

## Oponentní posudek disertační práce

**Uchazeč: Mgr. Jindřich Oulehla**

**Název disertační práce: Návrh, technologie deposice a charakterizace optických tenkých vrstev pro speciální aplikace**

**Oponent: RNDr. Martin Kozák, Ph.D.**

**Pracoviště opozenta: Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta**

*Oponent se v posudku vyjádří dle Studijního a zkušebního řádu VUT zejména:*

- a) k aktuálnosti tématu disertační práce,*
  - b) zda disertační práce splnila stanovený cíl,*
  - c) k postupu řešení problému a k výsledkům disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda,*
  - d) k významu pro praxi nebo rozvoj oboru,*
  - e) k formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni,*
  - f) zda disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona,*
  - g) zda student prokázal nebo neprokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru. Bez tohoto závěru je posudek neplatný.*
- Ke každému z níže uvedených bodů je nutno doplnit stručný komentář.*

### Ad a) Aktuálnost tématu disertační práce

Téma disertační práce je velmi aktuální.

Komentář:

Téma práce, tedy technologie deposice tenkých optických vrstev pro nejrůznější aplikace, je velice aktuální. Podobné vrstvy se využívají jak ve specializovaných aplikacích, tak v každodenním životě, například jako antireflexní povrchy nejrůznějších povrchů.

### Ad b) Splnění stanoveného cíle disertační práce

Cíl disertační práce byl splněn.

Komentář:

Autor si v práci kladl za cíl hledat nové postupy v oblasti depozice tenkých vrstev pro speciální aplikace. Po prostudování práce jsem ovšem spíše nabyl dojmu, že pomocí již zavedených výrobních postupů připravoval optické tenké vrstvy s cílem dosáhnout co nejlepších vlastností pro specifické aplikace, jako jsou absorpční kyvety či přístroj pro měření vzdáleností s vysokou přesností založený na optické interferometrii. Celkově bych ovšem řekl, že cíle práce byly jednoznačně splněny.

#### **Ad c) Postup řešení problému a výsledky disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda**

Postup řešení problému a výsledky disertační práce jsou průměrné.

Komentář:

Co se týče konkrétního přínosu doktoranda, podílel se na návrhu, depozici a charakterizaci optických tenkých vrstev pro různé aplikace.

Dovolil bych si zde ovšem uvést několik kritických poznámek k disertační práci. Celkově je disertační práce poměrně krátkým textem, který jak jsem pochopil tvoří úvod k publikovaným článkům. Nicméně, jako takový by měl stále čtenáři poskytovat dostatek informací o činnostech vykonávaných v rámci práce. Z tohoto hlediska mi v práci například úplně chybí detailnější popis metod, které byly použity k řešení inverzní úlohy, tedy návrhu vlastností multivrstev pro dosažení požadované odrazivosti/propustnosti. V práci je pouze ve třetím odstavci kapitoly 1.2 zmíněno, že autor se podílel na návrhu, depozici a charakterizaci prvků, ale téma návrhu multivrstev není v žádné další části práce dále zmíněno. Autor také dle mého názoru nedostatečně popisuje některé experimenty, kde bych jako příklad uvedl měření prahu poškození laserem. V této části autor podrobuje testování dva vzorky s označením H0818 a H0331, o nichž ovšem v práci neuvádí žádné bližší informace. Dále zde autor používá nejednoznačné označení poloměru svazku, kde neuvádí, jestli se jedná o poloměr svazku při poklesu intenzity na  $1/e^2$  nebo na 0,5 maximální hodnoty. Dále není dostatečně popsána procedura, která byla použita ke stanovení hodnot PASS nebo FAIL v těchto měřeních (předpokládám, že se tak dělo na základě zobrazování odraženého svazku He-Ne laseru, ale jaká byla kritéria pro stanovení, jestli došlo nebo nedošlo k poškození?).

#### **Ad d) Význam pro praxi nebo rozvoj oboru**

Význam pro praxi nebo rozvoj oboru je průměrný.

Komentář:

Práce se zabývá zejména využitím již etablovaných metod depozice tenkých vrstev k jejich přípravě a optimalizaci jejich funkčnosti v různých aplikacích, z nichž autor uvádí v práci tři konkrétní příklady. Z hlediska přínosu pro praxi lze zmínit zejména sestavení experimentálního uspořádání pro měření prahu poškození laserovým zářením za kryogenních teplot a studium ovlivnění optických vlastností tenkých vrstev v důsledku žíhání za vysokých teplot, vystavení parám jódu a osvitů vysokoenergetickými elektrony a protony. Zde bych ovšem autorovi vytkl chybějící údaje o vlastnostech elektronového a protonového svazku (energie, objemová hustota energie deponované do vzorku), jimiž byly zkoumané vzorky ozářeny. Dalšími oblastmi popsanými v práci jsou příprava tenkých vrstev pro optický kalibrační snímač a příprava tenkých vrstev pro transparentní fotodetektor. Není mi ovšem úplně jasné, zda některé z připravovaných multivrstev mají nějaké speciální vlastnosti, které by je odlišovaly od standardních multivrstev hojně využívaných v současných optických prvcích (prosím o objasnění během obhajoby).

#### **Ad e) Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň**

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň je průměrné.

Komentář:

Za nejvýznamnější formální nedostatek předložené práce považuji její abstrakt, který čtenáři neposkytuje téměř žádnou informaci o tom, co bylo předmětem výzkumu v rámci této práce. Abstrakt je spíše historickým úvodem, který by měl zaujímat místo v úvodní kapitole práce. Dalším drobným formálním nedostatkem je použití různých fontů pro popisy obrázků a tabulek v různých částech práce. Práce jinak obsahuje relativně malé množství překlepů a její formální úroveň je průměrná.

#### **Ad f) Disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona**

Disertační práce podmínky uvedené v § 47 odst. 4\*) zákona č. 111/1998 sb. o vysokých školách splňuje.

*(\*4) Studium se řádně ukončuje státní doktorskou zkouškou a obhajobou disertační práce, kterými se prokazuje schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje nebo k samostatné teoretické a tvůrčí umělecké činnosti. Disertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění.*

**Ad g) Prokázání tvůrčí schopnosti studenta v dané oblasti výzkumu a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.**

Doktorand prokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.

Komentář:

Dle mého názoru uchazeč během svého studia jednoznačně prokázal, že je schopen samostatné vědecké práce, která vedla k několika zajímavým aplikacím optických tenkých vrstev.

Celkové hodnocení:

V dizertační práci s názvem „Návrh, technologie depozice a charakterizace optických tenkých vrstev pro speciální aplikace“ se její autor Mgr. Jindřich Oulehla zabývá aplikovaným výzkumem v oblasti optických tenkých vrstev s definovanou odrazivostí a propustností světla. Práce sestává z hlavní části o délce 32 stran textu a příloh, jimiž jsou autorovo CV, publikace v impaktovaných časopisech se spoluautorstvím Mgr. Oulehly a užitný vzor „Integrovaný laserový snímač délky pro kontaktní měření“. Hlavní část práce je členěná do 5 kapitol. Po úvodní kapitole představující studované téma se v kapitole 2 autor věnuje popisu optických vlastností tenkých vrstev a technologie jejich depozice. Kapitoly 3 a 4 popisují vlastní autorovu experimentální činnost a výsledky získané v rámci práce. Kapitola 3 pojednává o experimentálním studiu prahu poškození optických vzorků laserovým zářením a v kapitole 4 jsou shrnuty aplikace tenkých vrstev deponovaných autorem v rámci práce. V poslední kapitole jsou stručně shrnuty dosažené výsledky.

Během svého doktorského studia se Mgr. Oulehla stal spoluautorem celkem 6 publikací v impaktovaných časopisech, přičemž u jednoho článku je prvním autorem a jeden z článků vyšel v prestižním časopisu Light-science & applications. Dále uvádí celkem 11 konferenčních příspěvků, přičemž prvním (předpokládám, že prezentujícím) autorem je u 5 z nich. Zde pouze postrádám informaci o typu konferenčního příspěvku (poster nebo přednáška). Dalším významným výsledkem je spoluautorství na užitém vzoru popisujícím konstrukci integrovaného laserového snímače délky s nanometrovým rozlišením posuvu. Tyto originální výsledky svědčí o schopnosti autora zapojit se do výzkumného kolektivu. Nižší počet prvoautorských impaktovaných článků byl pravděpodobně způsoben tématem, díky kterému se autor věnoval primárně přípravě optických tenkých vrstev pro různé aplikace, které následně vedly k publikacím. Autor také během svého doktorského studia absolvoval zahraniční stáž o délce 3 měsíců, nicméně její popis v práci je natolik stručný, že bez vyhledávání ve veřejných zdrojích není ani možné říci, v jaké pobyt proběhl zemi.

