

مقایسه ضریب شکست غیرخطی نانوذرات NiFe_2O_4 و Fe_3O_4

درویشی، شیبای^۱؛ جعفری، اکبر^۲؛ زینی زاده، بهزاد^۳

آزمایشگاه تحقیقاتی لیزر، گروه فیزیک دانشگاه ارومیه

^۱گروه فیزیک دانشگاه ارومیه کد پستی ۵۷۵۶۱۵۱۸۱۸

^۳گروه شیمی دانشگاه ارومیه کد پستی ۵۷۵۶۱۵۱۸۱۸

چکیده

در این مقاله، خواص نوری غیرخطی نانوذرات NiFe_2O_4 و Fe_3O_4 را مطالعه کرده‌ایم. این نانوذرات با روش هم‌رسوبی سنتز شده‌اند. ضریب شکست غیرخطی آنها با روش جاروب-z و یک لیزر دیود پمپ پیوسته‌کار در حلال هیدروکلریک اسید 3×10^{-4} مولار اندازه‌گیری شده است. ساختار اسپینل وارونه این نانوذرات نور تابیده به آن را واگرا کرده است، در نتیجه ضریب شکست غیرخطی آنها منفی و از مرتبه $10^{-10} \frac{m^2}{w}$ بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهند که ضریب شکست غیرخطی NiFe_2O_4 از Fe_3O_4 بیشتر است. کلید واژه - ضریب شکست غیرخطی، روش جاروب-z، نانوذرات.

The comparison of nonlinear refractive index of Fe_3O_4 and NiFe_2O_4 nanoparticles

Darvishi, Shiba¹; Jafari, Akbar²; Zeynizadeh; Behzad³

Laser Research Laboratory, Department of physics, University of Urmia

^{1,2}Department of Physics, Urmia University, Urmia 5756151818

³Department of Chemistry, Urmia University, Urmia 5756151818

Abstract

In this paper, we have studied the nonlinear optical properties of Fe_3O_4 and NiFe_2O_4 nanoparticles. These nanoparticles have been synthesized by a chemical co-precipitation method. The nonlinear refractive index of these nanoparticles in hydrochloric acid solvent ($3 \times 10^{-4} M$) have been measured by z-scan method and a continuous wave diode-pumped laser. Inverted spinel structure of these nanoparticles has divergent light shined on it. As a result, nonlinear refractive index is negative and their values are gained from the order of $10^{-10} \frac{m^2}{w}$.

The results show that the nonlinear refractive index of NiFe_2O_4 is greater than of Fe_3O_4 .

Keywords: Nonlinear refraction coefficient, z-scan technique, nanoparticles.

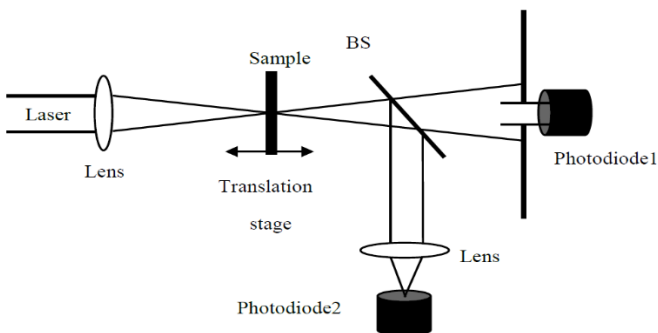
۱- مقدمه

عملی آنها تأثیر زیادی دارد و در بین انواع نانوذرات، نانوذرات مغناطیسی به دلیل کاربردهایشان در زمینه مراقبت‌های پزشکی، ضبط مغناطیسی، سیستم دارو رسانی، تصویر برداری تشدید مغناطیسی (MRI) و درمان سرطان توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [3]. فریت‌های با ساختار اسپینل (NiFe_2O_4 , Fe_3O_4) از جمله نانوذرات مغناطیسی هستند که در سنسورها، رسانه‌های ذخیره‌سازی اطلاعات با چگالی بالا، فن‌آوری فرسویال، کاربردهای

