

1.6 SPM jako nástroj pro analýzu povrchů

Využití SPM přístrojů se předpokládá především pro stanovení povrchové topografie vzorků nejrůznějšího charakteru. Jak vyplývá z předchozího textu, mohou být SPM přístroje použity ke zjišťování dalších materiálových charakteristik nejen plošně, ale i v jednotlivých bodech povrchu.

STM může být např. použit jako spektroskopický přístroj, který na atomární úrovni sonduje vlastnosti elektronů (elektronových stavů) ve vzorku. Pro srovnání, známější spektroskopické metody (XPS – rentgenová fotoelektronová spektroskopie, UPS – UV fotoelektronová spektroskopie, IPES – inverzní fotoemisní spektroskopie), detekují a průměrují data pocházející z relativně velké plochy (od několika μm do mm). Studium STM signálu v závislosti na lokálních elektronových stavech je známo jako rastrovací tunelová spektroskopie (Scanning Tunneling Spectroscopy – STS).

Analogicky AFM měří síly v závislosti na vzdálenosti hrotu a povrchu, které poskytují informaci o lokálních elastických vlastnostech povrchu.

• 1.6.1 Rastrovací tunelová spektroskopie

Rastrovací tunelová spektroskopie (Scanning tunneling spectroscopy – STS) studuje lokální elektronovou strukturu povrchu vzorku. Elektronová struktura závisí na druhu atomu (např. u plovodičů, zda se jedná o Gallium nebo Arsen) a také na jeho lokálním „chemickém“ okolí (např. kolik sousedních atomů a jakého druhu je v okolí, jaká je symetrie jejich rozdělení apod.)

STS zahrnuje řadu metod: pořízení topografického obrazu (při konstantním proudu) při různých spádech napětí a jejich porovnání; pořízení topografického obrazu (při konstantní výšce sondy, případně v režimu proměnné výšky); zvyšování napěťového spádu s hrotem v konstantní výšce při měření tunelového proudu.

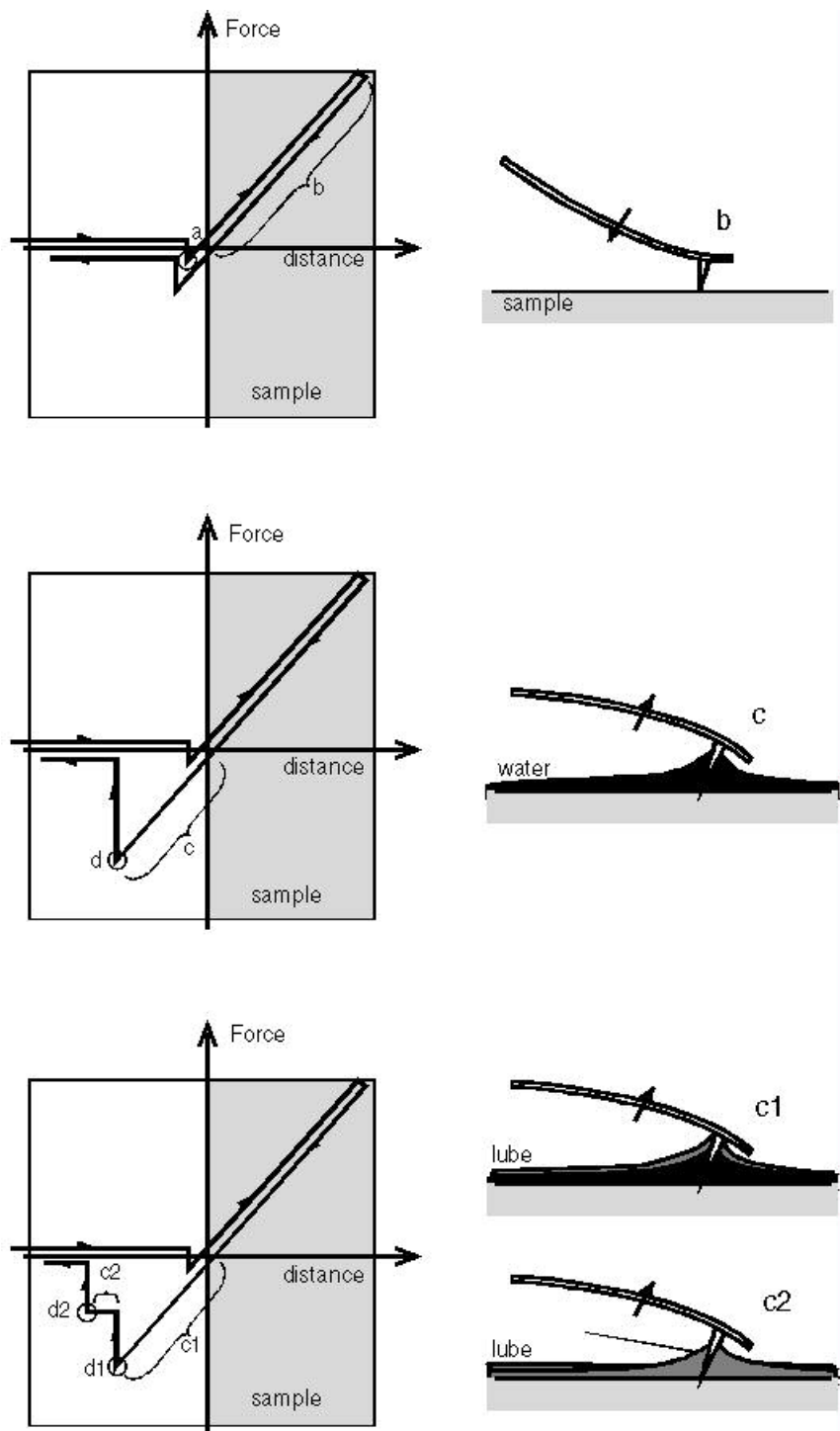
Posledně zmiňovaný způsob vede k volt–ampérovým charakteristikám vycházejícím z elektronové struktury v dané x, y pozici na povrchu vzorku. STS může pořídit sérii V – A křivek (z každého bodu) a vyhodnotit 3D mapu elektronové struktury povrchu. Křivky, dI/dV (vodivost) nebo dI/dz (pracovní vzdálenost) vs. V , mohou být snímány přímo se synchronizovaným zesilovačem. Všechny tyto možnosti vedou ke stanovení lokální elektronové struktury užitím STM.

