



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک
و فوتونیک ایران و سیزدهمین
کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۲۵۳۳-۱۰-A

بررسی ویژگی‌های نوری غیرخطی نانوذرات نقره در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر

صفورا کریم‌ارجی، علیرضا خورسندی، سعید قوامی صبوری

گروه فیزیک دانشگاه اصفهان، اصفهان

s.karim_arji@sci.ui.ac.ir

چکیده - در این مقاله، ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی نانوذرات نقره‌ی سنتز شده به روش کاهش شیمیایی، با استفاده از روش روبش Z، اندازه‌گیری شده‌اند. آزمایش با استفاده از یک لیزر Nd:YAG در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر انجام شده است. نانوذرات سنتز شده با استفاده از بیناب نمایی جذبی و بیناب پراش پرتو ایکس مورد شناسایی و خصوصیت‌یابی قرار گرفته‌اند. مقدار ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی در این طول موج به ترتیب از مرتبه $(cm^2/w)^{-8}$ و $(cm/w)^{-4}$ به دست آمده‌اند.

کلیدواژه- روش روبش Z، ضریب جذب غیرخطی، ضریب شکست غیرخطی، نانوذرات نقره

Investigation of nonlinear optical properties of silver nanoparticles at 1064 nm wavelength

Safoura Karimarji, Alireza Khorsandi, Saeed Ghavami Sabouri

Department of physics, University of Isfahan, Isfahan

s.karim_arji@sci.ui.ac.ir

Abstract- In this paper, the nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient of silver nanoparticles synthesized by the chemical reduction method are measured using the z-scan technique. The experiment was performed using Nd:YAG laser at a wavelength of 1064 nm. The synthesized nanoparticles have been identified and characterized using X-ray diffraction and absorption spectroscopy. The values of the nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient at this wavelength are obtained from the order of $10^{-8}(cm^2/w)$ and $10^{-4}(cm/w)$, respectively.

Keywords: Z-scan technique, nonlinear absorption coefficient, nonlinear refractive index, silver nanoparticles

یک نمونه نازک که ضخامت آن از طول رایلی پرتو گاوسی کمتر باشد ($L < z_R$)، رابطه‌ی بین گذار رسیده به آشکارساز برحسب تابعی از موقعیت نمونه‌به صورت زیر است [۳]:

$$T(z) = \ln(1 + q(z)) / q(z) \quad (۱)$$

که $q(z) = \frac{\beta I_0 L_{eff}}{1 + (z/z_R)}$ است. I_0 شدت در کانون، z_R طول رایلی و $L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L}) / \alpha$ طول موثر می‌باشد، که در آن α جذب خطی نمونه است. برای محاسبه جذب خطی نیز از رابطه بیر-لامبرت استفاده می‌شود:

$$\alpha = -\frac{1}{L} \ln \frac{I}{I_0} \quad (۲)$$

در چیدمان روزنه بسته از یک روزنه در جلوی آشکارساز استفاده می‌شود تا میزان نور رسیده به آشکارساز به واگرا و همگرا شدن پرتو که به علت پدیده‌های خودکانونی یا خودواکانونی ایجاد می‌شود، حساس شود. میزان عبور نور در این حالت، به صورت زیر است:

$$T(z, \Delta\phi) = 1 - \frac{4x\Delta\phi}{(x^2+1)(x^2+9)} \quad (۳)$$

که $x = z/z_R$ و $\Delta\phi$ جابه‌جایی فاز غیرخطی می‌باشد که مطابق رابطه زیر مستقیماً با ضریب شکست غیرخطی در ارتباط است:

$$\Delta\phi = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) n_2 I_{in} L_{eff} \quad (۴)$$

در رابطه بالا، λ طول موج پرتوی لیزر است.