علوم و فناوری نانو یک حوزه جالب و در حال رشد در زمینه آماده‌سازی و شناسایی و کاربردهای نانوساختارها با شکل‌ها و اندازه‌های مختلف است که در تحولات شیمیایی نقش بسزایی دارند [1]. نانوساختارها نسبت به حالت توده‌ای آن دارای خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی می‌باشند [2]. اندازه ذرات و خواص سطح و خواص مغناطیسی نانوذرات برای کاربردهای

۲- روش اندازه گیری ضریب شکست غیرخطی

در این آزمایش از یک لیزر دیود پمپ پیوسته کار با طول موج ۵۳۲ نانومتر استفاده شده است. نور لیزر توسط یک عدسی با فاصله کانونی ۱۰ سانتی متر کانونی می شود. پرتو لیزر در روش جاروب-Z توزیع فضایی گوسین دارد. طرح واره چیدمان آزمایشگاهی جاروب-Z در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل BS شکافنده پرتو می باشد. طول رایلی پرتو که از رابطه $z_0 = k\omega_0^2/2$ بدست می آید ۶۳/۲۵ میلی متر و کمره باریکه پرتو در کانون ۳۲۷ میکرومتر می باشد. به علت کوچک بودن ضخامت نمونه (۶/۸۹ میلی متر) در مقایسه با طول رایلی پرتو می توان از تقریب نمونه نازک استفاده کرد. نمونه در امتداد فاصله کانونی روی یک ریل به حرکت درمی آید که تغییرات عبوری پرتو توسط آشکارساز شماره ۱ ثبت می شود. در این حالت روزنه بسته است.



شکل ۲: طرح واره چیدمان آزمایشگاهی جاروب-Z

۴- بحث و بررسی

منحنی های a-2، b-2، a-3 و b-3 وابستگی سیگنال پراکنده شده به شدت را در حالت روزنه بسته نشان می دهند. با توجه به شکل-ها یک حداکثر قبل از کانون (قله) و به دنبال آن یک حداقل پس از کانون (دره) داریم که به ترتیب بیانگر منفی بودن ضریب شکست غیرخطی و ظهور اثر خودکانونی می باشد. با توجه به تغییرات عبور نورمالیزه ΔT_{p-v} و مکان قله و دره می توان اندازه و علامت شیفیت فازی غیرخطی $\Delta\phi$ را تعیین نمود که از رابطه زیر بدست می آید [8-11].

$$\Delta\phi = (\Delta T_{p-v}) / (0.406(1-S)^{0.25}) \quad (1)$$

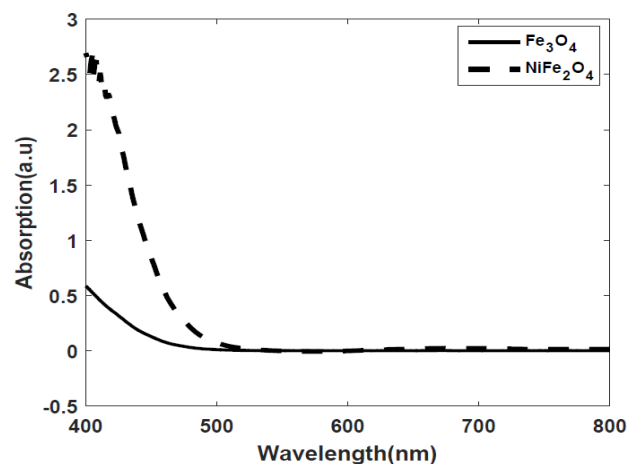
میکروویو، کاتالیست ها، کاربردهای الکترونیکی و نوری و غیره کاربرد دارند [4-7]. در این مقاله خواص اپتیک غیرخطی نانوذرات NiFe_2O_4 و Fe_3O_4 در حلال هیدروکلریک اسید 3×10^{-4} مولار بررسی شده و ضریب شکست غیرخطی آنها با روش جاروب-Z تعیین می شود [8]. با استفاده از طیف سنج UV-Vis هم پاسخ های نوری خطی آنها اندازه گیری می شود.

