

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI

OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

6-2024

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

T.Y.Bakirov, N.Z.Xolmatova

Ehtimoliy-statistik masalalarni yechishda raqamli texnologiyalarni qo'llash imkoniyatlari..... 8

A.B.Yo'ldchiev, I.R.Asqarov, K.Sh.Djamolov

Research on the impact of mixed feed on the development of broiler chickens..... 14

Sh.Sh.Shuxratov, B.A.Askarova

Integratsion yondashuv asosida talabalarning transversal kompetensiyalarini rivojlantirish..... 19

M.M.Sobirov

Yer sirtidan qaytgan quyosh nurlanish oqimini atmosferaning nurlanish maydoniga ta'siri 24

Sh.Sh.Shuxratov, G.B.Butayeva

Transformatsion yondashuv asosida bo'lajak texnologik ta'lim o'qituvchilarining metodik kompetentligini rivojlantirish 30

K.Abdulvaхидов, Ч.Ли, С.Отажонов, Н.Юнусов

Структура, электрофизические, оптические и магнитные свойства композитов (1-x)PbFe₁₂O₁₉-xPbTiO₃..... 35

M.M.Sobirov

Bir kun davomida yer sirtiga tushayotgan quyosh nurlanish oqimi energiyasini hisoblash 42

F.B.Eshqurbonov, E.R.Safarova

Diglisidiltiokarbamid va melamin asosidagi ionitning sorbsiya izotermasi tadqiqoti..... 48

I.R.Asqarov, M.A.Marupova, Y.X.Nazarova

"Asprulans" oziq- ovqat qo'shilmasining biologik faolligini o'rganish 54

C.A.Кодиров, М.Ю.Исmoilov

Водопоглощение и водостойкость гидроизоляционного материала гидроизол-к 59

F.B.Eshqurbonov, A.P.Hamidov

Tabiiy guliob fosforit xomashyosining kimyoviy tarkibini aniqlash usullari 64

A.Sh.Shukurov, M.Y.Ismoilov

Surkov moyi kompozitsiyasining fizik-kimyoviy xususiyatlarini aniqlash usullari 69

M.B.Xolboyeva, Z.A.Smanova, D.A.Gafurova, M.G.Yulchiyeva, M.R.O'ralova

Immobilangan nitrozo-r-tuzi yordamida Fe (III) ionini aniqlashning samarali va selektiv usulini ishlab chiqish 74

M.G.Yulchiyeva, X.X.Turayev, Sh.A.Kasimov, M.B.Xolboyeva, M.J.Abduvaliyeva, N.B.Choriyeva

Karbamid, formaldegid va difenilkarbazon asosida sintez qilingan sorbentda Cu (II) Zn (II) va Ni (II) ionlarining sorbsiyasi va tadqiqoti 80

З.А.Акназарова, М.А.Ахмадалиев

Сравнительные характеристики химического состава водоемов чортков и киркидон..... 86

S.A.Mamatkulova, N.Sh.G'ulomova, I.R.Askarov

"Asyetis" biologik faol moddasining o'tkir zaharlilik darajasini aniqlash 90

I.I.Abduljalilov, D.A.Eshkursunov, S.G.Egambergenova, A.Inxonova, D.J.Bekchanov

Polimer yuzasida metal oksidi nanozarrachalarini zol-gel usuli yordamida sintez qilish va ularning xossalari 93

S.Sh.Do'saliyeva, V.U.Xo'jayev

Allium karataviense o'simligi takibidagi alkaloidlarning sifat taxlili..... 101

D.Abduvokhidov, M.Niyozaliev, Z.Toshpo'latova, Kh.Toshov, Sh.Sh.Turgunboev, J.Razzokov

Membrane modification in the formation of channels, channel size, external conditions, and the role of mechanical factors 104

X.N.Saminov, O.M.Nazarov

Anor mevasining mineral va flavonoid tarkibini o'rganish 110



UO‘K: 537,623;548.4

СТРУКТУРА, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ - $x\text{PbTiO}_3$ **$(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ - $x\text{PbTiO}_3$ KOMPOZITLARINING STRUKTURAS, ELEKTROFIZIK, OPTIK VA MAGNETIK XUSUSIYATLARI****STRUCTURE, ELECTROPHYSICAL, OPTICAL, AND MAGNETIC PROPERTIES OF COMPOSITES $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ - $x\text{PbTiO}_3$** **Абдулвахидов Камалудин¹** ¹Профессор, доктор физико-математических наук Южный федеральный университет**Ли Чжэню²** ²Кандидат физико-математических наук Южный федеральный университет**Отажонов Салим³** ³Профессор, доктор физико-математических наук Ферганский государственный университет**Юнусов Нурзод⁴** ⁴Преподаватель, Ферганский государственный университет**Annotatsiya**

