve nanoteknolojinin başlangıcı kabul edilmektedir.

Feynmann 1959'da yaptığı konuşmasında özetle şunları öngörmüştür:

- 24 ciltlik Brittanica Ansiklopedisini bir toplu iğne başına neden yazamayalım?
- Küçük ölçekte bilgi
- Daha iyi elektron mikroskobu
- Fevkalade biyolojik yapılar
- Bilgisayarları minyatürleştirme
- Buharlaştırma yolu ile minyatürleştirme
- Sürtünme sorunları
- Yüzlerce minik el
- Atomları yeniden organize etme
- Küçük bir dünyada atomlar

Feynmann'ın 1959'daki konuşmasında şu önemli gözlemle karşılaşırız:

Herhangi bir konuda bir gelişme, atılım yapmak istenirse insanları, özellikle gençleri, söz konusu konu ile ilgili olarak yarışmalar düzenleyerek rekabete sokmak itici bir güç olacaktır. Feynman konuşmasında şöyle bir hayali de örnek vermiştir: Bir lisenin öğrencileri bir toplu iğne başına "iyi mi?" yazısını yazıp rakip lise öğrencilerine gönderirler, onlar da bunun üzerine toplu iğnenin başı üzerindeki yazının i harflerinden birisinin noktası içine "o kadar da değil!" yazısını yazıp gönderirler. Feynmann gerçekleşmesini hayal ettiği bu düşünceye göre 1960'lı yılların başında Feynmann üniversite öğrencileri arasında bir yarışma düzenlemiştir. Kim çalışır vaziyette dünyanın en küçük elektrik motorunu yapabilirse ona 1000 \$ ödül vereceğini vaat etmiştir. Kısa süre içinde bunu gerçekleştirmiştir de. Önemli gelişmeleri, hayal gücü geniş insanların gerçekleştirebileceği bir kez daha kanıtlanmış oluyor.

Feynmann'ın öngördüğü düşünceler 1980'lere kadar gerçekleşmedi. 1980'li yılların başlarında nanoyapıların bazı fiziksel büyüklüklerini ölçmek ve nanoölçekte malzeme üretmek maksadıyla kullanılabilecek bazı yöntemler ve aygıtlar geliştirildi, böylece Feynman'ın bahsettiği ilk adım atılmış oldu; taramalı tünellemeli mikroskoplar, atom kuvveti mikroskopları, yakın alan mikroskopları bunlardan bazılarıdır. Daha sonra yer alan en önemli gelişmelerden biri 1985'te karbon nanotopların ve hemen ardından 1991 'de karbon nanotüplerin keşfidir. Çok yakın tarihli önemli bir gelişme ise 2001 'de nanolaser gerçekleştirilmesidir. Bu gelişmelerle beraber bilgisayarların gelişmesi de bu konuda kuramsal çalışmaların, özellikle bilgisayar (benzetişim) simülasyon çalışmalarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Deneylerin mümkün olmadığı durumlarda veya çok zor deney şartlarında bilgisayar benzetişimleri çok değerli ön bilgiler sağlar. Gelişmeler (hem deneysel hem de kuramsal açıdan) artan bir hızla devam etmektedir. Gelişmiş ülkeler bu sahada araştırma ve geliştirme yapabilmek için bütçelerinden çok miktarda para ayırarak sırf bu sahada çalışma yapan merkezler (Nanoteknoloji Merkezleri) kurmuşlardır. Nanobilim ve Nanoteknolojinin gelişmesi ve yaygınlaştırılmasındaki öncü çalışmalar olarak nanoölçekte ölçme ve inceleme yapabilen mikroskoplar ile karbon nanotoplar ve nanotüplerin keşfinin olduğu söylenebilir.

Nanobilim ve nanoteknolojinin kronolojik gelişimi

- 1959: Richard Feynman meşhur konuşmasını yaptı.
- 1974: Avirain ve Seiden ilk moleküler elektronik aygıt için patent aldı.
- 1981: G.K. Binnig ve H. Rohrer atomları tek tek görüntüleyebilmek için STM'yi icat ettiler.
- 1985: R Curl Jr., H. Kroto; R. Smalley C60'ı keşfettiler.
- 1986: G.K. Binnig, C.F. Quate, C. Gerber AFM'yi icat ettiler.
- 1986: K.E. Drexler "Engines of Creation" kitabını yayınladı (moleküler nanoteknoloji fikri).
- 1987: İletkenliğin kuantum özelliği ilk defa gözlemlendi.
- 1987: T.A. Fulton ve G.J. Dolan ilk defa tek elektron transistörü yaptılar.
- 1988: W De Grado ve ekibi ilk defa suni protein yaptı
- 1989: IBM (Zurich)'de 35 Xe atomundan IBM yazısı yazıldı.
- 1991: Iijima çok duvarlı karbon nanotüpleri keşfetti.
- 1993: Iijima ve Bethune tek duvarlı karbon nanotüpleri keşfetti.
- 1993: Rice Üniversitesi'nde (ABD) ilk "nanoteknoloji" laboratuvarı kuruldu.
- 1997: N. Seeman ilk defa DNA molekülü kullanarak nanomekanik aygıt yaptı.
- 1997: İlk defa nanotüp kullanarak elektrik akımı ölçüldü.
- 1998: C. Dekker ve ekibi TUBEFET yaptı.
- 1999: M. Reed ve J.M. Tour ilk defa tek organik molekül ile elektronik anahtar yaptı.
- 2000: ABD'de ilk defa nanoteknoloji araştırmaları için 422 Milyon \$ kaynak ayrıldı.
- 2001: İlk defa nanotüplerden transistör ve mantık devreleri yapıldı.
- 2001: ZnO nanotel laseri yapıldı.
- 2002: Superörgü nanoteller yapıldı.
- 2005: İlk dört tekerlekli nano araba modeli hareket ettirildi.

