

## Plazmony – elektronowe światło

Zbliża się moment, w którym przetwarzaniem informacji zajmą się fotony zamiast elektronów. Już teraz, wszędzie tam, gdzie potrzebne jest masowe przesyłanie danych, wykorzystuje się światłowody zamiast połączeń galwanicznych. Powód jest prosty. Częstość fali świetlnej jest w zakresie peta ( $10^{15}$ ) herców, podczas gdy taktowanie najszybszej elektroniki nie przekracza kilku giga ( $10^9$ ) herców.

Problemem pozostaje połączenie elektronicznego i optycznego przetwarzania informacji. Marzeniem pozostaje stworzenie mikroukładów czysto optycznych.

Jest to nie tylko trudne, ale na pierwszy rzut oka niemożliwe. Współczesne układy elektroniczne są wykonane w skali dziesiątków nanometrów, a długość fali świetlnej odpowiada setkom nanometrów. Żeby efektywnie sprząć elektronikę z optyką, brakuje czynnika dziesięć. Z oczywistych powodów to długość fali świetlnej jest za duża.

W zasadzie wiadomo, jak takiego zmniejszenia dokonać. Trzeba wziąć materiał, w którym światło będzie się rozprzestrzeniać dziesięć razy wolniej. Tylko, że takie materiały nie istnieją.

Żeby problem rozwiązać, wystarczy zdać sobie sprawę, że tak naprawdę nie chodzi o światło, tylko o informacje, które ono niesie. Trzeba zamienić foton w coś innego.

Fizyka fazy skondensowanej oferuje bogatą menażerię pseudocząstek. Odpowiednie własności mają plazmony. Chodzi o kwanty fali gęstości elektronów w plazmie. Do wytworzenia plazmy nie jest potrzebna wysoka temperatura, gdyż tworzą ją elektrony przewodnictwa w każdym metalu. Ponieważ fala gęstości cząstek naładowanych jest jednocześnie źródłem fali elektromagnetycznej, więc plazmony są elektronowo-elektromagnetyczną hybrydą. Można je wzbudzić za pomocą światła o częstości bliskiej częstości plazmy, która zależy od koncentracji elektronów i ich masy (elektrony przewodnictwa też są pseudocząstkami obdarzonymi masą efektywną różną od masy elektronu w próżni).

Niższe częstości światła odbijają się od powierzchni metalowych. Ponieważ dla większości metali częstość ta odpowiada nadfioletowi, to metale są srebrzyste. Wyjątkiem jest np. miedź. Metalem, który jest najczęściej wykorzystywany, jest jednak złoto (wyjaśnienie, dlaczego można w nim wzbudzić plazmony o częstościach optycznych, pomimo że częstość plazmy dla złota odpowiada dalekiemu ultrafioletowi, przekracza wiedzę autora).

Plazmony, które mogą w niedługim czasie zrewolucjonizować optoelektronikę, są wzbudzane w cienkich warstwach metalu. Mówiąc pogładowo,

robi się to np. w ten sposób: płytkę, w której zachodzi całkowite wewnętrzne odbicie, pokrywa się kilkudziesięcioma warstwami atomów złota, a następnie dielektrykiem o podobnym co płytka współczynniku załamania. Aby wzbudzić plazmony, trzeba tak dobrać kąt padania lub częstość światła, żeby wektor falowy światła (które powinno być spolaryzowane zgodnie z płaszczyzną metalu) odpowiadał wektorowi falowemu plazmonu (czyli żeby mogła być spełniona zasada zachowania pędu). Ich wzbudzeniu odpowiada zanik (osłabienie) wewnętrznie odbitej wiązki. Ponieważ prędkość rozprzestrzeniania się plazmonu jest o około rząd wielkości mniejsza od prędkości światła w próżni, to odpowiadająca mu długość fali jest też o rząd wielkości mniejsza od długości fali padającego światła.

O to nam chodziło, ale na razie nie udało się skonstruować prototypu odpowiedniego układu optoelektronicznego. Rozwój w tej dziedzinie jest jednak na tyle gwałtowny, że powstania tego typu zastosowań można się spodziewać do końca dekady.

Nanooptyka, jak czasem nazywa się tę dziedzinę, znalazła już wiele innych zastosowań. Od kilku lat jest standardową metodą wykrywania lub rozpoznawania śladowych ilości organicznych związków chemicznych, gdyż przyłączenie takiego związku po drugiej stronie warstwy metalowej zmienia częstość plazmonów.

Zbudowano również prototyp mikroskopu optycznego o zdolności rozdzielczej o rząd wielkości mniejszej niż długość fali. W tym przypadku po drugiej stronie warstwy metalowej umieszczono kroplę gliceryny, która potrafi przejść zamienioną z powrotem na światło informację sondowaną przez plazmony.

I właśnie nad metodami generowania światła przez plazmony pracuje się bardzo intensywnie. Najczęściej wykorzystywana jest modulacja grubości powierzchni, ale pracuje się również nad nanoobiettami, które dawałyby taki sam efekt.

Ostatnio naukowcy z Rice University wytworzyli nanoryż (*nanorice*), czyli ryżokształtne, nanometrowych rozmiarów pałeczki z dielektryka pokrytego złotem. Końce tego nanoryżu świecą intensywniej od padającej wiązki i mogą być wykorzystane do spektroskopii *in vivo* lub nawet do terapii przeciwnowotworowej.

Nanotechnologia, czyli tworzenie struktur o skalach rzędu dziesiątek nanometrów, może okazać się dziedziną umożliwiającą znalezienie optoelektronicznego zastosowania plazmonów. Wiąże się to również z projektowaniem metamateriałów, o których można przeczytać w tym numerze *Delty*. Skrzyżowanie optyki, fizyki fazy skondensowanej i nanotechnologii wcześniej czy później doprowadzi do powstania rewolucyjnych zastosowań.

Piotr ZALEWSKI