

Синтез гексаферрита стронция $SrFe_{12}O_{19}$

Стариков А.Ю., Галимов Д.М.

Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)

г. Челябинск, Российская Федерация

yinnikda@susu.ru

Живулин В.Е.

Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический университет

г. Челябинск, Российская Федерация

zhivulinve@susu.ru

Аннотация. В работе представлены результаты отработки методики получения гексаферрита стронция $SrFe_{12}O_{19}$ методом твердофазного синтеза. С помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM7001F, оснащенного энергодисперсионным рентгенфлуоресцентным анализатором INCA X-max 80 (Oxford Instruments) установлен химический состав образца в ат. %: O – 62,38; Fe – 34,95; Sr – 2,67. Выявлено равномерное распределение ионов железа и стронция. Выяснено, что полученный образец является монофазным. Проведено исследование кристаллической структуры методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Rigaku Ultima IV. Рассчитаны параметры кристаллической решетки полученного образца: $a = 5,8829(3) \text{ \AA}$; $c = 23,0391(7) \text{ \AA}$; $V = 690,52 \text{ \AA}^3$. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии, на Netzsch 449C Jupiter установлена температура Кюри, равная 458°C .

Ключевые слова: феррит стронция, монокристаллы, магнитные материалы.

ВВЕДЕНИЕ

Гексагональные ферриты М-типа имеют исключительные магнитные свойства. Благодаря высоким значениям диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости, данные материалы являются перспективными для применения в сфере электроники, особенно для проектирования и создания устройств электроники сверхвысоких частот. Возможны применения: в качестве сырья для носителей информации [1–3]; в магнитооптических устройствах [4]; в микроволновых устройствах [5, 6]; в энергосберегающих СВЧ-устройствах [7]; в многослойных сложноструктурированных материалах [8, 9]; для создания биосенсоров и биомаркеров [10].

Среди наиболее распространённых ферритов со структурой магнетоплюмбита следует отметить гексаферрит бария $BaFe_{12}O_{19}$ и гексаферрит стронция $SrFe_{12}O_{19}$.

В последние годы наблюдается значительный рост количества публикаций, посвященных получению и изучению данных материалов. Для этого применяют методы: золь-гель [2, 10–12]; соосаждение [13]; измельчение и нагревание в шаровой мельнице [14]; золь-гель и гидротермальная обработка [15], спонтанная кристаллизация [16].

С целью варьирования свойств материала многие исследователи производят модифицирование кристаллической структуры ферритов путем изовалентного или гетеровалентного замещения атомов железа другими элементами. В частности, Mg [17–19, 22], Mn [19, 20], Co [19–21], Cu [20, 22], Ni [20], Zn [20, 21], Ti [17–20], Zr [21, 22].

В данной работе была отработана масштабируемая методика получения монофазного порошка гексаферрита стронция, проведено исследование его кристаллической структуры и свойств.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходных компонентов использовали оксид железа (III) Fe_2O_3 и карбонат стронция $SrCO_3$. Подготовленная навеска подвергалась ультразвуковой гомогенизации с последующим прессованием в таблетку и дальнейшим спеканием, а после измельчением в порошок.

Рентгенофазовое исследование полученного образца проводилось на порошковом рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV. В исследовании применяли излучение медной трубки $CuK\alpha$ ($\lambda = 1,541 \text{ \AA}$) при ускоряющем напряжении 40 кВ. Рентгенограммы регистрировали в диапазоне углов 2θ от 5 до 90 град. с шагом 0,02 град. и скоростью съёмки 5 град/мин. Обработка рентгенограммы осуществлялась с помощью PDXL Integrated X-ray powder diffraction software.

Исследование морфологии и состава полученного образца проводилось при помощи электронного микроскопа JEOL JSM-7001F с энергодисперсионным рентгенфлуоресцентным спектрометром Oxford INCA X-max 80 для элементного анализа.

Температуру Кюри образца установили методом дифференциальной сканирующей калориметрии на Netzsch 449C Jupiter.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Исследование элементного состава полученного образца феррита стронция подтвердило присутствие трех элементов: O, Fe, Sr. Усредненное значение элементного состава образца приведено в табл. 1. Картирование по элементам показало равномерное распределение стронция по всей поверхности, а также наличие только одной фазы в образце.

