

PACSnumbers: 75.30.Cr, 81.05.Je, 81.10.St, 81.16.Be, 81.20.Fw, 81.40.Rs, 87.64.kx, 87.85.J-

## **Синтеза магнетних кальцієвмісних гексагональних феритів барію**

I. M. Іваненко, Т. А. Донцова, І. М. Астрелін, А. О. Перекос\*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»,  
хіміко-технологічний факультет,  
просп. Перемоги, 37, корпус 4,  
03056 Київ, Україна*

*\*Інститут металлофизики ім. Г. В. Курдюмова НАН України,  
бульв. Академіка Вернадського, 36,  
03680, МСП, Київ, Україна*

В статті описано спробу синтезу магнетного кальцієвмісного гексагонального фериту із застосуванням трьох різних методик: термічного оброблення механічної суміші оксидів, термічного розкладання твердої суміші солей, одержаної випарюванням їх водного розчину, а також сумісного співосадження оксалатів. В ході синтезу варіювали температуру і атмосферу останньої стадії — високотемпературного оброблення. Прожарювання одержуваних сухих сумішей проводили за температур у 700, 900 і 1000°C на повітрі й у інертній атмосфері. На СЕМ-зображенні структура фериту добре прослідковується лише у зразку, що був одержаний методом випарювання розчинів солей. Рентгеноструктурна аналіза зразків, одержаних за температури у 1000°C в інертному середовищі, показала, що при застосуванні методи спікання оксидів превалює фаза  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , а при випарюванні розчинів солей — ферит складу  $\text{Ca}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ . При порівнянні дифрактограм зразків, одержаних одною методою із заключним термообробленням при 1000°C на повітрі й у інертному середовищі,

Corresponding author: Anatolii Omelyanovych Perekos  
E-mail: perekos@ukr.net

*National Technical University of Ukraine 'KPI', Chemical Engineering Department,  
37 Peremohy Ave., Bldg. 4, 03056 Kyiv, Ukraine*

*\*G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, N.A.S. of Ukraine,  
36 Academician Vernadsky Blvd., 03680 Kyiv, Ukraine*

I. M. Ivanenko, T. A. Dontsova, I. M. Astrelin, and A. O. Perekos, Synthesis of Magnetic Calcium-Containing Hexagonal Ferrites of Barium, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **38**, No. 6: 751–762 (2016) (in Ukrainian), DOI: 10.15407/mfint.38.06.0751

будь-якої різниці ані у фазовому, ані у елементному складі не виявлено, що свідчить про відсутність впливу атмосфери прожарювання на перебіг процесу феритоутворення. При порівнянні дифрактограм зразків, синтезованих методом випарювання розчинів солей, можна зробити висновок, що у зразках, які прожарювалися за температур у 700 і 900°C, переважає оксидна складова, а фериту майже немає. Тобто нагріву за температур 700–900°C не достатньо для ініціювання процесу феритоутворення. За аналізом даних вимірювань на Штейнберговому магнетометрі відмічено, що магнетні характеристики зразків, синтезованих методом спікання оксидів і співосадження оксалатів, у 3–4 рази нижчі, ніж для зразків, одержаних випарюванням розчинів відповідних солей. Значення питомої намагнетованості та коерцитивної сили зразків зростають при підвищенні температури їх оброблення від 700 до 900°C, а потім дещо знижуються, причому для зразків, одержаних як в інертній атмосфері, так і на повітрі. Експериментально доведено, що для виробництва Са-, Ва-феритів з магнетними властивостями найбільш ефективною є метода випарювання розчинів солей.

**Ключові слова:** кальцієвмісні гексагональні ферити, феритоутворення, магнетні властивості.

The article describes the synthesis of magnetic hexagonal calcium-containing ferrites with using three different techniques: thermal treatment of mechanical mixtures of oxides, thermal decomposition of the solid mixture of salts obtained by the evaporation of their aqueous solution, and jointly coprecipitation of oxalates. During the synthesis, temperature and atmosphere at the last stage, namely, under high-temperature treatment, are varied. Calcination of the obtained dry mixtures is performed at temperatures of 700, 900, and 1000°C in the air and in inert atmosphere. In SEM-images, the structure of ferrite is well observed only for the sample obtained by evaporation of salts' solutions. X-ray diffraction analysis of the samples obtained at the temperature of 1000°C in inert atmosphere shows that, after using the method of thermal treatment of oxides' mechanical mixtures, the  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase prevails, and after evaporation of salt solutions, the ferrite of Ca<sub>0.5</sub>Ba<sub>0.5</sub>Fe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> composition dominates. When comparing the diffraction patterns of the samples obtained by the same method with the final heat treatment at 1000°C in inert environment and in the air, any difference neither in phase, nor in the elemental composition is not found. This one indicates no influence of calcination atmosphere on the ferrites' formation. By means of comparison of the diffraction patterns of the samples synthesized by evaporation of saline solutions and calcination at temperatures of 700 and 900°C, it can be concluded that the oxide component predominates over almost missing ferrite phase. Thus, the heating to temperatures of 700–900°C is not enough to initiate the process of ferrites' forming. Analysis of data of measurements on the Steinberg magnetometer indicates that the magnetic characteristics of the samples synthesized by sintering of oxides and coprecipitation of oxalates are lower in 3–4 times than for the samples obtained by evaporation of solutions of the respective salts. Values of specific magnetization and coercive force of the samples are increased with increasing treatment temperature from 700 to 900°C and then decreased slightly; it concerns

to samples obtained both in inert atmosphere and in the air. As experimentally proved, the most effective method for the fabrication of Ca-, Ba-ferrites with magnetic properties is the method of salt-solutions' evaporation.

**Keywords:** hexagonal calcium-containing ferrites, ferrite forming, magnetic properties.

В статье описана попытка синтеза магнитного кальцийсодержащего гексагонального феррита с применением трёх различных методов: термической обработки механической смеси оксидов, термического разложения твёрдой смеси солей, полученной выпариванием их водного раствора, а также совместного соосаждения оксалатов. В ходе синтеза варьировали температуру и атмосферу последней стадии — высокотемпературной обработки. Прокаливание получаемых сухих смесей проводили при температурах 700, 900 и 1000°C на воздухе и в инертной атмосфере. На СЭМ-изображении структура феррита хорошо прослеживается лишь в образце, который был получен методом выпаривания растворов солей. Рентгеноструктурный анализ образцов, полученных при температуре 1000°C в инертной среде, показал, что при применении метода спекания оксидов преобладает фаза  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а при выпаривании растворов солей — феррит состава Ca<sub>0,5</sub>Ba<sub>0,5</sub>Fe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>. При сравнении дифрактограмм образцов, полученных одним методом с заключительной термообработкой при 1000°C на воздухе и в инертной среде, какой-либо разницы ни в фазовом, ни в элементном составе не обнаружено, что свидетельствует об отсутствии влияния атмосферы прокаливания на ход процесса ферритообразования. При сравнении дифрактограмм образцов, синтезированных методом выпаривания растворов солей, можно сделать вывод, что в образцах, которые прокаливались при температурах 700 и 900°C, преобладает оксидная составляющая, а феррита почти нет. Таким образом, нагрева до температур 700–900°C не достаточно для иницирования процесса ферритообразования. Из анализа данных измерений на магнитометре Штейнберга следует, что магнитные характеристики образцов, синтезированных методом спекания оксидов и соосаждения оксалатов, в 3–4 раза ниже, чем для образцов, полученных выпариванием растворов соответствующих солей. Значения удельной намагниченности и коэрцитивной силы образцов возрастают при повышении температуры обработки от 700 до 900°C, а затем несколько снижаются, причём для образцов, полученных как в инертной атмосфере, так и на воздухе. Экспериментально доказано, что для производства Ca-, Ba-ферритов с магнитными свойствами наиболее эффективным является метод выпаривания растворов солей.

