نشریه علوم دانشگاه خوارزمی
جلد ۱۲، شماره ٤
تاریخ چاپ پاییز ۱۳۹۲

بررسی خواص اپتیکی فیلم‌های نازک اکسید منیزیم تهیه شده به‌روش سل- ژل

زهرا باژن، *فرهاد اسمعیلی قدسی، جمال مظلوم؛ دانشگاه گیلان، دانشکده علوم

چکیده

فیلم‌های نازک اکسید منیزیم به‌روش سل- ژل تهیه شدند. اثر دمای بازپخت روی خواص اپتیکی، ساختاری و مورفولوژیکی فیلم‌ها با استفاده از FTIR، UV-Visible، اسپکتروسکوپی فوتولومینسانس (PL)، پراش پرتو X (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد. ثابت‌های اپتیکی و ضخامت فیلم‌ها با رهیافت کمینه‌سازی نامقید نقطه‌گرا تعیین شد. شفافیت اپتیکی فیلم‌ها با افزایش دما کاهش می‌یابد. با افزایش دما ضریب شکست و ضریب خاموشی فیلم‌ها افزایش یافته اما ضخامت و گاف نواری کاهش می‌یابد. ضخامت فیلم‌ها به‌ترتیب از ٦٣٥ به ٤٢٠ نانومتر و گاف نواری فیلم‌ها از ٤/٠٥eV به ٤/٠٢ eV کاهش می‌یابد. شدت فوتولومینسانس با افزایش دما افزایش می‌یابد. طیف XRD نشان می‌دهد که فیلم‌های تهیه شده در دمای ٥٠٠ درجهٔ سانتی‌گراد ساختارآمورف دارند. همچنین ساختار کریستالی نانوپودرهای اکسید منیزیم تهیه شده به روش سل- ژل د بررسی شد. ساختار کریستالی پودرهای MgO با افزایش دما بهبود یافته است. تصویر SEM فیلم تهیه شده در دمای٥٠٠ درجهٔ سانتی‌گراد یک فیلم همگن و بدون ترک را نشان می‌دهد.

مقدمه

اکسید منیزیم جامد کریستالی عایق به‌شدت یونی است که به‌دلیل خواص ویژه‌ای مانند شفافیت اپتیکی، رسانایی حرارتی و گسیل الکترون ثانویه بالا مورد توجه زیادی قرار گرفته است. فیلم‌های نازک اکسید منیزیم به‌عنوان لایهٔ محافظ در صفحه‌های نمایش‌گر پلاسما جریان متناوب (AC- PDP) به‌کار برده می‌شوند [۱]. مطابقت شبکه‌ای خوب بین فیلم‌های MgO، بستر سیلیکون و فیلم‌های نازك پروسکایت[۱] سبب کاربرد این فیلم‌ها به‌عنوان لایهٔ بافر پایدار و سد پخش بین فیلم‌ها و زیر لایهٔ Si می‌شود [۲]. در حال حاضر به فیلم‌های نازک MgO به‌دلیل خواص اپتیکی منحصر به فرد توجه بسیار شده است. گاف نواری بزرگ، افت اپتیکی کم، ضریب شکست نسبتاً پایین و ثابت دی‌الکتریک کم موجب به‌کار بردن آن در قطعات اپتیکی مختلف مانند موج‌برهای ساخته شده از فیلم‌های نازک فروالکتریک شده است.

واژه‌های کلیدی: اکسید منیزیم، فیلم نازک، سل- ژل، خواص اپتیکی، نانو پودر
دریافت ۹۱/۳/۱۹ پذیرش ۹۱/۱۲/۸
*نویسنده مسئول feghodsi@guilan.ac.ir

۱. peroveskite

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

فیلم‌های اکسید منیزیم را می‌توان به‌روش‌های مختلفی مانند انباشت با پالس لیزر [۳]، انباشت شیمیایی بخار (CVD) [٤]، کندوپاش مگنترون [٥]، تبخیر با باریکه الکترونی [٦]، روش اسپری پایرولیزز [۷] و روش سل- ژل [۸]، [۹]. تهیه کرد. روش سل- ژل به‌دلیل خلوص زیاد مواد اولیه، قابلیت کنترل تخلخل و نانوساختار لایه‌ها، قابلیت کنترل ضخامت و همگنی فیلم‌ها و هزینهٔ مناسب، مهمتر از همه تجهیزات ساده و ارزان و عدم نیاز به خلأ بالا به‌طور روزافزون مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. در روش سل-ژل پارامترهای نهشت نظیر pH، چسبندگی محلول، سرعت نهشت، تعداد دفعات نهشت و... تأثیر زیادی روی خواص فیزیکی فیلم‌های تهیه شده دارد. از میان این پارامترها دمای بازپخت برای کنترل خواص اپتیکی، ساختاری و مورفولوژیکی فیلم‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. اگرچه تعدادی از بررسی‌های تجربی روی خواص اپتیکی، ساختاری و مورفولوژیکی فیلم‌های نازک MgO بازپخت شده در دماهای مختلف صورت گرفته است[۱۰] اما گزارشی در بارهٔ با ثابت‌های اپتیکی و فوتولومینسانس فیلم‌ها وجود ندارد. در این تحقیق، خواص اپتیکی فیلم‌های نازک MgO روی بسترهای شیشه‌ای بررسی شده است. به‌جای آلکوکساید منیزیم، از استات منیزیم به‌عنوان پیش‌ماده استفاده شده است. زیرا آلکوکسایدها گران‌تر و به رطوبت حساسند و استفاده از آن‌ها مشکل‌تراست [۱۰].

