

Özet

Nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte, bir boyutlu (1D) nanoyapılar, özellikle yüksek mekanik dayanım, özgül yüzey alanı ve özel elektronik özellikleri sayesinde bilim dünyasında büyük ilgi görmüştür. Bu yapılardan en dikkat çekenleri arasında karbon nanotüpler (CNT) ve bor nitrür nanotüpler (BNNT) yer almaktadır. Her iki yapı da silindirik nanotüp formunda olmalarına rağmen, atomik bileşimleri ve elektronik özellikleri bakımından önemli farklılıklar gösterir. Nanomalzemeler, sahip oldukları benzersiz fiziksel ve kimyasal özelliklerle son yıllarda bilim ve mühendislik alanlarında büyük ilgi görmektedir. Her iki yapı da silindirik nanotüpler şeklindedir ve yüksek yüzey alanı, mekanik dayanım ve termal iletkenlik gibi üstün nitelikler sergiler.

Grafen'in Yapısı

Grafen tek katmanlı, 6 karbon atomundan oluşan halkalı bir yapıdır. İki boyutlu (aslında 3D ama tek katmandan oluştuğu için 2D) defect free bir nano yapıdır. sp^2 hibritleşmiş karbon atomlarından oluşur. Delokalize π elektronları sayesinde yüksek elektriksel iletkenlik gösterir. Elektronların delokalize olması sebebi ile katmanların altında ve üstünde manyetik alan oluşur, grafen tabakaları bu kuvveti sıfırlamak için alt ve üstüne bir tabaka daha alır. Tek katman grafen oluşturmak ve stabil tutmak çok maliyetli olduğu için grafene kusur verilerek kullanılabilir, (örn Grafenoksit) grafene kusur verdikçe mükemmel özelliklerini ciddi biçimde kaybetmektedir. Bir diğer üretim tipi ise grafen de teorik olarak yapı sınırı olmadığından yapıyı katlayarak nanotüp ve fulleren üretmek. Neto, A. (2009)

