

FOTONUN YÜZYILI?

1989'da Thomas Ebbesen'in başka bir deney için hazırlanmış olan özel bir altın folyoyla oynarken fark ettikleri, elektronlar ve "elektronik"e veda edip fotonlar ve "fotonik"e doğru yol almamızı sağlayabilir. Gelecekte kullanacağımız teknolojinin temel taşı olabilecek bu buluşun anahtarı: "Yüzey plazmonları".

14 yıl önce Princeton'daki NEC Araştırma Enstitüsü'nde elektromanyetik etkileşimlerde kuantum kuramıyla ilgili bir deney için hazırlanan altın folyonun üzerinde, insan saçından 200 kez daha küçük 100 milyon kadar delik bulunuyordu. O sırada orada çalışmakta olan Thomas Ebbesen bu folyoyu ışığa tuttuğunda daha 9 yıl açıklamayacak olan bir şeyi fark etti. Folyodaki deliklerin üzerine düşen ışıktan daha fazlası diğer tarafa geçiyordu. Bunun önemini anlamak için, şu anda geçerli olan optik kuramına göre görülebilir ışığın dalga boyundan (mavi ışık ≈ 400 nm) küçük olan bu deliklerin, üzerlerine düşen ışığın sadece yüzde 0,01 kadarını geçirmeleri gerektiğini göz önünde bulundurmalıyız. Ebbesen önce folyonun hatalı olduğunu düşündü; ancak elektron mikroskobu folyonun mükemmel olduğunu gösterdi. Daha fazla örnek hazırlatıp sonuçların doğruluğunu sınavan Ebbesen, bulgulara bir açıklama getiremedi ve bilimsel bir dergide bile yayınlamadan bu bilmeceyi rafa kaldırdı. 9 yıl sonra, 1998'de NEC'de çalışmaya başlayan kuramsal fizikçi Peter Wolff, bu durumu değiştirdi. Elektronların metallerin yüzeyindeki hareketleri konusunda uzman olan Wolff, Ebbesen'in rafa kaldırdığı bilmeceyi çözdü. Sürdürülen deneyler sonucunda 1998 yılında bu konuda bir makale yayınlandı.

Yüzey Plazmonları

Klasik optik kuramına göre ışık bir cismin yüzeyindeki her noktadan yansır. Eğer ışığın düştüğü iki nokta, birbirlerine ışığın dalga boyundan daha yakınsa etkileşime girerler ve bu kırınım sınırı olarak adlandırılır. Bir cisimden gözümüze ulaşım onu görmemizi sağlayan ışınlar, birbirinden yaklaşık bir dalga boyu yada daha fazla uzaklıkta olanlardır. Kırınım sınırı yüzünden ışığın dalga boyundan küçük detayları görmenin imkansız olduğu varsayılıyordu. Aynı nedenle dalga boyundan küçük deliklere çarpan ışık kuvvetli bir etkileşime girmeli ve diğer tarafa çok az ışık geçmeliydi. Ebbesen'in şaşırması gayet normaldi.

Bu olayın açıklaması çok şaşırtıcıydı: Folyonun bir yüzüne çarpan ışık ve diğer yüzünden görülen ışık aslında aynı ışık değil!

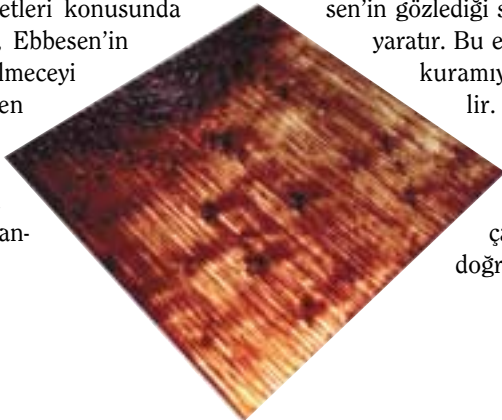
Elektronlar, metallerin yüzeyinde "yüzey plazmonları" adı verilen dalgalar halinde hareket eden iki boyutlu bir okyanus gibidir. Bu okyanusa çarpan ışık dalgalanmaya yolaçar ve eğer yüzeye çarpan ışık yüzey plazmonlarının rezonant momentumundaysa Ebbesen'in gözlediği sıra dışı etkileri yaratır. Bu etkiler kuantum kuramıyla açıklanabilir.