Nanoteknolojinin uygulama alanları ve etkileri

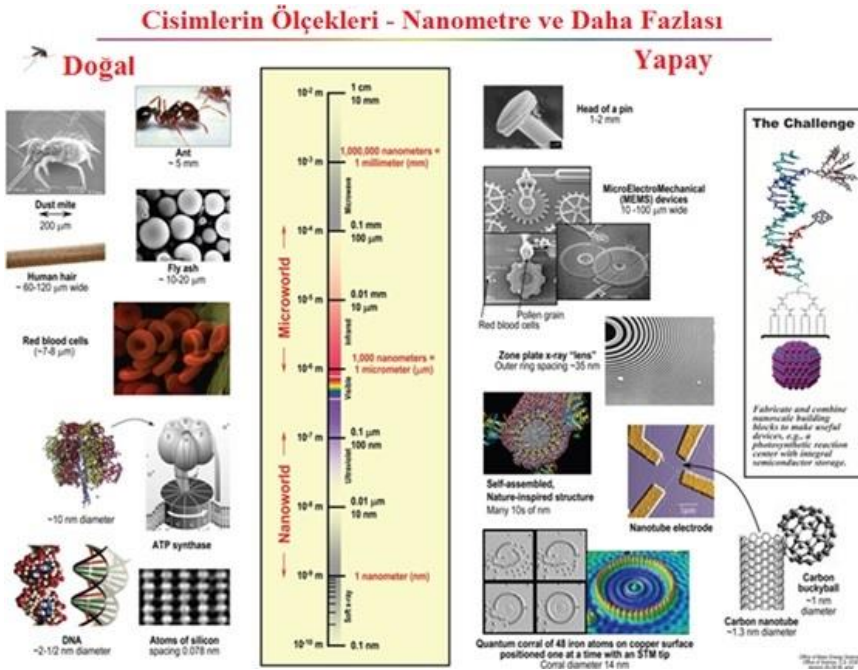
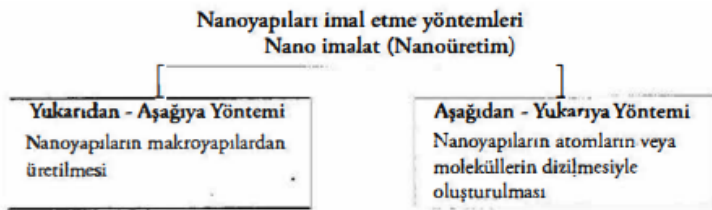
Nanoteknolojinin uygulama alanları geniş olmakla beraber bazı sahalarda etkisi ve önemi daha da fazladır. Bunlardan bazılarını özetleyelim:

Malzeme ve imalat: Nanoteknoloji gelecekte yapılması düşünülen malzeme ve aygıt üretim yöntemlerinin değişmesini; nanoölçekte işlevi olan malzeme ve aygıtların makroskobik boyutlardaki malzeme içine yerleştirilmesini ve bunların çok miktarda hatasız üretilmesi için yeni yöntemlerin

geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Nanoölçekteki malzemelerin daha hafif, daha sağlam, programlanabilir malzemeler olması, daha az malzeme kullanımı, üretim safhasında daha az enerji gereksinimi, artık malzeme üretmemesi gibi avantajlar nanoimalatta önemli hususlardır.



Nanoölçekte imalat "yukarıdan-aşağıya" ve "aşağıdan-yukarıya" yöntemleri olmak üzere başlıca iki kısma ayrılabilir:



Tabiatta mevcut olmayan yeni yapıların tasarlanması mümkün olabilir; biyolojik malzemeler de dahil olmak üzere düşük maliyetli üretim yöntemleri geliştirilebilir. Muhtemel uygulama alanları: Sonradan işlenmeye ihtiyaç duyulmadan tam istendiği şekli ile nanoyapıda metal, seramik, polimer malzemeler; nanoölçekte parçacıklardan yapılmış boya ve boyar maddeler kullanılarak geliştirilen baskı yöntemleri; nanoölçekte kaplama yapılmış kesme aletleri, elektronik, kimyasal uygulamalar; nanoölçekte yeni ölçüm standartları; yonga üzerinde nanoölçekte karmaşık ve çok işlevli nanoüretimdir.

Nanoelektronik ve Bilgisayar Teknolojisi: Nanoölçekte elektronik devre elemanlarının üretilmesiyle bilgisayar mimari tasarımında yeni gelişmeler beklenmektedir. Henüz söz konusu elemanların üretimi,

birbirleri ile uyumlu çalışacak şekilde birleştirilme işlemleri tam olarak bilinmemektedir. Nanoölçekte bilgi depolama elemanları ayrı bir önem kazanmaktadır. Nanoölçekte elektronik devre elemanları daha az enerji ile işlevlerini yerine getirebildiğinden nanoteknoloji ürünü bilgisayarların günümüz teknolojisi ile üretilen bilgisayarlara kıyasla ebat olarak daha küçük, hız ve kapasite olarak daha büyük, harcadığı enerji bakımından çok daha ekonomik olacağı beklenmektedir. Bu sahadaki gelişme, bilişim teknolojilerinin gelişmesini de sağlayacaktır.

Havacılık ve Uzay Çalışmaları: Uzay yolculuklarında gerekli olan yakıt hem ağırlık bakımından hem de hacim bakımından günümüz teknolojileri ile sınırlı miktarda alınabilmektedir. Nanoteknoloji ürünü malzemeler ve aygıtların kullanılması bu sahadaki zorluklara da çözüm getirecektir. Nanoyapılı malzemeler daha hafif, daha sağlam, sıcaklığa karşı daha dayanıklı olmaları sebebiyle roket ve uzay istasyonlarının yapımında önemli olmaktadır.



