

Oponentní posudek na disertační práci

Autor práce: Ing. Martin Jaroš

Název práce: Flexible hard coatings prepared by magnetron sputtering

Předložená disertační práce rozpracovává koncept vlivu energie dopadajících částic na rostoucí vrstvu a zabývá se možnostmi řízení této energie v podmínkách depozice v DC a DC pulzním plazmatu během depozice nitridů – technicky významných materiálů. Práce je velice přínosná pro další vývoj této třídy materiálů v podmínkách blízkých průmyslovým depozičním systémům.

V práci použité postupy a metodiky jsou věcně správné a dokládají systematickou práci autora. Nicméně bylo jistě možné charakterizovat iontové toky i pomocí dalších metod jako je například hmotnostní spektrometrie s energiovým rozlišením. Autor by měl zdůvodnit, proč tuto metodu nepoužil.

Výsledky v práci uvedené byly všechny již posouzeny v peer-review procesu při publikaci. Tedy výsledky v práci splňují požadavky kladené na nové a originální výsledky. Autor práce uvádí 6 publikací v časopisech s impact faktorem, kde u tří je hlavním autorem. Práce byly publikovány převážně v letech 2017 až 2018, tedy v druhé polovině studia, kdy již byly získány zkušenosti a praktické výsledky vhodné k publikaci.

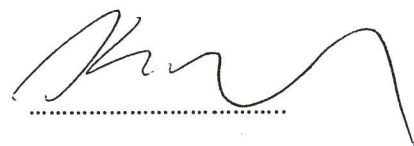
Předložená disertační práce ve svém úvodu stručně na 7 stránkách čtenáře seznámí s problematikou a vlivem bombardu rostoucí vrstvy energetickými částicemi. Problematika je shrnuta přehledně a věcně správně. Nicméně v této části spatřuji významnou slabinu práce, úvod se zaměřuje pouze na typy procesů dále v práci studované. Autor zcela opomíjí například možnosti mikrovlnného plazmatu (MW) a RF magnetronů, případně ICP (induktivně vázaného plazmatu) což lze pochopit, protože jeho práce se tímto nezabývají. Také chybí uvedení problematiky analýzy iontů metodami hmotnostní spektrometrie. Ale disertační práce by měla také ukázat schopnost autora zasadit problematiku do kontextu celého oboru a právě tuto schopnost mohl autor prokázat v úvodu diskuzí možností jiných typů výbojů a dalších měřících metod s tímto spojených. Zejména v kontextu prováděných experimentů vedoucích na zvýšení plazmového potenciálu jsou výše uvedené metody relevantní. Mimochodem o využití MW a RF pro depozice pojednává článek označený v úvodu práce jako reference číslo 1. Tento významný nedostatek by měl autor doplnit při obhajobě práce.

Práce je dobře napsaná s minimem gramatických chyb a překlepů s dobrou jazykovou úrovní. Formát předložené práce nicméně nepovažuji za příliš šťastný, domnívám se, že vložení textu článků ve formátu s jedním sloupcem a pak znovu jako reprint článků z časopisů je zbytečné. Reprinty článků jsou na 36 stranách (počítáno jednostranně) což by po doplnění rozšířenějším úvodem, viz připomínka výše, bylo samo o sobě dostatečné. Další připomínku mám k formátu abstraktu práce na straně 87, abstrakt je příliš detailní. Autor by v abstraktu měl prokázat větší nadhled nad presentovanou problematikou a nabídnou více přehledový a stručnější text. Abstrakt je delší a detailnější než souhrn výsledků na straně 84, mělo by to být obráceně. Souhrn výsledků je naopak příliš stručný.

Publikace autora uvedené v práci byly přijaty v kvalitních impaktovaných časopisech a jejich počet považuji za dostatečný. Autor práce se také aktivně účastnil mezinárodních konferencí, kde výsledky aktivně presentoval formou přednášky i posterů, jak je uvedeno v práci na straně 85.

Přes uvedené výhrady práci doporučuji k obhajobě.

V Ústí nad Labem 23.11.2018



Doc. Ing. Martin Kormunda, Ph.D.

Oponentský posudek na doktorskou práci

Název práce: Flexible hard coatings prepared by magnetron sputtering

Autor práce: Ing. Martin Jaroš

Oponent: doc. RNDr. Vítězslav Straňák, Ph.D.

