

Thin-film alloys and non-oxide ceramics with amorphous or metastable crystalline structure

Autorka disertace: Ing. **Michaela Červená**

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

Disertační práce Ing. Michaely Červené „Thin-film alloys and non-oxide ceramics with amorphous or metastable crystalline structure“ je převážně experimentální prací zaměřenou na magnetronem deponované tenké vrstvy s amorfni nebo metastabilní krystalovou strukturou. Práce je členěna do pěti kapitol a těžiště práce je v kapitole III, kterou tvoří čtyři články publikované v mezinárodních impaktovaných časopisech a jeden koncept článku připraveného k publikaci.

Kapitola I obsahuje obecné poznatky o binárních systémech a multikomponentních keramických vrstvách s důrazem na konkrétní struktury, které jsou předmětem studia v této práci.

V Kapitole II jsou jasně, konkrétně a srozumitelně definovány cíle práce.

Kapitola III obsahuje pět článků označených A až E. V úvodu kapitoly disertantka podrobně popisuje svůj podíl na těchto článcích: realizaci experimentů a interpretaci jejich výsledků, formulaci pracovních i konečných verzí textů a kompletaci článků.

Článek A: Je zaměřen na porovnání krystalizačních a oxidačních chování tenkých vrstev kovových skel ZrCu a ZrHfCu. S využitím diferenciální skenovací kalorimetrie a termogravimetrie byl stanoven vliv substituce Hf za Zr na proces krystalizace a bylo porovnáno oxidační chování krystalických a amorfni vrstev uvedeného složení.

Článek B řeší vliv obsahu Al nebo Si v ternárních tenkých vrstvách kovových skel ZrHfCu. Výzkumné práce byly zaměřeny na určení vlivu prvkového složení na strukturu, tepelnou stabilitu, teplotu skelného přechodu a další fyzikální vlastnosti. Zjištěné vlastnosti byly vysvětleny obsahem kovalentní složky ve smíšené kovalentně-kovové vazbě.

Článek C: Tato část má formu konceptu článku připraveného k publikaci. Magnetronové naprašování z terčů W a Zr prokázalo možnost vytvářet různé metastabilní struktury v závislosti na obsahu Zr v širokém rozsahu koncentrace 3 – 99 at.% Zr. V konceptu jsou popsány struktury značně odlišné od rovnovážného diagramu W-Zr a jejich mechanické i fyzikální vlastnosti.

Článek D: Magnetronem naprašované tenké vrstvy W-Zr při obsahu 28 at.% Zr vykazují dvoufázovou strukturu složenou z oblastí tuhého roztoku s krystalickou strukturou a amorfni oblastí kovového skla W-Zr. Struktura se vytváří jen v úzkém rozsahu obsahu Zr a na její vznik má patrně podstatný vliv mobilita a difuzivita naprašovaných atomů.

Článek E: V případě tvrdých a opticky transparentních amorfni vrstev na bázi Hf-B-Si-C-N byl ověřen vliv nízkých koncentrací Y nebo Ho na vlastnosti vrstev po žhání při vysokých teplotách na vzduchu nebo v inertních plynech.

Kapitola IV obsahuje přehledné a výstižné shrnutí hlavních výsledků práce.

Kapitola V obsahuje seznam dvou dalších publikací disertantky v mezinárodních impaktovaných časopisech a seznam příspěvků prezentovaných na mezinárodních konferencích.

Závěry posudku:

a) Konkrétní výsledky práce jsem popsal v předcházejícím odstavci. Lze je shrnout tak, že prezentují výsledky soustavného studia daného typu slitinových nebo keramických vrstev

s amorfni, metastabilni nebo prechodovou strukturou, pripravenych technologii magnetronoveho naprasovani. Prace byly zameryny na zistizeni vlivu chemickeho slozeni na strukturu a fyzikalni vlastnosti vrstev, na oxidačni chovani za vysokych teplot a na studium prechodu mezi amorfni a krystalickou strukturou. Clanky prinesly poznatky prispivajici k poznani materialovych zavislosti v oboru tenkych vrstev a bezpochyby najdou uplatneni i pri pouziti tenkych vrstev v prumyslovych aplikacich. Konstatuji, ze vysledky jsou významnym přínosem pro obor.

b) Metody a postupy pouzite k reseni konkretnich cilu stanovenych v clancich A až E jsou na vysoké úrovni a odpovídají aktuálnímu stavu experimentálních technik ve světě a interpretace výsledků potvrzuje důkladnou znalost problematiky. Autorka popsala experimenty, které realizovala osobně a konstatuji, že byly provedeny kvalitně a pečlivě, s využitím špičkového vybavení pracoviště. Práce splnila všechny cíle stanovené v Kapitole II.