۱- طیف جذبی

طیف جذبی نانوذرات NiFe_2O_4 و Fe_3O_4 در شکل ۱ نشان داده شده است. محلولی از این نانوذرات در حلال هیدروکلریک اسید 3×10^{-4} مولار تهیه شده و به کمک طیف سنج UV-Vis جذب خطی آنها اندازه گیری می شود. ضریب جذب خطی نمونه ها در طول موج ۵۳۲ نانومتر با کمک رابطه $\alpha = -\frac{1}{d} \ln T$ محاسبه می شود. در این رابطه، d ضخامت سلول، T میزان عبور پرتو و α ضریب جذب خطی نمونه می باشد. میزان عبور و ضریب جذب خطی این دو نانوذره در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مقادیر مربوط به عبور و ضریب جذب خطی نانوذرات Fe_3O_4 و NiFe_2O_4 در حلال هیدروکلریک اسید 3×10^{-4} مولار.

نمونه	T	$\alpha (cm^{-1})$
Fe_3O_4	0.9908	0.0093
NiFe_2O_4	0.9772	0.0230



شکل ۱: طیف جذبی نانوذرات NiFe_2O_4 و Fe_3O_4 در حلال هیدروکلریک اسید 3×10^{-4} مولار.

در این رابطه، S گذار خطی روزنه می باشد که طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$S = 1 - \exp(-2r_a^2/\omega_a^2) \quad (۲)$$

در این رابطه، r_a شعاع روزنه و ω_a شعاع پرتو در روزنه می باشد. ضریب شکست غیرخطی با رابطه زیر بدست می آید [8].

$$n_2 = \Delta\phi/kI_0 L_{eff} \quad (۳)$$

در اینجا، $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ بردار موج می باشد و λ همان طول موج

لیزر و I_0 شدت پرتو لیزر در کانون ($z = 0$) می باشد. طول مؤثر نمونه از رابطه $L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L})/\alpha$ بدست می آید

که α همان ضریب جذب خطی می باشد و مقادیر آن در

جدول شماره ۱ آورده شده است. مقادیر شدت و ضریب

شکست غیرخطی این نانوذرات در جدول ۲ آورده شده است. با

مطالعه ضریب شکست وابسته به شدت این نانوذرات در حلال

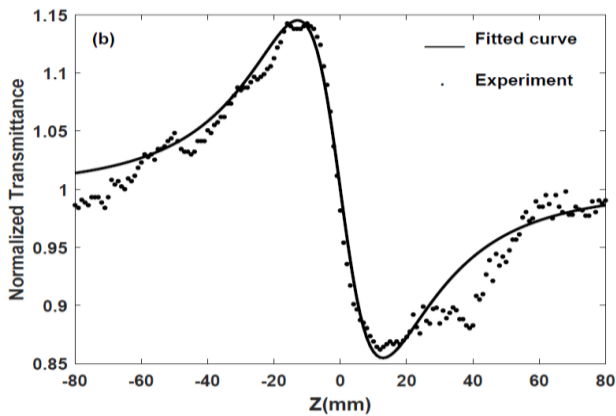
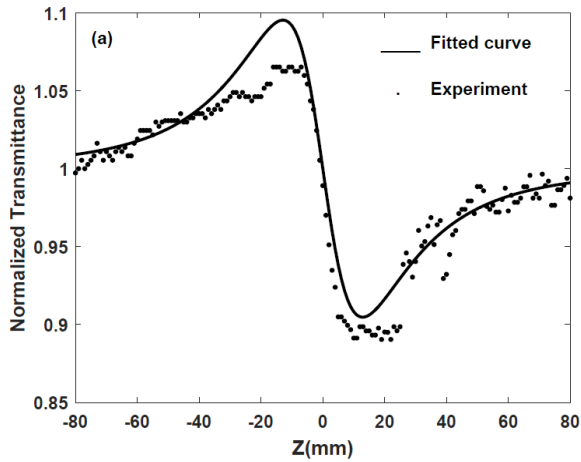
HCl 3×10^{-4} مولار مشاهده شد که اختلاف فاصله بین قله و

