

Záverečná karta projektu

Názov projektu **Uhlíkové nanomateriály pre senzorické aplikácie** Evidenčné číslo projektu **APVV-0365-12**

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Robert Redhammer, PhD.**
Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky
2. Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave
3. Danubia NanoTech, s.r.o., Bratislava
- 4.
- 5.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Cukrovarnická 10/112, 162 53 Praha 6, Česká Republika
2. TU Ilmenau, Ilmenau, DE
3. Univerzita Pardubice, Studentská 573, 532 10 Pardubice, Česká Republika

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

- 1.
- 2.
- 3.

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

1. VOJS, Marian - VARGA, Marián - BABCHENKO, Oleg - IŽÁK, Tibor - MIKOLÁŠEK, Miroslav - MARTON, Marián - KROMKA, Alexander. Structural and electrical characterization of diamond films deposited in nitrogen/oxygen containing gas mixture by linear antenna microwave CVD process. In Applied Surface Science. Vol. 312 (2014), s. 226-230. ISSN 0169-4332
2. CINKOVÁ, Kristína - BATCHELOR-MCAULEY, Christopher - MARTON, Marián - VOJS, Marian - ŠVORC, Ľubomír - COMPTON, Richard G. The activity of non-metallic boron-doped diamond electrodes with sub-micron scale heterogeneity and the role of the morphology of sp² impurities. In Carbon. Vol. 110, (2016), s. 148-154. ISSN 0008-6223

3. ŠVORC, Ľubomír - JAMBREC, Daliborka - VOJS, Marian - BARWE, Stefan - CLAUSMEYER, Jan - MICHNIAK, Pavol - MARTON, Marián - SCHUHMANN, Wolfgang. Doping Level of Boron-Doped Diamond Electrodes Controls the Grafting Density of Functional Groups for DNA Assays. In ACS Applied Materials & Interfaces. Vol. 7, iss. 34 (2015), s. 18949-18956. ISSN 1944-8244.

4. MACKULÁK, Tomáš - VOJS, Marian - GRABIC, Roman - GOLOVKO, Oksana - VOJS STAŇOVÁ, Andrea - BIROŠOVÁ, Lucia - MEDVEĐOVÁ, Alžbeta - HÍVEŠ, Ján - GÁL, Miroslav - KROMKA, Alexander - HANUSOVÁ, Anna. Occurrence of Pharmaceuticals, Illicit Drugs, and Resistant Types of Bacteria in Hospital Effluent and Their Effective Degradation by Boron-doped Diamond Electrodes. In Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly. Vol. 147, iss. 1 (2016), s. 97-103. ISSN 0026-9247

5. MACKULÁK, Tomáš - TICHÝ, Jozef - HANUSOVÁ, Anna - ŠPALKOVÁ, Viera - VOJS, Marian - MARTON, Marián - BEHÚL, Miroslav - GÁL, Miroslav - SEMERÁD, Milan - TAKÁČOVÁ, Alžbeta - RYBA, Jozef - GRABIC, Roman - VOJS STAŇOVÁ, Andrea. Environmentálne vedy - výskyt a možnosti degradácie polutantov. 1. vyd. Bratislava FCHPT STU v Bratislave 2016. 368 s. ISBN 978-80-89597-33-8

Uplatnenie výsledkov projektu

Získané výsledky a vyvinuté postupy nájdu uplatnenie v širokom spektre elektrochemických aplikácií. Jednou z nich je kontrola kvality životného prostredia v oblasti merania napr. ťažkých kovov, pesticídov a iných mikropolutantov v povrchových a odpadových vodách. V medicíne môžu byť využité senzory liečiv, legálnych resp. ilegálnych drog a biologických molekúl či už v moči, krvi a iných telesných kvapalinách a roztokoch. Výsledkov tohto projektu prispeli k zásadnému posunu výroby diamantových elektrochemických meracích senzorov na Slovensku. V súčasnosti dochádza k predaju a distribúcii jednotlivých sád (rôzne parametre CH₄/H₂, B/C, modifikácia povrchu) 1-elektrodového a 3-elektrodového systému vyvinutých a testovaných v rámci projektu pre výskumné pracoviská a firmy v SR ale aj zahraničí. Samostatnú oblasť využitia majú vyvinuté veľkoplošné diamantové elektródy (4 až 10+ cm²) a z nich poskladané moduly a kompletný autonómny systém pre degradáciu mikropolutantov a rezistentných baktérií v odpadových, priemyselných a povrchových vodách. Na základe dosiahnutých výsledkov projektu bude v priebehu roku 2017 zrealizovaná spolupráca s firmou AQUATEC, ktorá vyrába domové čistiare odpadových vôd. V tejto spolupráci budú výsledky využité pri meraní kvality vody ale hlavne pri degradácii liečiv, drog, pesticídov a dezinfekcii vôd od rezistentných mikro-organizmov na antibiotiká a budú tak priamo zlepšovať kvalitu života obyvateľstva.

CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV

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

V rámci projektu sme skúmali a optimalizovali metódu selektívneho rastu diamantových vrstiev pomocou tvarovania nukleačnej vrstvy litografickou technológiou a vyvinuli sme technológiu na prípravu troj-elektrodového systému na keramickom substráte. Vykonalí sme optimalizáciu depozičných parametrov pre rast dopovaných diamantových vrstiev (BDD, NCD:N), intrinzičného diamantu a DLC a uhlíkových nanomateriálov (CNT, CNW, grafén) CVD technikami. Vyvinuli sme technologický postup pre veľkoplošnú depoziáciu intrinzičných a dopovaných NCD a UNCD vrstiev pomocou LA-MWCVD v dvoch teplotných režimoch. Syntetizované diamantové a DLC vrstvy sme analyzovali pomocou SEM, Ramanovej spektroskopie, elektrochemických meraní, XRD, SIMS, NDP, meraní elektrických vlastností a kontaktného uhla. Navrhli sme optimalizovaný technologický postup prípravy substrátov a katalyzátorov pre syntézu CNT a využili sme ich pri CVD metóde ich prípravy vo forme siete medzi interdigitmi a vo forme "lesov". Vyvinuli sme optimalizované postupy pre syntézu grafenických 2D materiálov metódami exfoliácie a CVD. Modifikovali sme povrch pripravených materiálov nanášaním kovových katalytických nanočastíc a plazmatickým nanoštruktúrovaním s a bez použitia masky. Navrhli a zrealizovali sme laboratórne prototypy SMART senzorických čipov pre meranie analytov (ťažké kovy, neurotransmitery, biogénne

amíny a peptidy, liečivá, drogy, mikropolutanty) v životnom prostredí, ľudských kvapalinách a pripravených roztokoch v reálnych podmienkach. Vyvinuté pokročilé elektrochemické postupy sme kombinovali s MS metódami. Navrhli a zrealizovali sme autonómny systém pre degradáciu mikropolutantov a rezistívnych baktérií v odpadových vodách.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku

(max. 20 riadkov)

Within the project we have investigated and optimized the method of selective growth of diamond layers by lithographic shaping of nucleation layer and we developed a technology for fabrication of three-electrode system on a ceramic substrate. We have optimized the deposition conditions for growth of doped diamond films (BDD, NCD:N), intrinsic diamond and DLC and carbon nanomaterials (CNT, CNW, graphene) using CVD techniques. We developed a technological method for the large-area deposition of intrinsic and doped NCD and UNCD layers by LA-MWCVD in two temperature regimes. The synthesized diamond and DLC films were analyzed by SEM, Raman spectroscopy, electrochemical methods, XRD, SIMS, NDP, measurement of electrical properties and contact angle. We have designed an optimized the technological method of preparation of substrates and catalysts for synthesis of CNT and utilized them for CVD method of CNT preparation in the form of web between interdigits and in the form of "forest". We developed optimized methods of synthesis of 2D graphenic materials by exfoliation and CVD. We modified the surface of synthesized carbon materials by deposition of catalytic metal nanoparticles and by plasmatic nanostructuring with and without a mask. We designed and realized laboratory prototypes of SMART sensoric chips for measurement of analytes (heavy metals, neurotransmitters, biogenne amines and peptides, pharmaceuticals, drugs and micropollutants) in environment, human liquids and prepared solutions in real conditions. The developed advanced electrochemical methods were combined with MS methods. We designed and realized an antonomous system for degradation of micropollutants and resistive bacteria in wastewaters.

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

Zodpovedný riešiteľ

prof. Ing. Robert Redhammer, PhD.

V Bratislave 27.01.2017

Štatutárny zástupca príjemcu

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec

V Bratislave 27.01.2017

.....
podpis zodpovedného riešiteľa

.....
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu