

سنتز و مشخصه‌یابی ویژگی‌های ساختاری، اپتیکی و مغناطیسی نانوذرات فریت اسپینل نیکل- منگنز آلایش یافته با لانتانوم

مطهره جعفرپور، محمد رستمی*، محمدحسین مجلس‌آرا

دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده: در این پژوهش پس از سنتز نانوذرات فریت اسپینلی نیکل-منگنز آلاییده شده با لانتانوم به روش سل-ژل خود احتراقی، به بررسی ویژگی‌های ساختاری، اپتیکی و مغناطیسی آنها پرداخته شده است. جهت بررسی خواص ساختاری از آنالیز XRD استفاده شده است که تایید شد پودرهای سنتز شده دارای فاز غالب فریت اسپینل با گروه فضایی $Fd3m$ می‌باشند. اندازه بلورک‌ها نیز به وسیله معادله شرر محاسبه شده و برای نمونه خالص و نمونه آلاییده شده به ترتیب در حدود ۴۱،۹۱۵ و ۴۱،۹۱۹ نانومتر به دست آمد. آنالیز $FESEM$ نیز برای بررسی مورفولوژی نمونه‌ها به کار گرفته شد. ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها نیز به وسیله آنالیز VSM بررسی شدند و مشخص شد که این نانوذرات از نوع مواد مغناطیسی نرم با مغناطش اشباع بالا می‌باشند، و لذا دارای کاربردهایی در زمینه حفاظت الکترومغناطیسی، هدهای خواندن در عرصه ذخیره داده‌ها و ... می‌باشند. همچنین از آنالیز $UV-VIS$ جهت بررسی خواص اپتیکی و تعیین گاف انرژی نمونه‌ها با استفاده از رابطه تاوک بهره‌گیری شد و گاف انرژی برای نمونه خالص و آلاییده شده به ترتیب ۱،۷۱۵ و ۱،۸۰۲ الکترون ولت محاسبه شدند.

کلید واژگان: نانوذرات؛ فریت اسپینلی نیکل- منگنز؛ ویژگی‌های اپتیکی؛ گاف انرژی

Synthesis and characterization of the structural, optical and magnetic properties of Ni-Mn spinel ferrites doped with Lanthanum

Motahareh Jafarpour, Mohammad Rostami, Mohammad Hossein Majles Ara

Faculty of Physics, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Abstract- In this study, after synthesis of Ni-Mn spinel ferrites doped with Lanthanum by sol-gel auto-combustion method, their structural, optical and magnetic properties have been studied. XRD analysis was used to investigate the structural properties, which confirmed that the synthesized powders have a dominant phase of spinel ferrite with space group of $Fd3m$. The crystallite sizes were also calculated by the Scherer equation and were obtained for pure and contaminated samples at about 41.915 and 41.919 nm, respectively. FESEM analysis was also used to examine the morphology of the samples. The magnetic properties of the samples were investigated by VSM analysis and it was found that these nanoparticles are soft magnetic materials with high saturation magnetization, and therefore have applications in the field of electromagnetic protection, reading heads in the field of data storage and so on. Correspondingly, UV-VIS analysis was used to investigate the optical properties and determine the energy gap of the samples using the Tauc relation and the energy gap for the pure and doped samples was calculated as 1.715 eV and 1.802 eV, respectively.

Keywords: Nanoparticles; Ni-Mn spinel ferrites; Optical properties; Energy gap

* mrostami@khu.ac.ir

۱- مقدمه

نانوفريت‌های اسپینلی با فرمول کلی MFe_2O_4 که در آن M یک یا چند یون دوظرفیتی مانند $CoZnMnNi$ است، به سبب ویژگی‌های متفاوت و منحصربه‌فرد الکتریکی، مغناطیسی و اپتیکی نظیر پایداری الکتروشیمیایی و حرارتی خوب، مقاومت در برابر سایش و خوردگی، دمای کوری بالا و مقاومت الکتریکی بالا از اهمیت زیادی در زمینه‌های مختلف صنعتی مانند سیستم‌های ذخیره اطلاعات، سیستم‌های الکتریکی، حسگرها، صنایع ریزموج و غیره برخوردار هستند [۱،۲]. در این مقاله ویژگی‌های ساختاری، اپتیکی و مغناطیسی نانوذرات فريت اسپینل نیکل- منگنز خالص و آلايیده شده با لانتانیم با فرمول‌های شیمیایی $Ni_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ و $Ni_{0.6}Mn_{0.4}La_{0.02}Fe_{1.98}$ مورد بررسی قرار گرفته اند.