Ushbu ishda oldindan sintez qilingan va mexanik faollashtirilgan kukunlardan olingan ikki komponentli kompozitlarning $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ – $x\text{PbTiO}_3$ ning strukturaviy xususiyatlari va fizikaviy xususiyatlarini o'rganish natijalari keltirilgan. Kompozitlarning fizik xususiyatlarini boshqarish uchun, dopant konsentratsiyasini 0.2 dan 0.8 gacha 0.2 qadam bilan o'zgartirishdan tashqari, mexanik faollashtirish (nanostrukturash) usuli qo'llanildi. Bu usul kukunga Bridjmen anvillari yordamida kuch qo'llashni, shuningdek, aylanuvchi pastki anvil tomonidan yaratilgan siljish deformatsiyasini o'z ichiga oladi. Rentgen difraktometriya usuli yordamida $x = 0.4$ bilan boshlang'ich tarkibda dopant panjarasi parametrlarining keskin kamayishi va mexanik faollashtirishdan so'ng olti burchakli panjara parametrlarining shunga o'xshash keskin o'zgarishi aniqlangan.

Аннотация

В данной работе представлены результаты исследования структурных и физических свойств двухкомпонентных композитов $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ – $x\text{PbTiO}_3$, полученных из предварительно синтезированных и механически активированных порошков. Для управления физическими свойствами композитов, помимо изменения концентрации допанта от 0.2 до 0.8 с шагом 0.2, был использован метод механической активации (наноструктурирования). Этот метод включает в себя применение силы к порошку с помощью anvils Bridgman, а также включает сдвиговую деформацию, создаваемую вращающимся нижним анвилем. С помощью рентгеновской дифракции было выявлено резкое уменьшение параметров решетки допанта при $x = 0.4$ в начальном составе и аналогичное резкое изменение параметров гексагональной решетки после механической активации.

Abstract

This work presents the results of studying the structural and physical properties of two-component composites $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ – $x\text{PbTiO}_3$ obtained from pre-synthesized and mechanically activated powders. To control the physical properties of the composites, in addition to varying the dopant concentration from 0.2 to 0.8 in steps of 0.2, a mechanical activation (nanostructuring) method was employed. This method involves applying force to the powder using Bridgman anvils, as well as incorporating the shear deformation created by a rotating lower anvil. Using X-ray diffraction methods, a sharp decrease in the lattice parameters of the dopant at $x = 0.4$ in the initial composition and a similar sharp change in the hexagonal lattice parameters after mechanical activation were identified.

Kalit so'zlar: qo'rg'oshin heksaferrit, qo'rg'oshin titanati, kompozit, impedans spektroskopiyasi, magnitqarshilik, FORC - tahlil.

Ключевые слова: свинцовый гексоферрит, свинцовый титанат, композит, импедансная спектроскопия, магниторезистивность, FORC-анализ.

Key words: lead hexaferrite, lead titanate, composite, impedance spectroscopy, magnetoresistance, FORC analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Возросший в последнее время интерес к гексаферритам М-типа, принятых в литературе обозначать как $MFe_{12}O_{19}$ (M – Ba, Sr, Pb и др.), обусловлен прежде всего тем, что они являются важными функциональными материалами, для которых характерны большие значения намагниченности насыщения, магнитокристаллической анизотропии, коэрцитивной силы и стойкость к внешним деградирующим факторам [1]. Гексаферриты М-типа относятся также к классу мультиферроидных материалов, для которых свойственно магнитное и зарядовое упорядочение [2,3], и являются потенциальными кандидатами для практических применений в различных областях науки и техники [4-5]. Хотя самым первым охарактеризованным гексаферритом М-типа является $PbFe_{12}O_{19}$, он по магнитным свойствам уступает бессвинцовым гексаферритам $BaFe_{12}O_{19}$ и $SrFe_{12}O_{19}$. Несмотря на это и постепенный переход от применения в изделиях и устройствах свинецсодержащих материалов к бессвинцовым материалам, интерес к изучению $PbFe_{12}O_{19}$ не ослабевает [6], так как он легко синтезируется.

Для получения гексаферритов и улучшения их физических свойств исследователи применяют различные технологические приемы и методы. В описаны методы соосаждения, кристаллизации, гидротермальный и микроэмульсионный методы, а в - синтез наноразмерных структур $PbFe_{12}O_{19}$ осуществлен методом цитратного прекурсора. Однако в этой работе синтез сопровождался образованием примесной фазы $\gamma-Fe_2O_3$. В синтезированы порошки $PbFe_{12}O_{19}$ гексагональной структуры золь-гель методом. В в керамике, спеченной из порошков при комнатной температуре, наблюдалась большая спонтанная поляризация, демонстрирующая четкую сегнетоэлектрическую петлю гистерезиса с остаточной поляризацией $P_r \sim 33,5$ мкКл/см². В наночастицы $PbFe_{12}O_{19}$ были получены простым методом осаждения с использованием различных органических поверхностно-активных веществ. Там же золь-гель методом были приготовлены нанокомпозиты $PbFe_{12}O_{19}-TiO_2$ и исследовано влияние осадителя на морфологию и размер частиц продуктов, магнитные и фотокаталитические свойства состава.

Целью данной работы явилось изучение структуры, оптических, импедансных и магнитных свойств керамических композитов $(1-x)PbFe_{12}O_{19} - xPbTiO_3$, полученных твердофазным методом и установление корреляции типа «структура - свойства» между составами наноструктурного и макроскопического масштабов. Выбор $PbTiO_3$ в качестве второй компоненты обусловлено тем, что его температура Кюри $\sim T_c = 490$ °С и близка к температуре магнитного фазового перехода $PbFe_{12}O_{19}$, которая по литературным данным составляет ~ 430 °С. Такая близость температур сегнетоэлектрического и магнитного фазовых переходов имеет важное значение для опосредованного управления свойствами компонентов композита.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

Для приготовления гексаферрита $PbFe_{12}O_{19}$ были взяты исходные оксиды PbO и Fe_2O_3 ($Fe_2O_3 \geq 99.9\%$, $PbO \geq 99.9\%$, Sigma-Aldrich) в стехиометрическом соотношении и смешаны в агатовой ступке в течение 2 часов в присутствии этанола. Затем смесь подвергалась синтезу в высокотемпературной печи при температуре 1250 °С в течение 2 часов. Далее полученный состав перетирался в течение 30 минут, после чего проводился рентенофазовый анализ на рентгеновском дифрактометре (D2 Phaser, Bruker, Германия) с использованием Cu K α -излучения ($K\alpha_1 = 1.54060$ Å, $K\alpha_2 = 1.54443$ Å) с шагом $\Delta 2\theta = 0.01^\circ$ и временем набора данных $t = 0.1$ с. Примесных фаз не было обнаружено.

Титанат свинца $PbTiO_3$ также был получен методом твердофазного реакционного синтеза. Для этого были взяты оксиды TiO_2 и PbO ($TiO_2 \geq 99.9\%$, $PbO \geq 99.9\%$, Sigma-Aldrich) и смешаны в стехиометрических соотношениях в агатовой ступке в присутствии этанола.

Синтез проводили в высокотемпературной печи в закрытом платиновом тигле при температуре 900 °С в течение 2 h в воздушной атмосфере. Затем печь выключали и охлаждали по инерции до комнатной температуры. Далее состав перетирался в агатовой ступке с соответствующими концентрациями $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$. Совместный синтез $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ и PbTiO_3 проводили при температуре 900 °С в течение 4 часа.

