

Изучение структуры и механических свойств порошков гексаферрита стронция*

Чернуха А.С., Винник Д.А.

Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
г. Челябинск, Российская Федерация
wustite1991@gmail.com, vinnikda@susu.ru

Гудкова С.А.

Московский физико-технический институт
(государственный университет)
г. Москва, Российская Федерация
svetlanagudkova@yandex.ru

Аннотация. Гексаферрит стронция имеет большие перспективы использования в устройствах микроэлектроники. Для использования в реальных приборах необходимы данные о механических характеристиках материала в широком диапазоне температур, как на микроуровне – изменение параметров кристаллической решетки, так и изменение параметров макрообъекта исследования. Представленная статья посвящена изучению влияния теплового воздействия на порошки гексаферрита стронция, полученных методом спонтанной кристаллизации, их коэффициенты линейного теплового расширения и на их параметры кристаллической решетки.

Ключевые слова: гексаферрит стронция, рентгеновская дифракция, dilatометрия, порошок.

ВВЕДЕНИЕ

Гексагональные ферриты М-типа представляют большой интерес для микроэлектроники благодаря высокой анизотропии свойств и возможности менять характеристики материала путем замещения ионов железа в пяти различных кристаллографических позициях. Наиболее изученным гексаферритом является $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Этот материал хорошо зарекомендовал себя в области хранения информации, в качестве излучателей и сорберов излучения гигагерцового и терагерцового диапазонов [1-5]. Однако, по мнению исследователей менее изученный гексаферрит стронция за счет меньшего радиуса центрального иона Sr^{2+} имеет ряд преимуществ: в том числе, возможность варьирования химического состава исходной матрицы путем замещения не только ионов железа, но и ионов стронция, тем самым достигая желаемых характеристик материала для применения в электронике высоких и сверхвысоких частот [6-11]. В тоже время при разработке материалов для излучателей важную роль играет изучение характеристик материала в широком температурном диапазоне [12-14]. Представленная работа посвящена изучению изменений механических характеристик на макро и микроуровне гексаферрита стронция при нагревании до 800 °С.

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ

Для изучения изменений механических свойств гексаферрита стронция на уровне кристаллической решетки и в объеме с последующим сравнением методом спонтанной кристаллизации из раствора на основе карбоната натрия

были получены кристаллы. Все компоненты раствора были перетерты в агатовой ступке и нагреты в печи до 1260 °С. Далее проводилось контролируемое охлаждение до 900 °С со скоростью 4,5 К/ч с последующим выключением печи и охлаждением до комнатной температуры. Полученные кристаллы были отделены от раствора с помощью кипячения в азотной кислоте [15]. Для последующих исследований структуры материала кристаллы перетирались в агатовой ступке до порошка. На следующем этапе из порошка были изготовлены таблетки диаметром 5 мм и высотой 5 мм.

Для изучения химического состава кристаллов использовался рентгеновский дифрактометр Rigaku Ultima IV с высокотемпературной приставкой в диапазоне 2θ от 15° до 90°, температурным диапазоном от комнатной температуры до 925 °С со скоростью 2 θ /мин.

Для определения изотропного коэффициента линейного расширения использовался dilatометр Netzsch DIL 402C. Образец зажимался в кварцевые обкладки и в печи нагревался в печи до 800 °С под минимальной нагрузкой 30 мН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методом спонтанной кристаллизации получены образцы. С помощью растрового электронного микроскопа с приставкой энергодисперсионного анализа определено содержание железа, стронция и кислорода в образцах, соответствующее брутто формуле $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Для определения структуры полученных объектов кристаллы были перетерты до порошковой пробы. Посредством методов рентгеновской дифракции установлено, что объекты исследования обладают гексагональной структурой М-типа. На основании полученных дифрактограмм был произведен расчет параметров кристаллической решетки. Результаты расчетов согласуются с данными о параметрах решетки гексаферрита стронция М-типа $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ базы данных PDG-2 карты №33-1340 [16].

