



Téma dizertačnej práce (DzP)

Akademický rok 2026/2027

Názov	Plazmónový polaritón v pokročilých metapovrchoch pre extrémnu lokalizáciu a manipuláciu svetla		
Inštitúcia	Fakulta elektrotechniky a informačných technológií Žilinská univerzita v Žiline		
Miesto	Žilina, Slovensko		
PhD. program	Elektrotechnológie a materiály		
Školiteľ	Prof. Ing. Dušan Pudiš, PhD. Katedra fyziky		
Školiteľ špecialista	Ing. Patrik Miček, PhD. Katedra fyziky		
Forma štúdia	denná		
Dĺžka štúdia	3 roky		
Jazyk štúdia	slovenský		
Dátum nástupu	1.9.2026		
Výskumná oblasť	Fotonika, Sensorika, Optoelektronika		
Kontakt zadávateľa	Tel. číslo: +421 41 513 2300	E-mail: dusan.pudis@uniza.sk	Web stránka: Link: fyzika.uniza.sk

Anotácia témy DzP

Polaritóny ako hybridné kvázi-častice vznikajúce silnou väzbou medzi elektromagnetickým žiarením a elementárnymi excitáciami v materiáli umožňujú koncentrovať svetlo ako elektromagnetickú vlnu do rozmerov neprístupných pre klasickú optiku a jeho zosilnenie do sub-vlnových rozmerov. Tým sa otvárajú nové možnosti v oblasti manipulácie svetla, sensoriky, nelineárnej optiky a optoelektroniky. Predkladaná dizertačná téma sa zameriava na návrh, teoretickú analýzu a experimentálnu realizáciu nanofotoničných štruktúr umožňujúcich efektívnu excitáciu a riadenie polaritonových módov. Osobitná pozornosť bude venovaná riešeniu problému hybnostného nesúladu medzi voľne sa šíriacimi fotónmi a vysoko lokalizovanými polaritónmi, ktorý znemožňuje ich priamu excitáciu konvenčnými optickými technikami ďalekého poľa. Výskum bude kombinovať numerické simulácie, analytické modelovanie disperzie a väzbových mechanizmov, ako aj experimentálnu charakterizáciu v blízkom ale aj ďalekom optickom poli. Cieľom práce je prispieť k fundamentálnemu pochopeniu interakcie svetla s materiálmi na nanometrovej úrovni a vytvoriť platformu pre vývoj nových optických prvkov schopných riadiť svetlo v extrémne malých priestorových mierkach, čím sa otvoria perspektívy pre aplikácie v oblasti nanofotoniky, metapovrchov a integrovaných fotonických systémov.

Rozšírené informácie, výskumné zodpovednosti a úlohy doktoranda

Rozvoj nanofotoniky otvoril možnosti ako kontrolovať svetlo v rozmeroch hlboko pod difrakčným limitom klasickej optiky. Konvenčné optické systémy sú limitované fyzikálnym obmedzením dané zhruba polovicou vlnovej dĺžky žiarenia. Jedným z perspektívnych spôsobov prekonania tohto obmedzenia je využitie polaritónov – hybridných kvázi - časticových excitácií vznikajúcich väzbou fotónov s kolektívnymi osciláciami v materiáloch, ako sú plazmóny v kovochoch, fonóny v polárnych kryštáloch alebo excitóny v polovodičoch. Polaritóny umožňujú extrémnu lokalizáciu elektromagnetického poľa a jeho zosilnenie do sub-vlnových rozmerov, čím otvárajú nové možnosti v oblasti manipulácie svetla, sensoriky, nelineárnej optiky a optoelektroniky.

Navrhovaná téma sa zameriava na systematické skúmanie polaritoničných javov v nanoštruktúrach, ktoré umožnia efektívnu manipuláciu svetla v sub-vlnových rozmeroch. Výskum bude orientovaný na návrh a optimalizáciu nanofotoničných platforiem (hierarchických mriežok, kovovo-dielektrických rozhraní, hybridných štruktúr s 2D materiálmi), ktoré umožnia kontrolovanú excitáciu, zosilnenie a smerovanie polaritoničných módov.

Kľúčovou výzvou riešenej problematiky je hybnostný nesúlad medzi voľne sa šíriacim elektromagnetickým žiarením a vysoko lokalizovanými polaritónmi. Práca sa preto bude zaoberať návrhom štruktúr zabezpečujúcich

efektívne zosúladenie hybnosti, analýzou disperzných vlastností vznikajúcich módov a štúdiom ich lokalizácie, tlmenia a kvalitatívnych parametrov (Q-faktor, dĺžka šírenia, stupeň lokalizácie poľa).

Výskum bude kombinovať teoretické modelovanie, numerické simulácie a experimentálnu realizáciu. Numerická časť bude zahŕňať simulácie pomocou metód FDTD a FEM, výpočet lokálneho zosilnenia poľa, hustoty elektromagnetických stavov a analýzu väzbových mechanizmov medzi svetlom a materiálovými excitáciami. Teoretická analýza bude doplnená o analytické modely (napr. model viazaných oscilátorov, disperzné modely).

Experimentálna časť práce bude zahŕňať prípravu nanoštruktúr využitím pokročilých nanotechnologických postupov (elektrónová a laserová interferenčná litografia, depozícia tenkých vrstiev) a ich morfológickú charakterizáciu pomocou mikroskopických metód (AFM, SEM). Optická odozva štruktúr bude analyzovaná pomocou reflexných a transmisných meraní, FTIR spektroskopie a najmä rozptylovej skenovacej mikroskopie v blízkom poli (s-SNOM) pre priamu vizualizáciu polaritonických módov.

Výskumné úlohy doktoranda a jeho zapojenie do vedecko-výskumných aktivít pracoviska:

- **Skúsenosti s experimentálnou laboratórnou prácou:** Návrh a optimalizácia geometrie nanofotonických štruktúr s cieľom maximalizovať lokalizáciu a zosilnenie elektromagnetického poľa.
- **Programovanie a využitie softvéru:** Ovládanie programovacích jazykov a prostredí (COMSOL, MATLAB, LabVIEW, Origin, LATEX, Python, Overleaf, Soyder, Gwyddion) na účely automatizácie pracoviska, riadenia laboratórnych prístrojov a efektívneho spracovania nameraných dát.
- **Numerické modelovanie a simulácie:** Zručnosť v práci s komerčnými alebo open-source softvérmi pre elektromagnetické simulácie (napr. Lumerical FDTD, COMSOL Multiphysics, Optiwave FDTD, Numpy, MATLAB) so zameraním na analytické a numerické modelovanie bodového a realističného dipólového modelu bezapertúrnej sondy najmä v oblastiach plazmónovej a fonónovej rezonancie (NIR – MIR).
- **Obsluha pokročilej techniky a nanotechnológií:** Laserové litografie, depozičné techniky, ovládanie analytických zariadení, ako sú spektrometre, optické mikroskopy a systémy pre morfológickú charakterizáciu (SEM, AFM) a techniky charakterizácie v blízkom poli (SNOM, s-SNOM, Kretschmannova konfigurácia vybudenia plazmónovej rezonancie).
- **Všeobecné úlohy doktoranda:** samostatné riešenie definovaných výskumných úloh pod odborným vedením školiteľa, aktívna účasť na vedecko-výskumných projektoch pracoviska, spracovanie a interpretácia výsledkov, príprava vedeckých publikácií, konferenčných príspevkov a prezentácií, spolupráca s ďalšími členmi výskumného tímu, prípadne s externými partnermi.

Profil uchádzača

Pre túto tému sa od uchádzača vyžaduje nasledovný osobnostný profil:

1. Odborné vedomosti
 - Nevyhnutné: Základy optiky, vlnovej optiky, elektromagnetizmu a fyziky tučných látok.
 - Výhodou sú: Orientácia v nanofotonike, plazmonike alebo v interakcii svetla na nanometrovej škále.
2. Technické a metodické zručnosti
 - Schopnosť práce v simulačných prostrediach (FDTD, COMSOL, LaTeX, FEM) a základná skúsenosť s laboratórnym experimentom.
 - Zručnosť v spracovaní a interpretácii vedeckých dát (MATLAB, Origin, Python, Spyder, Gwyddion).
3. Jazykové a komunikačné schopnosti
 - Aktívna znalosť anglického jazyka umožňujúca štúdium zahraničnej literatúry a písanie vedeckých publikácií.
 - Ochota prezentovať výsledky výskumu na medzinárodných fórach.
4. Osobnostné predpoklady
 - Vysoká miera samostatnosti, analytické myslenie a schopnosť riešiť teoretické a experimentálne úlohy.
 - Systematičský prístup a schopnosť efektívnej komunikácie v rámci výskumného tímu.
5. Ďalšie výhodné predpoklady
 - Predchádzajúca skúsenosť s výskumnou činnosťou (napr. ŠVOČ, diplomová práca v príbuznom odbore).
 - Motivácia pre interdisciplinárny výskum na pomedzí fyziky, nanotechnológií a nanooptiky.

Financovanie:

- Horizon Europe, No. 101057029, Automated Maskless Laser Lithography Platform for First Time Right Mixed Scale Patterning
- Erasmus +, No. KA220-HED-000161167, Výučba pokročilých technológií prostredníctvom digitálnej aditívnej výroby, 3D tlače a μ -tlače