تاثیر پلیمر PVA و نانو ذرات نقره بر دو پایداری محلولهای نانو ذرات اکسید تیتانیوم

حمید آخرت دوست، محمد حسین مجلس آرا ، احسان کوشکی

تهران، خیابان شهید مفتح نرسیده به خیابان انقلاب، شماره ۴۳، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم فیزیک

چکیده - اثر دوپایداری اپتیکی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و نقره در حلال اتانول و پلیمر تحت تابش لیزر پیوسته‌ی هلیم-نئون و با استفاده از تداخل سنج فابری- پرو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. حلقه‌های پسماند بدلیل اثر دوپایداری اپتیکی مشاهده و با مقادیر نظری مقایسه شدند. تشدید پلاسمونی نانوذرات نقره و غیرخطیت بالای پلیمر باعث تقویت منحنی‌های ناشی از رفتار دوپایداری اپتیکی در نانوذرات دی اکسید تیتانیوم شده که در طراحی کلیدزن‌های الکترونیکی قابل استفاده می‌باشد.

کلید واژه- اپتیک غیرخطی، دوپایداری اپتیکی، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، نانوذرات نقره، پلیمر پلی وینیل الکل (PVA).

The effect of PVA polymer and silver nanoparticles on optical bistability of titanium dioxide nanoparticles

Hamid Akheratdoost, Mohammad Hosein Majles Ara, Ehsan Koshki

Kharazmi University, No. 43, Shahid Mofateh Ave, Tehran, Iran

Abstract- Hysteretic loops have been observed due to optical bistability and results were fitted with theoretical curves. The radiated power to the resonator was elevated till 50mW for laser beam with the same spot size. Surface Plasmon resonance of metal nanoparticles and nonlinearity of polymer make the stronger and effective optical bistability curves that be useful in switching devices.

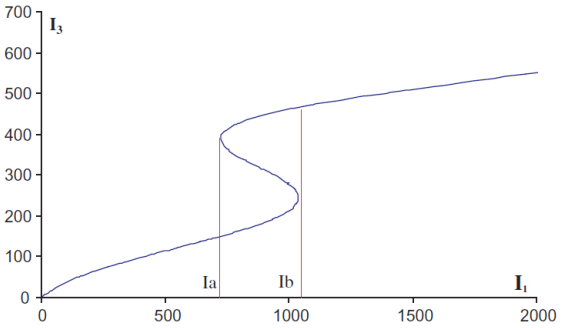
Keywords: Nonlinear Optics, Optical bistability, Titanium dioxide nanoparticles, silver nanoparticles, Poly vinyl alcohol (PVA).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

۱- مقدمه

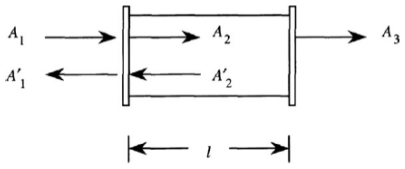
به طور کلی قطعات و وسایل اپتیکی دوپایدار در فناوری و الکترونیک از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. این وسایل از لوازم پایه‌ای و اساسی سیستم‌های کامپیوتری می‌باشند و به عنوان کلیدزن‌ها، ورودی‌های منطقی و اجزای حافظه استفاده می‌شوند. نانوذرات و نیمرساناها به دلیل ویژگی-های اپتیکی منحصر به فردشان از شانس بالایی جهت انجام تحقیقات در این حیطه برخوردار هستند [۱-۶]. بسیاری از نانومواد بر پایه‌ی فلزات و نیمرساناها به دلیل الکترونهای پلاسمونیک سطحی و گاف انرژی دارای ویژگی‌های اپتیکی غیرخطی جالب و قابل توجهی می‌باشند. در این پژوهش بعضی از نانومواد فلزی و نیمرسانا برای بررسی امکان مشاهده‌ی پدیده‌ی دوپایداری اپتیکی و جهت استفاده در وسایل اپتیکی دوپایدار تحت تابش لیزر با توان پایین به صورت تجربی مورد آزمایش قرار گرفتند. سیستمهای اپتیکی غیرخطی خاصی می‌توانند برای یک حالت ورودی مشخص، دو حالت خروجی داشته باشند. دو مسئله برای ساختن یک وسیله‌ی اپتیکی دو پایدار مورد نظر می‌باشد: ۱- غیرخطیت اپتیکی ۲- فیدبک. یک وسیله‌ی اپتیکی دوپایدار شامل یک ماده‌ی غیرخطی اپتیکی می‌باشد که پرتوی خروجی جهت کنترل نورعبوری در یک سیستم فیدبک بکار برده شود. ترکیب پرتوی ذکرشده و فیدبک آن باعث شکل S منحنی‌های شدت خروجی (I_3) بر حسب مقادیر مختلف شدت ورودی (I_1) می‌شود شکل ۱. وقتی شدت نور ورودی از مقدار بحرانی حلقه‌ی پسماند بیشتر شود، شدت خروجی از مقداری به مقدار دیگر در سمت دیگر حلقه جهش می‌کند [۷-۱۰].



شکل ۱:شکل S در منحنی مربوط به شدتهای ورودی و خروجی در یک سیستم دوپایدار

۲- مفاهیم نظری

یک تشدیدگر فابری- پرو در شکل ۲ نشان داده شده است. فاصله‌ی بین دو آینه بوسیله‌ی یک ماده‌ی غیرخطی پر شده است. در این شکل A_1 دامنه‌ی موج ورودی، A_1' دامنه‌ی موج بازتابیده، A_2 و A_2' دامنه‌ی امواج جلو رونده و عقب رونده (Backward and Forward waves) در داخل تداخل سنج و A_3 نشان دهنده‌ی دامنه‌ی موج عبوری می‌باشد.



شکل ۲: تشدیدگر فابری- پرو

فرض می‌شود آینه‌های بکاررفته بدون اتلاف بوده و دامنه‌ی بازتاب آنها ρ_1 و ρ_2 و دامنه‌ی عبوری آنها τ_1 و τ_2 باشد و در این معادلات دامنه‌های میدان در داخل سطح آینه‌ی چپ اندازه‌گیری می‌شود. ثابت انتشار $k=\frac{\omega}{c}(n_0+n_2I_2)$ و ضریب جذب $\alpha_t=\alpha+\beta I_2$ شامل قسمتهای خطی و غیرخطی می‌باشند. همانطور که در معادله‌ی نوشته شد، از تقریب مقدار میدان میانگین استفاده شده که در آن مقادیر k و α_t با مکان تغییر نمی‌کنند. معادلات (۱)و (۲) به روش جبری حل می‌شوند [۷]:

$$A_2=\frac{\tau_1 A_1}{1-\rho_1\rho_2\exp(2ikl-\alpha_t l)} \qquad (۱)$$

همچنین داریم:

$$A_3=\tau_2 A_2 \qquad (۲)$$

معادلات (۱) و (۲) جزئیات تداخل سنج فابری- پرو را توضیح می‌دهند [۷]. لازم به یاد آوریست که شدت میدانها با رابطه‌ی زیر محاسبه میشوند:

$$I_i=\frac{n_0 c\varepsilon_0}{2}|A_i|^2 \quad \text{i=1,2,3} \qquad (۳)$$

با توجه به روابط بالا مشخص می‌شود که دانستن جزئیات و مشخصات اپتیکی غیرخطی ماده مورد آزمایش جهت تطبیق با حلقه‌ی پسماند ضروری می‌باشد.