"Plazmon" elektron yoğunluk dalgalarının parçacık adıdır, ve doğru enerjiyle ge-

len fotonlar, yüzey plazmonlarına dönüşmek üzere emilirler. Bu plazmonlar, oldukça kuvvetli ancak mesafeyle sönen dalgalar yaratırlar.

Metalin yüzeyine çarpan ışık, elektron denizini hareketlendirip enerjisini yüzey plazmonlarına aktarıyor. Kısa bir süre için yüzey plazmonlarıyla taşınan enerji, bu dalgaların çökmesiyle ışık olarak yeniden salınıyor ve bu etkinin oluşmasını sağlıyor. Ebbesen'in folyosunda oluşan elektromanyetik alan deliklerin etrafında yoğunlaşıp deliğin diğer tarafında bir yüzey plazmonu hareketi oluşturuyor ve ışık diğer taraftan yayılıyor. Ancak, bu değişimlerin olması için ışığın ve yüzey plazmonlarının aynı enerji ve momentuma sahip olması gerek. Düzgün yüzeyli parlak bir metalde bu gereksinim sağlanamıyor; ancak, yüzeye açılan delikler yüzey plazmonlarının enerji ve momentumunu değiştirerek bunu mümkün kılıyor. Diğer bir deyişle, eğer delik boyları doğruysa, belirli bir dalga boyundaki ışık, yüzey plazmonlarının rezonansa girmesini sağlayacaktır. Bir rastlantı sonucu Ebbesen, görünür ışığın dalga boylarında rezonansa giren bir yapıyı elinde tutuyordu.

Ebbesen son çalışmasında tek bir deliğin bile yeterli olabileceğini gösterdi. Metalin yüzeyine tek bir delik ve bu deliği merkez alan daire şeklinde oyuklar açıldığında, plazmonlar tek deliğin etrafında yoğunlaşıyor ve ışık bu delikten her yöne yayılıyor. Bu deneyi bir adım daha ileri götüren Ebbesen, yüzeyin alt tarafına da aynı şekil-



de oyuklar açtığında önce kimsenin inanmadığı bir sonuçla karşılaştı. İnanılmaz incelikte, tek bir ışın halinde dağılmadan yayılan ışık. Ebbesen ve çalışma arkadaşları ancak kabul edilebilir bir açıklama ortaya koyduklarında makalelerini yayınlatabildiler.

Bilimadamları 1950'lerden beri yüzey plazmonlarından haberdar. Ancak, yüzeylere nano ölçekte yapılar işleme teknolojisi oldukça yeni. NEC teknisyenleri, küçücük bir folyoya milyonlarca delik açmak için elektrik alanlarıyla birkaç nanometre genişliğinde bir ışın haline getirilen galyum iyonları kullandılar.

Ancak bu potansiyeli kullanmanın tek yolu yüzeylerden geçmiyor. Laboratuvarında hazırlanan nanoparçacıklar, yüzey plazmonlarının kullanılacağı en önemli alanlardan birinin kapılarını açıyor.