آماده‌سازی نمونه

برای سنتز نانوذرات نقره از روش کاهش شیمیایی با سیترات استفاده می‌شود. در این روش، ۱/۷ گرم نیترات نقره و ۴/۲ گرم سیتریک اسید هر کدام به طور جداگانه در ۹/۲ میلی‌لیتر آب دیونیزه توسط همزن مغناطیسی حل می‌شود. این دو محلول با هم ترکیب شده و مقداری آمونیوم هیدروکسید نیز به آن‌ها اضافه می‌شود. محلول به

مقدمه

در سال‌های اخیر، نانوذرات فلزی به ویژه نانوذرات نقره به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد، از جمله تشدید پلاسمون‌های سطحی محلی، به شدت مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند. این ویژگی‌ها سبب کاربرد نانوذرات نقره در زمینه‌های الکترونیک، فوتونیک، پزشکی و غیره شده است. امروزه دانشمندان به دنبال مواد جدیدی هستند که دارای ویژگی‌های نوری غیرخطی قابل توجهی باشند. این ویژگی‌های نوری غیرخطی مانند ضریب شکست غیرخطی (n_2) و ضریب جذب غیرخطی (β) در طراحی دستگاه‌های اپتوالکترونیکي حائز اهمیت هستند. نانوذرات نقره در ناحیه تشدید پلاسمون‌های سطحی، ویژگی‌های نوری غیرخطی قابل توجهی از خود نشان می‌دهند. اما لازم است، ویژگی‌های نوری غیرخطی این مواد در طول موج لیزرهای پر کاربرد صنایع، مانند طول موج اصلی لیزر Nd:YAG مورد بررسی قرار گیرد [۱].

یکی از معروف‌ترین روش‌های اندازه‌گیری این ویژگی‌های غیرخطی، روش روبش z است. در این روش پرتوی گاوسی کانونی شده توسط عدسی، از نمونه غیرخطی که اطراف کانون جابه‌جا می‌شود، عبور کرده و میزان نور رسیده به آشکارساز در هر موقعیت نمونه ثبت می‌شود. چیدمان این روش به دو صورت روزنه باز و روزنه بسته است که به ترتیب برای اندازه‌گیری ضریب جذب غیرخطی و ضریب شکست غیرخطی استفاده می‌شود.

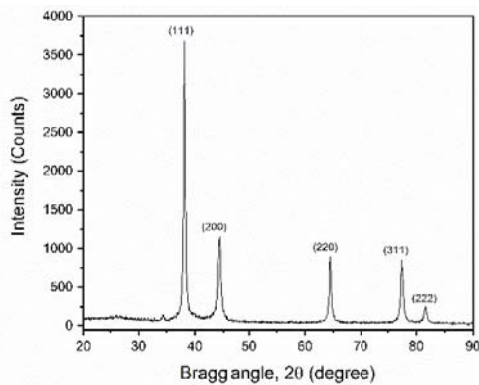
مبانی نظری

اصول نظری حاکم بر روش روبش z ، برای اولین بار توسط یک دانشمند ایرانی به نام منصور شیخ‌بهبایی در سال ۱۹۸۹، پیشنهاد شد [۲]. در چیدمان روزنه باز این روش، میزان تغییر توان پرتو پس از عبور از نمونه در اطراف کمر پرتو نتیجه‌ی وابستگی شدت نور به جذب می‌باشد. برای

به منظور تخمین اندازه بلورکها از روی بیناب پراش پرتو ایکس فرمول ویلیامسون-هال به کار گرفته می‌شود [۵]:

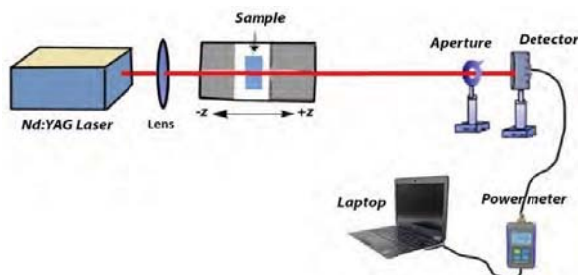
$$\beta \cos \theta = \frac{0.9 \lambda}{d} + 2 \epsilon_0 \sin \theta \quad (5)$$

که در آن d میانگین اندازه بلورکها، λ طول موج پرتو ایکس، β پهنای نیم بیشینه و ϵ_0 کرنش است. با رسم نمودار $\beta \cos \theta$ برحسب $\sin \theta$ میانگین اندازه بلورکها 19.18 ± 5.50 نانومتر به دست آمد.



