**РЕФЕРАТ**

циклу наукових праць

**«Створення нових функціональних матеріалів для
надвисокочастотної техніки»**

авторський колектив:

**Захаров Артем Вячеславович** – молодший науковий співробітник
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,

**Шлапа Юлія Юріївна** – в.о. наукового співробітника інституту загальної
та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України,

**Нікитенко Артем Леонідович** – інженер Київського національного

університету імені Тараса Шевченка,

**Зайлер Андрій Олександрович** – інженер технологічної лабораторії

Костянтинівського державного науково-виробничого підприємства «Кварсит»,

висунутого на здобуття премії Президента України

для молодих вчених за 2018 р.

**Вступ**. Необхідність створення нових функціональних матеріалів із заданим значенням властивостей в значній мірі визначає науково-технічний прогрес в радіоелектроніці. В даний час для даної області науки та техніки все більше знаходять застосування матеріали з спеціальними властивостями – радіопрозорістю та радіопоглинанням, особливо в радіочастотному діапазоні. Радіопрозорі та радіопоглинаючі класи матеріалів охоплюють широкий ряд сполук, а їх дослідження та створення відбувається вже понад пів століття.

Існуючі сьогодні функціональні матеріали, які здатні пропускати та поглинати електромагнітну хвилю радіочастотного діапазону, відповідають вимогам до радіопрозорих та радіопоглинаючих матеріалів за електродинамічними характеристиками, але за комплексом експлуатаційних властивостей, які мають забезпечити тривалу ефективну експлуатацію виробів, не задовольняють виробників аерокосмічної та військової ракетної техніки. Унікальними в цьому сенсі є матеріали на основі кристалічних фаз алюмосилікату стронцію (славсоніту), гексафериту барію, а також феромагнітних манганітів лантану-стронцію. Кераміка на основі славсоніту є радіопрозорим матеріалом, перспективність розробки даного матеріалу полягає в можливості його використання при виготовленні радіопрозорих обтічників та високоміцної матриці для радіопоглинаючих композитів. Гексаферит барію та феромагнітні манганіти лантану-стронцію можуть бути перспективними при розробці радіопоглинаючих композитів з діелектричними матеріалами, оскільки можуть забезпечити можливість керування властивостями композиту зовнішнім магнітним полем, не вносячи при цьому помітних діелектричних втрат.

Актуальність проблеми створення нових матеріалів полягає в розширенні та удосконаленні їх функціональних властивостей, в розробці нових технологічних принципів їх виготовлення, в розробці сучасних методів дослідження їх властивостей, при раціональному використанні ресурсів.

Запропонований цикл наукових праць спрямований на дослідження та пошук шляхів вирішення актуальної проблеми – зміцнення обороноздатності України, його можна умовно розділити на 3 частини, що гармонічно поєднані між собою.

**Метою роботи** є розробка нових функціональних матеріалів для роботи в надвисокочастотному діапазоні радіохвиль, дослідження їх властивостей, а також розробка технологічних параметрів їх виготовлення.

Досягнення мети передбачає:

- здійснення обґрунтованого вибору кристалічної фази з урахуванням термодинамічних методів аналізу;

- обґрунтування вибору областей трикомпонентної системи SrO – Al2O3 – SiO2 перспективних для реалізації низькотемпературного синтезу славсоніту;

- проведення дослідження впливу інтенсифікуючих добавок та їх концентрації на процес формування славсоніту в умовах низькотемпературного синтезу;

- розробку технології створення радіопрозорої кераміки на основі системи SrO – Al2O3 – SiO2 і дослідити електродинамічні та фізико-механічні властивості створених матеріалів;

- синтез слабоагломерованих наночастинок манганіту (La,Sr)MnO3 різними методами, використовуючи органічні речовини та неводні середовища, характеризуватися високими магнітними властивостями (намагніченість);

- дослідження можливості плавного налаштування температури Кюрі в манганіті (La,Sr)MnO3 з високою точністю за рахунок додаткових часткових заміщень в підгратках Мангану та Лантану;

- виявлення особливостей високочастотного магнітного гістерезису в монокристалічному барієвому гексафериті;

- дослідження гібридних електромагнітно-спінових коливань у складених гексаферит-діелектричних структурах, задля перспективи розширення функціональних можливостей спін-хвильових пристроїв надвисокочастотного діапазону;

- розробку практичних рекомендацій з використання результатів проведених досліджень та здійснення їх дослідно-промислових випробувань.

**Обґрунтування об’єднання в єдиний цикл**

Дослідження Захарова А. В., Шлапи Ю. Ю., Нікитенка А. Л. та Зайлера А.О. пов’язані між собою, оскільки є теоретичними та експериментальними дослідженнями зі створення та впровадження нових функціональних матеріалів, що експлуатуються в надвисокочастотному діапазоні радіохвиль. Молодими науковцями досягнуто таких результатів:

* теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена можливість створення радіопрозорих керамічних матеріалів на основі композицій системи SrO – Al2O3 – SiO2, що характеризуються високими електродинамічними та фізико-механічними властивостями, за рахунок інтенсифікації низькотемпературного синтезу славсоніту;
* одержано слабкоагломеровані кристалічні наночастинки манганіту (La,Sr)MnO3 з відносно вузьким розподілом за розмірами та високими значеннями намагніченості, в яких можна з високою точністю керувати температурою фазового переходу (температурою Кюрі) за рахунок часткової зміни хімічного складу, і які є перспективними при розробці композитів для НВЧ-техніки;
* виявлено нові особливості гістерезису частотно-польової залежності феромагнітного резонансу в монокристалічному барієвому гексафериті, досліджено гібридні електромагнітно-спінові коливання в складені гексаферит-діелектричній структурі при попередньо створених доменних структурах різних типів.

**Наукова новизна** циклу наукових праць:

- здійснено поглиблене дослідження процесу синтезу славсоніту; встановлено ймовірні шляхи протікання реакції утворення славсоніту при використанні різних сировинних компонентів. Встановлено, що особливістю твердофазових реакцій утворення славсоніту є синтез в широкому температурному інтервалі проміжних силікатів (Sr2SiO4 та SrSiO3) та алюмінатів (Sr3Al2O6 та SrAl2O4), взаємодія яких при високих температурах приводить до отримання кінцевого продукту;

- за допомогою фізико-хімічних досліджень та симплекс-гратчастого планування в полі первинної кристалізації славсоніту в трикомпонентній системі
SrO – Al2O3 – SiO2 встановлено нестехіометричне співвідношення компонентів мас, що забезпечує зниження температури синтезу славсоніту на 250 °С;

- досліджено вплив одно- (SnO2, Cr2O3, Li2O, ZrSiO4, TiO2, B2O3, MoO3, CaF2) і багатокомпонентних (LiF – NaF, LiF – KF, KF – NaF, LiF – KF – NaF, Li2O – SnO2) інтенсифікуючих добавок на процеси формування кристалічної фази славсоніту при зниженій температурі випалу. Доведено ефективність впливу на низькотемпературний синтез славсоніту стехіометричного складу добавок Li2O у кількості 2 мас. % понад 100 мас. % в температурному інтервалі 1350 – 1450 °С та Li2O – SnO2 у кількості 2 мас. % понад 100 мас. % в температурному інтервалі 1250 – 1350 °С;

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість використання в якості радіопрозорих матеріалів створених зразків кераміки в мікрохвильовому діапазоні 26 – 37,5 ГГц за рахунок низьких значень діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат;

- встановлено закономірності формування мікроструктури та фазового складу низькотемпературної радіопрозорої кераміки за рахунок утворення легкоплавких евтектик в присутності комплексів інтенсифікуючих добавок.

- показано можливість знизити температуру утворення кристалічної структури для наночастинок манганіту (La,Sr)MnO3 до 800°С при синтезі з неводних середовищ, та звести цей процес в одну стадію;

- експериментально встановлено та обгрунтовано можливість плавного керування температурою Кюрі з високою точністю за рахунок гетеро- та ізовалентних заміщень в підгратках Мангану (Mn – Fe) та Лантану (La – Nd,Sm);

- виявлено факт одночасної гібридизації обох низькочастотних мод магнітостатичних коливань з електромагнітною модою діелектричного резонатора в гексаферит-діелектричній структурі з попередньо створеною змішаною доменною структурою. Як наслідок, одразу три гібридні квазіелектромагнітні моди були отримані вперше навіть при відсутності полів підмагнічування;

- експериментально показано, що при розмагніченні в монокристалічному BaFe12O19 можливе утворення зародків доменів зворотної намагніченості, що не призводить до стрибкоподібного переходу зразка в доменний стан при зменшенні зовнішнього магнітного поля до певної величини;

- виявлено експериментальний факт зсуву частотно-польової залежності феромагнітного резонансу у високочастотну область у зв’язку зі зменшенням величини поля насичення для гексаферитових зразків товщиною більше 100 мкм.

**Практична значимість.** Роботи циклу виконувались в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», інституті загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського, Київському національному університеті імені Тараса Шевченка та КДНВП «Кварсит» у рамках завдань фундаментальних держбюджетних НДР МОН України та НАН України: «Створення малоенергоємних екологічно орієнтованих високоресурсних керамічних матеріалів» (№ ДР 0115U000537) 2015 – 2016рр., «Розробка наукових основ структурної інженерії функціональних ультрадисперсних неметалевих покриттів» (№ ДР 0113U000455) 2013 – 2015рр., «Розробка теоретичних основ синтезу радіопрозорих керамічних матеріалів на основі системи RO – RO2 – Al2O3 – SiO2» (№ ДР 0116U000856) 2016 – 2018 рр., договір № 300Е “Синтез і властивості нанорозмірних "core/shell" структур складних оксидів та створення на їх основі нових функціональних матеріалів” (2013 – 2017 рр., № державної реєстрації 0113U003112); договір № 7/14 “Синтез і властивості феримагнітних наноструктур і їх можливе використання в медицині і НВЧ техніці” (2014 – 2016 рр., № державної реєстрації 0114U002690); договір № 34/15-Н «Синтез і властивості нових гетероструктур на основі феромагнітних широкозоних напівпровідників, іонних провідників та органо-неорганічних сполук зі структурою перовськіту» (2015 – 2019 рр., № державної реєстрації 0110U004515), «Дослідження ефектів взаємодії електромагнітних та акустичних полів з впорядкованими, наноструктурованими та біологічними системами для створення новітніх технологій» (№ ДР 0111U005265) 2011–2015 рр., НДР КНУ «Дослідження ефектів взаємодії електромагнітних та акустичних полів з впорядкованими, наноструктурованими та біологічними системами для створення новітніх технологій» (№ ДР 0116U002564) 2016–2018 рр.

В рамках циклу наукових праць:

* встановлено технологічні параметри синтезу та формування радіопрозорих керамічних матеріалів з такими властивостями: склад ВРК-2 (діелектрична проникність – 6,07; тангенс кута діелектричних втрат – 0,0012; водопоглинання – 0,13 %; уявна густина – 2880 кг/м3; міцність при згині – 62,4 МПа; об’ємний опір – 1,1·1013 Ом·см) та склад ВРК-0 (діелектрична проникність – 6,42; тангенс кута діелектричних втрат – 0,0017; водопоглинання – 0,08 %; уявна густина – 2960 кг/м3; міцність при згині – 72,3 МПа; об’ємний опір – 5,9·1014 Ом·см.
* визначено умови одержання слабоагломерованих, кристалічних, однодоменних, суперпарамагнітних наночастинок манганіту із структурою деформованого перовськіту (La,Sr)MnO3, в яких можна з високою точністю керувати температурою Кюрі за рахунок часткової зміни хімічного складу.
* створено модель ферит-діелектричного резонатору мм-діапазону, в якому забезпечується перебудова чотирьох резонансних частот, що відповідають гібридним модам електромагнітно-спінових коливань, на більш ніж 1 ГГц при зміні зовнішнього магнітного поля в межах 0÷4,79 кЕ з однаковим знаком і близькою за значенням крутизною.

