

Oponentský posudek disertační práce

Mgr. Lenky Pravdové

„Aplikace nanomanipulačních SPM technik při tvorbě magnetických nanostruktur“

Předložená disertační práce paní Mgr. Lenky Pravdové je zaměřena na *hledání optimální metody pro tvorbu a následnou charakterizaci nových magnetických struktur* s dílčími cíli: navrhnout a připravit vlastní substráty s jednoduchými vrstvami nebo multivrstvami pomocí magnetronového naprašování, najít vhodný krycí materiál, charakterizovat získané vrstvy pomocí SEM a AFM, případně využít pro charakterizaci magnetooptického Kerrova jevu, zjistit možnosti vytváření nanostrukturovaných povrchů technikou AFM v režimu anodické oxidační litografie (LAO) a technikou naprašování přes litografickou šablonu, porovnat výsledky obou technik. Dalším důležitým dílčím cílem práce bylo zvládnutí technologie přípravy hrotů pro sondovou mikroskopii pomocí leptání.

Práce obsahuje *řešeršní část* (kapitoly 2 a 3) zaměřenou na postupy tvorby tenkých vrstev a litografii, v níž jsou popsány a rozebrány principy uvažovaných technik. Následuje *popis experimentálních postupů*, které autorka zvolila při řešení daného úkolu pro vytváření tenkých vrstev a struktur (kapitola 4). Zahrnuje nejen technologický výzkum v oblasti litografických technik ve variantě s použitím šablony a mikroskopie skenující sondou, ale také přístupy tvorby tenkých vrstev technikou magnetronového naprašování a dip-coating použité pro přípravu vlastních materiálových substrátů s jednoduchými vrstvami nebo multivrstvami. Následují výsledky *charakterizace* takto připravených vrstev a struktur (kapitola 5) pomocí SEM, AFM, a rovněž výsledky měření jejich magnetických vlastností, kdy v případě kovových multivrstev autorka využila magnetooptického Kerrova jevu. Výsledky jsou *diskutovány* v kapitole 6.

V kapitolách 7-10 jsou vyloženy *principy přípravy hrotů* pro sondovou mikroskopii leptáním, popsány použité *experimentální postupy* při leptání wolframových a platino-iridiových hrotů, charakterizovány a diskutovány *výsledky experimentů*. Tento metodický výzkum provedený autorkou lze považovat za podstatný předpoklad pro analýzu vytvořených vrstev.

Stanovisko oponenta k disertační práci

Aktuálnost a vědecká úroveň předložené disertační práce

Výsledky řešených témat v předložené práci jsou v současnosti *velmi aktuální*, neboť příprava, návrh a následná tvorba nanostruktur v rozměrech menších než 103 μm , které doktorandka realizovala v rámci předložené práce, jsou součástí klíčových technologií pro nové generace mikro-elektromechanických systémů (MEMS) či fotonických okruhů pro oblasti, jako jsou například digitální úložiště. Ze strany autorky bylo proto nezbytné provést výzkum tvorby tenkých vrstev a přípravy struktur pomocí jednotlivých litografických metod. Navíc doktorandka doplnila práci o svůj výzkum tvorby nanohrotů pro techniky sondové mikroskopie. V tomto směru lze hodnotit vědeckou úroveň práce za *vyváženou a komplexně pojatou*.

Splnění stanoveného cíle a originalita řešení

Autorka disertační práce v úvodní části předkládá soupis litografických metod, které v rámci výzkumné práce dále rozvinula a následně využila pro realizaci řady vzorků tenkých vrstev. Jak je patrné z praktických částí disertační práce, autorka vytvořila původní soubor vzorků. Za velmi originální považuji implementaci vrstvy na bázi Al jako náhradu za vrstvu Cu uvnitř komplexu tenkých vrstev. Obdobně lze vyhodnotit i originální řešení v oblasti tvorby nanohrotů. Doktorandka zde rozvinula postup leptání PtIr drátu v aparatuře, kde jsou do kapalně fáze ponořeny 3 grafitové elektrody s koncentricky situovaným drátkem k leptání. Lze tedy konstatovat, že *autorka dané cíle disertační práce splnila a zmíněná řešení jsou originální*.

Postup řešení problému a vyjádření k výsledkům disertace

Postup realizace jednotlivých částí výzkumu je v disertační práci popsán jasně. V experimentální části musela autorka překonat celou řadu úskalí. Musela provést řadu optimalizačních kroků, které v konečném důsledku vedly k úspěšné realizaci sady vzorků tenkých vrstev a litograficky vytvořených struktur. Na představených výsledcích ze skenovacího elektronového mikroskopu a mikroskopu atomárních sil je evidentní, že tento úkol se podařilo autorce vyřešit. *Autorka prokázala, že je schopna daný úkol řešit samostatně a zdárně dokončit díky správně zvolenému postupu prací.*

Význam práce pro praxi a rozvoj vědního oboru

Ve shrnující kapitole 5 autorka předkládá kromě dosažených výsledků i konkrétní příklady magnetického chování realizovaných tenkých vrstev různého složení naměřené využitím Kerrova jevu. Obdobně, v kapitole 8 doktorandka prokazuje efektivní možnosti realizace nanohrotů konkrétními metodami. Autorka tak svojí prací *přispěla k rozvoji vědeckého poznání a praxe* v oblasti technologie přípravy tenkých vrstev, nanostruktur a hrotů pro sondovou mikroskopii.

Formální úprava disertační práce a tezí, jejich jazyková úroveň

Disertační práce i zkrácená část (autoreferát k disertační práci) jsou zpracovány přehledně, koncepčně a logicky. Zahrnují východiska, cíle a dosažené výsledky s popisem metodického přístupu. Oba dokumenty *splňují požadované náležitosti jak po stránce formální, tak i obsahové*.

Práce obsahuje chyby ve výrazech na straně 20, které vznikly ponecháním vektorových veličin ve vztahu (3) a ve vztahu zahrnutém do textu o tři řádky výše, a další drobné formální chyby: na str. 11 by mi lépe znělo „*Wheatstoneova* můstku“ (ne „*Wheatstonova*“) a na str. 41 je překlep: „měl barvu čisté *mangenty*“ – asi míněna magenta, tedy purpurová barva.

Doplňující otázky na autora práce během obhajoby

- a) V práci uvádíte, že hlavním problémem při tvorbě vícevrstevnatého materiálu s použitím šablony pro vybranou vrstvu zůstává způsob přiložení, resp. odebrání šablony bez narušení substrátu. Jaké řešení tohoto problému připadá v úvahu?
- b) Uved'te, zdali by bylo možné techniku přípravy PtIr hrotů použít i na jiný typ materiálu? Pokud ano, tak v čem budou spočívat základní nezbytné úpravy?

Předloženou disertační práci Mgr. Lenky Pravdové považuji za originální a na dobré odborné úrovni. Hlavní myšlenky práce byly autorkou publikovány v časopisech a na konferencích. Vědecké schopnosti autorky prokazuje také její spoluautorství dvou článků v odlišné vědecké oblasti publikovaných za poslední rok v impaktovaných mezinárodních časopisech.

Doporučuji proto práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit paní Mgr. Lence Pravdové akademický titul Ph.D.

V Brně dne 2. června 2017

Prof. RNDr. Radim Chmelík, Ph.D.

Oponentský posudek na dizertační práci Mgr. Lenky Pravdové s názvem „**Aplikace nanomanipulačních SPM technik při tvorbě magnetických nanostruktur**“

Předkládaná dizertační práce se zabývá tvorbou tenkých magnetických vrstev a výrobou hrotů pro mikroskopii se skenující sondou. Je rozdělena do dvou stěžejních částí. V první části rozebírá metody přípravy tenkých vrstev s využitím přístupů magnetronového naprašování a dip-coatingu. V druhé části se autorka této dizertační práce soustředí na leptání wolframových a platino-iridiových hrotů. Práce si klade za cíl (1) nalézt optimální metody pro přípravu magnetických nanostruktur ve formě tenkých filmů a následně je charakterizovat, (2) vytvořit nanostrukturované povrchy pomocí naprašování materiálu přes litografickou šablonu, (3) teoreticky navrhnout a následně připravit materiálové substráty s jednoduchými vrstvami nebo multivrstvami s využitím magnetronového naprašování materiálů z Fe, Co, Cu a Al a (4) prozkoumat technologii přípravy hrotů leptáním. V případě studia vlastností v práci připravených tenkých vrstev jsou použity mikroskopické techniky (transmisní a skenovací elektronový mikroskop) a magnetooptický Kerrův jev.

Ve výsledkových částech této dizertační práce její autorka porovnává použité metody pro tvorbu substrátů a tenkých filmů z magnetických materiálů. Dále se zaměřuje na porozumění vlivu geometrie na rozlišení naměřených dat a kompletuje informace pro případné využití přístrojů na bázi mikroskopie skenující sondou bez možnosti implementace komerčních hrotů. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky.

Práce je sepsána přehledně; oponent oceňuje přípravu širokého spektra magnetických tenkých filmů a SPM hrotů.

Nicméně oponent postrádá hlubší fyzikálně-chemickou charakterizaci připravených tenkých vrstev. V práci nebyla použita jediná experimentální metoda umožňující monitorování chemického složení vrstev. Chemické složení bude stěžejní měrou ovlivňovat vlastnosti filmů a jejich potenciální využití. **Jak byly vyloučeny případné nečistoty? Jak byla tedy sledována kompozice filmů? Pokud se jedná o nové metody syntézy (oponent nenašel citace na případnou relevantní literaturu), studium chemismu připravených materiálů je kruciólní!**

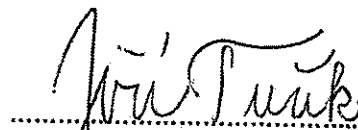
Ze snímků z mikroskopie atomárních sil či z elektronových mikroskopů není zcela zřejmé, jak bylo změřeno, že jednotlivé části filmů mají příslušné tloušťky. **Může autorka popsat, jak k těmto tloušťkám jednotlivých vrstev došla? Byly tloušťky jednotlivých vrstev měřeny postupně?**

Rovněž by bylo příhodné ohodnotit chemickou stabilitu připravených magnetických tenkých filmů pomocí magnetronového naprašování. **Nebude docházet k chemické degradaci na příslušné oxidy?**

Při ohodnocení magnetických vlastností magnetických tenkých filmů je využito magnetického Kerrova jevu. Autorka uvádí, že vložení vrstvy hliníku vede ke zvýšení magnetické tvrdosti materiálů. **Jelikož je hliník diamagnetický materiál, jak lze vysvětlit zvýšení magnetické tvrdosti? Nemyslela autorka spíš zvýšení magnetické anizotropie, případně jejího konkrétního příspěvku?**

Oponentovi rovněž chybí srovnání dosažených výsledků s literaturou, zejména v kontextu novosti a významnosti této dizertační práce v porovnání s jinými pracemi/studii. **Z textu nelze vyvodit, zda-li a případně jak autorka příslušné metody modifikovala za účelem zlepšení vlastností připravených tenkých filmů a hrotů. Závěr postrádá výzvy do budoucna, tj. směry, jakými se mohl výzkum v oblasti přípravy magnetických tenkých vrstev a hrotů pro SPM ubírat.** Předloženou dizertační práci **doporučuji k obhajobě a po adekvátním zodpovězení výše uvedených dotazů doporučuji udělení titulu Ph.D.**

V Olomouci dne 05.06.2017



doc. Mgr. Jiří Tuček, Ph.D.

vedoucí výzkumné skupiny v Regionálním
centru pokročilých technologií a materiálů

Katedra experimentální fyziky

Přírodovědecká fakulta

Univerzita Palackého v Olomouci