c) Kvalitu výsledků práce prokazuje přijetí článků A, B, D a E k publikaci ve významných impaktovaných časopisech. Výsledky a závěry uvedené v konceptu C hodnotím jako důležité pro poznání vlastností binárního systému W-Zr a využitelné pro přípravu multifunkčních povrchů s novými vlastnostmi. Všechny prezentované články jsou dílem autorských kolektivů, v případě článku A a konceptu C je Ing. Červená uvedena jako první autor. Z popisu podílu autorky na realizaci experimentů, na interpretaci jejich výsledků a na kompletaci textů vyplývá, že tento podíl je významný a odpovídá nárokům kladeným na vědeckou úroveň disertačních prací.

d) Práce je napsaná výbornou angličtinou, s úsporným a přesným vyjadřováním. Uspořádání práce je logické, systematické a přehledné. K formální stránce práce nemám žádné připomínky.

e) Disertantka je spoluautorkou šesti článků v impaktovaných časopisech, z toho jednou je uvedena jako první autor. Dvakrát prezentovala orální příspěvky na mezinárodních konferencích, vždy jako první autor. Je spoluautorkou sedmi orálních a šesti posterových prezentací na mezinárodních konferencích. Vzhledem k tomu, že všechny publikace byly realizovány na vysoce odborné mezinárodní úrovni, konstatuji, že publikační aktivita autorky je nadprůměrná a kvalitní.

Autorku žádám, aby během obhajoby zodpověděla na dva dotazy týkající se konceptu C : Byla při naprasování W-Zr vrstev měřena teplota substrátu? Mohla by vyšší teplota substrátu ovlivnit kinetiku růstu a tím i strukturu výsledné vrstvy?

Na základě výše uvedených skutečností konstatuji, že disertační práce Ing. Michaely Červené „Thin-film alloys and non-oxide ceramics with amorphous or metastable crystalline structure” splňuje všechny požadavky kladené na doktorské disertační práce a prokazuje předpoklady autorky k samostatné tvořivé vědecké práci. Práci doporučuji k obhajobě.

V Praze, dne 15. srpna 2021

Rudolf Novák

Západočeská univerzita v Plzni

Doručeno: 17.08.2021

ZCU 020779/2021

listy:6

druh:svazek

přílohy:



zcupes140e7a4

Oponentský posudek

doktorská disertace v oboru Fyzika plazmatu a fyzika tenkých vrstev

Ing. Michaela Červená

Thin-film alloys and non-oxide ceramics with amorphous or metastable crystalline structure

Obor doktorského studia: Fyzika plazmatu a tenkých vrstev
Předložená disertace: ZČU v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra fyziky
Školitel: prof. Ing. Petr Zeman, Ph.D. - ZČU v Plzni, FAV
Oponent: doc. RNDr. Josef Kasl, CSc., FENg. - VZÚ Plzeň

Hodnocená disertační práce je tvořena souborem pěti odborných článků zabývajících se přípravou a studiem vlastností tenkých vrstev z polykomponentních systémů připravených vesměs metodou magnetronového napařování, který je doplněn úvodem shrnujícím oblast výzkumu a jeho motivaci. Tyto články byly publikovány v rozmezí let 2018 až 2021. V době sepsání práce byl jeden podán, ale v letošním roce byl publikován a doktorandkou poskytnut. Jedná se o časopisy Journal of Non-Crystalline Solids (2 publikace, v nichž je doktorandka prvním autorem), Journal of Alloys and Compounds (2 publikace, z nichž u jedné je doktorandka prvním autorem) a Vacuum (1 publikace). Tyto články jsou označovány v práci postupně jako A až E. Byly to výstupy dlouhodobých systematicky prováděných výzkumných aktivit na Katedře fyziky a v Evropském centru excelence NTIS FAV ZČU v Plzni při řešení projektů GAČR a Národního programu dlouhodobé udržitelnosti. Publikace představují reprezentativní výběr činností a výsledků odborné práce získaných během doktorského studia v posledních pěti letech. Doktorandka se na všech významně podílela širokým spektrem aktivit od přípravy tenkých povlaků, měření a vyhodnocení jejich vlastností až po interpretaci nově získaných poznatků. Oblast její činnosti, přípravu tenkých vrstev magnetronovou depozicí považuji za vysoce aktuální a dynamicky se rozvíjející vědní obor s vysokým aplikačním potenciálem v průmyslu.

