

## **Podudek na doktorskou disertační práci Ing. Jana Bůžka s názvem „Příprava a strukturování tenkých vrstev amorfních halogenidů“**

Předložená disertační práce Ing. Jana Bůžka je napsána v českém jazyce v rozsahu 130 stran, literatura zahrnuje 98 odkazů, je opatřena krátkou českou a anglickou anotací. Obsah prozrazuje klasické členění, výsledky a diskuse jsou sloučeny do jedné části. K práci je přiložena anotace v anglickém jazyce v rozsahu 25 stran s nejvýznamnějšími výsledky.

Po formální a jazykové stránce práce odpovídá požadavkům na disertační práci. Jednotlivé části práce přináší informace potřebné pro pochopení a hodnocení výsledků, text je napsaný jasným a čtivým jazykem. V textu se objeví občasné překlepy, přehození slovosledu nebo hovorové slovo, ve dvou případech i pravopisná chyba v *i*. Obrázky a grafy jsou jasné a v dostatečném množství, text i legendy dodávají odpovídající informace, počet literárních odkazů je úměrný rozsahu práce.

Po obsahové stránce se jedná o práci experimentálního charakteru nebo spíše o experimentální práci aplikující a vyhodnocující metodiky přípravy skel, tenkých vrstev, vyhodnocování jejich vybraných vlastností a metody strukturování tenkých vrstev. Práce se nejprve zabývala přípravou objemových skel v systémech As-S, As-Se a Ge-S, kdy příslušná složení byla především stechiometrická nebo eutektická. Tato skla byla použita pro přípravu tenkých vrstev vakuovým napařováním a spin coating. Bylo ověřeno složení připravených skel a diskutovány a korigovány odchylky u skel v systému Ge-Se, kde byly napařovací proces a výchozí složení modifikovány. Další série vzorků tenkých vrstev v systému As-Se byla připravena metodou spin coating. U skel a vzorků byly zjištěny optické vlastnosti, šířka zakázaného pásu a index lomu a byla vypočtena tloušťka vrstev. U tenkých vrstev byly studovány změny optických vlastností po temperaci. U tenkých vrstev připravených metodou spin coating byla navíc sledována závislost tloušťky vrstvy na rychlosti rotace. Struktura objemových, čerstvě napařených a temperovaných skel byla zkoumána metodou Ramanovy spektroskopie a diskutovány její změny v důsledku zpracování skel. Obecně byly struktury skel v čerstvých vrstvách méně uspořádané než ve vrstvách temperovaných a ve vrstvách méně uspořádané než v objemových sklech. Tenké vrstvy skel připravených vakuovým napařováním byly dále podrobeny strukturování do podoby lineární mřížky metodou hot embosing s použitím měkké raznice. Opět byla sledována především stechiometrická a eutektická složení skel. Při testování této metody se prokázal především vliv teploty na kvalitu mřížky, zatímco vliv tlaku byl nevýrazný. Při použití metody hot embosing vykazala eutektická složení obecně hlubší mřížky než složení stechiometrická. U vrstev připravených metodou spin coating byla rovněž testována metoda hot embosing, kde bylo konečné tloušťky vrstvy dosaženo v kratších časech. Dále byla testována metoda micro-transfer molding, kde byly připraveny kvalitní mřížky za předpokladu, že je před strukturováním připraven homogenní vzorek roztoku skla. Rovněž bylo stechiometrické sklo  $As_{40}Se_{60}$  podrobeno studii selektivního leptání u čerstvě připravených a temperovaných vrstev a vrstev exponovaných monochromatickým zářením. Byly určeny aktivační energie leptacího procesu.

Teoretická část práce poskytuje dostatečné zázemí pro porozumění a hodnocení dále získaných výsledků. V úvodu je velmi stručně zmíněn základní charakter skelného stavu (do obrázku 1 by bylo vhodné umístit i transformační teplotu), uvedené rovněž stručné informace k dále používaným skelným systémům jsou dostatečné a jsou využívány v další práci. Přehled metod depozice a měření vrstev a metod strukturování je pak značně podrobný a kompletní. Tato část je zpracována velmi dobře a poskytuje čtenáři dobrý základ pro porozumění následující části s výsledky a jejich diskusí i možnost vracet se k podrobnostem metod při

čtení diskuse. To je důležité, neboť počet preparačních, vyhodnocovacích, zpracovatelských metod použitých v práci je značný.

Kapitola výsledky a diskuse a je nejrozsáhlejší částí disertační práce. Vystihuje velmi dobře vhodnost jednotlivých složení skel pro přípravu vrstev, dává informace o změnách jejich vlastností a struktur ve formě vrstev a poskytuje podrobné návody k podmínkám strukturovacích metod. Existuje zde tedy podrobný návod, jak takové vrstvy připravit. Výsledky jsou hojně porovnávány s literaturou. Avšak kapitola výsledky a jejich diskuse se svým charakterem více podobá pouhému popisu výsledků než jejich obecnějšímu významu a diskusi o jejich možné aplikaci. Např. velmi podrobně diskutované chyby měření jako na str. 55-60 i jinde někdy poněkud znesnadní základní směřování textu. Snad by v některých případech pomohla nejprve citace optimálních postupů. Zejména by byla zajímavá podrobnější diskuse kvality připravených mřížek – s odkazem na příslušné sklo a způsob jeho přípravy – pro jejich funkci jako interferenční mřížky případně jako jiná optická součástka. V práci je přitom dost výsledků, které by takové rozšíření dovolovaly. Na druhé straně je nutno ocenit, že oceňování výsledků bylo důsledné a poctivé.

K práci mám pouze několik připomínek nebo spíš dotazů.

Na str. 35 nahoře se píše, že po dislokaci děr vznikne kladně nabitá oblast, která přitahuje kovové ionty, ty jsou však rovněž kladně nabité. Můžete to vysvětlit?

Na str. 82 uvádí text pod obrázkem nesprávně temperovací teplotu T 200 °C místo T 100 °C.

Na str. 91 a dále se popisuje a ukazuje zakulacení vrcholů mřížky. Do jaké míry se nepříznivě projevuje při aplikaci mřížky? Používají se někdy přísady, které sníží povrchové napětí skla?

Na str. 93 se hovoří o poklesu hloubky mřížky při dlouhých embosovacích časech z důvodu poškození skla. Jedná se o důsledek odpařování, jak je poté uváděno jinde? Jaký je obecný význam hloubky mřížky pro její aplikaci?

Str. 94, obrázek 48: Ukazují se a diskutují rezidua skla na substrátu po embosování. Je možno využít např. měkké raznice s mírně zaoblenými vrcholy, které by nejprve sklo vytlačily ze středu a poté by raznice svou deformací vyplnila celé dno a vytlačila zbytek skla?

Str. 103: Jaký je původ děr ve vrstvě  $As_{20}Se_{80}$ ?


Str. 104: Který substrát by byl vhodný, aby se sladily tepelné roztažnosti?

Str. 107 dole: Pokud n-butylamin neodejde z vrstvy a přijde i do lamel mřížky, která má pak větší tloušťku, jak kvalitní mřížka vznikne, když se n-butylamin posléze odpaří?

Selektivní leptání: Snížení rychlosti leptání se sledovalo z důvodu nalezení podmínek pro získání mřížky s přesně předepsanou hloubkou?

Uvedené připomínky a dotazy ovšem nijak nesnižují kvalitu předepsané práce, která dokázala vstřebat a využít nadprůměrné znalosti a zkušenosti svého mateřského pracoviště, stejně jako jeho špičkového vybavení a poskytla přesné a odůvodněné závěry pro přípravu strukturovaných vrstev amorfních halogenidů. Práce splňuje všechna kritéria požadovaná pro doktorskou disertační práci a jednoznačně ji **d o p o r u č u j i** pro přijetí k obhajobě.

V Praze 25. července 2017

  
prof. Ing. Lubomír Němec, DrSc

Doc. Ing. Petr Exnar, CSc.