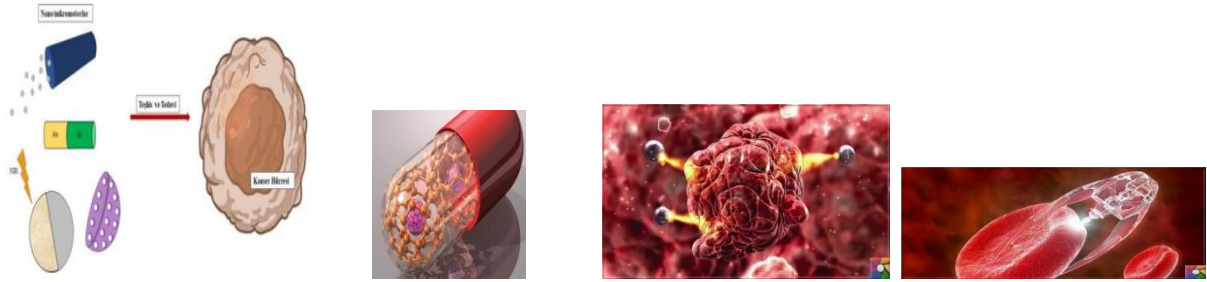
Muhtemel uygulamalar: Az enerji gerektiren, radyasyona karşı dayanıklı, yüksek verimli bilgisayarların yapımında; mikro ölçekteki uzay araçlarında kullanılabilecek nano ölçekte aletler; nanoyapılı algılayıcılar ve nanoelektronik ile desteklenen uçuş istemleri yapımı; ısıya dayanıklı nanoyapılı kaplama malzemeleri olabilir.

Tıp ve Sağlık: Canlıların yapıtaşları hücreler nanometre ölçekteki moleküllerden oluşur. Nanoteknolojinin doğadaki işlevsel karşılığı olarak hücreyi göstermek mümkün, dolayısı ile bu konudaki anlayışımızı ilerletmek için canlıları ayrıntılı incelememiz kaçınılmazdır. Bu yapılara nanoölçekte bakıldığında fizik, kimya, biyoloji ile beraber (bilgisayar benzetişimlerinin) "simülasyon, modelleme" de uygulandığı disiplinler arası bir araştırma sahası ile karşılaşılır. Böylece disiplinler arası işbirliği nanobiyoteknoloji gibi sahalarda önemli gelişmeler yapılmasını sağlayacaktır. Hayatın yapıtaşları, proteinler, nükleik asitler, lipitler, karbohidratlar, ebatları ile kıvrımları ile dizilişleri ile belirli özellikleri olan nanoölçekteki malzemelere örnek sayılabilir. Günümüzde gen çalışmalarının zorluğunun nanoölçekteki aygıtlarla giderilebileceği görüşü yaygındır. Bu sahadaki gelişmelerin hem teşhiste hem de tedavide yeni yöntemlerin geliştirilmesini sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca yeni biyolojik malzeme üretiminin gerçekleşmesiyle suni organ yedeklemenin mümkün olacağı inancı kuvvetlenmektedir. Bu sahada bilgisayar modelleme çalışmaları ile gerçek ortamlardaymış gibi makromoleküllerin davranışları hakkında bilgi edinmek mümkün olacaktır. Böylece modellemelerin yapılması biyolojik malzeme geliştirilmesinde ve yeni ilaç tasarımlarında zorunlu hale gelmiştir.

Nano/mikromotorlar, enerjiyi harekete dönüştürebilen makinelerdir Nano/mikromotor teknolojisi kanserle mücadelede yeni ve etkili yöntemler sunmaktadır.

İlaç taşıma ve bölgesel tedavi gibi yenilikçi yöntemlerle tedavi etkinliğini artırırken yan etkileri en aza indirebilmektedir. Nano/mikromotor teknolojisi, kanser teşhisinde daha hassas ve erken bir yaklaşım sağlayarak tedavi sürecini iyileştirebilir. Ayrıca, ilaç taşıma ve bölgesel tedavi gibi yenilikçi

yöntemlerle tedavi etkinliğini artırırken yan etkileri en aza indirebilir. Nano/mikromotorların sentezi ve uygulamasıyla ilgili araştırmalar, kanser teşhis ve tedavisinde önemli bir potansiyele sahip olduklarını göstermektedir.

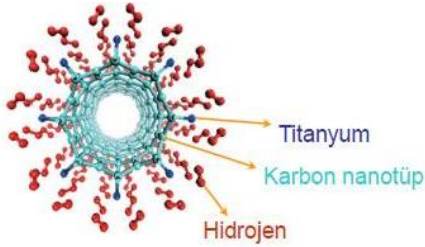


Nano/mikromotorlar, enerjiyi harekete dönüştürme kabiliyetine sahip nano veya mikro boyutta makinalardır. Bunlar; kimyasal yakıt ve harici etkenler neticesinde enerjiyi harekete dönüştürme prensibi ile çalışırlar. Bu harici etkenler; manyetik alan, elektrik alan, ultrason ve ışık gibi etkenler olabilir. Farklı tahrik mekanizmalarına sahip nano/mikromotorlar kanser ve bulaşıcı hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli rol oynarlar. Özellikle kanser tedavilerinde en çok tercih edilen yöntem olan kemoterapi ve radyoterapi gibi yöntemlerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, araştırmacıları nano/mikromotor çalışmalarına yönlendirmiştir. Nano/mikromotorlar; kanserleşmiş hücrenin erken teşhisini mümkün kılması ve geleneksel kanser tedavilerindeki yan etkilerin en aza indirilmesi gibi avantajlara sahiptir.

Muhtemel uygulamalar: Daha hızlı gen çalışmalarının yapılması ile teşhis ve tedavide yeni gelişmeler olabilir, vücut içerisine yerleştirilebilen muhtelif ölçüm cihazları hem daha hassas sonuç verebilir hem de daha ekonomik olabilir, ilaçların vücutta sadece gerekli olduğu bölgede kullanımını sağlayarak olası yan etkiler yok edilebilir, vücut tarafından reddedilmeye dayanıklı suni doku ve organ malzemesi üretilir, görme ve duyma işlevlerinde yeni gelişmeler sağlanabilir, tehlikeli hastalıkları haber veren algılayıcı sistemler vücuda yerleştirilebilir. Yakın vadede beklenen en önemli katkı, nanoölçekte malzemelerin nasıl kendi kendini ürettiğinin anlaşılmasıyla "self-assembly" proteinlerin ve çeşitli organik maddelerin üretim şekli kopyalanabilir, nanoteknoloji çok daha iyi uygulanabilir ve kontrol edilebilir.

