بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

بررسی خواص اپتیک خطی و غیر خطی نانوذرات اکسید مس تولید شده با روش کندوسوز لیزری

لیلا ظاهری راد[۱]، اکبر جعفری[۲]

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران[۱]
گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران[۲]

[1]hevi1374@gmail.com, [2]a.jafari@urmia.ac.ir

چکیده - در این مقاله نانو ذرات اکسید مس به روش کندو سوز لیزری با ا ستفاده از هماهنگ دوم لیزر نئودمیم-یاگ در طول موج ۵۳۲ نانو متر با پهنای زمانی پالس ۵ نانو ثانیه بر روی هدف فلز مس (با خلوص ۹۹/۹۹٪) در دو مدت زمان متفاوت تابش پالس لیزری ۱۵-۹ دقیقه در محیط آب مقطرتولید شدند. به منظور برر سی خواص اپتیک خطی از UV-VIS و خواص غیر خطی نانو ذرات اکسید مس از روش جاروب- Z ا ستفاده کردیم. نتایج حاصل از UV-VIS بیان‌گر میزان جذب بالای نانو ذرات برای زمان تولید ۱۵ دقیقه بود. نتایج حاصل از جاروب-Z مقادیر ضریب شکست غیر خطی منفی و متفاوت برای زمان‌های تولید ۹ و ۱۵ دقیقه حاصل کرد.

کلید واژه- «خواص اپتیک خطی و غیر خطی، کندوسوز لیزری، نانوذرات اکسید مس ، اندازه ذرات»

Investigation of linear and nonlinear optical properties of copper oxide nanoparticles produced by laser ablation method

Leila Zahery Rad[1], Akbar Jafari[2]

[1]Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

[2]Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran.

[1]hevi1374@gmail.com, [2]a.jafari@urmia.ac.ir

Abstract- In this paper, copper oxide nanoparticles have been synthesized by laser ablation method with the second harmonic of Nd-YAG laser at 532 nm wavelength with a pulse width of 5 ns on a copper metal target (99.99% purity) in distilled water at two different laser pulse irradiation times. In order to investigate the linear optical properties of UV-VIS and nonlinear copper oxide nanoparticles, we used the Z-Scan method. The results of UV-VIS showed high absorption of nanoparticles. The results of Z-Scan were nonlinear and different refractive index values for production times of 9 and 15 minutes.

Keywords «Linear and Nonlinear optical properties, laser Ablation, Cuo Nanoparticles, Size of particles»

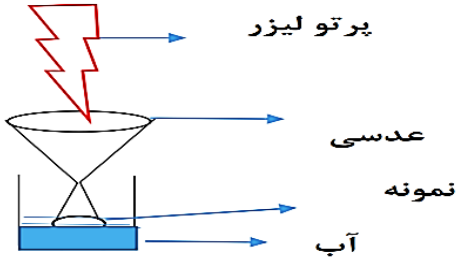
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

اکسید مس یکی از مهمترین اکسیدهای فلزی واسطه است که در تولید سیالات نانو، مواد ضد باکتری و غیره بکار برده شده است[۱]. یکی از روش‌های متداول به منظور تولید نانو ذرات اکسید مس، کندوسوز لیزری پالسی است. کندوسوز لیزری فرآیند حذف مواد از سطح جامد (یا گاهی اوقات مایع) با تابش اشعه لیزر است[۲]. طیف جذبی و پارامترهای اپتیک غیر خطی نانو ذرات نیز به ترتیب با استفاده از طیف سنجی جذبی مرئی-فرابنفش و جاروبZ مورد بررسی قرار گرفت.

روش آزمایش

در این مقاله، برای تولید نانو ذرات اکسید مس از روش کندوسوز لیزری استفاده شد. برای این کار از هارمونیک دوم لیزر Nd-YAG (Q سویچ شده) با توان ۶۴ میلی وات و طول موج ۵۳۲ نانو متر و پهنای زمانی ۵ نانو ثانیه و نرخ تکرار پالس لیزری ۱۲ هرتز استفاده شد. ابعاد نانو ذرات اکسید مس بدست آمده برای زمان تابش لیزری ۹ دقیقه ۸/۲ نانو متر و برای زمان تابش لیزری ۱۵ دقیقه ۹/۹ نانو متر بدست آمد. ابعاد صفحه مسی ۱×۱ سانتی متر مربع و قطر ظرف تفلونی مورد استفاده ۱/۶سانتی متر است. برای جلوگیری از چسبندگی نانوذرات از پلی اتیلن گلیکول با جرم مولکولی ۶۰۰۰ استفاده شده است. شکل ۱ طرح شماتیک از چیدمان بکار رفته شده برای فرآیند کندوسوز لیزری در آزمایشگاه را نشان می‌دهد.

