

بررسی اثر دمای زیرلایه بر رفتار فیلم نازک ذرات سولفیدروی در کاربرد پوشش های سد عبور تابش زیر قرمز

سعید نیک بین*، قاسم کاوئی و آیدین هادی فکور

پژوهشگاه مواد و انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۹۲/۲/۲۲، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۹۲/۳/۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۹۲/۳/۶

چکیده این مقاله راهکاری جهت جلوگیری از ورود یا خروج گرمای ناخواسته تابشی (امواج الکترومغناطیس فرو سرخ) به داخل یا خارج سیستم مورد بررسی (ساختمان، خودرو و ...) ارائه می‌دهد. با این راهکار مصرف انرژی گرمایشی یا سرمایشی بشدت کاهش می‌یابد. اختلاف دمای بین سیستم و محیط سبب انتقال گرما و هدر رفت انرژی می‌شود، ولی در واقع انتقال گرما به روش تابشی نسبت دو روش رسانش و همرفت از اهمیت بیشتری برخوردار است، چراکه بر اساس قانون بیر-لامبرت با افزایش ضخامت دیوارها می‌توان از انتقال گرما توسط دو روش ذکر شده جلوگیری کرد. هدف از این مقاله یافتن روش محافظت انرژی در ساختمان با ممانعت از ورود انرژی ناخواسته است. این روش عبور امواج الکترومغناطیس فرسرخ نزدیک از شیشه را کاهش می‌دهد. به این منظور شیشه‌های پنجره چندین بار لایه نشانی شده تا شیشه حاصل ضمن داشتن عبور نور مرئی بالا، بازتاب فرسرخ بالایی نیز داشته باشد.

کلمات کلیدی: نانو ذرات سولفیدروی، لایه نشانی با پرتوی الکترونی، میکروسکوپ نیروی اتمی، اسپکتروسکوپی بیضی سنجی

Effect of substrate temperature on nanostructure zinc sulphide thin film in IR block applications

S. Nikbin*, G. Kavei and A. Hadifakoor

Department of semiconductor, Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran

Abstract A method is presented to stop heat (IR electromagnetic waves) exchange between outdoor and indoor surroundings, (buildings, cars...) saving in heat or cooling energy. Due to temperature gradient between outdoor and indoor, unwanted heat flow takes place to reach equilibrium and energy waste inevitable. In common practice the mass energy flow expected by radiation rather than convection and conduction. Base on Beer-Lambert law, thicker wall results low transmitted of the radiation.

The present work devoted to find a solution to stop undesired energy flow in the buildings. A mechanism reduces near IR radiation transmission by windows. For this purpose the glass windows are coated by thin films that reflect near IR and transmit visible radiations.

Keywords: Zinc Sulphide nanoparticles, Atomic Force Microscopy (AFM), Spectroscopic Ellipsometry (SE), electron beam vapor deposition technique

*سعید نیک بین

نشانی: کرج، پژوهشگاه مواد و انرژی

تلفن: ۰۹۱۵۵۲۰۹۴۰۱، دورنگار: -، پیام‌نگار: saeedn1986@gmail.com

۱- مقدمه

باشد که خاصیت ضد بازتابندگی داشته و عبور طیف مرئی نور را بهبود بخشیده و نیز پایداری و استحکام سیستم را افزایش می‌دهد.

عبور نور مرئی در فیلم های پیوسته فلزی عمدتاً به دلیل بالا بودن بازتاب بسیار ناچیز است. بخشی از این بازتاب مربوط به خاصیت ذاتی فلز است و بخش دیگر مربوط به ناهمواره و به اصطلاح زبری سطح لایه به منظور کاهش بازتاب از سطح و در نتیجه افزایش درصد عبور، پوشش ضدبازتاب مناسبی بر سطح فلز نشاندن می‌شود. عموماً لایه های ضدبازتاب دارای خاصیت دی الکتریک اند. علاوه بر آن، این لایه ها باید ضریب شکست بالایی نیز داشته باشند. پرکاربردترین آنها عبارتند از Bi_2O_3 , In_2O_3 , SnO_2 , ITO , ZnO , TiO_2 و ZnS . با تغییر ضخامت این لایه ها می‌توان محدوده عبور و بازتاب و نیز درصد آنها را تغییر داد [۶-۹]. از آنجا که ضخامت فیلم ها در این سیستم ها بین ۱۰ نانومتر تا ۱ میکرون است و ضخامت لایه ها عامل بسیار مهمی در عملکرد این سیستم‌ها می‌باشد، در نتیجه روش لایه نشانی در این مورد از اهمیت بسزایی برخوردار است. از جمله فیلم های دی الکتریک، لایه سولفیدروی با دارا بودن ضریب شکست بالا و خاصیت ضدبازتابی و نیز چسبندگی خوب به شیشه یکی از بهترین لایه‌های دی الکتریک برای این سیستم می‌باشد. این لایه نشانی ها معمولاً درخلاً به روش های فیزیکی انجام می‌گیرد، چرا که این روش‌ها قابلیت تولید چند لایه مختلف روی یکدیگر با کنترل دقیق ضخامت را دارند. درکنار مزایای زیاد این روش‌ها، کنترل اندازه دانه‌ها یکی از پارامترهای مهم کیفیت فیلم تولیدی می‌باشد. هدف از این مقاله بررسی و کنترل اندازه دانه‌های فیلم سولفیدروی می‌باشد؛ به‌طوری‌که بتوان فیلمی با کمترین زبری سطح تولید کرد.

