

## Posudek

disertační práce p. Michala Zítka

### **“Magnetronová depozice tenkovrstvých kovových slitin a nitridových vrstev na bázi Zr-Cu”**

Předložená práce se zabývá problematikou přípravy tenkých vrstev kovových skel a nitridových nanokompozitů. Téma je velmi aktuální. Student se zaměřil na materiály na bázi Zr-Cu, které připravil jak nereaktivním, tak reaktivním procesem přidáváním dusíku do depoziční komory.

Předložená práce obsahuje krátký úvod do řešené problematiky a přiložené 4 publikace v renovovaných mezinárodních časopisech, u dvou z nich je doktorand prvním autorem, všechny prošly recenzním řízením. Všechny publikace jsou publikovány v kvalitních časopisech nad mediánem oboru. Student jednoznačně splnil vytyčené cíle disertační práce. Připravil binární a ternární tenkovrstvé slitiny a charakterizoval jejich teplotu skelného přechodu, krystalizační teplotu a mechanické vlastnosti jako funkci jejich prvkového složení. U vrstev připravených reaktivním procesem doktorand prozkoumal jejich mechanické vlastnosti a antimikrobiální chování.

Předložená disertační práce přináší velice zajímavě výsledky. Představuje značné množství časově náročných experimentů prováděných na Západočeské univerzitě, katedře fyziky, při depozici a charakterizaci perspektivních tenkých vrstev. Práce představuje velice široký experimentální záběr.

K vlastní části práce, kterou reprezentují 4 fyzikální články, nemám žádné významnější připomínky. Jedná se o recenzované publikace, které již byly hodnoceny vědeckou komunitou. Naopak ale, úvod práce, strany 8-14, jsou velmi stručné, mnohdy nejdou do patřičné hloubky, kterou bych očekával, a obsahují několik nepřesností. Rovněž práce s literaturou v této části mohla být mnohem pečlivější, některé ne zcela triviální tvrzení jsou uvedeny bez řádné citace.

Dotazy, ke kterým by se doktorand mohl vyjádřit při obhajobě:

- strana 8: „The discharge is ignited and powered by applying electrical voltage between the cathode and the anode (usually the wall of the deposition chamber)“. Toto tvrzení je nepřesné, můžete vyfotografovat a schématicky nakreslit použitou magnetronovou hlavu a ukázat, kde se nachází nejbližší anoda, která sbírá elektrony.
- strana 8: „Generally, pulsed magnetron sputtering leads to a higher ionization and thus to a higher energy of sputtered atoms delivered to the substrate“ je tvrzení bez jakékoliv citace. Navíc tvrdí, že pulzní naprašování urychlí rozprášené atomy (nenabitě částice) k substrátu. Můžete, prosím, korektně a s využitím dostupné literatury oddiskutovat výhody pulzního procesu a zdůvodnit, proč poskytuje vyšší tok energie na substrát.
- strana 9: Vysvětlete prosím, co je nezávislá a co je závislá veličina při měření DSC křivky a proč vzniká pokles na 426 stupních. Co se zde děje na atomární úrovni, jaký by tomu odpovídal termodynamický popis?
- strana 10: „Advanced sputtering methods such as HiPIMS had not been used...“ Zdůvodněte prosím motivaci, proč použít HiPIMS pro přípravu kovových skel. HiPIMS se používá obvykle ke zvýšení míry krystalinity vrstvy, tedy k něčemu, čemu jste se chtěli vyhnout.

- strana 11: „Thus, the number of atoms in the boundary region is comparable to the amount of atoms in the grain“. Můžete provést řádový odhad množství atomů, o kterém mluvíte, pro několik různě velkých zrn?
- Doraz k publikacím, o struktuře vrstev uvažujete na základě XRD. Jak malá zrna byste již použitou technikou nebyl schopen detekovat? Byla provedena na vybraných XRD amorfních vzorcích TEM nebo HRTEM analýza?

**Závěr:**

Na závěr je možné konstatovat, že autor ve své práci prokázal schopnost tvořivým způsobem přispět k získávání nových poznatků v oblasti materiálového výzkumu. Předložená práce splňuje kritéria kladená na disertační práci. Proto navrhuji, aby po úspěšné obhajobě byla p. Michalovi Zítkovi udělena hodnost Philosophiae Doctor Ph.D.

v Brně 30.11. 2018



.....

prof. Mgr. Petr Vašina, Ph.D.

Ústav fyzikální elektroniky, Masarykova univerzita

## Oponentský posudek na disertační práci

Ing. Michala Zítka „*Magnetron sputter deposition of Zr–Cu based thin-film metallic alloys and nitride films – Magnetronová depozice tenkovrstvých kovových slitin a nitridových vrstev na bázi Zr–Cu*“.

Předkládaná disertační práce je věnována aktuálnímu tématu přípravy a charakterizace tenkovrstvých kovových skel na bázi binárních slitin Zr–Cu se zlepšenými mechanickými a tepelnými vlastnostmi a nanokompozitních vrstev Zr–Cu–N se zlepšenými mechanickými vlastnostmi a výrazným antibakteriálním účinkem. Tenké vrstvy byly připraveny za asistence magnetonového naprašování. V práci byly zkoumány faktory a jejich vzájemné korelace, které ovlivňují výsledné mechanické a tepelné, případně antibakteriální vlastnosti. Výsledky uvedené v této disertační práci získal autor během svého působení na Katedře fyziky Fakulty aplikovaných věd a výzkumném centru NTIS – European Centre of Excellence, Západočeské univerzity v Plzni.

Disertační práce je formálně koncipována jako soubor publikací autora s úvodním komentářem. První kapitola této práce je věnována obecnému úvodu a odkazům na práce jiných autorů, které byly v disertační práci citovány. V druhé kapitole jsou definovány cíle práce, hlavní a stěžejní částí této práce je následující třetí kapitola, která je prezentována formou souboru čtyř článků autora, publikovaných v kvalitních mezinárodních impaktovaných časopisech. V této části jsou uvedeny pro práci stěžejní výsledky v oblasti přípravy binárních tenkovrstvých slitin Zr–Cu metodou nereaktivního konvenčního dc a pulzního magnetonového naprašování ze dvou nevyvážených magnetronů osazených Zr a Cu terči s výsledkem nalezení korelace mezi vývojem krystalizační teploty a mechanických vlastností s rostoucím obsahem Cu. Ternární tenkovrstvé slitiny Zr–Hf–Cu se skelným chováním byly deponovány nereaktivním konvenčním dc a vysokovýkonným magnetonovým naprašováním ze tří nevyvážených magnetronů osazených Zr, Hf a Cu terči s výsledkem nalezení korelace mezi vývojem skelného přechodu, krystalizační teploty, tvrdosti a Youngova modulu s rostoucím poměrem Hf/(Hf + Zr). Kvaternární tenkovrstvé kovové slitiny Zr–Hf–Al/Si–Cu byly připraveny nereaktivním magnetonovým naprašováním ze čtyř nevyvážených magnetronů osazených Zr, Hf, Al nebo Si a Cu terčů s výslednou rentgenově amorfní strukturou. Závěrem byla zkoumána závislost antibakteriálního chování a mechanických vlastností nanokompozitních vrstev Zr–Cu–N na koncentraci Cu. Vrstvy byly připravovány reaktivním magnetonovým naprašováním ze složených terčů Zr/Cu za využití duálního magnetronu ve směsi argonu s dusíkem. Bylo tak možno připravit tvrdé vrstvy s obsahem Cu větším než 10 at. %, které vykazují vysokou míru antibakteriálních účinků a současně vysokou tvrdost se zvýšenou odolností proti vzniku trhlin. Poslední kapitola je věnována stručnému a přehlednému shrnutí dosažených výsledků práce.

Seznam použité literatury ve vlastní disertační práci obsahuje 39 odkazů na práce jiných autorů, které jsou v práci citovány. Součástí disertační práce jsou i články autora publikované v mezinárodních impaktovaných časopisech s odkazy na další práce jiných autorů souvisejících s řešením problematiky článků a disertační práce. Přehled publikační činnosti autora práce, včetně zmíněného souboru článků v práci, obsahuje tedy celkem 5 článků v impaktovaných mezinárodních časopisech, 15 příspěvků na mezinárodních konferencích, z toho 4 ve formě přednášky autora, ve 3 prezentacích byl autor disertační práce spoluautorem přednášky a v 8 případech autorem nebo spoluautorem prezentace formou posteru.

