

Posudek na disertační práci Mgr. Jana Tomaštika Charakterizace tenkých vrstev.

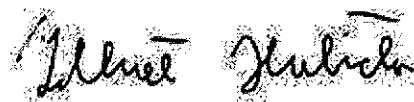
Disertační práce se zabývá podrobným experimentálním studiem mechanickým vlastností amorfních tenkých vrstev SiC_xN_y , které byly připraveny reaktivním stejnosměrným magnetronovým naprašováním použitím mírně nestechiometrického terče SiC ve směsi argonu a dusíku. Vlastnosti těchto vrstev byly studovány pro různé průtoky dusíku a několik teplot podepozičního žíhání, které bylo prováděno na vzduchu a pro srovnání taky ve vakuu. Mechanické vlastnosti těchto tenkých vrstev byly měřeny pomocí nanoindentace pro získání informací zejména o tvrdosti a modulu pružnosti vrstev a dále pak pomocí scratch testu poskytující informaci o adhezi a kohezi vrstvy. Pro měření adheze byl scratch test také vyhodnocen pomocí akustické emise, což je relativně nová metoda pro tuto aplikaci a je vyvíjena na pracovišti disertanta, který se na jejím vývoji aktivně podílí. Práce se v teoretické části v kapitolách 3 a 4 velmi podrobně zabývá popisem použitých metod měření mechanických vlastností tenkých vrstev a měření jejich mechanické odolnosti, adheze k substrátu a koheze. Tato část je zpracována na vysoké vědecké úrovni a tvoří velmi přehledný a přínosný materiál, který seznámí čtenáře s problematikou v potřebném rozsahu pro pochopení další experimentální části. V kapitole 5 je popsáno experimentální uspořádání depozičního magnetronového systému a provedení podepozičního žíhání. Uvedeno je i experimentální uspořádání pro měření parametrů deponovaných vrstev. V kapitole 6 jsou pak uvedeny přehledně výsledky a diskuse všech měření mechanických vlastností připravených tenkých vrstev SiC_xN_y za různých podmínek v DC magnetronu a různých teplot podepozičního žíhání. V následující kapitole 7 je potom závěr, kde jsou shrnuty nejdůležitější výsledky práce. Lze konstatovat, že bylo dosaženo opravdu zajímavých výsledků z hlediska studia tribologických vrstev a byly nalezeny depoziční a žíhací podmínky, kdy SiC_xN_y byly i po žíhání stále amorfni s relativně vysokou tvrdostí a kvalitní adhezí vrstvy k substrátu. Na práci velmi oceňuji, že se podařilo díky detailnímu studiu vlastností vrstev mnoha metodami pochopení procesů, které vedly k získání takto optimalizovaných SiC_xN_y vrstev. Práce je pěkně ucelená a přehledně zpracovaná. Je evidentní, že byly získány kvalitní publikovatelné výsledky. Z výše uvedených důvodů lze konstatovat, že práce rozsahem a kvalitou splňuje nároky kladené na disertační práce a disertant dostatečně prokázal schopnost samostatné vědecké práce. V práci jsem našel pouze drobné nedostatky jako překlepy nebo nedostatečně vysvětlené zkratky v některých kapitolách. Některé následně uvádím níže společně s dotazy. Nicméně tyto malé nedostatky jsou pouze formálního rázu a nijak disertační práci nesnižují. Z výše uvedených důvodů doporučuji disertační práci Mgr. Jana Tomaštika k obhajobě a udělení titulu Ph.D.

K tématu disertační práce bych měl následující připomínky a dotazy:

- 1) V kapitole "Cíle práce" je uvedená zkratka AE bez vysvětlení. Tato je vysvětlena až na straně 31 v kapitole 4.2.4 Využití akustických emisí při vyhodnocení scratch testu. Tento fakt mírně komplikuje čtenáři rychlé pochopení cílů práce, zejména pokud čte práci v tištěné podobě.
- 2) SiC_xN_y byly žíhány ve vzduchu při teplotách 700, 900 a 1100 °C a při 900 °C ve vakuu. Proč nebylo provedeno žíhání ve vakuu i při ostatních teplotách.

- 3) Na straně 14 kapitola 2 je uvedena zkratka metody HIPIMS. Vysvětlete tuto zkratku a princip a výhody použití této technologie pro SiC_xN_y materiály.
- 4) Na straně 14 konec stránky je uvedena věta: *Chování amorfních Si/C/N:H vrstev získaných radiofrekvenční plasmově asistovanou fyzikální depozicí z par (RF-PECVD) bylo studováno v kluzném testu s oscilujícím pohybem, přičemž se prokázalo křehké chování vrstev se spíše horší adhezí [75, 76].* Vysvětlete metodu“ ... plasmově asistovaná fyzikální depozice z par (RF-PECVD).
- 5) Na straně 58 v kapitole 5.1. Depozice vrstev je uvedeno: *Depozice byla prováděna v režimu záporného RF předpětí 60V (13,56 MHz) za účelem dodání energie pro aktivnější difuzi povrchových částic, čímž je zajištěn vznik hustší a více uspořádané struktury.*

Vysvětlete jakým mechanismem RF napětí na substrátu může dodat energii pro aktivnější difuzi povrchových částic. Jaké procesy tam probíhají mezi plazmatem a substrátem.



V Praze dne 20. 7. 2018

Mgr. Zdeněk Hubička, Ph.D.

Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.

Autor: Mgr. Jan Tomáščík

Pracoviště: Společná laboratoř optiky, Přírodovědecká fakulta, UPOL

Školitel: Prof. RNDr. Miroslav Hrabovský, DrSc.

Název práce: Charakterizace tenkých vrstev

Oponent: doc. PaedDr. Petr Adámek, Ph.D.

Autor se ve své práci zabývá vlastnostmi tenkých vrstev. Jedná se o složitější vrstvy karbidů a nitridů křemíku a jejich kombinací s různým zastoupením jednotlivých složek. Tyto vrstvy se vyznačují velkou tvrdostí, odolností proti vysokým teplotám, dobrými třecími vlastnostmi, ale také křehkostí. Jsou zde poměrně detailně teoreticky popisovány a zevrubně experimentálně zkoumány lokální mechanické vlastnosti, tvrdost, mikrotvrdost, tečení materiálu a podmínky selhání (delaminace) vytvořených vrstev, dále jsou zkoumány tribologické vlastnosti za různých zatěžovacích, rychlostních a teplotních podmínek experimentálně zkoumaných tenkých vrstev. Teoretický rozbor vychází z provedené rozsáhlé rešerše používaných normalizovaných měřicích a diagnostických technik, používaných na určení fyzikálních vlastností a parametrů materiálů. Uvedené vrstvy byly deponovány na Si substrátech technologií magnetronového naprašování v DC výboji v Ar, substrát byl udržován s RF předpětím 65 V. Materiál targetu byl SiC, deponované vrstvy byly s různým procentuálním poměrem zastoupení Si, C, N₂, krystalické i amorfni. Byly deponovány, povrchově plazmaticky upravovány SiC a SiCN tenké vrstvy, následně žháný vakuově i na vzduchu za různých teplot a především diagnostikovány více metodami, již částečně uvedenými. Jednalo se o měření tvrdosti (Vickers), metody tribologické, rezistentní vrypové. Tedy měření nedestruktivní i destruktivní. Byly provedeny „nanoindentační“ vrypy (Berkovich), dále scratch testy (Rockwell cone) a současně, dle stanovených cílů práce, byla aplikována vyvíjená metoda akustické emise. Uvedené diagnostické měření, které bylo vyhodnoceno a posouzeno na relativně čteném množství vzorků (6) pomocí autorem vypracované upravené metodiky. Kromě uvedených metod byly pro určení struktury deponovaných vrstev (SiC, C-N Si-C-N, aj.) použity Ramanova a IR spektroskopie a elektronová mikrosonda. Mezi nejzajímavější poznatky uvedené v práci patří: kombinovaná diagnostická trojmetoda, která vede k odstranění nepřesností při evaluaci selhání vrstvy, adhezně/kohezní vrstva-substrát. Vrstvy SiCN s poměrem N/Si > 1 vykazaly největší mechanickou odolnost. Žháním vzorků na vzduchu vzniklá vrstva SiO_x má dobré tribologické i mechanické vlastnosti, vyšší tvrdost, ale je křehčí. U scratch testů došlo ke zpřesnění iniciace a vývoje trhlin kombinací s příčným řezy, provedenými metodou FIB. Vytčené cíle práce byly splněny. Autor se taktéž podílí na vývoji a zdokonalování metody akustické emise pro zkoumání vlastností materiálů. Jako simultánně aplikovaná metoda s klasickými metodami tribologickými a scratch testů posloužila k dalšímu zlepšení jejich evaluace i na úrovni mikroskopických jevů. Autorem prezentovaná charakterizace tenkých vrstev je nezbytná pro jejich vývoj a následné uplatnění těchto nových materiálů v technice. Nová originální a progresivní metoda akustické emise byla zatížena omezením použitými hardwarovými komponenty, patrně z nedostatku času nebo ochrany vědecko - technických informací nebylo použité zařízení detailněji popsáno. Poměrně rozsáhlá práce, hlavně z hlediska četnosti provedení diagnostických experimentů a jejich vyhodnocení se vyznačuje minimem formálních nedostatků a odpovídajícím kvalitním zpracováním.

Práce je aktuálním přínosem pro vývoj a zkoumání fyzikálních vlastností při vývoji nových materiálů v technice i je současně přínosem k fyzikálnímu poznání pro rozvoj a vývoj fyzikálních materiálů diagnostických metod.

Práci doporučuji k obhajobě.

Otázky k obhajobě: Přispěla metoda akustické emise také ke zrychlení diagnostických zkoušek materiálů?

Je možné použitím pouze metody AE alespoň infomativně odhadnout charakter materiálu – tvrdost, plasticita nebo pevnost materiálů?

V Českých Budějovicích, 16.7.2018

Petr Adámek