۲- نحوه آزمایش

در فاز تجربی، لایه نشانی در خلا 5-10 Torr بر روی شیشه معمولی به وسیله دستگاه لایه نشانی در خلاء ساخت شرکت Edwards (ادواردز) و با روش پرتوی الکترونی انجام شد و در حین لایه نشانی ضخامت لایه ها بوسیله ضخامت سنج کوارتز کنترل شد و در نهایت لایه سولفیدروی با

شیشه‌هایی که بخش گرمایی نور خورشید را عبور نمی‌دهند را آئینه گرمایی می‌نامند. این شیشه‌ها در ناحیه مرئی عبور بالایی دارند، یعنی در این ناحیه میزان جذب و بازتاب نور مرئی به حداقل ممکن می‌رسد. آئینه گرمایی در بخش گرمایی طیف خورشید بالاترین میزان بازتاب و در نتیجه کمترین مقدار عبور را داراست. بر طبق قانون کیرشهف، میزان تابش گرمایی متناسب با $(R-1)$ می‌باشد که در آن R ضریب بازتاب است. بنابراین در شیشه‌های با بازدهی بالا میزان بازتاب در ناحیه گرمایی تا حد ممکن نزدیک به ۱ است [۱ و ۲].

بر طبق توزیع انرژی تابشی خورشید، ناحیه گرمایی به طول موج های ۷۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر اطلاق می‌گردد. ولی برای حفظ شفافیت و آبی نشدن شیشه، طول موج های ۷۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر را هم مرئی و هم فروسرخ در نظر می‌گیریم.

مقدار اسمی انرژی خورشیدی که در یک سال به یک سطح افقی مانند پنجره می‌تابد حدود 1000 kW h / m^2 می‌باشد [۳]. مقدار قابل ملاحظه ای از این انرژی مربوط به طیف فروسرخ می‌باشد، بطوریکه با حذف عبور ناحیه فروسرخ به راحتی می‌توان سالیانه از ورود 2500 kW h / m^2 گرمای ناخواسته به داخل ساختمان جلوگیری کرد. برای درک بهتر این موضوع کافی است مقایسه ساده ای بین میزان انرژی صرفه جویی شده به روش حذف عبور بخش گرمایی تابش خورشید با میزان انرژی تولیدی بهترین سلول های خورشیدی لایه نازک با بازدهی ۱۷٪ بیان شود. بیشترین انرژی تولیدی این سلول ها در حالت ایده آل و تابش عمودی در مناطق مشابه سالیانه 2170 kW h / m^2 می‌باشد که حدود یک سوم 2500 kW h / m^2 انرژی صرفه جویی شده به روش حذف عبور بخش گرمایی نور می‌باشد [۴].

به طور معمول از چند لایه نشانی مختلف برای کاهش انتقال گرمای تابشی استفاده می‌شود، ولی کاهش در انتقال گرما همراه با کاهش ناخواسته در عبور نور مرئی می‌باشد. برای حل این مشکل از لایه نشانی دو نوع ماده مختلف با خواص متفاوت استفاده می‌شود. یکی لایه نشانی فلز می‌باشد (مانند مس، نقره یا طلا) که در ناحیه فروسرخ خاصیت بازتابندگی دارد [۵] و دیگری یک یا دو لایه دی الکتریک می‌باشد.

شکل ۱: طیف XRD سه نمونه تولید شده به ترتیب از بالا: نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ در آنالیز بیضی سنجی سعی در مدل سازی کردن یک لایه سولفیدروی بالک داشتیم. با انجام محاسبات، سیستم خطای زیادی را نشان داد که بیانگر این مطلب بود که لایه نازک سولفیدروی دارای خواص فیزیکی متفاوتی نسبت به سولفیدروی بالک است. در نتیجه برای رسیدن به مدلی با خطای قابل قبول از لایه کوشی استفاده کردیم. مدل لایه کوشی دارای این قابلیت است که با تغییر ضخامت، ضریب شکست حقیقی و نیز با تغییر پارامترهای دی الکتریک با هر لایه‌ی دی الکتریکی تطبیق پیدا کند. از این مدل تنها می‌توان در طول موج‌هایی استفاده کرد که ضریب شکست موهومی آن ماده صفر باشد [۱۰]. از آنجا که لایه سولفید روی در طول موج-های ۱۹۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر جذب ندارد می‌توان از این مدل استفاده کرد. در این مرحله با اعمال مدل لایه کوشی باز هم نتیجه قابل قبولی که بتواند مقادیر مناسبی برای مشخص کردن لایه بدست آورد حاصل نشد. این ناشی از یکنواخت نبودن لایه سولفیدروی است که بصورت یک لایه خالص بر روی شیشه و یک لایه با زبری مشخص (rough layer) بر روی لایه اول می‌باشد. شماتیک نشست لایه نازک بر زیر لایه در شکل ۴ رسم شده و لایه زیر همراه با لایه خالص در آن دیده می‌شود. بنابراین لایه کوشی تنها با لایه خالص تطبیق یافته و برای لایه زبر یک لایه EMA که مخصوص لایه‌های زبر یا متخلخل همراه با ناخالصی است اعمال گردید [۱۱]. در نهایت با تغییر پارامترهای شبیه سازی و حصول نتایج دقیقتر به مدلی با خطایی کاملاً قابل قبول دست یافتیم. میزان انطباق پارامترهای دلتا و پسی (Δ ، Ψ) و درصد خطای مدل برای دو نمونه ۱ و ۳ به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۳) مشاهده می‌گردد [۱۲]. دو پارامتر Δ و Ψ که بوسیله بیضی سنجی اندازه‌گیری می‌شود به ترتیب نسبت بزرگی و تغییر فاز بین قطبش S و P را نشان می‌دهد [۱۳] و بصورت نسبت بزرگی ضرایب بازتاب برای قطبش‌های S و P تعریف می‌شود:

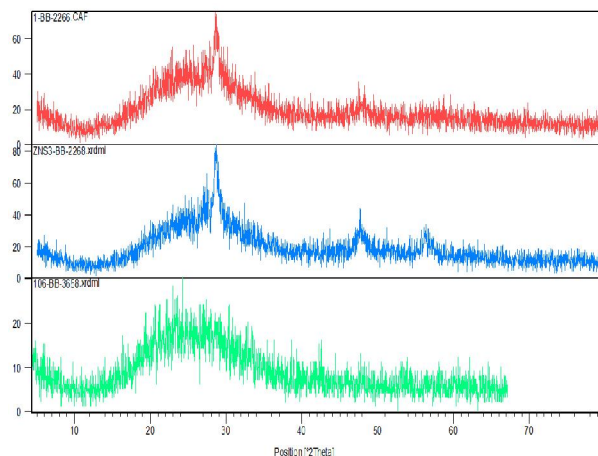
$$\frac{r_p}{r_s} = \frac{t_p}{t_s} = \tan \Delta e^{i\Psi} \quad (\text{معادله ۱})$$

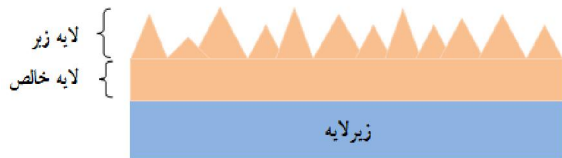
در تصاویر شکل (۲) و (۳) خط چین‌های سبز اطلاعات بدست آمده از آنالیز دستگاه می‌باشد و خطوط ممتد قرمز

ضخامت ۴۰ نانومتر روی شیشه نشانده شد. ۴ نمونه لایه نشانی در دمای اتاق، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت و یکنواختی و ساختار مورفولوژی نمونه‌های تولید شده بلافاصله با دستگاه AFM شرکت Park scientific مورد بررسی قرار گرفت. اثر دمای لایه نشانی با آنالیز XRD توسط دستگاه Philips-pw3710 با منشاء پرتو ایکس از منبع Cuka در ناحیه $\theta=0-80^\circ$ با گام‌های یک درجه بررسی شد. مدل سازی لایه و بررسی کیفیت و ضخامت لایه بوسیله بیضی سنجی با دستگاه مدل SENTECH در سه زاویه ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه و در طول موج‌های ۱۹۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر انجام گرفت. طیف سنجی UV-Vis با دستگاه اسپکترومتر دو پرتویی مدل Perkin Elmer در طول موج‌های ۲۵۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر در دو حالت جذب و عبور انجام گرفت.

۳-نتایج و بحث

آنالیز XRD در شکل ۱ نشان می‌دهد با افزایش دما از نمونه ۱ به ۲ طیف پراش نمونه دارای پیک‌های مشخص و بیشتری است. بدلیل ضخامت کم لایه پیک‌ها شدت کمی دارند ولی در نمونه اول، دو پیک که در هر دو فاز سولفیدروی مشترک است بخوبی دیده می‌شود. در نمونه ۲ پیک سوم هم ظاهر شده که بیانگر بهبود ساختار کریستالی نمونه و آرایش بهتر آن می‌باشد. در نمونه ۳ تقریباً هیچ ساختار کریستالی مشاهده نمی‌گردد.





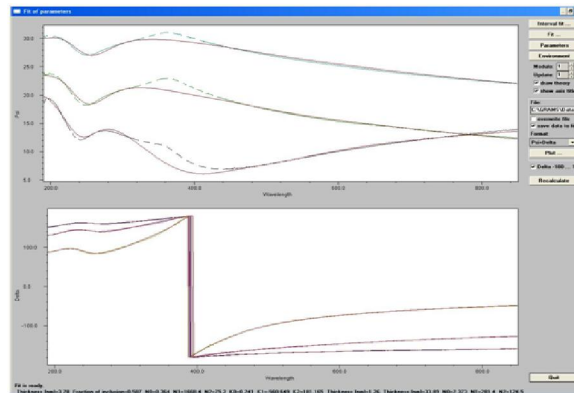
↙ ↘	Air	NK Layer	n=1.0000
6.02 nm	NoName0	EMA 2 layer	n=0.4989 k=0.2819
35.28 nm	NoName1	Cauchy Layer	n=2.7648
↙ ↘	glass SF11 (Schott)	File Layer	n=1.7579

↙ ↘	Air	NK Layer	n=1.0000
14.11 nm	NoName0	EMA 2 layer	n=1.0083 k=0.1119
38.40 nm	NoName1	Cauchy Layer	n=2.4811
↙ ↘	glass SF11 (Schott)	File Layer	n=1.7579

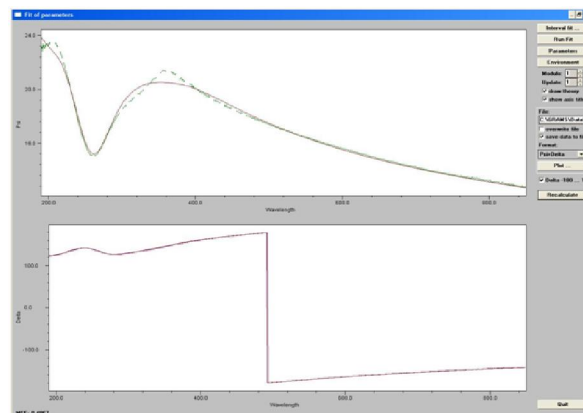
شکل ۴. شماتیک نشست لایه در مقیاس نانو (بالا) و مدل حاصل از بیضی سنجی برای نمونه ۱ (وسط) و ۳ (پایین)

از شکل (۴) مشاهده می‌شود لایه زیر که در دو شکل با نماد noname0 دیده می‌شود، به دلیل داشتن درصد قابل توجهی هوا یا حفره، ضریب شکستی به مراتب کمتر از سولفید روی دارد. محاسبات انجام شده برای مدل ارائه شده نشان می‌دهد که در لایه زیر نمونه ۱ حدود ۲٪ و نمونه ۳ حدود ۵۰٪ زبری وجود دارد. یعنی نمونه ۳ دارای ناهمواری‌های شدیدتر و عمیق‌تر و به عبارتی دارای زبری بیشتری نسبت به نمونه ۱ می‌باشد. مدل همچنین نشان می‌دهد که لایه زیر نمونه ۳ و ۱ بترتیب دارای ضخامت ۱۴/۱ و ۶ نانومتر می‌باشد. طبق شکل-های (۴) ضخامت کل لایه سولفید روی در نمونه ۱ حدود ۴۱ نانومتر و در نمونه ۳ حدود ۵۲ نانومتر محاسبه شده است. با توجه به لایه‌نشانی با ضخامت برابر ضخامت سنج، این اختلاف ضخامت ناشی از برابر در نظر گرفتن چگالی سولفیدروی در دماهای مختلف است، به این معنی که لایه سولفیدی تولیدی در دمای بالاتر، حفره‌های بیشتر و چگالی جرمی کمتری دارد، حال آنکه چگالی سولفیدروی برابر ۴/۰۹ گرم بر سانتیمتر مکعب در ضخامت سنج فرض شده است. افزایش زبری سطح موجب ایجاد حفره و تخلخل بیشتر در فیلم شده و ضریب شکست را کاهش می‌دهد، به این دلیل ضریب شکست فیلم سولفید روی در نمونه ۱ برابر ۲/۷۶ است درحالی‌که در نمونه ۳ برابر ۲/۴۸ می‌باشد. بیشتر در نظر گرفتن چگالی در نمونه ۳

مربوط به مدل انتخاب شده است. این تصاویر نشان می‌دهند که مدل‌ها با نتایج آنالیز بسیار خوب انطباق یافته و اطلاعات بدست آمده دقت قابل قبولی دارند.



شکل ۲. تطبیق اطلاعات بدست آمده از آنالیز دستگاه و مدل انتخابی در سه زاویه ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه برای نمونه ۱



شکل ۳. تطبیق اطلاعات بدست آمده از آنالیز دستگاه و مدل انتخابی در زاویه ۵۰ درجه برای نمونه ۳

در شکل (۴) برای دو نمونه ۱ و ۳ مدل تطبیق یافته را همراه با ضرایب شکست هر لایه در طول موج ۶۳۲/۷ نانومتر آورده‌ایم. نمونه ۴ که در دمای بالاتر لایه نشانی شده بود به دلیل داشتن ناخالصی و تیره بودن لایه تطبیق قابل قبولی به همراه نداشت.

مجدور میانگین مربعات زبری (RMS Rough) مربوط به شیشه حدود ۱/۵ نانومتر است. این شیشه کیفیت سطح خوبی دارد و با میانگین ارتفاع (Mean Ht) حدود ۶ نانومتر دارای سطحی یکنواخت است. لایه‌نشانی بر این شیشه در دمای پائین سبب پرکردن دره‌های موجود شده است بطوریکه در لایه نشانی دمای اتاق مقدار RMS به کمتر از این مقدار نیز رسیده است (شکل ۶). لایه نشانی در دمای ۶۰ درجه نتیجه‌ای بهتر از این در بردارد بطوریکه RMS به حدود ۴/۵ آنگستروم رسیده است و ارتفاع میانگین به کمتر از ۱/۶ نانو (شکل ۷). مطابق پروفایل‌های رسم شده که در تصاویر محل آنها مشخص است مشاهده می‌شود طول همبستگی یا فاصله عرضی دو پیک متوالی در نمونه ۲ کمتر از سایر نمونه‌ها است. با افزایش دمای زیرلایه از ۲۰ به ۶۰ درجه این پارامتر که در واقع میانگین عرض دانه‌ها می‌باشد از ۱۱۰ نانو به ۸۰ نانو کاهش یافته و با افزایش بیشتر دما به ۱۰۰ درجه و با رشد دانه‌ها این مقدار به ۲۰۰ نانو افزایش یافته است (شکل ۸). بنابراین دانه‌ها هم در جهت عرضی و هم در جهت طولی در نمونه تولیدی در دمای ۶۰ کمترین اندازه را دارند. هرچند که طبق این تصاویر رشد دانه‌های سولفیدروی حتی در نمونه ۲ مشهود است ولی در کل در دمای ۶۰ درجه مقدار به هم چسبیدگی این دانه‌ها به حدی کوچک است که لایه‌نشانی سبب بهتر شدن زبری و یکنواختی سطح شیشه نیز شده است. این روند با افزایش بیشتر دما معکوس شد و در دمای ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه رشد و به هم چسبیدگی دانه‌ها با نرخ بالاتری انجام گرفته و دانه‌های بزرگتر RMS و ارتفاع میانگین بیشتری نسبت به شیشه به وجود آورده است (شکل ۸ و ۹). این زبری بالا سبب افزایش پراکندگی و بازتاب نور می‌شود و از بازدهی کل سیستم می‌کاهد. در نتیجه نمونه‌های ایده‌آل در دمای بالاتر از دمای محیط و کمتر از ۱۰۰ درجه تولید خواهند شد.

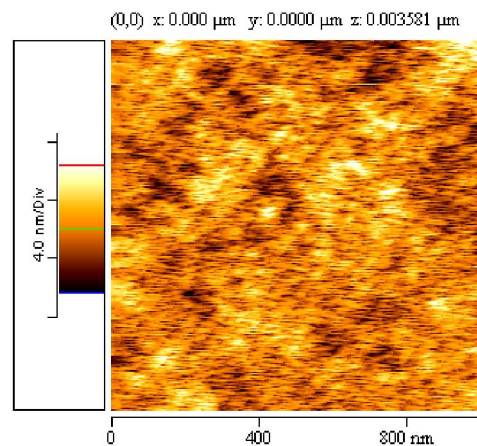
در جدول (۲) پارامترهای آماری نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ مربوط به تصاویر AFM، توسط نرم‌افزار WSxM در مقیاس

باعث نازک‌تر دیده شدن ضخامتش در ضخامت‌سنج شده است. با این حال، اطلاعات بدست آمده با نتایج AFM سازگاری خوبی دارد. خلاصه این اطلاعات در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

جدول ۱. خلاصه اطلاعات نمونه ۱ و ۳

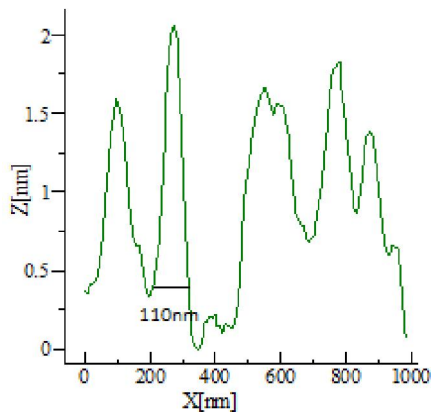
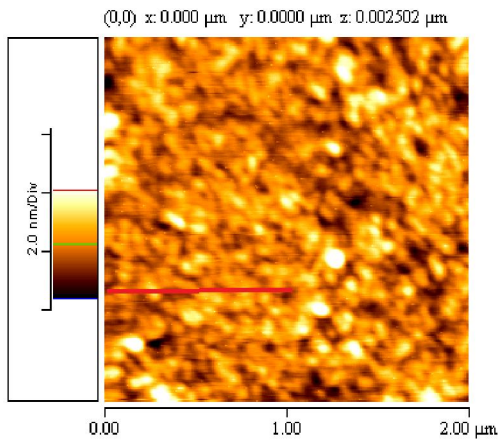
نمونه	نمونه ۱	نمونه ۳
پارامتر		
دمای زیرلایه	۲۰°C	۱۰۰°C
عدد ضخامت سنج	۱۵ نانومتر	۱۵ نانومتر
ضخامت حاصل از بیضی سنجی	۴۱ نانومتر	۵۲ نانومتر
درصد حفره در لایه زیر	٪۲	٪۵۰
ضخامت لایه زیر	۶۰۲ نانومتر	۱۴۰۱۱ نانومتر
Zبری RMS	۰.۶ نانومتر	۱۱.۲ نانومتر
ضریب شکست	۲.۷۶	۲.۴۸

قبل از تصویربرداری AFM از فیلم‌ها، ابتدا شیشه لایه نشانی نشده تصویر برداری شد (شکل ۵) تا بتوان اثر زیرلایه را در نظر داشت. با توجه به ضخامت کم لایه‌ها، زبری شیشه به هر مقدار کوچک هم که باشد بر زبری لایه اثر گذار است.



شکل ۵. تصویر AFM همراه با هیستوگرام زیرلایه شیشه‌ای

شده در حالی که ضریب شکست لایه زیر را افزایش داده است.



شکل ۶. تصاویر AFM و پروفایل نمونه ۱. همچنین در پروفایل اندازه یک دانه نوعی اندازه‌گیری شده است.

۵۰۰×۵۰۰nm² رسم شده‌اند. همان‌طور که بیان شد نمونه ۲ کمترین RMS و ارتفاع میانگین (در جدول Roughness average) را دارد. علاوه بر این بیشترین ارتفاع یا ارتفاع دره تا قله (در جدول Peak to peak) در نمونه ۲ کمتر از سایر نمونه‌هاست. این به این معنی است که سطح نمونه ۲ یکنواخت‌تر بوده و پستی و بلندی کمتری دارد.

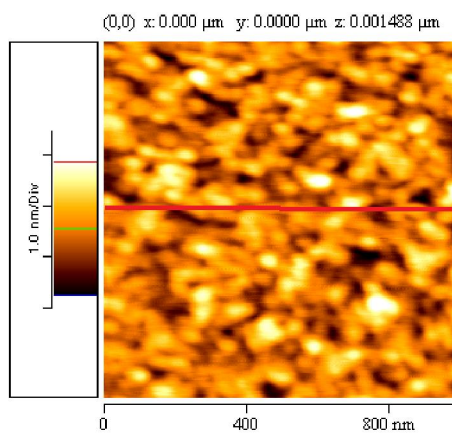
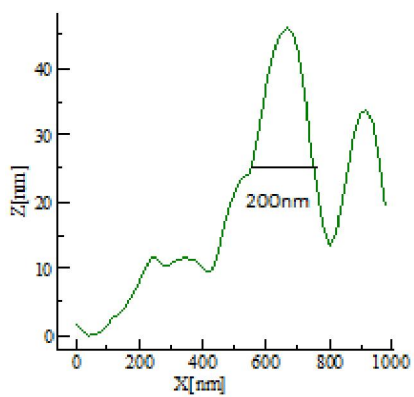
جدول ۲. پارامترهای آماری سطح نمونه های بترتیب از چپ: نمونه ۱، ۲ و ۳