کار تجربی

برای تهیهٔ سل نهشت از پودراستات منیزیم چهارآبه[۱] ۹۹% به‌عنوان پیش‌ماده و متانول به‌عنوان حلّال استفاده شد. اسید نیتریک به‌عنوان کاتالیزور در حین فرآیند همزدن به محلول اضافه شد. همزدن به‌مدت ۱ ساعت ادامه یافت تا محلول شفاف و همگنی به‌دست آید. برای تمیزسازی، بسترها قبل از نهشت در بشر حاوی اتانول و استون به‌مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه تمیز کننده اولتراسونیک قرار گرفتند. فیلم‌ها با سرعت ۱۱/۷cm/min روی بسترهای شیشه‌ای ۹ بار لایه‌نشانی شدند و بعد از هر بار لایه‌نشانی به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند. در پایان، عملیات بازپخت در دمای ۳۰۰، ٤۰۰ و ٥۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه انجام گرفت. پودر اکسید منیزیم از عملیات حرارتی سل تهیه شده در دو دمای ٥۰۰ و٦٥۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ساعت تهیه شد.

مشخصه‌یابی

خواص اپتیکی فیلم‌ها با دستگاه طیف‌سنج UV-Visible مدل (CARY100)، دستگاه فوتولومینسانس مدل پرکین المر[۲] LS-٥٥ و دستگاه FTIR مدل شیماتزو[۳] (۸۹۰۰) اندازه‌گیری شد. با توجه به نبود فریزهای تداخلی، ثابت‌های اپتیکی (ضریب شکست و ضریب خاموشی) فیلم‌ها با استفاده از داده‌های تراگسیل تجربی به کمك رهیافت کمینه‌سازی نامقید نقطه‌گرا[٤] ارائه شده به‌وسیلهٔ چامبولیرون و همکارانش محاسبه شد [۱۱]. ساختار کریستالی نمونه‌های تهیه شده به‌کمک الگوی پراش پرتو X با استفاده از دستگاه XRD مدل یونیسانتیس[٥] XMD۳۰۰ و مورفولوژی سطح فیلم‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل لئو[٦] ۱۴۳۰VP بررسی شد.

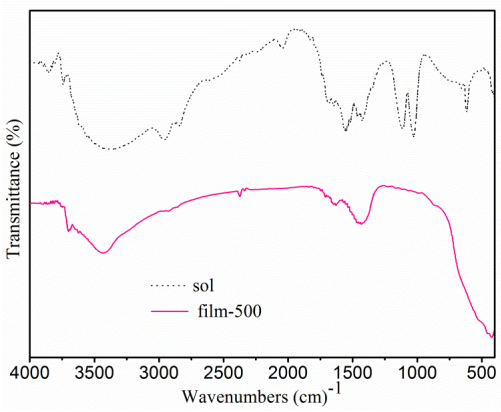
۱. $CH_3COO)_2Mg.4H_2O$ ۲. PerkinElmer LS-55 ۳. Shimatzu ۴. puma ۵. Unisantis ۶. Leo

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

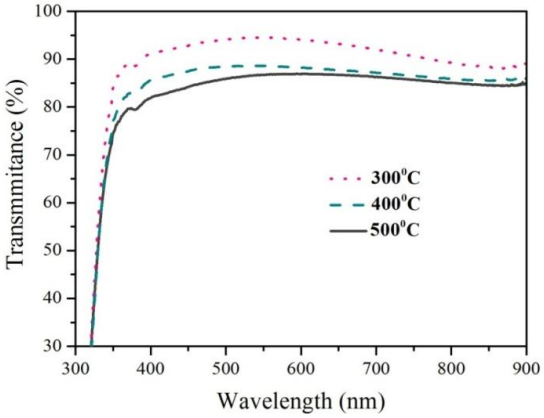
بحث و نتایج

۱. خواص اپتیکی

طیف FTIR سل و فیلم MgO بازپخت شده در دمای ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در شکل ۱ نشان داده شده است. پیوند کششی O- H در حدود cm^{-1} ۳۷۰۱-۳۷۴۳ ظاهر می‌شود که مربوط به آب جذب شده از هواست [۱۲]. شدت قله O-H پس از بازپخت کاهش می‌یابد. قلهٔ مشاهده شده در حدود cm^{-1} ۳۴۰۰ مربوط به گروه N-H است که در هر دو طیف مشاهده شده و به‌طور چشم‌گیری با افزایش دما کاهش می‌یابد. مد کششی C–H مشاهده شده در بازهٔ cm^{-1} ۲۹۷۴-۲۸۳۵ مربوط به گروه استات است. قله‌های موجود در cm^{-1} ۱۴۲۵-۱۵۶۴ مربوط به ارتعاشات کششی یون کربونات (گروه C-O) است که از جذب دی‌اکسیدکربن محیط تشکیل می‌شود [۱۲]، [۱۳]. قله‌های مشاهده شده در cm^{-1} ۶۱۷-۶۵۹ مربوط به تغییر شکل COO است که به‌دلیل استفاده از پیش مادهٔ حاوی استات است [۱۴]. انتظار می‌رود که قله‌های جذبی مربوط به Mg-O در ناحیهٔ cm^{-1} ۴۰۰ تا cm^{-1} ۶۰۰ مشاهده شود [۱۵]. قلهٔ مشاهده شده در حدود cm^{-1} ۴۳۰ مربوط به گروه Mg-O است.



شکل ۱. طیف FTIR سل اولیه و فیلم نازک MgO بازپخت شده در دمای ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد



شکل ۲. طیف تراگسیل تجربی فیلم‌های نازک اکسید منیزیم در دماهای بازپخت ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد

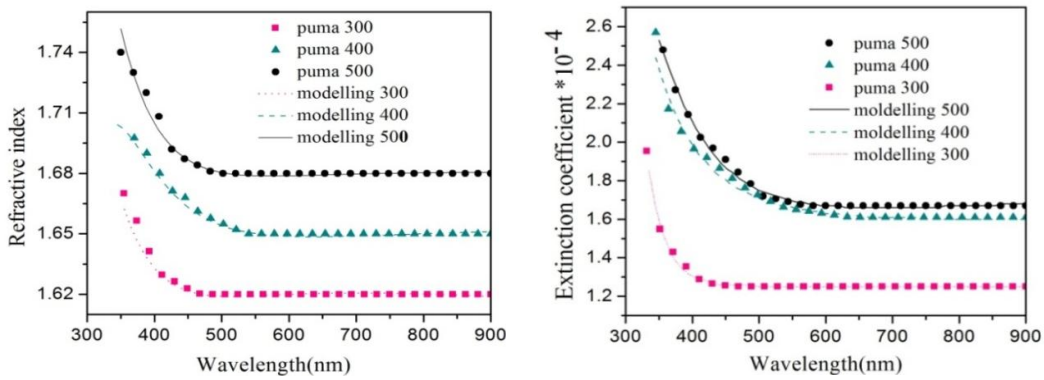
شکل ۲ طیف تراگسیل فیلم‌های MgO را در سه دمای بازپخت مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش دما تراگسیلندگی فیلم‌ها کاهش می‌یابد که دلیل این امر را می‌توان کاهش تخلخل فیلم‌ها دانست که سبب درآشامی بیش‌تر توسط فیلم می‌شود. شکل ۳ تغییرات ضریب شکست (n) و ضریب خاموشی (k) فیلم‌ها را برحسب طول موج و با استفاده از رهیافت کمینه‌سازی نامقید نقطه‌گرا نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش دما ضریب شکست فیلم‌ها افزایش می‌یابد که این امر را می‌توان ناشی از کاهش تخلخل و افزایش پکیدگی سطح فیلم‌ها دانست. همچنین با افزایش دمای بازپخت، ضریب درآشامی و خاموشی فیلم‌ها در ناحیهٔ مرئی افزایش می‌یابد. ضخامت فیلم‌ها با افزایش دما کاهش می‌یابد که این کاهش می‌تواند به‌سبب خروج ترکیبات آلی فرار از سطح فیلم باشد. مقادیر ضخامت و ضریب شکست در طول موج ۵۵۰nm در جدول ۱ داده شده است. برای محاسبهٔ گاف نواری فیلم‌ها ابتدا ضریب درآشامی فیلم‌ها (α) با استفاده از این رابطه محاسبه می‌شود [۱۶]:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

$$\alpha = -\frac{lnx}{d} \quad (۱)$$

که در آن d ضخامت فیلم است و x از این رابطه به‌دست می‌آید:

$$x = \frac{(n-1)^3(n+s^2)T}{16n^2s} \quad (۲)$$



شکل ۳. نمودار ضریب شکست و ضریب خاموشی فیلم‌های نازک اکسید منیزیم در دماهای ۳۰۰، ٤۰۰ و ٥۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد

در این رابطه n ضریب شکست فیلم در ناحیهٔ درآشامی قوی، s ضریب شکست بستر شیشه‌ای ($s = ۱/٥۱$) و T تراگسیلندگی است. شکل ٤ نمایش‌گرتغییرات $(\alpha h\nu)^2$ با انرژی فوتون در دماهای بازپخت مختلف است. گاف نواری فیلم‌ها در گذارهای مستقیم مجاز با استفاده از رابطهٔ (۳) با برون‌یابی قسمت خطی منحنی در درآشامی صفر تعیین شده است [۱۷].

$$\alpha(h\upsilon) = A^*(h\upsilon - Eg)^{1/2} \quad (۳)$$

که A عدد ثابت و $h\nu$ انرژی فوتون است. مقدار گاف نواری با افزایش دما به میزان اندک کاهش می‌یابد. مقادیر E_g برای سه نمونه در جدول ۱ داده شده است.

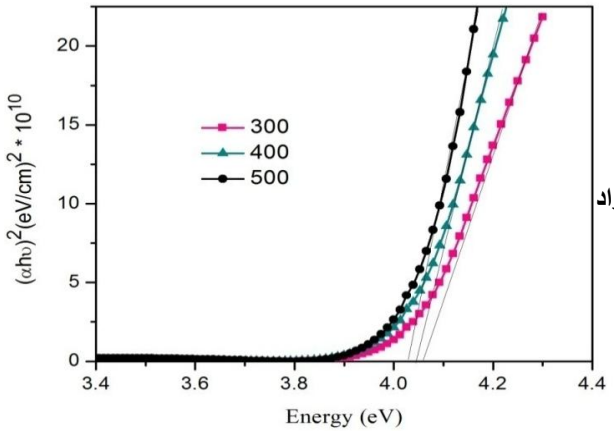
پهنای حالت‌های موضعی درگاف نواری اپتیکی فیلم‌ها که از نقص‌های کریستالی مانند تهی‌جاها، اتم‌های بین شبکه‌ای و اتم‌های برجذب در سطوح و مرزدانه‌ها نتیجه می‌شود روی ساختار گاف نواری و گذار اپتیکی مؤثر است و دنباله اورباخ نامیده می‌شود. قانون اورباخ بدین صورت زیر بیان می‌شود [۱۸].

$$\alpha = \alpha_0 exp\frac{h\nu}{E_U} \quad (٤)$$

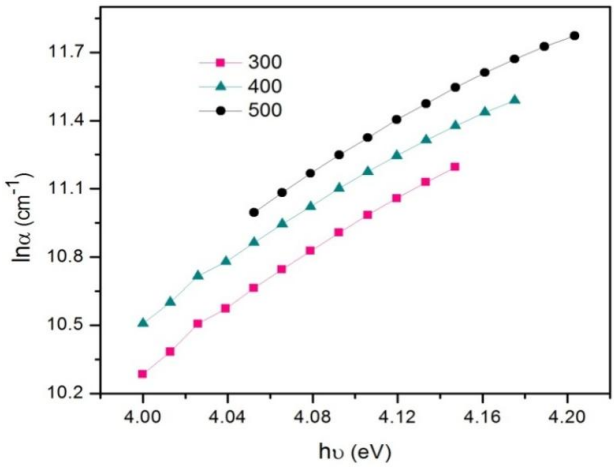
α_0 ثابت و E_U انرژی اورباخ است. نمودار $\ln\alpha$ بر حسب انرژی در شکل ٥ نشان داده شده است. مقدار E_U از عکس شیب $\ln\alpha$ برحسب $h\nu$ به‌دست آمده که در جدول۱ داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر E_U بر خلاف گاف نواری با افزایش دما افزایش می‌یابد که این می‌تواند به‌دلیل افزایش نقص‌های ناشی از حرارت در فیلم‌های تهیه شده باشد.

پاشندگی نقش مهمی در بررسی‌های اپتیکی ایفا می‌کند؛ زیرا عامل مهمی در تکنولوژی ارتباطات اپتیکی و طراحی وسایل اپتیکی است. به‌همین دلیل پاشندگی ضریب شکست فیلم‌ها با استفاده از مدل تک نوسان‌گر که ومپل[۱] و دی‌دومنیکو[۲] ارائه شده [۱۹] بررسی شد. در این مدل ضریب شکست از این رابطه به‌دست می‌آید:

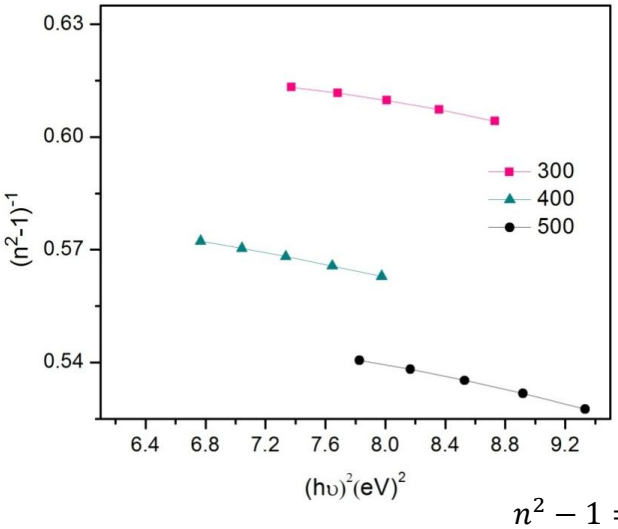
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ٤. نمودار گاف نواری فیلم‌های نازك اکسید منیزیم بازپخت شده در دماهای ٣٠٠، ٤٠٠ و ٥٠٠ درجهٔ سانتی‌گراد



شکل ٥. نمودار لگاریتمی ضریب درآشامی نسبت به انرژی فیلم‌های نازك اکسید منیزیم بازپخت شده در دماهای ٣٠٠، ٤٠٠ و ٥٠٠ درجهٔ سانتی‌گراد



شکل ٦. نمودار $(n^2-1)^{-1}$ برحسب $(h\nu)^2$ فیلم‌های نازك اکسید منیزیم بازپخت شده در دماهای ٣٠٠، ٤٠٠ و ٥٠٠ درجهٔ سانتی‌گراد

$$n^2 - 1 = \frac{E_d E_o}{E_o^2 - (h\nu)^2} \qquad (٥)$$

که n ضریب شکست، E_o انرژی تک نوسان‌گر برای گذارهای الکترونیکی و E_d انرژی پاشندگی است که اندازهٔ شدت گذارهای بین نواری است. مقادیر E_o و E_d از شیب $(E_oE_d)^{-1}$ و قطع (E_o/E_d) روی محور عمودی نمودار $(n^2-1)^{-1}$ برحسب $(h\nu)^2$ نشان داده شده در شکل ۶ به‌دست می‌آید. مقادیر به‌دست آمده در جدول ۱ گزارش شده است.

۱. Wemple ۲. DiDomenico

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

چگالی پکیدگی فیلم نازک MgO از طریق رابطهٔ براگ- پیپارد با استفاده از ضریب شکست فیلم‌ها در طول موج ۶۳۰nm محاسبه شده است [۲۰].

$$n_f^2 = \frac{(1-p)n_v^4 + (1+p)\, n_v^2\, n_b^2}{(1+p)\, n_v^2 + (1-p)\, n_b^2} \qquad (٦)$$

که در آن p چگالی پکیدگی فیلم، n_f ضریب شکست فیلم در طول موج ۶۳۰nm، n_v ضریب شکست حفره (n_v =۱) و n_b ضریب شکست MgO در حالت کپه‌ای (n_b = ۱/۷۳۵) است [۲۱] .

جدول ۱. مقادیر ضخامت، ضریب شکست، گاف نواری، انرژی اورباخ، انرژی تک نوسان‌گر، انرژی پراکندگی و چگالی پکیدگی فیلم‌های نازك اکسید منیزیم بازپخت شده در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد

نمونه	ضخامت (nm)	n	E_g (eV)	E_U (eV)	E_o (eV)	E_d (eV)	p
۳۰۰	٦۳۵	۱/٦۲	٤/۰۵	۰/۱٦۳	۹/۹۷	۱۵/۰۵	۰/۸۹
٤۰۰	۵۵۰	۱/٦۵	٤/۰٤	۰/۱۷۸	۹/۲۲	۱٤/۸٤	۰/۹۲
۵۰۰	٤۲۰	۱/٦۸	٤/۰۲	۰/۱۹۲	۸/۵۵	۱٤/۱٤	۰/۹۵

شکل ۷ طیف فوتولومینسانس فیلم نازک اکسید منیزیم تهیه شده در دو دمای ٤۰۰ و ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷، چهار قلهٔ اصلی در طیف فوتولومینسانس فیلم‌های نازک اکسید منیزیم مشاهده می‌شود. قلهٔ گسیل UV در ۳۷۵ nm، قلهٔ مربوط به ناحیه بنفش در ۳۹۳ nm، قلهٔ مربوط به ناحیهٔ آبی در ٤۵٤nm و قلهٔ مربوط به ناحیهٔ سبز در ۵۳۱nm است که با گزارش سایر مقالات تطابق دارد [۲۲]. گسیل‌های UV، آبی و سبز را می‌توان به نقص‌های موجود در MgO مانند تهی‌جاهای اکسیژن و تهی‌جاهای منیزیم نسبت داد. گسیل بنفش ناشی از مراکز رنگ مانند مراکز F^+ است [۲۳]. چنان‌که دیده می‌شود شدت قله‌ها با افزایش دما افزایش می‌یابد که می‌تواند ناشی از افزایش مراکز تابشی باشد.

۲. خواص ساختاری

طرح پراش پرتو X فیلم‌ها و پودرهای اکسید منیزیم در دماهای متفاوت در شکل ۸ و ۹ نشان داده شده است. فیلم نازک MgO بازپخت شده در دمای ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد ساختار آمورف را نشان می‌دهد که با نتایج قبلی مطابقت دارد [۱۰]. گزارش‌ها نشان می‌دهند که ساختار سطحی بستر روی جهت‌گیری ترجیحی فیلم‌های MgO مؤثر است و استفاده از بستر Si (۱۰۰)، می‌تواند موجب بهبود ساختار کریستالی فیلم‌های MgO شود [۲٤]. اثر ساختار بستر و عدم تطبیق ضریب انبساط حرارتی بین بستر و فیلم می‌تواند دلیل تفاوت ساختار کریستالی فیلم‌های تهیه شده روی بسترهای متفاوت باشد.

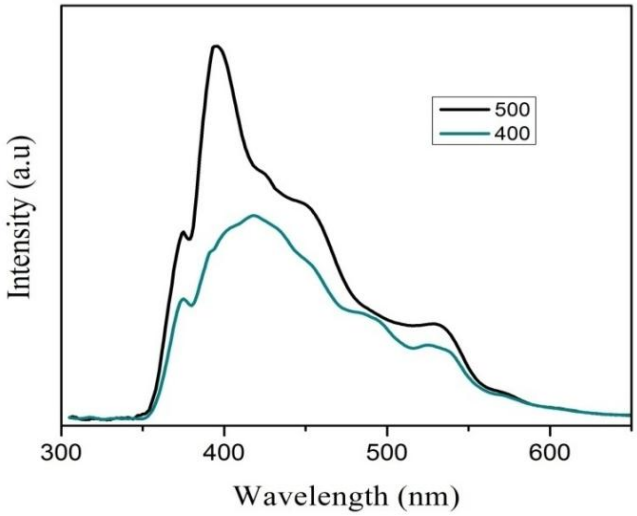
پودرهای MgO ساختار کریستالی داشته و مشابه ساختار مکعبی fcc است (JCPDS78-0430). اندازهٔ میانگین دانه‌ها از رابطهٔ شرر محاسبه شده است [۲۵]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta cos\theta} \qquad (۷)$$

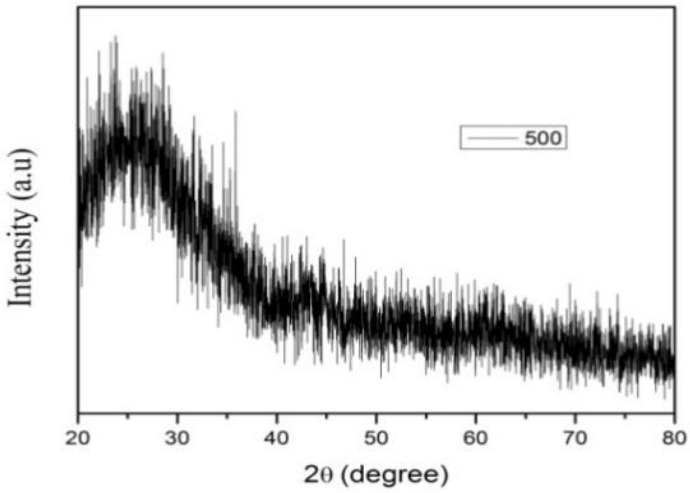
که در آن k ثابت شرر λ طول موج اشعه X ($\lambda_{CuK\alpha}$ = ۱/۵٤) و β پهنا در نصف قله است. اندازهٔ میانگین دانه‌ها برای پودرهای تهیه شده در دمای ۵۰۰ و ٦۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب ۲٦ و ۳۳ nm محاسبه شد. با

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

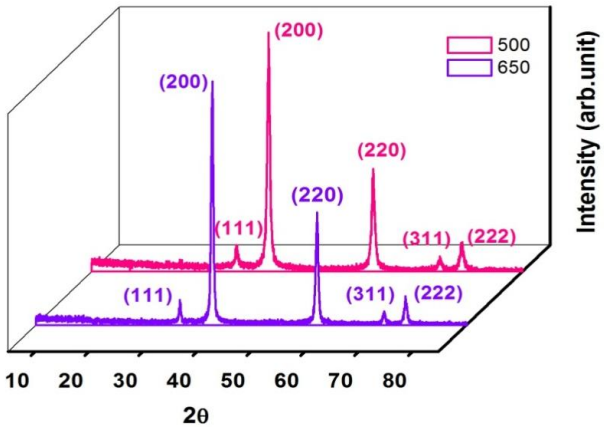
افزایش دما ساختار کریستالی MgO بهبود یافته و اندازه دانه‌ها افزایش می‌یابد. شکل ۱۰ تصویر SEM فیلم‌های MgO تهیه شده در دماهای مختلف را نشان می‌دهد. تصویر SEM فیلم‌ها نشان می‌دهد که تخلخل فیلم‌ها با افزایش دما کاهش می‌یابد. در روش سل-ژل وجود ترک در فیلم‌ها به دلیل شکننده بودن ژل رایج است. چنان‌که مشاهده می‌شود با افزایش دما از میزان ترک‌خوردگی فیلم‌ها کاسته شده و یک فیلم یک‌نواخت و بدون ترک در دمای ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تهیه شده است.



شکل ۷. طیف فوتولومینسانس فیلم‌های نازک اکسید منیزیم در دو دمای ٤٠٠ و ٥٠٠ درجهٔ سانتی‌گراد

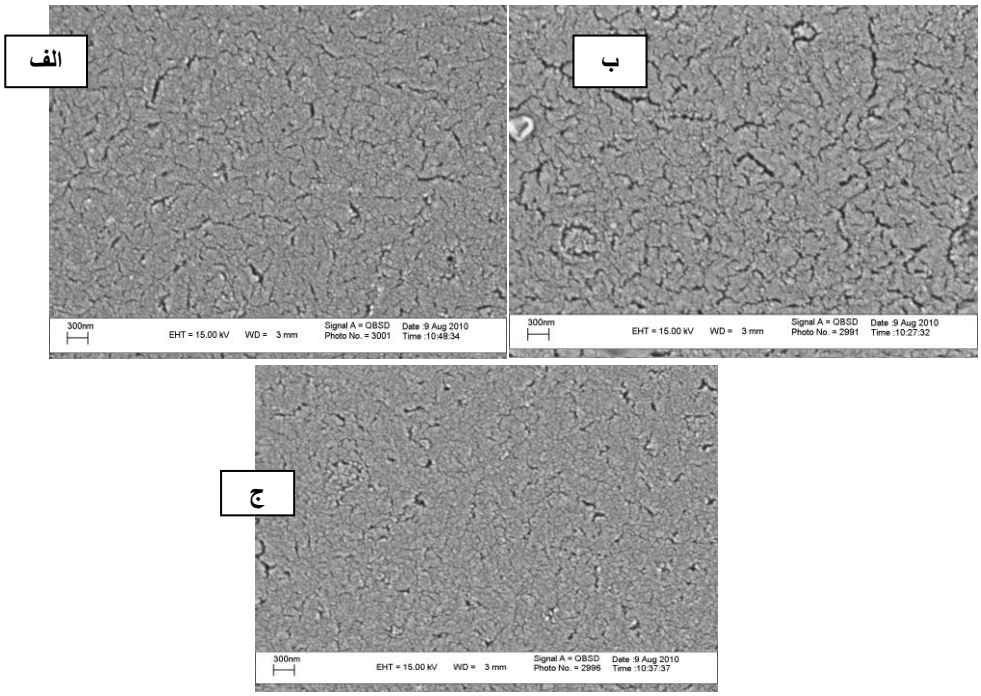


شکل۸. طرح پراش پرتو X فیلم نازک اکسید منیزیم تهیه شده در دمای ٥٠٠ درجهٔ سانتی‌گراد



شکل ۹. طرح پراش پرتو X پودرهای تهیه شده در دمای ٥٠٠ و ٦٥٠ درجهٔ سانتی‌گراد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۱۰. تصاویر SEM فیلم های نازك اکسید منیزیم بازپخت شده در دماهای الف) ۳۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ب)۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد ج) ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد

نتایج

فیلم‌های نازك اکسید منیزیم به‌طور موفقیت‌آمیزی روی بسترهای شیشه‌ای در دماهای بازپخت مختلف تهیه شدند. افزایش دما سبب کاهش میزان شفافیت شده است. افزایش دما موجب کاهش ضخامت فیلم‌ها و افزایش ثابت‌های اپتیکی (ضریب شکست و ضریب خاموشی) آن‌ها شده است. همچنین تغییرات گاف نواری فیلم‌ها بین ۴/۰۲ eV تا ۴/۰۵ eV است. بررسی دنبالهٔ اورباخ نمونه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دما، انرژی اورباخ افزایش می‌یابد. طرح پراش پرتوX فیلم نازک اکسید منیزیم حاکی از آمورف بودن فیلم‌هاست که بستر نامناسب و دمای بازپخت کم را می‌توان به‌عنوان دلایل اصلی برای ساختار آمورف فیلم‌ها دانست. پودرهای تهیه شده دارای ساختار کریستالی بوده که افزایش دما سبب بهبود ساختار کریستالی وافزایش اندازهٔ دانه‌ها شده است.

شدت قله‌های PL نیز با افزایش دما افزایش می‌یابد. تصویر SEM فیلم‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دما از میزان ترک‌خوردگی فیلم‌ها کاسته شده و یک فیلم یک‌نواخت و بدون ترک در دمای ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گرادتهیه شده است. در طیف FTIR فیلم‌ها قله مشاهد شده در $۴۳۰\ cm^{-۱}$ مربوط به ارتعاشات پیوند MgO است.

منابع

1. C-H. Park, J-Y. Choi, M-S. Choi, Y-K.Kim, H-J.Lee, "Effects of MgO thin film thickness and deposition rate on the lifetime of ac plasma display panel", Surface & Coatings Technology 197 (2005) 223-228.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

2. K. Nashimoto, D. K. Fork, T.H. Geballe, "Epitaxial MgO on GaAs(111) as a buffer layer for z-cut epitaxial lithium niobate", Applied Physics Letters, 60 (1992) 1199.

3. W. T. Wang, D. Y. Guan, G. Yang, G. Z. Yang, Y. L. Zhou, H. B. Lu, Z. H. Chen, "Nonlinear optical properties of thin iron films grown on MgO (100) by pulsed laser deposition, Thin Solid Films, 471 (2005) 86-90.

4. S. M. Lee, H. Murakami, T. Ito, "Properties of thin MgO films grown on single-crystalline CVD diamond", applied surface science, 175 (2001) 517-524.

5. Y. H. Cheng, H. Kupfer, F. Richter, A. M. Paraian, "Deposition of MgO films by pulsed mid-frequency magnetron sputtering", Applied Surface Science, 200 (2002) 117-124.

6. C-H. Park, Y-K. Kim, B-E. Park, W-G. Lee, J-S. Cho, "Effects of MgO annealing process in a vacuum on the discharge characteristics of AC PDP", Materials Science and Engineering B60 (1999) 149-155.

7. A. Moses Ezhil Raj, T. Som, V. Ganesan, M. Jayachandran, G. Selvan, V. Swaminathan, C. Sanjeeviraj, "Tailoring optical and electrical properties of MgO thin films by 1.5 MeV H^+ implantation to fluencies", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 266 (2008) 2564-2571.

8. C. Bondouxa, Ph. Prene, Ph. Bellevillea, F. Guilleta, S. Lamberta, B. Minota, R Jerisian, "Sol–gel MgO thin films for insulation on SiC", Materials Science in Semiconductor Processing 7 (2004) 249-252.

9. M. Menon, J. W. Bullard, "Constrained phase evolution in gel-derived thin films of magnesium oxide", Materials Chemistry, 9 (1999) 949-953.

10. S. Chakrabarti, D. Ganguli, S. Chaudhuri, A.K. Pal, "Crystalline magnesium oxide films on soda lime glass by sol–gel processing", Materials Letters, 54 (2002) 120-123.

11. I. Chambouleyron, J. M. Martinez, A. C. Moretti, M. Mulato, "Retrieval of optical constants and thickness of thin films from transmission spectra", Applied physics, 36 (1997) 8238-8247.

12. H. S. Jung, J.K. Lee, J. Y. Kim, and K. S. Hong, "Crystallization behaviors of nanosized MgO particles from magnesium alkoxides", Colloid and Interface Science 259 (2003) 127-132.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

13. C. M. Janet, B. Viswanathan, R. P. Viswanath, T. K. Varadarajan, "Characterization and Photoluminescence Properties of MgO Microtubes Synthesized from Hydromagnesite Flowers", Physical Chemistry C, 111 (2007) 10267-10272.

14. H. Choi, S. Hwang, "Sol-gel-derived magnesium oxide precursor for thin-film fabrication", Mater, Res., 15 (2000) 842-845.

15. A. Moses Ezhil Raj, L. C. Nehru, M. Jayachandran, and C. Sanjeeviraja, "Spray pyrolysis deposition and characterization of highly (100) oriented magnesium oxide thin films", Crystal Research and Technology, 42 (2007) 867-875.

16. R. Swanepoel, "Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon", Phys. E: Sci. Instrum. 16 (1983) 1214-1222.

17. D. R. Sahu, "Studies on the properties of sputter-deposited Ag-doped ZnO films", Microelectron. J. 38, (2007) 1252-1256.

18. F. Urbach, "The Long-Wavelength Edge of Photographic Sensitivity and of the Electronic Absorption of Solids", Physical Review. 92 (1953) 1324.

19. M. DiDomenico, S. H. Wemple, "Behavior of the electronic dielectric constant in covalent and ionic materials", Physical Review B, 3 (1971) 1338-1351.

20]. W. L. Bragg, A. B. Pippard, "The form birefringence of macromolecules", Acta Crystallogr, 6 (1953) 865-867.

21]. M. J. Weber, "Handbook of optical materials", by CRC Press LLC (2003).

22. H. W. Kim, S. H. Shim, J. W. Lee, M. A. Kebede, H. H Yang, M. Ho Kong, S. M.Choi, J.H Yang, H.J. Bang, H. Y. Kim, "Coating of MgO nanorods with protective layers: Sputtering with a Si target, structure, and photoluminescence properties", Surface & Coatings Technology, 202 (2008) 2503-2508.

23. H. W. Kim, S. H. Shim, J. Woo Lee, "Growth of MgO thin films with subsequent fabrication of ZnO rods: Structural and photoluminescence properties", Thin Solid Films, 515 (2007) 6433-6437.

24. IN-Ch. HO, Y. XU, J.D. Mackenzie, "Electrical and optical properties of MgO thin films prepared by sol-gel technique", Sol-Gel Science and technology, 9 (1997) 295-301.

25. A. L. Patterson, "The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination", PRL, 56 (1939) 978-982.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]