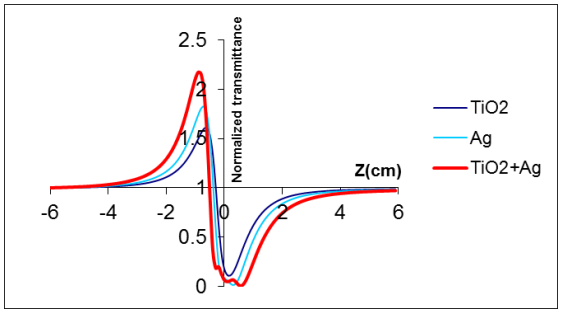
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

۳- نتایج آزمایشگاهی

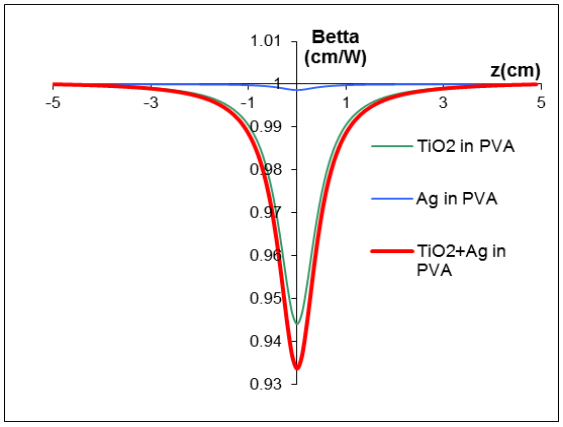
پس از تهیه و مشخصه‌یابی نانو مواد مورد آزمایش، ویژگیهای نوری غیر خطی محلولهای نانو ذرات اکسید تیتانیوم (۸۳ میکروگرم بر لیتر) اندازه گیری و تاثیر حلال و همچنین ترکیب درصدی کمتر از نانو ذرات فلزی نقره (۳۲ میکروگرم بر لیتر) روی این ویژگیها بررسی شد. پیش فرض اینست که وجود نانو ذرات فلزی می‌تواند خواص غیر خطی را افزایش دهد، چون تشدید پلاسمون-های سطحی نانو ذرات فلزی در طیف نسبتا وسیعی از طیف مرئی می‌تواند بر خواص نوری بیفزاید. در حقیقت نانو ذرات فلزی مانند مشددهایی باعث تقویت بازده نوری ویژگیهای نوری می‌شود که در طول موجهای معین توسط نانو ذرات اکسید تیتانیوم تولید شده است.

در ابتدا تاثیر نانو ذرات فلزی نقره بر ویژگیهای نوری غیر خطی نانو ذرات اکسید تیتانیوم مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل.۳ نمودارهای جاروب-زد با دریچه بسته برای سه نوع محلول: نانو ذرات اکسید تیتانیوم ، نانو ذرات نقره و ترکیبی از این دو در پلیمر PVA را مشاهده می‌شود.



شکل۳: نمودار های جاروب زد با دریچه بسته با حلال PVA

چنانچه ملاحظه می شود تاثیر محلولی با ترکیبی ۵۰-۵۰ از دو محلول نقره و اکسید تیتانیوم باید محلولی باشد که نمودار جاروب بسته آن بین دو منحنی قبلی محدود باشد. اما این محلول ترکیبی از هر دو ترکیب سازنده خود، دارای پاسخ غیر خطی بیشتری است که نشان دهنده اثرات تشدیدی این دو نوع نانو ذره بر یکدیگر است. در شکل ۳ نمودارهای جاروب زد با دریچه بسته حاصل از نانو ذرات اکسید تیتانیوم، نقره و محلولی ۵۰-۵۰ از دو محلول قبل را مشاهده می‌شود. چنانچه از شکل پیدا است، وجود PVA باعث افزایش ویژگیهای نوری نسبت به قبل شده است. حدوث این پدیده را می‌توان به جذب قابل ملاحظه PVA نسبت به اتانول، تثبیت مولکول‌ها در این پلیمر و کاهش اثرات همرفتی و در نتیجه کاهش رسانش حرارتی دانست. میدانیم در توان‌های پایین لیزری بخش عمده‌ای از نمودارهای غیر خطی بخاطر اثر عدسی حرارتی است. کاهش رسانش سبب افزایش دمای موضعی مخل تابش و افزایش انبساط و متعاقبا افزایش اثر لنز حرارتی میشود.