Çevre ve Enerji: Nanoteknolojinin enerjinin verimli kullanılmasında, depolanmasında ve üretilmesinde önemli etkileri vardır. Çevre sorunlarının gözlenmesinde ve giderilmesinde kullanılabilir, çeşitli kaynaklardan gelen atıklar önlenir, daha az atık yapan üretim sistemleri geliştirilebilir. Gelecekte yaşamsal bir ihtiyaç haline gelecek olan temiz su elde edilmesinde nanofiltreler kullanılabilir. Kataliz işlemlerinde katalizör malzemelerinin nano ölçekte olmasından dolayı nanoteknolojinin kimya endüstrisinde önemli bir yeri vardır. Petrol endüstrisinde kullanılan gözenekli yapıdaki malzemeler "porus malzemeler" nanoteknoloji ürünü olarak karşımıza çıkmaktadır. Otomobil endüstrisinde kullanılan nanoteknoloji ürünü malzemelerden yapılmış daha hafif otomobiller daha az yakıt harcayacağı için çevreyi daha az kirletecek, ayrıca daha ekonomik olacaktır. Otomobil tekerleklerindeki lastiklerde siyahcarbon yerine nanoteknoloji ürünü inorganik kil ve polimer kullanılması çevre dostu lastiklerin yapımında nanorobotların ve akıllı sistemlerin nükleer atıkların kontrolünde ve filtrelenmesinde kullanıma olasılığı vardır. Nanoteknolojinin uygulama alanlarından önemli sayılabilecek başka bir konu da temiz enerji kaynağı olarak kabul edilen hidrojen enerjisi ile ilgilidir. Bu konu başlı başına incelemeye değer ve önemli olmasına rağmen nanoteknoloji

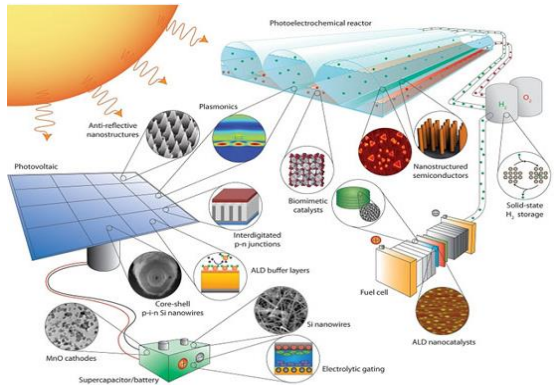
ile ilişkisinden kısaca bahsedelim. Hidrojen enerjisi konusunda üç önemli husus vardır, bunlar; hidrojen gazının üretilmesi, hidrojen gazının depolanması ve hidrojen gazının depoya konması ve depodan çekilmesi safhalarıdır. Bu üç husus birbirinden bağımsız olarak araştırma yapılabilecek önemdedir; henüz araştırmalar devam etmekte olduğundan, özellikle hidrojen gazını depolama işi şimdilik tamamen nanobilim ve nanoteknoloji konusu olarak görülmekte, hidrojen gazını depolama işine nanoölçekte çözüm aramak gerekmektedir.



Hidrojen Depolama

Nanomalzemeler ve nano yapılar kullanılarak güneş pillerinin verimleri laboratuvar skalasında %40'lara kadar yükseltilmiş ve güneş pillerinin polimer ve kumaş gibi bükülebilir alttaşlar üzerinde üretilebilmesi sağlanmıştır. Bunun yanı sıra yakıt pillerinin boyutlarının küçülmesiyle yeni uygulama alanlarının kapıları aralanmıştır. Nanokompozit malzemeler kullanılarak çok küçük hacimlere hidrojen depolanabilmekte, yine nanokompozitler ile rüzgar türbinlerinin kanatları daha hafif ve dayanıklı olabilmektedir.

Fotovoltaik cihazlarda nano-yapılı malzemeler hem yarı iletken hem de yansımayı engelleyen anti-reflektans yüzeylerde kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra nano-üretim yöntemleri ile daha küçük alanlardan daha yüksek verimler elde edilebilmektedir.



Nano-malzemeler ve sistemler kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretimi

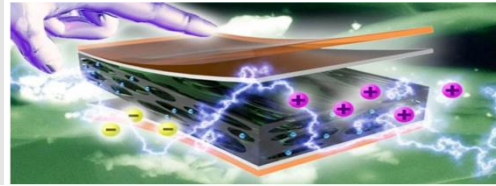
Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren bir başka sistem de foto-elektro kimyasal pillerdir. Bu pillerde foto-elektrik etki ile üretilen elektrik enerjisi suyun hidrolizinde kullanılarak hidrojen gazı üretilir. Bilindiği üzere hidrojen gazı yakıt pilerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Yakıt pilleri küçük hacimlerde yüksek güç yoğunluklarının elde edilebilmesi ile ön plana çıkan önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Nano-malzemeler ve yapılar enerji depolama sistemlerinde de yüksek verim elde edilmesini sağlamaktadır.



Nanoteknoloji; malzeme bilimi, matematik, fizik, kimya, biyoloji, eczacılık ve tıp, bilgisayar, elektronik bilimlari gibi birçok farklı alanı bir araya toplamaktadır.Yani nanoteknoloji farklı teknolojik yaklaşımların aksine sınırları net belli olan bir yaklaşım sergilememektedir. Nanoteknoloji ile üretilen malzemelerde, cihazlarda; minimum maliyet, minimum enerji tüketimi, minimum çevre kirliliği gibi avantajlar ile gelecekte yaşamımızın her alanında önemli bir yer kaplayacağını sinyalleri verilmektedir.

Michigan Eyalet Üniversitesi'nde görevli araştırmacılar nanoteknoloji alanında çığır açacak yeni bir cihaz geliştirdi. Son derece ince ve esnek olan bu nanoteknoloji cihazı sayesinde insan hareketlerinden enerji elde edilebilecek. Akıllı telefonlardan dizüstü bilgisayarlara çeşitli cihazlarda kullanılabilecek bu yeni teknoloji, birçok alanda fark yaratma potansiyeline sahip.