شکل ۲: بیناب پراش پرتو ایکس (XRD) نانوذرات نقره

برای انجام آزمایش روبش Z، از چیدمانی مطابق شکل (۳) استفاده شد.



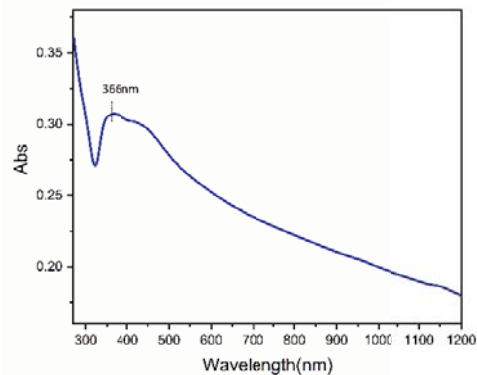
شکل ۳: نمایی از چیدمان روبش Z با روزنه بسته

لیزر به کار رفته یک لیزر Nd:YAG با نمایه گاوسی، در طول موج 1064 نانومتر به صورت موج پیوسته در توان 25 میلی وات است. پرتو لیزر با استفاده از یک عدسی با فاصله کانونی 10 سانتی‌متر کانونی شد، که کمر پرتو با استفاده از روش استاندارد لبه چاقو 21 میکرومتر به دست آمد. نمونه با استفاده از یک جابه‌جاگر با دقت 10 میکرون

دست آمده بر روی همزن مغناطیسی در دمای 250 درجه سلسیوس به مدت 30 دقیقه قرار داده می‌شود. گرم کردن محلول سبب تبخیر آب آن و تشکیل پودر نرمی از ذرات ریز نقره می‌گردد. در نهایت برای شستن نانوذرات به دست آمده جهت خارج کردن ناخالصی‌ها از استون استفاده می‌شود [۴]. برای داشتن نمونه‌ای شفاف جهت انجام آزمایش روبش Z، نانوذرات، با استفاده از دستگاه همگن ساز فراصوتی در آب پخش شدند.

بحث و نتایج آزمایش

بیناب جذبی نانوذرات نقره پخش شده در آب در بازه 270 تا 1200 نانومتر با استفاده از دستگاه بیناب نمایی جذبی UV-Vis (V-670 of Jasco, Japanese) به دست آمد. مطابق شکل (۱)، قله تشدید پلاسمون سطحی در طول موج 366 نانومتر می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود، جذب نمونه در طول موج 1064 نانومتر، نسبتاً کم است.



شکل ۱: بیناب جذبی نانوذرات نقره پخش شده در آب

برای اطمینان از ساخت موفق نانوذرات نقره و همچنین تعیین ساختار بلورین از دستگاه پراش سنج پرتو ایکس، XRD، (D8 Advance of Bruker, Germany) با تیوپ آندی از جنس مس، در طول موج 1.5406 آنگستروم، در محدوده زاویه براگ (2θ) ، استفاده شد. نتایج نشان از ساختار مکعبی مرکز وجوه پر (fcc) نقره است. (شکل (۲))

