



giden) oldukça büyük bir ailedir. Yaygın formu ise yüksek sıcaklıklarda kararlı yapısını koruyabilen oldukça sert bir katı malzeme olan  $B_4C$ 'dir. Borun ve karbonun oranlarına göre fiziksel özellikleri değişiklik gösteren bu ailenin üyelerinden yüksek sertlikteki  $B_6C$ 'yi şimdiye kadar kolay ve ucuz üretmenin bir yolu bulunamamıştı. Eskiden sadece sıcak presleme ile çok yüksek basınç ve sıcaklıklarda üretilebilen bor karbür seramikler alternatif bir yolla daha kolay bir şekilde üretilebilecek gibi görünüyor. Araştırmacılar tarafından

uygulanan yeni yöntemle, malzemenin sentezi yoğun bir lazer radyasyonu uygulamasını takiben hızlı bir şekilde katılaştırma yoluyla gerçekleştirilen kristallendirme tekniği kullanılarak yapıldı. Bu yöntemle yüksek erime noktasına sahip malzemeler yüksek saflıkta ve düşük maliyette üretilebiliyor. Gerçekleştirilen mekanik dayanım testleri sonucunda elde edilen değerler,  $B_6C$ 'nin elmas ve kübik fazdaki bor nitrürden sonraki en sert malzeme olduğunu ortaya koyuyor. ■

## Yeni Karbon Nanotüp Malzeme Isıyı Tek Yönde İletiyor

Dr. Tuncay Baydemir

Asimetrik ısı iletken malzemeler, bilgisayar ve diğer cihazlar için soğutma sistemlerinde devrim niteliğinde olma potansiyeli taşıyor.

Elektrik ve elektronik mühendisliğinde sistem ısısının kontrolü oldukça büyük önem taşıyor. Çünkü sistemlerdeki ısı artışı cihazların kararlı bir şekilde çalışmasını engelliyor ve güvenilirliklerini azaltıyor. Isı kontrolünün yeterli seviyede sağlanamadığı durumların pek çoğu da çeşitli kritik arızalarla sonuçlanıyor. Örneğin, bilgisayar bileşenlerinin termal macunlarla kaplanması; fanlarla, soğutma kanallarıyla ve hatta sulu soğutma sistemleriyle donatılması gibi pek çok uygulamayla sistemdeki ısınma problemi çözülmeye çalışılıyor. Böylece ısıyı

hassas bileşenlerden uzaklaştırmak amaçlanıyor. Ancak nanometre boyutlarındaki cihazlar söz konusu olduğunda bu amacı gerçekleştirmek daha da zorlaşıyor.

Uygun maliyetli ısı iletken malzemeler kullanıldığında ısı her yönde iletiliyor ve yolu üzerindeki herhangi bir sistem bileşenini olumsuz etkileyebiliyor. Ancak daha etkili bir malzeme kullanılmasıyla ısının sadece malzeme boyunca iletilmesi ve diğer sistem bileşenlerinin ısınması engellenebilir. Bu tür asimetrik iletken bir malzeme, ısı mühendislerinin işlerini önemli ölçüde kolaylaştırabilir. Bu tür malzemelerin elde edilmesinin oldukça zor olması ise buradaki en büyük problemi oluşturuyor.

Japonya'daki Tokyo Üniversitesinden Shingi Yamaguchi ve arkadaşları, ısıyı asimetrik şekilde ileten, hizalanmış karbon nanotüplerden oluşan bir malzeme geliştirdiler ve araştırmalarının

sonuçlarını *Applied Physical Letters*'ta yayımladılar. Bu yeni malzeme bilgisayar ve diğer tüm cihazlar için soğutma sistemleri tasarlanmasında ve inşa edilmesinde bir devrim niteliği taşıyor.

Karbon nanotüplerin olağanüstü iletken özelliklere sahip olduğu malzeme mühendisleri tarafından oldukça iyi biliniyor.

Karbon nanotüpün ısı iletkenliği, oldukça iyi bir ısı iletken olan bakırın yaklaşık 2,5 katı. Bu yüzden karbon nanotüpler ısının belli bir yönde transferi için kullanılabilir. Ancak burada aşılması gereken önemli problemler bulunuyor.

Nanotüplerden oluşan bir malzeme yapılmaya çalışıldığında, bu tüpler polimerik bir malzeme üzerine katman oluşturacak şekilde yerleştiriliyor. Oluşturulan katmanda nanotüpler düzenli bir şekilde hizalanmıyor ve rastgele bir düzene sahip oluyorlar.

Sonuçta birbirleriyle termal temasları zayıf olan nanotüplerden

oluşan malzeme istenilen düzeyde tek yönlü termal iletkenliğe sahip olamıyor. Dolayısıyla, yüksek termal iletkenliğin sağlanması için karbon nanotüplerin düzenli bir şekilde hizalanması büyük önem taşıyor.

Yamaguchi ve ekibi kontrollü vakum filtrasyon tekniği kullanarak yüzen karbon nanotüplerin hizalanmış bir şekilde düzenli yapı oluşturmasını başardılar. Bunun için nanotüpler öncelikle yüzey gerilimini düşüren yüzey aktif madde içeren bir sıvı içerisinde karıştırılıyor. Nanotüpler uygun derişimlerde hizalanıp kendi kendilerine düzenli bir yapı oluşturuyor.

Daha sonra ise vakum kullanılarak sıvı dikkatli bir şekilde ortamdaki uzaklaştırılıyor. Sonuçta geriye hizalanmış nanotüplerden oluşmuş bir tabaka kalıyor.

Elde edilen malzeme ısıyı tek bir yönde oldukça başarılı bir şekilde iletiyor. Asıl ısı iletkenliğinin gerçekleştiği yöne dik olan eksende ise

ısı iletimi cam fibri ile kıyaslandığında 3 kat daha düşük. Malzemenin asimetric ısı iletkenliğinin (ısının amaçlanan doğrultuda iletiminin bu doğrultuya dik olan yönde iletimine oranı) yaklaşık 500 değerinde olduğu vurgulanıyor. Bu şimdiye kadar yapılan çalışmalarda elde edilen tüm asimetric ısı iletkenliği değerlerinden oldukça yüksek. Sonuçlar yapılacak yeni çalışmalara da ilham verecek gibi görünüyor.

Geliştirilmesi gereken yönlerin olduğunu vurgulayan araştırmacılar, tek yönde ısı iletiminin başarılı olduğunu ancak elde edilen iletkenlik değerlerinin beklenenden düşük olduğunu belirtiyorlar.

Kalay/kurşun lehimlerdeki iletkenlik değerine yakın değerlere ulaşabilen araştırmacılar bu değerleri geliştirmek için çalışmalara devam etmeyi planlıyorlar. Karbon nanotüpleri hizalamayı başarmalarına rağmen bu tüplerin birbirlerine olan temaslarının mükemmel düzeyde olmadığını ve ısı iletkenliğinin her bir nanotüp geçişinde azaldığını vurgulayan Yamaguchi ve ekibi, daha uzun nanotüpler kullanarak iletkenlik değerlerini yükseltmenin mümkün olduğunu düşünüyor. Hizalama işleminin bu durumda daha zor gerçekleştirilebileceğinin bilincinde olan ekip, ısı mühendislerine daha iyi haberler verebilmek için araştırmalarını ara vermeden sürdürüyor. ■