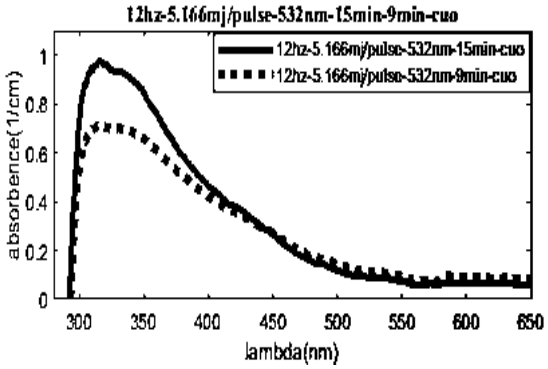


شکل ۱: طرح شماتیک نمونه چیدمان بکار گرفته شده برای کند و سوز لیزری

مبانی نظری

۱) بررسی خواص اپتیک خطی نانو ذرات با UV-VIS-IR

پس از هر بار کندوسوز محلول به اندازه‌ی ۲/۸ سی سی در یک سلول کوارتزی با عرض ۱ سانتی متر به منظور ثبت طیف جذبی نانو ذرات اکسید مس با دستگاه اسپکتروفتومتری قرار داده شده است. شکل ۲ نمودار طیف جذبی نانو ذرات اکسید مس تولید شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمودار طیف جذبی نانو ذرات اکسید مس تولید شده با کندوسوز لیزری با نرخ تکرار پالس لیزری۱۲ هرتز با انرژی پالس لیزری mj/pulse ۵/۱۶۶ به مدت زمان تابش پالس لیزری ۹دقیقه (خط چین) و ۱۵ دقیقه (خط پر)

مقدار ضریب جذب خطی را با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آوریم[۳]:

$$\alpha = -\frac{1}{L}\ln T \qquad (۱)$$

که در این رابطه، L ضخامت سلول دستگاه است که برابر ۱ سانتی‌متر می‌باشد و T میزان عبور نوراست.

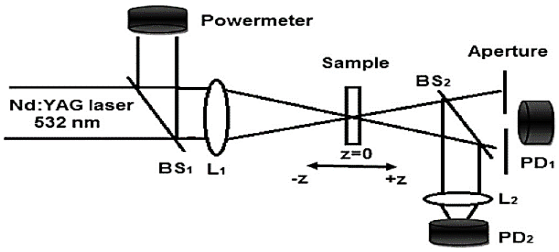
با توجه به شکل ۲ و مطالعه نمودار طیف جذبی نانو ذرات، مشاهده می‌کنیم که قله‌ی تشدید پلاسمونی سطحی ناشی از وجود فلز مس در محلول برای مدت زمان تابشی پالس لیزری ۹ دقیقه، در طول موج ماکزیمم ۳۱۵ نانومتر، برابر با ۰/۹۷۳ و مقدار ضریب جذب خطی آن طبق رابطه (۱) برابر با $1/cm$ ۰/۰۲۷۳ است. در ۱۵ دقیقه، در طول موج ماکزیمم ۳۱۶ نانومتر، برابر با ۰/۷۰۹۲ و مقدار ضریب جذب خطی

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

آن طبق رابطه (۱) برابر با $1/cm$ ۰/۳۴۳۶ است. از نتایج فوق به این نتیجه می‌رسیم که هر چه مدت زمان تابش پالس لیزری زیاد باشد میزان جذب و در نتیجه نرخ کندگی بیشتر است و افزایش طول موج در پیک‌ها متناظر با افزایش انرژی پالس لیزر می‌باشد و این دلیل بر افزایش اندازه نانو ذرات است.

۲) بررسی خواص اپتیک غیر خطی نانو ذرات با روش جاروب-Z

به منظور اندازه‌گیری و مقایسه خواص نوری غیر خطی نانوذرات اکسید مس تولید شده از روش جاروب-Z شامل دو چیدمان تجربی روزنه بسته و روزنه باز استفاده می‌شود. منبع نور مورد استفاده در آزمایشات لیزردیود پمپ پیوسته کار در طول موج ۵۳۲ نانو متر با توان خروجی ۶۴ میلی وات می‌باشد. چیدمان آزمایشگاهی جاروب-Z بطور طرحوار در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق این شکل، داده‌های تجربی روزنه بسته برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیر خطی n_2 توسط فوتو دیود (D_1) و داده‌های تجربی مربوط به روزنه باز و برای اندازه‌گیری ضریب جذب غیر خطی توسط فوتو دیود (D_2) قابل حصول است.