Таблица 1

Усредненный состав образца $SrFe_{12}O_{19}$

	Элементы		
	O	Fe	Sr
Ат. %	62,38	34,95	2,67

На рис. 1 приведена рентгенограмма исследуемого образца, а также литературная штрих-диаграмма [16]. Анализ рентгенографических данных позволил рассчитать параметры ячейки образца, которые представлены в табл. 2.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32 – 00663. Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-практической конференции "Материаловедение и металлургические технологии" (RusMetalCon-2018), <https://rusmetalcon.susu.ru>

Для сравнения приведены параметры кристаллической решетки для гексаферрита стронция из работы [23]. На основе сравнительного анализа значений можно сделать вывод о том, что апробированные параметры синтеза позволяют получать материал с низкой концентрацией дефектов, что в свою очередь подтверждает применимость метода твердофазного синтеза для данного материала.

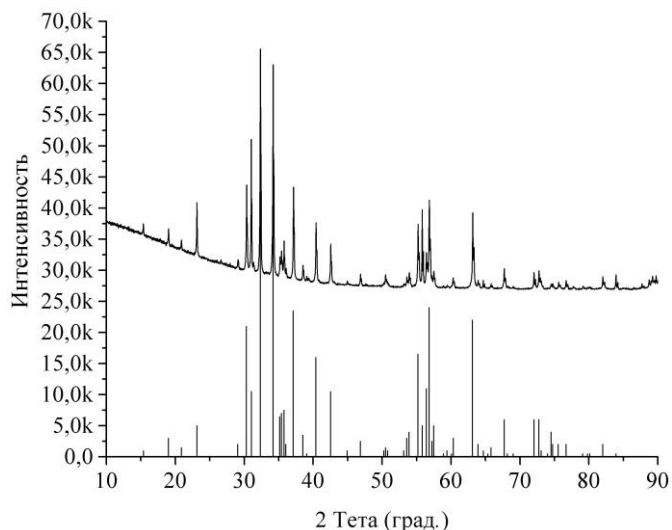


Рис. 1. Рентгенограмма полученного в эксперименте материала (вверху) и данные [23] внизу

Таблица 2

Параметры решетки

Данные	Параметры		
	$a, \text{Å}$	$c, \text{Å}$	$V, \text{Å}^3$
[23]	5,8868(5)	23,037(2)	691,3
[16]	5,8832(14)	23,0361(14)	690,51(6)
	5,8833(3)	23,0379(11)	690,59(5)
SrFe ₁₂ O ₁₉	5,8829(3)	23,0391(7)	690,52(4)

На рис. 2 приведена кривая зависимости теплового эффекта от температуры при нагреве и охлаждении, полученная на приборе дифференциального термического анализа.

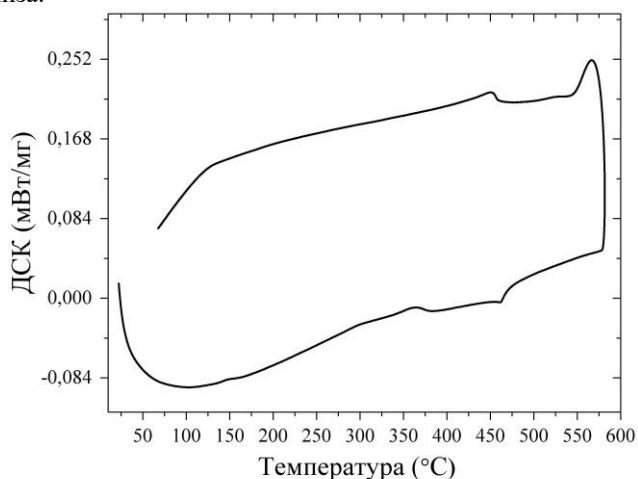


Рис. 2. Термограмма образца гексаферрита стронция

Программное обеспечение Netzsch позволило провести дифференцирование теплового эффекта по температуре и определить температуры экстремумов теплоемкости на нагреве и охлаждении.

Значение температуры Кюри определяли как среднее арифметическое экстремумов зависимости теплоемкости (производной теплового эффекта) от температуры на кривых нагрева и охлаждения, которая оказалась равна 458°C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы отработана методика получения гексаферрита стронция методом твердофазного синтеза. Полученный образец был охарактеризован: определен химический состав, кристаллическая структура и температура Кюри.

