

Oponentní posudek dizertační práce pana Mgr. Milana Valy
Complex diffractive structures for surface plasmon resonance sensors

Školitel: Prof. Ing. Jiří Homola, CSc., DSc., ÚFE AV ČR, v.v.i.

Tématem předložené dizertační práce je perspektivní problematika optických senzorů na bázi rezonančního jevu povrchových plazmonů (SPR), s využitím komplexních difrakčních struktur, zejména typu 1D a 2D difrakčních mřížek různých typů a uspořádání. Takovéto SPR senzory nalézají stále více aplikací při monitorování změn indexu lomu, zejména pro biologickou a chemickou charakterizaci látek a materiálů. Práce se věnuje zejména technologickému a experimentálnímu studiu takovýchto senzorů, za podpory teoretických simulací difrakčních struktur. Jedná se bezesporu o perspektivní a vědecky aktuální problematiku; nové SPR senzory nalézají a mohou nalézt řadu praktických uplatnění. V současné době navíc potřeba aplikací založených na SPR principu, podporovaná mj. zejména požadavky výzkumu biologického, chemického a lékařského, nadále narůstá. Pro vlastní práci byl vybrán jako perspektivní přístup pomocí difrakčních mřížek, respektive komplexnějších difrakčních struktur, pozornost je přitom věnována originálním oblastem využití takovýchto mřížek, jakožto mřížkových vazebních členů.

Posuzovaná dizertační práce byla napsána formou komentovaného souboru přiložených publikovaných prací. Úvodní část má 46 stran, obsahuje 24 obrázků, odkazů na literaturu je uvedeno úctyhodných 129. Přiložený soubor dizertantových publikací se skládá z 9 položek: 1 kapitola v knize, 6 článků v prestižních publikacích s IF (4× první autor, 2× druhý autor, 2× Sensors and Actuators B, 2× Biosensors & Bioelectronics, 2× Optics Express) a dále 2 sbornících v SPIE Proceedings. Vlastní komentovaný text do sedmi hlavních kapitol, včetně podrobného úvodu do problematiky, závěru, přehledu literatury, seznamu použitých zkratk a seznamu přiložených publikací formou dodatku (9 publikací autora). První úvodní kapitola práce se věnuje úvodu do studované problematiky, základům fyziky povrchových plazmonů, možnostem jejich excitace pomocí hranolové a mřížkové techniky. Dále je pozornost věnována úvodu do senzorů založených na rezonancích povrchových plazmonů (SPR senzory), základům jejich instrumentace a tzv. afinitním SPR biosenzorům. V závěru první kapitoly je krátce komentována autorova zkušenost s numerickými simulacemi difrakčních struktur pomocí vhodných numerických metod, rigorózní metody vázaných vln (RCWA) a integrální metody.

Na základě tohoto úvodu do problematiky jsou ve druhé kapitole stanoveny cíle vlastní dizertační práce, tedy analýza komplexních difrakčních struktur, příprava a charakterizace vybraných vhodných difrakčních struktur s využitím nových, originálních technologií a vyvinutí a otestování SPR senzorových platform na základě realizovaných difrakčních struktur. Poté následuje ve třetí kapitole hlavní část komentáře, přehled dosažených výsledků. Ty jsou strukturovány do 3 hlavních oblastí, (1) experimentální realizace periodických plazmonických nanostruktur, pomocí originálních metod dvou a vícesvazkové interference, (2) výzkum kompaktních SPR biosenzorů, založených na difrakčních mřížkových vazebních členech, s proměnlivým úhlem, respektive vlnovou délkou, (3) výzkum SPR biosenzorů, založených na povrchových plazmonech dalekého a krátkého dosahu, jak současně využívaných, tak pro speciální aplikace (buněčná odezva osmotického tlaku, citlivá detekce bakteriálního analytu). Všechny tyto části komentují vlastní detailnější studie publikované v přiložených časopiseckých článcích. Vlastní text komentáře je uzavřen shrnujícím závěrem, přehledem použité literatury, seznamem použitých zkratk, následují vlastní dodatky (9 vybraných dizertantových publikací).

Po formální stránce je práce zpracována na standardní velmi pěkné grafické úrovni, text je psán stručně, se snahou o přesné a srozumitelné vyjadřování. Co se týče formální i stylistické úrovně anglického jazyka, v němž je práce napsána, pokud mohu posoudit, je na velmi solidní úrovni, překlepů a formálních chyb práce obsahuje malé množství, jsou navíc nepodstatného, drobného charakteru. Využití obrázků, grafů a tabulek je také adekvátní a efektivní. Dle mého názoru je struktura vlastní práce zvolena vhodně, s jasnými dopady na konkrétní výsledky. Pokud se týká terminologie, nenašel jsem žádné problematické či nesprávné použití, snahou autora je nově používané termíny dobře definovat a v daném kontextu vysvětlit.