Práce má celkem 92 stran a je formálně rozdělena na pět částí. Úvodní kapitola „Úvod“ (17 stran) stručně nejprve představuje sledované materiály – tenké vrstvy kovových skel a keramických materiálů vyskytující se v amorfním a/nebo uspořádaném stavu. Podrobněji se pak zabývá genezí a vlastnostmi systémů, kterým se posléze věnovala, nejen ve světě, ale především na mateřském pracovišti. Popisuje přitom motivy, které vedly ke zvyšování komplexnosti jejich prvkového složení. V zásadě se jednalo o tři typy materiálů. Původní slitina Zr-Cu, rozšířená na Zr-Hf-Cu, u níž se doktorandka dále zabývala studiem vlivu přísad Al a Si na změny jejich vlastností (teplotní stabilita a oxidační odolnost); soustava W-Zr (elektrické a mechanické vlastnosti); multikomponentní systém Hf-B-(Si)-C, u něhož byl sledován vliv příměsí Ho a Y. Tento přehled je doplněn souborem 63 citací, z nichž řada je z mateřského pracoviště. Doktorandka prokázala, že je jí jasný směr práce, jeho důvody a souvislosti. Nicméně bych měl tu připomínku, že tento úvod mohl být poněkud podrobnější zejména z hlediska zahrnutí metod příprav vrstev a použitých technik sledování jejich vlastností (byť zčásti uváděných v jednotlivých publikacích). Druhá část práce je věnována cílům disertace. Ty jsou popsány ve čtyřech bodech (rozdělených podle jednotlivých typů vrstev) a jsou jasně a dostatečně podrobně specifikovány. Třetí část je věnována výsledkům formou vložení pětice výše zmíněných publikací. Velmi oceňuji, že

v krátkém úvodu k těmto článkům doktorandka velmi pečlivě uváděla, které konkrétní činnosti prováděla sama a jaký měla podíl na získaných výsledcích resp. publikacích. Čtvrtá část je věnována shrnutí dosažených výsledků. Konečně pátá část předkládá další publikace doktorandky. Ty zahrnují dva články v impaktovaných časopisech a 15 konferenčních příspěvků. Publikační činnost doktorandky považuji za velmi bohatou a kvalitní.

Z předložené práce resp. uvedených publikací jednoznačně vyplývá, že se doktorandka významnou měrou podílela na výzkumné činnosti svého pracoviště a přispěla tak k systematickému vývoji a hodnocení tenkých vrstev připravovaných magnetronovým naprašováním.

Při své práci se zabývala pestrou škálou aktivit. Prováděla jednak vlastní depozice tenkých vrstev systému na bázi W-Zr, jednak měřila jejich různé vlastnosti. Dominantní bylo hodnocení vysokoteplotního chování vrstev metodami diferenční skenovací kalorimetrie a vysokorozlišovací termografie. Mimoto stanovovala prvkové složení, tloušťky, zbytková napětí vrstev a jejich elektrické a mechanické vlastnosti. Metody a činnosti vhodně využívala v souladu s plánem prací a vytyčenými cíli disertační práce. Tento široký záběr ji umožnil proniknout do podstaty řešené problematiky a aktivně se podílet na interpretaci vlastních dosažených výsledků i výsledků ostatních domácích a kooperujících spolupracovníků.

Výsledky předkládané práce považuji za velmi dobré a přínosné pro řešení vědeckých projektů pracoviště. Její výsledky měly význam pro porozumění procesům probíhajícím během depozice vrstev, jejich souvislostem s dosaženými parametry povlaků a procesům probíhajícím při jejich teplotním zatěžování. Jejich kvalitu dokládá to, že byly součástí publikací ve významných mezinárodních časopisech. Plánované výsledky disertační práce, tak jak jsou uvedeny v kapitole 2, považuji za splněné.

Práce je kvalitně zpracována. Je jasně členěna, má dobrou grafickou úroveň a téměř neobsahuje formální chyby a překlepy. Doktorandka měla však v tomto ohledu poněkud „usnadněnou“ práci, neboť rozsah samotného jí napsaného textu činí cca 20 stran a veškeré obrázky, grafy atd. jsou součástí odborných publikací, které prošly recenzním řízením.

Vedle pěti časopiseckých publikací, které jsou obsahem práce, doktorandka uvedla ze své publikační aktivity dva další články z impaktovaných časopisů a 15 konferenčních příspěvků (s výjimkou dvou všechny v zahraničí). Publikační aktivity doktorandky hodnotím jako velmi dobré.

K práci nemám, kromě poznámky k úvodní části, žádné zásadní připomínky.

Závěr

Disertační práci a i uvedené publikační aktivity považuji za doklad toho, že doktorandka prokázala dostatečné znalosti a schopnosti tvůrčím způsobem experimentálně pracovat, interpretovat a prezentovat dosažené výsledky a uplatnit je při výzkumu a vývoji v oblasti tenkých komplexních vrstev připravených magnetronovým naprašováním. **Disertační práci proto po úspěšném absolvování doktorské zkoušky doporučuji k obhajobě.**