



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-19-0602

3D fotonické polymérne mikrosenzory integrované s optickými vláknami

Zodpovedný riešiteľ **prof. Mgr. Ivan Martinček, PhD.**

Príjemca **Žilinská univerzita v Žiline - Fakulta elektrotechniky a
informačných technológií**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Katedra fyziky, Fakulta elektrotechniky a informačných technológií, Žilinská univerzita v Žiline.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Katedra fyziky, VŠB – TU Ostrava, Česká republika.

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. Číslo patentovej prihlášky 12-2021

Dátum podania prihlášky 23.02.2021

Názov: Polymérny nadstavec na optické vlákno pre snímacie aplikácie

Prihlasovateľ (-ia)/ majiteľ (-ia): Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina 1; SK

Pôvodca (-ovia): Martinček Ivan, prof. Mgr., PhD.; Ipeľská 26, 010 01 Žilina 1; SK;

Goraus Matej, Ing., PhD.; Valča 390, 038 35 Valča; SK;

Kováčiková Tatiana, prof. Ing., PhD.; Lúčna 633/6, 900 42 Miloslavov - Alžbetin Dvor; SK

2. Číslo úžitkového vzoru 9405

Číslo prihlášky 43-2021

Dátum podania prihlášky 07.04.2021

Dátum nadobudnutia účinkov úžitkového vzoru 20.12.2021

Dátum zápisu a sprístupnenia úžitkového vzoru verejnosti 29.11.2021

Názov: Optický interferometer s kužeľovou a valcovou odrazovou plochou

Prihlasovateľ (-ia)/ majiteľ (-ia): Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina 1; SK

Pôvodca (-ovia): Martinček Ivan, prof. Mgr., PhD.; Ipeľská 26, 010 01 Žilina 1; SK;

Goraus Matej, Ing., PhD.; Valchárska 390, 038 35 Valča; SK

3. Číslo patentovej prihlášky 27-2022

Dátum podania prihlášky 3. 3. 2022

Názov: Snímač na meranie kinetiky napučievania polymérnych materiálov

Prihlasovateľ (-ia)/ majiteľ (-ia): Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina 1; SK

Pôvodca (-ovia): Martinček Ivan, prof. Mgr., PhD.; Ipeľská 26, 010 01 Žilina; SK;

Goraus Matej, Ing., PhD.; Valča 390, 038 35 Valča; SK;

Káčik Daniel, doc. Ing., PhD.; Petzvalova 3376/49, Žilina; SK

4. Číslo patentovej prihlášky 114-2022

Dátum podania prihlášky 25. 11. 2022

Názov: Optický snímač zmien geometrických rozmerov akumulátorového článku

Prihlasovateľ (-ia)/ majiteľ (-ia): Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina 1; SK

Pôvodca (-ovia): Káčik Daniel, doc. Ing., PhD.; Petzvalova 3376/49, Žilina; SK;

Martinček Ivan, prof. Mgr., PhD.; Ipeľská 26, 010 01 Žilina; SK;

5. Číslo patentovej prihlášky 58-2023

Dátum podania prihlášky 16. 5. 2023

Názov: Nosné puzdro snímacieho optického vlákna s magnetickým uchytením

Prihlasovateľ (-ia)/ majiteľ (-ia): Žilinská univerzita v Žiline; Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina 1; SK

Pôvodca (-ovia): Martinček Ivan, prof. Mgr., PhD.; Ipeľská 26, 010 01 Žilina; SK;

Goraus Matej, Ing., PhD.; Valča 390, 038 35 Valča; SK;

Káčik Daniel, doc. Ing., PhD.; Petzvalova 3376/49, Žilina; SK

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. P. Urbancova, M. Goraus, D. Pudis, P. Hlubina, A. Kuzma, D. Jandura, J. Durisova, P. Micek, „2 D polymer/metal structures for surface plasmon resonance“, Applied Surface Science, vol. 530, 147279, 2020.

2. Goraus, M., Martinček, I., Urbancova, P., Jandura, D., Pudis, D.: Highly-resolved scanning of magnetic surfaces by FPR integrated on optical fiber, Applied Surface Science, vol. 560, art. number 149929, 2021.

3. Martinček, I., Kacik, D., Horak, J.: Interferometric optical fiber sensor for monitoring of dynamic railway traffic, Optics and Laser Technology, vol. 140, art. number 107069, 2021.

4. Tarjanyi, N., Kacik, D.: Dichromatic properties of a magnetic fluid thin layer, Optik, vol. 244, art. number 167562, 2021.

5. D. Kacik, I. Martinček, J. Maciak, M. Goraus, Fabry–Pérot Interferometer Monitoring System for Counting Train Axle, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 71, art. num. 7005409, 2022.

6. T. Mizera, P. Gaso, D. Pudis, M. Ziman, A. Kuzma, M. Goraus, 3D Polymer-Based 1 x 4 MMI Splitter, Nanomaterials, vol. 12, art. num. 1749, 2022.

7. I. Martinček, M. Goraus, D. Kacik, Optical measurement of the swelling behavior of PDMS in organic solvent vapors, Polymer Testing, vol. 121, art. num. 108001, 2023.

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky získané počas riešenia projektu môžu nájsť využitie v oblasti základného vedeckého poznania ohľadne dizajnu fotonických štruktúr, v rovine technologických postupov prípravy fotonických štruktúr a ich integrácie s optickými vláknami a v rovine aplikačného využitia fotonických snímačov. Do kategórie uplatniteľných výsledkov v oblasti základného vedeckého poznania dizajnov fotonických štruktúr, ktorých poznanie môže rozvíjať ďalšie návrhy štruktúr, môžeme okrem iného zahrnúť návrh a charakterizáciu štruktúry pre povrchovú plazmonovú rezonanciu a štruktúry na meranie magnetického poľa, obidve integrovateľné s optickým vláknom. V rovine technologických postupov môže nájsť praktické uplatnenie spôsob prenosu a integrácie 3D polymérnych štruktúr s čelom optického vlákna, vytváranie planparalených polymérnych štruktúr s opticky odraznou plochou na kremenných vláknach za účelom vytvorenia Fábryových-Perotovych dutín a príprava feromagnetických guľôčok mikrometrových rozmerov. Z hľadiska aplikačného využitia výsledkov projektu v oblastiach snímacej a meracej techniky môžu nájsť uplatnenie pripravené prototypy snímačov na meranie vertikálnej zložky magnetického poľa so submikrometrovým dĺžkovým rozlíšením, snímačov na meranie dynamickej prevádzky koľajových vozidiel integrovateľných so železničnou koľajou a snímačov na štúdium napučievania polymérov v parách látok.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

V rovine teoretických poznatkov vzhľadom na stanovené ciele sa podarilo navrhnuť viacero 3D polymérnych štruktúr, a to štruktúry na základe Fabryho-Perotovho interferometra z polyméru IP-Dip s pohyblivou membránou, fotonickú štruktúru pre povrchovú plazmónovú rezonanciu v Kretschmannovej konfigurácii, polymérnu štruktúru s Kagome mriežkou a štvorcovou mriežkou, polymérne vlnovodné interferometrické štruktúry pre delenie optického výkonu a vláknové štruktúry a mikroštruktúry pre detekciu pozdĺžneho predĺženia. Zároveň sa zrealizoval výpočet prenosových vlastností navrhnutých štruktúr vo viditeľnej a blízkej infračervenej oblasti v závislosti od zmien ich geometrických a materiálových parametrov v programoch Matlab a Mathematica a pomocou simulačných metód TMM, RCWA a FDTD. V rovine experimentálnych poznatkov sa podarilo navrhnuté štruktúry pripraviť aj pomocou metódy laserovej 3D tlače realizovanej litografickým systémom Nanoscribe a zmerať ich prenosové vlastnosti. Pri vybraných štruktúrach bola realizovaná aj ich integrácia s optickými vláknami a vypracované spôsoby modifikácie ich vlastností magnetickým poľom, normálovou silou, zmenou indexu lomu okolitého prostredia alebo absorpciou okolitých látok. Dôležitým experimentálnym zistením bol poznatok, že systém Nanoscribe má obmedzené použitie pri príprave kvalitných optických odrazných plôch, čo viedlo k vypracovaniu technológie prípravy planparalelných polymérnych štruktúr s plochami v optickej kvalite. Bol taktiež vypracovaný technologický postup integrácie polymérnych fotonických štruktúr s čelami optických vlákien a príprava a integrácia feromagnetických guľôčok s polymérnymi membránami z IP-Dipu. Taktiež boli študované optické vlastnosti tenkých vrstiev magnetických kvapalín ako potenciálneho materiálu, ktorý je schopný modifikovať optické vlastnosti polymérnych fotonických štruktúr.

Súhrnné výsledky v rovine aplikačného využitia obsahujú prípravu, realizáciu a overenie funkčnosti 3 prototypov fotonických snímačov a to snímača na meranie vertikálnej zložky magnetického poľa, snímača na štúdium napúčania polymérov a snímača na meranie dynamickej prevádzky koľajových vozidiel. Pomocou snímača magnetického poľa bolo zmapované magnetické pole permanentného magnetu so subnanometrovým lineárnym rozlíšením s citlivosťou 78,15 mT/nm. Pomocou snímača napúčania polymérov boli pre polydimetylsiloxán stanovené napúčacie pomery pre rôzne koncentrácie pár a kinetika napúčania pre nasýtené pary toluénu, acetónu a izopropanolu vo vzduchu. Pre meranie dynamickej prevádzky koľajových vozidiel boli pripravené a v náročných environmentálnych podmienkach úspešne testované snímače, pomocou ktorých je možné detegovať niektoré vlastnosti prechádzajúcich železničných súprav, ako počet náprav, počet vozňov, rýchlosť vlaku, zrýchlenie vlaku a chyby vozňov a železničných kolies, ako sú výlupky, návarky a ploché kolesá.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

Based on the given set of goals, at the level of theoretical knowledge, we succeeded in designing several 3D polymer structures, namely structures based on a Fabry-Perot interferometer made of IP-Dip polymer with a moving membrane, a photonic structure for surface plasmon resonance in the Kretschmann configuration, a polymer structure with a Kagome lattice and square grating, polymer waveguide interferometric structures for optical power splitting, and fiber structures and microstructures for longitudinal elongation detection. At the same time, the calculation of the transmission properties of the designed structures in the visible and near-infrared regions was carried out depending on the changes in their geometric and material parameters in the Matlab and Mathematica computing software and using the TMM, RCWA, and FDTD simulation methods.

At the level of experimental skills, we succeeded in preparing the proposed structures using the laser 3D printing method realized by the Nanoscribe lithography system and measuring their transmission properties, as well. For selected structures, their integration with optical fibers was realized and methods of modifying their properties by magnetic field, normal force, changes in the refractive index of the surrounding environment, or absorption of surrounding substances were developed. An important experimental finding was that the Nanoscribe system has limited use in the preparation of high-quality optical reflective surfaces, which led to the development of a technology for the preparation of plane-parallel polymer structures with surfaces of optical quality. A technological procedure for integrating polymer photonic structures with optical fiber ends and preparation and integration of ferromagnetic spheres with polymer membranes from IP-Dip was also developed. The

optical properties of thin layers of magnetic fluids were also studied as a potential material capable of modifying the optical properties of polymer photonic structures. The summary results at the level of application use include the preparation, implementation, and verification of the functionality of 3 photonic sensor prototypes, namely a sensor for measuring the vertical component of the magnetic field, a sensor for studying polymer swelling, and a sensor for measuring the dynamic operation of rolling stock. Using a magnetic field sensor, the magnetic field of a permanent magnet was mapped with a subnanometer linear resolution with a sensitivity of 78.15 mT/nm. Using a polymer swelling sensor, swelling ratios for different vapor concentrations and swelling kinetics for saturated vapors of toluene, acetone, and isopropanol in the air were determined for polydimethylsiloxane. To measure the dynamic operation of rolling stock, sensors have been prepared and successfully tested in demanding environmental conditions, using which it is possible to detect some characteristics of passing railway sets, such as the number of axles, the number of wagons, train speed, train acceleration and errors of wagons and railway wheels, such as spalling, shelling, and flat wheels.