

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-0395-12****Fotonické štruktúry pre integrovanú optoelektroniku**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Dušan Pudiš, PhD.**Príjemca **Žilinská univerzita v Žiline**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline
2. Elektrotechnický ústav, Slovenská akadémia vied, Bratislava
3. Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenský technická univerzita, Bratislava
- 4.
- 5.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Institute of Materials Engineering and Institute of Micro- and Nanotechnologies MacroNano®, TU Ilmenau, Nemecko
2. Faculty of Microsystem Electronics and Photonics, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poľsko
- 3.

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

1. I. Martinček, D. Pudiš, Technológia prípravy optických vlnovodných väzobných členov zo siloxánových polymérnych vlákien, Žilinská univerzita v Žiline, patentová prihláška SR: 73-2014, MPT: G02B 6/036, stav: zverejnená.
2. I. Martinček, D. Pudiš, P. Gašo, Spôsob prípravy optických vlnovodov s povrchovou fotonickou štruktúrou zo siloxánových polymérnych vlákien, Žilinská univerzita v Žiline, patentová prihláška SR: 65-2015, MPT: G02B 6/02, stav: v konaní.
3. I. Martinček, D. Pudiš, P. Gašo, Technology for preparation of optical waveguide couplers from siloxane polymer fibers, Žilinská univerzita v Žiline a Centrum vedecko-technických informácií SR, č. prihlášky PCT/SK2015/000002, č. publikácie WO2016060623 A1, dátum podania 28. sept. 2015, dátum publikovania 21. apríl 2016, krajiny chránenia: AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

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

1. I. Martinec, D. Pudis, D-shaped core polysiloxane waveguide with surface relief Bragg grating, *Optik* 127, 2016, pp. 10031-10035.
2. D. Jandura, D. Pudis, A. Kuzma, Fabrication technology for PDMS ridge waveguide using DLW, *Optik* 127, 2016, pp. 2848-2851.
3. L. Suslik, D. Pudis, M. Goraus, R. Nolte, J. Kovac, J. Durisova, P. Gaso, P. Hronec, P. Schaaf, Photonic crystal and photonic quasicrystal patterned in PDMS surfaces and their effect on LED radiation properties, *Appl. Surf. Sci* 395, 2017, pp. 220-225.
4. J. Novák, A. Laurenčíková, S. Hasenohrl, P. Eliáš, I. Novotný, J. Kováč, M. Valentin, J. Kováč jr., J. Ďurišová, D. Pudiš, Optical and mechanical properties of a compact ZnO layer with embedded GaP nanowires, *Appl. Surf. Sci* 395, 2017, pp. 180-184.
5. D. Jandura, D. Pudis, S. Berezina, Photonic devices prepared by embossing in PDMS, *Appl. Surf. Sci.* 395, 2017, pp. 145-149.

Uplatnenie výsledkov projektu

Projekt dosiahol 20 publikačných výstupov v karentovaných publikáciách, 3 výstupy v domácich časopisoch a 80 príspevkov v zborníkoch zo zahraničných a domácich konferencií. Priniesol aj lacné a jednoduché riešenia vytvárania optických a optoelektronických prvkov s originálnymi vlastnosťami. Práve vďaka ním očakávame stimuláciu vedy a praxe v tejto oblasti, pretože napr. štruktúry dosiahnuté odtlačaním v polyméroch sú vhodnou a lacnou náhradou drahých litografických operácií. Aj z týchto dôvodov sa niektoré komerčne zaujímavejšie výstupy smerovali k patentovej ochrane. Napr. podaná PCT prihláška na PDMS vlákna a slovenská prihláška na vlnovody s povrchovou mriežkou sú jedným z takýchto výstupov a ponúkajú sa na využitie vyvinutých prvkov ako kandidátov pre lacné optické senzory merania rôznych fyzikálnych veličín. V projekte sme predviedli ako ich pripraviť, aké technológie na ich prípravu použiť a aké vlastnosti sa dajú dosiahnuť. Podarilo sa nám ukázať aj návody ako vyrobiť na báze týchto technológií a myšlienok aj niektoré optické senzory na báze fotonických štruktúr.