دره افزایش یافته است و رابطه نظری بین فاصله برای حالت

روزنه بسته و عبور با رابطه ۴ بیان می شود که این رابطه بیانگر

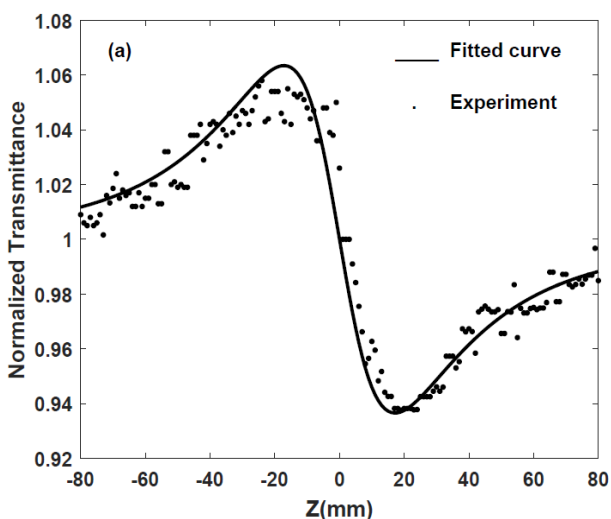
توافق بین نظریه و تجربه می باشد [9].

$$T(z) = 1 - \frac{4\Delta\phi(z/z_0)^2}{(1 + (z/z_0)^2)(9 + (z/z_0)^2)} \quad (۴)$$



شکل ۲: منحنی های جاروب Z-روزنه بسته نانوذرات Fe_3O_4 در حلال HCl

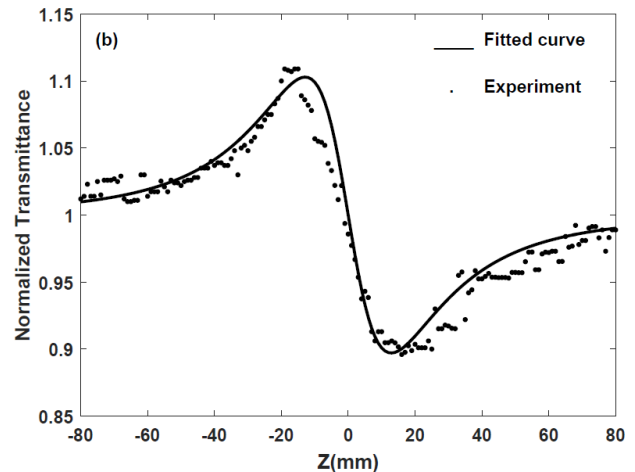
در شدت 3×10^{-4} مولار در شدت (a) $65.24 \times 10^3 \frac{W}{m^2}$ و (b) $78.64 \times 10^3 \frac{W}{m^2}$.



ضریب جذب خطی این نانوذرات در طول موج ۵۳۲ نانومتر کوچک است می‌توان گفت که اثر کر وابسته به شدت نور در این غیرخطیت نقش داشته است. از این نانوذرات در پزشکی، سنسورها، کاربردهای الکترونیکی و نوری، کاتالیست‌ها و غیره استفاده می‌شود.

مراجع

- [1] M. A. Ghasemzadeh, J. Safaei-Ghomi, H. Molaei; "Fe₃O₄ nanoparticles: as an efficient, green and magnetically reusable catalyst for the one-pot synthesis of 1, 8-dioxo-decahydroacridine derivatives under solvent-free conditions" *Comptes Rendus Chimie* **15**, 969 (2012).
- [2] T. Osaka, T. Matsunaga, T. Nakanishi, A. Arakaki, D. Niwa, H. Iida; "Synthesis of magnetic nanoparticles and their application to bioassays" *Anal Bioanal Chem*; **384**, 593 (2006).
- [3] H. Iida, Hironori, et al; "Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles with various sizes and magnetic properties by controlled hydrolysis" *J. Colloid Interf. Sci.* **314**, 274 (2007).
- [4] Z. Ž. Lazarević, et al; "Characterization of nanostructured spinel NiFe₂O₄ obtained by soft mechanochemical synthesis" *Science of Sintering*; **44**, 331, (2012).
- [5] P. Tartaj, M. P. Morales; "Synthesis, Properties and Biomedical Applications of nanoparticle" *Handbook of Magnetic Materials* **16**, Elsevier (2006).
- [6] S. Ban, V. Korenivski; "Pattern storage and recognition using ferrofluids" *J. Appl. Phys.* **99**, 08R907 (2006).
- [7] R. L. Vander Wal, T. M. Tichich; "Comparative flame and furnace synthesis of single-walled carbon nanotubes" *Chem. Phys. Lett.* **336**, 24 (2001).
- [8] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, E. W. Van Stryland; "High-sensitivity, single-beam n₂ measurements" *Opt. Lett.* **14**, 955 (1989).
- [9] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T.-H. Wei, et al; "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam" *IEEE J. Quantum Electron* **26**, 760 (1990).
- [10] R. Naderali, A. Jafari, H. Motiei; "Nonlinear optical properties of carboxymethyl starch nanocomposite by Z-scan technique using a Nd-YAG laser" *Appl. Phys. B* **120**, 681 (2015).
- [11] T. C. SabariGirisun, S. Dhanuskodi; "Linear and nonlinear optical properties of tris thiourea zinc sulphate single crystals" *Cryst. Res. Technol.* **44**, 1297 (2009).



شکل ۳: منحنی‌های جاروب-Z روزنه بسته نانوذرات NiFe₂O₄ در حلال

HCl 3×10^{-4} مولار در شدت (a) $65.24 \times 10^3 \frac{W}{m^2}$ و (b)

$$78.64 \times 10^3 \frac{W}{m^2}$$

جدول ۲: مقادیر شدت و ضریب شکست غیرخطی نانوذرات Fe₃O₄ و

NiFe₂O₄ در حلال هیدروکلریک اسید 3×10^{-4} مولار.

نمونه	$I_0 \left(\frac{W}{m^2} \right)$	$n_2 \left(\frac{m^2}{W} \right)$
Fe ₃ O ₄	65.24×10^3	0.8864×10^{-10}
	78.64×10^3	1.1201×10^{-10}
NiFe ₂ O ₄	65.24×10^3	0.5948×10^{-10}
	78.64×10^3	0.8003×10^{-10}

نتیجه‌گیری

در این مقاله، خواص نوری غیرخطی مرتبه سوم نانوذرات Fe₃O₄ و NiFe₂O₄ در حلال هیدروکلریک اسید 3×10^{-4} مولار بررسی شده است و مقادیر ضریب شکست غیرخطی برای این دو نانوذره از مرتبه $10^{-10} \frac{m^2}{W}$ بدست آمد. با توجه به منحنی‌ها می‌توان مشاهده کرد که ضریب شکست غیرخطی نمونه‌ها منفی است و علت آن این است که این نانوذرات ساختار اسپینل وارونه دارند و مولکولهای آنها در داخل محلول در اثر برهم‌کنش با نور لیزر، واگرایی ایجاد می‌کنند که منجر به ظهور پدیده خودواکانونی می‌شود. چون مقادیر ضریب شکست غیرخطی این نانوذرات منفی است، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب شکست غیرخطی NiFe₂O₄ از Fe₃O₄ بیشتر است. چون