Проведенный рентгенофазовый анализ подтвердил, что полученный образец не содержит посторонних фаз – является монофазным порошком гексаферрита стронция SrFe₁₂O₁₉. Вычислены значения параметров кристаллической решетки: $a - 5,8829(3) \text{ Å}$; $c - 23,0391(7) \text{ Å}$; $V - 690,52 \text{ Å}^3$. Выполнен элементный анализ в ат. %: O – 62,38; Fe – 34,95; Sr – 2,67. Определена температура Кюри, равная 458°C. Установленные значения параметров кристаллической решетки и температуры Кюри хорошо согласуются с ранее опубликованными сведениями.

ЛИТЕРАТУРА

- Muller, J. A New Representation of the Bipyramidal Site in the SrFe₁₂O₁₉ M-Type Hexagonal Ferrite Between 4.6 and 295 K / J. Muller, A. Collomb // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1992. – vol. 103, is. 1–2. – P. 194–203. DOI: 10.1016/0304-8853(92)90253-K
- Rezlescu, N. The Influence of Heat-Treatment on Microstructure and Magnetic Properties of Rare-Earth Substituted SrFe₁₂O₁₉ / N. Rezlescu, C. Doroftei, E. Rezlescu, P.D. Popa // Journal of Alloys and Compounds. – 2008. – vol. 451, is. 1–2. – P. 492–496. DOI: 10.1016/j.jallcom.2007.04.102
- Guo, Z.-B. Preparation and Magnetic Properties of SrFe₁₂O₁₉ Particles Prepared by the Salt-Melt Method / Z.-B. Guo, W.-P. Ding, W. Zhong, J.-R. Zhang, Y.-W. Du // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1997. – vol. 175, is. 3. – P. 333–336. DOI: 10.1016/S0304-8853(97)00206-0
- Silva, W.M.S. Investigation of Structural and Magnetic Properties of Nanocrystalline MnDoped SrFe₁₂O₁₉ Prepared by Sol-Gel Process / W.M.S. Silva, N.S. Ferreira, J.M. Soares, R.B. da Silva, M.A. Macêdo // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – vol. 395. – P. 263–270. DOI: 10.1016/j.jmmm.2015.07.085
- Luo, H. Physical and Magnetic Properties of Highly Aluminum Doped Strontium Ferrite Nanoparticles Prepared by Auto-Combustion Route / H. Luo, B.K. Rai, S.R. Mishra, V.V. Nguyen, J.P. Liu // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. – vol. 324, is. 17. – P. 2602–2608. DOI: 10.1016/j.jmmm.2012.02.106
- Kostishyn, V.G. Synthesis and Multiferroic Properties of M-Type SrFe₁₂O₁₉ Hexaferrite Ceramics / V.G. Kostishyn,

L.V. Panina, L.V. Kozhitov, A.V. Timofeev, A.N. Kovalev // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – vol. 645. – P. 297–300. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.05.024

7. Григорьева, Н.Ю. Фазовращатель миллиметрового диапазона длин волн на основе слоистой мультиферроидной структуры гексаферрит-сегнетоэлектрик / Н.Ю. Григорьева, Р.А. Султанов, Б.А. Калиникос // Микроэлектроника СВЧ: тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 313–316.

8. Григорьева, Н.Ю. Управляемые слоистые мультиферроидные структуры для микро- и нанoeлектроники терагерцового диапазона частот / Н.Ю. Григорьева, Р.А. Султанов, Б.А. Калиникос // Микроэлектроника СВЧ: тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 72–74.

9. Yasukawa, Y. Observation of Magnetic/Electric Domains and Control of Electric Polarization by Magnetic Field in $\text{BiFeO}_3/\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Bilayers / Y. Yasukawa, X. Liu, A. Morisako // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2013. – vol. 327, – P. 95–102. DOI: 10.1016/j.jmmm.2012.09.049

10. Wong, Y.C. Structural and Magnetic Studies of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ by Sol-Gel Method / Y.C. Wong, J. Wang, G.T. Teh // Procedia Engineering. – 2014. – vol. 76. – P. 45–52. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.09.246

11. Rakshit, S.K. Thermochemical Studies on $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}(\text{s})$. / S.K. Rakshit, S.C. Parida, S. Dash et al. // Materials Research Bulletin. – 2005. – vol. 40, is. 2. – P. 323–332. DOI: 10.1016/j.materresbull.2004.10.015

12. Rakshit, S.K. Thermodynamic Studies on $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}(\text{s})$, $\text{SrFe}_2\text{O}_4(\text{s})$, $\text{Sr}_2\text{Fe}_2\text{O}_5(\text{s})$ and $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_6(\text{s})$ / S.K. Rakshit, S.C. Parida, S. Dash et al. // Journal of Solid State Chemistry. – 2007. – vol. 180, is. 2. – P. 523–532. DOI: 10.1016/j.jssc.2006.11.012