Iný samozrejmy aspekt dopadov výstupov je tiež na vedeckú verejnosť, kde sme ponúkli niekoľko nápadov a výsledkov technológií pre vývoj nových prvkov ako LED a fotonických prvkov s originálnymi vlastnosťami. Podali sme vysvetlenia niektorých javov súvisiacich s efektom fotonickej štruktúry. Sme presvedčení, že v publikovaných článkoch bude dostatok zaujímavých informácií pre vývoj nových aktívnych a pasívnych prvkov v integrovanej optike a optoelektronike.

CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV

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

Dosiahnuté výsledky je možné v súlade s cieľmi rozdeliť do troch základných línií:

1. Príprava fotonických štruktúr (PhC) pre aktívne prvky, kde boli vytvorené rôzne jedno a dvojrozmerné štruktúry tvarované priamo v povrchu svetlo emitujúcej diódy (LED) alebo boli vytvorené v povrchu tenkej membrány na báze polydimetylsiloxánu (PDMS). Efekt týchto štruktúr ovplyvnil vyžarovací diagram LED a bol preukázaný aj meraniami v blízkom poli s rozlíšením až sto nanometrov. Boli vyskúšané rôzne modifikácie PhC s vyšším stupňom symetrie, tzv. kvázifotonické štruktúry. Boli vyvinuté LED s Fresnelovou štruktúrou tvarovanou priamo v povrchu LED ale aj tvarovanou v povrchu PDMS membrány. Aj tu bol dokázaný efekt Fresnelových štruktúr na vyžarovací diagram LED.
2. Príprava organizovaného rastu nanodrôtov pre solárne články na báze GaP za pomoci fotonickej štruktúry a charakterizovanie reflexných vlastností takýchto povrchov s nanodrôtmami. Dosiahli sa znížené odrazivosti takýchto povrchov v širokom rozsahu uhlov. Fotonické štruktúry boli aplikované na fotodiódy na báze GaAs, kde sa ukázali smerové závislosti fotoodozvy na dopadajúce žiarenie.
3. Boli navrhnuté a pripravené nové fotonické prvky pre integrovanú optiku a optoelektroniku (vlnovod, kruhový rezonátor, Machov-Zehnderov interferometer) na báze organických

materiálov, ktorých optické vlastnosti boli potvrdené transmisnými meraniami. Tiež boli pripravené vlnovodné prvky planárnou technológiou, ale aj kombináciou s vláknami s povrchovou PhC, kde bol dokumentovaný Braggov efekt a aj citlivosť na vonkajšie vplyvy, čo je využiteľné pre optické senzory.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku

(max. 20 riadkov)

According to the project aims, obtained results are divided into three basic lines:

1. Preparation of photonic structures (PhC) for active devices, where different one- and two-dimensional structures directly patterned in the surface of light emitting diode (LED) as well as in the surface of thin polydimethylsiloxane (PDMS) membrane were prepared. Effect of PhC modified the LED radiation pattern and it was shown in near field measurements with resolution up to 100 nanometers as well. Different modifications of PhC with higher order of symmetry, aka. quasi-photonic structures, were prepared. There were prepared LED with Fresnel structure patterned directly in the LED surface, as well as in the PDMS membrane. Effect of Fresnel structures on the LED radiation pattern was documented.
2. Organized growth of nanowires for GaP-based solar cells using photonic structures and reflection properties characterisation of prepared surfaces with nanowires. Reflectance decrease was obtained in wide angle range. Photonic structures were applied into GaAs-based photodiodes, where the directional properties of photoresponse on the incident light were revealed.
3. New organic material-based photonic devices for integrated optics and optoelectronics were designed and prepared (waveguide, ring resonator, Mach-Zehnder interferometer), which optical properties were documented by transmission measurements. Waveguide devices were prepared using planar technologies, as well as in combination with fibers with surface PhC, where the Bragg effect and response to external factors was documented, which is usable for sensing applications.

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

Zodpovedný riešiteľ

prof. Ing. Dušan Pudiš, PhD.

V Žiline 26.01.2017

Štatutárny zástupca príjemcu

Dr.h.c. prof. Ing. Tatiana Čorejová, PhD.

V Žiline 26.01.2017

.....
podpis zodpovedného riešiteľa

.....
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu