



## Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

**APVV-0088-12**

**Magnetické nanoelementy pre energeticky nezávislé pamäte a mikrovlnné aplikácie**

Zodpovedný riešiteľ **RNDr. Vladimír Cambel, DrSc.**

Príjemca **Elektrotechnický ústav SAV**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Elektrotechnický ústav SAV
2. Univerzita Komenského v Bratislave
3. Medzinárodné laserové centrum
- 4.
- 5.

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Drexel University, USA
- 2.
- 3.

### 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. Tóbič, J., Cambel, V., Karapetrov, G., : Asymmetry in time evolution of magnetization in magnetic nanostructures. Sci Reports 5 (2015) 12301
2. Precner, M., Fedor, J., Šoltýs, J., Cambel, V., : Dual-tip magnetic force microscopy with suppressed influence on magnetically soft samples. Nanotechnol. 26 (2015) 055304
3. Ščepka, T., Polakovič, T., Šoltýs, J., Tóbič, J., Kulich, M., Kúdela, R., Dérer, J., Cambel, V., : Individual vortex nucleation/annihilation in ferromagnetic nanodots with broken symmetry observed by micro/Hall magnetometry. AIP Adv. 5 (2015) 117205
4. T. Lukinov, A. Rosengren, R. Martoňák, A. B. Belonoshko: A metadynamics study of the fcc–bcc phase transition in Xenon at high pressure and temperature, Computational Materials Science 107 (2015) 66–71

5. K. Neilinger, J. Šoltýs, M. Mruczkiewicz, J. Dérer, and V. Cambel: Dual-cantilever magnetometer for study of magnetic interactions between patterned permalloy microstructures, J. Mag. Mag. Mat., accepted (2017)

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

V rámci projektu bol získaný celý rad nových poznatkov, ktoré majú potenciálne využitie v praxi.

### **CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV**

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

V rámci projektu bol získaný celý rad nových poznatkov, ktoré boli a ešte budú publikované v silných medzinárodných časopisoch.

Vyvinuli sme metadynamiku pre magnetické systémy a implementovali ju do programu OOMMF, vďaka čomu vieme určiť energetický profil v magnetických systémoch. Pokročili sme v litografii nanomagnetov až po priemer pod 100 nm. Vypracovali sme nové metodiky mapovania magnetických polí a pripravili vylepšené hroty pre MFM, čím sme zvýšili priestorové rozlíšenie a znížili invazívnosť MFM techník.

Získané poznatky sú závažné a umožňujú nám ďalej skúmať magnetické systémy pre budúce pamäte a mw súčiastky. Vývoj v týchto oblastiach sa počas riešenia projektu posunul tak, že najväčšia perspektíva sa v súčasnosti prisudzuje magnetickým skyrmiónovým pamätiam, a využitie magnetických mw súčiastok je perspektívne v oblasti kvantového počítania. V oboch týchto oblastiach už kolektív pracovníkov ukončeného projektu začal pracovať, pričom využíva najmä teoretické aj experimentálne poznatky získané projektom NanoMag.

V nadväznosti na projekt sme získali a podali niekoľko nových projektov, vstúpili do medzinárodného konzorcia SpinTronicFactory, kde EIU SAV zastupuje Slovensko. Začali sme aj nové medzinárodné spolupráce v oblasti nanomagnetizmu a spintroniky.

V neposlednom rade sme vychovali niekoľko PhD študentov, z ktorých časť pokračuje vo vede v téme nanomagnetizmu a spintroniky.

Vzhľadom na uvedené skutočnosti považujeme ciele projektu za splnené.

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

We have found several new findings in the frame of the project. Some of the ideas we have already published and the other will be published in high-impacted international journals soon.

We have developed metadynamics for magnetic systems and we have implemented it program OOMMF, so we can now calculate the energy profile in magnetic systems. The progress is also in the lithography of nanomagnets, we achieved their diameter lower than 100 nm. We have developed novel methods for magnetic field mapping and fabricated improved tips for MFM with improved spatial resolution and lowered invasiveness of MFM.

The new knowledge is important and allows us further study of the magnetic systems for future memories and microwave devices. Development in these fields was shifted during the project solution into the field of skyrmion memories, and to the application of magnetic microwave devices in the field of quantum computing. In both of these fields the project team already started to work using the theoretical and experimental knowledge accumulated within the project NanoMag.

Based on the project we have applied for several new projects, we became a member of international consortium SpinTronicFactory, in which IEE SAS represents Slovakia. We also started new international collaborations in the field of nanomagnetism and spintronics.

We have also educated several PhD students, some of them continue to work in science in the field of nanomagnetism and spintronics.

Based on mentioned facts we consider the goals of the project fulfilled.

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

**Zodpovedný riešiteľ**

RNDr. Vladimír Cambel, DrSc.

V Bratislave 27. 07. 2017

**Štatutárny zástupca príjemcu**

RNDr. Vladimír Cambel, DrSc.

V Bratislave 27. 07. 2017

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu