

ODTÜ MERKEZİ LABORATUVAR'DA NANOTEKNOLOJİ



METU-CENTER, nanoteknoloji ve nanobilim, çok fonksiyonlu malzemeler, yeni aygıtlar ve üretim yöntemleri (NMP) ve biyoloji - biyoteknoloji alanında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvar'daki insan, bilgi ve cihaz altyapısını geliştirmeye ve güçlendirmeye yönelik Avrupa Birliği Altıncı Çerçeve SSA kapsamında, 3 yıl süreli bir Proje. Bu proje, Avrupa'daki diğer araştırma merkezleri ve laboratuvarlarıyla kurulacak işbirliği etkinlikleri ve ağları sonucunda ODTÜ Merkezi Laboratuvar'ında oluşturulan Nanoteknoloji ve Nanobiyoteknoloji Araştırma Merkezi'nin Türkiye ve Avrupa'daki araştırmacılar için bir toplanma, çalışma ve iletişim merkezi olmasını hedefliyor. Proje yöneticiliğini Prof. Dr. Raşit Turan yürütüyor. METU-CENTER projesi tamamlandığında, ODTÜ Nanoteknoloji ve Nanobiyoteknoloji Araştırma Merkezi, ulusal ve uluslararası araştırma ve projelere destek ve imkan sağlayan bir sinerji merkezi olacak.

Değişik disiplinlerdeki tüm araştırmacıların ortak kullanımına açık, üniversitemizde araştırma işbirliğinin, kapasitesinin ve çeşitliliğinin artırılması amacıyla kurulan ve ileri teknoloji test, analiz ve karakterizasyon cihazlarının yer aldığı ODTÜ Merkezi Laboratuvar'ın cihaz altyapısı, malzemelerin termal, optik, elektrik, manyetik, yüzey gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kapsamlı araştırılmasına ve Moleküler Biyoloji-Biyoteknoloji çalışmalarına yönelik ileri teknoloji ölçüm sistemlerinden oluşuyor.

METU-CENTER projesinde belirlenen hedeflere ulaşmak üzere aşağıda belirtilen 5 iş paketi tanımlanmış bulunuyor.

1) Bilginin yaygınlaştırılması : Bu iş paketinin amacı, Nano- ve biyoteknolojiler alanında ulusal ve uluslararası toplantılar ve çalışmalar düzenlenmesi yurt dışında düzenlenen bu tür çalışmalara etkin katılımın sağlanması.

2) Genç ve deneyimli araştırmacı ziyaretleriyle insan kaynağı geliştirilmesi: ODTÜ ve Avrupa'daki benzer araştırma merkezlerindeki araştırmacıların karşılıklı değişik sürelerle araştırmaya ve eğitime yönelik ziyaretleri gerçekleştirilecek.

3) Ulusal ve uluslararası seviyede ağ oluşturulması: ODTÜ ve diğer ulusal, uluslararası araştırma merkezleriyle ortak toplantılar, araştırmalar, deneyler düzenlenmesi, oluşturulan web. sayfası aracılığı ile haberleşme ve bilgi



ODTÜ Fen ve Edebiyat Fakültesi,
Fizik Bölümünden
Prof. Dr. Raşit Turan
METU Center'ın
kurucusu ve yöneticisi

alışverişi sağlanması bu iş paketinin temel amacı.

4) Merkezin ilgili alanlarda araştırma altyapısının geliştirilmesi: Bu iş paketiyle, ODTÜ-Merkezi Laboratuvar'daki geniş araştırma olanaklarına yönelik altyapı desteği sağlanacak. Bu kapsamda, temiz ortam içinde nanometre boyutunda aygıtların hazırlanması için litografi ve diğer gerekli sistemlerin kurulması gerçekleştirilecek. Ayrıca, proje kapsamında cDNA ve protein mikro dizin sistemi Merkezi Laboratuvar'ın Moleküler Biyoloji-Biyoteknoloji Ar-Ge biriminde kurulmuş bulunuyor.

5) Proje yönetimi: proje çalışmaları, 5 kişiden oluşan yürütme kurulu tarafından yönetilmekte.

METU-CENTER projesine katılan araştırma grupları:

Yarıiletken Nanoyapılar Araştırma Grubu

Yarıiletken nanoyapılar, önümüzdeki yıllarda özellikle nanofotonik ve nanoelektronik alanlarında önemli uygulama alanları bulacak. Bunun işaretlerini, elde edilen araştırma sonuçlarında şimdiden görmek mümkün. Nanoteknolojinin bu alanı üzerine ODTÜ'de yoğun çalışmalar yürütülüyor. Bu çalışmaları yürüten araştırma grubu, nanokristallerin te-

mel fiziksel-kimyasal özelliklerinin yanısıra üretim metodolojisi ve üretim işlemlerinin kontrolü ve bu yapıların çeşitli uygulamalara yönelik olarak kullanılması gibi konuları da inceleme araştırma konusu yapmıyor. Grup, elde ettiği bilimsel sonuçları, çok sayıda bilimsel makale yayınlarak uluslararası bilim topluluğuna duyurdu. Yarıiletken nanoyapılar araştırma grubu, METU-CENTER projesinin bütün iş paketlerine katılmaktadır. Özellikle proje kapsamında kurulmakta olan temiz oda ve elektron demeti litografi sistemi bu grubun çalışmalarında yoğun olarak kullanılacaktır. METU-CENTER ile elde edilen destek sayesinde grubun çalışmalarında yeni bir sıçrama yapması bekleniyor.

Manyetik Nanoparçacıklar Araştırma Grubu

Sahip olduğu manyetik ve katalizör özellikleri nedeniyle, manyetik nano-kompozit malzemelerin teknolojik önemi büyük. Bu malzemelerin önümüzdeki yıllarda manyetik bilgi depolama ve katalizör olarak kullanılması bekleniyor. ODTÜ'lü araştırma grubu, bu alandaki çalışmalarını ulusal ve uluslararası projelerle sürdürmekte. Bu projeler arasında COST, NATO ve USA-NSF projeleri yer alıyor.

Malzeme ve metalurji mühendisliğiyle kimya bölümlerinin ortak yürüttüğü bu çalışmalar, son yıllarda ulusal ve uluslararası ortaklarla daha da gelişmiş bulunuyor. Grup, METU-CENTER projesinin insan ve cihaz altyapısını geliştirme iş paketlerine de katılıyor.

Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Grubu

Moleküler biyoloji ve biyoteknoloji grubu sahip olduğu modern laboratuvarlarıyla, rekombinant DNA, büyük boyutlu saflaştırma işlemleri, protein-DNA dizi analizi, oligonükleotid sentezi, enzim aktivitelerinin belirlenmesi, hayvan ve bitki doku kültür kollarında yoğun çalışmalar yürütüyor. Grubun mevcut araştırma yeteneklerini daha da artırmak üzere, METU-CENTER projesinden sağlanan destekle mikroarray cihazı alınmış ve kurulmuş bulunuyor. Mikroarray teknolojisi, binlerce DNA probunun 1cm²'lik bir çip üzerine bağlanıp hücre içerisinde artan ve azalan mRNA'ların (elci-RNA) seviyesini ölçmek, mutasyon analizi ve tanı gibi farklı işlevleri olan bir teknolojidir. Bu teknolojiyle genlerin işlevlerinin tanımlanması mümkün. Böylece, hastalık tanımı ve tedavisine yönelik analizler, çeşitli çevresel faktörlere; kuraklık, tuzluluk sıcaklık gibi; tepki veren genlerin belirlenmesi mümkün olacak. Sistem tıp, eczacılık, biyolojik bilimler, gıda, çevre, tarım, veterinerlik gibi birçok farklı disiplinde yürütülen araştırma faaliyetlerine destek verici nitelikte.

Bu imkanlara ek olarak, grubumuz genetik olarak değiştirilmiş organizmaların (GDO) kalitatif ve kantitatif analizleri için gerekli olan insan gücü, altyapı ve bilgi birikimini oluşturmuş durumda. Halen dizi analizleri de dahil olmak üzere GDO'larla ilgili her türlü test ve analiz gerçekleştirilebilmekte ve akrediteasyona yönelik faaliyetler devam ediyor.



Hedefimiz GDO konusunda AB standartlarında tanı ve eğitim hizmeti verecek bölgesel bir merkez haline gelmek.

Heterojen Katalizörler Araştırma Grubu

Katalizörler, kimyasal tepkimelerin hızını artıran, dolayısıyla kimyasal sentez sırasında enerji ve yatırım verimini yükselten kimyasal maddelere verilen genel ad. Heterojen katalizörler, uygulama alanlarının gerektirdiği yüksek yüzey alanları ve çok fonksiyonlu olmaları

rından kaynaklanan gerekliliklerle, aktif bileşenleri nano boyutta sentezlenen maddeler. Nanoteknoloji alanındaki mevcut gelişmelere dayanak sağlayan yüzey bilim ve teknolojisi ve nano ölçekteki yapısal karakterizasyon tekniklerinin geçtiğimiz yüzyılda çok büyük bir hızla geliştirilmesi önemli ölçüde heterojen katalizörler alanındaki taleplerden kaynaklanmış bulunuyor.

ODTÜ Heterojen Katalizör gurubunda katalitik maddelerin elektronik ve optik yapıları, organik ve inorganik katkı maddeleriyle değiştirilerek, çevre kirliliği yaratan kimyasalların arındırılması gerçekleştirilmekte, ya da CO₂ gibi sera gazı etkisi olan moleküller, güneş enerjisi kullanılarak suni fotosentez yöntemiyle yararlı kimyasallara dönüştürülmekte. Işık hasatlamak ve bundan açığa çıkan elektronların kimyasal tepkimelerde kullanımı tarzındaki yeni fonksiyonların katalitik malzemelere kazandırılmasıyla akıllı çok amaçlı sensör tasarımları yapılabileceği gibi, bu sensörlerin yüzeyleri, kirlenici gazların arındırılması için katalizör olarak ta kullanılabilir.

Prof. Dr. Raşit Turan



ODTÜ'DE NANOBIYOMATERYALLER

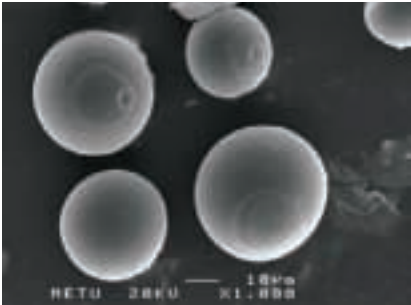
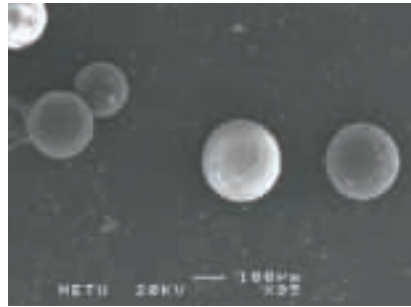
Prof. Dr. Vasif Hasırcı



Biyomateryaller, hasar görmüş dokuların onarılması, deforme olmuş ya da bozulmuş organların desteklenmesi ya da işlevinin tamamen üstlenilmesi amacıyla, kısa ya da uzun süreyle vücut sıvısıyla temasa geçmek ya da vücut içine yerleştirilmek üzere tasarlanan ve kullanılan malzemeler. Biyomateryallerden beklenen ilk özellik biyolojik ortama zarar vermemeleri, alerjik ya da zehirli etki yaratmamaları, kısaca biyoyumlu olmaları. Biyoyumluluğun sağlanmasında, biyomalzemenin kimyasal ve fiziksel yapısı kadar yüzeyi de büyük önem taşır, çünkü dokuyla ilk temas yüzey aracılığıyla olur. Biyomateryallerin yüzey topografyası, yani gözenekliliği ve pürüzlülüğüyle yüzeyde bulunan işlevsel gruplar ve elektriksel yükler bu temasın olumlu olup olmayışını belirler. Bu nedenle biyomateryaller yüzey özelliklerinin tanımlanmasına ve kontrollü bir biçimde değiştirilmelerine yoğun çaba harcamaktalar. Biyomalzemelerin kütle özelliklerine dokunmadan sadece yüzeylerinin moleküler düzeyde değiştirilmesi genelde nanometre düzeyinde yapılır ve dolayısıyla bu tür işlemlerde nanoteknolojik yöntemler kullanılır. Bu çalışmaların önemi nedeniyle, dünyanın değişik ülkelerinde nanoteknoloji, nanobiyoteknoloji ve nanobiyomateryaller konularında merkezler kurulmakta, araştırma ve eğitim programları oluşmakta, 'Nanomedicine' ve 'Nanobiotechnology' gibi

yeni uluslararası dergiler yayımlanmaya başlamış bulunuyor.

Biyomateryallerin yaygın kullanımlarından biri, uzun süreli ve sadece istenilen bölgede, örneğin tümör bölgesinde etkin olabile-



Şekil 1. Polimerik mikroküreler (SEM, tarama elektron mikroskopisi)

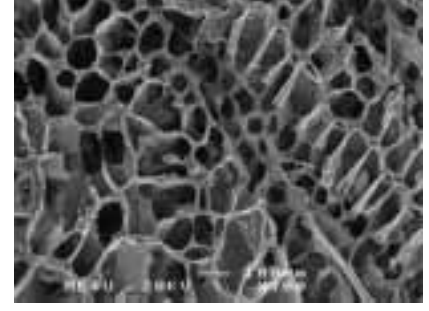
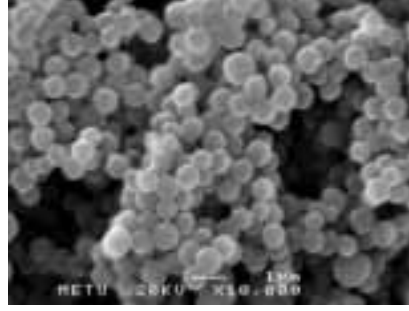
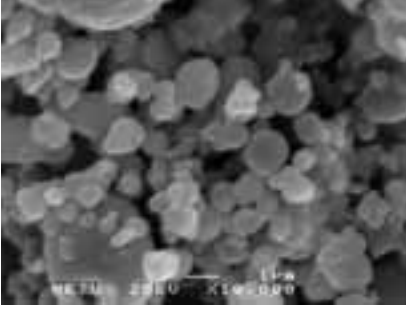
cek ve o bölgede kontrollü ilaç salımı yapabilecek sistemlerin hazırlanması. Bu sistemler mikro ve nano boyutlarda yapılarak kana verilebilirler. Nanosistemler, mikro ve daha büyük boyutta olanlardan çok daha avantajlı özelliklere sahip. Örneğin, mikro boyuttaki ilaç salım sistemleri (mikroküreler ya da mikrotanecikler) kana verildiklerinde vücuttan kolayca atılamazlar. Ancak sürekli olarak vücutta kalmamaları gerektiğinden, mutlaka biyobozunur biyomalzemelerden yapılmaları gerekir. Bu zorunluluk, bu alanda çalışan bilimcilerin malzeme seçeneklerini daraltmakta. Halbuki nanoboyutta olan herhangi bir madde vücutta kolaylıkla parçalanabiliyor ve dışarı atılabiliyor. Bu nedenle, biyobozunur olmadıkları halde, kimyasal ve fiziksel özellikleri uygun olan malzemelerin, nanoboyuttaki kontrollü ilaç salım sistemlerinin yapımında kullanılmaları mümkün olabiliyor.

Nanobiyomateryallerden söz açılınca, nano ilaç salım sistemlerinden başka, biyomateryal yüzeylerinin kimyasal ve fiziksel açıdan nano düzeyde değiştirilmesi, bunların hücreyle etkileşiminin incelenerek doku mühendisliğinde kullanımı, implant üretiminde nanokompozitlerin yer alması vb. uygulamalar akla geliyor. ODTÜ'de 'BioMat' Grubu olarak yapılan çalışmalar, burada bahsettiğimiz alanlarda sürmekte. Bu çalışmalar, yüksek lisans ve doktora tezlerine konu olmakta, Avrupa Birliği, TÜBİTAK ve DPT projeleri olarak değerlendiriliyor, sonuçları bilimsel dergilerde yayınlanıyor, ulusal ve uluslararası konferanslarda sunuluyor. Avrupa Birliği 6. Çerçeve projelerinden ortağı olduğumuz üç tanesinde de 'BioMat' grubu olarak katkımız, akıllı biyomalzemelerin, özellikle nanobiyomateryallerin sentezi, malzeme yüzeylerinin mikro ve nano düzeyde değiştirilmesi, hücreyle etkileşiminin araştırılması ve doku mühendisliği amacıyla kullanılması yönünde. Ayrıca Aralık 2005'te, TÜBİTAK tarafından desteklenmeye başlanan "METU NANOBİOMAT-ODTÜ'de Nanobiyomateryal Araştırmaları Birimi Geliştirilmesi" projesi de nanobiyomalzeme alanında ülkemizin bilgi birikimini artırmayı, ODTÜ'de bulunan alt yapıyı güçlendirmeyi, uluslararası ağlar kurarak genç elemanları yetiştirmeyi hedefleniyor.

Grubumuzun üzerinde çalıştığı bazı özel uygulamalar şunlar:

Nanoboyutlu Kontrollü İlaç Salım Sistemleri

Nanoküre, nanokapsül ya da nanotanecik biçiminde olup sentetik ya da biyolojik kökenli polimerlerden hazırlanırlar. Mikro ya da



Şekil 2. Polimerik nanoküreler (SEM, tarama elektron mikroskopisi)

makrotanecikli sistemlere oranla en büyük avantajları, kandan kılcak damarlar aracılığıyla çıkıp dokuya doğrudan etki edebilmeleridir. Büyük boyuttaki tanecikler dolaşım sistemini terkedemedikleri için, sistemik etkiyi, kanda uzun süre dolaşarak ve bu arada içerdikleri ilacı yavaş yavaş salarak sağlarlar. Nanosistemlerse dokulara ulaşabilme, tüm vücut yerine yerel etki verebilme, daha yüksek derişim oluşturabilme gibi üstünlükler taşırlar. Diğer bir avantajları da fagositoza uğramayabilmeleri yani makrofajlar tarafından hücre içine alınabilmeleri ve dolayısıyla sürekli kan dolaşım sisteminde kalma risklerinin olmayışdır.

Şekil 1 ve Şekil 2'de laboratuvarlarımızda mikro ve nano boyutlarda hazırlanan polimerik sistemlerden bazı örnekler gösteriliyor. Bu tip sistemlerin yüzeylerine gerekli antikörleri bağlayarak kanser tümör bölgelerine hedeflenmelerini, içlerinde taşıdıkları kanser ilaçlarını sadece o bölgede salmalarını sağlamak, ve böylece vücudun diğer organ ve dokularını toksik (zehirli) etkilerden korumak mümkün. Bu tip 'hedeflenmiş ilaç taşıyıcı sistemler', özellikle kanser tedavisine yönelik olarak, üzerinde yoğun biçimde çalışılan konular.

Makromolekül yapıdaki ilaçlar için salım sistemlerinin hazırlanması daha zor ve bu tip ilaçlar için, polielektrolit yapılar önemli rol oynuyor. Bu sistemlerde makromoleküler ilaç (DNA, DNA parçacığı, enzim, vb.), zıt elektriksel yüke sahip bir polielektrolitle kompleks oluşturur. Bu kompleks, ortamın asit derecesinin, iyon şiddetinin ya da sıcaklığının istemli olarak değiştirilmesiyle bozulur ve makromoleküler ilaç tekrar serbest olarak ortaya çıkar. Bu tip uygulamaların bir başka avantajı da, kompleks oluşumunun ilacın elektriksel yükünü maskeleymesi ve hücre zarından geçişini kolaylaştırması. Şekil 3, eksi yüklü makro boyuttaki bir ilacın artı yüklü bir polielektrolitle kompleks oluşturmasını gösteriyor.

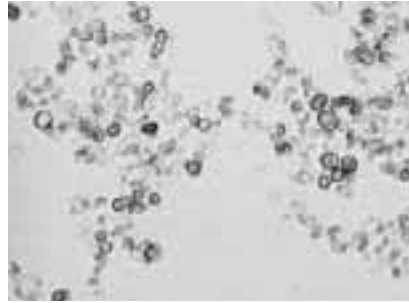
Bu yolla, örneğin DNA'nın hücre zarlarından kolaylıkla geçebilmesi ve hücre sitoplazmasında ya da çekirdeğinde serbest kalarak gen terapisinde kullanılması mümkün. Bunu,



Şekil 3. Polielektrolit kompleks oluşumu

makro ya da mikro boyuttaki salım sistemlerinin sağlamasıysa mümkün değil.

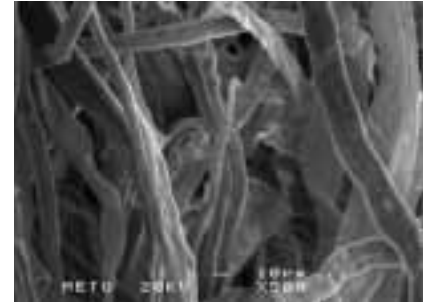
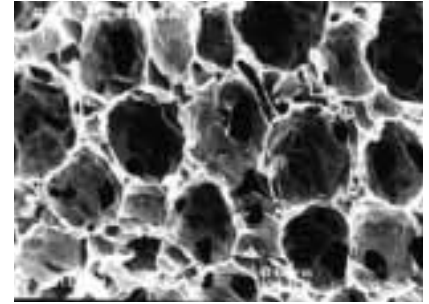
Polimerik nanotaneceğinkine benzer bir işlev, lipozomlar aracılığıyla da yapılabilmekte. Lipozomlar, fosfolipidlerin sulu ortamda organize bir şekilde biraraya gelmesiyle (self-assembly) oluşurlar. Nano ya da mikro boyutunda hazırlanan lipozomlar; kanser ilaçları, antibiyotikler, bağışıklık sistemi baskılayıcıları gibi biyoaktif ajanların vücut içinde taşınmasında kullanılıyorlar. Bu sistemler akıllı ve uyarılara tepki veren yapılar olarak tasarlanabilmekte, yerel ışık, ısı, pH gibi değişimlerle yapılarında şişme ya da bozulma oluşmakta ve böylece içerdikleri ilacı salmalarını sağlayabilmekte. Şekil 4, laboratuvarlarımızda sentezlenen ve ışığa duyarlı olan liposom yapıları gösteriyor. Bu yapılar ışık olan ortamda bozularak taşıdıkları kanser ilacını uygulandıkları bölgeye verebiliyorlar.



Şekil 4. Işığa duyarlı olan lipozomlar (Işık mikroskopisi)

Doku Mühendisliği Şablonları Hazırlanması

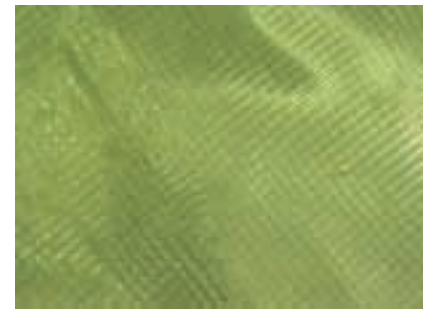
Biyomateryallerin en önemli kullanım alanlarından biri de doku mühendisliği. Burada temel öğeler biyolojik ortamda bozulan ve ortadan yok olan bir biyomalzeme ve bunun üzerine eklenerek gelişmesi ve çoğalması istenen sağlıklı hücreler. Porlu (delikli) yapıda ve belli bir formda hazırlanan bu taşıyıcılar, hücreye geçici bir süre ev sahipliği yaparlar. Vücut içine yerleştirildiklerinde, polimerik yapı yavaş yavaş bozulup kaybolurken, hücrelerin onun yerini alarak dokuyu tedavi ederler. Ancak gerçekte dokular çok karmaşık yapılardır ve doku mühendisliği yoluyla elde edilmiş yapay dokular başlangıçta hastanın dokusuna benzememekle birlikte, zamanla implante



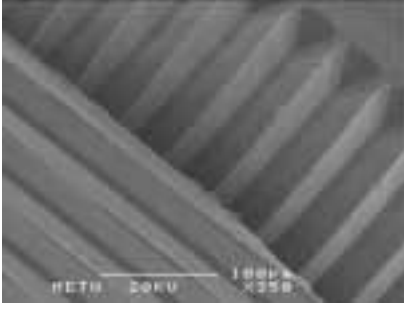
Şekil 5. Poröz ve lifsi yapıda hazırlanan doku mühendisliği hücre taşıyıcı sistemler (SEM)

edildiği yerdeki dokunun yerini alırlar. Şekil 5'te porlu yapıda hazırlanan biyobozunur polimerik taşıyıcılara örnekler görülmüştür.

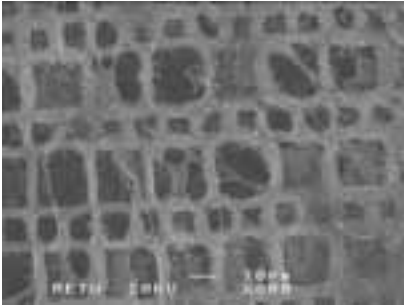
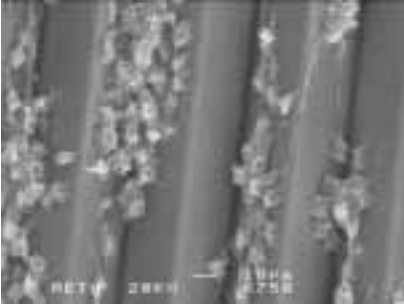
Karmaşık dokuların tedavisinde kullanılmak üzere yapılan hücre taşıyıcılar; fotolitografi, elektron ışını kazınması, sıcak ve soğuk damgalama gibi mikro ve nano düzeyde hassasiyete sahip birçok yöntemle üretiliyor ve yüzey desenleri istenilen biçimleri alabiliyor. Laboratuvarlarımızda kullanılan desenler genellikle birbirine paralel eğik yamaçlı kanallardan oluşuyor ve kanal genişliği ve tasarımın hücre davranışı üzerindeki etkisi inceleniyor. Şekil 6, 7 ve 8'de verilen görüntüler yapay kornea için hazırlanmış çok katmanlı şablonları ve bunların üzerinde çeşitli hücrelerin davranışlarını gösteriyor.



Şekil 6. Çok katmanlı, kollajen temelli yapay kornea hücre taşıyıcısı. (Floresan mikroskopisi)



Şekil 7. Çok katmanlı, biopolyester temelli yapay kornea hücre taşıyıcısı. (SEM- Taramalı Elektron Mikroskopisi)

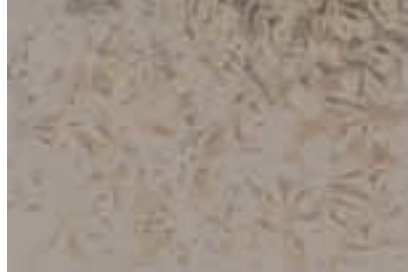


Şekil 8. Biopolyester temelli yapay hücre taşıyıcısı ve üzerlerinde hücrelerin yerleşimi. (SEM)

Yüzey Kimyası Değiştirilmesi

Plazma polimerizasyonu, yüzey kimyası değiştirilmesinde çok etkin yöntemlerden biri olması yanında, etkin değişikliğin sadece materyalin yüzeyinde oluşması nedeniyle nanoteknolojik bir uygulama olarak sayılmayı hak ediyor. Materyalin kütleli özellikleri korunuyor ve sadece yüzey kimyası monomoleküler düzeyde değişiyor. Plazma uygulanmasıyla biyomalzemelerin yüzeyleri aktif hale getirilerek yüzeye protein ya da heparin gibi molekülleri bağlamak mümkün olabileceği gibi, yüzeyi başka bir polimerle çok homojen biçimde kaplamak ve malzemenin biyouyumluluğunu artırmak da mümkün olabiliyor. Plazma aynı zamanda yüzey kazıyıcı bir özelliğe de sahip olduğu için yüzeyde nanopürüzlülük oluşturma konusunda da yararlanılabilen bir yöntem. Şekil 9, yüzeyi plazmayla değiştirilmiş poliüretan üzerinde hücre yapışmasını gösteriyor.

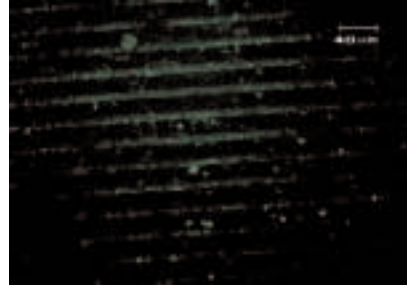
UV uygulaması da yüzey kimyasını çok ince bir katman düzeyinde değiştirebilen, bu nedenle de plazma gibi kullanılabilen bir yön-



Şekil 9. Plazmayla yüzeyi değiştirilmiş poliüretan üzerinde hücre yapışması

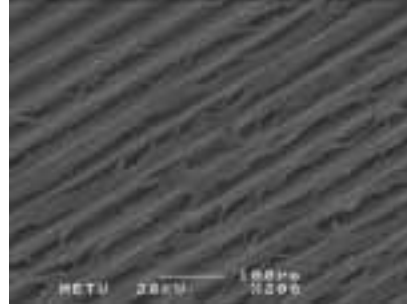
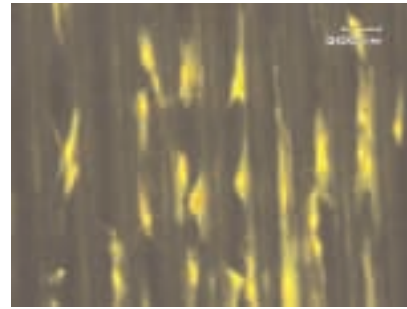
tem. Ayrıca, yine plazma gibi yüzeyi aktive edip yeni moleküllerin yüzeye bağlanmasını ve böylelikle yüzeye çok ince bir kaplama yapılmasını sağlayabilir.

Bunun dışında yüzey kimyasını değiştirmek için kullanılan yöntemlerden biri "mikrokontakt damgalama"dır. Burada fotolitografik yöntemle hazırlanmış bir şablon doku mühendisliği şablonuna aktarılmak istenen kimyasal maddeye batırıldıktan sonra şablon yüzeyine uygulanır. Şekil 10'da bu şekilde aktarılmış bir floresan kimyasal görülüyor.



Şekil 10. Yüzeye mikrokontakt damgalamayla aktarılmış floresan boyalı aktif madde. (Floresan mikroskopisi.)

Yüzeye enzim, fibrinojen, fibronektin, heparin gibi biyoaktif moleküllerin tutturulması için uygulanan başka bir yöntem de adsorpsiyon yöntemi. Mikro ya da nano kanallara içine



Şekil 11. Fibronektinle değiştirilmiş, desenle taşıyıcı üzerinde hücre büyümesi (Floresan ve SEM)

bu biyoaktif maddeler eklenebilir ve hücrelerin özellikle bu bölgelere yapışması ve çoğalması sağlanabilir. Şekil 11, bu şekilde işlem görmüş ve fibronektinle aktive edilmiş yüzeylere yapışmış olan osteoblastları (kemik hücresi öncül hücreler) gösteriyor.

Akıllı Biyomateryal Tasarımı

"Kendiliğinden düzenli" nanobiyomalzemeler konusu, son yılların üzerinde en çok çalışılan konularından biri. Biyomedikal alandaki önemleri bu kendiliğinden düzenli yapıların ilaç salımı sistemi oluşturma, biyouyumlu yüzey tasarlama, akıllı (tepki veren) biyomalzeme yaratma gibi birçok alanda kullanılabilmelerinden kaynaklanıyor. Genellikle hidrofilik (su sever) ve hidrofobik (su sevmez) grupları olan blok kopolimerlerden yapılıyorlar. Bu yapılar, ortam koşulları değiştiğinde özellik değiştiriyorlar, örneğin boyları uzuyor kısalıyor ya da şekil değiştiriyorlar (tüp şeklindeki katmanlara ya da küreye dönebiliyorlar). Böylelikle biyolojik sistemle implant arasındaki arayüzeylerin kimyası değiştirilebiliyor. Bunun sonucunda daha biyouyumlu hale gelebiliyor, ya da yüzeyindeki ilacı salılabilmekte ya da yapışma özellikleri artıyor. Nanoboyuttaki bu sistemlere yönelik çalışmalarımız da sürmekte.

Nanokompozitler

Biyomateryal alanında kompozitler önemli rol oynuyor. Kompozitler, özellikleri farklı iki ya da daha çok madde bir araya getirilerek oluşan ve özellikleri farklı olan malzemeler. Üzerinde yoğun çalışılmakta olan konular nano-inorganik nanotüp, nanoküre, nanolif gibi yapılar, biyomalzemelerin özelliklerini geliştirmekte kullanılıyorlar. Yürütülmekte olan çalışmalarımız arasında, nanomineral elde edilmesi ve bunların polimerlerle kompozit hale getirilmesi de yer alıyor. Şekil 12, laboratuvarımızda oluşturulan nano-inorganik kristalleri gösteriyor.



Şekil 12. Nano-inorganik kristaller

*Prof. Dr. Vasıf Hasırcı
**Prof. Dr. Nesrin Hasırcı,
*ODTÜ FEF Biyolojik Bilimler Bölümü
Biyoteknoloji Araştırma Birimi
**ODTÜ FEF Kimya Bölümü

SENSÖR UYGULAMALARI İÇİN FERROELEKTRİK İNCE FİMLERİN MİKRONALTI BOYUTLARDA ÜRETİMİ

Projemiz, son zamanlarda gerek elektronik sanayiinde hafıza uygulamaları açısından, gerekse sensör uygulamaları (biyosensör ve kimyasal sensör gibi) açısından yoğun olarak ilgi gören PZT (kurşun zirkonat - $Pb(Zr,Ti)O_3$) ferroelektrik ince filmler üzerine. Bu projede amaçlanan sol-jel yöntemi kullanılarak homojen yapıda ve kompozisyonda, çeşitli uygulamalar için gereken şekillerde olan PZT filmlerin mikrokalıplama yöntemiyle üretilmesi. Projede kullanılan mikrokalıplama yöntemi, ferroelektrik PZT filmlerin üretimi için ekonomik bir alternatif oluşturuyor.