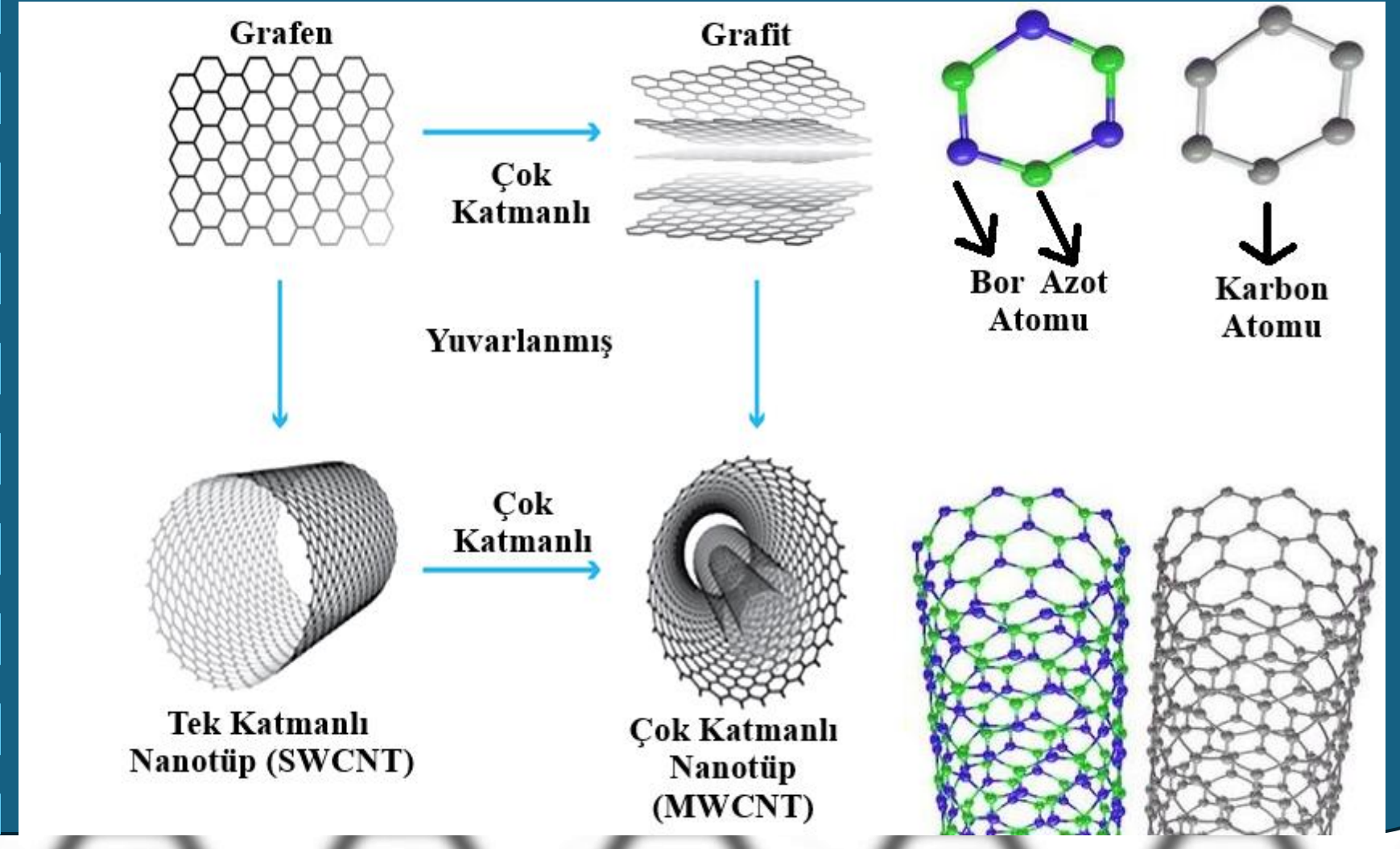
Karbon Nanotüp

Karbon nanotüp (CNT), karbon atomlarının sp^2 hibritleşmiş bağlar ile birbirine bağlanıp ve halkalı yapıda dizilerek silindirik bir yapı oluşturduğu, tek ya da çok katmanlı olabilen, nanometre çapında ve mikrometrelerce uzunlukta olabilen, yüksek mekanik dayanıklılık, elektriksel iletkenlik ve ısı iletkenlik özelliklerine sahip bir karbon allotropudur.

- Tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT):** Tek bir karbon tabakasının, bir silindire sarılmasıyla oluşur. Genellikle 0,4 - 2 nanometre (nm) çapındadır
- Çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT):** Birbirine merkezi şekilde sarılmış birden fazla karbon tabakasından oluşur. Çapları SWCNT'ye göre daha büyük olabilir. Iijima, S. (1991).

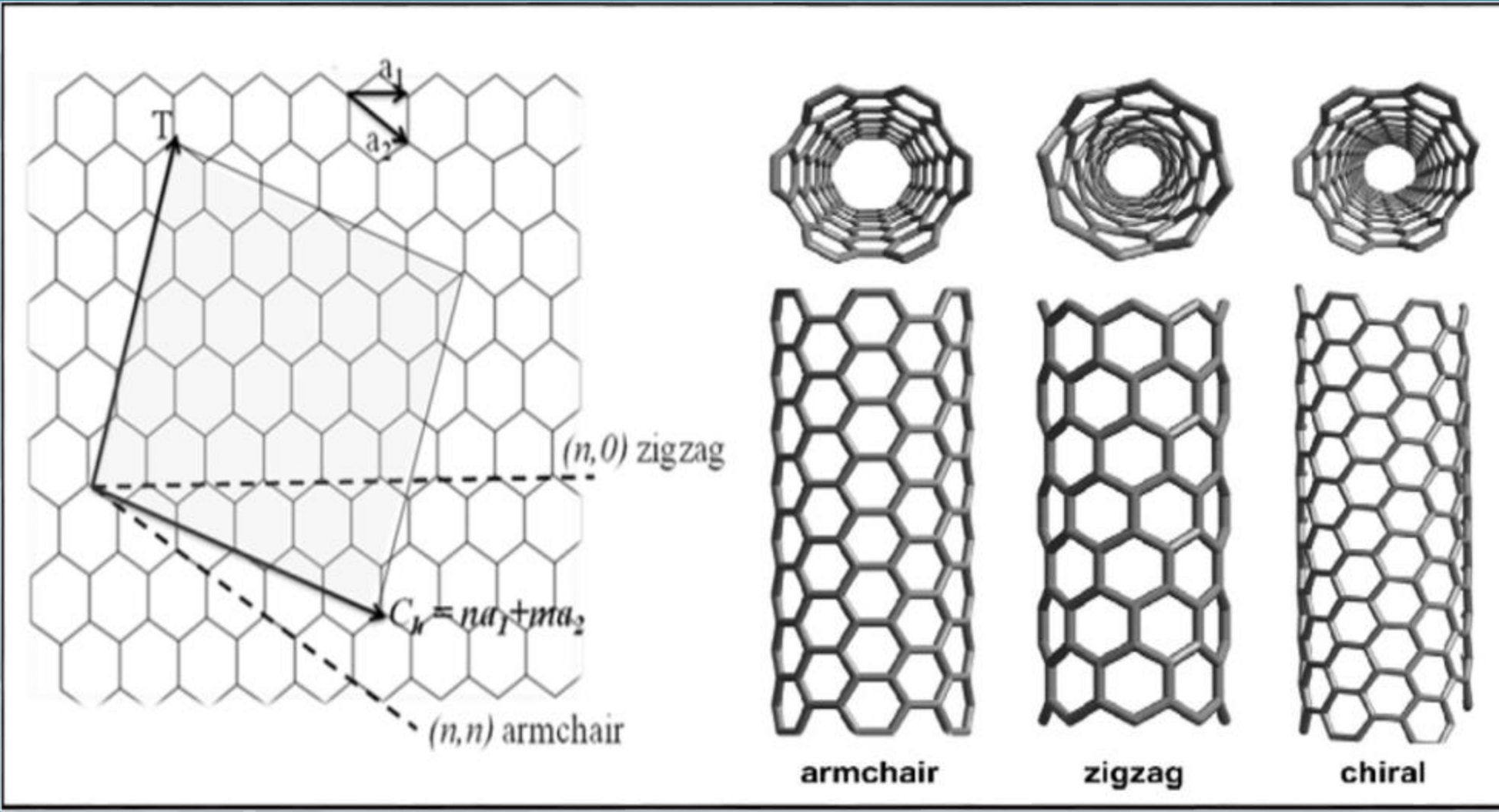
Bor Nitrür Nanotüp

BNNT'ler, bor ve azot atomlarının sp^2 hibritleşmesiyle oluşturduğu altıgen bir ağ yapısının silindirik hale getirilmesiyle oluşur. Bu yapı, karbon nanotüplerle benzerlik gösterse de, bor ve azot arasındaki kovalent bağlar kutupludur, bu durum, BNNT'lerin elektronik ve kimyasal özelliklerini CNT'lerden ayırır.



Tek Katmanlı Nanotüplerin Türleri

- Koltuk ($n = m$):** En düzenli yapıdır, tüm koltuk yapıları metaliktir. Elektronların hepsi delokalize olduğu için çok iyi iletkenidir. Karbon atomları adeta bir "koltuk" şeklinde dizilmiştir. Kritical açısı (θ) = 30° . En kolay anlama yolu silindirik etrafında desen dümdüz ve yataysa koltuk formasyonudur.
- Zigzag ($m = 0$):** Altıgenlerin köşeleri eksene hizalanmıştır. Karbon-karbon bağları eksene paralel şekilde zikzak bir yapı oluşturur. Sadece bazı zigzaglar metaliktir ($n = 9, 12, 15$ vb). Kritical açısı (θ) = 0° . En kolay anlama yolu altıgenlerin köşeleri hizalanmış ve keskin zikzak çizgileri varsa zigzag formasyonudur.
- Kiral ($n \neq m \neq 0$):** Düzenli bir sarmal yapı yoktur. Ne tam koltuk gibi düzgün koltuk çizgileri vardır, ne de net zigzaglar. Yapı düzenli olmadığı için elektron hareketleri çok karmaşıktır bu sebeple çoğu zaman yarı iletkenidir. En yaygın CNT türüdür.



Nanotüplerin Üretim Yöntemleri

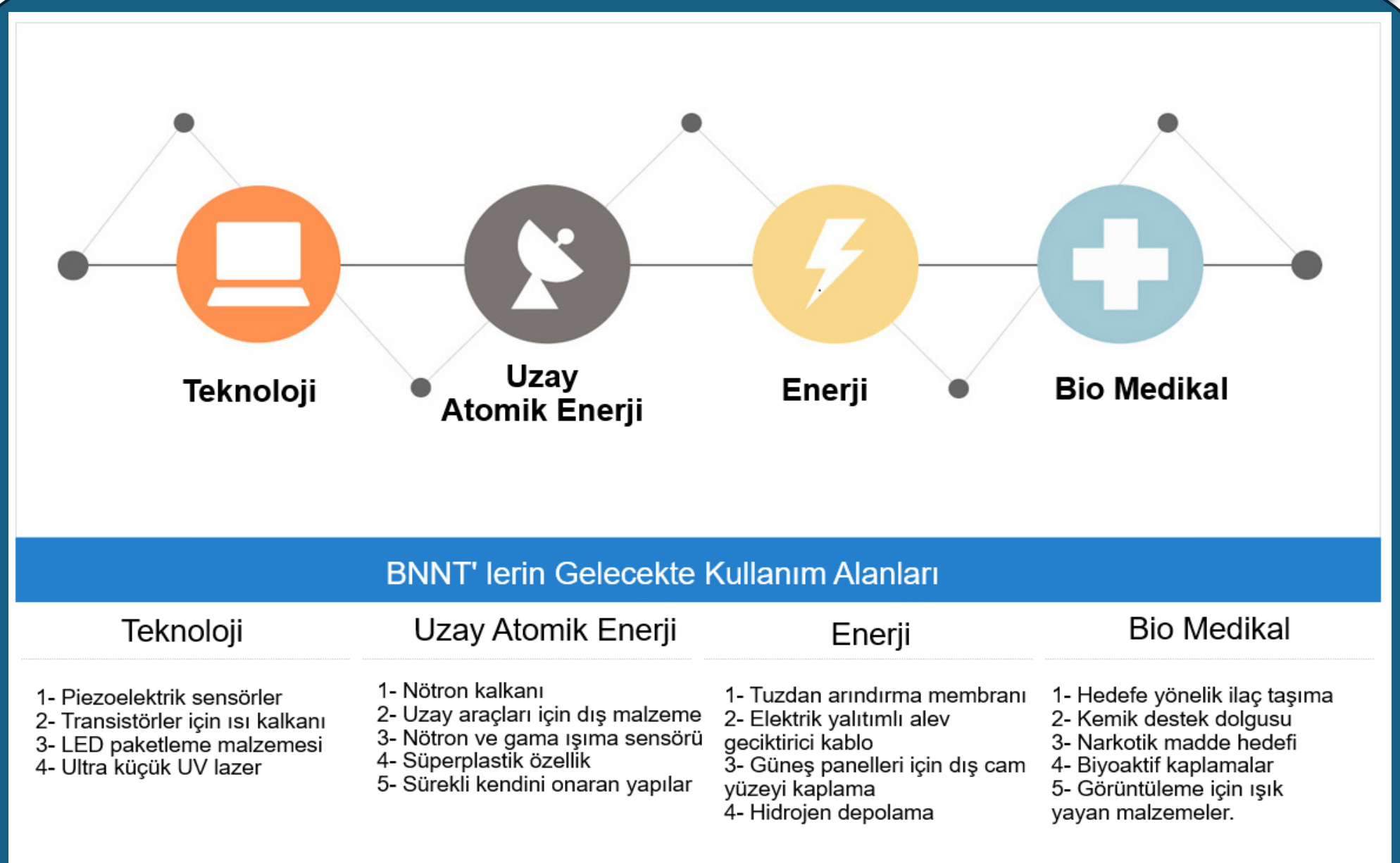
- Ark:** İntert gaz eşliğinde grafit elektrotların arasında ark oluşturulur. Ark grafit anodu buharlaştırır ve katotta silindirik olarak yoğunlaştırır. Bu yöntemde verim çok düşüktür (20-40) ve amorf yapılar oldukça çoktur.
- Lazer Buharlaştırma:** Bu yöntemde fırında grafit ve geçiş metalleri hedef noktasına konur. Hedef noktası devamlı lazere maruz kalır ve tek duvarlı Yüksek verimli üretim mümkündür.
- Buhar Birikimi:** Kapalı bir ortamda hidrokarbon ve geçiş metalleri 1000-1500 C° sıcaklık aralığında ayrışması ile oluşur. Düşük malitelli bir yöntem olup çok odalı nanotüpler için çok pahalı bir yöntemdir.

Bor Nitrür Nanotüpleri Neden Önemli

- Elektronik Özellikler:** En temel form için 5.5 eV aşıldığında azot atomundaki eşleşmemiş elektron çiftleri kısmi pozitif olan bor atomuna doğru hareket etmesi ile elektriksel iletkenlik sağlanır.
- Termal Özellikler:** BNNT'ler oksijenli ortamda 900 C° oksijensiz ortamda 1200 C° üzerinde kararlıdır. Nötron ve gama ışınlarına karşı yüksek absorpsiyon kapasitesine sahiptir. Bu özellikleri uzay teknolojilerinde kullanılmasının başlıca sebepleridir.
- İnertlik ve Biyouyumluluk:** BNNT'ler asit ve bazlara yüksek direnç gösterir, oksidatif ortamlarda bozulmadan kalabilmektedir. BNNT'ler çoğu zaman bor nitrür (BN) bozulur ayrıca BNNT'ler vücuttan zararsız bir şekilde atılabildiği için biyouyumlu malzemeler sınıfına girer.
- Kendini Onarma:** BNNT'ler çelikten 6 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca nanotüp fiziksel bir kuvvet ile bükülüp kırıldığında, fiziksel etki ortadan kalkınca tekrar eski haline dönebilmektedir.

Nanotüplerin Genel Özellikleri

	Özellik	CNT	BNNT
Kimyasal	Bağ Tipi	sp^2 (Kovalent)	Kovalent (iyonik)
	Bağ Uzunluğu	$\sim 1.42 \text{ \AA}$	~ 1.44
	Bağın durumu	Simetrik	İyonik karakterli kovalent
	Elektrik İletimi	Metalik veya yarı iletken formda	Yalıtkan (5.5-6 eV)
	Toksitite	Sitotoksitite mevcut	Biyouyumlu
	Spektroskopik aktiflik	UV ve yakın IR	UV
	Radio Frekansi abs.	Absorbe eder	Absorbe etmez
	Kimyasal Stabilité	Orta stabilité	Yüksek
	Fonksiyonelleştirme	Kolay	Çok zor
	Hidrojen Depoloma	Yüksek (SWCNT)	Neredeyse yok
Fiziksel	Termal Stabilité	500 C°	900 C°
	Yüzey Morfolojisi	Düz	Dalgalı ve pürüzlü
	Termal iletkenlik	Yüksek	Düşük
	Dayanım (Sertlik)	Dayanıklı (1.25TPa)	Orta dayanım (1TPa)
	Esneklik	Yüksek ($10^\circ-15^\circ$)	Düşük ($2^\circ-3^\circ$)
	Çap	0,4-5 (nm)	0,6-50 (nm)
	Uzunluk	Mikro ve milimetre düzeyinde üretim mümkün	
	Renk	Siyah	Beyaz ve ya yarı saydam



Kaynakça

- NASA Langley research center boron nitride nanotube (BNNT) and BNNT composites
- Grafen ve grafen üretim yöntemleri (BEDELOĞLU Et. Al. 2016)
- Comparison of small scale effect theories for buckling analysis (Mercan Et. Al. 2017)
- Karbon nanotüplerin çeşitli yöntemlerle saflaştırılması (Yuca, 1 2010)
- Karbon nanotüp takviyeli kompozit plakaların serbest titreşimi (Saru, 2019)
- wikipedia.org/wiki/Boron_nitride_nanotube

Yorum

Her iki malzeme de tek başına veya hibrit yapılar içinde ileri teknolojilere yön verme potansiyeline sahip. Ancak özellikle BNNT'ler, henüz gelişme aşamasında olan sentez teknikleri ve yüksek maliyet nedeniyle laboratuvar ölçeğinde sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda, gelecekteki çalışmaların odak noktası, bu yapıların daha ekonomik, kontrollü ve sürdürülebilir biçimde üretilmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesi olmalıdır.