

بررسی خواص ساختاری و مغناطیسی نانوذرات فریت های $Co_{1-x}M_xFe_2O_4$ ($M = Mn, Ni; x = 0, 0.5$)

تهیه شده به روش سل ژل خود احتراقی

امیرآبادیزاده، احمد؛ رسولی، محمد رضا؛ سرحدی، رضا

آزمایشگاه مغناطیس و ابررسانایی، گروه فیزیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

چکیده

در این پژوهش، نانوذرات فریت های $Co_{1-x}M_xFe_2O_4$ ($M = Mn, Ni; x = 0, 0.5$) به روش سل ژل خود احتراقی تهیه شدند. خواص ساختاری و مغناطیسی نانوذرات ساخته شده، به ترتیب با کمک طیف سنج پراش پرتو $X(XRD)$ و مغناطیس سنج با نمونه نوسانی (VSM) بررسی شد. نتایج XRD نشان می دهد اکثر قله های شاخص برای هر سه نمونه، مربوط به فاز اسپینلی می باشد. فریت های $CoFe_2O_4$ و $Co_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_4$ تک فاز بوده اما در فریت $Co_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ مقدار کمی از فاز های Co و Fe_2O_3 نیز مشاهده شد. اندازه بلورک ها برای فریت های $CoFe_2O_4$ ، $Co_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_4$ و $Co_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ به ترتیب ۲۷/۸۱، ۵۷/۸۴ و ۳۶/۲۹ نانومتر بدست آمد. مغناطش اشباع نمونه ها M_s (emu/gr) به ترتیب برابر با ۶۱/۲۵، ۶۱/۴۳ و ۱۱۰/۹۶ و وادارندگی نمونه ها $H_c(G)$ به ترتیب ۱۱۰۲، ۵۹۲/۸۹ و ۳۰۲/۶۸ بدست آمد.

Structural and Magnetic Properties of $Co_{1-x}M_xFe_2O_4$ ($M = Mn, Ni; x = 0, 0.5$) Ferrite Nanoparticles Prepared via Sol-Gel Auto-Combustion Method

Amirabadizade, Ahmad; Rasouli, Mohammad Reza; Sarhaddi, Reza

Department of Physics, Magnetic and superconductivity Research lab, University of Birjand, Birjand

Abstract

In this study, $Co_{1-x}M_xFe_2O_4$ ($M = Mn, Ni; x = 0, 0.5$) ferrite nanoparticles were prepared by sol-gel auto-combustion method. Structural and magnetic properties of obtained nanoparticles were investigated with X-ray Diffraction (XRD) and Vibrating Sample Magnetometer (VSM), respectively. The XRD results show that the most dominant peaks for samples is related to the Spinel phase. $CoFe_2O_4$ and $Co_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_4$ ferrite were single phase but a small amount of Fe_2O_3 and Co was also observed in $Co_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ ferrite. Crystalline size for the $CoFe_2O_4$, $Co_{0.5}Mn_{0.5}Fe_2O_4$ and $Co_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ ferrite were obtained 27.81, 57.84 and 36.29 nm, respectively. Saturation magnetizations M_s of samples were obtained 61.25, 61.43 and 110.96 (emu/g), respectively, and coercivity (H_c) of samples were also obtained 1102, 592.89 and 302.68 Gauss, respectively.

PACS No. 61, 75, 81

تحویل هدفمند دارو، هسته ترانسفورماتورها و سیال های

مغناطیسی مناسب می سازد [۱-۲].

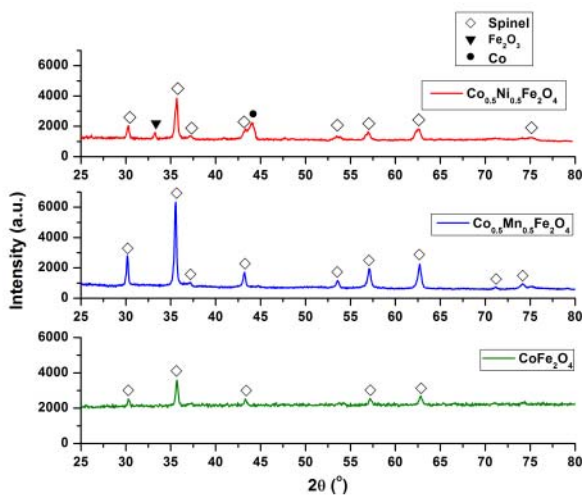
روش های مختلفی برای ساخت نانوذرات فریتی استفاده میشود از جمله روش های سل ژل، هم رسوبی، هیدروترمال و روش های مکانیکی. در این بین، روش سل ژل به دلیل تولید محصول همگن با درجه خلوص بالا، پایین بودن نسبی دما و زمان