**Ключевые слова:** кальцийсодержащие гексагональные ферриты, ферритообразование, магнитные свойства.

*(Отримано 11 травня 2016 р.)*

## 1. ВСТУП

У виробництві феритів основними вихідними речовинами є оксиди,

солі та гідроксиди відповідних металів. Причому незалежно від виду сировини, ферити у кінцевому рахунку утворюються з оксидів, які (за певних умов) вступають між собою в реакцію феритизації. Однак хімічна реакційна здатність суміші оксидів істотним чином залежить від методу її одержання [1–3].

В промисловості ферити одержують термічною обробкою механічної суміші оксидів або карбонатів, термічним розкладом твердої суміші солей, одержаної випарюванням їх водного розчину, а також із сумісно співосаджених гідроксидів, карбонатів, оксалатів тощо.

Найбільш багатоступеневим і складним є останній процес спільного осадження солей або гідроксидів з наступним термічним розкладанням їх до оксидів. Деяко простішим є процес термічного розкладу суміші солей відповідних металів до оксидів. Нарешті, найпростіший у технологічному відношенні спосіб приготування полягає в змішуванні та подрібненні готових порошкоподібних оксидів, а тому у промисловості ферити прагнуть одержувати саме цим способом [4–6].

Метою представленої роботи було дослідження особливостей одержання магнетного кальцієвмісного гексагонального фериту із застосуванням всіх трьох методик.

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИКИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для синтезу феритів застосовували три різних методи, основні стадії і умови яких представлені в табл. 1.

В ході синтезу варіювали температуру і атмосферу останньої стадії — високотемпературної обробки. Прожарювання одержуваних

ТАБЛИЦЯ 1. Стадії синтезу феритів.

TABLE 1. Stages of ferrites synthesis.

Спікання оксидів	Співосадження оксалатів	Випарювання розчинів солей
1) Перемішування наважок оксидів CaO, BaO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> шляхом розтирання 2) Прожарювання суміші	1) Змішування гарячого розчину (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> з твердими Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O 2) Старіння (24 год.) 3) Фільтрування, промивання, висушування 4) Прожарювання	1) Додавання розчину феруму(III) цитратноаміачного до розчинів Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> і Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2) Випарювання розчину 3) Часткове розкладання суміші солей при нагріванні 4) Прожарювання

**ТАБЛИЦЯ 2.** Умови синтези феритів.**TABLE 2.** The conditions of ferrites synthesis.

Позначення зразку	Метод одержання	Температура, °С, атмосфера прожарювання
1	Спікання оксидів	1000, повітря
2	Спікання оксидів	1000, інертна
3	Співосадження оксалатів	1000, повітря
4	Співосадження оксалатів	1000, інертна
5	Випарювання розчинів солей	1000, повітря
6	Випарювання розчинів солей	900, повітря
7	Випарювання розчинів солей	700, повітря
8	Випарювання розчинів солей	1000, інертна
9	Випарювання розчинів солей	900, інертна
10	Випарювання розчинів солей	700, інертна

сухих сумішей проводили за температур 700, 900 та 1000°C на повітрі і в інертній атмосфері. Зведені дані щодо умов кінцевої стадії всіх трьох обраних методів синтези наведено в табл. 2.

Електронно-мікроскопічні дослідження синтезованих зразків проводили на растровому сканувальному електронному мікроскопі з енергодисперсійним мікроаналізатором РЕМ 106И.

Рентгенофазову аналізу (РФА) одержаних зразків виконували у мідному  $\text{CuK}_\alpha$ -випромінненні ( $\lambda = 0,154184$  нм) на приладі Rigaku Ultima IV зі швидкістю 2 град/хв. Наявність фаз ідентифікували за стандартними картками.

Елементну аналізу проводили на приладі EXPERT 3L методом неруйнівної енергодисперсійної рентгенофлуоресцентної аналізу (ЕДРФА) без використання еталонів.

Магнетні властивості синтезованих феритів вимірювали балістичним методом на Штейнберговому магнетометрі.

Мессбауерівські спектри порошоків знімали на експресному спектрометрі MC 1101 E. Джерелом  $\gamma$ -квантів слугував ізотоп  $^{57}\text{Co}$  активністю 5 мКю. Спектри ЯГР апроксимували за стандартною процедурою дискретної підгонки з розкладанням на компоненти.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як видно з рисунку 1, на якому представлено збільшенні в 1000 разів зображення зразків, синтезованих різними методами і прожарених за температури 1000°C, структура фериту добре прослідкову-

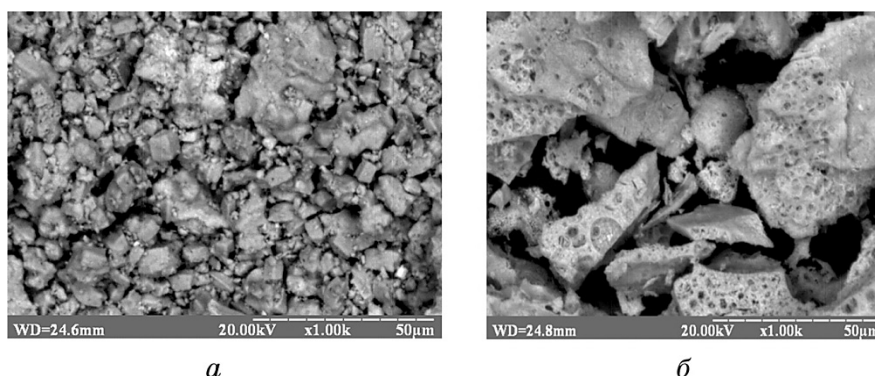


Рис. 1. СЕМ-зображення зразків 3 (а) та 5 (б).

Fig. 1. SEM images of samples 3 (a) and 5 (b).

ється лише у зразку 5.

Аналіза дифрактограм зразків, синтезованих трьома різними методами і прожарених за однакової температури (1000°C) на повітрі, показала наявність двох фаз:  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  та фериту складу  $\text{Ca}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ . Цікаво, що у зразках, одержаних методом спікання оксидів і співосадження оксалатів, превалює фаза  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (тригонального гематиту), а в одержаних випарюванням розчинів солей в найбільшому ступені міститься фаза фериту вказаного вище складу (рис. 2).

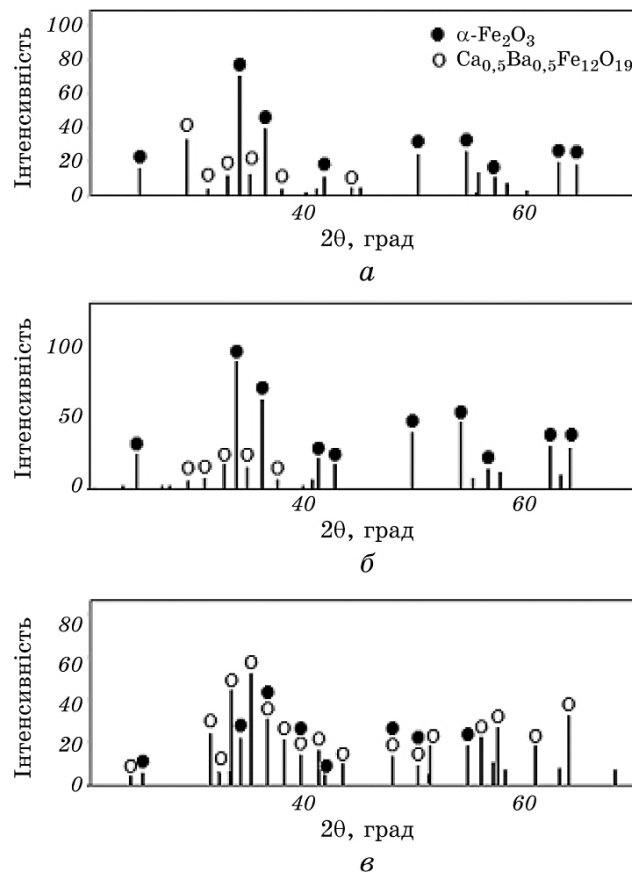
Рентгеноструктурна аналіза зразків, одержаних за температури 1000°C в інертному середовищі, показала, що при застосуванні методу спікання оксидів превалює фаза  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а при випарюванні розчинів солей — ферит складу  $\text{Ca}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$  (рис. 3).