С помощью высокотемпературной приставки к рентгеновскому дифрактометру проведено исследование зависимости параметров кристаллической решетки от температуры нагрева гексаферрита стронция. На рис. 1 представлены дифрактограммы гексаферрита стронция при нагревании на 100 °С относительно комнатной температуры до нагрева на 900 °С с шагом 100 °С. В высокотемпе-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00736. Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-практической конференции "Материаловедение и металлургические технологии" (RusMetalCon-2018), <https://rusmetalcon.susu.ru>

ратурной приставке к рентгеновскому дифрактометру держатель для образцов изготовлен из платины, по этой причине наиболее интенсивные дифракционные максимумы от платины обнаружены на соответствующих позициях.

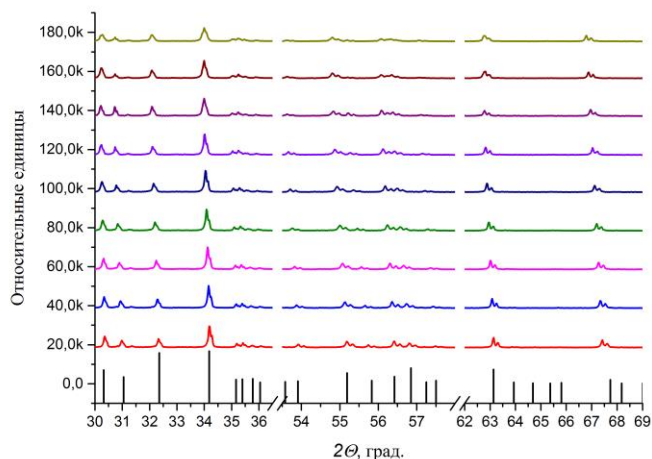


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы, полученные от порошка гексаферрита стронция: столбцы – литературные данные [16], внизу дифрактограмма – нагрев на 100 °С, наверху – нагрев на 900 °С, шаг 100 °С.

На рис. 1 исключены эти отрезки по 2θ . Детальное изучение дифракционных максимумов, полученных от порошка гексаферрита стронция, свидетельствуют о монотонном смещении пиков в сторону уменьшения 2θ с ростом температуры нагрева образца (рис. 2). Зависимости параметров кристаллической решетки $SrFe_{12}O_{19}$ a , c и объема V от температуры представляют собой монотонные кривые с плато в температурном диапазоне 700-800 °С (рис. 3).

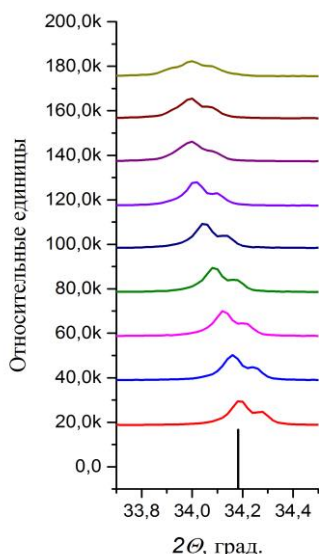


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы, полученные от порошка гексаферрита стронция: столбцы – литературные данные [16], внизу дифрактограмма – нагрев на 100 °С, наверху – нагрев на 900 °С, шаг 100 °С

На следующем этапе порошок гексаферрита стронция был изотропно спрессован в таблетки 5 мм в диаметре и 5

мм высотой. С помощью дилатометра Netzsch DIL 402C получены зависимости удлинения таблетки гексаферрита стронция от температуры. Данное исследование проводилось с целью сравнить изменение геометрических параметров объекта исследования на макро и на микромасштабе. Кривые зависимостей относительного удлинения материала от температуры имеют схожий вид с зависимостями параметров кристаллической решетки от температуры. Для низкотемпературного участка 200-400 °С рассчитан коэффициент линейного расширения, который составил 12.2 1/К. Для микромасштаба также был рассчитан коэффициент линейного расширения. Для каждой из осей кристалла был рассчитан свой коэффициент линейного расширения. Учитывая, что вклад в изотропное линейное расширение материала по оси c будет в два раза меньше, чем по осям a и b (ось a в кристалле гексаферрита стронция эквивалента оси b), то коэффициент линейного расширения изотропного гексаферрита стронция, рассчитанного по изменению параметров кристаллической решетки, составит 13.1 1/К. Разница в значениях коэффициентов линейного расширения может быть объяснена наличием пор в прессованных таблетках гексаферрита стронция. Следует отметить, что для расчета коэффициента линейного расширения температурный диапазон 200-400 °С был выбран исходя из значений температуры Кюри, характерных для данного материала [17, 18].

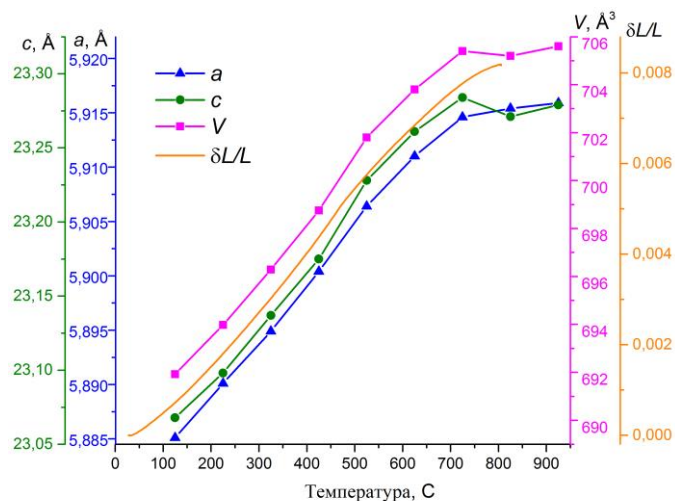


Рис. 3. Зависимости параметров a , c , объема V кристаллической решетки гексаферрита стронция и относительного удлинения объемного образца гексаферрита стронция от температуры.

Выводы

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что гексаферрит стронция не меняет вида кристаллической решетки до 900 °С, однако параметры кристаллической решетки монотонно увеличиваются с ростом температуры. Расчет коэффициента теплового линейного расширения, рассчитанный на основании данных об изменениях параметров кристаллической решетки и с помощью дилатометра имеют расхождения в пределах 7%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pereira F.M.M. A review on $Ba_xSr_{1-x}Fe_{12}O_{19}$ hexagonal ferrites for use in electronic devices / F. M. M. Pereira, A. S. B. Sombra // *Solid State Phenomena*. – 2013. – vol. 202. – P. 1-64.
2. Valenzuela R. *Magnetic Ceramics*. - 1 edition. – Great Britain: Cambridge University Press, 1994. – 332 p.
3. Goldman A. *Modern Ferrite Technology*. - 2 edition. – United States of American: Springer, 2006. – 438 p.
4. Pullar R.C. Hexagonal ferrites: a review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics // *Progress In Materials Science*. – 2012. – vol. 57. – P. 1191-1334. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2012.04.001
5. Moulson A.J. *Electroceramics: materials, properties, application*. – 2 edition / A.J. Moulson, J.M. Herbert. – John Wiley & Sons Ltd., 2003. – 547 p.
6. Polarization origin and iron positions in indium doped barium hexaferrites. / S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, V.A. Turchenko et al. // *Ceramics International*. – 2018. – vol. 44, is. 1. – P. 290-300. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.09.172
7. Investigating the influence of Cr-Zn substitution on magnetic and structural properties of M-type SrBaSm hexaferrites $Sr_{0.6}Ba_{0.1}Sm_{0.3}Fe_{12.0-x}(Cr_{0.6}Zn_{0.4})_xO_{19}$. / F. Wang, J. Shao, D. Huang, Q. Cao. // *Chinese Journal of Physics*. – 2018. – vol. 56, is. 1. – P. 67-74. DOI: 10.1016/j.cjph.2017.11.018
8. Synthesis and structural and magnetic characterization of $BaZn_xFe_{12-x}O_{19}$ hexaferrite: hyperfine interactions / A. Baykal, H. Sözeri, H. Güngüneş // *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. – 2017. – vol. 30, is. 6. – P. 1585-1592. DOI: 10.1007/s10948-016-3958-4
9. Afghahi S.S.S. Microstructural and magnetic studies on $BaMg_xZn_xX_{2x}Fe_{12-4x}O_{19}$ ($X=Zr,Ce,Sn$) prepared via mechanical activation method to act as a microwave absorber in X-band / S.S.S. Afghahi, M. Jafarian, Y. Atassi // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2016. – vol. 406. – P. 184-191. DOI: 10.1016/j.jmmm.2016.01.020
10. Conductivity and dielectric properties of $SrLa_xBi_xY_xFe_{12-3x}O_{19}$ ($0.0 \leq x \leq 0.33$) hexaferrites / Y. Bakış, I.A.

Auwal, B. Ünal, A. Baykal // *Ceramics International*. – 2016. – vol. 42, is. 10. – P. 11780-11795. DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.04.099

11. Vinnik D.A. Growth of lead and aluminum substituted barium hexaferrite single crystals from lead oxide flux / D.A. Vinnik, S.A. Gudkova // *Material Science Forum*. – 2016. – vol. 843. – P. 3-9. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.843.3

12. Suresh S. Materials science: Deformation of the ultra-strong / S. Suresh, J. Li // *Nature*. – 2008. – vol. 456, is. 7223. – P. 716-7. DOI: 10.1038/456716a

13. Lu K. Strengthening materials by engineering coherent internal boundaries at the nanoscale / K. Lu, L. Lu, S. Suresh // *Science*. – 2009. – P. 324-349. DOI: 10.1126/science.1159610

14. Cornelius T.W. Progress of in situ synchrotron X-ray diffraction studies on the mechanical behavior of materials at small scales / T.W. Cornelius, O. Thomas // *Progress in Materials Science*. – 2018. – vol. 94. – P. 384-434. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2018.01.004

15. Vinnik D.A. Barium hexaferrite single crystal growth using PbO and Na_2O based flux / D.A. Vinnik, S.A. Gudkova, R. Niewa // *Material Science Forum*. – 2016. – vol. 870. – P. 66-69. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.870.66

16. Marlene M.C. *Standard X-ray Diffraction Powder Patterns: Monograph 25* / M.C. Marlene, McMurdie F. Howard, Evans H. Eloise. – Washington: National Bureau of Standards U.S., 1981. – 110 p.

17. Verma A. Strontium ferrite permanent magnet – An overview / A. Verma, O.P. Pandey, P. Sharma // *Indian Journal of Engineering and Material Science*. – 2000. – vol. 7. – P. 364-369.

18. Composition dependence of the magnetic properties of strontium hexaferrite doped with rare earth ions / T. Singh, M.S. Batra, I. Singh, A. Katoch // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2014. – vol. 534. – P. 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/534/1/012013

DOI: 10.24892/RIJIE/20190105

Structural and Mechanical Properties of Strontium Hexaferrite Powder

Gudkova S.A., Chernukha A.S., Vinnik D.A.

South Ural State University (national research university)
Chelyabinsk, Russian Federation
svetlanagudkova@yandex.ru, wustite1991@gmail.com,
vinnikda@susu.ru

Gudkova S.A.

Moscow institute of physics and technology
Moscow, Russian Federation
svetlanagudkova@yandex.ru

Abstract. Strontium hexaferrite is well-known material due to its application in microelectronics. This paper devoted to strontium hexaferrite single crystals obtained by the spontaneous crystallization technique with sodium based flux. $SrFe_{12}O_{19}$ crystals were grounded, pressed to the tablets and crystals cell parameters were measured by thermal X-ray diffraction technique. Thermal X-ray diffraction was carried out in the of 100 – 900 °C. Coefficient of thermal expansion calculated from the X-ray thermal diffraction data is in a good agreement with dilatometric measurements.

Keywords: strontium hexaferrite, X-ray diffraction, dilatometry, powder.

REFERENCES

1. Pereira F.M.M., Sombra A.S.B. A review on $Ba_xSr_{1-x}Fe_{12}O_{19}$ hexagonal ferrites for use in electronic devices, *Solid State Phenomena*, 2013, vol. 202, pp. 1-64.
2. Valenzuela R. *Magnetic Ceramics*. - 1 edition, Great Britain, Cambridge University Press, 1994, 332 p.

3. Goldman A. Modern Ferrite Technology. - 2 edition, United States of American: Springer, 2006, 438 p.

4. Pullar R.C. Hexagonal ferrites: a review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics, *Progress In Materials Science*, 2012, vol. 57, pp. 1191-1334. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2012.04.001

5. Moulson A.J., Herbert J.M. Electroceramics: materials, properties, application. – 2 edition, John Wiley & Sons Ltd., 2003, 547 p.

6. Trukhanov S.V., Trukhanov A.V., Turchenko V.A. et al. Polarization origin and iron positions in indium doped barium hexaferrites, *Ceramics International*, 2018, vol. 44, is. 1, pp. 290-300. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.09.172

7. Wang F., Shao J., Huang D., Cao Q. Investigating the influence of Cr-Zn substitution on magnetic and structural properties of M-type SrBaSm hexaferrites $Sr_{0.6}Ba_{0.1}Sm_{0.3}Fe_{12.0-x}(Cr_{0.6}Zn_{0.4})_xO_{19}$, *Chinese Journal of Physics*, 2018, vol. 56, is. 1, pp. 67-74. DOI: 10.1016/j.cjph.2017.11.018

8. Baykal A., Sözeri H., Güngüneş H. Synthesis and structural and magnetic characterization of $BaZn_xFe_{12-x}O_{19}$ hexaferrite: hyperfine interactions, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2017, vol. 30, is. 6, pp. 1585-1592. DOI: 10.1007/s10948-016-3958-4

9. Afghahi S.S.S., Jafarian M., Atassi Y. Microstructural and magnetic studies on $BaMg_xZn_xX_{2x}Fe_{12-4x}O_{19}$ ($X=Zr,Ce,Sn$) prepared via mechanical activation method to act as a microwave absorber in X-band, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2016, vol. 406, pp. 184-191. DOI: 10.1016/j.jmmm.2016.01.020

10. Bakış Y., Auwal I.A., Ünal B., Baykal A. Conductivity and dielectric properties of $SrLa_xBi_xY_xFe_{12-3x}O_{19}$ ($0.0 \leq x \leq 0.33$) hexaferrites, *Ceramics International*, 2016, vol. 42, is 10, pp. 11780-11795. DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.04.099

11. Vinnik D.A., Gudkova S.A. Growth of lead and aluminum substituted barium hexaferrite single crystals from lead oxide flux, *Material Science Forum*, 2016, vol. 843, pp. 3-9. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.843.3

12. Suresh S., Li J. Materials science: Deformation of the ultra-strong, *Nature*, 2008, vol. 456, is. 7223, pp. 716-7. DOI: 10.1038/456716a

13. Lu K., Lu L., Suresh S. Strengthening materials by engineering coherent internal boundaries at the nanoscale, *Science*, 2009, pp. 324-349. DOI: 10.1126/science.1159610

14. Cornelius T.W., Thomas O. Progress of in situ synchrotron X-ray diffraction studies on the mechanical behavior of materials at small scales, *Progress in Materials Science*, 2018, vol. 94, pp. 384-434. DOI: 10.1016/j.pmatsci.2018.01.004

15. Vinnik D.A., Gudkova S.A., Niewa R. Barium hexaferrite single crystal growth using PbO and Na₂O based flux, *Material Science Forum*, 2016, vol. 870, pp. 66-69. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.870.66

16. Marlene M.C., McMurdie F. Howard, Evans H. Eloise Standard X-ray Diffraction Powder Patterns: Monograph 25, Washington, National Bureau of Standards U.S., 1981, 110 p.

17. Verma A., Pandey O.P., Sharma P. Strontium ferrite permanent magnet – An overview, *Indian Journal of Engineering and Material Science*, 2000, vol. 7, pp. 364-369.

18. Singh T., Batra M.S., Singh I., Katoch A. Composition dependence of the magnetic properties of strontium hexaferrite doped with rare earth ions, *Journal of Physics: Conference Series*, 2014, vol. 534, 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/534/1/012013

Библиографическое описание статьи

Чернуха А.С. Изучение структуры и механических свойств порошков гексаферрита стронция / А.С. Чернуха, Д.А. Винник, С.А. Гудкова // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2019. – Т.7, №1. – С. 26-29. DOI: 10.24892/RIJE/20190105

Reference to article

Chernukha A.S., Vinnik D.A., Gudkova S.A. Structural and mechanical properties of strontium hexaferrite powder, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2019, vol.7, no.1, pp. 26-29. DOI: 10.24892/RIJE/20190105