بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

سنتز و مطالعهٔ خواص اپتیکی ساختارهای تهیه شده به روش کندوسوز لیزری هدف منیزیم

عاطفه طاهر نی[۱]، فاطمه نفری[۱]، فهیمه ابری نائی[۲] و محمدجواد ترکمنی[۳]

[۱]گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر، ملایر، ایران

[۲]گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران

[۳] آزمایشگاه فرآوری لیزری مواد، مرکز ملی علوم و فنون لیزر، تهران، ایران

چکیده – در این مقاله، کندوسوز لیزری منیزیم در ایزوپروپانول با لیزر بخار مس پالسی گزارش شده است. ساختار، مورفولوژی، و جذب اپتیکی ساختارهای بدست آمده توسط پراش پودر اشعهٔ *X*، میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف سنجی *IR*، و چیدمان روبش *z* بررسی شده است. نتایج بدست آمده از آنالیز *XRD* نشان میدهد که از کندو سوز لیزری هدف منیزیم درایزوپروپانول ساختارهای *Mg* و *MgO* تشکیل میشود. ضرایب جذب خطی(α) و غیر خطی(β) بترتیب با چیدمان محدودشدگی اپتیکی و دریچه باز روبش *z*، و با استفاده از لیزر *Nd-YAG* (λ=۵۳۲*nm*) محاسبه شد. نتایج نشان داد که ضریب جذب غیرخطی برای این ساختارها مثبت و برابر β=۱/۷×۱۰$^{-۴}$ *mm/watt* و ضریب جذب خطی α =*1/27cm*$^{-1}$ بدست می آید.

کلید واژه- اکسید منیزیم، روبش-z، کند و سوز لیزری، منیزیم.

The synthesis and study of optical properties of prepared structures using laser ablation of magnesium target

Atefe Tahernia[1], Fatemeh Nafari[1], Fahimeh Abrinaey[2], and M. J. Torkamany[3]

[1]Department of Physics,Malayer Branch, Islamic Azad University, Malayer, Iran

[2]Department of Physics,East Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[3]Laser Material Processing Lab., Iranian National Centre for laser science and technology, Tehran, Iran.

Abstract- In this paper, Laser ablation of magnesium in Isopropanol using a pulsed copper vapor laser has been reported. The structure, morphology, and optical absorption of the resultant obtained structures were investigated by X-ray powder diffraction, scanning electron microscopy, IR absorption spectroscopy. The obtained results from XRD analysis showed that laser ablation of a magnesiume target in isopropanol forms Mg and MgO structures. The coefficients of linear (α) and nonlinear (β) absorption, using Nd:YAG laser (λ=532 nm) were calculated by Optical Limiting and open aperture z-scan configuration, respectively. The results showed that nonlinear absorption coefficient is positive and about β= ۱/۷×۱۰$^{-۴}$ mm/watt. The linear absorption coefficient is obtained to be about α=1/27cm^{-1} for these nanostructures.

Keywords: magnesium oxide, z-scan, laser ablation, magnesium.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

۱- مقدمه

نانوذرات منیزیم (Mg) و اکسید منیزیم (MgO) در سال های اخیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته اند. از بین اکسید های فلزی، اکسید منیزیم به دلیل ظرفیت گرمایی پایین و نقطهٔ ذوب بالا برای کاربردهای عایق گذاری مناسب است[۱] .این نانوذرات خواص اپتیکی جالب توجه نیز دارند.

در این مقاله تشکیل ساختارهای منیزیم و اکسید منیزیم با روش کندو سوز لیزری هدف منیزیم در ایزوپروپانول گزارش شده است. لیزر مورداستفاده لیزر پالسی بخار مس می باشد. نانوساختارهای ایجاد شده توسط آنالیزهای XRD، SEM، طیف سنجی FTIR، محدودشدگی اپتیکی و روبش-z بررسی شده، و نتایج حاصل گزارش شده است.

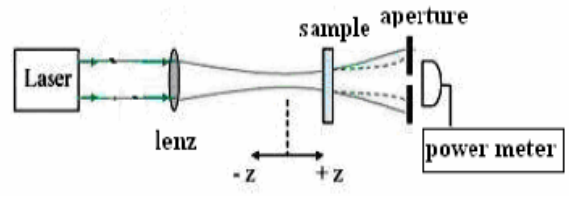
۲- روش آزمایشگاهی

تهیهٔ نمونه: یک نوار منیزیم با خلوص ٪۹۹/۵، طول و عرض ۲۰ و ضخامت ۰/۱۵ میلیمتر بعنوان هدف مورد استفاده قرار می گیرد. ظرفی که محلول و نمونه در داخل آن قرار می گیرد حاوی $۶۰cm^{۳}$ ایزوپروپانول ($CH_3CH(OH)CH_3$) با درجه خلوص بالا است. هدف طوری در محلول قرار می گیرد که در تمام طول آزمایش حدود ۱۰mm پایین تر از سطح ایزوپروپانول واقع شود.

لیزر مورد استفاده در این آزمایش لیزر بخار مس پالسی با طول موجهای ۵۱۰/۵nm (سبز) و ۵۷۸nm (زرد) می باشد که دارای پهنای پالس ۳۵ ns و فرکانس ۱۰ KHz است. باریکه لیزر با استفاده از یک لنز با فاصله کانونی ۱۰۰ mm روی منیزیم کانونی میشود. کندو سوز بمدت یک ساعت انجام میشود. رنگ محلول بعد از تولید نانو ساختارها به زرد مایل به قهوه ای می گراید. این ذرات تولید شده در محلول معلق هستند. در حین انجام آزمایش چند قطره از محلول موجود در ظرف توسط یک پیپت روی فویل آلومینیوم ریخته میشود و پس از تبخیر ایزوپروپانول جهت آنالیز SEM آماده میشود. رسوب حاصل پس از خشک شدن بصورت پودر از ظرف جدا شده و جهت آنالیزهای XRD و FTIR استفاده میشود.

پراش پودر اشعه X با استفاده از یک پراش سنج پودر CuKα مدل STADI MP در مد اسکن θ-۲θ و با ۴۰kV و ۳۰mA انجام شده است. همچنین یک میکروسکوپ الکترونی روبشی ۳۰kV مدل TS5136MM جهت مشاهده مورفولوژی نانوذرات مورد استفاده قرار گرفته است. طیف سنج Therno Nicollet NEXUS 870 نیز برای تهیهٔ طیف جذبی IR مورد استفاده قرار می گیرد.

چیدمان روبش z: در روش روبش z از چیدمانی مطابق شکل ۱ استفاده شد. لیزر بکار رفته یک لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲nm، فرکانس ۲۰۰Hz، و پهنای پالس ۱۰ns است. با جابجایی نمونه حول کانون شدت پالس تابیده شده به نمونه بصورت تابعی از z تغییر می کند.



شکل۱: نمایی از چیدمان آزمایشگاهی روش روبش z.

در آزمایش روبش z با دریچه باز که برای تعیین مقدار و علامت ضریب جذب غیرخطی مورد استفاده قرار می گیرد، دریچه از مقابل توان سنج برداشته می شود[۲]. ضریب جذب غیرخطی براحتی و با استفاده از روابط زیر از منحنی های گذار بدست می آید:

$$T(z,S=1)=\sum_{m=0}^{\infty}\frac{[-q_0(z,0)]^m}{(m+1)^{3/2}}=1-\frac{q_0}{2\sqrt{2}}+\frac{q_0^2}{3\sqrt{3}}-\ldots \qquad (۱)$$

$$q_0(z,t)=\beta I(z,r=0,t)L_{eff}=\frac{\beta L_{eff}I_0(t)}{1+\frac{z^2}{z_0^2}} \qquad (۲)$$

$$L_{eff}=\frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha} \qquad (۳)$$

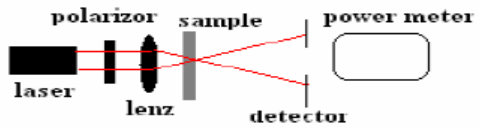
که $z_0=\frac{k\omega_0^2}{2}$ (طول پراش پرتو) و $K=\frac{2\pi}{\lambda}$ (عدد موج) تعریف میشود. در این روابط α ضریب جذب خطی، ω. قطر کمر پرتو، λ طول موج لیزر، و L ضخامت نمونه بکاررفته در آزمایش روبش z است که در این جا ۱mm است.I_0 نیز از تقسیم توان لیزر بر حاصلضرب پهنای پالس در فرکانس در قطر کمر پرتو در عدد π محاسبه میشود. با قرار دادن شعاع کمر پرتو که در این آزمایش ۵۰ میکرومتر است مقدار طول پراش پرتو بصورت z_0=۱۴/۷۵mm، بدست می آید.

برای محاسبهٔ ضریب جذب خطی،که در محاسبهٔ L_{eff} استفاده میشود چیدمان محدودشدگی اپتیکی مطابق شکل ۲ بکار میرود. در این چیدمان نمونه در کانون عدسی قرار میگیرد و برای تعیین شدت لیزر از یک قطبشگر در پشت عدسی استفاده میشود. توانی که در غیاب نمونه به

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

آشکارساز میرسد(I_0) و نیز توانی که پس از عبور از نمونه به آن میرسد(I) ثبت می شود. با استفاده از داده های بدست آمده و رابطه زیر ضریب جذب خطی بدست می آید[۳]:

$$\alpha = -\frac{1}{L} Ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (۴)$$



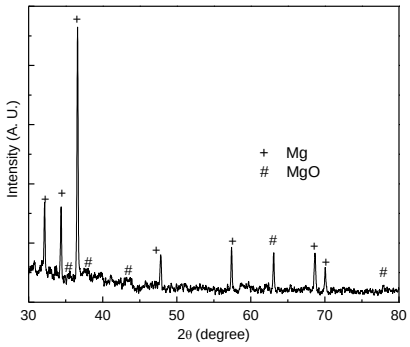
شکل ۲: چیدمان آزمایشگاهی روش محدودشدگی اپتیکی.

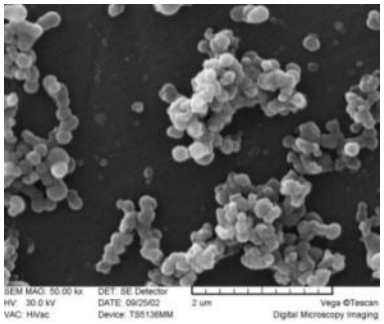
۳- نتایج و بحث

با کانونی کردن تابش لیزر بر روی هدف منیزیم، پرِ پلاسما ایجاد میشود که در تمام جهات گسترش می یابد. کندوسوز لیزری همراه با گسیل نور و صدای بلندی است که در نتیجهٔ جداشدن ذرات از سطح هدف ایجاد میشود. ذرات ایجادشده در اثر تابش لیزر در مایع پراکنده میشوند. این ذرات مجدداً با باریکه لیزر فرودی در سوسپانسیون ایجاد شده اندرکنش میکند و یک خوشه پلاسمای داغ روی سطح فلز تولید میشود. به علت غوطه ور بودن نمونه در ایزوپروپانول، خوشهٔ در حال گسترش توسط ایزوپروپانول اطراف محصور میشود. نتایج حاصل از پراش پودر اشعهٔ X نانوذرات تولیدشده در شکل۳ نشان داده شده است. از مقایسه طیف پراش حاصل از این نمونه با داده های کارت استاندارد مشاهده میشود که با تابش باریکه لیزر بر هدف منیزیم ساختارهای Mg و MgO تشکیل شده است. الگوی پراش نشان میدهد که با وجود تشکیل هر دو ساختار Mg و MgO شدت پیک مربوط به Mg بیشتر است. ذرات منیزیم ایجاد شده در اثر کندو سوز لیزری منیزیم در ایزوپروپانول با اکسیژن ترکیب شده است و اکسید منیزیم بعنوان فرآورده واکنش ایجاد میشود. تغییر رنگ محلول در نتیجهٔ کندو سوز لیزری هدف منیزیم در این حلال آلی پیشنهاد میکند که حلال در اثر گرمای لیزر تجزیه میشود و یا واکنش با ذرات منیزیم جدا شده از هدف باعث تغییر رنگ ایزوپروپانول میشود.