Практична цінність розробок підтверджена 6 патентами України на корисну модель (№ 96524, 100087, 105503, 107389, 112522 та 118344).

Поданий на конкурс цикл праць складається з 71 робіт опублікованих з 2014 по 2017 рр.. Серед них 30 статей, зокрема 18 робіт опубліковано джерелах, що реферуються у базі SCOPUS, загальний індекс цитування авторів 14, загальний h-індекс дорівнює 5.

Детально охарактеризуємо найважливіші здобутки циклу наукових праць
**«Створення нових функціональних матеріалів для надвисокочастотної техніки»:**

**Радіопрозорі керамічні матеріали на основі системи SrO – Al2O3 – SiO2**

**Захаровим А.В.** проведено аналіз стану питання в області створення нових функціональних матеріалів, виявлено основні напрямки створення радіопрозорих матеріалів, надана характеристика цих матеріалів та проаналізовані діелектричні властивості у взаємозв’язку зі структурою та фазовим складом. Встановлено, що кристалічна фаза славсоніту є перспективною для створення високотемпературної радіопрозорої кераміки.

Обґрунтовано сировинні компоненти для створення керамічних матеріалів з заданими властивостями; вперше сформовано базу відсутніх в літературних даних термодинамічних констант трикомпонентних сполук системи SrO – Al2O3 – SiO2; визначено вірогідність перебігу реакцій утворення славсоніту на основі шихтових складів, що містять природну або технічну сировину; експериментально досліджено властивості зразків, отриманих на основі модельних композицій на основі природної та технічної сировини, що відповідають стехіометричному складу славсоніту. Встановлено, що для забезпечення більш високих діелектричних характеристик, що обумовлюють основні функціональні властивості радіопрозорої кераміки, слід застосовувати технічну сировину.

За допомогою фізико-хімічних досліджень та симплекс-гратчастого планування в полі первинної кристалізації славсоніту в трикомпонентній системі SrO – Al2O3 – SiO2 встановлено нестехіометричне співвідношення компонентів мас, які забезпечують синтез славсоніту при зниженій температурі 1350 °С. Досліджено вплив одно- (SnO2, Cr2O3, Li2O, ZrSiO4, TiO2, B2O3, MoO3, CaF2) і багатокомпонентних (LiF – NaF, LiF – KF, KF – NaF, LiF – KF – NaF, Li2O – SnO2) інтенсифікуючих добавок на процеси формування славсонітової кристалічної фази при зниженій температурі випалу. Доведено ефективність впливу на низькотемпературний синтез славсоніту добавок Li2O у кількості 2 мас. % понад 100 мас. % в температурному інтервалі 1350 – 1450 °С та Li2O – SnO2 у кількості 2 мас. % понад 100 мас. % в температурному інтервалі 1250 – 1350 °С.

Розроблено склади славсонітової кераміки для експлуатації виробів при ттемпературах до 1500 °С, що є найсуттєвішою перевагою на відміну від зарубіжних та вітчизняних аналогів. Наприклад, КДНВП «КВАРСИТ» використовує кварцову кераміку максимальна температура експлуатації якої складає 1200 °С, а ФДУП «Технологія» Росія кераміку складу ОМТ-357 з максимальною температурою експлуатації 1000 °С. Що стосується фізико-механічних та електродинамічних властивостей розробленої кераміки, то вони відповідають основним вимогам, висунутим до експлуатації РПМ, ГОСТ 20419-83 та знаходяться на рівні світових аналогів (табл. 1).