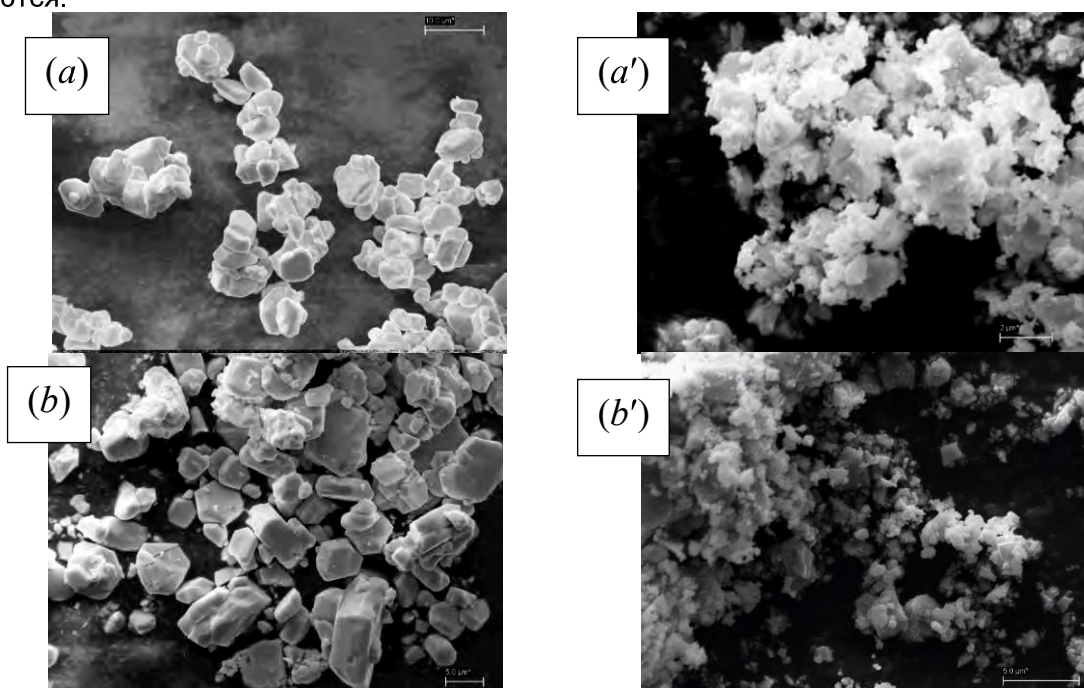
Следующим этапом являлся механоактивация части порошков с целью обогащения их структурными дефектами. Для спекания керамики спрессованные таблетки диаметром 11 мм выдерживались в печи при температуре 1100 °С в течение 2 часов. Для электрофизических исследований на керамические диски наносилась коллоидная серебряная паста и вжигалась в печи в течение 15 мин при температуре 750 °С. Спектры оптического поглощения при комнатной температуре изучали на двухлучевом спектрофотометре Shimadzu UV-2600. Магнитные петли гистерезиса изучали на вибрационном магнитометре (VSM, LakeShore 7404, США) при комнатной температуре. Для исследования температурных зависимостей намагниченности использовали высокотемпературную приставку. Спектроскопию импеданса изучали с помощью анализатора импеданса PARSTAT 4000 (Princeton Applied Research, США) при высоких температурах. Электронные микрофотографии были получены на микроскопе (Carl Zeiss EVO 40, Германия).

Для наноструктурирования предварительно синтезированного порошкового $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19} - x\text{PbTiO}_3$ применялись наковальни Бриджмена по методике, описанной ранее нами в работах [8-10].

РЕСУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Микроструктура

На рис.1 приведены SEM-фотографии порошковых образцов, из которых видно, что кристаллиты по морфологии и габитусу до (слева) и после (справа) наноструктурирования различаются.