Práce, která je napsána v anglickém jazyce, je po stránce formální a grafické úpravy na dobré úrovni, v práci jsem našel pouze jediný překlep (na str. 62 je na prvním řádku uvedeno „boudou“ namísto „budou“). Připomínku mám pouze k velmi stručné formě úvodního rešeršního shrnutí zkoumané problematiky v krátké (pětistránkové) úvodní části. I u takto koncipované práce by bylo přínosné uvést hlubší vhled do dané problematiky a

zvolených experimentálních metod a to i přes to, že jsou dílčí technické parametry experimentů vždy uvedeny v jednotlivých publikacích.

Celkově lze tedy hodnotit předloženou disertační práci následovně:

- a) Hlavní výsledky, kterých autor v této práci dosáhl, jsou původní a rozšiřují doposud známé poznatky v oblasti studia tenkovrstvých kovových skel na bázi slitin Zr–Cu a nanokompozitních vrstev Zr – Cu – N v oblasti materiálového výzkumu.
- b) Autor provedl rozsáhlou řadu časově náročných experimentů a systematických měření, jejich vyhodnocení a výsledky následně publikoval v kvalitních zahraničních imputovaných časopisech.
- c) K věcnému vědeckému obsahu předkládané práce nemám připomínek a v dané práci jsem nenašel podstatné a závažné nedostatky.
- d) Byly zvoleny adekvátní metody a disertační práce splnila stanovené cíle.

Na dané práci osobně velmi oceňuji nejen rozsah provedených experimentů, ale i aplikační potenciál dosažených výsledků, mimo jiné např. pro aplikace v oblasti flexibilních tvrdých antibakteriálních vrstev se zvýšenou odolností proti vzniku trhlin.

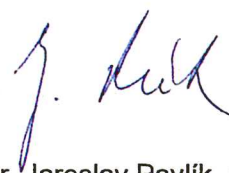
Vzhledem k tomu, že stěžejní část práce je prezentována jako soubor článků autora publikovaných v mezinárodních impaktovaných časopisech, které prošly náročným recenzním řízením, nemám k obsahu práce žádné podstatné dotazy. Z hlediska doplnění prováděných experimentů a obecných tvrzení autora v úvodní části práce mám jen následující doplňující dotazy:

- 1) Může autor v rámci obhajoby prezentovat schematicky varianty depozičního systému vzhledem k popisovaným různým konfiguracím magnetonového naprašování ?
- 2) Na str. 8 autor uvádí „ *Conventional dc magnetron sputtering is characterized by relatively low target power densities. The degree of ionization of the sputtered atoms is relatively low. .... Generally, pulsed magnetron sputtering leads to a higher ionization and thus to a higher energy of sputtered atoms delivered to the substrate. HiPIMS, a relatively new technique, is a unique type of a dc pulsed magnetron sputtering. .... Such a high power density leads to a much larger degree of ionization of sputtered atoms.*“ Může autor v rámci obhajoby podrobněji vysvětlit mechanismus vzniku vyššího stupně ionizace rozprašovaných atomů terče při použití HiPIMS a dále zdůvodnit volbu v práci popisovaných různých konfigurací magnetronů a volbu jejich pracovních režimů?

Autor předloženou disertační prací prokázal schopnost samostatné vědecké práce. Jeho publikační činnost a řada prezentací výsledků na konferencích dokazují i jeho schopnost referovat o své práci a prezentovat dosažené výsledky.

Domnívám se proto, že předložená práce Ing. Michala Zítka „*Magnetron sputter deposition of Zr–Cu based thin-film metallic alloys and nitride films*“ má vysokou úroveň a splňuje tudíž požadavky, které jsou na disertační práci kladeny, doporučuji přijmout disertační práci k obhajobě a po úspěšné obhajobě udělení titulu Ph.D.

V Ústí nad Labem, dne 30. 11. 2018



Doc. RNDr. Jaroslav Pavlík, CSc.  
Katedra fyziky PřF UJEP v Ústí nad Labem