Roughness results:			
RMS roughness:	0.62	0.6083	10.1521
Peak to peak:	6.2018	5.6248	88.3702
Roughness average:	0.476	0.4733	7.9125
Average height:	2.3015	2.9001	28.005
Surface skewness:	0.6859	0.2663	0.9031
Surface kurtosis:	5.0478	3.6578	3.9969

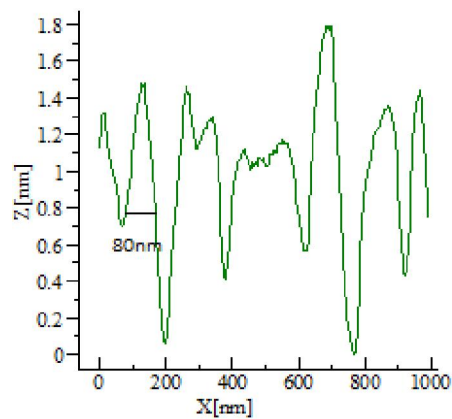
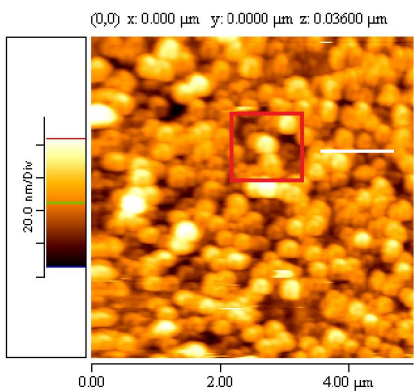
اکنون اثر اپتیکی زبری سطح را با استفاده از مدل بدست آمده از بیضی سنجی بررسی می‌کنیم. دو نمودار شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ضریب شکست حقیقی لایه خالص و لایه زیر برای دو نمونه ۱ و ۳ را نشان می‌دهد. این گراف‌ها از محاسبات بیضی سنجی برای مدل‌ها بدست آمده است. ابتدا داده‌ها در دستگاه، سه پارامتر تطبیق یافته^۱ از مدل را (A, B و C) در رابطه سلمایر^۲ زیر محاسبه و سپس ضریب شکست را برای هر طول موجی بدست می‌آورد [۱۴]:

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \quad (\text{معادله ۲})$$

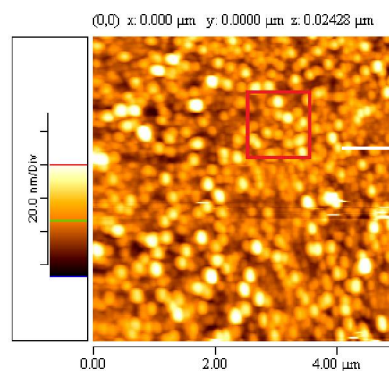
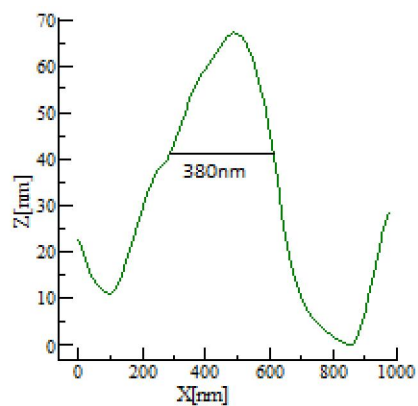
طبق نمودارهای شکل‌های (۱۰) و (۱۱) می‌توان گفت افزایش دمای زیرلایه سبب کاهش ضریب شکست لایه خالص



شکل ۸. تصویر AFM و پروفایل نمونه ۳. همچنین در پروفایل اندازه یک دانه نوعی اندازه‌گیری شده است.



شکل ۷. تصویر AFM و پروفایل نمونه ۲. همچنین در پروفایل اندازه یک دانه نوعی اندازه‌گیری شده است.



شکل ۹. تصویر AFM و پروفایل نمونه ۴. همچنین در پروفایل اندازه یک دانه نوعی اندازه‌گیری شده است.