Таблиця 1 – Властивості оптимальних складів РПК та аналогів

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Властивості | Розроблено НТУ «ХПІ»  | КДНВП«КВАРСИТ»(Україна) | ФДУП«Технологія»,(Росія) ОМТ-357 | Вимоги до РПК | ГОСТ 20419-83 (підгрупа 420 цельзіан) |
| ВРК-0 | ВРК-2 |
| Уявна густина | 2960 | 2880 | 1820-2150 | 2410-2550 | Не менше 2500 | Не менше 2700 |
| Водопоглинання, % | 0,08 | 0,13 | 1,0 | 0,1 | Менше 0,1 | 0,5 |
| Діелектрична проникність при 26 – 37,5 ГГц | 4,93 – 5,26 | 3,67 – 4,12 | 3,2-3,6 | 6,5-7,5 | Менше 10 | – |
| Тангенс кута діелектричних втрат при 26 - 37,5 ГГц | 0,0097 – 0,0122 | 0,0073 – 0,0091 | 0,0002 | 0,015 | 10-4 – 10-2 | – |
| Питомий об’ємний опір, Ом·см | 5,9·1014 | 3,2·1014 | – | – | – | 1014 |
| Міцність при вигині, МПа | 72,3 | 62,4 | 70 | 100 | 70 | 80 |
| Температура експлуатації, °С | до 1500 | до 1300 | до 1200 | до 1000 | до 1200 | – |

Отримані матеріали пройшли дослідно-промислові випробування: у КНУ ім. Т. Шевченка (кафедра теоретичної та квантової радіофізики) проведено електродинамічні дослідження, на базі ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля» проведено випробування в якості радіопрозорих елементів конструкцій із композитних матеріалів; в КДНВП «Кварсит» ДК «Укроборонпром» розроблена славсонітова кераміки була успішно використана при створенні зразків радіопрозорих обтічників, які можуть використовуватися як захисний відсік ракет самонаведення. Всі наведені вище матеріали щодо практичної цінності результатів роботи підтверджуються відповідними актами випробування та впровадження.

**Синтез та властивості феромагнітних наноматеріалів зі структурою перовськіту**

**Шлапою Ю.Ю.** синтезовано слабкоагломеровані наночастки манганіту (La,Sr)MnO3 трьома різними методами. осадженням з розчину діетиленгліколю. Методом ЯМР 1Н спектроскопії показано, що при осадженні з розчину діетиленгліколю (ДЕГ) в лужному середовищі утворюються гідроксокомплекси між молекулами ДЕГ та катіонами металів. В результаті піролізу одержаних комплексів при 200°С формується аморфний прекурсор, а для утворення кристалічних частинок потрібна додаткова термообробка. Методом РФА встановлено, що кристалічна структура починає формуватися в одну стадію при 600°С, і повністю формується при 800°С.

При осадженні наночастинок манганіту з обернених мікроемульсій на основі різних поверхнево-активних речовин процес проходить в обмеженому просторі (нанореактор). Показано, що після синтезу утворюється аморфний прекурсор, а для одержання кристалічних частинок потрібна додаткова термообробка. Встановлено, що на відміну від осадження з водного розчину, утворення кристалічної структури є одностадійним процесом, який починається при 600°С, і повністю формується при 800°С.

При синтезі часток манганіту золь-гель методом між молекулами лимонної кислоти та іонами металів утворюються комплекси, а при додаванні в реакційну суміш етиленгліколю та нагріванні відбувається утворення складного поліестеру, в результаті піролізу якого формується аморфний прекурсор. Кристалічна структура перовськіту починає утворюватися в одну стадію при 600°С і повністю формується при 800°С.

За результатами мікроструктурних досліджень (ТЕМ-мікроскопія) встановлено, що метод та умови синтезу впливають на розміри одержаних наночастинок. Розраховано, що усі частинки мають середні розміри в діапазоні 20 – 40 нм. Результати магнітних досліджень показали, при кімнатній температурі усі наночастки (La,Sr)MnO3 характеризуються незначною коерцитивною силою. Магнітні властивості, зокрема намагніченість, суттєво залежать від розмірів синтезованих наночастинок і вищу намагніченість мають наночастинки манганіту (La,Sr)MnO3, синтезовані золь-гель методом, оскільки вони мають дещо більші розміри.

Було показано можливість плавного керування температурою фазового переходу (точка Кюрі) в вузькому діапазоні температур за рахунок часткової зміни хімічного складу. За результатами комплексних досліджень встановлено, що при частковому заміщенні Mn – Fe (до 10% Fe) має місце гетеровалентне заміщення менших іонів Mn4+ більшими іонами Fe3+, що в свою чергу впливає на співвідношення іонів Mn4+/ Mn4+ та дозволяє змінювати температуру фазового переходу. Дані магнітних вимірювань показали, що у вузькому діапазоні заміщень заліза (від 0 до 4%) можна з високою точністю змінювати температуру Кюрі манганіту в межах температур, близьких до кімнатної.

При частковому введенні в підгратку лантану Nd або Sm (до 8%) в манганіті змінюється середній радіус іона в цій підгратці, тобто має місце ізовалентне заміщення більших іонів La3+ меншими за розмірами іонами Nd3+ або Sm3+, що впливає на температуру фазового переходу. За результатами магнітних досліджень встановлено, що заміщення на Nd або Sm в межах від 0 до 8% дозволяє з високою точністю змінювати температуру Кюрі манганіту в межах температур, близьких до кімнатної.

**Дослідження високочастотних характеристик монокристалічного барієвого гексафериту та складених структур на його основі.**

**Нікитенко А.Л.** Схематичний вигляд пропонованого перебудовуваного ферит-діелектричного резонатора мм-діпазону, розміщеного на короткозамикачі вимірювальної секції 6-мм прямокутного хвилеводу, показано на рис. 1. Дана ферит-діелектрична структура складається з платівки BaFe12O19 1 у формі прямокутного паралелепіпеду розмірами a×b = 3,85×2,5 мм2 і товщиною *t*ф = 35 мкм, яка для міцності конструкції приклеєна до тонкої кварцової підкладинки 2 товщиною 145 мкм, і кварцового діелектричного резонатора (ДР) 3 у формі диску з діаметром *D* = 1,7 мм і висотою *h* = 1,57 мм, приклеєного до підкладинки. 4 – полюса електромагніту.

Принцип роботи такого резонатора базується на електромагнітно-спіновій взаємодії у складеній ферит-діелектричній структурі електромагнітного поля власної моди циліндричного ДР і магнітостатичних полів власних мод платівки BaFe12O19, збуджених зовнішньою електромагнітною хвилею хвилеводу. У відсутності зовнішнього поля *Н*0 у гексаферитовій платівці, за наявності змішаної доменної структури (ДС) (рис. 2а), попередньо створеної при перемагнічуванні під кутом *φ* = 0º відносно площини платівки гексафериту, збуджуються три чіткі власні моди магнітостатичних коливань (МСК) — *ω*MS1', *ω*MS2', *ω*MS3'. Водночас, у циліндричному ДР збуджується одна власна мода електромагнітних коливань (ЕМК) частота якої лежить в області існування таких магнітостатичних коливань (МСК).



Рисунок 1 – Схематичний вигляд перебудовуваного ферит-діелектричного резонатора мм-діапазону

Виявлений факт одночасної гібридизації обох низькочастотних мод МСК з електромагнітною модою ДР в гексаферит-діелектричній структурі з попередньо створеною змішаною ДС. Як наслідок, одразу три гібридні квазіелектромагнітні моди *ω*qEM1', *ω*qEM2', *ω*qEM3',були отримані вперше навіть при відсутності полів підмагнічування.

Перебудова чотирьох робочих частот ферит-діелектричного резонатора *ω*MS1', *ω*qEM2', *ω*MS2', *ω*MS3', як показано на рис. 2а, забезпечується зміною поля *Н*0 (**Н**0⊥ВЛН**)**, прикладеного дотично до площини платівки BaFe12O19. Зокрема, експериментально встановлено, що зміна поля Н0 на 4,79 кЕ (рис. 2а) дозволяє перебудувати частоти вказаних коливань на δ*ω*MS1' = 1,62 ГГц, δ*ω*qEM2' = 1 ГГц, δ*ω*MS2' = 1,66 ГГц, δ*ω*MS3' = 2,46 ГГц, відповідно. Відтак, крутизна перестройки δ*fr*/δH0 для чотирьох робочих частот резонатора є досить близькою за значенням та однаковою за знаком, причому поведінка частот у розглядуваному діапазоні полів Н0 є близькою до лінійної, що вигідно вирізняє даний перебудовуваний ферит-діелектричний резонатор з-поміж існуючих у мм-діапазоні.