Plazmon Dalga Kılavuzları

Fiber-optik sistemlerle uzunca bir süredir veri taşıyoruz. Ancak bilgisayarlarımızın elektronik devreleriyle optik veri akışının bağlantısı hala üstün-körü. Elektrik sinyalinin LED'ler aracılığıyla ışık sinyaline, ışık sinyalini foto diyotlar aracılığıyla elektrik sinyaline çeviriyoruz ve transistörlere girmeden önce bu sinyalleri yükseltiyoruz. LED'lerin yanıp sönebilme hızı gibi faktörler bu yöntemde hızın sınırlanmasına neden oluyor. California Teknoloji Enstitüsü'nden Harry Atwater, ışığı doğrudan yönlendirebilecek dalga kılavuzları üzerinde çalışıyor. Optikteki hemen hemen her şey gibi dalga kılavuzları da ışığın dalga boyundan daha küçük olamıyor. Ancak bu sınırlamayı aşmanın bir yolu var gibi:

Atwater ve ekibi, altın ya da gümüşten yapılmış nanoparçacıkları bir zincir gibi sıralayarak bir dalga kılavuzu oluşturmuş durumdadır. Sıranın en başındaki parçacığa rezonans frekansında ışık verildiğinde, bu parçacık üzerinde bir elektron dalgalanması oluyor. Eğer etrafta başka bir parçacık olmasa yüzey plazmonlarındaki enerji tekrar ışık olarak saçılacaktı. Ancak, daha kolay bir yol var; parçacık uzak alan dalgası yerine bir yakın alan dalgası oluşturarak enerjisini bir

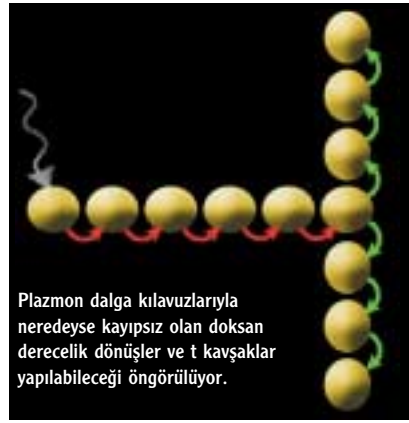
sonraki parçacığa aktarıyor. Tüm zincir boyunca süren bu alışveriş, son parçacığın ışık yaymasıyla sona eriyor. Bu şekilde 30 nanometre genişliğinde dalga kılavuzları imal edilmiş durumda. Bu, optik kablolarda taşınan ışık için tipik bir dalga boyu olan 650 nanometreden oldukça küçük bir rakam. Bu dalga kılavuzuna girecek ince ışık ışını içinse Ebbesen'in tek delikli folyosu bir ilham kaynağı olabilir.

Oluşturdukları bu yapıya "Plazmon dalga kılavuzu" adını verdiklerini söyleyen Harry Atwater, bu çalışma alanına da "Plazmonik" demeyi uygun bulduklarını söylüyor.

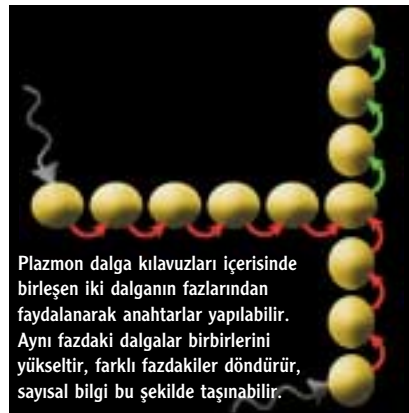
Plazmon dalga kılavuzları, fotonik kristaller gibi diğer optik alternatiflerin birtakım sıkıntılarını da aşabilecekmiş gibi gözüküyor. Halen üretilen dielektrik dalga kılavuzlarının, tipik dielektrik malzemeler için birkaç yüz nanometre büyüklüğünde olmaları gerekiyor. Ayrıca kayıplara yol açan keskin dönüşlerden de kaçınılması gerekiyor. Keskin



Sıranın ilk nanoparçacığınaya çarpan ışık parçacıkları arası yakın alan etkileşimini başlatarak enerjinin çok düşük kayıplarla iletilmesini sağlar.



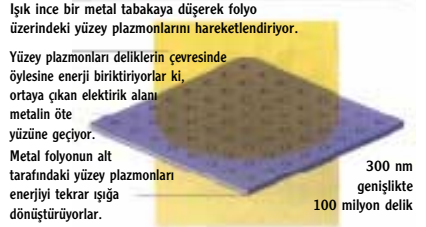
Plazmon dalga kılavuzlarıyla neredeyse kayıpsız olan doksan derecelik dönüşler ve t kavşakları yapılabileceği öngörülmüştür.