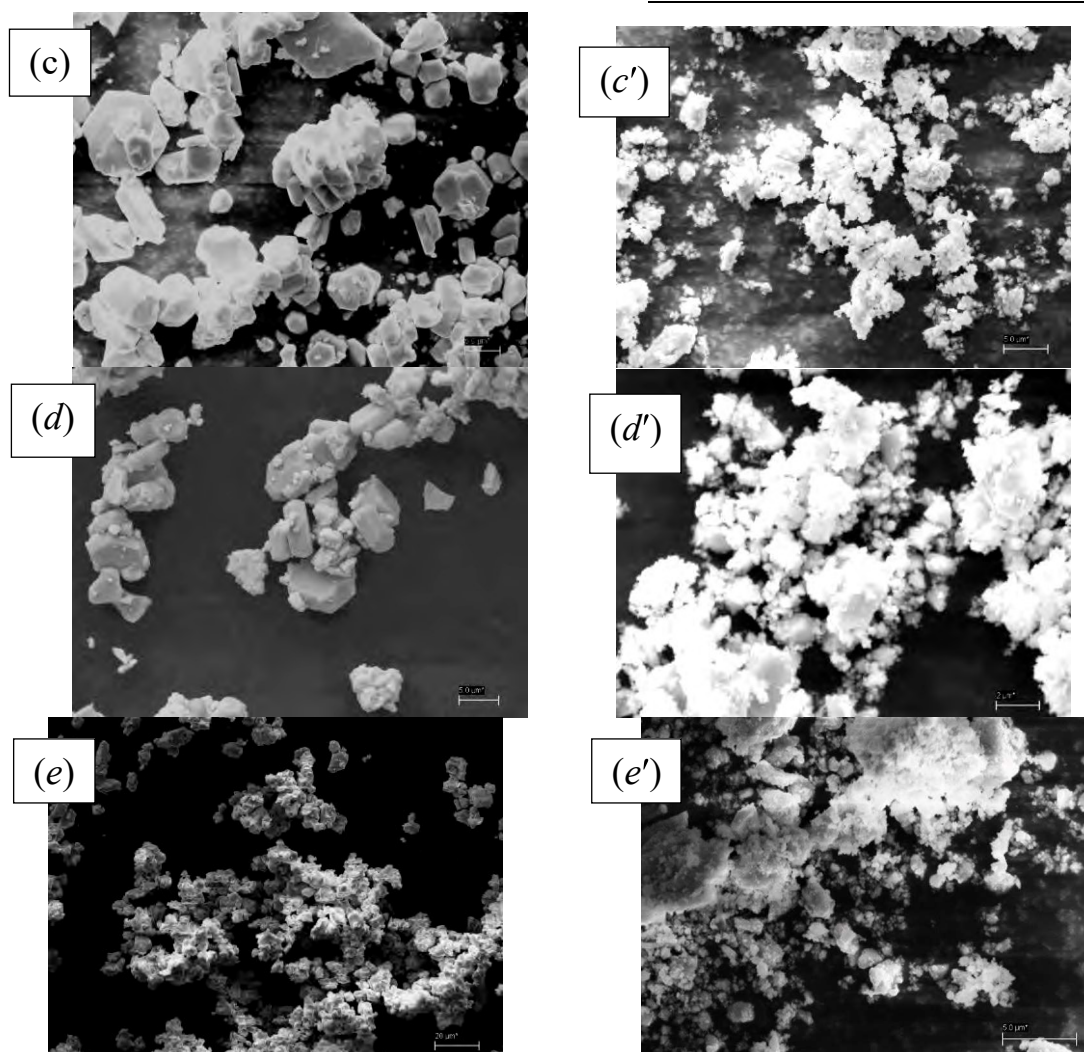


Рисунок 1. (a), (a') – $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$; (b), (b') – $0.8 \text{ PbFe}_{12}\text{O}_{19}-0.2\text{PbTiO}_3$; (c), (c') – $0.6 \text{ PbFe}_{12}\text{O}_{19}-0.4\text{PbTiO}_3$; (d), (d') – $0.4\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}-0.6\text{PbTiO}_3$; (e), (e') – $0.2 \text{ PbFe}_{12}\text{O}_{19}-0.8\text{PbTiO}_3$

До наноструктурирования образцы имеют достаточно четкую огранку кристаллитов, соответствующих как гексаферриту $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$, так и сегнетоэлектрику PbTiO_3 . После механического силового воздействия все образцы имеют рыхлую поверхность, представляющая собой совокупность мелких агломерированных наночастиц. Такая агломерация обусловлена прямым пьезоэффектом, имеющим место при приложении давления к макроскопическим кристаллитам и их измельчении.

3.2. X-ray дифракции

Рентгеновские дифрактограммы керамических образцов до и после наноструктурирования приведены на рис.2, а концентрационная зависимость параметров элементарных ячеек тетрагональных и гексагональных фаз композитов - на рис.3. Уточнение параметров элементарных ячеек компонентов композита осуществлялось методом Ритвельда с помощью пакета программы Powder Cell 2.3 [W. Kraus, G. Nolze, J. Appl. Crystallogr. **29**, 301 (1996)]. Для дифрактограмм характерно уширение брэгговских профилей и их сдвиг по оси углов 2θ (см. рис.2(b)). Особенно это заметно для наноструктурированных составов. PbTiO_3 обладает тетрагональной сингонией с пространственной группой симметрии $P4mm$, а $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ - гексагональной сингонией с пространственной группой PDF 41-1373) JCPDS file No. 21-0686). После наноструктурирования сингонии компонентов композита сохранялись.