Biyo-uyumlu ferroelektrik nanogeneratör ya da **FENG** olarak anılan bu yenilikçi teknoloji sayesinde insanların klavyede yazı yazmasından veya telefonunu kullanmasından elde edilecek enerji ile bu cihazlar şarj edilebilecek. Cihazı geliştiren ekibin başında yer alan **Michigan Eyalet Üniversitesi** elektronik mühendisi **Nelson Sepulveda**; yakın gelecekte bu teknoloji sayesinde insanların telefonlarını bir hafta boyunca şarj etmeden kullanabileceklerini belirtti.



Biyoteknoloji ve Tarım: Biyosentezleme ve biyoişleme yeni kimyasal ve ecza malzemesi sağlayabilir. Biyolojik yapı taşlarının suni malzemelerin ve aygıtların içine yerleştirilmesiyle biyolojik işlev ve başka istenen özelliklere sahip malzemeler üretilebilir. Tarımda da nanoteknolojinin kullanım alanları vardır. Örneğin bitkileri böceklerle karşı korumak için moleküler seviyede kimyasalların geliştirilmesi; hayvanlar ve bitkilerin genlerinin, hayvanlar için ilaçların, DNA testleri için nano ölçekte kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi sağlanabilir.

Savunma: Savunma sanayiinde nanoteknolojinin önemli bir yer vardır.



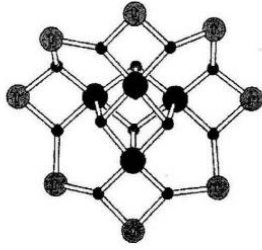
Bazı uygulama alanları: Nanoelektronik yardımı ile haberleşme askeri açıdan çok önemlidir; yine nanoelektronik yardımı ile çok karmaşık eğitim sistemleri yapılabilir, robot sistemlerinin etkin kullanılması ile daha az insan gücü kullanımı sağlanabilir, böylece insan vücudunun tahammül sınırları

dışında da etkin kullanımı gerçekleştirilebilir, nanomalzemelerden yapılmış bazı aygıtlar daha hafif ve daha sağlam, daha uzun ömürlü olabilir, nano algılayıcılar ile zararlı gazlar ve radyoaktif serpinti tespit edilebilir, nano ve mikro mekanik aygıtların birleştirilmesi ile nükleer savunma sistemleri kontrol edilebilir. Nanoteknoloji ürünü tekstil malzemeleri ile akıllı giyecekler yapılabilir.

Bilim ve Eğitim: Nanobilim ve nanoteknoloji fizik, kimya, biyoloji gibi temel bilimlerle malzeme, elektronik, kimya, makine, bilgisayar mühendisliği gibi uygulamalı bilimlerin ortak ilgi alanına girdiğinden nanoteknoloji disiplinleri arası işbirliği yapılarak sonuç alınabilecek bir sahadır, eğitim programlarında da bu gelişmeye uygun olarak yeni düzenlemeler yapılması gerekir. Birçok gelişmiş ülkede bu alandaki gelişmeler dikkate alınarak yeni programlar açılmaktadır. Türkiye'de de bu yönde gelişmelerin başlamış olması sevindiricidir.

Başka Muhtemel Uygulamalar: Nanobilim ve nanoteknoloji yukarıda belirtilen uygulama alanları ile sınırlı değildir. Başka uygulama alanları da olabilir.

Bunlardan bazıları: Daha hafif ve daha emniyetli taşıma sistemleri geliştirilebilir; kirlilik ölçümleri, kontrolü, azaltıcı yöntemleri geliştirilebilir; güvenilir adli araştırmalar yapılabilir, kaliteli baskı işleri yapılabilir, kuantum özellikleri çeşitli işlerde, özellikle yeni ve devrimsel bilgisayar uygulamalarında kullanılabilir, örneğin elektronların spinleri bilgi iletimi için kullanılabilir "spintronik"; çeşitli maksatlar için kullanılacak nanometre boyutlarında mıknatıs yapılabilir, vb.



*Bir nanomıknatıs, moleküler mıknatıs örneği.
Bu örnek üç farklı atom içermekte.*

Nanoboyutta makine (veya robot) yapmak ileri için düşünülen en önemli ve heyecan verici konulardan birisi olmaya şimdiden adaydır. Yapılabilecek nanomakinelerin elemanlarını birçok araştırmacı şimdiden tasarlamaya başlamıştır. Böyle makine elemanlarına birkaç örnek gösterilmiştir.

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ AÇISINDAN KARBON

Biyolojik yapılar nanoteknolojinin gelişmesinde ilham kaynağı olmuştur. Karbonun organik maddelerdeki yaygınlığı ve vazgeçilmezliği düşünüldüğünde, -sonuçta bütün canlıların karbon esaslı hayatı var-, nanoteknoloji açısından karbon atomunun ne kadar önemli olduğu açıkça görülecektir. Altmış tane karbon atomunun futbol topu şeklinde bir kafes yapısı halini alarak oluşturduğu C₆₀ molekülünün 1985 yılında deneysel olarak ilk defa elde edilmesinin, nanobilimin kapısını araladığını söyleyebiliriz. Arkasından 1991 yılında yine deneysel olarak ilk defa karbon nanotüp yapılarının elde edilmesi nanoteknoloji sürecini başlattı ve bu alandaki deneysel ve kuramsal çalışmaları hızlandırdı. Karbon nanotüpler sahip olduğu yapısal ve mekanik özellikler açısından nanoölçekteki malzemelere en güzel örneklerden biridir ve belki de ilk nanoteknolojiye has uygulamalar bu yapı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki gelişmeler nanobilim ve nanoteknolojide farklı malzemeler ve yapılar üzerinde de çalışmaların yapıldığını göstermektedir; ancak günümüzde yapılan çalışmaları da göz

önüne aldığımızda nanoyapılar üzerindeki çalışmaların çoğu karbon esaslı malzemeleri oluşturmaktadır. Nanobilim ve/veya nanoteknoloji dendiğinde akla ilk önce karbon nanoyapılar gelmektedir, çünkü bu sahada öncü element karbon atomudur, öncü malzeme de karbon esaslı malzemelerdir.