نتیجه گیری

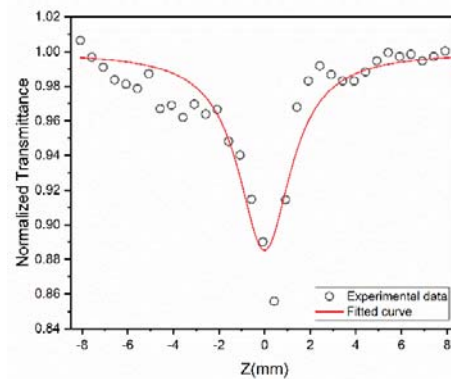
در این مقاله نانوذرات نقره، با استفاده از روش کاهش شیمیایی سنتز شدند و مورد مشخصه‌یابی قرار گرفتند. نمونه‌ی نانوذرات نقره پخش شده در آب، در طول موج ۳۶۶ نانومتر، دارای یک قله تشدید پلاسمون سطحی می‌باشد که ویژگی‌های نوری در این ناحیه قابل توجه هستند. بررسی ویژگی‌های غیرخطی در طول موج‌های دیگر نیز حائز اهمیت‌اند. در نتیجه ویژگی‌های غیرخطی نانوذرات نقره، در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر با توان لیزر ۲۵ میلی‌وات، با استفاده از روش روبش Z، اندازه‌گیری شد. ضریب شکست غیرخطی منفی و از مرتبه $10^{-8} (cm^2/w)$ و ضریب جذب غیرخطی دو فوتونی از مرتبه $10^{-4} (cm/w)$ به دست آمد؛ که نشان می‌دهند، نانوذرات سنتز شده در این طول موج، انتخاب مناسبی برای ادوات فوتونیک هستند.

مرجع‌ها

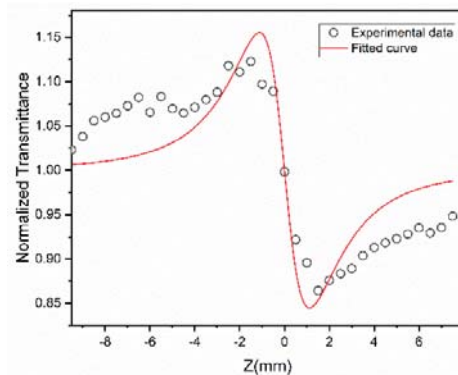
1. E. Ferreira, B. Kharisov, A. Vázquez, E. A. Méndez, I. Severiano-Carrillo, and M. Trejo-Durán, "Tuning the nonlinear optical properties of Au@ Ag bimetallic nanoparticles," *Journal of Molecular Liquids* **298**, 112057 (2020).
2. M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T.-H. Wei, D. J. Hagan, and E. W. Van Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam," *IEEE journal of quantum electronics* **26**, 760-769 (1990).
3. F. Abrinaei, "Laser ablation of magnesium in water and investigation of optical nonlinearity by the Z-scan technique," *JOSA B* **33**, 864-870 (2016).
4. M. Kamali, S. A. A. Ghorashi, and M. A. Asadollahi, "Controllable synthesis of silver nanoparticles using citrate as complexing agent: Characterization of nanoparticles and effect of pH on size and crystallinity," *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCCE)* **31**, 21-28 (2012).
5. K. A. Aly, N. Khalil, Y. Algama, and Q. M. Saleem, "Estimation of lattice strain for zirconia nanoparticles based on Williamson-Hall analysis," *Materials Chemistry and Physics* **193**, 182-188 (2017).

در راستای کانونی شدن پرتو با فواصل ۰/۵ میلی‌متر جابه‌جا می‌شود. همچنین نمونه داخل یک سلول به ضخامت ۱ میلی‌متر قرار دارد و جذب خطی نمونه، $(2/18) (cm^{-1})$ به دست آمد.

نتایج اندازه‌گیری‌های تجربی، در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده‌اند. وجود یک دره در حالت روزنه باز نشان از جذب غیرخطی دو فوتونی و وجود به ترتیب قله-دره در حالت روزنه بسته حاکی از شکست غیرخطی منفی است. این یعنی، پدیده‌ی خودواکانونی اتفاق افتاده است.



شکل ۴: نمودار عبور بهنجار شده روبش Z بر حسب موقعیت نمونه در حالت روزنه باز



شکل ۵: نمودار عبور بهنجار شده روبش Z بر حسب موقعیت نمونه در حالت روزنه بسته

با برازش منحنی تئوری بر روی داده‌ها و استفاده از روابط (۱) تا (۴)، مقدار ضریب جذب غیرخطی (cm/w) $\times 10^{-4}$ $(\pm 3/7)$ و ضریب شکست غیرخطی (cm^2/w) $\times 10^{-8}$ $(\pm 1/8)$ به دست می‌آید.