Ferroelektrik seramik ince filmler, elektrik alan uygulandığı zaman tersine çevrilebilir spontane (kendiliğinden oluşan) bir polarizasyona sahip. Ferroelektrik etki olarak tanımlanan bu özellik, kristal malzemelere dışarıdan elektrik alan uygulandığında bu malzemelerde kendiliğinden bir polarizasyona neden olur ve elektrik alan kesildiğinde bu polarizasyon malzeme içinde kalır. Ters elektrik alan uygulandığında malzemedeki polarizasyon ters yöne çevrilir. Ferroelektrik malzemelerde kaydedilen bilgiler, elektrik alan kesilse ve radyasyona maruz kalsa bile malzemede saklandığından, bu malzemeler hafıza uygulamaları için ideal. Bu malzemeler ayrıca kapasitör, piezoelektrik malzeme, piroelektrik dedektör, elektro-optik malzeme, termistör ve dielektrik malzeme olarak çeşitli uygulama alanlarında kullanılıyorlar. Son zamanlarda bu malzemelerin mikroelektronik-mekanik (MEMS) ve nanoelektronik-mekanik (NEMS) sistemlerde de uygulama alanları bulması nedeniyle, ferroelektrik seramik ince filmlerin mikrokalıplama tekniği kullanılarak mikronaltı boyutlarda üretimi gündeme gelmiş bulunuyor.

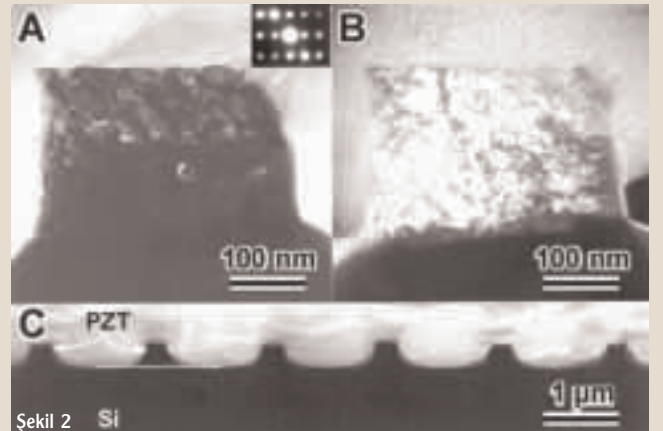
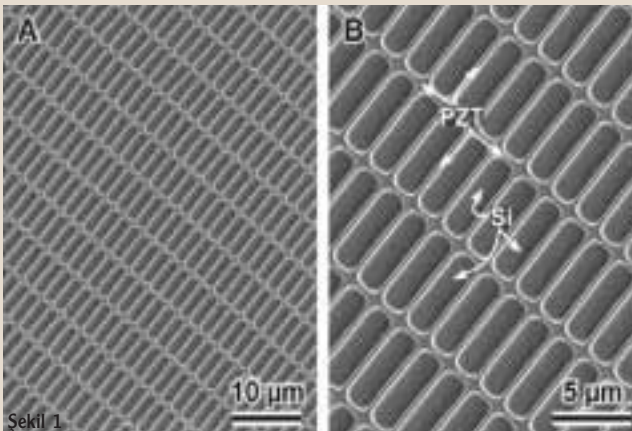
Günümüzde ferroelektrik/piezoelektrik amaçlı ince film teknolojisinde kullanılan yöntemde, uygun altlıklar üzerine kaplanan



filmler daha sonra elektron demeti veya iyon demeti kullanılarak, uygulamanın gerektirdiği şekillerde elde ediliyorlar. Mikrokalıplama tekniğiyle, sol-jel yöntemi kullanılarak uygulamada gerekli olan şekillerin vakum tekniği gerektirmeyen tek bir işlemlerle daha ucuz elde edilmesine dayanıyor. Bu işlemlerde kullanılan çözültiden daha önceden hazırlanan bir kalıp yardımıyla platin kaplı silisyum ve paslanmaz çelik altlıklar üzerinde istenen şekillerin elde edilmesinde yararlanılıyor. Çalışmamızda, kalıp için silikon esaslı bir polimerik malzeme olan PDMS kullanıldı ve orijinal kalıptaki modelin altlığa aktarılması sağlandı. Bu yöntemle elde edilen bazı seramik yapılar Şekil 1'de

gösteriliyor. Şekil 2'de ise PZT yapıların elektron mikroskopisi kullanılarak elde edilen görüntülerine yer veriliyor. ABD Princeton Üniversitesi ile yapılan ortak çalışmalar sonucunda geliştirilmeye çalışılan mikrokalıplama yönteminin, üretilen filmlerde elde edilen mikronaltı (nano) boyutlardaki yapılar nedeniyle bazı temel sorulara yeni yaklaşımlar kazandıracağı da düşünülmekte.

Prof. Dr. Macit Özenbaş
ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü
ozenbas@metu.edu.tr



BİR AB 6. ÇERÇEVE PROJESİ OLAN SEMINANO, YARIİLETKEN NANOKRİSTALLERİN KEŞFEDİLMİYİ BEKLEYEN YANLARINI ARAŞTIRIYOR



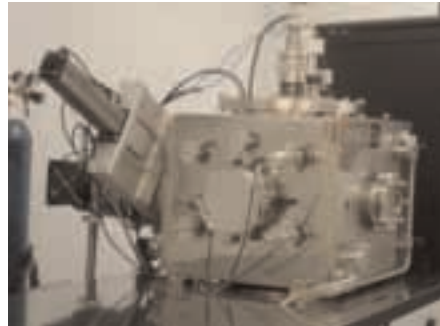
ODTÜ Fizik Bölümü'nden Prof. Dr. Raşit Turan'ın öcülüğünde hazırlanan ve nanoteknoloji alanında bilimsel ve teknik araştırma-geliştirme çalışmalarını içeren AB 6. Çerçeve Programı projesi 1 Eylül 2004'ten bu yana başarıyla sürdürülüyor. Kısa adı SEMINANO (Semiconductor Nanocrystals) olan proje, 9 ülkeden 11 araştırma grubunun katıldığı ve nanoteknoloji alanında Türkiye'nin yönettiği tek AB projesi olma özelliğini taşıyor. 2 yıl süren bir hazırlık çalışması sonrasında ortaya çıkan proje, içerdiği bilimsel ve teknik çalışmaların yanı sıra, Türkiye'nin 6. Çerçeve programına katılımı ve program bütçesinden yüksek pay alması açısından da önem taşıyor. SEMINANO projesiyle yarıiletken nanoyapıların üretilmesi, çeşitli açılardan incelenmesi ve teknolojiye uygulanması hedeflenmektedir. Büyüklüğü 1-20 nm civarında olan yarıiletken kristal yapıların farklı ortamlarda ve farklı yöntemlerle büyütülmesi ve bu yapıların optik ve elektronik özelliklerinin kontrol altına alınarak mikroelektronik ve optoelektronik alanlarında kullanılması, projenin ana hedefleri. Alanında öncü çalışmalar ve yeni yöntemler geliştirmeyi hedefleyen SEMINANO Projesi için ayrıntılı bilgiye www.phsics.metu.edu.tr/smd/seminano adresinden ulaşılabilir.

Yarıiletken Nanokristallerin Renklendirdiği Yeni Işık Saçan Diyotlar

Günümüzde göstergeler oluşturmak, ışıldayan yazılar yazmak ve görüntüler oluşturmak için ışığa gereksinim duyulan her yerde yarıiletken ışık saçan diyotlar kullanılır. Yaşamın her alanında yoğun olarak kullanılan bu

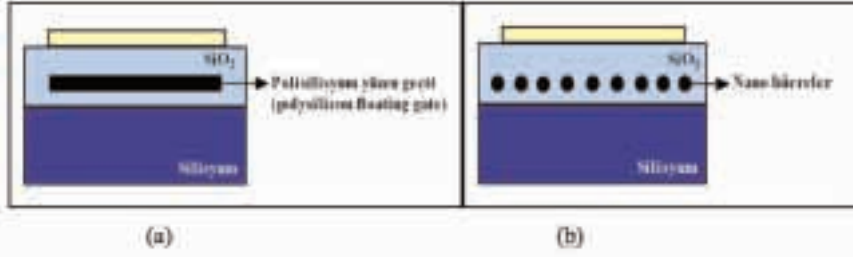
diyotlar, bileşik yarıiletkenler kullanılarak üretilir. Oysa modern yarıiletken elektronik teknolojisi, Silisyum (Si) kristaline dayanır. 20. yüzyılın sonunda büyük bir toplumsal dönüşüme neden olan mikroelektronik devrimi, Si kristalinin olağanüstü ayrıntıyla işlenmesi sonunda oluşturulan entegre devrelerin üretilmesiyle gerçekleşti. Bugün milyonlarca diyot ve transistör çok küçük alanlara sığdırılarak son derece karmaşık ve hızlı işlemciler birkaç santimetrekare alana sığdırılabilmekte. Si kristali, sahip olduğu olağanüstü elektronik ve mekanik özelliklere rağmen ışık üretme konusunda yetersiz kalıyor. Dolaylı elektronik bant aralığı ve momentum korunumu yasası nedeniyle Si elektronları bantlar arasındaki geçişi ışık üretimi olmaksızın gerçekleştirir. Oysa bileşik yarıiletkenler (örneğin GaAs) doğrudan bant aralığına sahip olduğundan elektron geçişlerinde momentum korunumu kendiliğinden gerçekleşir. Bu nedenle bileşik yarıiletkenler etkili birer ışık üreticidir.

Si kristalinin ışık üretiminde yetersiz kalması, mikroelektronik ve optoelektronik teknolojilerinin ayrı ayrı ilerlemesine neden oldu. Mikroelektronik devreler ve ışık üreten sistemler birbirinden ayrı ve bağımsız olarak üretildi.



Bu iki teknolojinin tümleştirilmesi halinde yeni ve olağanüstü gelişmeler olması bekleniyor. Si tabanlı ışık üreten diyotların ve dalga yönlendiricilerin üretilmesiyle ışık, mikroelektronik devrelerde kullanılacak ve yüksek hızlarda ve kapasitelerde çalışan devrelerin üretilmesi mümkün olacak. Böylece optik anahtarlardan optik bilgisayarlara kadar uzanan bir dizi yeni gelişmeye tanık olacağız. Yıllardır Si teknolojisine yetişmeye çalışan bileşik yarıiletkenlerse bu yarışta biraz daha geride kalacak.

