

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0257**

**Pokročilé materiály a štruktúry pre perspektívne aplikácie v elektrotechnike, elektronike a iných oblastiach na báze feritov s rozmermi častíc v oblasti mikrometrov a nanometrov**

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Elemír Ušák, PhD.**Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky
2. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie
3. Slovenská akadémia vied, Elektrotechnický ústav

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

### 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] Mariana UŠÁKOVÁ, Elemír UŠÁK, Rastislav DOSOUDIL, Richard SÝKORA: Characterization of Elastomeric Composites with Lithium Ferrite Acting as Magnetically Active Filler, IEEE Transactions on Magnetics, Volume 53, Issue 4, (2017), Art. No. 2800405
- [2] Martin ŠOKA, Mariana UŠÁKOVÁ, Rastislav DOSOUDIL, Elemír UŠÁK, Ján LOKAJ: Effect of lanthanum substitution on structural and magnetic properties of nickel zinc ferrites, AIP Advances, Volume 8, Issue 4, (2018), Article No: 047802
- [3] Mykola SOLOVYOV, Ján ŠOUC, Fedor GÖMÖRY, Mark O. RIKEL, Edita MIKULÁŠOVÁ, Mariana UŠÁKOVÁ, Elemír UŠÁK: Bulk and CC-tape Based Superconducting Shields for Magnetic Cloaks, IEEE Transactions on Applied Superconductivity. Volume 27, Issue 4, (2017), Article No: 8800204
- [4] Norbert KAPLAN, Jozef JASENEK, Jozefa ČERVEŇOVÁ, Mariana UŠÁKOVÁ: Magnetic optical FBG sensors using optical frequency-domain reflectometry, IEEE Transactions on Magnetics, Volume 55, Issue 1, (2019), Article No: 4000704
- [5] Mariana UŠÁKOVÁ, Elemír UŠÁK, Rastislav DOSOUDIL, Ján KRUŽELÁK: Magnetic elastomeric composites filled by lithium ferrites, AIP Conference Proceedings, Volume 2131, (2019), Article No. 020049
- [6] Elemír UŠÁK, Mariana UŠÁKOVÁ, Rastislav DOSOUDIL, Martin ŠOKA, Edmund

DOBROČKA: Influence of iron substitution by selected rare-earth ions on the properties of NiZn ferrite fillers and PVC magneto-polymer composites, AIP Advances, Volume 8, Issue 4, (2018), Article No. 047805

[7] Y. NAGASAKI, Mykola SOLOVYOV, Fedor GÖMÖRY: Experimental and numerical investigation of shielding performance of superconducting magnetic shields using coated conductor tapes, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Volume 28, Issue 4, (2018), Article No: 6601905

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Výsledky získané pri optimalizácii chemického zloženia a technológie prípravy skúmaných materiálov ako aj zložitejších štruktúr obsahujúcich tieto materiály (kompozitov) majú využitie v širokom rozsahu aplikácií, ako napr. tienenie objektov proti nežiadúcim vplyvom rušivého elektromagnetického žiarenia v širokom rozsahu pracovných frekvencií, senzory rozličných fyzikálnych veličín (mechanické namáhanie, teplota, vlhkosť prostredia, magnetické pole a pod.), mikro-elektro-mechanické systémy (MEMS), biomedicínske aplikácie (cieľená distribúcia liečiv do tkanív, magnetická hypertermia) a pod. V spomenutých prípadoch je možné na realizáciu praktických riešení využiť tradičné, rokmi overené postupy, ale aj nový, neštandardný prístup v podobe netradičných kombinácií materiálov a technológií, konkrétne napr. spojenie feritových magneticky aktívnych kompozitných materiálov a vysokoteplotných supravodičov, optické vláknové senzory s rozloženými parametrami a pod.

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

V súlade so stanovenými cieľmi bola v oblasti zdokonalenia technológie prípravy materiálov na báze substituovaných feritov pozornosť zameraná na výskum magneticky mäkkých spinelových nikelnatých, nikelnatozinočnatých a lítnych feritov, resp. magneticky tvrdých hexagonálnych bárnatých a strontnatých feritov. Na základe veľkého množstva vykonaných experimentov a teoretických analýz nameraných údajov sa dá jednoznačne preukázať, že kvázistatické (ako napr. saturačná magnetická polarizácia, koercivita, remanentná magnetická indukcia, počiatočná permeabilita, Curieho teplota a pod.) aj dynamické (frekvenčné spektrá zložiek komplexnej permeability, resp. permitivity) elektromagnetické vlastnosti pripravených feritových materiálov je možné relatívne jednoducho a kontrolovane ovplyvňovať prostredníctvom chemického zloženia a tiež technologického postupu pri ich syntéze (keramická alebo roztoková metóda, teplota a čas sintrovania a i.) na základe poznania súvislosti so štrukturálnymi vlastnosťami (napr. mriežková konštanta, veľkosť kryštalitov a pod.).

Bol tiež skúmaný vplyv základnej polymérnej matrice a kombinácie syntetizovaných feritov použitých ako plnivá do magneticky aktívnych kompozitov na výsledné štruktúrne, statické a dynamické (vysokofrekvenčné, až do oblasti mikrovln) elektromagnetické vlastnosti ako aj fyzikálno-mechanické a reologické vlastnosti týchto kompozitov v rôznych prevádzkových podmienkach, a pod. Vo všeobecnosti bol preukázaný výrazný dosah koncentrácie a druhu použitého plniva na vysokofrekvenčné elektromagnetické vlastnosti. Potvrdil sa aj nezanedbateľný vplyv typu matric a zloženia vulkanizačných systémov na fyzikálno-mechanické aj reologické vlastnosti pripravených kompozitov.

