

Prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.
TU v Liberci, Fakulta strojní
Katedra materiálu
Studentská 2
473 18 Liberec 1

OPONENTNÍ POSUDEK

na disertační práci pro obor - Fyzika plazmatu a tenkých vrstev
na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni

Autor práce : Mgr. Martin Hromádka

Název práce:

Tenké vrstvy Sn-Cu-O a Sn-Cu-N vytvářené magnetronovým naprašováním

Školitel – prof. Ing. Jindřich Musil, DrSc.
Katedra fyziky FAV ZČU Plzeň

Tento posudek byl zpracován na základě pověření děkanky fakulty aplikovaných věd
doc. Dr. Ing. Vlasty Radové ze dne 02.11.2018.

Posudek má 4 strany textu a byl vyhotoven ve 2 exemplářích.

V Liberci 10.11.2018

1. ÚVOD:

Předložená disertační práce s názvem „**Tenké vrstvy Sn-Cu-O a Sn-Cu-N vytvářené magnetronovým naprašováním**“ Mgr. Martina Hromádky je rozdělena do šesti kapitol. Práce má celkem 105 stran textu.

Téma disertace odpovídá oboru Fyzika plazmatu a tenkých vrstev a je vhodně zvolené.

2. TÉMA PRÁCE:

Hodnocená disertační práce se zabývá problematikou tenkých vrstev Sn-Cu-O a Sn-Cu-N připravených metodou reaktivního magnetronového naprašování. Zabývá se korelací mezi depozičními parametry, prvkovým složením, strukturou a vlastnostmi vrstev. Byly připraveny vrstvy Sn-Cu-O s různým obsahem mědi (<11 at. %), které byly složeny z fází SnO₂ a amorfního CuO. Další skupinou hodnocených vrstev byly vrstvy na bázi Sn-Cu-N. U těchto různě připravených vrstev byly hodnoceny mechanické vlastnosti, tribologie a odolnost proti vzniku trhlin při ohybovém testu. Zde se potvrdila domněnka, že odolnost je silně spjata s nanokrystalinitou vrstev, kdy se optimální velikost zrn ve vrstvách pohybuje kolem 10 nm. Dále byla hodnocena elektrická vodivost transparentních vrstev. Tato skupina má velká aplikační potenciál především ve fotovoltice.

3. PŘÍNOSY PRÁCE:

Úvod práce je napsán stručně, přehledně a v posledních řádcích vysvětluje smysl experimentu a celé práce.

Prvních cca 30 stran z celkem 105 poskytuje velmi pečlivě, přehledně a podrobně zpracovanou charakteristiku vytváření povrchových vrstev. Seznam 192 použitých odkazů je přesvědčivý a z přehledu je zřejmé, že se jedná převážně o aktuální literaturu.

Cíle práce uvedené v kapitole 3 považuji za průkazné a disertabilní.

Za značný přínos práce považuji kapitolu 4, kde autor seznamuje se základní charakteristikou použitých depozičních systémů a analytických metod, které jsou v disertační práci využívány.

Značnou část práce (kap. 5) věnuje doktorand analýze vztahu mezi depozičními parametry a strukturou depovaného vrstev a výslednými vlastnostmi povlakovaného systému. Přednostně sledovány byly mechanické vlastnosti, tribologie a odolnost proti vzniku trhlin, kde se prokázalo, že odolnost je silně spjata s nanokrystalinitou vrstev, kdy se optimální velikost zrn ve vrstvách pohybuje kolem 10 nm. Dále byla hodnocena elektrická vodivost transparentních vrstev a jejich optické vlastnosti.

Rozsah experimentů i teoretický rozbor chování povlakovaného systému svědčí o autorově odborné způsobilosti a znalostech v oblasti vnitřní stavby pevné fáze a fyzice plazmatu.

Aktuálnost řešené problematiky, vzhledem k nesporné průmyslové aplikovatelnosti transparentních vrstev bude jistě dále vzrůstat. Autor vykazuje ve své práci výraznou vědeckou erudici.

4. HODNOCENÍ PRÁCE:

Kapitoly jsou uspořádány návazně a přehledně, což svědčí o autorových didaktických schopnostech splňujících požadavky vědního oboru, práce je napsána na odpovídající jazykové úrovni.

Nespokojenost naopak musím vyjádřit k –

Duplicitě pojmů paměťová a záznamová média - Úvod str 6.

Na straně 36 prosím o vysvětlení rozměrové rovnice (4.7).

Na str. 39 neodpovídá rozměrová rovnice (4.13) rozměru na str. 99 ani reálným hodnotám měření.

Na str. 51 – 52 Tab. 5.3 a 5.4 se mi jeví součinitel tření jako příliš vysoký.

Na str. 54 považuji hodnoty Relativní vlhkosti v rozmezí ~23–43 %, jako příliš velké z hlediska možného ovlivnění výsledků měření (viz. Obr. 5.42).

Chybějícímu statistickému vyhodnocení experimentálních dat např. Tab. 5.3 - 5.11.

Dále prosím blíže vysvětlit na str. 85 průběh součinitele tření.

Přes výše uvedené výtky jsem přesvědčen, že zpracování práce je zdařilé a podle mého názoru se jedná o nadstandardní vědeckou práci v řešené problematice.

5. OTÁZKY A PŘIPOMÍNKY:

1) *Jak byly stanoveny hodnoty součinitele tření na str 51 - 52?*

2) *Jak můžeme prakticky využít tlakové pnutí v tenkých vrstvách?*

3) *Jakým způsobem hodlá autor aplikovat výsledky své disertační práce do své další vědecké práce?*

4) *Kterou část práce si autor nejvíce cení a proč, v čem vidí svůj vědecký přínos?*

5) *Proč autor nepublikoval v posledních 2 letech?*

6. CELKOVÉ HODNOCENÍ A ZÁVĚR:

Autor se v předložené disertační práci zabývá aktuálním a významným problémem zvyšování užitečných vlastností povrchů plazmovými technologiemi.

Práce obsahuje původní výsledky teoretického i aplikačního charakteru. Autor prokázal tvůrčí invenci. Výsledky jeho práce jsou přínosem jak pro teorii, tak i pro praxi v oblasti materiálového inženýrství. Publikační aktivity doktoranda jsou na dobré úrovni.

Lze konstatovat, že cíle, které si autor vytýčil, byly splněny.

Doporučuji, aby po úspěšném obhájení byl **udělen** panu Mgr. Martinu Hromádkovi vědecký titul **PhD** podle platného VŠ zákona.

V Liberci 10.11. 2018



Petr LOUDA

Tenké vrstvy Sn-Cu-O a Sn-Cu-N vytvářené magnetronovým naprašováním

Autor disertace : Mgr. **Martin Hromádka**

Oponent : doc. RNDr. Ing. **Rudolf Novák**, DrSc.

Disertační práce Mgr. Martina Hromádky „ Tenké vrstvy Sn-Cu-O a Sn-Cu-N vytvářené magnetronovým naprašováním” řeší problematiku přípravy těchto vrstev a jejich fyzikálních vlastností. V práci jsou popsány postupy a výsledky řešení těchto úkolů : (1) příprava vrstev na bázi SnO₂ s různým obsahem mědi reaktivním magnetronovým naprašováním, (2) charakterizace vrstev Sn-Cu-O, (3) studium korelací mezi fyzikálními vlastnostmi těchto vrstev, (4) příprava vrstev Sn-Cu-N a vyšetření jejich vlastností. Práce má celkem 105 stránek a je rozdělena do šesti kapitol, seznamu použité literatury, seznamu autorových publikací, seznamu použitých označení a je uzavřena anotací.

Práce má obvyklé členění. Kapitola seznamující se současným stavem problematiky je uvedena stručným popisem principů magnetronového naprašování. Další část je věnována tenkým vrstvám od mechanismů růstu přes prvkové a fázové složení, mikrostrukturu a zbytkové pnutí. S tématem práce přímo souvisí část popisující vlastnosti oxidů a nitridů cínu, vlastnosti vrstev metalických oxidů dopovaných mědí a kapitola je uzavřena přehledem vodivých transparentních vrstev. Po stručném ale konkrétním stanovení cílů práce následuje obsáhlá kapitola věnovaná použitým metodám zpracování. Je popsána depoziční aparatura a příprava substrátů k depoziční. Návrh experimentů vychází ze stanovených cílů práce. K obsahu následující podkapitoly 4.4 nemám připomínky, domnívám se ale, že obecnější část měla být zařazena do kapitoly 2 a zde by měly být ponechány pouze popisy konkrétní postupy a parametry použitých analytických metod. Početné odkazy na literární prameny v obou kapitolách 2 a 4 dokazují, že se disertant mimořádně důkladně seznámil s aktuálními poznatky v oboru. Kapitola „Výsledky a diskuze“ je rozdělena do pěti podkapitol. První z nich popisuje depoziční parametry při vytváření vrstev Sn-Cu-O, uvádí prvkové a fázové složení vrstev a zejména výsledky pečlivých a systematických měření mechanických a tribologických vlastností a diskutuje jejich vzájemný vztah. Další podkapitola rovněž podrobně a systematicky studuje vliv předpětí na substrátu na vlastnosti vrstev. Odolnosti vrstev Sn-Cu-O vůči vzniku trhlin je věnována další podkapitola. Zajištění dostatečné adheze vrstev na zkušebním molybdenovém pásku vyžadovalo nanesení hliníkové mezivrstvy, což do určité míry snížilo obecnou platnost vyvozených závěrů. Čtvrtou podkapitolu tvoří opět podrobný a systematický rozbor vlivu parametrů tribologických testů na jejich výsledky. Závěrečná podkapitola shrnuje výsledky dosažené disertantem při vytváření vrstev Sn-Cu-N a měření jejich fyzikálních vlastností. Výsledky disertace jsou stručně shrnuty v závěrečné kapitole.

K formální stránce práce mám tyto připomínky:

- V tabulkách i v textu jsou prezentované výsledky měření parametrů vrstev často uváděné na tři platná místa, z experimentální praxe ale vyplývá, že bez rozboru nejistot měření nelze takovou přesnost potvrdit.
- V popisu tribologických měření postrádám údaj o průměru použitých tribologických kuliček.

- Ve výčtu jevů provázejících dopad primárních elektronů (str. 34) postrádám zmínku o Augerových elektronech.
- Termín elektrická vodivost (str. 41) není přesný – správně má být konduktivita.
- Použití termínu „veličina osciluje mezi hodnotami ..“ (str. 55, 67, 88) nepovažuji za vhodné pro vyjádření výskytu hodnot veličiny v daném intervalu hodnot, evokuje časové oscilace mezi krajními hodnotami.

Disertanta žádám, aby během obhajoby odpověděl na tento dotaz:

Jak lze vysvětlit nárůst obsahu mědi ve vrstvě s rostoucím parciálním tlakem kyslíku (Obr. 5.2) ?

Závěry posudku:

- a) Disertační práce prezentuje výsledky studia tenkých vrstev Sn-Cu-O a Sn-Cu-N z hlediska mechanických a tribologických vlastností a zejména z hlediska odolnosti proti vzniku trhlin při ohybu. Uvedené vlastnosti jsou vztaženy k depozičním podmínkám při přípravě vrstev metodou reaktivního magnetronového naprašování, tj. technologií, která v současné době nalézá uplatnění v řadě vědeckých i průmyslových aplikací. Vzhledem k aplikačnímu potenciálu vrstev typu Me-Cu-O a Me-Cu-N je jejich podrobný výzkum potřebný a proto je téma práce aktuální a její výsledky jsou jednoznačným přínosem pro obor.
- b) Všechny části práce dokazují, že disertant pracoval neobyčejně pečlivě a s důkladnou znalostí problematiky. Metody použité k analýze a hodnocení připravených vrstev jsou na úrovni současné špičkové metodiky experimentu a technologie. Práce bezesbýtku splnila všechny vytčené cíle.
- c) Disertační práce Mgr. Hromádky přináší původní a významné výsledky. Důkladně zmapovala oblast mechanických, tribologických, optických a elektrických vlastností vrstev Sn-Cu-O a částečně i Sn-Cu-N. Za důležité považuji, že důsledně uvádí závislosti vlastností na depozičních podmínkách a předpětí. Vzhledem k elektrickým a optickými vlastnostem a odolnosti proti praskání při ohybu lze očekávat jejich budoucí četné průmyslové aplikace a výsledky práce mohou významně přispět k vypracování a optimalizaci depozičních technologií. Nelze ani opomenout rozsáhlou rešeršní část práce přinášející aktuální informace v oboru.
- d) Formální stránka práce má vysokou úroveň. Výše uvedené výtky jsou zcela marginální, výskyt překlepů a chyb je minimální. Práce je napsána čtivým slohem dobrým odborným jazykem.
- e) Konstatuji, že část výsledků práce je obsažena ve dvou konferenčních příspěvcích kde je disertant uveden jako první autor a dále v jednom článku v impaktovaném časopise. Článcích publikovaných v impaktovaných časopisech, třetí článek byl podán k publikaci. Výsledky byly prezentovány i na řadě mezinárodních konferencí. Seznam všech publikací autora má osm položek, z toho je čtyřikrát uveden jako první autor.

Na základě uvedených skutečností konstatuji, že disertační práce Mgr. Martina Hromádky „Tenké vrstvy Sn-Cu-O a Sn-Cu-N vytvářené magnetronovým naprašováním“ splňuje všechny požadavky kladené na doktorské disertační práce a prokazuje předpoklady autora k samostatné tvořivé vědecké práci. Práci doporučuji k obhajobě.

V Praze, dne 15. listopadu 2018

Rudolf Novák