13. Zi, Z.F. Structural and Magnetic Properties of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Hexaferrite Synthesized by a Modified Chemical Co-Precipitation Method / Z.F. Zi, Y.P. Sun, X.B. Zhu et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2008. – vol. 320, is. 21. – P. 2746–2751. DOI: 10.1016/j.jmmm.2008.06.009

14. Sánchez-De Jesús, F. Mechano-synthesis, Crystal Structure and Magnetic Characterization of M-Type $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ / F. Sánchez-De Jesús, A.M. Bolarín-Miró, C.A. Cortés-Escobedo, R. Valenzuela, S. Ammar // Ceramics International. – 2014. – vol. 40, is. 3. – P. 4033–4038. DOI: 10.1016/j.ceramint.2013.08.056

15. Lampen-Kelley, P. Spectroscopy Studies of Phase Evolution in $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ composites / P. Lampen-Kelley, A.S. Kamzin, K.E. Romachevsky et al. // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – vol. 636, – P. 323–328. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.02.172

16. Винник, Д.А. Выращивание монокристаллов феррита стронция из раствора / Д.А. Винник, Л.С. Машковцева, С.А. Гудкова, Д.А. Жеребцов // Вестник ЮУрГУ. Се-

рия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 34–39. DOI: 10.14529/met160205

17. Jazirehpour, M. Microwave Absorption Properties of Ba–M Hexaferrite with High Substitution Levels of Mg–Ti in X Band / M. Jazirehpour, M.H. Shams // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2017. – vol. 30, is. 1. – P. 171–177. DOI: 10.1007/s10948-016-3698-5

18. Shams, Mohammad H. Effect of Mg^{2+} and Ti^{4+} dopants on the structural, magnetic and high-frequency ferromagnetic properties of barium hexaferrite / Mohammad H. Shams, Rozatian Amir S.H., Yousefi Mohammad H., Valiček Jan, Šepelák Vladimír // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – vol. 399. – P. 10–18. DOI: 10.1016/j.jmmm.2015.08.099

19. Masoud Kavosh Tehrani. Wideband electromagnetic wave absorber using doped barium hexaferrite in Ku-band / Tehrani Masoud Kavosh, Ghasemi Ali, moradi Mahmood, Alam Reza Shams // Journal of Alloys and Compounds. – 2011. – vol. 509, is. 33. – P. 8398–8400. DOI: 10.1016/j.jallcom.2011.05.091

20. Hüseyin Sözeri. Magnetic and microwave properties of $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ substituted with magnetic, non-magnetic and dielectric ions / Sözeri Hüseyin, Mehmedi Zilhicce, Kavas Hüseyin, Baykal Abdülhadi // Ceramics International. – 2015. – vol. 41, is. 8. – P. 9602–9609. DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.04.022

21. Reza Shams Alam. Structural, magnetic and microwave absorption properties of doped Ba-hexaferrite nanoparticles synthesized by co-precipitation method / Alam Reza Shams, Moradi Mahmood, Rostami Mohammad et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – vol. 381. – P. 1–9. DOI: 10.1016/j.jmmm.2014.12.059

22. Hossein Nikmanesh. Effect of multi dopant barium hexaferrite nanoparticles on the structural, magnetic, and X-Ku bands microwave absorption properties / Nikmanesh Hossein, Moradi Mahmood, Bordbar Gholam Hossein, Alam Reza Shams // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – vol. 708. – P. 99–107. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.02.308

23. Marlene, C.M. Standard X-ray Diffraction Powder Patterns: Monogr. 25 – Sec. 18 / M.C. Marlene, McMurdie F. Howard, Evans H. Eloise. – Washington: Nat. Bur. Stand. (U.S.), 1981. – P. 110.

Synthesis of Strontium Hexaferrite $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$

Starikov A.Yu., Galimov D.M.
South Ural State University
(national research university)
Chelyabinsk, Russian Federation
vinnikda@susu.ru

Zhivulin V.E.
South Ural State Humanitarian
Pedagogical University
Chelyabinsk, Russian Federation
zhivulinve@susu.ru

Abstract. The paper presents the results of testing the technique for obtaining strontium hexaferrite $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ by solid-phase synthesis. Using the scanning electron microscope JEOL JSM7001F equipped with an energy dispersive X-ray fluorescence analyzer INCA X-max 80 (Oxford Instruments), the chemical composition of the samples was established in at.%. O – 62,38; Fe – 34,95; Sr – 2,67. A uniform distribution of iron and strontium ions was detected. It was found that the sample obtained are monophasic. The crystal structure was examined by X-ray phase analysis using a Rigaku Ultima IV diffractometer. The crystal lattice parameters of the obtained samples are calculated: $a = 5,8829(3) \text{ \AA}$; $c = 23,0391(7) \text{ \AA}$; $V = 690,52 \text{ \AA}^3$. Using the differential scanning calorimetry method, a Curie temperature of 458°C was determined on the Netzsch 449C Jupiter.

Keywords: strontium ferrite, single crystals, magnetic materials.

REFERENCES

- Muller, J. A New Representation of the Bipyramidal Site in the $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ M-Type Hexagonal Ferrite Between 4.6 and 295 K / J. Muller, A. Collomb // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1992. – vol. 103, is. 1–2. – P. 194–203. DOI: 10.1016/0304-8853(92)90253-K
- Rezlescu, N. The Influence of Heat-Treatment on Microstructure and Magnetic Properties of Rare-Earth Substituted $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ / N. Rezlescu, C. Doroftei, E. Rezlescu, P.D. Popa // Journal of Alloys and Compounds. – 2008. – vol. 451, is. 1–2. – P. 492–496. DOI: 10.1016/j.jallcom.2007.04.102
- Guo, Z.-B. Preparation and Magnetic Properties of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Particles Prepared by the Salt-Melt Method / Z.-B. Guo, W.-P. Ding, W. Zhong, J.-R. Zhang, Y.-W. Du // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1997. – vol. 175, is. 3. – P. 333–336. DOI: 10.1016/S0304-8853(97)00206-0
- Silva, W.M.S. Investigation of Structural and Magnetic Properties of Nanocrystalline MNDoped $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Prepared by Proteic Sol-Gel Process / W.M.S. Silva, N.S. Ferreira, J.M. Soares, R.B. da Silva, M.A. Macêdo // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – vol. 395. – P. 263–270. DOI: 10.1016/j.jmmm.2015.07.085
- Luo, H. Physical and Magnetic Properties of Highly Aluminum Doped Strontium Ferrite Nanoparticles Prepared by Auto-Combustion Route / H. Luo, B.K. Rai, S.R. Mishra, V.V. Nguyen, J.P. Liu // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. – vol. 324, is. 17. – P. 2602–2608. DOI: 10.1016/j.jmmm.2012.02.106
- Kostishyn, V.G. Synthesis and Multiferroic Properties of M-Type $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Hexaferrite Ceramics / V.G. Kostishyn, L.V. Panina, L.V. Kozhitov, A.V. Timofeev, A.N. Kovalev // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – vol. 645. – P. 297–300. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.05.024
- Григорьева, Н.Ю. Фазовращатель миллиметрового диапазона длин волн на основе слоистой мультиферроидной структуры гексаферрит-сегнетоэлектрик / Н.Ю. Григорьева, Р.А. Султанов, Б.А. Калиникос // Микроэлектроника СВЧ: тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 313–316.
- Григорьева, Н.Ю. Управляемые слоистые мультиферроидные структуры для микро- и наноэлектроники терагерцового диапазона частот / Н.Ю. Григорьева, Р.А. Султанов, Б.А. Калиникос // Микроэлектроника СВЧ: тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Санкт-Петербург, 2012. – С. 72–74.
- Yasukawa, Y. Observation of Magnetic/Electric Domains and Control of Electric Polarization by Magnetic Field in $\text{BiFeO}_3/\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Bilayers / Y. Yasukawa, X. Liu, A. Morisako // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2013. – vol. 327. – P. 95–102. DOI: 10.1016/j.jmmm.2012.09.049
- Wong, Y.C. Structural and Magnetic Studies of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ by Sol-Gel Method / Y.C. Wong, J. Wang, G.T. Teh // Procedia Engineering. – 2014. – vol. 76. – P. 45–52. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.09.246
- Rakshit, S.K. Thermochemical Studies on $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (s). / S.K. Rakshit, S.C. Parida, S. Dash et al. // Materials Research Bulletin. – 2005. – vol. 40, is. 2. – P. 323–332. DOI: 10.1016/j.materresbull.2004.10.015
- Rakshit, S.K. Thermodynamic Studies on $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (s), SrFe_2O_4 (s), $\text{Sr}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ (s) and $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_6$ (s) / S.K. Rakshit, S.C. Parida, S. Dash et al. // Journal of Solid State Chemistry. – 2007. – vol. 180, is. 2. – P. 523–532. DOI: 10.1016/j.jssc.2006.11.012
- Zi, Z.F. Structural and Magnetic Properties of $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ Hexaferrite Synthesized by a Modified Chemical Co-Precipitation Method / Z.F. Zi, Y.P. Sun, X.B. Zhu et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2008. – vol. 320, is. 21. – P. 2746–2751. DOI: 10.1016/j.jmmm.2008.06.009
- Sánchez-De Jesús, F. Mechano-synthesis, Crystal Structure and Magnetic Characterization of M-Type $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ / F. Sánchez-De Jesús, A.M. Bolarín-Miró, C.A. Cortés-Escobedo, R. Valenzuela, S. Ammar // Ceramics International. – 2014. – vol. 40, is. 3. – P. 4033–4038. DOI: 10.1016/j.ceramint.2013.08.056
- Lampen-Kelley, P. Spectroscopy Studies of Phase Evolution in $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ composites / P. Lampen-

