

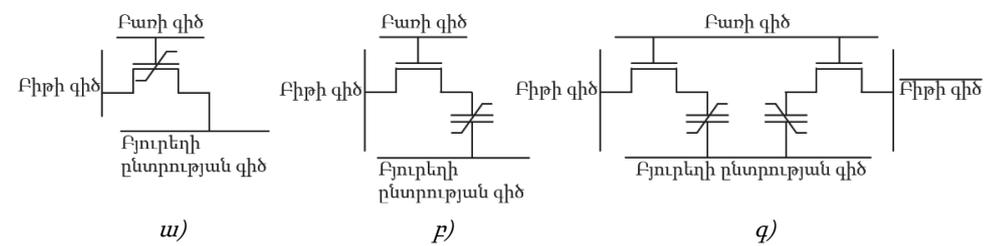
Դ.Ս. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

BiFe_{0.7}Mn_{0.3}O₃ ՆԱՆՈԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՍՏՍՑՈՒՄԸ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

BiFe_{0.7}Mn_{0.3}O₃ կերամիկական թիրախներից իմպուլսային լազերային փոշեցրման տեխնոլոգիայի միջոցով մասնային կառուցվածքով և ոսկե էլեկտրոդներով քվարցե հարթակի վրա ստացվել են նանոթաղանթներ: Ուսումնասիրվել են ստացված նանոթաղանթների բևեռացման վեկտորի և կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածության կախվածությունները՝ տարբեր հաճախությունների դեպքում, ինչպես նաև բևեռացման վեկտորի և էլեկտրական դաշտի լարվածության կախվածությունները՝ արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ և առանց դրա:

Առանցքային բառեր. մուլտիֆերոէլեկտրիկ, նանոթաղանթ, իմպուլսային լազերային փոշեցրում, օպերացիոն հիշող սարք, մագնիսական դաշտ, բևեռացման վեկտոր:

Ներածություն: Մուլտիֆերոէլեկտրիկները, շնորհիվ իրենց հատկությունների, համարվում են հեռանկարային նյութեր և կիրառվում են հետևյալ ոլորտներում՝ բարձր խտությամբ էներգաանկախ օպերացիոն հիշող սարքեր, կարգաբերելի ինդուկտորներ ու գոտիչներ, մագնիսական դաշտի սենսորներ, փուլը շրջող/շեղող սարքեր և այլն [1-9]: Էներգաանկախ օպերացիոն հիշող սարքերի (ՕՀՍ) կառուցման համար առկա է մի քանի հիմնական ճարտարապետություն՝ մեկ տրանզիստորային (1T), տրանզիստորակոդենսատորային (1T-1C), կրկնակի տրանզիստորակոդենսատորային (2T-2C), որոնց բջիջների էլեկտրական սխեմաները բերված են նկ.1-ում [10]:



Նկ. 1. Էներգաանկախ օպերացիոն հիշող սարքերի բջիջների էլեկտրական սխեմաները.
 ա) 1T, բ) 1T-1C, գ) 2T-2C

Ի տարբերություն ավանդական ՕՀՄ բջջի՝ էներգաանկախ ՕՀՄ բջջում կուտակիչ ունակության կամ տրանզիստորի փականի էլեկտրոդի և հաղորդիչ հոսքուղու միջև գտնվող դիէլեկտրիկ նյութի փոխարեն կիրառվում են մուլտիֆերոէլեկտրա-կան նյութեր [10]:

Ֆերոէլեկտրական և ֆերոմագնիսական հատկությունների միաժամանակյա առկայությամբ պայմանավորված՝ մուլտիֆերոէլեկտրական նյութերին բնորոշ առանձնահատկություն է մագնիսաէլեկտրական կապը, որը հնարավորություն է տալիս սենյակային ջերմաստիճանի պայմաններում արտաքին էլեկտրական/մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ փոխել նյութի մագնիսական/էլեկտրական հատկությունները [4-7]: Շնորհիվ այս առանձնահատկության՝ մուլտիֆերո-էլեկտրիկների հիման վրա պատրաստված էներգաանկախ ՕՀՄ-ներին բնորոշ են ինչպես ֆերոէլեկտրական, այնպես էլ ֆերոմագնիսական ՕՀՄ-ների առավելությունները, որոնցից է տվյալների գրանցում/ընթերցում գործառնությունների բարձր արագությունը, ինչպես նաև՝ էներգիայի փոքր ծախսը [11]:

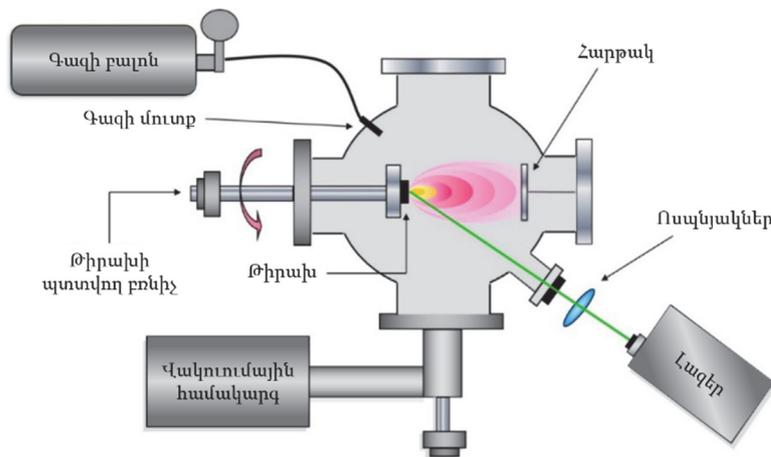
Մուլտիֆերոէլեկտրիկները երկու տեսակ են՝ միաֆազ և կոմպոզիտային: Որպես միաֆազ մուլտիֆերոէլեկտրիկ լայն տարածում է գտել բիսմութ ֆերիտը՝ BiFeO_3 (BFO), որը բյուրեղային կառուցվածքով պերովսկիտ նյութ է [3, 7]: Բիսմութ ֆերիտը օգտագործման համար հեռանկարային նյութ է և մեծ ուշադրության է արժանացել՝ շնորհիվ Կյուրիի և Նիլի բարձր ջերմաստիճանների ($T_c=830$ °C, $T_N=370$ °C), ինչպես նաև բարձր մնացորդային բևեռացման ($P_s=90-100$ մկԿ/սմ²) հատկանիշների [2, 4-7, 9, 12]: Այնուամենայնիվ, բիսմութ ֆերիտին բնութագրական են թույլ մագնիսաէլեկտրական կապը և կորստի մեծ հոսանքը, որոնք դիտարկվում են որպես նյութի թերություններ, ընդ որում, այս թերությունները կարելի է բարելավել՝ նյութի իոնների մի մասը փոխարինելով մեկ այլ նյութի իոններով, պահպանելով նյութի ստեխիոչափությունը, ինչպես նաև՝ այլ պերովսկիտ նյութի հետ խառնելու մեթոդներով [1, 4-7, 13]:

Նախորդ աշխատանքում մշակվել է մանգանի հավելումով բիսմութ ֆերիտի կերամիկական նմուշների ստացման տեխնոլոգիան, ինքնատարածվող բարձր ջերմաստիճանային սինթեզի տեխնոլոգիայով կատարվել է $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$ նյութի սինթեզը, ուսումնասիրվել են այրման ջերմաստիճանի և այրման ճակատի տարածման արագության կախվածությունները բովախառնուրդում վառելիքի քանակից, նպատակային նյութի սինթեզման աստիճանը պարզելու համար կատարվել է սինթեզված նյութի ռենտգենաֆազային վերլուծություն, որից հետո պարզ է դարձել, որ նպատակային նյութը սինթեզվում է անհրաժեշտ ֆազով, երբ ելանյութերի խառնուրդում վառելիքի քանակությունը 9...12 % է: Այնուհետև իրականացվել է սինթեզված նյութի մշակում (մանրացում, մամլում և թրծում), հետազոտվել են նմուշների դիէլեկտրական թափանցելիության և կորուստների անկյան տանգենսի կախ-

վածությունները հաճախությունից, ինչպես նաև վոլտամպերային բնութագրերը [14]:

Աշխատանքի նպատակը: Պատրաստված $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$ կերամիկական թիրախներից իմպուլսային լազերային փոշեցրման տեխնոլոգիայով անհրաժեշտ է ստանալ նանոթաղանթներ և իրականացնել դրանց հատկությունների հետազոտություն:

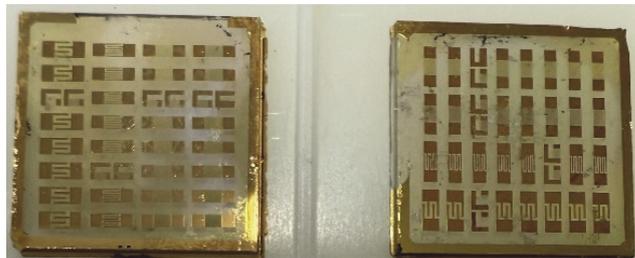
Փորձնական մաս: Նախորդ աշխատանքի արդյունքում [14] պատրաստված կերամիկական թիրախներից նանոթաղանթներ ստանալու նպատակով դրանք ենթարկվել են իմպուլսային լազերային փոշեցրման (ԻԼՓ): ԻԼՓ տեխնոլոգիան նանոթաղանթների վակուումային նստեցման տեխնոլոգիա է, երբ վակուումային խցիկում դեպի կերամիկական թիրախ ուղղված մեծ ինտենսիվությամբ իմպուլսային լազերի փնջի միջոցով նյութը փոշիանում է թիրախից և, նյութի ստեխիոչափությունը պահպանելով՝ նստեցվում է հարթակի վրա՝ որպես նանոթաղանթ: Այս գործընթացը տեղի է ունենում խոր վակուումում կամ գազային նյութի միջավայրում, ինչը հաճախ կիրառվում է կոմպոզիցիոն նյութերի նստեցման ժամանակ [15]: Ավանդական այլ տեխնոլոգիաների համեմատ՝ ԻԼՓ տեխնոլոգիայի կառուցվածքը բավականին պարզ է, որը սխեմատիկորեն ներկայացված է նկ.2-ում [16]:



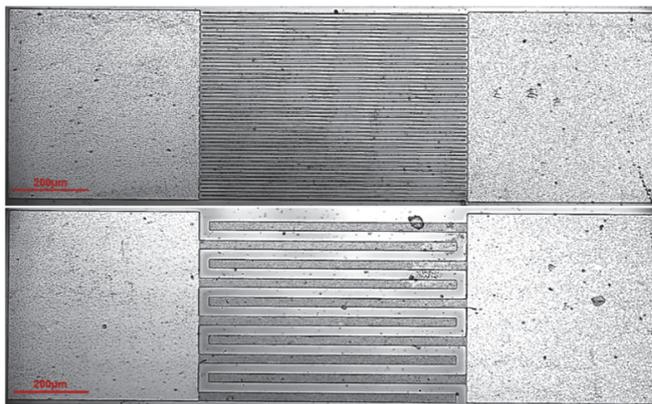
Նկ. 2. ԻԼՓ սարքավորման կառուցվածք

Կերամիկական թիրախը և քվարցե հարթակը տեղադրվել են վակուումային համակարգի խցիկում գտնվող թիրախի և հարթակի բռնիչների մեջ: Հարթակի երկրաչափական չափերն են. երկարությունը՝ 10 մմ, լայնությունը՝ 10 մմ, բարձրությունը՝ 1 մմ: Հարթակի բռնիչն ունի տաքացման հնարավորություն, իսկ թիրախի բռնիչը՝ պտտման հնարավորություն: Գազի հոսքը կարգավորող սարքի միջոցով թրվածիներ բալոնից մատակարարվել է վակուումային համակարգի խցիկին,

որտեղ ստեղծվել է 0.01 մրար ճնշմամբ թթվածնային միջավայր: Այնուհետև KrF excimer իմպուլսային լազերի աղբյուրից ստացված մեծ ինտենսիվությամբ լազերի փունջը, որի ալիքի երկարությունը՝ $\lambda = 248 \text{ նմ}$, իմպուլսի տևողությունը՝ $\tau = 30 \text{ նվ}$, էներգիայի խտությունը 1.5 Ջ/սմ^2 է, և լազերն աշխատում է 10 Հց հաճախությամբ, հայելիների և ոսպնյակների միջոցով ուղղվել է կերամիկական թիրախի վրա 45° անկյան տակ, իսկ հարթակը տեղադրվել է թիրախի ուղիղ դիմացը, որի արդյունքում թիրախի նյութը փռչիացել և նստեցվել է մատնային կառուցվածքով և ոսկե էլեկտրոդներով քվարցե հարթակի վրա որպես նանոթաղանթ [15, 16]: Քվարցե հարթակի կիրառման նպատակահարմարությունը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ այն ինտեգրելի է սիլիցիումային հարթակների հետ, որոնք լայնորեն կիրառվում են կիսահաղորդչային տեխնիկայում, ինչպես նաև սիլիցիումից հեշտորեն կարելի է ստանալ սիլիցիումի օքսիդ, որը համարժեք է քվարցին: Կերամիկական թիրախների ԻԼՓ-ի միջոցով ստացվել են մի քանի նմուշներ, որոնք պատրաստվել են հարթակի տարբեր ջերմաստիճանների պայմաններում ($550 \dots 650 \text{ }^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային սահմանում): Ստացված նմուշները բերված են նկ.3-ում, իսկ նմուշների մատնային կառուցվածքները՝ նկ.4-ում:



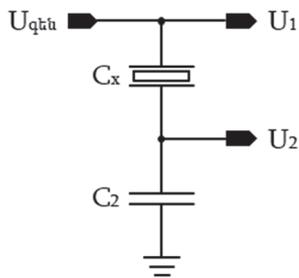
Նկ. 3. Կերամիկական թիրախների ԻԼՓ-ի միջոցով ստացված նմուշներ



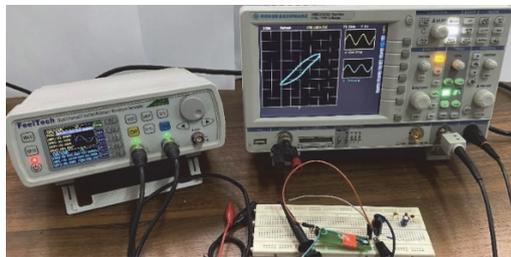
Նկ. 4. $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$ հենքով նանոկառուցվածքների օպտիկական միկրոսկոպով (ZEISS Axio Observer) արված նկարներ

Նմուշների մատնային կառուցվածքը կազմում են քվարցե հարթակի վրա նստեցված ոսկե էլեկտրոդներ (նանթաղանթի էլեկտրական հատկությունների հետազոտման համար), որոնց ամբողջ մակերեսով նստեցվել է նանթաղանթը: Նանթաղանթի հաստությունը 200 նմ է (չափվել է ZEISS EVO 10 մոդելի տեսաձրող էլեկտրոնային միկրոսկոպով), մատների լայնությունը՝ 20 մկմ, մատների միջև հեռավորությունը՝ 30 մկմ, իսկ մատների երկարությունը՝ 700 մկմ:

Կատարվել են պատրաստված նմուշների բևեռացման վեկտորի ուսումնասիրություններ ազդանշանի գեներատորի և օսցիլոգրաֆի միջոցով: Չափումները կատարվել են նկ.5-ում բերված սխեմայի հիման վրա, որտեղ ազդանշանի գեներատորի էլքում ստացված սինուսոիդային ազդանշանը փոխանցվում է մուլտիֆերոէլեկտրիկ նանթաղանթով նմուշին (C_x) և հայտնի ունակությամբ կոնդենսատորին (C_2): Ընդ որում, C_2 կոնդենսատորն ընտրվում է այնպես, որ դրա ունակությունն ավելի մեծ լինի C_x նմուշի ունակությունից, որպեսզի ազդանշանի գեներատորի էլքի սինուսոիդային ազդանշանի լարման գերակշիռ մասը կիրառվի C_x նմուշին: Օսցիլոգրաֆի U_1 մուտքը միացվում է ազդանշանի գեներատորի էլքին, իսկ U_2 մուտքը՝ C_x նմուշի և C_2 կոնդենսատորի ընդհանուր կետին: Տվյալ սխեմայի հիման վրա կատարվել են բազմաթիվ չափումներ գեներատորի էլքում ստացված ազդանշանի տարբեր հաճախությունների դեպքում՝ առանց արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության և նաև՝ դրա ազդեցությամբ: Նկ. 6-ում բերված է փորձարկումների կատարման համար հավաքված համակարգի նկարը:

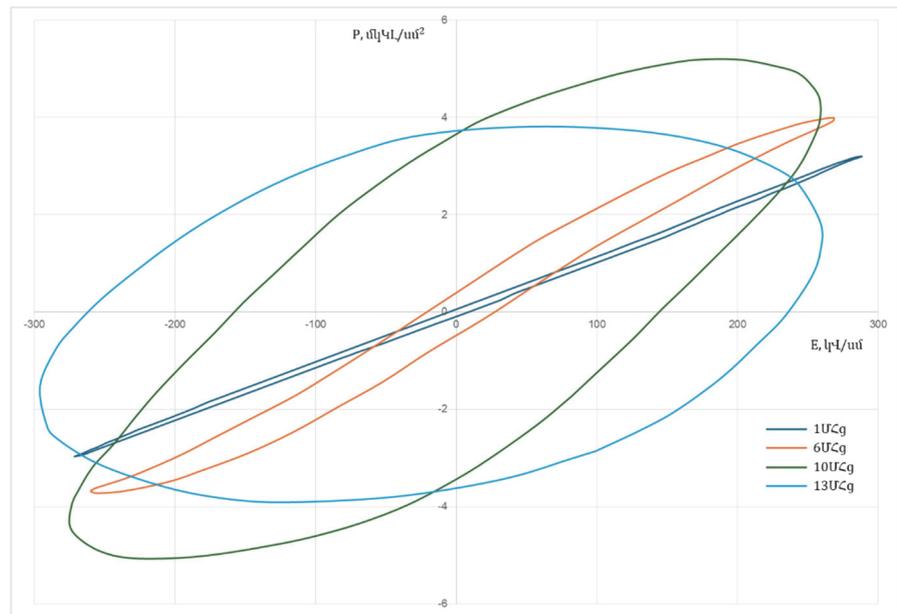


Նկ. 5. Նմուշի էլեկտրական հատկությունների ուսումնասիրման սխեմա



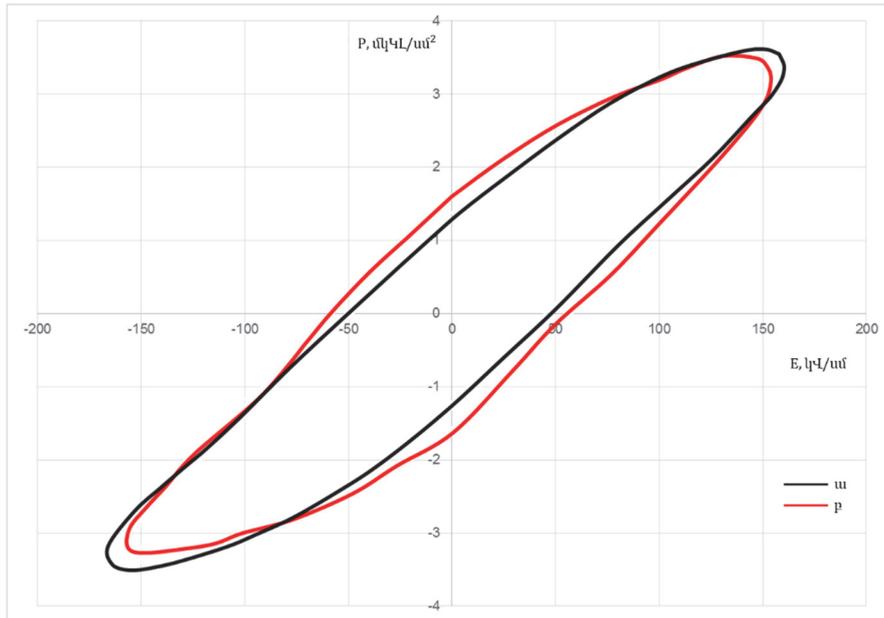
Նկ. 6. Փորձարկումների համար հավաքված համակարգը

Հետազոտվել են մուլտիֆերոէլեկտրիկ նանոթադանթով նմուշների բևեռացման վեկտորի և կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածության կախվածությունները գեներատորի էլքային սինուսոիդային ազդանշանի տարբեր հաճախությունների դեպքում (1 ՄՀց, 6 ՄՀց, 10 ՄՀց, 13 ՄՀց), երբ բոլոր դեպքերում ազդանշանի լարման ամպլիտուդը պահպանվել է 20 Վ: Ստացված բնութագրերը բերված են նկ. 7-ում:



Նկ. 7. Նմուշների բևեռացման վեկտորի և կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածության կախվածությունները տարբեր հաճախությունների դեպքում