Shrnu-li hodnocení práce, je z ní patrné značné množství práce, které doktorand během svého studia odvedl. Nicméně, v disertační práci bych očekával větší důraz na detaily při popisu jednotlivých částí práce. Celkově lze ovšem říci, že práce splňuje nároky kladené na tento typ prací a proto ji doporučuji k obhajobě.

Otázky oponenta:

1) Jaká metoda byla použita k návrhu multivrstev připravených a zkoumaných v rámci této práce? Byl k této činnosti využit nějaký komerční software?

2) Jaký byl příčný profil laserového svazku používaného v LIDT měřeních? Má autor k dispozici obrázek svazku z místa, kde byl umístěn vzorek? Svazky z Nd:YAG laserů typicky nemají dokonalý Gaussovský profil, což mohlo vést k eliptickému tvaru poškozených oblastí na obrázku 3-2?

3) Autor uvádí rovnici, pomocí níž navrhuje popsat poškození vzorku v důsledku tepla generovaného absorpcí světla v inkluzi uvnitř zkoumaného materiálu. Nicméně, ve vzorci se vyskytuje veličina  $r$ , která patrně odpovídá vzdálenosti od inkluze (tato informace v práci chybí) a rovnice tedy vykazuje sférickou symetrii. Je skutečně možné tuto rovnici aplikovat i na velmi tenké vrstvy, kde se tepelná vodivost i kapacita mění jako funkce jedné souřadnice a vrstvy mají tloušťky pouhých několik set nanometrů? Prosim o diskuzi platnosti aproximace sférické symetrie v případě tenkých vrstev.

4) V souvislosti s předchozí otázkou bych se zeptal, jestli u multivrstev připravených metodami PIAD a e-beam převládají vnější (inkluzie, jiné defekty) nebo vnitřní (vícefotonová ionizace, lavinová ionizace) mechanismy poškození laserovým zářením?

5) Na obrázku 4-4 je zobrazen signál měřený transparentním fotodetektozem uvnitř optického rezonátoru se stojatou optickou vlnou. Nicméně, na ose  $x$  je namísto vzdálenosti, která by odpovídala posuvu detektoru, zobrazen čas. Tento obrázek není příliš detailně popsán, autor se pouze odkazuje na jinou disertační práci (ref. 16). Předpokládám-li, že detektor se pohyboval konstantní rychlostí a proto vzdálenost škáluje lineárně s časem, čím je způsoben fakt, že se perioda stojaté vlny v průběhu měření mění (na začátku je kratší než na konci)?

6) Z jakého důvodu je v aplikaci optického kalibračního délkového snímače používán sférický odražeč namísto koutového odražeče? Jaké jsou rozdíly a hlavní výhody sférického odražeče?

7) V části popisující technologii absorpčních kyvet autor zmiňuje, že při průchodu světla okénky dochází k Fresnelovským ztrátám díky vícenásobným odrazům na rozhraních, které lze potlačit nanesením antireflexních vrstev. Dalo by se těmto ztrátám předejít i jiným způsobem (např. úhlem natočení okének vzhledem k příchozímu svazku)?

8) Na straně 30 autor popisuje, že na základě spektrálních vlastností byly vybrány čtyři vzorky, které byly odeslány do DLR k osvětlení protony a elektrony. Jaké byly parametry osvětlení (energie částic, celková hustota energie deponovaná do vzorků)? Jaká byla homogenita celé sady vzorků (rozdíly mezi jednotlivými vzorky) co se týče spekter propustnosti?

[Empty rectangular box]

Disertační práci k obhajobě doporučuji nedoporučuji.

Dne: 12.12.2022

Podpis: .....  .....