Все це свідчить про те, що, незалежно від атмосфери кінцевого прожарювання, метод випарювання розчинів солей є найефективнішим (серед досліджених) для одержання кальцій-барієвих феритів.

При порівнянні дифрактограм зразків, одержаних одним методом із заключною термообробкою при 1000°C і в інертному середовищі, — зразки 1, 2 (рис. 2, а та 3, а), і на повітрі — зразки 5, 8 (рис. 2, в та 3, б), будь-якої різниці ані у фазовому, ані у елементному складі (що встановлено додатковою аналізою) не виявлено, що свідчить про відсутність впливу атмосфери прожарювання на перебіг процесу феритоутворення.

Для з'ясування впливу температури на склад одержуваних зразків синтезу із застосуванням методу випарювання розчинів солей було проведено не тільки за температури 1000°C, а й за 900 та 700°C (рис. 4).

При порівнянні дифрактограм зразків, синтезованих методом випарювання розчинів солей, можна зробити висновок, що у зраз-



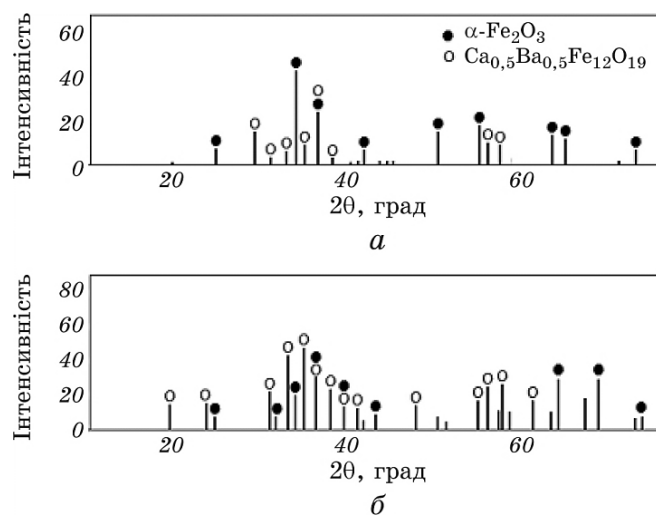
**Рис. 2.** Дифрактограми зразків 1 (а), 3 (б) та 5 (в), одержаних за температури 1000°C на повітрі.

**Fig. 2.** The X-ray diffraction patterns of samples 1 (a), 3 (b) and 5 (c) obtained at temperature of 1000°C in the air.

ках, які прожарювалися за температур 700 і 900°C, переважає оксидна складова, а фериту майже немає. Тобто нагріву за температур 700–900°C не достатньо для ініціювання процесу феритоутворення.

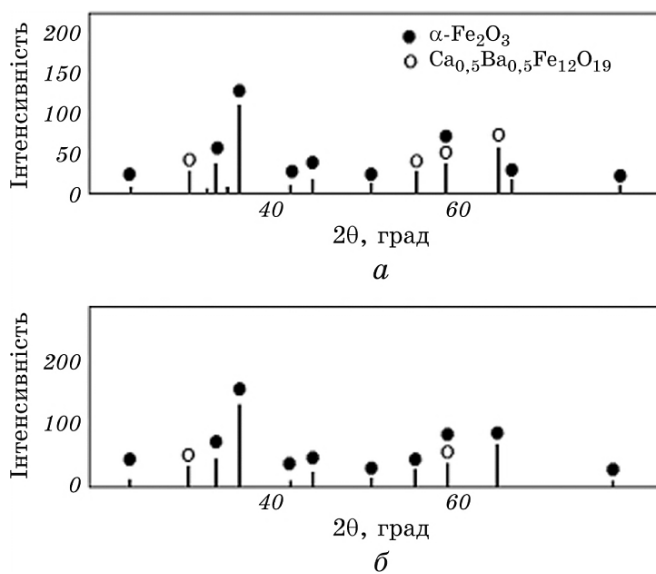
Аналізуючи дані вимірювань на Штейнберговому магнетометрі, які представлені в табл. 3, можна відмітити, що магнетні характеристики зразків, синтезованих методом спікання оксидів та співосадження оксалатів, є 3–4 рази нижчі, ніж для одержаних випарюванням розчинів відповідних солей.

Значення питомої намагнетованості ( $\sigma_s$ , Гс·см<sup>3</sup>/г) та коерцитивної сили ( $H_c$ , кЕ) зразків зростає при підвищенні температури їх обробки від 700 до 900°C, а потім дещо знижується, причому для зразків, одержаних як в інертній атмосфері, так і на повітрі.



**Рис. 3.** Дифрактограми зразків 2 (а) та 8 (б), одержаних за температури 1000°C в інертному середовищі.

**Fig. 3.** The X-ray diffraction patterns of samples 2 (a) and 8 (b) obtained at temperature of 1000°C in inert atmosphere.



**Рис. 4.** Дифрактограми зразків 6 (а) і 7 (б), одержаних за температур 900°C та 700°C на повітрі.

**Fig. 4.** The X-ray diffraction patterns of samples 6 (a) and 7 (b), obtained at temperatures of 900°C and 700°C in the air.



**ТАБЛИЦЯ 3.** Магнетні характеристики синтезованих порошків.

**TABLE 3.** The magnetic characteristics of the synthesized powders.

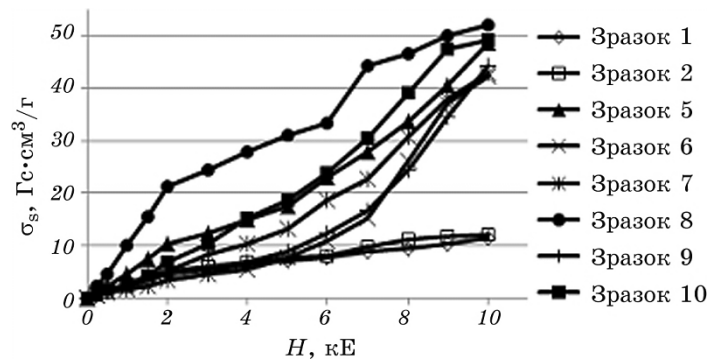
Зразок	$\sigma_s$ , Гс·см <sup>3</sup> /Г	$H_c$ , кЕ	$B_r$ , Гс
1	11,3	3,8	398
2	12,0	1,8	396
3	13,5	3,5	452
4	15,7	4,2	438
5	48,6	6,0	1788
6	42,4	6,5	1722
7	43,1	2,8	1547
8	49,3	4,5	1729

Залишкова індукція ( $B_r$ , Гс) зразків зменшується пропорційно температурі їх прожарювання, що пояснюється підвищенням ступеня феритизації зразків цієї серії, а також узгоджується з даними рентгенофазової аналізи.

Окремо слід відмітити, що зразки, термооброблені в інертній атмосфері, мають дещо вищі значення намагнетованості та коерцитивної сили, а також нижчу залишкову індукцію у порівнянні із зразками, термообробленими на повітрі, що додатково свідчить про їх різний ступінь феритизації.

На рисунку 5 показано залежність питомої намагнетованості ( $\sigma_s$ , Гс·см<sup>3</sup>/Г) від напруженості магнетного поля ( $H$ , кЕ) для першої і третьої серії зразків.

Для феромагнетиків з великою коерцитивною силою (як і для су-



**Рис. 5.** Залежність питомої намагнетованості від напруженості магнетного поля.

**Fig. 5.** The dependence of the specific magnetization on the magnetic field.

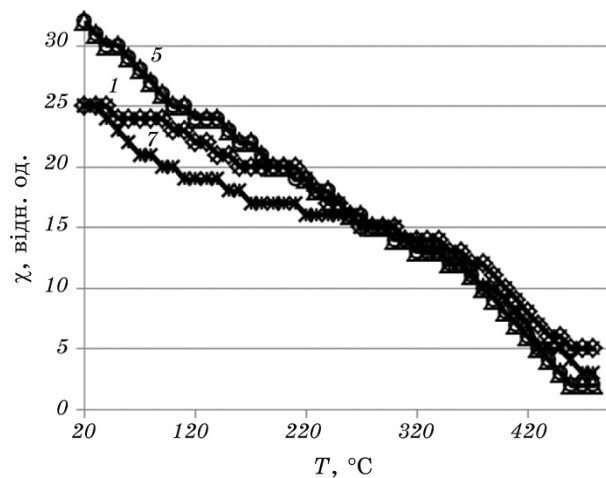
перпарамагнетних речовин) спостерігається поступове збільшення намагнетованості з ростом напруженості магнетного поля.

Як видно з даних рис. 5, питома намагнетованість зразків 1 і 2 дуже повільно зростає з підвищенням напруженості зовнішнього магнетного поля, причому залежність  $\sigma_s = f(H)$  має лінійний вигляд, характерний для речовин-парамагнетиків (або суперпарамагнетиків), до яких належить  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , яким, в основному, представлений фазовий склад цих зразків.

Решта залежностей, представлених на рис. 5, не є лінійними. Їх вигляд характерний для феримагнетиків, типовим представником яких є ідентифікований РФА ферит складу  $\text{Ca}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ , для якого при напруженості магнетного поля 6–7 кЕ починається процес різкого намагнетування.

Лінійна частина представлених залежностей для зразків, прожарених за температур 900 і 1000°C (у слабкому полі), свідчить про наявність суперпарамагнетних частинок. Порушення лінійного ходу кривих (рис. 5), яке спостерігається в полях більше 7 кЕ, обумовлюється вкладом феромагнетних частинок. Тобто за цих температур наявна суміш як феро-, так і СПМ-частинок.

На температурній залежності магнетної сприйнятливості (рис. 6) не спостерігається ні чітко виражених перегинів, ні плато, що свідчить про відсутність конкретного значення температури Кюрі і характерно для суміші феромагнетних речовин. Це підтверджується даними РФА та попередніх магнетних досліджень (табл. 3).



**Рис. 6.** Температурна залежність магнетної сприйнятливості зразків 1, 5 та 7.

**Fig. 6.** Temperature dependence of magnetic susceptibility of samples 1, 5, and 7.

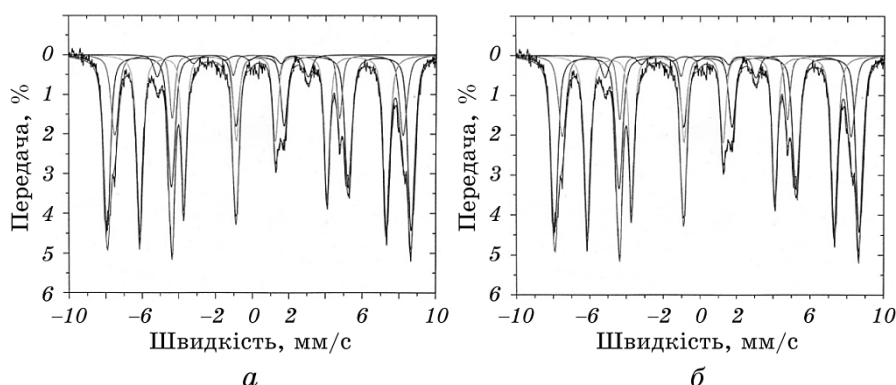


Рис. 7. Мессбауерівські спектри зразків 3 (а) та 5 (б).

Fig. 7. Mössbauer spectra of samples 3 (a) and 5 (b).

Як видно з рис. 7, Мессбауерівські спектри зразків 3 і 5 складаються з дублетної частини, розширеної компоненти та ліній магнетної надтонкої структури. Такі спектри є характерними для суміші більших за розмірами феромагнетних і значно менших за розмірами суперпарамагнетних частинок — магнетних нанокластерів.

Таким чином, одержано ферит складу  $\text{Ca}_{0,5}\text{Ba}_{0,5}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ , що є перспективним для застосування у біомедичних цілях, а саме, для відновлення кісткової тканини, сепарації клітин, детоксикації біологічних рідин, підвищення контрастності магнетно-резонансного зображення тощо. Не дуже високі значення коерцитивної сили та залишкової індукції зразків уможливають створювати магнетні поля для легкого перемагнетування частинок, магнетні втрати будуть достатніми для нагріву частинок. Перспективним напрямом розвитку подальших досліджень є поглиблене вивчення феритів і створення нової багатофункціональної біокераміки на основі гідроксилапатиту, в матрицю якої впроваджено мікрочастинки синтезованого Ca-, Ba-фериту.