Nanometre ölçüsünde sadece karbon atomlarından oluşan ilginç yapılar vardır. Bunlar genellikle toplar, tüpler, çubuklar ve halkalar şeklinde sınıflandırılabilen kafesimsi yapılardır. Karbon nanoyapıların pratikte uygulama alanları elektronikten tıbbi malzemelere kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır.

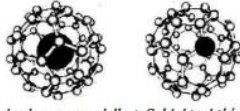
Karbon Nanotoplar:Karbonun top şeklinde kafes yapısı oluşturabileceği fikri ilk defa 1966 yılında D.E.H. Jones tarafından ortaya atılmıştır, ancak bu düşünce o zamanlar bilim çevrelerinin pek ilgisini çekmemiştir. 1970 yılında E. Osawa kase şeklinde olan "coranulene" molekülünü sentezledikten sonra bunun birkaçının bir araya gelmesi ile top şeklinde kafes yapı olabileceği fikrini ileri sürmüştü, ancak bu görüş de fazla ilgi görmemiştir.

1984 yılında R.E. Smalley ve arkadaşlarının grafit kristalini laser ile eritip buharlaştırma yaptıkları sırada karbon atomlarının topaklar halinde farklı büyüklüklerde top şeklinde kafes yapılar oluşturduğunu farketmişlerdir. Bu karbon topları 20- 130 kadar karbon atomu içermektedir. 1985 yılında R.F. Curl, H.W. Kroto ve R.E. Smalley oluşan karbon toplarını ayırtırmayı başardılar, böylece karbon nanotopların yapılarının ayrıntılı bilinmesinin yolu açılmıştır. Bu ekibe yapmış oldukları öncü çalışmalarından dolayı 1996 yılında Kimya Nobel ödülü verilmiştir. Grafitin buharlaştırılması sırasında oluşan topların %75 kadarını 60 atomlu toplar (C_{60}), %23 kadarını 70 atomlu toplar (C_{70}), kalanını da daha küçük ve daha büyük toplar oluşturmaktadır. Bu topların içerisinde yapısı ve özellikleri en iyi bilineni, aynı zamanda en sağlamı, C_{60} dir. Karbon toplarında atomlar birbirleri ile sp^2 şeklinde bağlanırlar. Karbon toplarının hepsinde çift sayıda karbon atomu vardır, ayrıca kararlı yapıdaki karbon toplarda atomlar altıgen ve beşgen geometrik şekiller oluşturarak ve sadece üç komşusu olacak şekilde bir araya gelerek kafes yapıyı meydana getirmektedirler. Kafes yapıdaki karbon toplarına genel olarak "fullerene" adı verilmektedir. Bu adlandırma başlangıçta C_{60} için düşünülmüş olsa da günümüzde her boydaki karbon toplarına kısaca fullerene denmektedir. Fullerene adı, C_{60} 'in yapısının Mimar Buckminsterfullerene'nin yaptığı mimari tasarımlara benzemesinden dolayı mimarın adına izafeten verilmiştir.

Karbon topların en küçüğünde 20 tane atom vardır, bunlar 12 tane düzgün beşgenden oluşan bir yapıdadır. 12 yüzlü yapılara veya bu yapıların simetrisine sahip yapılara da ikozahedral yapılar denir. 20 atomdan başlayarak 1000'ler ölçüsüne kadar varan büyüklüklerde karbon nanotoplar mevcuttur. Karbon nanotopların en çok üretileni ve yaygın olarak kullanılanı 60 karbon atomundan oluşan C_{60} dir. C_{60} 12 tane beşgen ve 20 tane altıgen yüzden oluşan 12 yüzlü simetrisi olan (ikozahedral simetri) küre şeklinde bir yapıya sahiptir. Genellikle ikozahedral simetrideki karbon topları farklı büyüklüklerde tek duvarlı olduğu gibi, iç içe geçmiş soğan katmanları gibi yapıları da oluşturmakta, ayrıca ikili gruplar (dimer) halinde de bulunabilmektedir.

Karbon topları saf oldukları gibi katkılандırılmış olarak da elde edilebilmektedir. Katkılандırma topların içine yerleştirilen başka bir element ile olduğu gibi top atomlarından birisinin yerine konan başka bir atom ile de yapılabilir. Toplardan oluşturulmuş kristal yapıda toplar arasına da başka bir

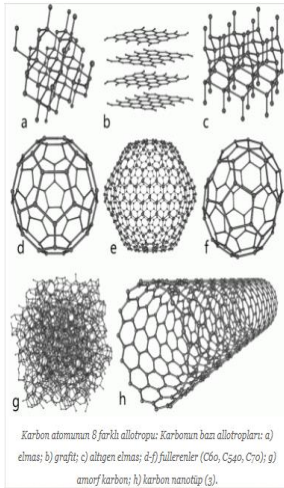
atom yerleştirilebilmektedir. Karbon toplar kristal yüzeylerine yerleştirildiğinde konduğu yüzeyin elektronik ve optik özelliklerini değiştirmektedir.



Katkılandırılmış karbon top modelleri. Soldaki şekilde başka bir atom karbon-60'ın içine yerleştirilmiş, sağdaki şekilde ise karbon atomlarından birinin yerine başka bir atom yerleştirilmiş.

Karbon Nanotüpler: Karbonun tüp şeklinde yapı oluşturabileceği ilk defa 1991 yılında lijima tarafından deneysel olarak farkedilmiştir. Grafitten "ark-discharge", buharlaştırma yöntemi ile elde edilen tüpler grafit plakasının kıvrılarak silindirik şekline gelmesi ile oluşan yapılardır. Farklı çap ve boyda olabilen bu yapılar uçları açık olabileceği gibi kapalı da olabilir. Tek duvarlı olabileceği gibi iç içe geçmiş silindirikler şeklinde çok duvarlı yapıları da olabilir. Grafit plakasının kıvrılma yönüne göre tüpler değişik mekanik ve elektronik özellikler göstermektedir; çok esnek ve sağlam olmaları gibi.

Karbon nanoçubuklar: İç içe geçmiş karbon tüplerinde (çok duvarlı tüpler) iki tüp arasındaki mesafe genellikle tüpü oluşturan karbon atomları arasındaki bağ mesafesinden büyüktür. Eğer iç içe geçmiş tüplerde tüplerin duvarları arasındaki mesafe karbon atomlarının bağ yapabileceği kadar yakın ise (0, 15 nanometre'den küçük) o zaman karbon atomları birbirleri ile sp^3 (gibi) bağlanmakta, başka bir deyişle, her karbon atomunun dört bağlı komşusu bulunmaktadır. Bu durumda oluşan çok duvarlı tüp yapısına çubuk denmektedir. Bu yapılar tüplere göre daha az esnektirler, bu yapılar tek duvarlı tüplerden farklı mekanik ve elektronik özellikler göstermektedir. Karbon nanoçubuklar sadece tüp modellerinden oluşmamakta, kristal (elmas) yapı örgüsünden de nanoçubuk yapılar oluşabilmektedir. Ayrıca yan yana dizilmiş benzen halkalarından da (hidrojenleri olmadan) nanoçubuk yapıların mümkün olabileceği öngörülmektedir, böyle yapılara "benzorod" (benzoçubuk) adı verilmektedir.



Karbon atomunun 8 farklı allotropu: Karbonun bazı allotropları: a) elmas; b) grafit; c) amorf karbon; d-f) fullerener (C60, C540, C70); g) amorf karbon; h) karbon nanotüp (3).

Karbon Nanoyapıların Uygulama Alanları

Karbon nanotopların elektronik olarak uyarılmış seviyelerde doğrusal olmayan soğurma özelliği göstermesinden dolayı optik sınırlayıcı aygıt olarak kullanılabileceği, foto yansıtıcı polimer tabaka elde edilebileceği, fotoiletken, fotodiyot ve transistör olarak, ayrıca güneş pillerinde de kullanılabileceği laboratuvar şartlarında gösterilmiştir. Malzeme bilimi açısından karbon toplar suni elmas yapımında, silisyum karbür ince plaka yapımında, katalizör olarak, yüzey kaplamada, biyolojik ve tıbbi malzeme yapımında kullanılabileceği gibi elektrokimya uygulamaları olarak da hidrojen depolamada ve pil

yapımında kullanılabileceği laboratuvar şartlarında gösterilmiştir. Karbon nanotopların sağlam yapılarından ve üzerlerindeki yük dağılımının homojen olmasından dolayı malzemeler arasında sürtünmeyi azaltıcı madde olarak da kullanılabileceği bilinmektedir. Karbon toplardan yapılmış katkılandırılmış kristallerin süperiletken özellik göstermeleri yeni ileri malzeme sahasının kapısını aralamaktadır. Nanotoplar optik sınırlayıcı olarak kullanılırlar; optik sınırlayıcılar malzemeleri aşırı ışıktan korumak için kullanılan kaplama malzemeleridir. Karbon toplar ihtiva eden polimerler fotoiletkenlik özelliği gösterdiklerinden karbon nanotoplar fotodiyot olarak, transistör olarak ve güneş pillerinde kullanılmaktadır. Karbon nanotop katkılı polimer ince tabakaların ilginç kırınım özelliği göstermeleri bakımından optik malzeme olarak da kullanılmaktadır. Karbon nanotoplar yüzey kaplama malzemesi olarak oksitlenmeye karşı malzemeleri korumak için de kullanılmaktadır. Metallerde eşpotansiyel yüzeyleri oluşturmakta karbon nanotopların önemli yeri vardır. Karbon nanotoplar malzemelerin yüzeylerini ince elmas tabakası ile kaplamada kullanıldığı gibi silisyum yüzeylerinde ince silisyum karbür tabakası oluşturmak için de kullanılır; silisyum karbür ince tabakaların yüksek sıcaklığa dayanıklı elektronik aygıtlarda ve micromekanik sistemlerde önemli bir yeri vardır. Karbon nanotopların katalizör olarak da kullanım alanı vardır; özellikle hidrokarbon birleştirme reaksiyonları, organik solventlerin oksitlenmesi ve hidrojenlendirilmesi vs. gibi reaksiyonlarda katalizör etkisi göstermektedir. Karbon nanotoplar katmanlı yapıların oluşturulmasında da önemli roller oynamaktadır. Katmanlı yapıların pek çok elektronik ve optik uygulamaları vardır. Karbon nanotoplardan yapılan yeni malzemelerin polimer teknolojisinden biyolojiye, hatta tıbbi uygulamalara kadar geniş bir kullanımı vardır. Suda çözülebilen karbon topu türevlerinden oluşturulan bir maddenin HIV virüsünün faaliyetlerini sınırladığı tesbit edildiğinde karbon nanotopların AIDS tedavisinde bile yeri olduğu söylenebilir. Karbon nanotoplar hidrojen depolamada ve yüksek enerjili pil yapımında kullanılabilir. Karbon nanotopların küre şeklinde ve simetrik yapılarından dolayı, Üzerlerinde elektrik yükü homojen olarak dağılır, iki ayrı malzeme arasında sürtünmeyi azaltıcı madde olarak da kullanılabilir. Karbon nanotopların muhtelif özellikler için (çeşitli gazlar, nem vs.) algılayıcı yapımında da kullanım alanı vardır. Nanotoplardan oluşturulan katkılı kristal yapıların süperiletkenlik özelliği göstermesi nanotopların süperiletken malzeme yapımında da önemli bir yeri olduğunu göstermektedir. Karbon nanotüplerin daha ziyade elektronik malzeme olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Tek boyutlu yapı özelliğine daha uygun gibi görünen tüplerin bir boyutlu silindir şeklinde teller olarak, hafıza ve anahtar aygıtları olarak, optik ve manyetik malzeme olarak da kullanılabileceği laboratuvar şartlarında gösterilmiştir. Süperiletken malzeme olarak da kullanılabileceği öngörülmektedir. Karbon toplar iki yüzey arasında zıplayarak hareket edebilirler; topların bu özelliğinden faydalanarak nanotransistörler yapılabilir. Hatta tek elektron transistörü yapmak veya tek elektron akımı elde etmek mümkündür. Karbon nanotüplerin geometrisine bağlı olarak yarıilecten ve metalik özellik göstermesi çok önemli bir özelliğidir. Hiçbir katkı maddesi olmadan sadece nanotüpün çapını, tüp yüzeyinin yönünü değiştirerek elektronik özelliklerini değiştirebilmek tüplere elektronik uygulamalarda önemli bir yer vermiştir.



Nanomakine için tasarlanmış eleman örnekleri.

NANOYAPI		İŞLEVİ
Protein motorlar		Nano-mekanik yapı
DNA		Bilgi depolama, çok seçici molekül zıncı
Nanotüp		Nanoteller, kimyasal algılayıcılar
Topaklar		Kuantum noktalar
Konjuge moleküller		Nanoteller

Farklı nanoyapılar ve muhtemel işlevlerine örnekler.

Kullanım alanı	Fikir	Enseller	1
Kimyasal ve genetik sonda.	Bir nanotüp ucu atomik kuvvet mikroskobu, DNA iplikçisini izleyerek bir genin birçok olası değişkeninden hangisinin iplikçikte bulunduğunu belirleyen kimyasal "ışaretleri" ortaya çıkarabilir.	Bir yüzeyin kimyasını görün rülemek için bulunmuş tek yöntem bu olsa da, henüz yaygın şekilde kullanılmamaktadır. Şu ana kadar yalnızca DNA'nın görece kısa parçalarında uygulanmıştır.	3
İşaretlenmiş DNA iplikçisi			
Mekanik hafıza.	Destek blokları üzerine yerleştirilen nanotüpten yapılmış bir ekran, ilgili hafıza cihazı olarak denetlenmiş. Bu cihazda voltaj, bazı tüplerin temasına ("açık" durum), bazılarının ayrılmasına ("kapalı" durum) yol açmaktadır.	Cihazın açılıp kapanma hızı ölçülmemiş; ancak bir mekanik hafıza için hız sınırı olsa olsa 1 MHz civarındadır. Bu da geleneksel hafıza çiplerine kıyaslandığında oldukça düşük bir hız.	2
Nonvolatil RAM.			
Nano cımbız.	Bir cam çubuk üzerindeki elektrodlara bağlı iki nanotüp, voltajın değiştirilmesiyle açılıp kapatılabiliyor. Bu tür cımbızlarla, büyüklüğü 500 nm olan nesneler kaldırılıp hareket ettirilebiliyor.	Cımbızlar, kendi enlerinden büyük nesneleri yakalayabildikleri halde, nanotüpler öylesine yapışkan ki, bu sefer de nesneyi bir türlü bırakmıyorlar. Özetlik, bu küçüklükteki nesneleri hareket ettirmek için daha basit yöntemler var.	2
5 mikronluk cımbız.			
Üstün duyarlılıkta algılayıcı	Yarıiletken nanotüpler, oda sıcaklığında alkallere, halojen ve diğer gazlara maruz kaldıklarında elektriksel dirençlerini belirgin şekilde değiştiriyorlar. Bunun anlamıysa daha duyarlı kimyasal algılayıcılar için umut olduğu.	Nanotüpler o kadar çok şeye (oksijen ve su dahil) karşı yüksek duyarlılık taşıyor ki, bir kimyasal gaz diğerinden ayırt edememeleri riski söz konusu.	3
Oksijen tüpüne yapıyor			
Hidrojen ve iyon deposu.	Nanotüpler, içi boş olan orta kısımlarında hidrojeni depolayabilir ve bunu verimli ve ekonomik yakıt hücrelerinde kullanılmak üzere serbest bırakabilirler. Lityum iyonlarını da depolayabilme durumunda, daha uzun ömürlü pillere kavuşacağız.	Şu ana kadarki en iyimser veriler, %6.5'lik hidrojen alımına işaret ediyor; buysa yakıt hücreleri ekonomik hale getirmeye yetecek bir oran değil. Lityum iyonlarıyla yapılan çalışmalar halen başlangıç aşamasında.	1
Nanotüpün iç kısmındaki atomlar.			
Keşkin görüntü veren taramalı mikroskop.	Bir taramalı mikroskobun uç kısmına bağlı nanotüp, görüntünün yon kısımlarındaki çözünürlüğü 10 kat daha artırarak, protein ve diğer büyük moleküllerin daha açık bir şekilde görünmelerini sağlayabiliyor.	Artık piyasada bulunabilen bu uçlar, yine de talep üzerine tek tek üretiliyor. Nanotüp uçları çözünürlüğü dikey yönde artırması da, nanoyapılarda daha önceleri gözi kalmış olan derin çukurlukları görüntülemeye olanak tanıyor.	4
Tek tek açılıp kapanan IgM antikorları.			
Süper güçlü malzemelec.	Kompozit malzeme içine gömülü nanotüpler, büyük bir esneklik ve gerilme kuvvetine sahip olduklarından zıplayan arabaların, ya da depremde çökme riskiyle karşı karşıya olan binaların yapımında kullanılabilir.	Nanotüplerin maliyeti, kompozitler de günümüzde kullanılan karbon fiberlerin maliyetinden 10-1000 kat fazla. Ayrıca nanotüplerin yüzeylerinin fazla düzgün ve pürüzsüz olması malzemenin içinden kolayca dışarıya kaymalarına, kırılmalarına yol açabiliyor.	0
Nanotüp gerilme testi			

Karbon nanotüplerin elektroninin ötesinde çeşitli kullanım alanları.

(U: Uygulanabilirlik dereceleri; 0: bilim kurgu; 1: üzerinde çalışılıyor; 2: uygulanmış; 3: pazarlanmaya hazır; 4: ticarileşmiş).

Nanoteknoloji yeniliklere açık, hızla ilerleyen çok disiplinli yeni bir bilim dalıdır. Kullanım alanları da gün geçtikçe yaygınlaşan nanoteknoloji malzemeleri hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Nanoteknoloji ile malzemeler daha hafif, daha dayanıklı, daha hızlı, daha küçük ve daha kapasiteli olmaktadır. Birçok uygulama alanına yayılmış ve insan hayatını kolaylaştırırken ülkeleri de zenginleştirmektedir.