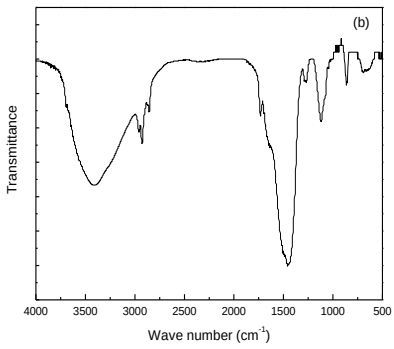
تصویر SEM ذرات تولید شده در شکل ۳ نشان داده شده است. مشاهده می شود که در نتیجهٔ کندو سوز لیزری هدف منیزیم در ایزوپروپانول ساختارهای کروی و دیسک مانند به ابعاد متوسط ۱۰۰ نانومتر تشکیل شده است.

شکل۴طیف عبوری FTIR نمونهٔ پودر بدست آمده از کندو سوز لیزری هدف منیزیم در ایزوپروپانول را نشان میدهد.





شکل ۳: الگوی پراش پودر اشعهٔ X و تصویر SEM ساختارهای سنتز شده توسط لیزر بخار مس در ایزوپروپانول.



شکل ۴: طیف جذبی FTIR ساختارهای به دست آمده از کندو سوز لیزری منیزیم در ایزوپروپانول.

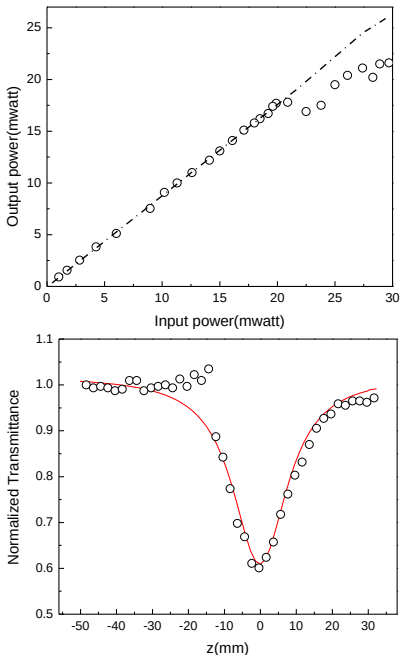
با توجه به اینکه نتایج FTIR در محدودهٔ $۴۰۰۰cm^{-1}$ تا $۳۳۰۰cm^{-1}$ نشاندهندهٔ پیوندهای کششی گروه های OH است، نوار جذب پهن حول $۳۴۰۰cm^{-1}$ متناظر با ارتعاشات کششی گروه OH است. از آنجاکه ساختارهای ایجاد شدهٔ Mg و MgO درمحیط ایزوپروپانول تشکیل شده اند، این

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

قله نشاندهندهٔ مد کششی OH آب باقیمانده یا ایزوپروپانول جذب شده روی سطح این ساختارها است. وجود این قله در این محدودهٔ طول موجی نشاندهندهٔ حضور گروه هیدروکسیل در مکان عیبهای بلوری است. این قله کاملاً پهن است.FWHM این پیک در حدود $۴۲۰cm^{-1}$ است. وجود این پهن شدگی درجهٔ بالایی از تقید مولکولهای آب و ایزوپروپانول را با خود آنها و با سطح بلوری تصدیق میکند[4]. نوار جذب حول $۲۹۵۶cm^{-1}$ ناشی از کشش OH سطحی بوجود آمده از گروه های هیدروکسیل یا کشش C-H پسماندهای آلی است. نوارهای جذبی حول $۲۹۵۶cm^{-1}$،$۲۹۲۵\ cm^{-1}$، و $۲۸۵۱cm^{-1}$ بترتیب در نتیجهٔ کشش OH سطحی همفاز، همفاز، و غیرهمفاز بوجود می آید. یک پیک جذب مهم در $۱۴۵۹cm^{-1}$ اشاره به وجود مدهای $\nu_a(C\text{-}O)+\delta(OC{=}O)$ دارد. بنابراین این پیک ها گواهی بر جذب ایزوپروپانول و جذب سطحی آب است. دیگر پیک های جذبی نیز در $۱۱۳۲cm^{-1}$ و$۱۰۷۵cm^{-1}$ اشاره به مدهای کششی C-O/C-O دارد. در حالی که نوار ضعیف حول $۸۵۸/۸\ cm^{-1}$ متناظر با $\nu(Mg\text{-}O)+\delta(O\text{-}C{=}O)$ است، پیک واقع در $۶۷۶/۶cm^{-1}$ به مد پیوندی O=C=O یا نوسان مولکولهای آب نسبت داده می شود[۵]. نتایج مربوط به انجام آزمایش محدودشدگی اپتیکی در شکل ۵ نشان داده شده است. این نمودار تغییرات توان خروجی بر حسب توان فرودی را نشان میدهد. مشاهده میشود که برای توان فرودی بالاتر از ۲۲mw گذار غیرخطی میشود. نسبت تغییرات $\frac{I}{I_0}$ به کمک شیب خط برازش شده به داده ها بدست می آید. با قراردادن این نسبت در رابطهٔ (۳)، $\alpha = 1/27cm^{-1}$، محاسبه میشود. α مطابق رابطهٔ (۴) در محاسبهٔ L_{eff} بکار میرود که در محاسبهٔ β موثر است. داده های بدست آمده از چیدمان دریچه باز روبش z در شکل ۵ نشان داده شده است. مشاهده میشود که منحنی دارای یک کمینهٔ گذردهی است. این خاصیت نشاندهندهٔ ضریب جذب غیرخطی مثبت است[۲]. نقاط دایره شکل نشاندهندهٔ مقادیر تجربی بدست آمده از آزمایش و منحنی پیوسته نمودار نظری است که با استفاده از روابط بالا و نرم افزار Origine به داده ها برازش شد و مقدار ضریب جذب غیرخطی برابر با $\beta=۱/۷\times۱۰^{-۴}mm/watt$ بدست آمد.

۳- نتیجه‌گیری

منیزیم فلزی در ایزوپروپانول تحت تابش باریکه لیزر بخار مس قرار گرفته است و ساختارهای منیزیم و اکسید منیزیم تشکیل شده است. نتایج بدست آمده از آنالیز SEM نشان میدهد که ذرات تولید شده دارای ابعاد متوسط 100nm است. نتایج بدست آمده از طیف FTIR نشان دهندهٔ جذب ایزوپروپانول و جذب سطحی آب روی ساختارهای Mg و MgO است. با استفاده از تکنیک محدودشدگی اپتیکی ضریب جذب خطی برای این ساختارها $\alpha=1/27cm^{-1}$ بدست آمده و همچنین محاسبات نشان داده است که ضریب جذب غیرخطی برای این ساختارها مثبت و برابر $\beta=۱/۷\times۱۰^{-۴}$ mm/watt است که نشان میدهد این ساختارها کاندیدای مناسبی جهت استفاده در وسایل اپتیک غیرخطی هستند.



شکل ۵: نمودار تغییرات توان خروجی بر حسب توان ورودی (بالا) و منحنی دریچه باز روبش-z برای ساختارهای سنتز شده

مراجع

[1] Wu M.C., Comeille J.S., Estrada C.A., He J.W., Goodman D.W., **Chem. Phys. Lett.** 182 (1991) 472.
[2] Sheik-bahae M., Said A. A., Wei T. H., Hagan D. J., Vanstryland E. W., **IEEE J. Quantum Elect. QE.** 26 (1990) 760.
[3] Majles Ara M. H., Dehghani Z., Sahraei R., Nabiyouni G., **Optics** 76 (2009) 53.
[4] Foster M., Furse M., Passno D., **Surf. Sci.** 502 (2002) 102–108.
[5] Nakamoto K., *Infrared Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*, p. 206, Wiley London, 1963.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]