Ուսումնասիրվել են նաև նմուշների բևեռացման վեկտորի և կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածության կախվածությունները արտաքին մագնիսական դաշտի առկայության դեպքում և առանց դրա: Սկզբում չափումը կատարվել է առանց արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության (ω), որից հետո նմուշը տեղադրվել է մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ, որի մագնիսական դաշտի ինդուկցիան 0.8 Տ է, և կատարվել է չափում (ρ): Ստացված բնութագրերը բերված են նկ. 8-ում, որոնց վերլուծությունից պարզ է դառնում, որ արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ նմուշի բևեռացման վեկտորը փոփոխվում է առավելագույնը 26%-ով:



Նկ. 8. Արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցությունը նմուշի բևեռացման վեկտորի վրա.
 ա) առանց մագնիսական դաշտի ազդեցության, բ) մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ

Եզրակացություն: $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$ կերամիկական թիրախներից ԻԼՓ-ի միջոցով ստացվել են կերամիկական նանոկառուցվածքներ: Հետազոտության արդյունքում ստացվել են նմուշների բևեռացման վեկտորի և կիրառված էլեկտրական դաշտի լարվածության կախվածությունները ազդանշանի 1 ՄՀց, 6 ՄՀց, 10 ՄՀց, 13 ՄՀց հաճախությունների դեպքում՝ պահպանելով ազդանշանի լարման ամպլիտուդը 20 Վ:

Ստացված նմուշների բևեռացման վեկտորի՝ էլեկտրական դաշտի լարվածությունից կախվածությունների հետազոտությունները ցույց են տվել, որ 0.8 Տլ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայով արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ բևեռացման վեկտորը փոփոխվում է առավելագույնը 26 %-ով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. The Multiferroic Properties of $\text{BiFeO}_3\text{-Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ Solid Solution Ceramics / **Zhenyu Xu, Lirong Luo, Maocheng He, Kai Shen, et al** // IEEE Transactions on Magnetics. - 2015. - Vol. 51, issue 11. - P. 1-4, <https://doi.org/10.1109/TMAG.2015.2438954>.
2. Multiferroic properties of $\text{BiFeO}_3\text{-BaTiO}_3$ based ceramics / **Tomoaki Futakuchi, Tatsunori Kakuda, Yuichi Sakai, et al** // Journal of the Ceramic Society of Japan. - 2014. - Vol. 122, issue 1426. - P. 464-468, <https://doi.org/10.2109/jcersj2.122.464>.