Předložená disertační práce je věnována studiu přípravy tvrdých flexibilních vrstev. V jejím rámci byly studovány zejména vrstvy titan nitridu TiN, které byly obohaceny o Al a V za účelem zlepšení jejich vnitřních parametrů, zejména pak zachování tvrdosti a snížení pnutí. Autor jasně ukazuje, že vhodnou optimalizací depozičního procesu, zejména pečlivou kontrolou energetických poměrů, lze připravit vrstvy, které mají vysokou tvrdost, ale zároveň disponují dobrou adhezí k povrchu substrátu, nízkým vnitřním pnutím a vysokou flexibilitou. Je evidentní, že předložená studie je vysoce aktuální a zabývá se tématem, které je v žhavé oblasti zájmu průmyslu a pokročilých technologiích.

Práce je experimentálního charakteru a je založena na sumarizaci odborných prací (článků) studenta, které již byly publikovány. Je psána dobrou angličtinou. První kapitola je teoretického rázu a uvádí čtenáře do problematiky tématu. Autor se zde, cca na 15ti stranách, věnuje zejména aspektu role energetických poměrů při depozici a ovlivnění vlastností vrstev. Poté následuje šest samostatných kapitol, kde každá představuje publikovaný článek. Celkový rozsah takto prezentovaných originálních výsledků je přibližně v rozsahu 65 stran. Poté následuje krátké shrnutí nejdůležitějších výsledků (cca 1 strana), které reprezentuje závěr předkládaného spisu. Celý svazek je doplněn ještě o přílohy, což jsou samotné publikované články.

Po odborné stránce shledávám práci na mimořádně vysoké úrovni. Autor předkládá komplexní studii, která zahrnuje samotnou přípravu tenkých vrstev, podrobnou diagnostiku depozičního procesu a následnou rozsáhlou analýzu povrchů. Tímto způsobem se snaží popsat možnou optimalizaci depozice; na základě znalostí energetických parametrů výboje (bombard iontů a rychlých neutrálů) diskutuje jejich efekt na mikrostrukturu vrstvy a její následné mechanické vlastnosti. Toto prokazuje široký záběr studie; prakticky přes tři obory – depozice, plazmová diagnostika a analýza vrstev. Vysoce oceňuji, že student v práci předkládá úplnou studii, vytyčené hypotézy potvrzuje získanými výsledky a představuje vysvětlení fyzikálního efektu. Po odborné stránce považuji za nejkvalitnější kapitoly 3, 4 a 6. Je zde ukázáno, že zvýšení energetického toku na substrát ovlivňuje změnu mikrostruktury, přeměnu tahového pnutí na tlakové a přechod do pracovního bodu ohebných materiálů s vysokým poměrem H/E^* . Dále bylo ukázáno, že díky energetickým neutrálům je možné deponovat vrstvy i na nevodivé substráty. Kapitola 6 pak naznačuje možné technické řešení pro přípravu flexibilních vrstev s vysokým H/E^* pomocí pulzních magnetronů s kladným předpětím.

Je zřejmé, že rozsah vlastní experimentální práce je velký a evidentně musel přesahovat data prezentovaná v disertační práci. Dále je evidentní, že práce je originální a obsahuje výsledky dosažené během studia; autor se vyhýbá vágním popisům a uváděním obecně známých věcí, které lze v dnešní době snadno dohledat. Získané výsledky byly publikovány v prestižních impaktovaných zahraničních časopisech, doktorand uvádí celkem 7 původních článků, z nichž na tří je uveden jako první autor. Tyto články před svým zveřejněním prošly náročným recenzním řízením. Z tohoto důvodu necítím potřebu se ke kvalitě dosažených výsledků a jejich správnosti vyjadřovat v tomto posudku. Mimoto se student zúčastnil mezinárodních konferencí, kde výsledky prezentoval 7 krát ústně a dvakrát formou posterového sdělení.

Po formální stránce považuji disertaci také za zdařilou. Samotný text, psaný dobrou angličtinou, je snadno a dobře čitelný, závěry náročného výzkumu jsou popsány snadno a pochopitelnou cestou. Práce je uspořádána v dobrém logickém sledu. Veškeré zahrnuté obrázky jsou kvalitní, snadno a dobře

čitelné a na vysoké grafické úrovni. Text je téměř prostý chyb a překlepů, jejich množství je zanedbatelné. Seznam použité literatury se jeví jako reprezentativní a dostačující.

Moje jediná výtka je směřována na samotný koncept předložené práce. Jak už bylo zmíněno, jedná se o práci kompilačního charakteru, který je založen na šesti článcích autora. Text těchto článků, představující páteř celé disertační práce, je však doslovnou kopií publikovaných prací, se zahrnutím všech jejích částí a obrázků. Tedy každá kapitola 4 až 8 má stejnou architekturu skládající se z abstraktu, úvodu, popisu experimentu, diskuse výsledků, závěru a seznamu literatury (klasická struktura článku). Jinými slovy můžeme v disertační práci najít fakticky několikrát opakovaný popis experimentu; což je pochopitelné, když autor pracoval na stejném experimentálním zařízení. Podle mého soudu je však zbytečné toto několikrát opakovat v rámci práce. Dokladem tohoto je i vzorec pro určení energie ϵ_{bi} , který se v celé disertaci vyskytuje 5krát (3.1, 4.1, 5.1, 6.1, 7.3). Podtržením výše uvedeného je skutečnost, že po prezentaci odborného textu (tedy článků) jsou formou přílohy ještě vloženy samotné články ve formátu editovaném časopisem. Materiál je tak prakticky dublovaný. Podle mého soudu je tento koncept nešťastný a zbytečně zatěžuje čtenáře. Uvítal bych obsáhlejší úvod do problematiky, shrnutí výsledků bádání a platných fyzikálních závěrů tak, aby vznikla monolitická studie, doplněná samotnými články s potřebnými detaily. Tento můj komentář je určen pro širší diskusi s ohledem na zvyklosti pracoviště, kde práce vznikla a kde je i obhajována.

I přes výhradu k formálnímu konceptu se nemění můj názor, že autor předložil po odborné a vědecké stránce mimořádně kvalitní pojednání s originálními a pro technologickou praxi zajímavými výsledky. Jednoznačně prokázal dobrou orientaci a erudici v dané problematice. V předložené disertační práci prokázal schopnost komplexního pohledu na řešenou problematiku, prokázal schopnost samostatné vědecké práce a schopnost výsledky kriticky hodnotit a formulovat odpovídající závěry.

Z těchto důvodů, bez pochybností či výhrad, doporučuji předloženou práci přijmout k obhajobě a v případě jejího úspěšného složení udělit titul Ph.D.

Do diskuse navrhuji několik témat, inspirovaných předloženou prací:

- a) Jak plyne z výše uvedeného posudku, moje zásadní výtka je směřována na formální koncept psané práce. Mohl by se autor k tomu blíže vyjádřit?
- b) Rozsah experimentální činnosti a analýzy výsledků je široký. Mohl by autor specifikovat svůj vlastní přínos a detailněji specifikovat rozsah své činnosti?
- c) V kapitole 5 jsou prezentovány výsledky I-V charakteristik měřených na substrátu. Jak byly tyto charakteristiky měřeny, které parametry byly určeny? Mohla by být data vyhodnocena podle metod pro planární Langmuirovu sondu?
- d) V kapitole 6, jsou ukázány průběhy napětí duálního magnetronu, viz obr. 6.4., resp. 6.6. Průběhy napětí U_s jsou nestabilní a zakmitávají. Mohl by autor práce toto diskutovat?
- e) V rámci přípravy vrstev Ti(Al,V)N bylo použito reaktivního odprašování v Ar/N₂ atmosféře. Byla pozorována otrava terče a hysterezní efekt? Jak bylo docíleno stechiometrické dopace Al a V? V některých kapitolách je uváděno, že terč byl slitinový.
- f) V celé práci je stěžejní měření energií částic. Jak byly tyto energie měřeny? Metoda, problémy, úskalí, výhody či nevýhody.
- g) V obrázku 4.7 je prezentována závislost mikrostruktury na energiích (tlaku). Toto rozdělení je poměrně ostré se skokem v 0.7 Pa. Mohl by autor toto blíže diskutovat.
- h) Mohl by doktorand nastínit svůj náhled na problematiku tvrdých flexibilních vrstev? Současný stav poznání, uplatnění v praxi, stav v průmyslu, průmysl vs. magnetronové naprašování atd.

Vítězslav Straňák

v Českých Budějovicích 27.11.2018