شکل ۳: طرح شماتیک از چیدمان آزمایشگاهی جاروب-Z

در روش روزنه بسته حرکت نمونه باعث تغییر شدت نور در صفحه می‌شود که به موجب آن پیک بیشینه‌ی تراگسیلی قبل کانون (قله) و یک کمینه‌ی تراگسیلی بعد از کانون (دره) مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی ضریب شکست غیر خطی منفی و پدیده‌ی خود-واکانونی می‌باشد[۴]. رابطه‌ی بین فاصله‌ی قله تا دره $\Delta T(z)$ با تغییر فاز ایجاد شده در شرایط روزنه بسته بصورت:

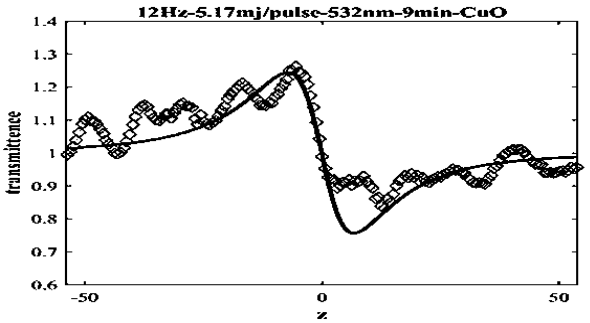
$$\Delta T(z)=1-\frac{4\Delta\varphi_0 x}{(x^2+1)(x^2+9)} \qquad (۲)$$

داده می‌شود که در آن تغییرات فاز $\Delta\varphi_0$ توسط رابطه‌ی زیر با ضریب شکست n_2 در ارتباط است:

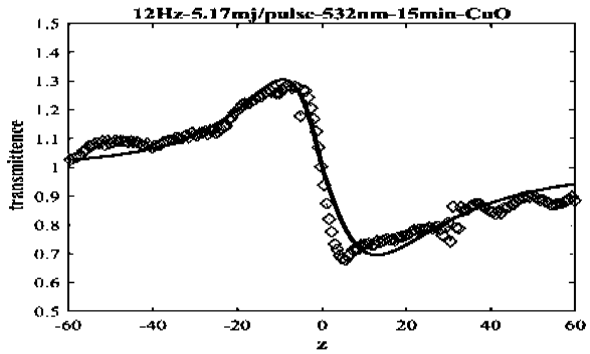
$$n_2=\lambda\Delta\varphi_0/2\pi L_{eff} I_0 \qquad (۳)$$

در این رابطه $L_{eff}=(1-e^{-\alpha_0 L})/\alpha_0$ طول مؤثر محیط غیر خطی، λ طول موج لیزر، I_0 تابندگی روی محوری در کانون ، L ضخامت نمونه α_0 ضریب جذب خطی و $x=z/z_0$ است.

با فیت کردن داده‌های تجربی و رابطه‌ی تئوری (۲) ضریب شکست غیر خطی توسط رابطه (۳) قابل محاسبه است. در شکل‌های ۴ و ۵ ، نتایج تجربی و تئوری جاروب-Z روزنه بسته برای نرخ تکرار پالس لیزر ۱۲ هرتز، انرژی پالس لیزری ۵/۱۶۶ $mj/pulse$ به ترتیب برای زمان تابشی لیزر ۹ دقیقه و ۱۵ دقیقه نشان داده شده است.



شکل ۴ : نمودار جاروب-Z روزنه بسته برای زمان تابش لیزری ۹ دقیقه منحنی پر مربوط به رابطه تئوری (۲) و منحنی نقطه چین مربوط به داده‌های تجربی است.



[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

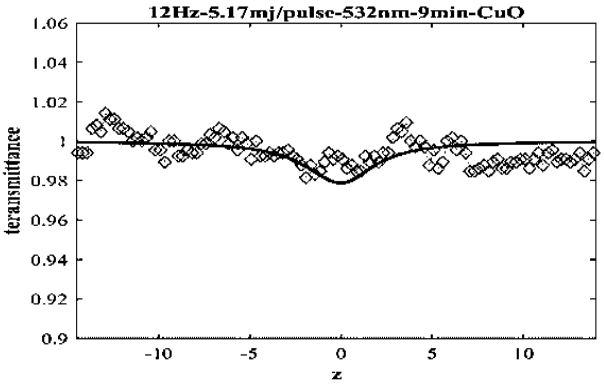
شکل ۵ : نمودار جاروب-Z روزنه بسته برای زمان تابش لیزری ۱۵ دقیقه منحنی پر مربوط به رابطه تئوری (۲) و منحنی نقطه چین مربوط به داده‌های تجربی است.