С изменением x , параметр решетки a PbTiO_3 незначительно уменьшается, а параметр c растет в точке $x = 0.4$ (см. рис.3(a)). В этой же точке наблюдается резкое

уменьшение a^* и c^* , и в дальнейшем с ростом x наблюдается незначительное изменение их. С параметрами гексагональной составляющей композита ситуация другая. Здесь резкий скачок параметров элементарной ячейки a и c наблюдается в точке $x = 0.2$. Механоактивация композита при давлении 1 GPa не приводит к значительным изменениям параметров гексагональной ячейки a^* и c^* (см. рис.3(b)) и их изменения с ростом концентрации x имеют немонотонный характер. Отсюда следует, что структурная чувствительность $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ «сильна» при $x = 0.2$, а чувствительность к топологическим дефектам сегнетоэлектрической составляющей композита сильнее проявляется в точке $x = 0.4$.

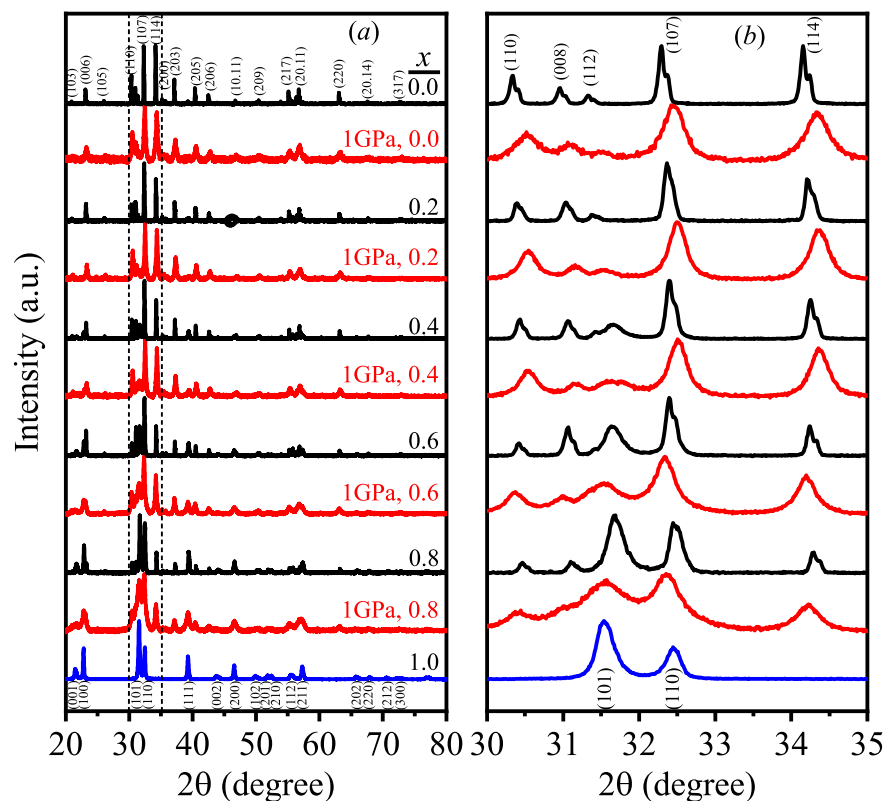


Рисунок 2 Рентгеновские дифрактограммы стартовых и наноструктурированных композитов $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19} - x\text{PbTiO}_3$ (a) и выделенный угловой интервал (b).

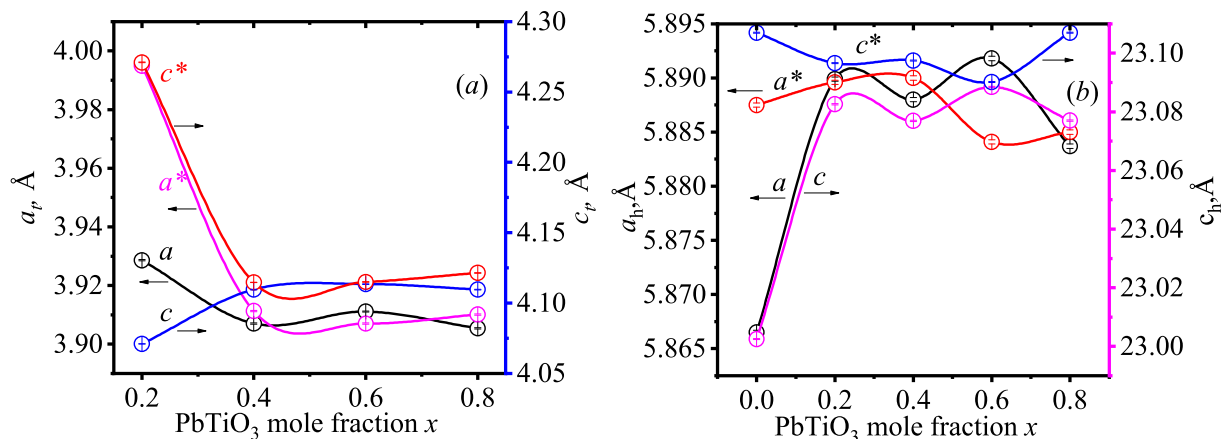


Рисунок 3. Концентрационная зависимость параметров элементарной ячейки компонентов композита PbTiO_3 (a) и $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ (b) до и после наноструктурирования при давлении 1 GPa. Графикам наноструктурированных составов на рисунке соответствуют звездочка (*).

Однако при других давлениях механоактивации высокая чувствительность к топологическим дефектам может проявляться при других концентрациях, так как механоактивация сопровождается баллистическими диффузионными процессами, которые приводят к поглощению «слабых зерен» (более дефектных) менее дефектными «здоровыми зернами». Превалирование концентрации точечных дефектов над концентрацией линейных дефектов также зависит от давления механоактивации.

Сдвиги некоторых дифракционных пиков могут быть обусловлены структурными дефектами различных типов, например, дефектами внедрения, вычитания и т.д. Такие дефекты характерны плоскостям с определенными индексами Миллера и зависят от типа кристаллической решетки, а при механоактивации количество таких дефектов увеличивается.

Далее на рисунке 4 приведены концентрационные зависимости размеров областей когерентного рассеяния (D) компонент композита.

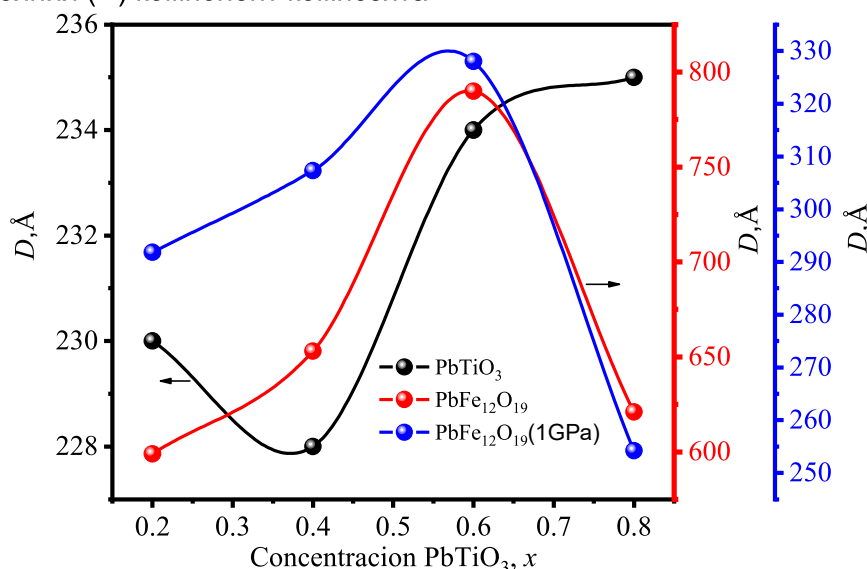


Рисунок 4 Зависимости D компонент композита от концентрации x и давления механоактивации.

Для оценки D величины нами были выбраны неперекрывающиеся пики (114) $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ и (001) PbTiO_3 . Расчет производился по классической формуле Дебая – Шеррера

$$D = (k \cdot \lambda) / (\beta \cos \theta) \quad (1)$$

где k – безразмерный коэффициент формы частиц (постоянная Шеррера = 0.94); λ – длина волны рентгеновского излучения; β – ширина рефлекса на полувысоте в радианах; θ – угол дифракции (брегговский угол).

Из рисунка видно, что D обеих компонент зависимы от концентрации x , причем D PbTiO_3 имеет минимальное значение при $x = 0.4$. Характер изменения D $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ до и после механического воздействия одинаков, однако после механоактивации эта величина уменьшается более чем в два раза. Из-за слабых интенсивностей и размытия пиков отражений от плоскостей с индексами Миллера (001), величину D PbTiO_3 после механического силового воздействия не удалось достоверно измерять, и поэтому эти величины здесь не приводятся. Далее из экспериментальных данных D была рассчитана плотность дислокаций четырех концентраций (см. табл.1), используя для этой цели формулу

$$\rho_D = 3nD^{-2} \quad (2)$$

$n = 1$ в предположении, что трехмерный каркас дислокаций совпадает с границами зерен [40].