شکل۴: نمودارهای جاروب زد با دریچه باز در حلال PVA

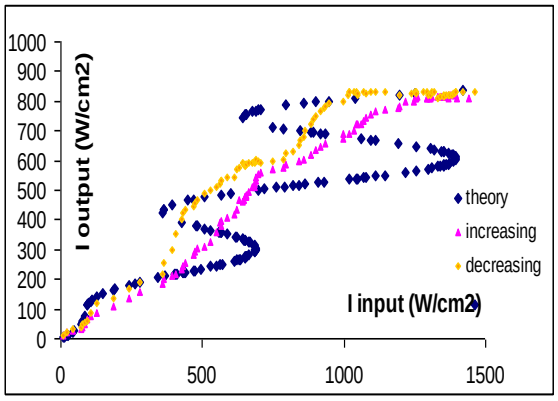
در شکل.۴ نمودارهای حاصل از سه نوع محلول ذکر شده در آزمایش جاروب زد با دریچه باز ملاحظه می‌شود. چنانچه از شکل پیداست اثر تشدیدی محلول ترکیبی از محلول صرفا اکسید تیتانیوم بیشتر است. محلول نقره به تنهایی اثر غیر خطی جذبی بسیار ضعیفی دارد که قابل صرفنظر است. در بخش بعد به نمودارهای دو پایداری محلول فوق الذکر می‌پردازیم. از منحنی‌های دوپایداری نمی‌توان به مقادیر ضرایب شکست و جذب غیر خطی همزمان رسید. کاری که در اینجا انجام شد اینست که مقادیر شکست و جذب غیر خطی بدست آمده توسط جاروب زد را بهمراه ویژگیهای نوری کاواک در روابط دو پایداری قرار داده و سپس نمودارهای تئوری حاصل با نتایج آزمایش مقایسه گردید. در واقع تایید وجود حلقه‌های پسماند توسط تئوری در نواحی بدست آمده کافیست.

علاوه بر این چنانکه در شکل۴ می‌بینیم تاثیر حلال پلیمری PVA بر جذب غیر خطی بیشتر است ولی توالی جذب‌های غیر خطی مانند قبل است. یعنی وجود نانو ذرات نقره باعث تشدید اثرات جذب غیر خطی نانو ذرات اکسید تیتانیوم می‌شود.

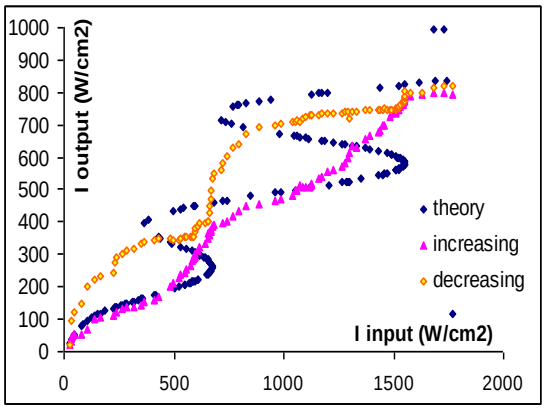
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

در شکلهای ۵ و ۶ منحنی‌های تجربی دو پایداری با نتایج تئوری مقایسه شده‌اند. چنانکه از شکل‌ها پیداست اولا تاثیر حلالی پلیمری مانند PVA باعث افزایش آثار حرارتی شده است و ثانیا حضور محلولی ۵۰-۵۰ از نانو ذرات نقره باعث تشدید نمودارهای دو پایداری و حضور حلقه‌ای پسماند بیشتر و قوی تر در دامنه مشخصی از شدت تابشی شده است.