3. Magnetic properties of BiFeO₃ – BaTiO₃ ceramics in the morphotropic phase boundary: a role of crystal structure and structural parameters / **D.V. Karpinsky, M.V. Silibin, D.V. Zhaludkevich, S.I. Latushka, et al** // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2021. - Vol. 539, article 168409. - P. 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.168409>.
4. Enhanced dielectric and multiferroic properties in BaTiO₃ doped Bi_{0.85}Nd_{0.15}Fe_{0.98}Mn_{0.02}O₃ ceramics / **Haoting Zhao, Ruxia Yang, Yang Li, Gang Liu, et al** // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2020. - Vol. 494, article 165779. - P. 1-6, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165779>.
5. Ferroelectrically tunable magnetism in BiFeO₃/BaTiO₃ heterostructure revealed by the first-principles calculations / **Wenxuan Wang, Wei Sun, Guangbiao Zhang, Fengzhu Ren, et al** // Journal of Advanced Research. - 2020. - Vol. 24. - P. 371-377, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.04.012>.
6. Enhanced ferroelectric, magnetic and magnetoelectric properties of multiferroic BiFeO₃–BaTiO₃–LaFeO₃ ceramics / **Min Zhang, Xiaoyan Zhang, Xiwei Qi, Hongen Zhu, et al** // Ceramics International. - 2018. - Vol. 44, issue 17. - P. 21269-21276, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.08.175>.
7. Control of Multiferroic properties in BiFeO₃ nanoparticles / **Diego Carranza-Celis, Alexander Cardona-Rodríguez, Jackeline Narváez, Oscar Moscoso-Londono, et al** // Scientific Reports. - 2019. - Vol. 9, article 3182. - P. 1-9, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39517-3>.
8. Enhanced Electric and Magnetic Properties of the Epitaxial (Ba_{0.5}Sr_{0.5})TiO₃/BiFeO₃ Multiferroic Heterostructure / **Y. Chen, J. Miao, X. Zhang, F. Weng, et al** // IEEE Transactions on Magnetics. - 2012. - Vol. 48, issue 11. - P. 3418-3421, <https://doi.org/10.1109/TMAG.2012.2200459>.
9. Ferroelectric and Magnetic Properties of Multiferroic BiFeO₃-Based Composite Films / **Hiroshi Naganuma, Tomosato Okubo, Kenji Kamishima, Koichi Kakizaki, et al** // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. - 2008. - Vol. 55, issue 5. - P. 1051-1055, <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2008.755>.
10. **Raiter Kamlesh R., Cockburn Bruce F.** An investigation into three-level ferroelectric memory // IEEE International Workshop on Memory Technology, Design, and Testing. - 2005. - P. 1-6, <https://doi.org/10.1109/MTDT.2005.17>.
11. **Amritendu Roy, Rajeev Gupta, Ashish Garg.** Multiferroic Memories // Multiferroic Magnetoelectric Composites and their Applications. - 2012. - Vol. 2012, article ID 926290. - P. 1-12, <https://doi.org/10.1155/2012/926290>.
12. Pure perovskite BiFeO₃–BaTiO₃ ceramics prepared by reaction flash sintering of Bi₂O₃–Fe₂O₃–BaTiO₃ mixed powders / **Ahmed Taibi, Salem Chaguetmi, Pedro E. Sanchez-Jimenez, Antonio Perejon, et al** // Ceramics International. - 2021. - Vol. 47, issue 19. - P. 26947-26954, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.06.108>.
13. Synthesis and Characterization of 0.7BiFeO₃-0.3BaTiO₃ Crystallites by the Hydrothermal Method / **T. Tong, J.G. Chen, J. Jian, D.R. Jin, and J.R. Cheng** // IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF). - 2014. - P. 1-4, <https://doi.org/10.1109/ISAF.2014.6923014>.

14. Մանգանի հավելումով բիսմութ ֆերիտի կերամիկական նմուշների ստացումը և հատկությունների ուսումնասիրությունը / **Ն.Վ. Մարտիրոսյան, Դ.Ս. Մարտիրոսյան, Մ.Ա.Խ. Արաղի, Տ.Վ. Վանդունց և ուրիշներ** // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. - 2023. - Ն. 76, N 4. - Է. 421-435, <https://doi.org/10.53297/0002306X-2023.v76.4-421>.
15. **Ma Chunrui, Chen Chonglin.** Pulsed Laser Deposition for Complex Oxide Thin Film and Nanostructure // Advanced Nano Deposition Methods. - First Edition. - 2016. - Ch. 1. - P. 1-31, <https://doi.org/10.1002/9783527696406.ch1>.
16. **Angela De Bonis, Roberto Teghil.** Ultra-Short Pulsed Laser Deposition of Oxides, Borides and Carbides of Transition Elements // Surface Function Enhancement Film and Coating Technology. - 2020. - P. 1-25, <https://doi.org/10.3390/coatings10050501>.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 05.03.2025:

Д.С. МАРТИРОСЯН

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОПЛЕНОК $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$

Методом импульсного лазерного осаждения на кремниевой подложке с пальчиковой структурой и Au-электродами получены нанопленки из керамических мишеней $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$. Изучены зависимости вектора поляризации полученных тонких пленок от напряженности приложенного электрического поля на различных частотах, а также исследованы зависимости вектора поляризации от напряженности электрического поля при наличии и отсутствии воздействия внешнего магнитного поля.

Ключевые слова: мультиферроэлектрик, нанопленка, импульсное лазерное осаждение, оперативное запоминающее устройство, магнитное поле, вектор поляризации.

D.S. MARTIROSYAN

OBTAINING AND STUDYING PROPERTIES OF $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$ THIN FILMS

Thin films are obtained from $\text{BiFe}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{O}_3$ ceramic targets using pulsed laser deposition technique on a silicon substrate with a finger structure and Au electrodes. The dependences of the polarization vector of the obtained thin films on the applied electric field strength at different frequencies are studied, and the dependences of the polarization vector on the electric field strength with and without the influence of an external magnetic field are also studied.

Keywords: multiferroelectric, thin film, pulsed laser deposition, operational memory device, magnetic field, polarization vector.