

Oponentní posudek doktorské disertační práce

Jméno disertanta: Ing. Lukáš Břínek

Název práce: Application of plasmon polaritons in nanophotonics

Disertační práce se týká problematiky plazmonických nanoantén pro oblast viditelného a infračerveného záření. Téma považuji za vysoce aktuální a zajímavé: nanoantény jsou současnosti intenzívně studovány z hlediska možného využití v řadě důležitých aplikací (solární články, biosenzory, zpracování signálu, atd.). K tomuto účelu se používají různé typy geometrií i materiálových systémů; v práci se Ing. Břínek zaměřuje zejména na vlastnosti dimerů používajících dvojici kovových antén ve tvaru kvádrů na absorbujícím substrátu tvořeném sloučeninou SRON (silicon-rich oxinitride). Na perspektivnost a aktuálnost tohoto přístupu také ukazují citované publikace z nedávného období.

Práce prezentuje experimentální výsledky dosažené při výrobě a charakterizaci optických vlastností dimerů a dále také numerické simulace a jejich diskuzi. Samotný text práce nejprve shrnuje některé teoretické poznatky týkající se teorie elektromagnetického pole, interakce světla s plazmonickými strukturami a numerické metody konečných diferencí v časové oblasti (FDTD), která byla použita pro vlastní simulace. Původní výsledky se nacházejí v následujících částech práce. Kap. 3.1 se zabývá výrobou plazmonických nanoantén pomocí technologií založených na využití elektronového nebo iontového svazku. Další text se zabývá experimentální i teoretickou charakterizací dimerů na absorbujícím substrátu. Kap. 3.3 obsahuje výsledky týkající se optimalizace dimerů pro zvýšení účinnosti absorpce. Experimenty se zejména soustředily na získání reflexních spekter. Jejich charakteristické rysy byly pak porovnávány s numerickými simulacemi. Numerické simulace byly také použity k vlastní optimalizaci dimerů. Kap. 3.4 pak rozšiřuje prezentovanou analýzu a sleduje vliv žíhání substrátu na pozorované vlastnosti. Práci doplňuje kap. 3.5, obsahující výsledky týkající se charakterizace plazmonických struktur pomocí katodoluminiscence.

Pro prostudování práce mohu konstatovat, že prezentovaný postup odpovídá současnému stavu poznání a přináší nové hodnotné výsledky; nejdůležitější z nich jsem stručně popsal výše v souvislosti s kap. 3.1, 3.3 a 3.4. Domnívám se také, že zmíněné výsledky ukazují, že disertant si osvojil velmi široké spektrum znalostí a aktivně se zapojil do výzkumu jehož náročnost odpovídá obvyklým požadavkům kladeným na disertační práce. Zejména Ing. Břínek prokázal schopnost zvládnout výše zmíněné náročné technologie výroby plazmonických struktur a aktivně je používal při výrobě antén s požadovanými vlastnostmi. Dále na odpovídající úrovni dokázal vyhodnotit výsledky experimentálních i numerických charakterizací zkoumaných struktur a podrobně diskutovat pozorované vlastnosti. Jednotlivé numerické experimenty jsou dobře popsány i vyhodnoceny (určité výhrady uvedu dále). Ze svého hlediska považuji za nejzajímavější diskuzi vlivu různých rezonančních mechanismů, které mohou přicházet v úvahu, na vlastnosti spekter uvedených v kap. 3.3. Poznáménávám také, že seznam odkazů na literaturu obsahuje 172 položek, které jsou v práci vhodně citovány a dokládají, že disertant věnoval studiu problematiky velké úsilí.

Z odborného hlediska považuji práci za přínosnou. Zmíněné výsledky byly publikovány (3 publikace v časopisech s IF, 1 publikace zaslaná do časopisu s IF, větší množství dalších publikací) a jistě nejdou uplatnění při dalším výzkumu v oblasti plazmonických struktur. Náročnost řešené problematiky, kladené cíle (s výhradou uvedenou dále) i dosažené výsledky bezpochyby odpovídají požadavkům obecně kladeným na disertační práce. Domnívám se

tedy, že disertant zvládl danou obtížnou problematiku v celé šíři a je schopen tvůrčí vědecké práce.

Disertační práce by však měla také prokázat schopnost úspěšné prezentace tématu. Z tohoto hlediska mám k práci řadu věcných i formálních připomínek.

