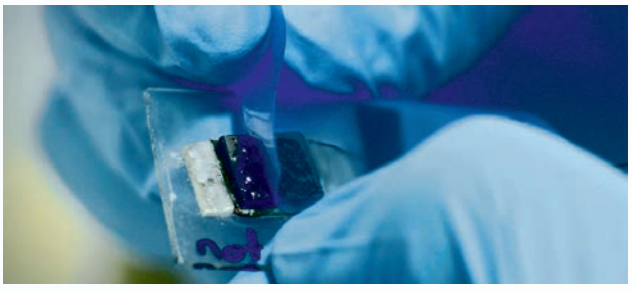
İKİ BOYUTLU
Metaller Üretildi

Dr. Mahir E. Ocak [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Çin Bilimler Akademisi Fizik Enstitüsünden bir grup fizikçi ilk kez iki boyutlu metaller üretmeyi başardı.

İki boyutlu malzemeler, bir boyutu atom boyutu ölçeğinde olan malzemelerdir. İlk iki boyutlu malzeme 2004 yılında elde edilmişti. Grafen adı verilen malzeme tek bir katman içinde, bal peteği biçiminde düzenlenmiş karbon atomlarından oluşuyordu. İlerleyen yıllarda çok sayıda başka iki boyutlu malzeme sentezlendi.

Bugüne kadar sentezlenen iki boyutlu malzemelerin ortak özelliği, farklı katmanlar arasında zayıf van der Waals (vdW) bağları olmasıydı. Üç boyutlu malzemenin farklı katmanları arasındaki bağların zayıf olması, iki boyutlu malzemenin elde edilmesini kolaylaştırıyordu. Örneğin 2004 yılında grafeni ilk kez izole etmeyi ve incelemeyi başaran araştırmacılar Andre Geim ve Konstantin Novoselov, grafitten grafen katmanları koparmak için basit bir yapışkan bant kullanmıştı.

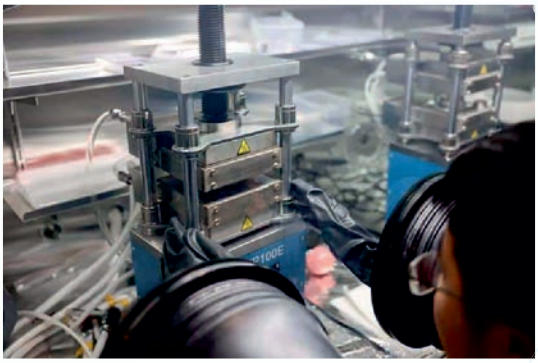


https://www.graphene.manchester.ac.uk/learn/making-graphene/

Grafitten grafen katmanları koparmanın basit bir yolu yapışkan bant kullanmaktır.

İki boyutlu metaller elde etmek üzerine yıllardır araştırmalar yapılıyor. Bu çalışmaların önemli kuramsal, deneysel ve teknolojik ilerlemelere yol açması bekleniyor. İki boyutlu metaller elde etmekle ilgili en önemli zorluk, metallerin güçlü bağlar içeren, yüksek derecede simetrik malzemeler olması. Sadece metal atomları içeren tek katmanlı bir yapı termodinamik olarak kararlı değil.

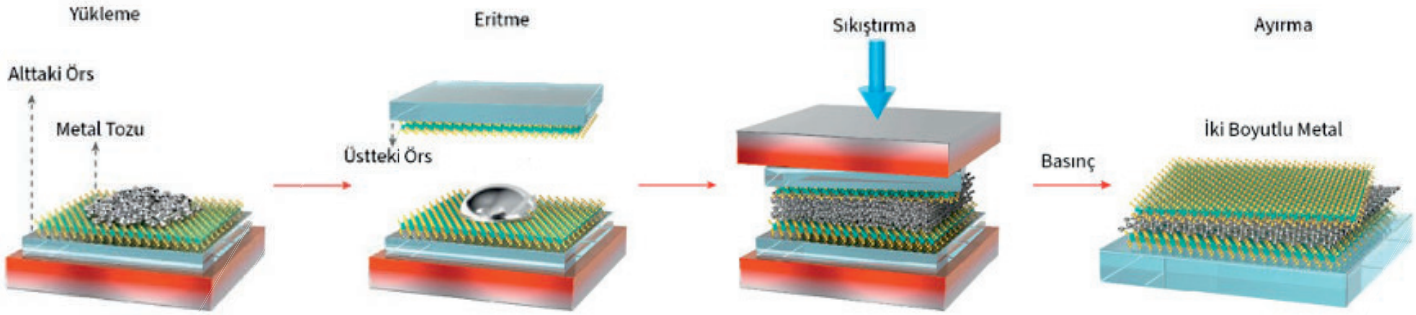
İki boyutlu metalleri elde etmek için kullanılabilecek yöntemlerden biri epitaksi. Yarı iletken cihazların üretiminde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde üretilecek malzeme, bir yüzeyin üzerinde ince bir katman hâlinde çökeltiliyor. İki boyutlu metalleri üretmek için kullanılabilecek bir başka yöntem ise malzemeyi iki yüzeyin arasında ince bir ara katman olarak elde etmeye çalışmak. Ancak bu yöntemlerin her ikisi de iki boyutlu metaller elde edilmesine izin vermiyor. Ortaya çıkan ürünlerde yüzeyi düzensiz yapılı, boyutları nanometreler ölçeğinde adacıklar bulunuyor. Ayrıca ürünler, üzerine çökeltildiği ya da arasına sıkıştırıldığı diğer malzemelere sıkıca bağlanıyor. Bu durum malzemenin özelliklerinin incelenmesini ya da teknolojik cihazlarda kullanılmasını engelliyor. Bir başka sorunsa bir yüzeyin üzerinde büyütülen iki boyutlu metallerin çevresel koşullara maruz bırakıldığında kolaylıkla oksitlenmesi.