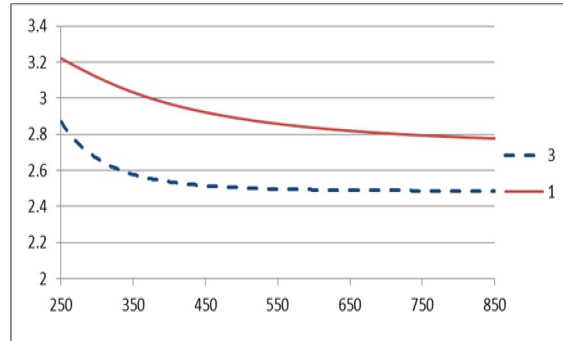
۴- نتیجه گیری

افزایش دمای لایه نشانی در لایه نازک از نانوذرات سولفید روی سبب تغییرات عمده در اندازه دانه، زبری سطح، ضریب شکست و سایر پارامترهای اپتیکی می‌شود. همان طور که بیان شد افزایش دما از دمای محیط تا دمای ۶۰ درجه سبب افزایش اندازه دانه، نفوذ سطحی ذرات و کاهش زبری سطح، کاهش پراکندگی از سطح و بهبود خواص اپتیکی مورد نظر گردید. افزایش بیشتر دمای لایه نشانی، سبب رشد بیشتر دانه‌ها و در نتیجه زبری شده و لایه نازک را از حالت ایده آل خارج می‌کند. زبری سطح نامطلوب، پراکندگی از سطح را افزایش می‌دهد و باعث کاهش ضریب شکست می‌شود. بنابراین مناسب ترین دمای لایه نشانی ۶۰ درجه می‌باشد. تولید فیلم از نانوذرات سولفید روی در این دما کیفیت مناسبی در کاربرد اپتیکی ایجاد می‌کند، بطوریکه لایه بهترین عملکرد را در سیستم های ضد بازتاب خواهد داشت.

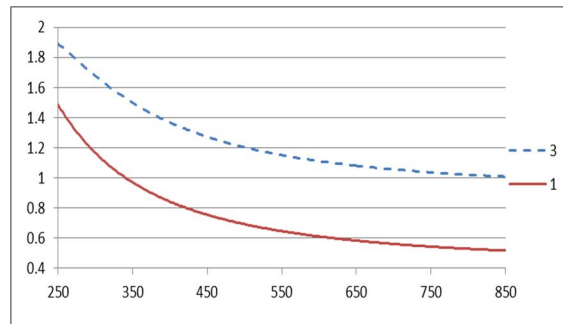
مراجع

- Hollands, K.G.T., Wright, J.L., Granqvist, C.G., Solar Energy: The State Of The Art, James & James Scientific Publishers, London, Uk. (2001) 29-107 (Chapter 2).
- Manz, H., Brunner, S., Wullschlegel, L., Sol. Energy. 80 (2006) 1632-1642.
- Azens, A., Granqvist, C.G., J. Solid State Electrochem. 7 (2003) 64-68.
- Green, M.A., Emery, K., King, D.L., Igari, S., Warta, W., Solar Cell Efficiency Tables (Version 25), Prog. Photovoltaic Res. Dev. 13 (2005) 49-54.
- Valkonen, E., Karlsson, B., Ribbing C.-G., Sol. Energy. 32 (1984) 211-222.
- Palmer, G.B., Poepelmeier, K.R., Solid State Sci. 4 [317] (2002).
- Mosbah, A., Abed, S., Bouhssira, N., Aida, M.S., Tomasella, E., Mater. Sci. Eng. (2006) B 129 144.
- Park, S.H., Kim, H.M., Rhee, B.R., Ko, E.Y., Shon, S.H., Jpn. J. Appl. Phys. (2001) 40 1929.
- Tak, Y.H., Kim, K.B., Park, H.G., Lee, K.H., Lee, J.R., Thin Solid Films. 411 (2002) 12.
- Woollam, J. A., Co., Inc. Guide to using WV ASE32, (2009).

در لایه زبر، افزایش دما و در نتیجه افزایش زبری سطح سبب افزایش پراکندگی^۱ و بازتاب و در نتیجه افزایش ضریب شکست شده است.



شکل ۱۰. ضریب شکست لایه خالص دو نمونه ۳ و ۱ بر حسب طول موج (nm)



شکل ۱۱. ضریب شکست لایه زیر دو نمونه ۳ و ۱

بلورک‌های لایه خالص با افزایش دمای زیر لایه رشد و در هم ادغام و بزرگتر می‌شوند. طبق نتایج بدست آمده از AFM با افزایش دما از ۲۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد، اندازه دانه‌ها از حدود ۱۱۰ نانومتر در نمونه ۱ به حدود ۲۰۰ نانومتر در نمونه ۳ افزایش یافته است. علاوه بر آن حضور بیشتر حفره در لایه نمونه ۳ سبب کاهش ضریب شکست شده است. هر دو این عوامل کاهش ضریب شکست با افزایش دما در لایه خالص را موجب شده است.

11. Spanier, J. E., Herman. I. P., Physical Review B. 61 [15] (2000) 10437-10450.
12. Nikbin, S., Kavei, G., Tabatabaei, N.M., Conference Proceedings on “Technical and Physical Problems of Power Engineering” Norway (2012) 453-455
13. Fujiwara, H., “Spectroscopic Ellipsometry Principles and Applications”, Japan, John Wiley (2007).
14. Teng, C. W. And Et Al, Applied Physics Letters. (2000) 76 [8].