Z odborného hlediska považuji práci za jednoznačně přínosnou a velmi užitečnou pro další výzkum, úroveň prezentované dizertační práce je vysoká. Jsem dále přesvědčen, že výsledky mohou být velmi významné pro rozšíření praktických aplikací komplexních difrakčních struktur v rámci SPR biosenzorů. V oblasti experimentální považuji za hlavní přínos zavedení a autorovo zvládnutí *originální metody záznamu pomocí laserové litografie*, v širším kontextu zvládnutí řady technologických i charakterizačních technik a jejich

aplikací pro studované struktury a senzory. Dizertant tak dle mého názoru zvládl danou problematiku v celé šíři je schopen další vlastní tvůrčí vědecké práce.

Tato předložená dizertační práce přináší pochopitelně celou řadu podnětů a dotazů pro diskuzi, zde bych si dovolil následující dotazy, k některým vybraným (podle časových možností při obhajobě) by se pak mohl dizertant v rámci obhajoby vyjádřit.

- 1) Mohl by dizertant vysvětlit rozdíly, výhody a nevýhody využití plazmonů dlouhého a krátkého dosahu pro SPR senzory?
- 2) Dále by mne zajímal komentář k přibližnému vztahu (1.7) (uveden na s. 10 textu komentáře) pro určení změny konstanty šíření povrchového plazmonu.
- 3) Mohl by dizertant stručně komentovat, jak vidí rozdíl mezi objemovou a povrchovou citlivostí (a tedy činiteli jakosti) a jejich aplikace na SPR struktury s difrakčními mřížkami (viz vztah (3.5))?
- 4) Jaká jsou praktická omezení parametrů struktury autorem vyvinuté metody záznamu komplexních difrakčních struktur interferometrickou litografickou technikou (dvou a vícesvazkovou)?
- 5) Jak funguje toroidální zrcadlo, potřebné při vývoji vícekanalového SPR senzoru (s. 28)?
- 6) Přiznám se, že podle názvu by čtenář mohl očekávat v práci alespoň stručný komentář k možnostem využití skutečně komplexních difrakčních struktur, i když se autor z pochopitelných důvodů zabýval ve své práci zejména 1D a 2D difrakčními mřížkami. Mohl by se uchazeč vyjádřit k možnostem jejich případného využití pro SPR sensoriku: např. hluboké mřížkové struktury se „spoof“ plazmony, kvaziperiodické a aperiodické difrakční struktury, aj.
- 7) Zajímá mne také dizertantův názor na porovnání platforem pro SPR sensoriku založených na šířivých, respektive lokalizovaných plazmonech (případně jejich kombinací), v čem vidí výhody, nevýhody a omezení těchto přístupů, ve vztahu k dalšímu rozvoji oboru?
- 8) Konečně, v rámci výsledků dizertace jsou mj. zmiňovány dva patenty, již udělený americký (2010), resp. přihláška evropského patentu (2013). Je známo, jaký je v současné době stav přihlášky tohoto evropského patentu? Co se týče amerického patentu, byl již o něj zaznamenán zájem?

Závěr: Předloženou dizertační práci je možno jednoznačně hodnotit jako vynikající a z odborného hlediska jako kvalitní, vybrané uvedené dotazy a připomínky nejsou podstatné a jistě budou uspokojivě zodpovězeny. Všechny stanovené cíle dizertační práce byly splněny. Práce přináší nové poznatky a je přínosná jak pro vlastní výzkum komplexních difraktivních struktur pro SPR senzory, tak pro praktické aplikace moderní SPR sensoriky. Získané výsledky, dle mého názoru, již přispěly a dále přispějí k rozvoji daného oboru, na mezinárodně srovnatelné úrovni. Dizertant prokázal, jak je zřejmé z dosavadních publikačních impaktovaných i dalších výstupů, schopnosti zvládnout tuto problematiku v plné šíři, pracovat samostatně a tvůrčím způsobem a zároveň kriticky hodnotit získané výsledky. To je také zřejmé z jeho dosavadních publikačních impaktovaných i dalších výstupů.

Závěrem mohu prohlásit, že předložená dizertační práce splňuje dle mého názoru požadavky na dizertační práce kladené příslušnými právními předpisy. Práci proto jednoznačně doporučuji k obhajobě pro získání akademicko-vědeckého titulu PhD.

Ivan Richter

V Praze dne 27. května 2015

Doc. Ing. Ivan Richter, Dr.
České vysoké učení technické v Praze
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
Katedra fyzikální elektroniky
Břehová 7, 115 19 Praha 1
E-mail: richter@fjfi.cvut.cz