ضریب جذب غیر خطی نانوذرات را از فیت کردن رابطه (۴) با داده‌های تجربی و با استفاده از رابطه (۵) بدست می‌آوریم [۴]:

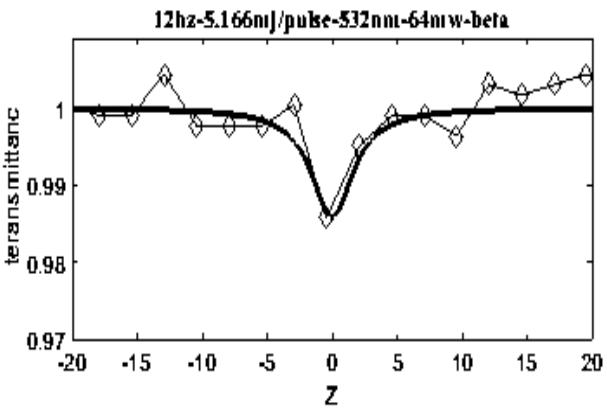
$$\Delta T(z)=1-\frac{q_0}{2\sqrt{2}}\frac{1}{(1+x^2)} \qquad (۴)$$

$$\beta=q_0(1+x^2)/I_0L_{eff} \qquad (۵)$$

منحنی جاروب-Z روزنه باز نانوذرات اکسید مس تشکیل شده برای نرخ تکرار پالس لیزری ۱۲ هرتز و انرژی پالس لیزری $5/166\ mj/pulse$ برای دو زمان تابش لیزری ۹ و۱۵ دقیقه به ترتیب در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶ : نمودار جاروب-Z روزنه باز برای زمان تابش لیزری ۹دقیقه منحنی پر مربوط به رابطه تئوری (۲) و منحنی نقطه چین مربوط به داده‌های تجربی است.



شکل ۷ : نمودار جاروب-Z روزنه باز برای زمان تابش لیزری ۱۵ دقیقه منحنی پر مربوط به رابطه تئوری (۲) و منحنی نقطه چین مربوط به داده‌های تجربی است.

نتایج عددی بدست آمده برای ضریب شکست و جذب غیر خطی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول۱: مشخصات ضریب جذب و شکست غیر خطی نانو ذرات اکسید مس

Frequency (Hz)	Time (min)	$\Delta\varphi_0$	q_0	I_0(w/cm^2)	n_2(cm^2/w) $\times 10^{-5}$	(cm/β w)
۱۲	۹	-۱/۲	۰/۰۶	۸/۱۵	-۰/۵۶	۰/۰۳۳
۱۲	۱۵	-۱/۵	۰/۱۱	۸/۱۵	-۰/۷۹	۰/۶۹

نتیجه‌گیری

با بررسی و مطالعه‌ی نمودار طیف جذبی نانو ذرات اکسید مس هر چند مدت زمان تابش پالس لیزری بیشتر شود میزان جذب بیشتر است که این دلیل بر افزایش اندازه نانو ذرات می‌باشد.

با توجه به منحنی‌های ضریب شکست نانوذرات اکسید مس که به شکل ابتدا قله و سپس دره دلالت بر منفی بودن ضریب شکست غیر خطی و ظهور اثر خود واکانونی هستند و در تمامی نمونه‌های نانوذرات بدست آمده مشاهده می-شود.

مراجع

[1] Chang, Ming-Hui, Hwai-Shen Liu, and Clifford Y. Tai, "Preparation of Copper Oxide Nanoparticles and lts Application in Nanofluid." Powder Technology 207, 1-3 (2011): 378-86, Print.

[2] Chichkov, B N; Momma, C; Nolte, S; Von Alvensleben, F; Tünnermann, A (August 1996). "Femtosecond, picosecond and nanosecond laser ablation of solids". Applied Physics A. 63 (2): 109–115. doi:10.1007/BF01567637.

[3] Ulrich J. Krull, Michael Thompson (Eds.), Encyclopedia of Physical science and Technology: Analytical Chemistry, 3rd Ed. , Academic Press, 2001 ISBN 0-12-227410-5.

[4] M. Sheik-Bahae, A. A Said, W. Tai-Huei, D. J. Hagan, and E. W. Van Stryland, Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam, IEEE Journal of quantum electronics. Vol. 26. No. 4, (1990).

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]