Kelley, A.S. Kamzin, K.E. Romachevsky et al. // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – vol. 636, – P. 323–328. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.02.172

16. Винник, Д.А. Выращивание монокристаллов феррита стронция из раствора / Д.А. Винник, Л.С. Машковцева, С.А. Гудкова, Д.А. Жеребцов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 34–39. DOI: 10.14529/met160205

17. Jazirehpour, M. Microwave Absorption Properties of Ba–M Hexaferrite with High Substitution Levels of Mg–Ti in X Band / M. Jazirehpour, M.H. Shams // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2017. – vol. 30, is. 1. – P. 171–177. DOI: 10.1007/s10948-016-3698-5

18. Shams, Mohammad H. Effect of Mg²⁺ and Ti⁴⁺ dopants on the structural, magnetic and high-frequency ferromagnetic properties of barium hexaferrite / Mohammad H. Shams, Rozatian Amir S.H., Yousefi Mohammad H., Valiček Jan, Šepelák Vladimír // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – vol. 399. – P. 10–18. DOI: 10.1016/j.jmmm.2015.08.099

19. Masoud Kavosh Tehrani. Wideband electromagnetic wave absorber using doped barium hexaferrite in Ku-band / Tehrani Masoud Kavosh, Ghasemi Ali, moradi Mahmood, Alam Reza Shams // Journal of Alloys and Compounds. – 2011. – vol. 509, is. 33. – P. 8398–8400. DOI: 10.1016/j.jallcom.2011.05.091

20. Hüseyin Sözeri. Magnetic and microwave properties of BaFe₁₂O₁₉ substituted with magnetic, non-magnetic and dielectric ions / Sözeri Hüseyin, Mehmedi Zilhicce, Kavas Hüseyin, Baykal Abdülhadi // Ceramics International. – 2015. – vol. 41, is. 8. – P. 9602–9609. DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.04.022

21. Reza Shams Alam. Structural, magnetic and microwave absorption properties of doped Ba-hexaferrite nanoparticles synthesized by co-precipitation method / Alam Reza Shams, Moradi Mahmood, Rostami Mohammad et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – vol. 381. – P. 1–9. DOI: 10.1016/j.jmmm.2014.12.059

22. Hossein Nikmanesh. Effect of multi dopant barium hexaferrite nanoparticles on the structural, magnetic, and X-Ku bands microwave absorption properties / Nikmanesh Hossein, Moradi Mahmood, Bordbar Gholam Hossein, Alam Reza Shams // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – vol. 708. – P. 99–107. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.02.308

23. Marlene, C.M. Standard X-ray Diffraction Powder Patterns: Monogr. 25 – Sec. 18 / M.C. Marlene, McMurdie F. Howard, Evans H. Eloise. – Washington: Nat. Bur. Stand. (U.S.), 1981. – P. 110.

Библиографическое описание статьи

Стариков А.Ю. Синтез гексаферрита стронция SrFe₁₂O₁₉ / А.Ю. Стариков, Д.М. Галимов, В.Е. Живулин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2019. – Т.7, №1. – С. 35-39. DOI: 10.24892/RIJE/20190107

Reference to article

Starikov A.Yu., Galimov D.M., Zhivulin V.E. Synthesis of strontium hexaferrite SrFe₁₂O₁₉, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2019, vol.7, no.1, pp. 35-39. DOI: 10.24892/RIJE/20190107