Çin Bilimler Akademisi, Fizik Enstitüsü

İki boyutlu metal üretmek için kullanılan örs sistemi

İki boyutlu metallerin elde edilmesi için kullanılabilecek bir diğer yöntemse geleneksel sıcak-baskı yöntemi. Bu yöntemde katı ya da sıvı hâldeki yüksek sıcaklıklara ısıtılmış kalın bir metal parçası sıkıştırılarak inceltiliyor. Ancak deneysel çalışmalar, bu geleneksel yöntemle bir metalin kalınlığının ancak nanometreler (metrenin milyarda biri) ölçeğine düşürülebileceği gösteriyor.



J. Zhao ve ark., Nature

İki boyutlu metallerin üretim süreci

Çin Bilimler Akademisinde Luojun Du ve Guangyu Zhang önderliğinde araştırmalar yapan bir grup fizikçi, yakın zamanlarda iki boyutlu metallerin üretilmesine imkân veren bir yöntem geliştirdi. Geleneksel sıcak-baskı yöntemine benzeyen yeni yöntemde iki boyutlu metal elde etmek için safir örsler kullanılıyor. Boyutları santimetreler ölçeğinde olan örslerin yüzeyi tek katmanlı molibden sülfür (MoS_2) ile kaplı. Bu özel yapı, üretim sürecinde iki avantaj sağlıyor. Birincisi tek katmanlı MoS_2 yüzeyinin atom ölçeğinde düz ve bağ kurmaya isteksiz yapısı, elde edilen malzemenin kalınlığının büyük ölçekte ve her noktada aynı olmasını sağlıyor. İkincisi hem safir (yaklaşık 430 GPa) hem de tek katmanlı MoS_2 (yaklaşık 300 GPa) aşırı yüksek basınca karşı dayanıklı. Bu durum örslerin arasına sıkıştırılan metalin üzerindeki basıncın, malzemenin kalınlığı ångström (1 Å 10^{-10} metreye eşittir) ölçeğine düşürülene kadar yükseltilmesine imkân veriyor.

Üretim sırasında ilk olarak alttaki örsün üzerine bir miktar metal tozu bırakılıyor ve eriyip bir damla oluşturana kadar metalin sıcaklığı arttırılıyor. Sonra sıvı metal, iki örsün arasında üzerindeki basınç 200 MPa'ya çıkana kadar sıkıştırılıyor. Daha sonra sistem çok yavaş bir biçimde soğutuluyor. Son olarak safir/MoS_2/2D-metal/MoS_2/safir yapısı mekanik olarak parçalanıyor. Metal ile MoS_2 arasındaki vdW etkileşimi, MoS_2 ile safir arasındaki vdW etkileşimine göre daha güçlü olduğu için yapıdaki çatlama MoS_2/safir arayüzünde gerçekleşiyor. Böylece iki boyutlu metal, iki MoS_2 katmanı arasında sıkışmış hâlde elde ediliyor. Metali çevreleyen tek katmanlı MoS_2 hem yapının termodinamik olarak kararlı olmasını sağlıyor hem de çevreye maruz kalarak oksitlenmesini engelliyor.

Araştırmacılar, vdW sıkıştırması adını verdikleri yöntemi kullanarak 6,3 Å kalınlığında bizmut, 5,8 Å kalınlığında kalay, 7,5 Å kalınlığında kurşun, 8,4 Å kalınlığında indiyum ve 9,2 Å kalınlığında galyum metali elde etmeyi başardı. Geliştirilen yöntemin iki boyutlu alaşımlar ya da grafen gibi vdW türü olmayan başka tür iki boyutlu malzemeler elde etmek için de kullanılabileceği belirtiliyor.

Yeni yöntemin süper iletkenlik, süper akışkanlık ve maddenin topolojik hâlleri gibi konularla ilgili bilimsel araştırmalarda yararlı olması bekleniyor. Ayrıca bu yöntemle üretilecek iki boyutlu metallerin yeni elektronik, fotonik ve kuantum cihazlar geliştirilmesinde kullanılabileceği belirtiliyor. ■

Kaynak

https://www.nature.com/articles/s41586-025-08711-x