Микродеформации были вычислены по формуле

$$\varepsilon = (\beta \cos \theta) / 4, \quad (3)$$

где β – полная ширина пика на половине высоты (FWHM).

Как видно из таблицы, плотность дислокаций $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ и величины микродеформации после механоактивации увеличиваются более чем на порядок.

Таблица 1. Плотность дислокаций ρ_D и величины микродеформаций ε $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19} - x\text{PbTiO}_3$

x	0.2	0.4	0.6	0.8
$\rho_D \times 10^{-3}(\text{PTO})$	5.6	5.6	5.6	5.6
$\varepsilon \times 10^{-3}$	1.5	1.5	1.5	1.5
$\rho_D \times 10^{-4}(\text{PFO})$	8.3	7.1	4.8	7.8
$\varepsilon \times 10^{-4}$	5.9	5.4	4.5	5.7
$\rho_D \times 10^{-3} - (\text{PFO}) 1\text{GPa}$	3.5	3.3	2.7	4.8
$\varepsilon \times 10^{-3} - 1\text{GPa}$	1.1	1.1	1.4	1.0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предлагаемой работе изучено структурное состояние и физические свойства композитов, полученных из предварительно синтезированных и наноструктурированных порошков и керамик $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19} - x\text{PbTiO}_3$. Проведен сравнительный анализ физических свойств стартовых и обогащенных структурными дефектами составов в процессе наноструктурирования методом «сверху-вниз». Для $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ - компоненты немеханоактивированного состава при $x = 0.2$ наблюдается резкий скачок параметров элементарной ячейки a и c , а D достигает максимума при $x = 0.6$, и после механоактивации уменьшается более чем в два раза. В зависимости от x , значения плотности дислокаций ρ_D стартовых составов $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$ -компоненты имеют разброс в интервале $(4.8-8.3) \times 10^{-4}$, а после механоактивации значения ρ_D увеличиваются более чем на один порядок и расположены в интервале $(2.7-4.8) \times 10^{-3}$.

Таким образом, показано что существует коррелированная связь между концентрацией структурных дефектов, генерируемых в процессе механоактивации композитов $(1-x)\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19} - x\text{PbTiO}_3$ и концентрациями допантов, с одной стороны, и параметрами физических свойств составов, с другой стороны, и наноструктурирование методом «сверху-вниз» может быть применен для варьирования целевых физических свойств композитов в широких пределах.

REFERENS

1. Pullar R.C. Hexagonal ferrites: A review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics / R.C. Pullar // Progress in Materials Science. – 2012. – № 57. – p. 1191-1334
2. D. I. Khomskii, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 306, 1 (2006).
3. W. Eerenstein, N. D. Mathur, J. F. Scott, Nature 442, 759 (2006).
4. L.A. Garcia-Cerda, O.S. Rodriguez-Fernandez, P.J. Resendiz-Hernandez, J. Alloys Compd. 369 (2004) 182–184
5. N. Xiao-Min, J. Ming-Rong, Y. Zhi-Ping, Zh. Hua-Gui, J. Cryst. Growth 261 (2004) 82–86; V.V. Pankov, Modified aerosol synthesis for nanoscale hexaferrite particles preparation, Mater. Sci. Engineering. – A224 (1997). – p. 101-106.
6. Jacobo SE, Civalé L, Blesa MA. Evolution of the magnetic properties during the thermal treatment of barium hexaferrite precursors obtained by coprecipitation from barium ferrate (VI) solutions. J Magn Magn Mater 2000;260: 37-41.
7. Oliver SA, Chen ML, Kozulin I, Vittoria C. Structure and magnetic properties of barium hexaferrite films deposited at low oxygen pressures. J Magn Magn Mater 2000; 213:326-334
8. B. E. Levin, Yu. D. Tret'yakov, and L. M. Letyuk, Ferrites: Physicochemical Principles of Synthesis, Properties, and Applications [in Russian], Metallurgiya, Moscow (1979).
9. D. D. Mishin, Magnetic Materials [in Russian], Vysshaya Shkola, Moscow (1991).
10. Yu. M. Yakovlev and S. Sh. Gurdelev, Ferrite Single Crystals in Radioelectronics [in Russian], Sovetskoe Radio, Moscow (1973).