

Posudek na doktorskou disertační práci Ing. Zdeňka Nováčka

„Vývoj instrumentálního zařízení pro výzkum nanostruktur“.

Disertační práce se zabývá aktuální problematikou, která souvisí s neustálým rozvojem experimentálních technik pro zobrazování a studium struktur na površích v měřítku nanometrů – mikroskopii s rastrující sondou v blízkém poli (SPM). Autor v úvodní kapitole podává přehled metod SPM, charakterizuje konstrukční zásady pro měřicí části mikroskopů a uvádí příklady komerčních zařízení. Kapitulu uzavírá stručné pojednání o řízení mikroskopů. Druhá kapitola je věnovaná úpravám kombinovaného mikroskopu STM/AFM pro měření v ultravakuu (UHV). Autor zde představuje inovaci celé sestavy a popisuje provedené úpravy. Dosažený výsledek dokumentuje srovnáním zobrazení referenční struktury. Obsahem třetí kapitoly je podíl na vývoji a částečném testování multifunkčního SPM systému integrovaného do pracovní komory rastrovacího elektronového mikroskopu s fokusovaným iontovým svazkem. Toto zařízení je navrhováno pro měření vzorků v teplotním rozsahu 20-700 K v podmínkách UHV. Uvedená sestava představuje potenciální „nanolaboratoř“ pro celou řadu komplexních měření i přípravy vzorků. Konečně ve čtvrté kapitole se autor věnuje zařízením pro řízení pohybu s velkou přesností – piezomotorům. Přehled a rozbor používaných principů je doplněn autorovými výsledky při praktické realizaci dvou typů motorů, zařízení pro měření jejich vlastností a stanovení parametrů vyvinutých piezomotorů. Následuje stručný závěr a seznam 53 citovaných zdrojů.

Předložená práce nesporně dokumentuje orientaci autora v celé řadě speciálních problematik a jeho schopnost praktické realizace řady součástí zařízení SPM různých typů, zejména pak piezomotorů. Je pochopitelné, že v omezeném rozsahu práce nelze najít vyčerpávající informace o všech otázkách souvisejících s praktickou realizací SPM zařízení nebo detaily jejich modifikací a všech známých využití pro experimentální měření. V tomto ohledu se informovaný čtenář ocitá v jistém polemickém vztahu k textu disertace. Ve svém případě mohu konstatovat, že práci jsem si přečetl se zájmem a považuji ji za inspirativní. Oceňuji dobrou grafickou úpravu a slušnou úroveň „čtivého“ textu.

Ze svých poznámek vybírám do hodnocení skutečnosti, které považuji za důležité a které si dle mého zaslouží komentář nebo bližší objasnění.

Poznámky a komentáře:

(1) Str. 11, Poslední věta druhého odstavce není dobře formulovaná. Pokud má autor na mysli měření v režimu tepelné rovnováhy, postrádá tvrzení smysl. Kompenzace driftů (a to nejenom v ose „z“) je nutná při existenci teplotního gradientu, a nelze ji omezit pouze na volbu materiálů – důležitá je i geometrie.

(2) Str. 12, Přes stručnost uvedených zásad výběru materiálů pro ultravakuové použití přece jenom chybí důležité kritérium jako je tenze par – zvláště s ohledem na provozní teplotu.

(3) Str. 14, V odstavci o zpětnovazebních skenerech postrádám zmínku o praktické potřebě jejich využití zejména pro metrologické účely. Pokud se zde mluví o rozlišení, tak ve smyslu přesného nastavení polohy – to ovšem nemusí být čtenáři zřejmé.

(4) Str. 15-19, V příkladech komerčních zařízení SPM by si zasloužil být uveden zástupce pro studium magnetických vlastností s možností aplikace silného pole v oblasti vzorku a také zařízení s více sondami resp. hroty. V závěru přehledu bych očekával alespoň stručný hodnotící komentář autora k danému tématu a současným trendům.

(5) Str. 20, V části o řízení měření se autor, dle mého, mohl kromě „standardního“ snímání obrazu alespoň rámcově zmínit o problému spektroskopických měření a manipulací.

(6) Str. 25, Definované srovnání dvou zařízení lze provést pouze na základě kvantitativních měření charakteristických parametrů. Měření uvedená na obr. 2.14 až 2.17 mají takto pouze informativní význam, nejsou navíc opatřena žádnými informacemi o parametrech měření (např. tunelový proud, napětí, mód měření u AFM...). Kvalita zobrazení je primárně dána především sondou – viz. např. laterální zkreslení na obr. 2.15.

(7) Str. 44, V popisu obr. 3.5 chybí údaj o frekvenci (není ani v textu) a barevná škála pro amplitudy kmitů.

(8) Str. 49, obr. 3.10, Chybí údaje o parametrech STM měření – proud, napětí na hrotu během měření.

(9) Str. 52-54, obr. 3.15 – 3.18, Opět nejsou uvedeny parametry při kterých bylo zobrazení získáno.

(10) Str. 55, konstatování o převládajícím vlivu mechanických vibrací nad elektrickým šumem není doloženo měřením (obecně se to pouze předpokládá).

(11) Autor označuje v práci mechanicko-elektrickou měřicí část SPM jako „hardware“. V konstatování (str.7, dole): „Rozhraním mezi těmito částmi“ (*pozn. - autor míní hardware a software*) „je pak řídicí elektronika.“ je patrné vymezení, které nepovažuji za vhodné (zejména když v poslední kapitole se hardware objevuje ve svém „původním“ významu.) Jsem si ovšem vědom, že „hovorově“ se toto označení často užívá.

Otázky k práci:

- (1) V práci se v několika místech a souvislostech objevuje „error signál“. Počítá se s jeho využitím pro korekci zobrazení?
- (2) Znají autoři návrhu komplexního systému SPM v SEM komoře nějaké podobné, již provozované, zařízení?
- (3) V jakém frekvenčním rozsahu byla prováděna numerická analýza odolnosti tohoto systému vůči vibracím?
- (4) S ohledem na teplotní interval měření (20-700 K) je důležitý odhad doby pro dosažení stacionárního rozložení teploty a opatření pro nezbytnou kompenzaci driftu. Jaké odpovídající kroky byly v tomto ohledu učiněny?
- (5) Nesymetrické zatížení ramen křemenného rezonátoru typu „tuning fork“ vede k drastické změně jakosti. Proč při návrhu senzoru autoři nezvolili řešení, které se s tímto problémem vypořádá a je již řadu let úspěšně používáno?

Konstatuji, že přes uvedené výhrady, považuji předloženou práci za kvalitní. Jsem přesvědčený, že Ing. Nováček ve své práci dosáhl výsledky, které jsou přínosem pro pracoviště, na kterém práce vznikala. Vyvinutá zařízení jsou důležitá pro rozvoj technického a experimentálního zázemí pracoviště. Umožní získávat nové fyzikální výsledky základního i aplikovaného výzkumu v oblasti nanotechnologií. Současně představují i důležitou součást prostředí pro vzdělávání nových odborníků v dané oblasti.

Doporučuji předloženou práci k obhajobě a udělení akademického titulu Ph.D.

V Praze, 15. 8. 2014.

Doc. RNDr. Ivan Ošťádal, CSc.