Plazmon dalga kılavuzları içerisinde birleşen iki dalganın fazlarından faydalanarak anahtarlar yapılabilir. Aynı fazdaki dalgalar birbirlerini yükseltir, farklı fazdakiler döndürür, sayısal bilgi bu şekilde taşınabilir.

YÜZEY PLAZMONLARIYLA IŞIĞI YÖNLENDİRMEK

Yüzey Plazmonları ışığı deliklere yönlendiriyor; böylece beklenenden daha fazla ışık karşı tarafa geçiyor.



PLAZMONİK "12", IŞIK DEMETİ FIRLATICIYOR



dönüşlerde tatmin edici sonuçlar veren fotonik kristal yapılarıdaysa periyot büyüklüğü birkaç yüz dalga boyu.

Plazmon dalga kılavuzlarının mikro dalga aralığında çalışan büyük ölçekli benzeşiklerine yapılan deneyler, bu yöntemle çok düşük kayıplı T-kavşaklar ve anahtarlar tasarlanabileceğini gösteriyor. Bu düzenekler, yağı sırası adı verilen düzeneklere benzer şekilde birbirine yakın olarak dizilmiş santimetre ölçeğinde çubuklardan oluşuyor. Çubuklar yeterince yakın olduğunda aralarında arasında verimli bir etkileşim sağlanıp mikrodalga aralığındaki dalgalar iletebiliyor. Bu şekilde kurulan kavşaklarda aynı ya da zıt kutuplanmadaki iki dalganın karşılaşmasıyla anahtarlar üretilebileceği görülmüş durumda. T-kavşaklar da bu yolla yapılabilir gibi gözüküyor. Ancak, bu deney düzeneginde rezonans durumunun oluşturulması mümkün değil. Uzak ve orta alan kayıplarının nano ölçekteki kılavuzlardan çok daha yüksek oranda olduğu tahmin ediliyor. Kuvvetli yakın alan etkileşimi yüzünden nano ölçekte göz ardı edilebilir olması beklenen en yakın komşu dışındaki parçacıklarla etkileşim ve makro ölçek deney sonuçlarını etkileyen faktörler arasında. Kısaca nanoparçacıkların kullanılan antenlerden daha da iyi sonuç vermesi bekleniyor.

Elektronığe Destek

Plazmonik, elektronığe sadece bir rakip değil, yardımcı da olabilir. Sözü edilen Moore kuramına göre, bir mikroçipe sığan transistör miktarı her 18 ayda iki katına çıkıyor. Limitlere her

yaklaşımımızdaysa yeni bir teknoloji üreticilerin imdadına yetişiyor. Şu anda 130 nm boyutlarında devre elemanları, bir maske üzerine ultraviyole ışık tutularak silikon yongalara sabitlenebiliyor. Ancak, delikler biraz daha küçüldüğünde kırınım sınırına ulaşılacak ve ışık maskeden tümüyle geçemez hale gelecek. Geçen ışık dağılacak ve yonga üzerine detaylar işlenemeyecek. Bazı üreticiler ışık yerine iyon ya da elektron ışınları kullanmaya başlamayı planlıyorlar. Ancak, Ebbsen'in keşfiyle yaratılan ince ışık ışını çok daha ucuz ve mevcut ekipmana çok daha kolay uyarlanabilir bir çözüm gibi görünüyor.

Plazmonik ve Tıp

En az bunlar kadar, belki de daha yaratıcı bir uygulamaysa tıp alanında. Rice Üniversitesi'nden Naomi Halas ve Jennifer West, plazmoniğin tıbbi tanı ve ilaç uygulamasında bir devrim yaratabileceğini düşünüyorlar. "nanokapsül" adını verdikleri icatları, ince bir altın katmanıyla kaplı silika bir küre. Bu nanokapsüller, silika kürelerin, amin adı verilen kimyasallarla karıştırılması ve küreleri kaplayan amin ile bağlanacak altının eklenmesiyle oluşturuluyor. Altının kalınlığı kontrol edilebiliyor ve nanokapsülleri etkileyerek yü-

zey plazmonlarını titreştirecek dalga boyunun ayarlanabilmesini sağlıyor.

Kan örneklerinde antijen testi yapmanın bir yolu, kan örneğine antijenlerle bağlanacak antikolar eklemek. Belli antikolar bir yüzeye yayılıyor, kan eklendiğinde kandaki antijenler bu antikolarla bağlanıyor. Daha sonra kana floresan boyayla boyanmış antikolar ekleniyor ve bu antikolar boşta kalan antijenlere bağlanıyor. Böylece, ışın miktarı ne kadar antijen olduğunu gösteriyor. Ancak, kandaki hemoglobinin ışığın çoğunu soğurduğu için, önce kanın hemoglobinden arınması gerekli ve bu oldukça uzun bir işlem.

Halas ve West'in önerdiği yöntemdeyse antikolar nanokabuklara bağlanıyor ve kana karıştırılıyor. Kandaki antijenler antikolarla bağlanarak birkaç nanokapsülün rezonant frekansını değiştirecek şekilde birbirleriyle bağlı hale gelmesini sağlıyor. Bu dalga boyu değişikliği, antijenlerin varlığını gösteriyor. İnsan vücudunun en geçirgen olduğu kızılötesi bir dalga boyuna ayarlanmış olan nanokapsüller, bu dalga boyunda ışığı emip geri yayıyorlar, böylece ışık hemoglobine karşı görülebilir. Bu da birkaç dakika içinde testleri sonuçlandırabilmek demek. Ambulanstaki bir hastanın testleri hastaneye varmadan sonuçlanabilir.

Araştırmacıların diğer projeleriye, insülin içeren bir polimer kılıfla kaplanmış nanokapsüllerin diyabet tedavisinde kullanılması. Kızılötesi ışığın hareketlendirdiği yüzey plazmonlarının polimeri eritecek ve insülini serbest bırakacak kadar enerji odaklayabileceğini laboratuvarlarında göstermiş durumdadır. Diyabet hastaları, sadece vücutlarına kızılötesi ışık tutarak günlük insülin dozlarını alabilecekler. Halas, bu yöntemin diğer laboratuvarlarda geliştirilen müdahalesiz glikoz testleriyle birlikte tek bir araç içerisinde birleştirilebileceğine ve pankreasın yerini tutan yapay bir sistem geliştirilebileceğine inanıyor.

Mükemmel Lens ve Ötesi

Londra'daki Imperial College'da bir kuramcı olan John Pendry, yüzey plazmonları sayesinde ışığın dalga boyundan küçük detayların gözlenebileceğine inanıyor. Bugün kullandığımız lensler birkaç yüz nanometreden küçük detayları çözemiyor; ancak, bu bilgi yüzeye yakın bölgelerde sönen dalgalarda bulunuyor. Pendry, yüzey plazmonlarıyla bu dalgaların yükseltip kullanılabilirliğine inanıyor. Diğer bazı araştırmacılar bu fikre pek sıcak bakmıyorlar. Yine de dünyada bu konuda çalışan birçok laboratuvar var. Pendry'nin deyişiyle, Galileo'nun teleskopunda başlayan yolun sonu Hubble Uzay Teleskopu değilmiş gibi görünüyor.

Plazmonik ve fotonik kristaller gibi araçlarla tamamen optik bilgisayarlar yapmak, ısınma sorunu olmayan, iletim hızı ışık hızına yakın ve nano ölçeklerde üretilen bilgisayarlara ulaşmak mümkün olabilir. Tıptan gökbilime kadar birçok alanda potansiyel uygulamaları bulunan bu araçların henüz hayal bile edemediğimiz birçok kullanım alanı da olabilir.