شکل ۵: نانو ذرات اکسید تیتانیوم و نقره در اتانول



شکل ۶: نانو ذرات اکسید تیتانیوم و نقره در پی وی ای

ترکیب نانو ذرات اکسید تیتانیوم و نقره در اتانول دو حلقه پسماند بین ۳۰۰-۷۵۰ و ۷۵۰-۱۵۰۰ (W/cm2) ایجاد می‌کند. ترکیب نانو ذرات اکسید تیتانیوم و نقره در پلیمر پی وی ای منجر به دو حلقه پسماند میان ۳۵۰-۷۰۰ و ۷۰۰-۱۵۰۰ (W/cm2) می‌شود. جابجایی بسمت شدتهای ورودی کم برای حلال پی وی ای نسبت به اتانول مشهود است و این امر باعث سهل الوصول تر بودن دو پایداری در این محلول می‌شود. بعلاوه حضور همزمان نانو ذرات نقره و نانو ذرات اکسید تیتانیوم باعث تشدید جذب و فرایندهای غیر خطی حاصل از نانو ذرات اکسید تیتانیوم توسط نانو ذرات نقره می‌شود و علاوه بر وجود دو حلقه پسماند ، جابجایی بسمت شدتهای پایین ورودی نیز رخ می‌دهد.

۲-۱- نتیجه‌گیری

در این پژوهش بعضی از نانوذرات نقره و نیمرسانای دی اکسید تیتانیوم برای بررسی امکان مشاهده‌ی پدیده‌ی دوپایداری اپتیکی و جهت استفاده در وسایل اپتیکی دوپایدار تحت تابش لیزر با توان پایین به صورت تجربی مورد آزمایش قرار گرفتند. دانستن جزئیات و مشخصات اپتیکی غیرخطی ماده مورد آزمایش جهت تطبیق با حلقه‌ی پسماند ضروری می‌باشد لذا ابتدا با استفاده از آزمایش جاروب زد ضریب شکست و سایر مشخصات اپتیکی غیرخطی نانومواد اندازه‌گیری شد. ویژگیهای نوری غیر خطی محلولهای نانو ذرات اکسید تیتانیوم اندازه گیری و تاثیر حلال و همچنین ترکیب درصدی کمتر از نانو ذرات فلزی نقره روی این ویژگیها بررسی شد. وجود نانو ذرات فلزی و حلال پلیمری خواص غیر خطی را افزایش داده، چرا که وجود الکترونهای پیوندی و تشدید پلاسمون‌های سطحی نانو ذرات فلزی در طیف نسبتا وسیعی از طیف مرئی می‌تواند بر خواص نوری بیفزاید.

مراجع

[1] H.L. Chen, D.L. Gao, L. Gao, Effective nonlinear optical properties and optical bistability in composite media containing spherical particles with different sizes, Opt. Express 24 , 5336–5344 , 2016.

[2] Y.M. Wu, G.Q. Chen, C.Q. Ma, S.Z. Xue, Z.W. Zhu, Optical bistability in graded core–shell granular composites, Chin. Phys. Lett. 29 , 037802, 2012.

[3] F. Zhou, Y. Liu, Z.Y. Li, Y. Xia, Analytical model for optical bistability in nonlinear metal nano-antennae involving kerr materials, Opt. Express 18 , 13337–13344, 2010.

[4] T. Pan, J.P. Huang, Z.Y. Li, Optical bistability in metal/dielectric composite with interfacial layer, Physica B 301, 190–195, 2001.

[5] W.J. Yu, H. Sun, L. Gao, Optical bistability in core–shell magneto plasmonic nanoparticles with magneto controllability, Opt. Express 24, 22272–22281, 2016.

[6] N. Daneshfar, T. Naseri, Switching between optical bistability and multistability in plasmonic multilayer nanoparticles, J. Appl. Phys. 121, 023111, 2017.

[7] R. W. Boyd., Nonlinear Optics, third ed., Academic Press, New York, 2007.

[8] B. E. A. Saleh, M.C. Teich, Fundamentals of Photonics, second ed., John Willy & Sons, New Jersey, 2007.

[9] M. H. Majles Ara , E. Koushki, H. Akherat Doost Optical bistability in TiO2 nano particles, journal of Optical Materials 35, 1431–1435, 2013.

[10] E. Koushki , H. Akherat Doost, M. H. Majles Ara, Optical bistability in gold nano-colloid due to thermal lensing effect', Journal of Physics and Chemistry of Solids, 87, 158-162, 2015.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]