

Oponentský posudek na doktorskou disertační práci

Ing. Šárka Batková

Deposition of functional thin-film materials by advanced sputtering techniques

Předložená práce Ing. Šárky Batkové se převážně zabývá přípravou a charakterizací tenkých vrstev oxidových a nitridových materiálů připravených magnetronovým naprašováním, konkrétně metodou HiPIMS. Základní výzkum možností využití depozičních systémů založených na vysoko výkonovém pulzním buzení magnetronového typu výboje pro depozice tenkých vrstev pro specifické aplikace v energeticky udržitelném průmyslu je v dnešní době perspektivní a velmi žádaný. Lze konstatovat, že hlubší výzkum těchto depozičních systémů slouží k lepšímu pochopení procesů odehrávajících se v pulzním magnetronovém plazmatu, ale také k nalezení vhodných a optimalizovaných podmínek pro přípravu funkčních tenkých vrstev. Z výše uvedených důvodů lze považovat téma a cíle disertační práce v dnešní době za velmi aktuální a získané výsledky za přínosné pro odbornou komunitu. Základem disertační práce je soubor 4 impaktovaných publikací, na kterých se doktorandka výraznou měrou podílela. Přínos studentky spočíval v přípravě a provedení experimentů, analýze deponovaných vrstev. V neposlední řadě je třeba také ocenit výrazný přínos na sepisování manuskriptů výše zmíněných publikací.

Práce je rozdělena do 3 hlavních kapitol, závěru a seznamu dalších autorčiných publikací a prezentací na odborných konferencích. V úvodní kapitole Ing. Batková stručně, ale výstižně popisuje základní východiska pro svou výzkumnou práci. Čtenář je seznámen s principem fotokatalytického rozkladu vody s využitím polovodičových materiálů, s teorií plazmatického naprašování tenkých vrstev s důrazem na aplikace HiPIMS a nakonec i s metodou vytváření nanočástic pomocí plynových agregačních systémů. Jako klíčová experimentální metoda celé disertační práce je optimalizace depozičního procesu polovodičových tenkých v reaktivním HiPIMS systému, na němž se doktorandka aktivně podílela. Vzhledem k velmi dobré publikační aktivitě Ing. Batkové je samotná práce prezentována separáty 4 klíčových publikací, jejichž výsledky jsou shrnuté v abstraktu disertační práce a pak ještě rozvedeny v závěrečné kapitole předložené práce.

Bez pochyby disertační práce svým tématem patří do experimentální fyziky. Můžu konstatovat, že práce je velmi pečlivě a srozumitelně sepsaná. Dle mého názoru autorka připravila disertační práci po stylistické a grafické stránce na vysoké úrovni bez zásadních chyb. Mimochodem po přečtení práce jsem našel jen jednu nepřesnost v textu. Jedná se o kapitolu s názvem „Resumé česky“ v odstavci A, kde se píše, že připravené optimalizované vrstvy Ta-

O-N dosahují nízké elektrické vodivosti 0,4 Ω cm. Nicméně správně má být nízké rezistivity, jak je správně uvedeno v anglické mutaci této kapitoly. Závěrem považuji předloženou disertační práci po obsahové stránce za vynikající. Přesto bych byl rád, kdyby se doktorandka během obhajoby mohla vyjádřit k následujícím komentářům a dotazům:

- Na str. 12 autorka mluví o elektrolýze vody jako konkurenční metodě k fotokatalytickému rozkladu vody. Mohla by tedy porovnat účinnosti obou metod a srovnat výhody a nevýhody obou metod výroby vodíku?
- Na str. 22 na obr. 5 je vyobrazena relativní změna odporu WO_3 senzoru při změně koncentrace vodíku. Proč je pro velké množství CuO nanočástic relativní změna >1 a pro jiné množství CuO nanočástic na povrchu WO_3 je relativní změna <1 ?
- Na str. 22 autorka plánuje využít nanočástice v kombinaci s Ta-O-N tenkými vrstvami. O jaké nanočástice se bude jednat? Jaké konkrétní vlastnosti Ta-O-N vrstev se tímto způsobemlepší, aby se zvýšila efektivita produkce vodíku při fotokatalytickém rozkladu vody?
- V publikaci A na str. 36 je diskutována rezistivita žíhaných tenkých vrstev v závislosti na složení tenké vrstvy. Autoři publikace mluví o vlivu velikosti zakázaného pásu a pohyblivosti nosičů náboje. Jaký vliv a jakou roli v tomto případě může mít zvýšená koncentrace nosičů náboje, která významně ovlivňuje vodivost polovodičů?

Celkově je doktorandka autorkou či spoluautorkou 5 impaktovaných publikací a podílela se na velkém množství prezentací výsledků výzkumu převážně na mezinárodních konferencích. Jsem tedy přesvědčen, že doktorandka jasně prokázala schopnost nejen vlastní tvůrčí vědecké práce na poli výzkumu plazmatické depozice funkčních tenkých vrstev, ale je také schopna na vysoké úrovni dosažené výsledky prezentovat v impaktovaných časopisech a mezinárodních konferencích.