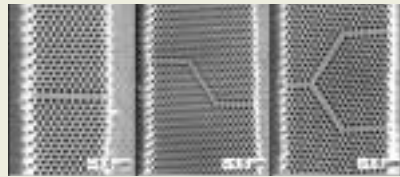
20. yüzyıl elektronun yüzyılıydı. Acaba 21. yüzyıl fotonun yüzyılı olabilir mi?

Ekin Dino

Fotonik Kristaller

Fotonik bant aralığı olan materyaller 1987'de Eli Yablonovitch ve Sajeev John tarafından icat edildi. Bu materyaller, içlerinde ışığın dalga boyu ölçeğinde yönlendirilmesini sağlayan özel dielektrik yapılarıdır. Bu yapılar yüksek kırılma indisi olan dielektrik maddeler içinde periyodik olarak yerleştirilmiş düşük indisli dielektrik yapılardan (Ör. Boş silindireler, ya da boş küreler) oluşur. Bu yapıların örgü katsayısı ışığın dalga boyuyla kıyaslanabilir büyüklüklerdedir. Fotonik bant aralığı olan materyaller, ışığın belli bir enerji aralığına, yarı iletkenlerin elektronların belli enerji aralığına izin vermemesi gibi izin vermezler. Bu yapılar sayesinde ışık iki ya da üç boyutlu dalga kılavuzlarında yönlendirilebilir ve dielektrik dalga kılavuzlarıyla mümkün olmayan doksan derecelik dönüşler sağlanabilir.

Fotonik kristaller, elektronlar üzerinde kontrolü sağlayan yarı iletkenlerin ışık üzerinde kontrol sağlayabilecek benzerleri. Uzmanlar, bu özelliklerinden dolayı fotonik kristallerin optik bilgisayarların yapımı için ciddi bir aday oldukları görüşündeler. Sıfır eşikli lazer üretimi gibi başka konularda da oldukça yüksek potansiyel gösteriyorlar. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalaradaysa



oldukça şaşırtıcı sonuçlarla karşılaştı. Fotonik kristaller aracılığıyla ışığın dalga boyunun değiştirilebileceği gösterildi. Fotonik kristal bir yapıya bir şok dalgası uygulandığında, yapı içerisinde sıkışan kısımlardan yansıyarak binlerce yansımayla uğrayan ışık, Doppler etkisi yüzünden frekansını değiştirebiliyor. Eğer şok dalgasıyla aynı yönde hareket ediyorsa frekansı düşüyor, aksi yönde ise frekansı artıyor. Kristale giren ve çıkan frekanslar da ayarlanabildiğine göre bu şekilde ışığın rengini değiştirmek, ya da birçok farklı dalga boyunu dar bir aralığa taşımak mümkün. Şu anda kullanılan renk filtreleri gibi enerji kaybına yol açmayan bir sistem yapılabilir ya da bant aralığını değiştirebilen optik anahtarlar.

Opal ve bir bazı kelebeklerin kanatları fotonik kristal özelliği gösteren doğal yapılar. Kristallerin üretimiye 10 nanometre ölçeğinde hassasiyet gerektirdiği için oldukça zor ve çalışma gerektiren bir konu ancak şu anda esnek fotonik kristaller üretmek konusunda bile aşama kaydedilmiş durumda.

Kaynaklar
Schechter, Bruce, "Bright New World", New Scientist, 26 Nisan 2003
Maier, Stefan A., et. al. "Plasmonics - A Route to Nanoscale Optical Devices", Adv. Mater. No. 19, 2001
Prather, Dennis W., "Photonic Crystals- An Engineering Perspective", Optics and Photonics News, Haziran 2002
<http://home.hccnet.nl/ja.marquart/BasicSPR/BasicSpr01.htm>
<http://oemagazine.com/fromTheMagazine/jul02/guidinglight.html>