مقدمه

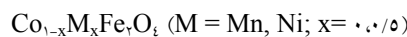
فریت های نرم با فرمول MFe_2O_4 ، دسته ای از مواد مغناطیسی با ساختار اسپینلی هستند که خواص شاخصی مانند مقاومت الکتریکی بسیار بالا، تلفات هیستریزس ناچیز و تراوایی بالا، آنها را برای کاربردهای گسترده ای نظیر وسایل فرکانس بالا، قطعات ماکروویو، قطعات ذخیره و بازیابی اطلاعات، حسگرها،

بحث و نتایج

الگوی پراش اشعه ایکس نانوذرات در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود فریت های کبالت خالص $(\text{CoFe}_2\text{O}_4)$ و کبالت- منگنز $(\text{Co}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)$ تک فاز بوده و دارای ساختار اسپینلی مکعبی هستند. برای فریت کبالت- نیکل $(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4)$ ، اکثر قله های شاخص مربوط به فاز اسپینلی هستند با این وجود، مقدار کمی فازهای ثانوی Fe_2O_3 و Co نیز ظاهر شده است.



شکل ۱: الگوی پراش اشعه X فریت های



اندازه بلورک ها به کمک رابطه شرر و با استفاده از پهنای قله پراش (۳۱۱) که بیشینه شدت را داراست، محاسبه شدند:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

که در آن D اندازه بلورک ها، β پهنای قله در نصف بیشینه ارتفاع، λ طول موج اشعه ایکس و k ثابت شرر (۰/۹) است.

برای محاسبه پارامتر شبکه از رابطه زیر استفاده شد:

$$a = d_{hkl} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2)$$

که در این رابطه d_{hkl} ، فاصله بین دسته صفحات (hkl) می باشد.

پارامتر شبکه و اندازه بلورک ها در جدول ۱ ارائه شده است.

تکلیس، یکی از مناسبترین روش ها برای ساخت نانوذرات می- باشد [۳-۴].

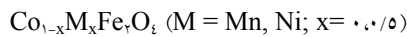
در این کار، ابتدا نانوذرات فریتی CoFe_2O_4 ساخته شد و در ادامه، اثر جانشانی ۵۰٪ اتم های کبالت با اتم های منگنز و نیکل بر خواص ساختاری و مغناطیسی نانوذرات بررسی شد.

روش آزمایش

نانو ذرات فریتی $\text{Co}_{1-x}\text{M}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($\text{M} = \text{Mn, Ni}; x = 0, 0.5$) با روش سل ژل خود احتراقی تهیه شدند. برای این منظور از نترات های آهن، کبالت، منگنز و نیکل به عنوان واکنش دهنده های معدنی، از اسید سیتریک به عنوان عامل کمپلکس ساز و از آب مقطر به عنوان حلال استفاده شد. روش ساخت نانوذرات بدین صورت می باشد: در ابتدا نترات آهن همراه با نترات های کاتیون های فلزی دیگر با نسبت مولی ۲ به ۱ در آب مقطر حل شدند. در ادامه اسید سیتریک با نسبت مولی ۳ برابر مجموع مولهای نترات های فلزی به محلول اضافه شد. سپس pH محلول با استفاده از هیدروکسید آمونیوم در عدد ۷ ثابت شد. محلول بدست آمده به مدت یک ساعت در دمای اتاق همزده شد که منجر به تشکیل یک سل همگن و پایدار گردید. سل حاصل با هدف تبخیر حلال، در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به آرامی حرارت داده شد تا یک ژل چسبناک حاصل شود. سپس ژل بدست آمده در داخل آون با دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت تا فرآیند احتراق رخ دهد. پس از احتراق، ژل سوخته شده به مدت ۲ ساعت در آون حرارت داده شد تا کاملاً خشک شود. در پایان، ژل خشک شده از آون خارج گردید و در هاون ساییده شد تا یک پودر کاملاً همگن بدست آید. پودرهای حاصله در دمای ۷۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت تکلیس شدند تا نهایتاً نانوذرات فریتی حاصل شدند.

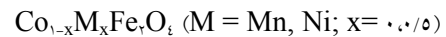
برای بررسی ویژگی های ساختاری نمونه ها از آنالیز پراش اشعه X (مدل Bruker با تیوب Cu و طول موج 1.5406 \AA) و برای بررسی خواص مغناطیسی نمونه ها از مغناطیس سنج با نمونه نوسانی (مدل Lake Shore مدل ۴۷۰۰) استفاده شد.

جدول ۲: خصوصیات مغناطیسی نانو ذرات



نمونه	M_s (emu/g)	H_c (G)
CoFe_2O_4	۶۱/۲۵۳	۱۱۰۲
$\text{Co}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	۶۱/۴۳	۵۹۲/۸۹
$\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	۱۱۰/۹۶	۳۰۲/۶۸

جدول ۱: پارامترهای ساختاری



نمونه	اندازه بلورک ها (nm)	ثابت شبکه (Å)
CoFe_2O_4	۲۷/۸۱	۸/۳۴۴
$\text{Co}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	۵۷/۸۴	۸/۳۷۹
$\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$	۳۶/۲۹	۸/۳۵۱

جانشانی منگنز به جای کبالت، باعث افزایش مغناطش اشباع فریت کبالت- منگنز در مقایسه با فریت کبالت خالص شده است. دلیل این افزایش، جایگزین شدن یون های Mn (با ممان مغناطیسی $5\mu_B$) به جای یون های Co (با ممان مغناطیسی $3\mu_B$) در جایگاه B شبکه اسپینلی می باشد [۷]. علاوه بر این، اندازه بلورک های فریت کبالت- منگنز نیز سهم اندکی در افزایش مغناطش اشباع خواهند داشت. از طرف دیگر، وادارندگی فریت کبالت- منگنز در مقایسه با فریت کبالت خالص کاهش پیدا کرده است که بدلیل جایگزین شدن یون های Mn به جای یون های Co در جایگاه B، کاهش ناهمسانگردی و افزایش اندازه بلورک ها می باشد [۶-۷].

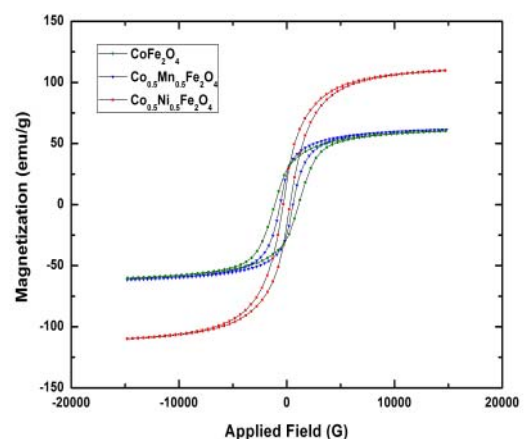
مغناطش اشباع فریت کبالت- نیکل در مقایسه با فریت کبالت خالص و حتی فریت کبالت- منگنز افزایش چشمگیری پیدا کرده است که احتمالاً به دلیل قرار گرفتن یون های Ni (با ممان مغناطیسی $2\mu_B$) در جایگاه A به جای یون های Fe (با ممان مغناطیسی $5\mu_B$) می باشد. علاوه بر این، ظاهر شدن فازهای ثانوی Fe_2O_3 و Co نیز می تواند باعث افزایش مغناطش فریت کبالت- نیکل شده باشد [۸]. جانشانی Ni به جای Co، وادارندگی فریت کبالت- نیکل را در مقایسه با کبالت خالص کاهش داده است. دلیل این کاهش، بزرگتر بودن اندازه بلورک های فریت کبالت- نیکل در مقایسه با فریت کبالت خالص است [۹].