Katedra chemie

Technická univerzita v Liberci

Studentská 2

461 17 Liberec

**Oponentní posudek**  
**na disertační práci Ing. Jana Bůžka**  
**„Příprava a strukturování tenkých vrstev amorfních chalkogenidů“**

Předložená disertační práce se zabývá přípravou objemových vzorků chalkogenidových skel, následně přípravou tenkých vrstev těchto skel, jejich vlastnostmi a hlavně možnostmi jejich strukturování. Pro charakterizaci připravených vzorků byla použita řada experimentálních technik jako Ramanova spektroskopie, AFM, optické metody a SEM.

Cíle práce nejsou samostatně definovány, jsou však patrné z anotace, závěru a obsahu práce. Jinak je celá práce přehledně uspořádána.

Teoretická část je dobře a přehledně zpracována a je napsána věcně. V experimentální části jsou dobře popsány postupy přípravy vzorků i postupy měření. V kapitole Výsledky a diskuse jsou postupně popsány jak získané výsledky, tak je ihned provedena i jejich diskuze.

Získané výsledky jsou přehledně uspořádány, logicky prezentovány a interpretovány. Diskuze i závěry jsou logické, věcně správné a vycházejí z doložených výsledků. Několik nepřesností je uvedeno dále. Celkový rozsah experimentálních prací je značný.

Po formální a jazykové stránce je práce jako celek velmi dobrá, obsahuje pouze malé množství drobných chyb a nepřesností. Na několika místech je nekorektní vyjadřování číselných hodnot s jednotkami (číslo a jednotka na různých řádcích) nebo překlepy (např. methil ... v anotaci, hydrolizovat na s. 11 apod.).

Konkrétní připomínky k předložené disertační práci:

1. Používání nekorektního organického názvosloví (má být polymethylmethakrylát, ethylendiamin ..)
2. s. 18 Ampule jsou z křemenného skla, ne z křemene, nevím, k čemu se vztahuje teplota 1207 °C. Chladicí teploty křemenného skla (podle kvality a hlavně obsahu OH-skupin) se pohybují kolem 1100 °C, nejsou konstantou a touto teplotou je přibližně dána horní teplota jeho použití. V žádném případě však nelze mluvit o bodu tání u křemenného skla. Bod tání křemene (pokud nestačí přejít na tridymit nebo cristobalit) je 1610 °C, cristobalit má pak bod tání 1723 °C.

3. Tab. 1, s. 56 kde je složení  $As_{20}Se_{80}$  ?

4. Nedostatečný popis u některých obrázků, vysvětlení se lze dopídit až dodatečně v textu (obr. 25-27, 40)

5. s. 101 dvojnásobek teploty je silně zavádějící pojem, pokud není použita teplota v Kelvinech

### **Dotazy**

1. Jaké bylo složení vrstev  $As_{20}Se_{80}$  ?

2. Jaká byla přesnost resp. reprodukovatelnost nastavení tlaku při embosování v obr. 57 ? Nelze tímto způsobem vysvětlit rozptyl a nepravidelnosti výsledků ?

### **Závěr**

Ing. Jan Bůžek prokázal schopnost systematicky vědecky pracovat, orientovat se v odborné problematice, provádět experimenty a jejich výsledky správně interpretovat. Předložená práce obsahuje řadu nových vědeckých poznatků, které mohou být zajímavé i z praktického hlediska. Proto jeho práci doporučuji přijmout k obhajobě.

V Liberci 2.8.2017



Doc. Ing. Petr Exnar, CSc.

# Oponentský posudek disertační práce Ing. Jana Bůžka

**Název práce: Příprava a strukturování tenkých vrstev amorfních chalkogenidů.**

**Školitel: Prof. Ing. Miroslav Vlček, CSc.**

Téma posuzované práce, výzkum tenkých vrstev amorfních chalkogenidů, považuji za významné a vědecky zajímavé a podle mého názoru zapadá do současných světových trendů v oblasti materiálového výzkumu se zaměřením na přípravu tenkých vrstev chalkogenidových skel v systémech As-S, As-Se a GeSe. Téma disertace je součástí dlouhodobého výzkumného programu, který je na školícím pracovišti řešen na vysoké mezinárodně srovnatelné úrovni, což garantuje i odpovídající úroveň posuzované disertační práce.

