

Atom po atomie

Tworzenie nowych materiałów atom po atomie to jeden z głównych celów nanotechnologii. Został sformułowany już w momencie jej narodzin, w roku 1959, podczas historycznego wykładu Richarda Feynmana na spotkaniu Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego. Ta fantastyczna, jak na owe czasy, wizja urzeczywistniła się 30 lat później, kiedy w roku 1989 dwóch fizyków po raz pierwszy zademonstrowało udaną atomową manipulację. Używając skaningowego mikroskopu tunelowego, ułożyli z 35 atomów ksenonu na powierzchni niklu trzy proste litery, będące logiem firmy, w której byli zatrudnieni. Wzór ten skonstruowany został izolnie za pomocą niezwykle cienkiej igły, która po przyłożeniu do niej odpowiedniego napięcia potrafiła przyciągnąć atom ksenonu, a następnie przesunąć go w inne miejsce. Wydawało się wtedy, że nanoświat stanął przed nami otworem, a nanoroboty konstruowane atom po atomie, nowe materiały tworzone od podstaw, elementy elektroniczne mniejsze niż nanometr oraz ultrapojemne pamięci komputerowe to tylko kwestia czasu.

Dziś, 60 lat po wykładzie Feynmana i 30 lat po pierwszej udanej manipulacji atomami, znakomita większość tych wspaniałych pomysłów i perspektyw wciąż nie doczekała się realizacji. Udowodnione zostało co prawda, że takie układy można skonstruować i że działają zgodnie z przewidywaniami, niestety, jedynie w warunkach laboratoryjnych, a nadzieje na ich rychłe wdrożenie do masowej produkcji są płonne. Główną przeszkodą okazały się techniki manipulacji wykorzystujące skaningową mikroskopię tunelową. Z jednej strony doprowadziły nas one do przełomu, z drugiej okazały nieskalowalne i niesamowicie powolne.

W ostatnich latach pojawiła się jednak iskierka nadziei. Zauważono bowiem, że do atomowych manipulacji można wykorzystać mocno skupioną wiązkę elektronów – taką, jaką stosuje się od lat w transmisyjnych mikroskopach elektronowych. Mikroskopy tego typu rozwijane są już od około 100 lat, a najnowsze ich konstrukcje umożliwiają obrazowanie materiałów z ultrawysoką rozdzielczością wynoszącą poniżej 0,5 angstroma, czyli 0,05 nanometra, co pozwala nie tylko zobaczyć pojedyncze atomy, ale również ich subtelne przesunięcia w sieci krystalicznej.

Pierwsze eksperymenty pokazujące, że skupiona wiązka elektronów w mikroskopie transmisyjnym może być świetnym narzędziem do manipulacji atomami, zostały przeprowadzone około 20 lat temu. Od tego czasu udało się pokazać, że elektrony mogą zostać użyte do usuwania wybranych atomów z materiału, dodawania nowych w konkretne miejsce, podmieniania jednych atomów na inne oraz przemieszczania ich w dowolnym kierunku. Opanowanie tych procesów pozwoliło na tworzenie nanokryształów o przeróżnych kształtach, rzeźbienie w materiale, tworzenie łańcuchów atomowych, czy wbudowywanie jednych atomów w sieć innych. Niby nic nowego, bo takie manipulacje były już wcześniej możliwe za pomocą skaningowych mikroskopów tunelowych,

ale jednak było to coś, na co wszyscy czekali. Pojawiła się bowiem nadzieja na skonstruowanie szybkiego, zautomatyzowanego i skalowalnego narzędzia do atomowych manipulacji.

Aby manipulacja w skali nano mogła trafić pod strzechy, potrzebna jest automatyzacja. Polega ona na możliwości samokontroli układu, który potrafiłby sam rozpoznawać struktury atomowe i tak modyfikować parametry wiązki elektronów, aby budować z atomów w zależności od potrzeb. Mówiąc inaczej, mikroskop nie tylko musi wiedzieć, co i jak ma zbudować, ale również musi na bieżąco oglądać swoje dzieło i na podstawie ciągłych fotografii poprawiać ewentualne błędy oraz decydować, kiedy i jaki następnym krokiem wykonać. Pierwsze prace w kierunku zbudowania takich „inteligentnych” mikroskopów zostały już zrobione. Zespół z Oak Ridge National Laboratory w USA pokazał, że potrafi tak zaprogramować urządzenie, aby ono samo z dostępnej mu „kupki” materii zbudowało kryształ o zadanym kształcie. Swoją drogą okazało się, że wąskim gardłem w tego typu przedsięwzięciach jest szybkość i trafna analiza obrazów konstruowanego obiektu. Dodajmy, obrazów często zaszumionych i niejednoznacznych. Do takiej analizy, w szczególności trójwymiarowych obiektów, potrzebne są bardziej wyrafinowane metody. Jednym z rozwojowych pomysłów wydaje się wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych, dzięki którym mikroskopy same uczyłyby się analizy obrazów tworzonych struktur, co pozwoliłoby na pełną automatyzację procesu. Pierwsze obiecujące wyniki takiego podejścia ujrzały światło dzienne w 2018 roku.

Ale to nie jedyne problemy, z jakimi borykają się nanotechnolodzy. Żeby w pełni wykorzystać możliwości elektronów, potrzebne są zmiany energii wiązki, np. inna energia elektronów jest optymalna do przesuwania atomów, inna do ich usuwania, a jeszcze inna do obrazowania. We współczesnych mikroskopach takie przestrajanie wiązki jest niestety czasochłonne, co stanowi poważne ograniczenie i wymaga dalszych konstrukcyjnych usprawnień.

Pomimo wspaniałych wyników, ciągłego postępu i publikacji w czasopiśmie z najwyższej półki, droga do celu wyznaczonego przez Richarda Feynmana jest jeszcze długa. Budowanie materiałów i urządzeń z pojedynczych atomów to olbrzymie wyzwanie technologiczne i naukowe i wydaje się, że minie jeszcze sporo czasu, zanim w naszym codziennym życiu zagoszczą struktury zaprojektowane i zbudowane atom po atomie. To wciąż pieśń przyszłości, ale pojawiające się co miesiąc doniesienia pokazują, że powoli zbliżamy się do tego celu. Czy niemalże stuletni wynalazek mikroskopu elektronowego okaże się protoplastą przełomowego narzędzia do manipulacji w skali nano? Dziś, 30 lat po pierwszej udanej manipulacji atomami, wydaje się to całkiem możliwe. Być może jednak za następne 30 lat uwaga nanotechnologów zwróci się w zupełnie inną stronę.

MICHAŁ KRUPIŃSKI

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Uniwersytet w Augsburgu

Dr Janusz Kasina przysłał obszerną odpowiedź na tekst Doroty Bujak („PAUza Akademicka” 512). Ze względu na brak miejsca, zamieszczamy ją jako link.

Redakcja

JANUSZ KASINA, *Covid-19, Szwedzka droga*



WYDAWNICTWO PAU POLECA publikacje online – [link](#)