

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0103****Mechanochémia polovodičových nanokryštálov: od minerálov k materiálom a liekom**Zodpovedný riešiteľ **prof. RNDr. Peter Baláž, DrSc.**Príjemca **Ústav geotechniky SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav geotechniky SAV

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Jozef Stefan Institute, Ljubljana (Slovinsko); Vlokh Institute of Physical Optics, Lviv (Ukrajina); Jan Dlugosz University, Czenstochova (Poland); Queen Mary University, London (Great Britain); University of Technology, Clausthal-Zellerfeld (Nemecko); Institute fur Physik, Leoben (Rakúsko); Université de Rennes (Francúzsko); Institute of Physics, Belgrade (Srbsko); Instituto de Ciencia de Materiales, Sevilla (Španielsko); Institute of Catalysis, Sofia (Bulharsko); Dana Farber Cancer Institute, Boston (USA); V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Novosibirsk (Rusko); Institute of Chemistry, Skopje (Macedónsko)

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

-

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

1. BALÁŽ, Peter – HEGEDUS, Michal – BALÁŽ, Matej – DANEU, Nina – SIFFALOVIC, Peter – BUJŇÁKOVÁ, Zdenka – TÓTHOVÁ, Erika – TEŠINSKÝ, Matej – ACHIMOVICHOVÁ, Marcela – BRIANČIN, Jaroslav – DUTKOVÁ, Erika – KAŇUCHOVÁ, Mária – FABIÁN, Martin – KITAZONO, Satoshi – DOBROZHAN, Oleksandr. Photovoltaic materials: Cu₂ZnSnS₄ (CZTS) nanocrystals synthesized via industrially scalable, green, one-step mechanochemical process. In Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2019, DOI: 10.1002/pip.3152, article in press
2. SHPOTYUK, Oleh - BUJŇÁKOVÁ, Zdenka - BALÁŽ, Peter - SHPOTYUK, Yaroslav – INGRAM, Adam. Multiparticle composites based on nanostructured arsenic sulfides As₄S₄ in biomedical engineering. In Materials for Biomedical Engineering. Inorganic Macro- and Nanostructures. Eds. V. Grumezescu, A.M. Grumezescu. Elsevier, 2019, pp. 119-151
3. BALÁŽ, Peter - HEGEDUS, Michal - REECE, Michael J. - ZHANG, R. Z. - SU, T. - ŠKORVÁNEK, Ivan - BRIANČIN, Jaroslav - BALÁŽ, Matej - MIHÁLIK, Matúš - TEŠINSKÝ, Matej - ACHIMOVICHOVÁ, Marcela. Mechanochemistry for Thermoelectrics: Nanobulk Cu₆Fe₂Sn₈/Cu₂FeSn₄ Composite Synthesized in an Industrial Mill. In Journal of Electronic Materials, 2019, vol. 48, p. 1846-1856.

4. BALÁŽ, Matej. Ball milling of eggshell waste as a green and sustainable approach: A review. In *Advances in colloid and interface science*, 2018, vol. 256, p. 256-275.
5. BALÁŽ, Peter - HEGEDUS, Michal - ACHIMOVICHOVÁ, Marcela - BALÁŽ, Matej - TEŠINSKÝ, Matej - DUTKOVÁ, Erika - KAŇUCHOVÁ, Mária. Semi-industrial Green Mechanochemical Syntheses of Solar Cell Absorbers Based on Quaternary Sulfides. In *ACS SUSTAIN CHEM ENG*, 2018, vol. 6, p. 2132-2141.
6. BALÁŽ, Peter - BALÁŽ, Matej - ACHIMOVICHOVÁ, Marcela - LUKÁČOVÁ BUJŇÁKOVÁ, Zdenka - DUTKOVÁ, Erika. Chalcogenide mechanochemistry in materials science : insight into synthesis and applications (a review). In *Journal of Materials Science*, 2017, vol. 52., p. 11851-11890.
7. BUJŇÁKOVÁ, Zdenka - BALÁŽ, Matej - DUTKOVÁ, Erika - BALÁŽ, Peter - KELLO, Martin - MOJŽIŠOVÁ, Gabriela - MOJŽIŠ, Ján - VILKOVÁ, Mária - IMRICH, Ján - PSOTKA, Miroslav. Mechanochemical approach for the capping of mixed core CdS/ZnS nanocrystals: Elimination of cadmium toxicity. In *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, vol. 486, p. 97-111.
8. CHOLUJOVÁ, Dana - BUJŇÁKOVÁ, Zdenka - DUTKOVÁ, Erika - HIDESHIMA, Teru - GROEN, Richard W. J. - MITSIADES, Constantine S. - RICHARDSON, Paul G. - DORFMAN, David - BALÁŽ, Peter - ANDERSON, Kenneth C. - JAKUBÍKOVÁ, Jana. Realgar nanoparticles versus ATO arsenic compounds induce in vitro and in vivo activity against multiple myeloma. In *British Journal of Haematology*, 2017, vol. 179, no. 5, p. 756-771.
9. BALÁŽ, Matej - ZORKOVSKÁ, Anna - UKAREV, Farit - BALÁŽ, Peter - BRIANČIN, Jaroslav - BUJŇÁKOVÁ, Zdenka - ACHIMOVICHOVÁ, Marcela - GOCK, Eberhard. Ultrafast mechanochemical synthesis of copper sulfides. In *RSC Advances*, 2016, vol. 6 no.91, p. 87836-87842.
10. BALÁŽ, Peter - BALÁŽ, Matej - DUTKOVÁ, Erika - ZORKOVSKÁ, Anna - KOVÁČ, Jaroslav - HRONEC, P. - KOVÁČ, Jaroslav Jr. - ČAPLOVICOVÁ, Mária - MOJŽIŠ, Ján - MOJŽIŠOVÁ, Gabriela - ELIYAS, Alexander - KOSTOVA, Nina G. CdS/ZnS nanocomposites: from mechanochemical synthesis to cytotoxicity issues. In *Materials Science and Engineering A - Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 2016, vol. 58, p. 1016-1033.

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu riešeného v rámci základného výskumu boli finalizované formou publikácií v renomovaných vedeckých časopisoch. Ich originalita môže byť vo vybraných prípadoch ďalej rozvinutá na pracoviskách aplikovaného výskumu. Ide najmä o oblasť extrakčnej metalurgie, materiálového inžinierstva a lekárskeho vied. V niektorých prípadoch pri použití priemyselného mlyna sa ukázalo, že takéto uplatnenie výsledkov projektu má reálne opodstatnenie (špecifikácia je uvedená nižšie v oblasti súhrnu výsledkov riešenia projektu).

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

Projekt sa sústredil na vypracovanie špeciálnych postupov syntézy vyspelých materiálov s vysokým stupňom využitia v nanotechnológiách. Bol použitý metodický aparát mechanochemie, kde sa aplikovali postupy syntézy, redukcie, mechanickej aktivácie a nanomletia. Tieto postupy sa využili na prípravu vyspelých materiálov v materiálovom inžinierstve, extrakčnej metalurgii a lekárstve. Vo vybraných prípadoch sa syntetické postupy overovali v priemyselnom mlyne. Z dosiahnutých výsledkov možno uviesť:

- syntézu sulfidu medi explozívny spôsobom, ktorý ilustroval dôležitosť správnej morfológie prekursora,
- syntézu nanokompozitov CdS/ZnS a ZnS/chitosan, ktorých vlastnosti otvárajú možnosti využitia týchto materiálov v bio-inžinierstve pri optickom zobrazovaní biologických objektov,
- priemyselnú syntézu kesteritu ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$) ako sľubného absorbéra vo fotovoltických aplikáciách a
- aktiváciu realgáru As_4S_4 ako sľubného substituenta toxického As_2O_3 pri liečbe onkologických ochorení,
- redukciu chalkopyritu CuFeS_2 v jednodušom tuhofázovom procese získavania nanokryštalickej medi.

Ciele projektu boli naplnené, v niektorých etapách boli dokonca prekročené, pričom boli

testované experimentálne východiská pre formulovanie následného projektu.

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

The project was focused on elaboration of the specific mechanochemical routes to synthesize the advanced materials with high level of utilization in nanotechnology. Methods of mechanochemistry have been applied where procedures of synthesis, reduction, mechanical activation and nanomilling were used. These procedures were used for preparation of various advanced materials in material engineering, extractive metallurgy and medicine. In specific cases the synthesis strategies have been tested in an industrial mill. From the obtained results the following results can be mentioned:

- synthesis of copper sulphide through an explosive way which illustrates the importance of the proper selection of precursor morphology
- syntheses of CdS/ZnS and ZnS/chitosan nanocomposites which open possibility of their utilization in bio-engineering by optical imaging of biological objects,
- activation of realgar As_4S_4 as a promising substituent of highly toxic As_2O_3 in treatment of oncological diseases,
- industrial synthesis of kesterite Cu_2ZnSnS_4 as a promising absorber in photovoltaic application and
- reduction of chalcopyrite $CuFeS_2$ in an one-step solid-state process of nanocrystalline copper production.

The aims of project have been fulfilled. The aims were outperformed in several stages where experimental possibilities for the subsequent possible project have been tested.