

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> posudek vedoucího | <input checked="" type="checkbox"/> posudek oponenta |
| <input type="checkbox"/> bakalářské práce  | <input checked="" type="checkbox"/> diplomové práce  |

Autor: **Bc. Dejan Prokop**

Název práce: **Study of optical properties of thin multi-layers based on black metals**

Studijní program a obor: **Fyzika / Fyzika kondenzovaných soustav a materiálů**

Rok odevzdání: **2024**

Jméno a tituly oponenta: **doc. RNDr. Ondřej Kylián, Ph.D.**

Pracoviště: **Katedra makromolekulární fyziky, MFF UK**

Kontaktní e-mail: **ondrej.kylian@matfyz.cuni.cz**

## Odborná úroveň práce:

- vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Věcné chyby:

- téměř žádné  vzhledem k rozsahu přiměřený počet  méně podstatné četné  závažné

## Výsledky:

- originální  původní i převzaté  netriviální kompilace  citované z literatury  opsané

## Rozsah práce:

- veliký  standardní  dostatečný  nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Tiskové chyby:

- téměř žádné  vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet  četné

## Celková úroveň práce:

- vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/oponenta:

Diplomová práce **Bc. Dejana Prokopa** je zaměřena na vývoj a charakterizaci vysoce porézních vrstev a multivrstev černých kovů s důrazem zejména na jejich optické vlastnosti. Studované černé kovy v současné době představují atraktivní kategorii nanomateriálů, a to zejména s ohledem na šíři jejich možných aplikací ve fotovoltice, optickém snímání/zobrazování, pro detekci plynů, či jako antireflexních povlaků. Jedním z intenzivně studovaných aspektů černých kovů je vývoj nových depozičních technik zaručujících jak jejich efektivní produkci, tak i dosažení požadovaných funkčních vlastností. Tento aspekt je studován v předkládané práci na několika typech materiálu – černém hliníku, titanu, trioxidu wolframu s a bez dopování fosforem, i vícevrstevnatých materiálu na bázi černých kovů.

Po **formální stránce** předkládaná práce plně splňuje nároky na diplomovou práci. Skládá se z několika kapitol, ve kterých diplomant nejprve stručně představuje problematiku černých kovů a definuje cíle práce (*Introduction*), zavádí základní pojmy používané v rámci své práce (*kapitola 1*), a detailně popisuje použité depoziční a charakterizační techniky (*kapitoly 2 a 3*). Vlastní výsledky včetně jejich diskuse jsou uvedeny v *kapitole 4* a následně stručně shrnuty v kapitole *Conclusion*. Vlastní text je doplněn přehlednými a dobře vybranými obrázky, tabulkami i 169 referencemi na odborné články, což svědčí o dobré práci diplomanta s literaturou. Práce je psána v anglické jazyce, je čtivá a přehledná, přičemž obsahuje vzhledem k rozsahu zanedbatelné množství chyb či překlepů (včetně úsměvného překlepu přímo v českém názvu a tématu diplomové práce v SISu, či například zjevné prohození popisků obrázků obsahujících C-W a W-H ploty na obrázku 4.19, pozdější citace obrázku 4.29 v textu než citace obrázků 4.30-4.33). Z hlediska přehlednosti bych jen uvítal jiné značení studovaných vzorků, tak aby čtenář přímo z jejich označení věděl, o který vzorek se jedná. Například vzorky B-Al 01 až B-Al 08, které se liší svou tloušťkou, jsou číslovány pravděpodobně podle pořadí jejich přípravy. Nicméně toto pořadí neodpovídá jejich tloušťkám, což poněkud ztěžuje orientaci v diskutovaných výsledcích.

Co se týká **odborné stránky** předkládané práce, ta obsahuje velice zajímavé a originální výsledky týkající se přípravy různých typů nanomateriálů pomocí nízkotlakých metod (magnetronové naprašování v případě Al a Ti, pulsní laserová depoziční v případě materiálu na bázi WO<sub>3</sub>, popřípadě jejich kombinace v případě vícevrstevnatých povlaků). U všech typů studovaných materiálu je provedena jejich zevrubná charakterizace zaměřená na určení vlivu depozičních podmínek na jejich výsledné vlastnosti. To představuje zásadní krok pro možnou optimalizaci funkčních vlastností studovaných nanomateriálů, včetně jejich reflexivity, termochromního chování či fotoluminiscence. Jako z mého pohledu nejzajímavější výsledky bych zmínil prokázání vlivu substrátu na růst vrstev černého hliníku, popsání možnosti ladit texturu černého titanu pomocí připouštění dusíku či možnost přípravy porézních vrstev oxidu wolframu. Z tohoto úhlu pohledu mi přijde škoda, že se diplomant nepokusil v diskusi více zasadit své výsledky do kontextu současného stavu poznání v této oblasti, což by jistě zvýraznilo vysokou originalitu prováděného výzkumu.