#### 4. ВИСНОВКИ

Відпрацьовано методики синтези Ca-, Ba-феритів трьома методами: спікання оксидів, співсадження оксалатів, випарювання розчинів солей. Вперше одержано Ca-, Ba-ферит на основі Феруму (III) цитратноаміачного. Синтезовано препаративні серії зразків, серед яких всі без винятку виявляють магнетні властивості. Експериментально доведено, що для виробництва Ca-, Ba-феритів з магнетними властивостями найбільш ефективним є метод випарювання розчинів солей.

При дослідженні температури та середовища прожарювання зразків, встановлено, що ступінь феритизації зростає з підвищенням температури від 700 до 1000°C і що він є вищим для феритів, одержаних без доступу повітря.

Магнетні характеристики зразків, синтезованих методом спікання оксидів, в 3–4 рази нижчі, ніж для одержаних випарюванням розчинів відповідних солей.

Зразок, одержаний випарюванням розчинів солей і прожарений за температури 700°C в інертній атмосфері, показав найбільшу питому намагнетованість (серед всіх досліджених) та найменшу залишкову індукцію (серед одержаних цим методом).

Найбільша коерцитивна сила серед досліджених феритів спостерігається для зразка, що синтезований методом випарювання розчинів солей кальцію нітрату, барію нітрату і Феруму (III) цитратно-аміачного з подальшим прожарюванням за температури 900°C.

## ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. R. B. Khomane, C. C. Chauhan, S. K. Menon, and B. D. Kulkarni, *J. Magn. Magnetic Mater.*, **320**, No. 6: 1095 (2008).
2. B. J. Palla and D. O. Shah, *Preparation of Nanoparticles of Barium Ferrite from Precipitation in Microemulsions* (Gainesville, FL, USA: Dept. of Chemical Engineering, University of Florida: 2009), p. 12.
3. Z. Z. Zyman, M. V. Tkachenko, and D. V. Polevodin, *J. Mater. Sci.: Mater. Med.*, **19**: 2819 (2008).
4. Н. В. Ткаченко, Л. П. Ольховик, А. С. Камзин, *ФТТ*, **53**, вып. 8: 1512 (2011).
5. Н. В. Ткаченко, Л. П. Ольховик, А. С. Камзин, *Письма в ЖТФ*, **37**, вып. 11: 7 (2011).
6. Л. П. Ольховик, Н. М. Борисова, Е. Я. Леватан, А. А. Коваль, *Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. Серія «Фізика»*, № 651: 8 (2005).

## REFERENCES

1. R. B. Khomane, C. C. Chauhan, S. K. Menon, and B. D. Kulkarni, *J. Magn. Magnetic Mater.*, **320**, No. 6: 1095 (2008).
2. B. J. Palla and D. O. Shah, *Preparation of Nanoparticles of Barium Ferrite from Precipitation in Microemulsions* (Gainesville, FL, USA: Dept. of Chemical Engineering, University of Florida: 2009), p. 12.
3. Z. Z. Zyman, M. V. Tkachenko, and D. V. Polevodin, *J. Mater. Sci.: Mater. Med.*, **19**: 2819 (2008).
4. N. V. Tkachenko, L. P. Ol'khovik, and A. S. Kamzin, *Fiz. Tverd. Tela*, **53**: Iss. 8 (2011) (in Russian).
5. N. V. Tkachenko, L. P. Ol'khovik, and A. S. Kamzin, *Pis'ma v ZhTF*, **37**: Iss. 11: 7 (2011) (in Russian).
6. L. P. Olkhovik, N. M. Borysova, Ye. Ya. Levatan, and A. A. Koval', *Visnyk KhNU im. V. N. Karazina. Ser. 'Fizyka'*, No. 651: 8 (2005) (in Russian).