(а) (б)

Рисунок 2 – Частотно-польова залежність спектра гібридних ЕМСК у складеній ферит-діелектричній структурі на основі монокристалічної платівки BaFe12O19 (а) у стані зі змішаною ДС (б) та кварцового ДР. Точки — експеримент, штрихова лінія — частота електромагнітної моди ізольованого ДР.

Окрема увага при дослідженні високочастотних характеристик монокристалічного BaFe12O19 присвячена дослідженню особливостей гістерезису частотно-польової залежності (ЧПЗ) феромагнітного резонансу (ФМР). Вперше експериментально показано, що при розмагніченні в монокристалічному BaFe12O19 можливе утворення зародків доменів зворотної намагніченості, що не призводить до стрибкоподібного переходу зразка в доменний стан при зменшенні *H*0 до певної величини. Виявлено експериментальний факт зсуву ЧПЗ ФМР у високочастотну область у зв’язку зі зменшенням величини *Hнас* для товстих зразків (*tф* > 100 мкм). Чіткої залежності величини гістерезису δ*Hгіст* від зміни товщини зразку не виявлено. Однак, кожен окремий зразок можна охарактеризувати деяким середнім значенням цієї величини, відмінним від інших.

**Створення зразків радіопрозорих обтічників.**

**Зайлер А.О.** Проведено розробку технологічних параметрів отримання заготовок обтiкачiв ракет самонаведення за керамічною технологією. Робота складалась з ряду етапів: підготовки синтезованої маси, формуванні виробів, термообробки, механічної обробки, радіотехнічного налаштування та процедурою зміцнення виробів методом іонної обробки. Попередньо синтезовані композиції на основі складів розроблених в НТУ «ХПІ» піддаються подрібненню до максимального розміру 50 мм та послідуючим мокрим помелом у ситалових шарових млинах до необхідної тонини, вологості, густини шлікеру та іншими заданими властивостями. Наступна стадія технологічного процесу складалася зі стабілізації шлікеру та формовки виробу у спеціальних гіпсових формах, які повинні відповідати за геометричними параметрами майбутній заготовці. Після процесу сушки відбувається процес випалу з послідуючою механічною алмазною обробкою. На стадії радіотехнічної настройки та доводки виріб проходив радіотехнічне налаштування на проходження необхідного частотного діапазону на спеціальних радіотехнічних стендах. Останніми стадіями технологічного процесу були процедури зміцнення методом іонної обробки та зборки виробу з металевим кільцем, яке з’єднує виріб з майбутньою ракетою.

Результати досліджень впроваджено в навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХПІ» та кафедри квантової радіофізики КНУ ім. Т. Шевченка за наступними спеціальностями: «Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів» та «Прикладна фізика та наноматеріали».

**Висновки.** Підсумовуючи отримані результати, цикл наукових праць **«Створення нових функціональних матеріалів для надвисокочастотної техніки»** об’єднує наукові здобутки молодих дослідників, що відповідають сучасному рівню світових досягнень у галузі матеріалознавства. Розроблені нові функціональні матеріали знайшли своє впровадження на провідних аерокосмічних та оборонних підприємствах України.

Молодший науковий співробітник

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.В. Захаров

В. о. наукового співробітника

інституту загальної та неорганічної хімії

ім. В. І. Вернадського НАН України \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Ю.Ю. Шлапа

інженер Київського національного

університету імені Тараса Шевченка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.Л. Нікитенко

інженер технологічної лабораторії

Костянтинівського державного

науково-виробничого підприємства «Кварсит» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А.О. Зайлер