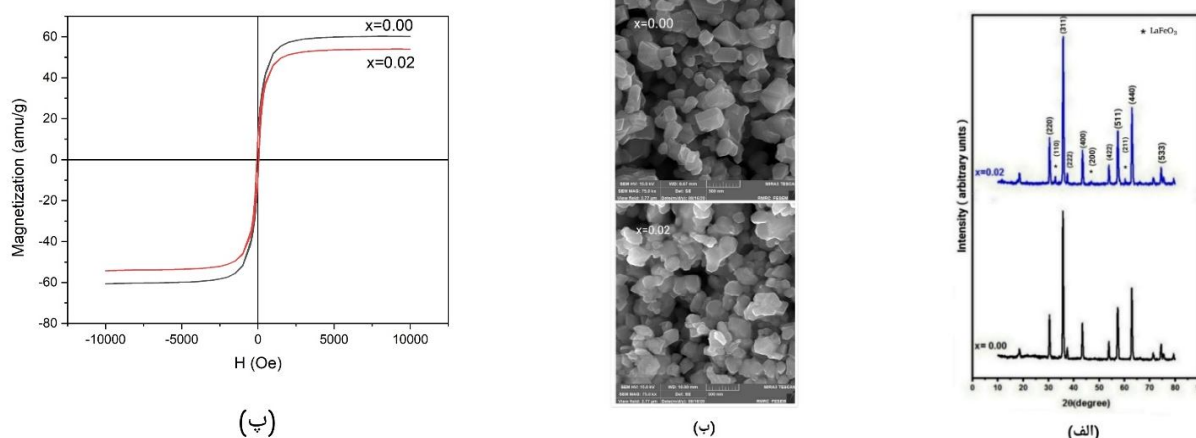
۲- روش تهیه نانوذرات

برای سنتز نمونه‌ها، مقادیر توزین شده از $LaCl_3 \cdot 7H_2O$ ، $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ، $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ، $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ و اسید به ۲۵۰ میلی لیتر آب دیونیزه با دمای حدود $60^\circ C$ اضافه و به مدت چند دقیقه توسط همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس تا رسیدن به pH حدود ۷، قطره قطره آمونیاک به محلول اضافه شد و بعد از آن به مدت حدود ۴۵ دقیقه در دمای $80^\circ C$ هم زده شد. بعد دما تا $100^\circ C$ بالا برده شد تا احتراق انجام شود. پس از اتمام احتراق، ماده حاصل آسیاب شده و به مدت ۹۰ دقیقه در کوره با دمای $1000^\circ C$ کلسینه شد.

۳- آنالیز و مشخصه‌یابی

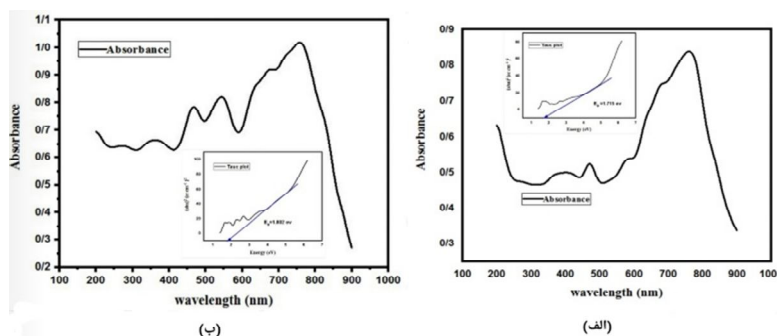
با توجه به طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌ها (شکل ۱- الف) هر دو نمونه دارای فاز غالب فريت اسپینلی می‌باشند. با استفاده از این طیف پارامتر شبکه a برای نمونه $Ni_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ و $Ni_{0.6}Mn_{0.4}La_{0.02}Fe_{1.98}$ به ترتیب برابر با ۸،۳۴۶ و ۸،۳۳۹ آنگستروم بدست آمد. و اندازه بلورک‌ها نیز توسط رابطه شرر [۲] برای نمونه $Ni_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ و $Ni_{0.6}Mn_{0.4}La_{0.02}Fe_{1.98}$ به ترتیب برابر با ۴۱،۹۱۵ و ۴۱،۹۱۹ نانومتر محاسبه شد. همانطور که مشاهده می‌شود ثابت شبکه و اندازه بلورک با افزودن ناخالصی La به میزان بسیار اندکی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. باتوجه به نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) که در شکل (۱- ب) نشان داده شده است، ذرات دارای توزیع تقریباً یکنواخت هستند و برخی از آن‌ها به صورت کلوخه‌ای درآمده‌اند، و میانگین اندازه ذرات نیز در حدود ۱۰۰ نانومتر می‌باشد.

خواص مغناطیسی نانوذرات با استفاده از آنالیز VSM مورد بررسی قرار گرفته است. (شکل ۱- پ) نشان‌دهنده حلقه‌های پسماند مربوط به نمونه‌ها می‌باشد، مقادیر مربوط به مغناطش اشباع برای نمونه خالص $Ni_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ و نمونه آلايیده شده $Ni_{0.6}Mn_{0.4}La_{0.02}Fe_{1.98}$ به ترتیب برابر با $59,813 \text{ emu/g}$ و $54,168 \text{ emu/g}$ بدست آمد. با توجه به این حلقه‌های پسماند، این مواد از نوع مواد مغناطیسی نرم با مغناطش اشباع بالا می‌باشند، و لذا دارای کاربردهایی در زمینه حفاظت الکترومغناطیسی، هدهای خواندن در عرصه ذخیره داده‌ها و ... می‌باشند. کاهش مشاهده شده در مقادیر مغناطش اشباع مربوط به جانشانی یون‌های غیرمغناطیسی La^{+3} به جای یون‌های Fe^{+3} در مکان‌های B از ساختار اسپینلی می‌باشد، که در نتیجه آن مغناطش زیر شبکه B کاهش می‌یابد [۳].



شکل ۱- (الف) طیف XRD مربوط به نمونه‌ها، (ب) تصاویر FESEM نانوذرات سنتز شده، (پ) نمودار VSM نانوذرات.

به منظور بررسی خواص اپتیکی نمونه‌ها، از آنالیز UV-VIS استفاده شد (شکل ۲). با استفاده از طیف جذب در بازه ۲۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر و رسم نمودار $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ با استفاده از رابطه Tauc گاف انرژی نمونه‌ها محاسبه شد، که برای نمونه $Ni_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ و $Ni_{0.6}Mn_{0.4}La_{0.02}Fe_{1.98}$ به ترتیب برابر با ۱،۷۱۵ و ۱،۸۰۲ الکترون ولت تعیین شد. با توجه به این نتایج با افزودن لانتانیم به نانوذرات، گاف انرژی افزایش یافته که با مطالعات قبلی در توافق است [۴].



شکل ۲- نمودار طیف جذبی (UV-VIS) و نمودار تعیین گاف انرژی برای (الف) نمونه $Ni_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ ، (ب) نمونه $Ni_{0.6}Mn_{0.4}La_{0.02}Fe_{1.98}$

نتیجه‌گیری

نانوذرات فریت اسپینل نیکل-منگنز به صورت خالص و آلائیده شده با لانتانیم به روش سل-ژل احتراقی سنتز شدند. نتایج حاصل از XRD تاییدکننده تشکیل فاز غالب فریت اسپینلی می‌باشند. بررسی خواص مغناطیسی نمونه‌ها نشان داد که این مواد از نوع مغناطیسی نرم می‌باشند. با استفاده از آنالیز UV-VIS مقدار گاف انرژی نانوذرات $Ni_{0.6}Mn_{0.4}Fe_2O_4$ و $Ni_{0.6}Mn_{0.4}La_{0.02}Fe_{1.98}$ به ترتیب در حدود ۱،۷۱۵ eV و ۱،۸۰۲ eV به دست آمد.

مراجع

1. C. Kumari, et. al. **Phase Transit** 93(2), 207, 2020.
2. M. Rostami, et. al. **Ceram. Int** 45, 7606, 2019.
3. X. Ren, et. al. **J. Magn.Magn. Mater** 354, 44, 2014.
4. K. Sakthipandi, et. al. **Ceram. Int** 46(11), 19634, 2020.