• 1.6.2 Křivka závislosti síly mezi hrotem a povrchem na dráze hrotu

Studium závislosti síly mezi hrotem a povrchem na dráze hrotu (F – d) je užitečné pro monitorování vertikální síly, kterou hrot působí na povrch v kontaktním AFM režimu. Tato technika může být použita k analýze kontaminovaných povrchů (viskózní látky, lubrikanty, lokální změny v elastických vlastnostech povrchu).

K měření, jehož výsledkem je graf závislosti síly na dráze hrotu, se používá pozičně–citlivého fotodetektoru. Je to vlastně graf závislosti výchylky raménka na napětí piezoelektrického skeneru. Van der Waalsova silová interakce představuje jeden z příspěvků k ohybu raménka. Dalším jsou lokální změny elastických vlastností, které se projeví ve změně tvaru F – d křivky. Měření ovlivní nečistoty a lubrikanty na povrchu, podobně jako ho ovlivní tenká vrstva vody na povrchu vzorku analyzovaného ve vzduchu.

Křivky F – d pořízené v laboratořích jsou poměrně komplikované a specifické pro daný studovaný systém. Značně zjednodušená, ale užitečná je představa podle obr.1-20.



Obr. 1-20 Křivky závislosti síly na dráze hrotu ($F-d$) pro vakuum (nahore), vzduch (uprostřed) a kontaminovaný povrch

Vezměme jednoduchý příklad – AFM se vzorkem ve vakuu. Levá strana křivky znázorňuje skener plně stažený zpět a neohnuté raménko, kdy se hrot nedotýká povrchu.

Při extenzi skeneru se raménko neohne do doby, dokud se nedostane blíže k povrchu a na hrot nezačne působit van der Waalsova síla. Hrot se dotkne povrchu v bodě *a* v obr. 1-20). Při další extenzi skeneru se síla podél dráhy hrotu zvyšuje přibližně lineárně (oblast *b* v obr. 1-20). Po úplném roztažení (vpravo nahore), se skener začíná vracet. V případě, že neuvažujeme hysterezi, ohyb raménka sleduje stejnou křivku.

Ve vzduchu, je zpětná část křivky zpravidla jiná, protože na povrchu vzorku je monovrstva nebo několik monovrstev vody (obr.1-20 uprostřed). Tato vodní vrstva zvyšuje povrchové napětí, které působí přitažlivou silou na hrot. Jak je skener tažen ven z povrchu, voda se snaží udržet hrot v kontaktu s povrchem, takže raménko vykazuje znatelný průhyb od povrchu (oblast *c* v obr. 1-20 uprostřed). V bodě *d*, v závislosti na tloušťce vodní vrstvy, je hrot uvolněn („bod odtrhnutí“ – snap-back point). Jak skener pokračuje v návratu zpátky za tento bod, raménko už zůstává neohnuté, jako by se skener pohyboval nad povrchem úplně volně. V přítomnosti lubrikační vrstvy, společně s vodní vrstvou, se objeví více bodů odtrhnutí (dvě vrstvy = dva body), jak je vidět na obr. 1-20 dole. Poloha a amplituda bodu odtrhnutí závisí na viskozitě a tloušťce vrstvy přítomné na povrchu.

Kontaktní AFM může pracovat kdekoliv v souladu s lineární částí *F-d* křivky, v oblasti *b* nebo *c*. Pro minimalizaci celkové síly mezi hrotem a vzorkem, tedy především pro měkké vzorky, může být využit režim práce v oblasti *c*. Fáze, kdy je raménko ohnuté je jednoznačně méně stabilní, a musí být při ní omezena maximální rychlost skenování. Je nutné připomenout, že režim práce *c* je stále brán jako kontaktní režim, poněvadž hrot udržuje kontakt s povrchem. Nekontaktní AFM režim odpovídá části nalevo od bodu *a* na *F-d* křivce do okamžiku, než se hrot dotkne povrchu.

V lineární části *F-d* křivky (*b*), je nárůst síly závislý na modulu pružnosti systému. Pokud je raménko mnohem měkké než povrch vzorku, např. v případě nedestruktivního zobrazení, strmost křivky odráží spíše tuhost raménka. Pokud je však raménko tužší než povrch vzorku, ze strmosti *F-d* vyplývají elastické vlastnosti vzorku.