Závěrem a na základě výše řečeného mohu konstatovat, že Bc. Dejan Prokop prokázal nejen praktické i teoretické znalosti v oblasti vakuové přípravy černých kovů a jejich charakterizace s ohledem na morfologii, strukturu a optické vlastnosti, ale i schopnost analyzovat a interpretovat původní experimentální výsledky na vysoké úrovni. **Práci hodnotím jako výbornou a doporučuji ji k obhajobě.**

## Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

### Poznámky k práci, kdy není nutná odpověď diplomanta během obhajoby:

1. Během přípravy vrstev černého titanu byl jakožto optimalizační parametr vybrán poměr argonu a dusíku v pracovní směsi. Nicméně během vlastní depozice byl měněn nejen tento poměr, ale i magnetronový proud a dodávaný výkon. Vhodnější by bylo jeden z těchto parametrů držet konstantní pro všechny depozici.
2. Není jasný význam srovnání depozičních rychlostí černého Al a Ti. Při těchto depozicích jsou, kromě odprašovaného materiálu, zásadně jiné i depoziční parametry, a tudíž srovnání depozičních rychlostí z mého pohledu nedává žádný hlubší smysl.
3. U uváděných histogramů by bylo vhodnější použít pro všechny stejný rozsah u osy X pro snadnější srovnání distribuce velikosti zrn.
4. Na základě analýzy velikostí zrn ve vzorcích černého hliníku v závislosti na celkové tloušťce vrstvy bylo ověřeno, že platí mezi těmito kvantitami mocinný škálovací vztah. V tomto případě je obvyklejší vynášet hodnoty velikosti zrn a tloušťky vrstev v log-log škále.
5. Diplomant uvádí na str. 97, že pro nižší depoziční tlak použitý pro přípravu černého titanu je zřetelný trend poklesu velikosti krystalitů s rostoucím poměrem dusíku vůči argonu v pracovní směsi. Vzhledem k výsledkům v tabulce 4.10 je toto tvrzení odvážné.

### Otázky při obhajobě:

1. Výsledky shrnuté v předložené diplomové práci byly získány pomocí široké škály depozičních a charakterizačních metod na různých pracovištích, včetně zahraničních. Mohl by diplomat stručně shrnout svůj podíl na těchto experimentech?
2. Z textu není zřejmé, zda vzorky uváděné v levé části obrázků 4.11 a 4.12 (černý hliník deponovaný na tavený oxid křemičitý) jsou převzaty z předchozích prací, či zda se jedná o nově připravené vzorky. Prosím diplomanta o doplnění této informace.
3. Škálovací koeficient určený ze SEM obrázků odpovídá určitému mechanismu růstu vrstev. Je možné na základě určeného škálovacího koeficientu říci o jaký mechanismus růstu se v případě černého hliníku jedná?
4. Hliník i titan velmi rychle vytvářejí na svém povrchu oxidovou vrstvu. Byly pozorovány nějaké změny vlastností připravovaných vrstev s časem po depozici?
5. V textu je zmíněno (například během diskuse optických vlastností černého hliníku na str. 92), že porozita vrstev se mění směrem od substrátu k jejich povrchu. Byl tento předpoklad ověřen například pomocí SEM obrázků lomu některého z připravených vzorků?
6. V případě termochromních WO<sub>3</sub> vrstev připravovaných za pokojové teploty dochází během jejich ohřevu k nevratným změnám jejich optických vlastností. Toto je vysvětlováno pravděpodobnými změnami ve struktuře WO<sub>3</sub> vrstev vyvolaných zvýšenou teplotou. Bylo by tento předpoklad možné experimentálně ověřit?

### Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

### Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/oponenta: V Praze, 30/8/2024 O.Kylián