1. Oceňuji skutečnost, že práce je napsána anglicky, a tedy přístupná širší odborné veřejnosti. Avšak text práce (zejména její první část) je často těžkopádný a obsahuje nezanedbatelné množství gramatických chyb.
2. Práce měla být lépe strukturována a lépe rozmyšlen postup výkladu. Chybí ucelená kapitola(y) shrnující současný stav poznání a prezentující nutnost daného výzkumu (tyto informace lze však nalézt na různých místech textu). Kap. 2.4.1 mohla být předřazena kapitole 2.2. Obrázku 3.1 měl předcházet obr. 3.14. Podrobný popis technologií uvedený v kap. 3 měl být doplněn dalšími obrázky ilustrujícími jednotlivé fáze výroby tak, aby si čtenář snadno představil popisovaný postup. Postup uvedený na začátku odst. 3.1.1 (str. 25) obsahuje řadu technologických detailů (typ ředidla, typ rezistu apod.), avšak vůbec není podána informace o materiálu substrátu (je uvedena až v závěru následující strany).
3. Cíle práce nejsou souhrnně specifikovány v úvodu práce (lze je však najít rozptýleně na různých místech textu).
4. Velkou část kapitoly 2 tvoří popis skutečností podávaných v běžných kurzech elektromagnetického pole. Tyto dobře známé poznatky mohly být vynechány. Naproti tomu práce mohla obsahovat podrobnější zdůvodnění či odvození řady převzatých tvrzení [např. vztah (3.2) je uveden bez jakéhokoliv zdůvodnění]. V takovém případě by práce mohla sloužit i jako vhodný úvodní text pro zájemce o danou problematiku.
5. Práce obsahuje nepřesné nebo nedostatečné formulace. Příklady: Na str. 9 je uvedeno, že Maxwellovy rovnice jsou lineární; to však platí pouze ve vakuu, což v daném kontextu není uvedeno. Podobně není uvedeno, že vztahy (2.14) a (2.15) platí pouze pro sinusové časové závislosti. Z textu není zřejmé, že vztahy (2.33) a (2.34) platí pouze přibližně. Není uvedeno, že popis sudých a lichých modů (str. 14) platí pouze v případě symetrické struktury (čtenář si tuto skutečnost může domyslet při pohledu na obr. 2.3, na který však v textu není žádný odkaz.)
6. Chybí schematický náčrtek struktury (obdobný obrázku 3.14) pro kterou platí vztah (3.1). Navíc v tomto vztahu má správně vystupovat pouze reálná část efektivního indexu.
7. Práce obsahuje řadu dalších formálních chyb. Příklady: Zkratka SRON použitá již v abstraktu je definována až na str. 18 (navíc správně se píše oxynitride ne oxinitride). V textu na str. 21 jsou tiskové chyby týkající se označení diskretizačních kroků ve směrech x a y . Na str. 39 (9. řádek shora) je špatně definován symbol označující index lomu substrátu SRON. Výřez obrázku 3.16 není popsán.

Závěrečné zhodnocení

Z obsahu i výsledků práce je zřejmé, že se její autor úspěšně zapojil do výzkumu aktuální problematiky, jejíž náročnost bezpochyby odpovídá požadavkům kladeným na disertační práce. Zvolené metody zpracování odpovídají zaměření práce. I přes výše uvedené nedostatky práce obsahuje původní a přínosné části a splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce. Proto předloženou disertační práci **doporučuji k obhajobě.**

Vyjádření k tezím

Teze je nutné upravit podle pokynů, zejména jejich struktura neodpovídá zcela požadovanému členění.

Náměty k diskuzi

1. Prosím o shrnutí fyzikálních mechanismů, které způsobují změnu indexu lomu SRON po vyžívání.
2. Přibližný vztah (3.1) platí pouze pro samostatnou anténu. Vy jste jej však používal pro odhad rezonanční vlnové délky dimeru. Můžete zdůvodnit oprávněnost tohoto postupu? Dále prosím o kvalitativní zhodnocení vlivu šířky G (obr. 3.14) na vlastnosti dimeru.
3. Na str. 49 je bez dalšího uvedeno, že výsledky vztahující se k obr. 3.28 byly potvrzeny pomocí FDTD simulací. Proč tedy výsledky simulací nejsou také uvedeny v daném obrázku? Jak si vysvětlujete nesoulad mezi experimentálními výsledky a modelem v horní větvi grafu?

V Brně dne 30. 10. 2015

prof. RNDr. Jiří Petráček, Dr.
Ústav fyzikálního inženýrství
FSI VUT v Brně
Technická 2, 616 69 Brno
petracek@fme.vutbr.cz