

## Przez dziurkę od klucza

Człowiek z natury jest ciekawy. Może nawet ciekawski. Dlatego korci nas, żeby podglądać. Was nie? Mnie tak. Zwłaszcza jeżeli podglądane obiekty są obdarzone naturalnym wdziękiem. A właśnie takie udało się niedawno bardzo dokładnie podejrzeć „przez dziurkę od klucza”.

Chodzi o podglądanie nanorurek, o których wiele razy już pisaliśmy. Są to rurki utworzone z pojedynczej warstwy lub kilku warstw atomów węgla ułożonych w sześciokątną siatkę. Są obdarzone wieloma ciekawymi cechami. Np. mogą być zarówno przewodnikami, jak półprzewodnikami. Ich cechy zależą od szczegółów nanoskopijnej struktury – średnica takich nanorurek jest rzędu pojedynczych nanometrów. Dlatego podglądanie tych szczegółów jest nie tylko ciekawe, ale i ważne z naukowego punktu widzenia.

Wymyślono już wiele sposobów na takie podglądanie. Są to przede wszystkim różne rodzaje mikroskopów skaningowych, których zasada działania jest analogiczna do odtwarzania nagrań utrwalonych na płytach gramofonowych. Trzeba tylko użyć odpowiednio ostrej igły i za jej pomocą przebadać obserwowany obiekt. Ciekawe jest to, że jako igły używa się często właśnie nanorurek. Dokładność uzyskiwanego obrazu odpowiada rozmiarom igły i dochodzi do ułamków nanometra!

To jednak nie do końca jest podglądaniem. Metody takie należałoby raczej porównać do macania. Dlaczego nie można po prostu popodglądać, czyli użyć światła? Myślę, że większość naszych Czytelników zna odpowiedź. Zdolność rozdzielcza konwencjonalnej mikroskopii optycznej (rys. 1) jest ograniczona przez kryterium Rayleigha do rozmiarów rzędu długości fali użytego światła, co dla zakresu optycznego, a nawet dla ultrafioletu odpowiada zaledwie rozmiarom rzędu 100–300 nanometrów.

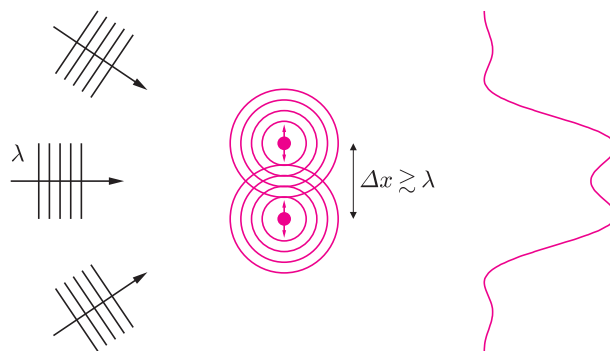
Okazuje się, że to ograniczenie, wynikające z falowej natury światła, daje się przewyciężyć za pomocą... dziurki od klucza. Można mianowicie zastosować tzw. aperturową mikroskopię bliskiego pola. Przekładając „z polskiego na nasze” chodzi po prostu o badanie obiektu za pomocą położonej bardzo blisko niego, przesuwanej dziurki (rys. 2). Wtedy zdolność rozdzielcza jest rzędu rozmiarów dziurki.

Niestety, metoda ta ma poważne ograniczenie. Jeżeli długość fali światła jest dużo większa niż rozmiary dziurki (a o to przecież nam chodzi), bardzo mało światła przechodzi przez dziurkę, więc sygnał ginie w tle. I na to jednak znaleziono sposób. Po prostu zamiast dziurki trzeba użyć klucza! Jest to schematycznie przedstawione na rysunku 3. Ostrze, z punktu widzenia dyfrakcji światła, działa podobnie jak dziurka.

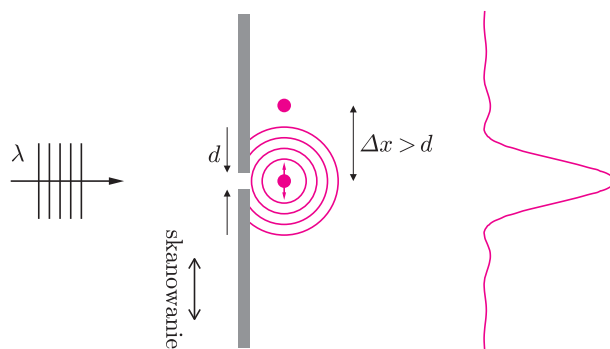
Diabeł jak zwykle tkwi w szczegółach. W praktycznym zastosowaniu ukazany na rysunku 4 użyto nie tylko samej obecności ostrza, ale również powstających bardzo silnych pól elektrycznych generowanych przez elektrony ostrza wykonanego ze złota.

Wyniki są w każdym razie obiecujące.

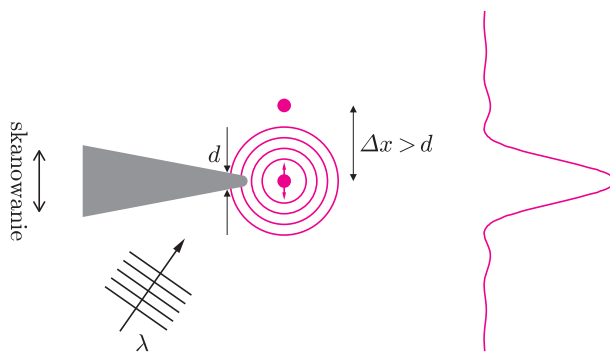
Piotr ZALEWSKI



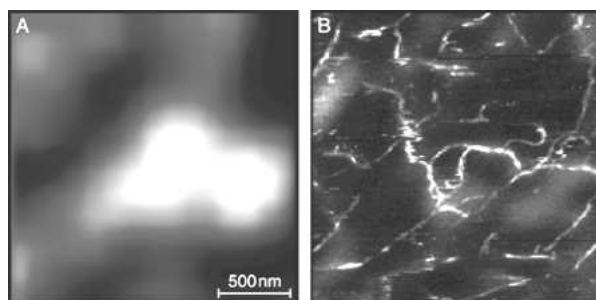
Rys 1. Schemat konwencjonalnej spektroskopii optycznej.



Rys 2. Schemat aperturowej mikroskopii bliskiego pola.



Rys 3. Schemat tzw. ramanowskiej mikroskopii bliskiego pola.



Rys 4. Dwa obrazy nanorurek węglowych. Obraz A otrzymany został za pomocą zwykłego mikroskopu optycznego. Obraz B uzyskano z zastosowaniem ramanowskiej mikroskopii bliskiego pola.

*High-Resolution Near-Field Raman Microscopy of Single-Walled Carbon Nanotubes*, A. Hartschuh, E.J. Sánchez, X.S. Xie i L. Novotny, Phys. Rev. Lett. **90**(2003)095503