نتیجه گیری

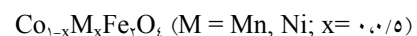
در این تحقیق، اثر جانشانی اتم های منگنز و نیکل بر ویژگی های ساختاری و مغناطیسی فریت $\text{Co}_{1-x}\text{M}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ (M = Mn, Ni; x = 0, 0.5) بررسی شده است. نتایج XRD، شکل گیری فاز اسپینلی را برای همه نمونه ها تایید

همانطور که مشاهده می شود اندازه بلورک های فریت منگنز- کبالت در مقایسه با فریت کبالت خالص بزرگتر می باشد که دلیل آن، بزرگتر بودن شعاع یونی Mn (0.83 \AA) در مقایسه با شعاع کبالت (0.78 \AA) است [۵]. از طرفی، جانشانی نیکل به جای کبالت نیز باعث افزایش اندازه بلورک های فریت کبالت- نیکل در مقایسه با فریت کبالت خالص شده است. برای توجیه این افزایش، پیش بینی می شود که اتم های Ni جایگزین اتم های Fe در جایگاه A شده باشند و از آنجائیکه شعاع یونی Ni (0.74 \AA) بزرگتر از شعاع یونی Fe (0.76 \AA) است، در نتیجه ثابت شبکه و اندازه بلورک ها افزایش یافته است [۶].

خصوصیات مغناطیسی نمونه ها با کمک دستگاه مغناطیس سنج با نمونه نوسانی (VSM) در دمای اتاق اندازه گیری شد. منحنی پسماند نانوذرات تکلیس شده در دمای 700°C درجه سانتی گراد در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین پارامترهای مغناطیسی مربوطه به هر نمونه در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: منحنی پسماند نمونه های



می‌کند. با اینحال، برای فریت کبالت-نیکل، مقدار کمی از فازهای ثانوی Fe_2O_3 و Co نیز ظاهر شده است. بررسی خصوصیات مغناطیسی نمونه‌ها نشان می‌دهد با جانشانی Mn و Ni به جای Co در فریت کبالت خالص، مغناطش اشباع و وادارندگی به ترتیب افزایش و کاهش پیدا می‌کنند.

سپاسگزاری

از آقای مهندس مردانی (دانشگاه بیرجند) و خانم مهندس بازیار (شرکت کارآفرینی و فناوری ایران (کفا)) برای همکاری شان جهت اندازه گیری منحنی VSM و طیف XRD نمونه ها تشکر می‌کنم.

مرجع‌ها

- [۱] R. Valenzuela; "Novel Applications of Ferrites"; *Physics Research International* **2012**, (2012) 9.
- [۲] R. Manish Srivastava, S. Chaubey, A. K. Ojha; "Investigation on size dependent structural and magnetic behavior of nickel ferrite nanoparticles prepared by sol-gel and hydrothermal methods"; *Materials Chemistry and Physics* **118**, (2009) 174-180.
- [۳] B.G. Toksha, Sagar E. Shirsath, S.M. Patange, K.M. Jadhav; "Structural investigations and magnetic properties of cobalt ferrite nanoparticles prepared by sol-gel auto combustion method"; *Solid State Communications* **147**, (2008) 479-483
- [۴] Y. Zhang, Z. Yang, D. Yin, Y. Liu, C.L. Fei, R. Xiong, J. Shi, G.L. Yan; "Composition and magnetic properties of cobalt ferrite nanoparticles prepared by the co-precipitation method"; *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **322**, (2010) 3470-3475.
- [۵] R.C. Kambale, P.A. Shaikh, N.S. Harale, V.A. Bilur a, Y.D. Kolekar, C.H. Bhosale, K.Y. Rajpure; "Structural and magnetic properties of $\text{Co}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.4$) spinel ferrites synthesized by combustion route"; *Journal of Alloys and Compounds* **490**, (2010) 568-571.
- [۶] P.P. Hankare, K.R. Sanadi, K.M. Garadkar, D.R. Patil, I.S. Mulla; "Synthesis and characterization of nickel substituted cobalt ferrite nanoparticles by sol-gel auto-combustion method"; *Journal of Alloys and Compounds* **553**, (2013) 383-388.
- [۷] S.P. Yadav, S.S. Shinde, A.A. Kadam, K.Y. Rajpure; "Structural, morphological, dielectrical, magnetic and impedance properties of $\text{Co}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ "; *Journal of Alloys and Compounds* **555**, (2013) 330-334
- [۸] V.L. Mathe, A.D. Sheikh; "Magnetostrictive properties of nanocrystalline Co-Ni ferrites"; *Physica B* **405**, (2010) 3594-3598.
- [۹] B. Jeyadevan, K. Shinoda, K. Tohji, D. J. Djayaprawira, M. Takahashi, R.J. Joseyphus, A. Narayanasamy; "Unusually high coercivity and critical single-domain size of nearly monodispersed CoFe_2O_4 nanoparticles"; *Applied Physics Letters* **83**, (2003) 2862-2864.

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop