

Mikroskopie: rastrovací metody za použití sondy

Roman Pavelka

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

pavelro1@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá tzv. rastrovacími (řádovacími) metodami za použití sondy (scanning probe microscopy, SPM). Velmi krátce zmiňuji historii těchto metod mikroskopie a poté se podrobněji věnuji dvěma konkrétním zařízením STM (scanning tunneling microscope, řádkovací tunelovací mikroskop) a AFM (atomic force microscope, mikroskop atomárních sil). V závěru nastíním různé aplikace těchto zařízení a zmíním použití STM pro manipulaci s jednotlivými atomy.

1 Úvod

Motivací pro tuto posterovou prezentaci bylo přiblížit zájemcům o fyziku pevných látek možnosti vizualizace látky na úrovni nanometrů. Předpokládám však, že užitečné informace poskytnu i v jiných oborech, např. v biologii nebo chemii. Uvádím zde historii a základní principy elektronové mikroskopie a nastiňuji současné možnosti a aplikace.

2 Historie

První elektronový mikroskop byl sestaven ve 30. letech v Německu inženýry Ernstem Ruskou a Maxem Knollem. Klíčové zde bylo využití de Broglieho popisu vlnové povahy toku elektronů a elektrostatických a elektromagnetických čoček. Šlo o tzv. transmisní elektronový mikroskop (TEM), který měří míru rozptylu elektronového paprsku po průchodu tenkou vrstvou zkoumaného vzorku.

TEM byl dále vylepšen přidáním dvojice posunovacích cívek, které mohly tzv. řádkovat (scanning) vzorek a vytvořit tak velice kvalitní 2D mapu vzorku, a tzv. emisním elektronovým dělem (field emission gun), které se stalo velmi efektivním zdrojem elektronového paprsku. Během následujících let se stal STEM (scanning TEM) komerčně dostupným, prodávala jej např. firma Siemens.

Roku 1981 Gerd Binnig a Heinrich Rohrer vynalézají řádkovací tunelovací mikroskop (STM). Jde o první řádkovací mikroskopie za použití sondy. Tento objev vedl k sestrojení mikroskopu atomárních sil (AFM). V roce 1989 výzkumník Don Eigler z IBM objevil, že za určitých podmínek sonda STM přitahuje atom na povrchu krystalové mřížky a může s ní pohybovat po tomto povrchu [1].

Rozvoj vedl ke zkracování vykreslovací doby (až k vykreslování v reálném čase, videoAFM), ke zvětšování rozlišovací schopnosti (až ke zkoumání orbitalu ohmatáním sondou AFM) a umožnil mnohé praktické aplikace.

3 Scanning Tunneling Microscope

STM využívá jevu tunelování z kvantové fyziky. Na velmi krátké vzdálenosti může proud procházet i přes nevodivou bariéru a tento proud je závislý na šířce této bariéry. Sonda mikroskopu je tvořena wolframovým vláknem s velmi ostrým hrotem. Pomocí piezokrystalu se pohybuje ve vakuu nad vodivým vzorkem a zaznamenává se tunelovací proud.

Jsou možný dva přístupy: měření s konstantní výškou a s konstantním proudem. Při měření s konstantní výškou se sonda pohybuje jen vodorovně nad vzorkem a měří se tunelovací proud, ze kterého lze určit vzdálenost povrchu vzorku. Při konstantním proudu se pohybuje sonda kromě vodorovného řádkování i svisle a to tak, aby tunelovací proud byl konstantní. Zpětně se pak měří napětí na piezokrystalu a z něho poloha sondy.

STM má některá omezení: vzorek musí být umístěn ve vakuu a musí být vodivý. To se řeší nanášením vodivé vrstvy na vzorek, což je nemožné v případě studia biologických jevů.

4 Atomic Force Microscope

AFM je tvořen velmi ostrým křemíkovým hrotem. Ten se přímo dotýká vzorku. Na hrotu je odrazná plocha, na kterou svítíme laserem. Poloha stopy odraženého paprsku určuje výšku sondy. Není zde třeba ani vakuum, ani vodivost vzorku, takže je možné zkoumat živé biologické preparáty a jevy v nich probíhající, což je velkým přínosem při zkoumání nitra buňky. Dnes se běžně používá pole s více sondami a je možno zkoumat vzorek v reálném čase a je i možné pořídit videozáznam.

Při tzv. TappingMode (patentováno Veeco Instruments) se hrot pomocí malého piezokrystalu na sondě rozkmitá blízko své rezonanční frekvenci a zkoumáním amplitudy (v řádech desetin nm) lze zpřesnit mapování povrchu vzorku. Tato technika pracuje mimo vakua i v plynném nebo tekutém prostředí [2].

5 STM a manipulace s jednotlivými atomy

Poprvé dokázal použít STM k přesné manipulaci s jednotlivými atomy v krystalické mřížce dr. Don Eigler, výzkumník IBM. Zjistil, že za určitých podmínek hrot mikroskopu přitahuje atom xenonu na povrchu niklu dostatečně tak, aby mohl být uchopen a přenesen na jiné místo. Přesná povaha této síly je neznámá, přestože ji už dokážeme změřit (IBM, únor 2008). Povedlo se mu v roce 1989 zapsat pomocí 35 atomů xenonu písmena IBM na krystal niklu ochlazený na teplotu 7 K. Zanedlouho už nebylo zapotřebí ani snížené teploty a tato manipulace byla možná za běžných teplot [1].

Reference

- [1] R. Pavelka, Nanotechnologie: Spousta místa na špendlíkové hlavičce, <http://www.paralaxa.cz/technika/43-technika/69-nanotechnologie-spousta-mista-na-spendlikove-hlavicece>
- [2] Veeco Instruments, TappingMode™, <http://www.di.com/Modes/general/TappingMode/>