Předložená práce podle mého názoru splňuje požadavky na doktorskou disertační práci. Autorka prokázala schopnost samostatné vědecké práce a proto doporučuji předloženou disertační práci k obhajobě.

Doporučení disertační práce k obhajobě. **ANO – NE**

V Praze dne 24. listopadu 2021

Mgr. Martin Čada, Ph.D.

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Ing. Šárka Batková

„Depozice funkčních tenkovrstvých materiálů pomocí pokročilých naprašovacích technik“

Předložená disertační práce Ing. Šárky Batkové se zabývá problematikou a možnostmi využití technologií založených na magnetronovém naprašování pro přípravu pokročilých tenkovrstvých a nanostrukturovaných materiálů. V rámci své disertační práce se disertantka věnovala podrobně problematice přípravy a následné charakterizaci tenkých vrstev oxynitridů tantalu a CrN nanášených pomocí vysokovýkonového pulsního magnetronového naprašování, a možnosti kontrolované přípravy nanočástic Cu pomocí plynového agregačního zdroje, který využíval magnetronové rozprašování jako primární zdroj materiálu pro produkci nanočástic. U všech výše zmíněných materiálů je možné konstatovat, že se jedná o materiály velmi perspektivní a aplikačně zajímavé (generace vodíku, ochranné vrstvy, senzory plynů...), přičemž nalezení vztahů mezi depozičními parametry a výslednými vlastnostmi připravovaných materiálů je zásadní pro další rozvoj v této oblasti.

Vlastní práce je souborem čtyř uveřejněných vědeckých prací, publikovaných v kvalitních recenzovaných mezinárodních časopisech během doktorandského studia disertantky, na kterých je uchazečka uvedena jako první autor ve dvou případech. Vybrané práce byly přitom již 20krát citovány (WoS k datu 30/11/2021), což svědčí o aktuálnosti řešené problematiky i o originalitě dosažených výsledků. Soubor publikací, který tvoří vlastní výsledkovou část, je dále doplněn anglicky psaným uvozujícím komentářem, ve kterém jsou stručně, ale výstižně popsány základní pojmy, principy a postupy využívané v rámci předkládané práce. Tento úvodní komentář, doplněný o relevantní obrázky a reference, tak představuje srozumitelného průvodce po technologicky a experimentálně náročné problematice. Z mého pohledu je poněkud škoda, že se disertanta nepokusila již v úvodním komentáři shrnout zásadní výsledky dosažené během práce v kontextu předešlých prací, což by dle mého názoru zvýraznilo důležitost a novost dosažených výsledků.

Vzhledem k tomu, že výsledková část je tvořena již vyšlými publikacemi, které prošly recenzním řízením, kvalitu dosažených výsledků není třeba diskutovat. Z předkládaných prací, i z již výše uvedeného citačního ohlasu, je patrné, že pro své studium disertantka používala odpovídající metodiku a postupy, přičemž k dané problematice přistupovala precizně a s vysokou mírou odborných znalostí. I přes to, že všechny výsledky prošly recenzním řízením, i s přihlédnutím k formě práce, mám následující doplňující dotazy:

1. V závěru práce A je uvedeno, že dalším možným parametrem pro ladění vlastností vrstev TaON je teplota substrátu během depozice.
 - a. Jaká byla teplota substrátu během depozic prováděných v publikaci A?
 - b. Jaký vliv změny teploty substrátu během depozice na výsledné vlastnosti nanášených vrstev je očekáván?
2. V práci D je studován vliv operačních parametrů na růst Cu nanočástic v agregačním zdroji. Jako zásadní parametr, který ovlivňuje velikost produkovaných nanočástic je

uváděn residenční čas nanočástic v agregační komoře, který dle výsledků je v dané konfiguraci zdroje závislý jen na podílu tlaku a proudu pracovního plynu.

- a. Mohla by disertantka komentovat dosažené výsledky, zejména tvorbu relativně velkých nanočástic při malých velikostech výstupní štěrbiny a vysokém tlaku, s přihlédnutím k možnosti záchytu rostoucích částic v blízkosti magnetronu (viz. nedávné studie Kousal et al., 10.1039/c8nr06155f a Shelemin et al., 10.1002/ppsc.201900436)?
 - b. V obecném úvodu je zmiňována role teploty pro tvorbu nanočástic. Není možné, že s měnícím se tlakem dochází i k jinému ohřevu plazmatu?
 - c. Na SEM obrázcích je vidět změna nejen velikosti, ale i tvaru nanočástic. Jsou produkovány nanočástice amorfní či krystalické?
3. Vzhledem k formě disertační práce bych byl rád, aby disertantka uvedla, co považuje za svůj nejdůležitější přínos pro publikované články a proč.

Závěrem lze říci, že práce splňuje požadavky kladené na disertační práci v daném oboru a disertantka prokázala schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. **Na základě těchto faktů doporučuji disertační práci Ing. Šárky Batkové k obhajobě. V případě její úspěšné obhajoby doporučuji udělit doktorandce titul Ph.D. ve smyslu příslušného zákona.**

V Praze 1/12/2021 doc. RNDr. Ondřej Kylián, Ph.D.