Výsledky získané počas plnenia úloh vyplývajúcich z cieľov projektu odкрývajú veľmi sľubné perspektívy pre ďalší rozvoj teoretických poznatkov a taktiež aplikačných možností materiálov, ktoré sú predmetom skúmania v rámci tohto, ale aj iných súvisiacich projektov.

O opodstatnenosti zamerania výskumu na elektromagnetické a iné fyzikálne vlastnosti substituovaných feritov, magneticky aktívnych kompozitov a na ich použitie v štandardných aj netradičných aplikáciách svedčí aj skutočnosť, že významná časť ohlasov na publikované výsledky sa týka práve aplikácie získaných poznatkov na konkrétne technické riešenia, ako je napr. realizácia prototypov a optimalizácia návrhu magnetického plášťa neviditeľnosti, optických senzorov pre vyhodnocovanie vlastností prostredia (teplota, tlak, ťah, krut, elektrické a magnetické pole) na diaľku, vrátane optimalizácie metodiky spracovania optických signálov a pod.

Ako súčasť zhrnutia výsledkov riešenia projektu je potrebné spomenúť aj iné dôležité pridružené (ale pre úspešné splnenie stanovených cieľov neodmysliteľné) aktivity a výstupy, ako napr. neustále zdokonaľované programové vybavenie slúžiace na riadenie na mieru

prispôsobených experimentálnych aparátúr pre automatizovaný zber a spracovanie nameraných údajov (vrátane pokročilého spracovania signálov) a neustále prebiehajúci vývoj kľúčových hardwarových komponentov, ktoré sú nevyhnutnou súčasťou týchto experimentálnych zariadení.

Medzi nemenej dôležité výstupy projektu možno zaradiť aj priamu aplikáciu získaných poznatkov v pedagogickom procese (bakalárske, inžinierskeho aj doktorandské štúdium, predmety ako napr. Aplikovaný magnetizmus, Moderné materiály pre elektrotechniku a pod.). Jedným z prínosov je možnosť zapojenia študentov do merania elektromagnetických vlastností nových, práve pripravených materiálov v rámci laboratórnych cvičení, bakalárskych a diplomových prác, čo pre nich môže byť pozitívnou motiváciou pre ďalšie štúdium v oblasti elektrotechniky a materiálového inžinierstva s perspektívou uplatniť sa vo vede a výskume.

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

In accordance with the specified goals, in the field of improving the technology of preparation of materials based on substituted ferrites, attention was focused on the research of magnetically soft spinel nickel, nickel zinc and lithium ferrites, and/or magnetically hard hexagonal barium and strontium ferrites. Based on a large number of experiments and theoretical analyses of measured data, it can be clearly demonstrated that quasi-static (such as saturation magnetic polarization, coercivity, remanent magnetic induction, initial permeability, Curie temperature, etc.) and dynamic (frequency spectra of complex permeability, or permittivity components) electromagnetic properties of the prepared ferrite materials can be easily and controllably influenced by chemical composition and also by their synthesis procedure (ceramic or solution method, sintering temperature and time, etc.) based on knowledge of structural properties (e.g., lattice constant, crystallite size, etc.). The influence of the basic polymer matrix and the combination of synthesized ferrites used as fillers in magnetically active composites on the resulting structural, static, and dynamic (high frequency, up to microwave) electromagnetic properties as well as physical-mechanical and rheological properties of these composites under different operating conditions was investigated, too. In general, a significant effect of the concentration and type of filler used on the high-frequency electromagnetic properties has been demonstrated. The significant influence of the type of matrices and the composition of vulcanization systems on the physical-mechanical and rheological properties of the prepared composites was also confirmed.

The results obtained during the performance of the tasks arising from the project objectives reveal very promising perspectives for the further development of theoretical knowledge and also the application possibilities of the materials that are the subject of research within this, but also other related projects. The justification of the focus of research on electromagnetic and other physical properties of substituted ferrites, magnetically active composites and their use in standard and non-traditional applications is evidenced by the fact that a significant part of the citations of published results concerns the application of obtained knowledge to specific technical solutions, such as realization of prototypes and optimization of invisibility magnetic shield cloak design, optical sensors for remote evaluation of environmental properties (temperature, pressure, thrust, torsion, electric and magnetic field), including optimization of optical signal processing methodology, etc.

As part of the summary of the project results, it is necessary to mention other important associated (but inseparable for successful achievement of the goals) activities and outputs, such as, e.g., continually improved software for the control of tailor-made experimental systems for automated data acquisition and processing (including advanced signal processing) and the ongoing development of key hardware components that are an essential part of these experimental devices.

Equally important outputs of the project can include the direct application of acquired knowledge in the educational process (bachelor's, engineering and doctoral studies, subjects such as Applied Magnetism, Modern Materials for Electrical Engineering, etc.). One of the benefits is the possibility of involving students in measuring the electromagnetic properties of new, just prepared materials in laboratory exercises, bachelor's, and master's theses, which can be a positive motivation for further study in electrical engineering and materials engineering with the perspective of applying themselves in science and research.