Si kristalinden ışık elde edilmesi, bu alanda çalışan bilim insanlarının oldukça eski bir düşü. Yapılan bütün denemeler başarısız oldu. Si ve Ge süper örgülerden oluşan yapay kristallerden ya da poroz Si yapılarından yararlanılarak ışık üreten diyotların üretimi, istenen sonuçları vermedi. Son yıllarda nanometre boyutlarında yarıiletken yapıların kontrollü üretimi ve elde edilen heyecan verici sonuçlar, Si nanokristallerin, yıllardır süren Si tabanlı ışık yayan sistemlerin oluşturulması çabasında yeni bir umut doğurdu. Boyutu 1-10 nm düzeyindeki yapılar, içinde barındırdıkları elektronlar için bir kuantum kuyusu oluşturur. Kuantum kuyuları içine hapsedilmiş elektronlar adeta bir atomun çevresinde dolaşan elektronlar gibi sürekli olmayan (discrete) enerji düzeylerine sahiptir ve bu düzeyler arasındaki geçişlerde ışık üretimi kolaylıkla gerçekleşir. Bu etkiye kuantum boyut etkisi denir (quantum size effect). Eğer küçük boyutlu nanokristaller halinde kullanılabilirse, silisyumun ışık yayabileceği görülür. Hatta nanokristal boyutunu ayarlayarak elde edilen ışığın dalga boyunu, yani rengini ayarlamak olasıdır. Görünür bölgenin bütün renklerini aynı kristalden, hem de mikroelektronik temel malzemesi olan Si'den elde edildiği bu durum, istenenden de öte bir gelişme olacak. Nitekim birçok laboratuvarında bu yönde sonuçlar elde edilmiş ve bunlar bilimsel yayın halinde yayınlanmış durumda. Elde edilen ışığın kaynağı konusunda tartışmalar sürse de, Si nanokristallerden kaynaklanan ışığa kesin olarak kanıtlanmış bulunuyor. Şimdi sıra, elde edilen ışığın kontrol altına alınması ve ışık saçan aygıtlara uygulanmasına geldi. SEMINANO projesi tam da bu gelişmelerin en canlı olduğu dönemde önerildi, desteklenmesine karar verildi. SEMINANO, Si ve Ge nanokristallerin boyut etkisi kullanılarak, bu malzemeleri ışık üreten sistemler haline dönüştürme ve bu yapıları ışık saçan diyotların üretiminde kullanmayı hedeflemekte. Geleneksel LED yapıları bir p-n ekleminden oluşur ve n tarafından gelen elektronlar p tarafından gelen boşluklar (hole) ile, tam eklem noktasında birleşir ve bu geçiş sırasında foton üretimi gerçekleşir. Nanokristallerin kullanıldığı LED aygıtları (NC-LED) geleneksel LED sisteminden oldukça farklıdır. NC-LED,



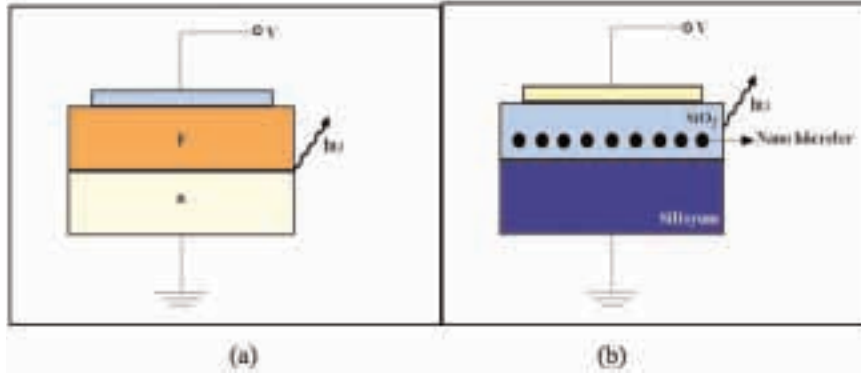
a) Geleneksel flash bellek yapısı yüklerin depolandığı bir polisilyum yüzer geçit (polysilicon floating gate) içerir.
b) Nanokristal tabanlı flash bellek hücrelerinde yükler çok sayıda nanokristal tarafından paylaşılır.

nanokristallerin oksit tabakanın içine gömüldüğü metal-oksit-yarıiletken yapısına sahiptir. Yalıtkan olmasına rağmen oksit tabakası, kalınlığı ve iletkenlik özelliklerinin ayarlanması sonunda elektriği iletebilir ve yarıiletken ya da metal tarafından gönderilen yük taşıyıcılar (elektron ve deşik) oksit tabakadan geçerek nanokristallere ulaşır ve burada enerji düzeyleri arasında geçişlere neden olarak ışık üretimi gerçekleşir. SEMINANO araştırmacıları bu deneyleri başarıyla gerçekleştirmiş ve NC-LED operasyonunu göstermiş durumdadır. Önümüzdeki dönemde NC LED yapılarının daha da geliştirilmesi bekleniyor.

Silisyum Nanokristaller Flash Belleklere Güç Katakacak

Yarıiletken nanoyapıların bir başka uygulama alanıysa yeni jenerasyon 'flash' bellek elemanlarının geliştirilmesidir. Geleneksel flash bellek sistemleri, SiO₂ matris içine yerleştirilen ve 'yüzer geçit' (floating gate) adı verilen metal ya da polisilyum bir depolama elemanından oluşur. Yüzer geçit ile Si altta arasındaki oksit tabakanın kalınlığı 2-3 nm'dir. Bu tabakanın çok ince olması nede-

niyle, yüzer geçitle altta Si arasında kısa devre oluşma olasılığı yüksektir. Bu nedenle, özellikle aynı yonga üzerinde çok sayıda ve yoğun olarak üretildiğinde flash bellek birimlerinin güvenilirlikleri azalır. Bu güvenilirlik sorununu aşmak üzere metal geçit yerine nanokristallerin kullanılması önerilmektedir. Yüzer geçit yerine yüzlerce nanokristalden oluşan kuantum kuyusu demeti kullanıldığında, depolanan yükler bu nanokristaller arasında paylaşılır. Kullanılan nanokristal adacıkları birbirinden bağımsız olduğundan, oluşacak bir kısa devre yalnızca birkaç nanokristaldeki yükü etkileyecek ve bellek elemanının tamamına etkisi olmayacaktır. Nanokristaller flash belleklerin güvenilirliğini ve dolayısıyla kapasitelerini artıracaktır. SEMINANO konsorsiyumuna üye araştırma gruplarından bazıları bu alanda uzmanlardan oluşuyor. Elde ettikleri ilk sonuçlar Si nanokristallerin flash bellek depolama elemanı olarak başarıyla kullanılabileceğini göstermiş durumda. ODTÜ yönetiminde yürütülen bu çalışmaların önümüzdeki dönemde yeni gelişmelere yol açacağı şimdiden belli.



a) Geleneksel LED yapısı bir p-n ekleminden oluşur. n-tarafından gelen elektronlar p-tarafından gelen deşiklerle eklem noktasında birleşirler ve bu birleşme sonunda açığa çıkan enerji ışık olarak dışarı çıkar.
b) Nanokristal LED yapısı bir metal oksit yarıiletken (MOS) sisteminden oluşur.

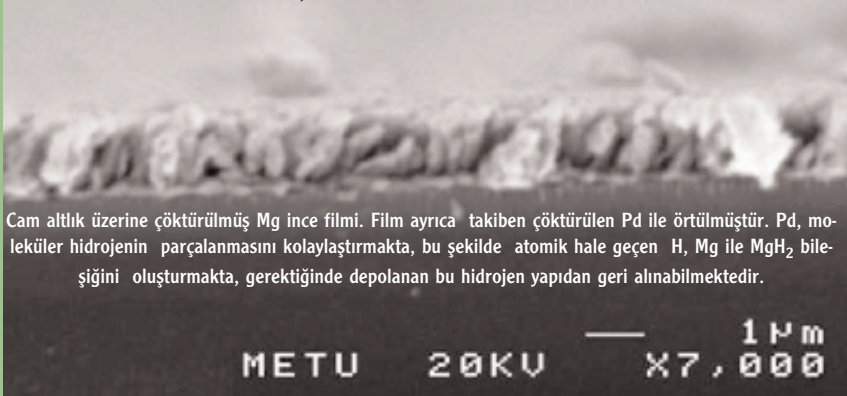


SiO₂ içinde oluşturulan Ge nanokristallerin TEM resmi.

SEMİNANO geçtiğimiz Eylül ayında Budapeşte'de bütün dünyadan katılımın sağlandığı büyük bir çalıştay düzenlemiş ve SEMİNANO adını geniş bir bilim topluluğuna yaymıştır. Bu çalıştaya gösterilen yoğun ilgiden cesaret alan SEMİNANO konsorsiyumu ikinci çalıştayı 2006 yılının Haziran ayında Antalya'da düzenlemeye karar vermiştir. Bu çalıştay yeni sonuçların sunulduğu ve tartışıldığı dünya çapında tanınan bir toplantı serisinin bir parçası olmaya adaydır.

Prof. Dr. Raşit Turan

HİDROJEN DEPOLAMA



Cam altlık üzerine çöktürülmüş Mg ince filmi. Film ayrıca takiben çöktürülen Pd ile örtülmüştür. Pd, moleküler hidrojenin parçalanmasını kolaylaştırmakta, bu şekilde atomik hale geçen H, Mg ile MgH₂ bileşimini oluşturmakta, gerektiğinde depolanan bu hidrojen yapıdan geri alınabilmektedir.

zorlaştıracaktır. Reaksiyonun kolaylaştırılmasında başvurulabilecek bir yöntem, metalin ince film halinde çöktürülmesi. Birkaç yüz nanometre boyutlarında oluşturulan tabaka ve şekilde görüldüğü gibi büyüyen kolonsal yapıyla hidrojen, yapı içerisine rahatlıkla nüfuz edebiliyor. Bu koşullarda reaksiyon kolaylaşıyor, hacimli malzemelerde, örneğin magnezyumda 400°C'de gerçekleşen tersinir tepkime, 100-150°C'de mümkün oluyor. Halen ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde sürdürülen çalışmalar, bu sıcaklığın daha da düşürülmesini ve bu şekilde oda sıcaklığında hidrojen depolayabilen ve gerektiğinde depoladığı hidrojeni bırakabilen kartuşların üretimini hedeflemekte. Bu kartuşların olası kullanım alanlarından biri, dizüstü bilgisayar ve benzeri cihazların şarj edilmesidir.

Prof. Dr. Tayfur Öztürk
ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü
ozturk@metu.edu.tr

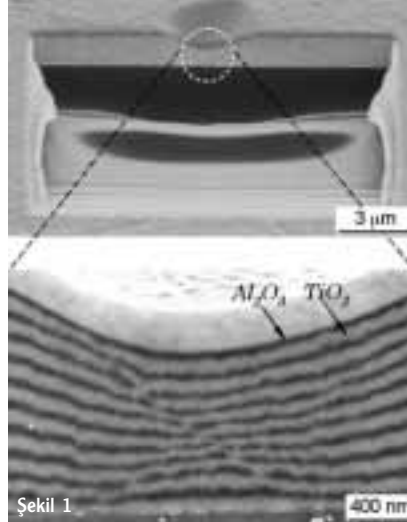
Nanoboyutlu yapıların diğer bir özelliği, metal-gaz reaksiyonlarının daha kolay olması. Bu, özellikle hidrojen depolama açısından önem taşıyor. Oluşan metal hidrürün

özellik hacmi, metalinkinden fazla. Bu durumda reaksiyon yüzeyden belirli bir noktaya kadar devam edecek, ancak oluşan uyumsuzluk gerilmeleri reaksiyonun ilerlemesini

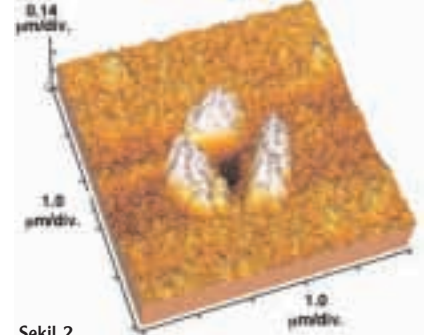
NANOYAPILI ÇOK-KATMANLI HİBRİD YÜZEY KOMPOZİTLERİ

Elektronik paketleme, şarj edilebilir piller ve akıllı kaplamalar başta olmak üzere, günümüz ileri teknolojilerindeki hızlı gelişim ve buna bağlı olarak yükselen performans beklentileri, mekanik ve termal özellikleri optimize edilmiş yüzey malzemelerine olan ilgiyi artırmakta. Bu bağlamda, çeşitli sermik katmanlardan ya da değişimli polimer ve seramik katmanlardan oluşan hibrid yüzey kompozitlerin, iç yapılarının nanoboyutta kontrol edilmesiyle sıradışı mekanik özellikler gösterecekleri öngörülmüyor. Bu yüzey kompozitlerinin üretiminde kullanılan fiziksel buhar çökeltme yöntemleri nanoboyutta iç yapı ve yüzey morfoloji kontrolüne izin vermektedir. Etkin iç yapı dizaynı ve ara yüzey mühendisliğiyle oluşturulan bu nano yapılı kompozitlerde, yapı içindeki kritik çatlak boyutunun nano düzeyde sınırlandırılmasıyla mukavemetin korunması ve ilerleyen çatlakların farklı katman ara yüzeylerinde durdurulmasıyla da kırılma tokluk artırımını mümkün olabiliyor.

Bu bağlamda, grubumuzda üretilen titanyum dioksit (TiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) seramik katmanlarından oluşan nano yapılı yüzey kompozitleri, konvansiyonel seramik malzemelerin aksine, oda sıcaklığında deforme edilebilir bir karakter gösterdi. Bu davranış küresel ve piramit biçimli mikro-sertlik kontak bölgeleri altındaki malzeme akışı şeklinde orta-



ya çıkıyor. Şekil 1'de küresel kontak gölgesi kesitinin taramalı elektron mikroskop fotoğrafında görülebileceği gibi, kırılğan seramik katmanlardan oluşan nano yapılı kompozit kontak bölgesi altında önemli miktarda deformasyona uğramış ve bu sayede yapıda kırılma ve kopmalar önlenmiştir. Genellikle metalik malzemelere has bir davranış olan ve piramit şekilli mikro-sertlik kontak bölgelerinin etrafında görülen malzeme birikmesinin, ürettiğimiz nano yapılı



Şekil 2

seramik yüzey kompozitlerinde de görülmüş (Şekil 2, atomik kuvvet mikroskop yüzey topografisi), elde edilen yapının deforme edilebilirliğine işaret ediyor.

Ulaşılan bulgular, nanoboyutta hassas iç yapı kontrolüyle seramik malzemelere sıradışı mekanik özellikler katmanının mümkün olduğunu ortaya koyuyor. Grubumuzda bu tip araştırmaların nano yapılı polimer/seramik hibrid yüzey kompozitlerine de uygulanmasına çalışılmaktadır. Geliştirilecek nano yapılı malzemelerin, elde edilen mekanik ve termal özellikleriyle gelecek nesil elektronik sistemlerde ve yüzey kaplamalarında aranan performans kriterlerini, fonksiyonel bütünlüğü ve operasyonel güvenliği sağlamada kilit bir rol üstleneceği düşünülmüyor.

KALIN KESİTLİ, İRİ VE HACİMLİ NANOKRİSTAL MALZEMELER

Nanokristal malzemeler, genel olarak boyutları 1 ile 100 nm aralığında değişen yapı elemanları içeren yüksek teknoloji malzemeleri olarak nitelendiriliyorlar. Araştırmacıların ve teknolojinin bu yoğun ilgisi, nanokristal malzemelerin sahip oldukları ve halen endüstride kullanılmakta olan geleneksel malzemelerde elde edilemeyen mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerden kaynaklanmaktadır. Bu özellikler arasında yüksek dayanç ve diğer üstün mekanik özellikler, üstün manyetik özellik, düşük manyetik uygulama alanlarında yüksek manyetik büzülme ve yüksek katalitik özellikler sayılabilir. Nanoboyuttaki magnetizma, çok sayıda potansiyel uygulamaya sahip bulunuyor. Dolayısıyla nanokristal malzemeler, günümüz ve 21. yüzyıl teknolojilerinde potansiyel olarak oldukça yaygın kullanım alanı bulabilen ileri ve yüksek teknoloji malzemeleri olarak değerlendiriliyorlar.

Günümüzde nanoölçekli metalik ve/veya seramik malzemelerin üretimi ve sentezi konusunda çeşitli fabrikasyon teknikleri geliştirilmiş bulunuyor. Geliştirilen bu teknikler temel olarak parçacık veya kristalit büyüklüğünü, dağılımını ve parçacıklar arası mesafeyi denetim alma esasına dayanan fiziksel ve kimyasal işlemler olarak uygulanıyor. Ancak, farklı üre-

tim tekniklerinin değişik özellikleri bazen aynı malzeme ve benzer tane büyüklükleri için son üründe çok farklı malzeme özellikleri veriyor. Bir başka önemli noktaysa, endüstriyel ve teknolojik uygulamalar için gerekli olan gözeneksiz, sürekli, kalın kesitli, iri ve hacimli parçaların, nano-özelliğini yitirmeden, büyük miktarlarda üretimi konusunda karşılaşılan bazı bilimsel ve teknolojik problemler. Bu problemler genel olarak oksitlenme, kirlenme ve gözenek-boşluk oluşumu gibi, pratik uygulamada sorun yaratacak ve yukarıda değinilen çoğu üretim tekniğinin sahip olduğu dezavantajlar.

Kalın kesitli, iri ve hacimli nanokristal malzemelerin üretimi konusunda karşılaşılan bu güçlüklerin giderilmesine yönelik çalışmalar, çok yakın zamanlarda, özellikle Japonya, ABD gibi teknoloji ülkelerinde iri ve hacimli metalik cam/amorf (kristal olmayan şekilsiz) malzemelerin geliştirilmesi ve üretimiyle oluşturulan amorf fazın, denetimli kristalleşme sonrası elde edilen nanokristal malzemeler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda sıvı fazdan tek bir adımda ve doğrudan üretilen iri ve hacimli metalik cam/amorf alaşımların basit bir tavlama işlemi ile denetimli olarak kristalleştirilmesi, iri ve hacimli nanokristal, nanoquasikristal ve na-

nokompozit gibi yüksek performanslı malzemelerin de üretilebilmesini sağlıyor.

Üstün manyetik özelliklere sahip iri ve hacimli metalik cam ve nanokristal malzemelerin ileri teknoloji uygulamalarında potansiyel kullanım alanları şöyle özetlenebilir;

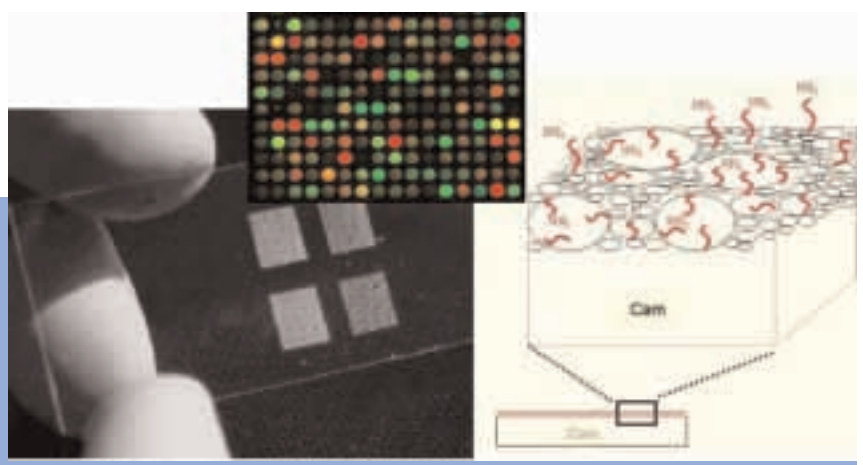
1. güç dönüştürücüler
2. boğma bobinleri
3. atımlı dönüştürücüler
4. akiya duyarlı manyetometreler
5. yüksek sıcaklık manyetik uygulamaları

Sahip oldukları üstün manyetik özellikleri ve yüksek sıcaklıklarda bile bu özellikleri kararlı bir şekilde koruyabilmeleri, nanokristal malzemelerin yüksek teknoloji elektronik aygıtlarında kullanılmalarını vazgeçilmez kılmaktadır. Nanokristal malzemelerin bu uygulamalardaki bir diğer önemli avantajıysa manyetik ve elektronik özelliklerini/performanslarını yitirmeden, geleneksel malzemelerin kullanımıyla mümkün olmayan ileri teknoloji elektronik aygıtların hacimsel olarak minyatür bir şekilde üretilebilmelerine de olanak sağlaması.

Prof. Dr. M. Vedat Akdeniz
ODTÜ, İleri Alaşımlar Tasarım ve Geliştirme
Laboratuvarı, Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.
akdeniz@metu.edu.tr

BİYOMEDİKAL VE BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Nanoteknoloji uygulamalarının en çok ilgi çeken ve potansiyel olarak kullanım bulabileceği alanlardan biri de biyoteknoloji ve biyomedikal alanlarıyla olan kesimi. Bunun temel nedenlerinden biri, biyolojik bilgi taşıyan ve çeşitli işlevleri olan protein, DNA gibi yapıların fiziksel boyut bakımından nanoteknolojinin kapsamı içinde olması. Bir diğer nedenle, analize yönelik olarak sözü geçen bu biyolojik moleküllerin çok zahmetli işlemlerle çok sınırlı miktarda elde edilebilir olması. Bu yüzden biyolojik moleküllerin analiz, modifikasyonu gibi işlemlerde kullanılan sistemlerin de boyut olarak küçülmesi ihtiyacını ortaya koyuyor. Çip-üstü-lab (lab-on-a-chip) olarak adlandırılan bu sistemlerde gerekli biyolojik moleküllerin ayırıştırma, saflaştırma, ve analiz gibi işlemleri, paralel olarak katı bir malzeme yüzeyinde çok az miktarda biyolojik molekül kullanılarak gerçekleştirilebiliyor. Analiz sistemlerinde küçülme, aynı zamanda analiz hızını, ve kimi durumlarda duyarlılığın artmasına da olanak veriyor. Sözü edilen bu sistemlerin geliştirilmesinde, mikro elektronik teknolojisinde oluşan bilgi birikimine ek olarak, katı malzemelerin ve yüzeylerin biyolojik moleküllerle uyumlu bir şekilde etkileşimini sağlayacak, mikro ve nano boyutta kim-



DNA mikroarrayleri, cam yüzeylere DNA zincirlerinin sabitlenmesi sonucu oluşturulan ve optik teknikler yardımıyla birçok biyolojik ve genetik analizde kullanılan sistemler. Bu uygulamada nanoboyutta yapılandırılmış olan yüzey kaplamaları DNA zincirlerinin uyumlu ve verimli şekilde yüzeye sabitlenmesine olanak tanır.

yasal ve fiziksel özelliklerinin kontrolünü sağlayan malzeme üretim süreçlerinin belirlenmesi de önemli.

Çip-üstü-lab uygulamalarındaki çeşitlilik de nanoteknolojideki gelişmeler sonucunda her geçen gün artmakta. Nanoteknolojiye dayanan yaklaşımlar, bu uygulamalardan bazılarındaki biyolojik analiz alanında halihazırda kullanılan bazı teknolojik ve uygulamaların iyileştirilmesine yardım etmekte. Örnek olarak gen tanımlanması, hastalık tespiti ve ilaç geliştirilmesi gibi alanlarda kullanımı olan ve DNA mikro arrayleri olarak bilinen sistemlerin analiz gücünün artırılması yönündeki çalışmalar verilebilir. DNA mikroarrayleri kimyasal olarak aktive edilmiş cam yüzeylere, gen dizilimi bilinen DNA moleküllerinin kontrollü bir şekilde sabitlenmesi sonucu oluşturuluyor. Oluşturulan bu hazır gen bankaları daha sonra analiz edilecek olan hastalıklı, ilaç yüklenmiş ya da gen dizilimi hiç bilinmeyen DNA örnekleriyle reaksiyona sokularak, DNA

hibritleşmesi sonucu birçok farklı genetik ve biyolojik bilgi elde etmek mümkün olabiliyor. Malzeme biliminin ve nanoteknolojinin bu noktada katkısı, DNA moleküllerinin cam yüzeylere uygun formda ve mümkün olduğunca verimli bir şekilde sabitlenmesi ve bunu artıracak yöntemlerin geliştirilmesi yönünde. Sözgelimi nanogözenekli yapısı sayesinde yüzey alanı kontrollü bir şekilde artırılmış ve DNA sabitlenmesine yardım edecek kimyasal gruplarla (amine, -NH₂) aktive edilmiş silikat esaslı bir cam üstü kaplama, günümüz DNA mikroarraylerinde kullanılan organik esaslı kaplamalara göre, hem analiz ortamlarında daha dayanıklı olması, hem de DNA sabitleme kapasitesinin yüksek olması nedenleriyle, analiz duyarlılığı daha iyi olan bir seçenek oluşturuyor.

Dr. Caner Durucan
ODTÜ Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü

KATMANLI SİLİKATLARLA POLİMER BAZLI NANOKOMPOZİT ÜRETİMİ

Polimer / katmanlı silikat nanokompozitleri, son yirmi yılın ve büyük olasılıkla yakın geleceğin, en umut vaadeden malzeme gruplarından. Malzeme biliminin son dönemde en geniş çapta çalışılan iki konusunu; kompozit malzemeler ve nanoteknolojiyi biraraya getiren polimer / katmanlı silikat nanokompozitlerine ilgi, üstün özellikleri ve bu özelliklerin ucuz bir güçlendirici malzemesinin (kil), çok düşük miktarlarda (%0,5) kullanılmasıyla elde edilebilmesi sayesinde her geçen gün artmaktadır.

Çalışmamızın birinci bölümünde, resol tip fenol formaldehit reçine - montmorillonit kil nanokompozit malzemelerinin üretimi, ve çeşitli üretim parametrelerinin bu malzemelerin mekanik davranışlarına etkisi incelendi. Bu amaçla, kil tipi, kil kaynağı, kil miktarı, kil modifikasyonu, reçine türü, reçine pişirme etmenleri ve karıştırma işlemi gibi üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi, Charpy darbe, 3-nokta eğme ve kırılma tokluğu testleri ile incelendi. Çalışmanın sonucu olarak bu malzemelerin üretimi için ideal parametreler geliştirildi ve mekanik özelliklerinde dikkat çekici artışlar gözlemlendi (Eğilme Dayancında %6, kırılmadaki Eğilme Gerini-

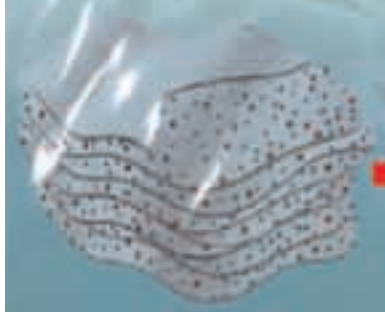
minde %11, Kırılma Tokluğunda %66). En yüksek mekanik özellikler düşük kil miktarlarında elde edildi (%0,5) ve bu artışın sağlanması için kil ve polimer fazlarının hidrofobisitelevlerinin benzer olması gerektiği gözlemlendi.

Araştırmanın ikinci bölümünde ise polimer bazlı nanokompozit üretiminde Türkiye'nin kil rezervlerinden yararlanmak amaçlandı. Bu amaçla Tokat'ın Reşadiye ilçesinde çıkarılan Na-montmorillonit tipi bentonit, beş çeşit alkil amonyum tuzuyla yüzey modifikasyonuna tabi tutuldu: tetrametil amonyum bromit (TMAB), benziltetraetil amonyum bromit (BTEAB), dodesiltrimetil amonyum bromit (DDTMAB), hegzadesiltrimetil amonyum bromit (HDTMAB) ve oktadesiltrimetil amonyum bromit (ODTMAB). Bu süreçte tek bir alkil amonyum tuzu yerine çeşitli tuzların kul-

lanılmasının nedeni, bu tuzların zincir uzunluklarının ve aromatik/alifatik yapılarının etkilerini araştırabilmektir. Na-montmorillonitin karakterizasyonu için, modifikasyon işlemi öncesinde X-ışını ve kation değişim kapasitesi analizleri, sonrasında X-ışını ve parçacık boyut dağılımı analizleri uygulandı. Bu analizlere ek olarak yüzey modifikasyonu işleminin etkinliği çözülmüş organik madde analiziyle incelendi. Yapılan analizlerin sonuçlarına dayanarak, Reşadiye'ye ait Na-montmorillonit örneğinin, başta ODTMAB olmak üzere alkil-amonyum tuzlarıyla yüzey modifikasyonu için uygun bir seçim olduğu ortaya çıktı.

Doç.Dr. Cevdet Kaynak,
C. Cem Taşan, G. İpek Selimoğlu
ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.

Katmanlı silikatların yapısı (katmanlar arası 1-2 nm).



Katmanların arasını açtıktan (20-40 nm) sonra araya polimer reçinenin girmesiyle oluşan nanokompozit yapısı.



KÖMÜR PUL PUL AYRILINCA...

Prof. Dr. İlhan Aksay Nanoteknoloji ve biyoesinli malzemeler konusunda öncü çalışmalar yapmış bir bilimadamımız. Halen Princeton Üniversitesi'nde çalışmalarını sürdüren Prof. Aksay, özel bir karbon çeşidi olan grafenin nanoteknolojik kullanımı üzerinde odaklanmış durumda. Prof. Aksay'la ODTÜ'de düzenlenen Nanoteknoloji Kongresi'nde konuşma fırsatı bulduk.

BT: Nanoteknolojinin tarihçesinden kısaca bahsedebilir misiniz?

Nanoölçüde bakma, elektron mikroskoplarından önce uygulanamıyordu. Teknolojinin ilerlemesi ve inceleme için gerekli aletlerin geliştirilmesinden sonra bu çalışmalar mümkün oldu.

Zoologların mikroskoplarla yaptıkları çalışmalarda gözlemledikleri bazı şeylerin ne oldukları daha önce belirlenemiyordu.

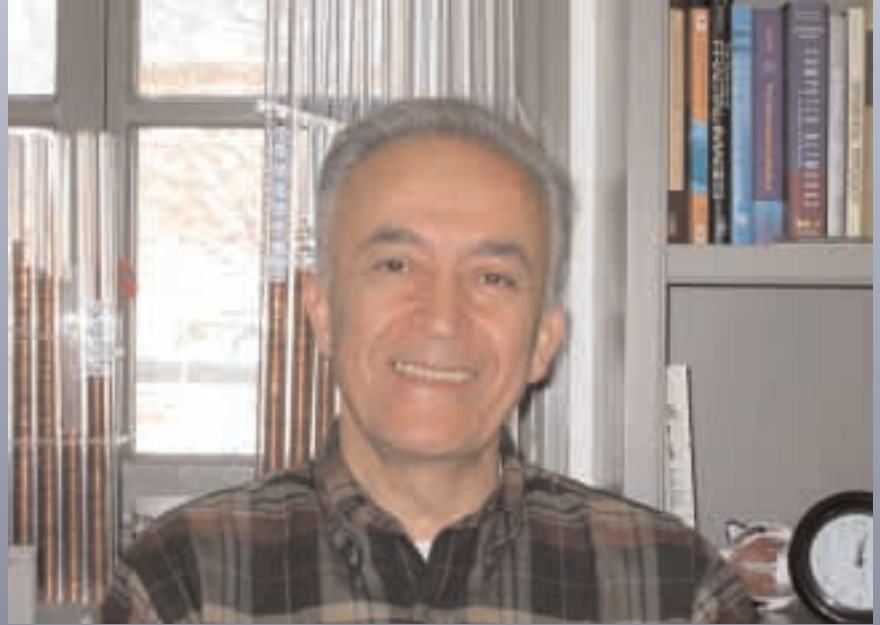
Nano boyuttaki çalışmalarda 80'lerden sonra ortaya çıkıyor. Ders kitaplarında söz edilmeyen, kendimizin öğretmediği, görmediğimiz şeyler görüyoruz. Yıllardır yapılan çalışmalarla görülenler dışında, bambaşka bir dünya olduğunu fark ediyoruz.

İlk başlarda 1980'lerde çok tepki ortaya çıktı. "Bu olamaz" diye. "Biyolojiji taklit ederek fazla ileriye varamazsınız, biyolojik moleküller belirli sıcaklık aralıklarında işlev görmekle kısıtlıyken işe yarar bir malzeme yapamazsınız. Sadece düşük sıcaklıklarda çalışıyorlar, biyolojiji taklit ederek yapacağımız malzemeler bu sıcaklık aralıklarına bağlı kalacak" diye. Oysa bizim amacımız sadece biyolojiji taklit etmek değil. Biyolojiden esinlenip daha değişik malzemeler yapmak. Örneğin yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen malzemeler.

BT: Anladığımız kadarıyla, bu teknoloji sadece minyatürleştirmeyi değil, aynı zamanda malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişiklikler yaratmayı içeriyor. Nanoölçülere inildiğinde değişen bu özelliklerden yararlanılıyor, değil mi?

Evet, nanoölçülere inildiğinde malzemenin nitelikleri değişiyor. Bunun yanında, bu yeni özellikleri birbirine nasıl bağlayacağımız da önemli. Bağlama prensipleri, bizim şimdiye kadar bildiğimiz prensipler değil; onlar değişiyor. Ara yüzeyin nasıl olacağı gibi. Örneğin, nerdeyse 100 yıldır katmanlı kompozit malzemeler yapıyoruz. Ancak, hiç dememişiz ki kalam bu katmanı bir keselim ve tabakalı yapalım. İşte, katmanlı ve tabakalı kompozit malzemeler yapma fikri. Fikri oluşturmak gayet basit. Ancak, bunun nasıl yapılabileceğini anlayabilmek bizim 15 yılımızı aldı. Bundan sonra da işin mühendislik tarafı başlıyor, bu arayüzlerin nasıl yapılabileceğini, bu işin nasıl yapılabileceğini ortaya çıkarıp şekillendirme basamağı geliyor. Bu da en az bir 10 yıllık çalışma demek.

Nanoteknoloji biyolojinin içinde; yarım milyar yıldır biyolojinin içine girmiş. Nanoteknoloji tek başına da değil. Bunu bir bütünün bir parçası, hatta her bir bütünün iç içe girmiş parçaları olarak değerlendirmek gerekiyor. Örneğin, bir filde bile nanoteknoloji var. Nanoöl-



çekleri yaptıktan sonra, bu nanoparçaları büyük bir bütüne götürecektik teknolojiye henüz tam anlamıyla hakim değiliz. Şu anda yaptığımız, üretilen nanoölçekli malzemeleri, bu şekilde bir bütüne nasıl ulaştırabileceğimiz üzerinde çalışmak. Kalkıp da ben nanotüp yaptım demekle iş bitmiyor, bu ufak bir başlangıç. Örneğin, ürettiğimiz nanografen tabakaları bir elektrik devrenin içinde nasıl kullanabileceğimize ilişkin fikirleri geliştirmek, apayrı bir sorun; ayrı bir çalışma gerektiriyor. Önemli olan, üretilen nanoteknolojileri dış dünyaya bu şekilde bağlayabilmek.

BT: Peki bu yolda bir mesafe alınabildi mi?

Son 5 yıl içinde epey mesafe alındı. Nanotelleri devreye sokma üzerine epey örnek var. Nanotancıklar büyük sistemlerin içine koyulmuş çok yol alındı. Nanografen tanecikleri yapılı 1,5 yıl oldu. Şimdi onları kauçuğun içine koyup farklı nitelikte kauçuk yapmayı planlıyoruz ve bu konuda çalışmalara başladık.

BT: Bu kompakt kauçuk ne gibi bir işte kullanılabilir?

Biliyorsunuz petrol taşıyan tankerlerin arkalarında, yere sürterek elektrostatik yükü boşaltmaları için bir zincir bulunur. Eğer lastiklerin kendisi iletken olursa, bu zincire gerek kalmayacak. En büyük yararı bu olacak. İkinci bir kullanım alanı da lokal olarak kendi kendini tamir edebilecek yapıların inşa edilebilmesi olacak. Örneğin, ayda bir habitat yaratıyorsunuz ve bunun gibi iletken özellik taşıyan bir polimer kullanarak bazı yapılar inşa ediyorsunuz. Bu malzemeye de sensörler entegre edi-

yorsunuz. Bu yapıda herhangi bir hasar olması durumunda, yapının katmanlarına yerleştirilmiş olan sensörler, size nerede bir hasar olduğunu bildirebilir ve siz yapıda kullanılan polimerin iletkenlik özelliğinden yararlanarak, buraya gönderdiğiniz elektrik sinyalleri yardımıyla lokal olarak polimeri ısıtarak tamir edebilirsiniz.

BT: Peki grafeni yalnızca kauçuğa entegre edebiliyorsunuz? Örneğin mikaya ya da cama da ekleyerek, bunları da iletken hale getirebilir misiniz?

Teorik olarak getirilebilmesi gerekir. Grafen eklenmesi durumunda bu malzemelere de iletkenlik özelliği kazandırılabilir. Ancak, cam yüksek sıcaklıkta elde edilen bir madde olduğu için ve oksitleyici ortamda yapıldığından, grafenin oksitleyici açığını yok eder. Bu nedenle, eğer camın içerisine grafen koyulacaksa, düşük sıcaklıkta yapılmış cam seçilmesi gerekiyor.

BT: Grafenin en göze çarpan özellikleri neler?

Çok yüksek alanı olduğu için hidrojen depolamada kullanılabilir. İkincisi, hibrit arabalarda kullanılan ve yüksek enerjilerin yüklenmediği ultra kapasitörler. Ara yüzey ne kadar fazla olursa, kapasitörün enerji yüklem miktarı da o kadar fazla. Bunlara çift katmanlı kapasitörler deniyor. Grafen bu işlem için ideal bir malzeme. Hem geniş yüzey alanı olması, hem de iletken olması nedeniyle. Kapasitörler, basit olarak iki iletken arasında dielektrik malzeme bulunan düzenekler. Yükü bir taraftan diğerine geçiremediği için enerjisi

ayırması oluyor, potansiyel enerjiyi ayırıyor ve boşaltıyor. Boşaltma sırasında dışarıya iletkenlik sağlanması gerekiyor. Grafenden yapılan ultra kapasitörler, iletken oldukları için ve 1 gramda 2600 metrekare (yaklaşık 2-3 futbol sahası büyüklüğünde) gibi bir yüzey alanına sahip oldukları için ideal. Şimdiki ultra kapasitörlerde aktif edilmiş karbon kullanılıyor. Yüzey alanları en fazla 1000-1500 metrekare arasında.

BT: Grafit grafene nasıl çevriliyor ve dayanıklılık özelliği nereden geliyor?

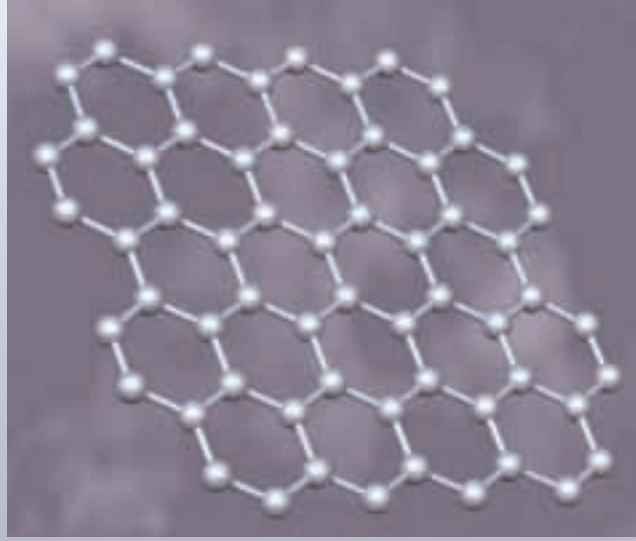
Grafit oksitleniyor ve soyuluyor. Oluşan katmanlar arasında çok güçlü bağlar bulunuyor ve tabakalar arasında da zayıf Van der Waals bağları var.

Grafenin petek yapıda bir araya gelen yapı taşları arasındaki atomlar arası bağlar, çok güçlü bağlar. Bunları kırabilmek için gereken kuvvet 100 gigapaskal. En kuvvetli malzemelerden diye bildiğimiz çeliğin bağlarını kırmak için gereken kuvvette 3 gigapaskal. İstenen, bunların yer aldığı polimerdeki gücü artırmak. Ne kadar tabaka, ne kadar ara yüz varsa, polimerin gücü o kadar yüksek oluyor. Bizim yapmaya çalıştığımız, deniz kabuğundaki tabakalar gibi tabakalanma yaratmak. Deniz kabuğundaki 200-500 nanometre kalınlığındaki tabakalar birbirine kuvvetli bağlarla bağlanmış. Bu bağlar kırıldığında kaymaya başlıyorlar ve heksagon biçimindeki fayanslara benzeyen bu tabakalar, kayarken bir noktada takılıyor. Bir tabaka takıldığında, akordeon gibi açılıyor. Camın kırılmadan önce bu şekilde açıldığını düşünün. Bu açılma sırasında, malzeme büyük bir enerji kaybediyor. Bu enerjiyi yitimi, malzeme aranan güveni artıran bir yöntem. Kemiklerimiz de kırılmadan önce büyük bir enerji alıyor.

Şimdi biz, buna benzer şekilde grafeni nasıl kullanabiliriz diye düşünüyoruz. Bu bağları kırmadan, bu bağları kontrol ederek, bu plakalar kaymaya başlarken, bunları kırmadan o ara yüzeyden nasıl yararlanabiliriz diye düşünüyoruz. Bu yöntemi buraya ne şekilde aktarabileceğimizi araştırıyoruz.

BT: Bunun için kullandığınız yöntem nedir?

Bunların hepsi karbon olsa, bir araya geldikleri vakit, grafit oluşturmak üzere birbirleriyle tekrar bağ yapacaklar. Grafite dönüşmeyi önlemek için moleküle oksijen ekleyerek epoksi yapısını elde ediyoruz. Ve bu yeni epoksi grubu, polimere bağlanıyor ve grafene bir işlev getirmiş oluyor. Bunun da ötesinde, molekülü uzayda bükerek, polimere bağlanacak yüzey



zey oluşturuyor. Bu işleme oksidasyon adı veriliyor. Daha sonra da, bunların teker teker katman olarak ayrılması gerekiyor.

BT: Başka kullanım alanları neler olabilir?

Daha önce araba tekerlerinde bir iç lastik bulunurdu. Bu iç lastiğin görevi, gazın akmasını önlemektir. Buna safra adı verilir. Yoksa lastik içindeki hava dışarıya akarsa, her sabah kalktığınızda lastiği pompalamanız gerekirdi. Şimdiyse bu iç lastikler kullanılmıyor. Onun yerine, gazın akışkanlığını önlemek için lastiğin içine plakalar koyuluyor. Bu da, gazın geçirgenliğini en az 10 kat düşürüyor. NASA'nın bizden istediği, bunu 10 bin kez azaltmamız. 2020 yılına kadar.

O iç lastiği kauçuğun içine koydular. Gaz geçirgenliğini azaltmak için, polimerin içine katman katman duvar koyuyorsunuz.

Astronotların giydikleri elbiselerin içinde 7 tane katman var. En dıştaki kumaş kısım, aşınmayı önleyen katman. En alttaki kısım, vücuda değmeden önceki; sonuncudan bir önceki kısım da iç lastik. Bu katmanın içinde de oksijenin kaybolmaması için iç lastik bulunuyor. Bunda grafitin koyulmuş kauçuk kullanılır, oksijenin kaybında 100 veya 1000 kez azalmış olursa, bu büyük bir avantaj.

Yapılacak olan uzay evlerinde de benzer şekilde gazın geçirgenliği azaltılabilir.

Lubrican madde olarak da kullanılabilir. Püskürterek kullandığımız yağların içinde grafit bulunuyor; yağın siyah rengi de buradan geliyor. Bunun yerine grafit olarak, taneleri tek tek kullanacak olursanız, birbirlerinin üzerinde kayması daha kolay olabilir. Grafenin niteliklerinden birisi de bu. Bizim hesaplarımıza göre, aradaki açıklığı 2 kat artırabilirsek, Van der Waals bağları %20'ye kadar eriyor. Zayıflayınca da o ölçüde kolay kaymaları gerekiyor.

Biz şu anda uzay araştırmaları, otomotiv ve havacılık sanayii üzerinde yoğunlaşıyoruz. Boeing'in son çıkan uçağı, tamamen kompozit malzemeden yapılmış. Daha dayanıklı kompozitlerin yapımı, diğer alternatif maddelerden daha ucuz elde edilebilmesiyle birleşebilirse, enerjiden büyük tasarruf edilmiş olacak. Gra-

fen, katıldığı polimere dayanıklılık ve sertlik katıyor.

BT: Sonuç olarak grafenin kendine benzer moleküllere göre üstünlüklerini sayabilir miyiz?

Daha dayanıklı, çok başarılı bir iletken, sert, kendini tamir eden, algılayan ve cevap verebilen bir maddedir.

BT: Bu maddeyi kauçuğa eklediğinizde ne gibi özellikler kazanmış olacaksınız?

Kauçuğun niteliklerini kaybetmeden, ona daha yüksek nitelikler getirebilmeyi planlıyoruz. Kauçuk, kuvveti az olan bir madde. Bunu 6 kat artırabilirsek bu çok büyük bir avantaj.

BT: Böyle bir madde kauçukla birleştiğinde kauçuğun elastikiyetinden herhangi bir kayıp oluyor mu?

Çok az kayıp oluyor. Denendiğinde, kauçuğun çekilme niteliği %10 kadar azalırken, kuvveti 6 kat sertliğine 7 kat arttı.

BT: Peki, bu endüstride beklenen şey nedir? Neden kompozitlerden yapılmıyor otomobiller, vs? Sorun fiyatı mı?

Ben üniversitedeyken, arkadaşlarıma uçağın neden kompozitlerden yapılmadığını sormuştum. Uçağın da ağırlığını azaltmış olmak büyük bir avantaj. Ancak, henüz alüminyumdaki sertliği ve kuvveti sağlayamadıkları için bunu yapamıyorlardı. Şimdi yavaş yavaş bu noktaya geliyorlar. Kullandıkları kompozit olan karbon fiber, pahalı bir madde.

BT: Peki grafit ucuz mu?

Şimdi bedava üretime geçmeye hazırlanıyoruz. Bundan sonra, bizim bütün masrafımız kimyasal malzemeler olacak. Kanımca bunun 1 kilogramı 1 dolardan daha az olacak. Halbuki karbon fiberleri o kadar ucuza almanız çok zor. Alüminyumdan daha pahalı olduğu için kullanamıyorlar.

BT: Bunun üretilebilmesi için çok ileri teknoloji gerekmiyor anlaşıldığı kadarıyla. Burada esas girdi beyin gücü sanki. Türkiye'de bu teknik kolayca yapılabilir mi?

Yakma sonucu karbon taneciklerinin üretimi Türkiye'de yapılabilir. Örneğin, mum yaptığımızda bir is çıkar. Bunun içinde de karbon tanecikleri bulunur. Ama onlar dolmuş durumda. Bunları boş halde ya da tek tabaka halinde üretmeyi başardığımız an, aynı teknolojiyi gerçekleştirmiş oluyorsunuz. Ve burada yüksek sıcaklıklara da gerek yok, karbonu buhar haline getirmeniz gerekiyor.

Raşit Gürdilek,
Deniz Candaş