Samotná disertační práce je zpracována v akceptovatelné formě, i když se v ní vyskytují jisté formální nedostatky a překlepy (např. str. 9). V úvodní části autor prokazuje dobré znalosti vlastní řešené problematiky disertační práce a je schopen ji zasadit do širších souvislostí. Uváděná literatura použitá v disertaci zahrnuje významné a zdroje v této mezioborové problematice. Autor prokazuje dobré znalosti jak materiálové stránky řešené problematiky, tak i související problematiky chemické.

Práce má zřejmý cíl, i když není explicitně v práci definován, ale je zřejmý. Metodika experimentů i použité syntetické postupy jsou dobře popsány a umožňují čtenáři orientaci ve výsledcích. Výsledková část disertace je podle mého názoru jak svým obsahem, tak i rozsahem kvalitní a odpovídá požadavkům kladeným na disertace v oblasti chemie materiálů. Je napsána srozumitelně, je přehledně členěna a diskuse výsledků je adekvátní. Hloubka diskuse výsledků prokazuje, že autor nejen problematice rozumí, ale že má i celkově dobré znalosti jak z oblasti chalkogenidových skel, tak i dobrou úroveň všeobecných chemických znalostí.

Disertace je zaměřena na experiment a syntézy, což je její silná stránka. Popisy experimentů jsou důkladné a vcelku působí věrohodně. Experimentální postupy jsou promyšlené a výsledky vypadají přesvědčivě. Je zřejmé, že práce v presentované podobě nepředstavuje zcela uzavřený celek. Nicméně disertant připravil evidentně kvalitní difrakční mřížky, přitom výsledky byly alespoň zčásti publikovány v časopisech uvedených na WOS a prošly tak mezinárodním oponentním řízením.

Charakterizace materiálů je založena především na mikroskopických (AFM, SEM) a spektroskopických metodách (Ramanova spektroskopie), optické i elektronové. Presentované výsledky prokazují, že autor dobře rozumí možnostem i omezením těchto metod a použil je adekvátně řešeným problémům. Autor použil pro mikroskopickou charakterizaci materiálů velmi kvalitní přístroje, což se projevilo v dobré charakterizaci mřížek.

Použité metody jsou v kombinaci schopné poskytnout komplexní pohled na struktury studovaných vzorků a po korelaci s materiálovými vlastnostmi pochopit parametry, určující finální vlastnosti produktů. Diskuse výsledků je zajímavá a nenašel jsem v ní žádná tvrzení, která by bylo možné zpochybnit.

Mohu konstatovat, že vlivy různých parametrů (chemické složení, podmínky přípravy vrstev, metody tvorby mřížky aj.) představují velmi složitý systém a úplné poznání jednotlivých vlivů na kvalitu mřížky jistě není možné v rámci jedné disertační práce. Získané výsledky jsou však zajímavé, představují jednoznačný příspěvek k jejich poznání a jsou vcelku zajímavé. Z mého hlediska je sympatické, že autor se nesnaží existující problémy a negativní výsledky zastírat a hodnotí své výsledky kriticky a realisticky.

Dotazy:

1. Jaký je rozsah rozměrů mřížek (zejména jejich hloubky) které lze připravit pomocí použitých postupů.
2. Jaká je dlouhodobá stabilita mřížek a k jakým změnám dochází v průběhu dlouhodobého skladování, případně tepelného namáhání.
3. Není možné další zlepšení vlastností mřížek ve vícesložkových systémech vzniklých kombinací prvků (As-S-Se-Ge)?
4. Co vlastně přesně vidíme na obrázku 61, jaká je chemická povaha pozorovaných defektů?

Jako celek hodnotím práci jako kvalitní. Negativní připomínky k ní nemám. Pozitivně hodnotím i dosavadní publikační aktivitu disertanta, pět citací vyšlých publikací na WOS v kvalitních mezinárodních časopisech považuji za publikační aktivitu odpovídající požadavkům na udělení titulu PhD. Předpokládám i vznik dalších publikací na základě výsledků uvedených v této disertaci.

**Závěrem proto konstatuji, že podle mého názoru Ing. Jan Bůžek splnil všechny požadavky vyžadované pro udělení titulu PhD příslušnými zákony. Doporučuji proto, aby práce byla k obhajobě přijata.**

V Řeži 1. 8. 2017



Ing. Jan Šubrt, CSc.