

# بررسی اثر نانو لایه‌های نقره کندوپاشی در بازتابش انرژی حرارتی نور خورشیدی توسط شیشه سفید در آینه‌های حرارتی - خورشیدی

**ندا رحمانی نسب**

پارک علم و فناوری استان همدان

**محمد امیری شهبازی**

شرکت صنایع اپتیک، اصفهان

**سعید باغشاهی**

گروه مواد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

**اکبر زنده نام**

گروه فیزیک، دانشگاه اراک

**مرتضی منصور**

گروه فیزیک، دانشگاه بوعلی سینا

## چکیده

در این پژوهش آینه‌های خورشیدی با نشان دادن یک لایه نازک نقره بر روی شیشه سفید ساخته شده است. در این رابطه به منظور چسبندگی مناسب لایه نقره به شیشه از لایه واسط اکسید ایندیم قلع استفاده شد. در این رابطه برای انباشت لایه‌های نقره از روش کند و پاش مغناطیسی DC استفاده شده و مشخصات لایه‌ها توسط روش اسپکتروفتومتری، RBS و XRD مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که افزایش ضخامت لایه ITO، دمای زیر لایه و کاهش اندازه دانه نقره باعث کاهش بازتابش شد. میزان بازتابش مادون قرمز با افزایش ضخامت لایه Ag افزایش یافت. کلمات کلیدی: آینه خورشیدی، نانولایه نقره، بازتابش مادون قرمز، کندوپاش مغناطیسی

## Study the sputtering Nano-Silver effect on reflected the sun heating energy by white glass in solar heating mirror

**N. Rahmani Nasab**

*Hamedan Science and Technology Park*

**M. Amiri Shahbazi**

*Isfahan Optic Industries Co*

**S. Baghshahi**

*Dept of Materials, School of Engineering, Imam Khomeini International University*

**A. Zandeh Nam**

*School of Physics, Isfahan University*

**M. Tamizifar**

*School of Materials and Metallurgy, Iran University of Science and Technology*

### Abstract

In this resead solar mirrors were made from silver nano layers on a white glass substrate. In this regard the DC magnetron sputtering was used for diposition of silver. ITO layers were used to enhance the adhesion of the main layer. The layers were characterized by spectrophotometry, RBS and XRD. It was observed that IR reflection was enhanced with the increase in Ag thickness. However increase in ITO layer and substrate temperature, and decrease in grain size, decreased the IR reflection.

**Keywords:** *Solar mirror, Nano-silver layer, Infrared reflection, Magnetron sputtering*

**E-mail of corresponding authors:** *nedarahmani61@yahoo.com, amirishahbazi@yahoo.com*

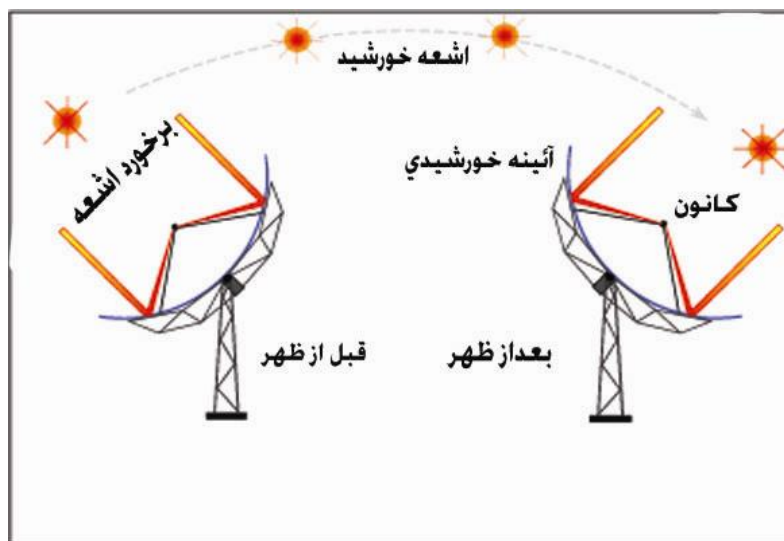
## مقدمه

بسیار زیاد در حدود ۹۶٪ پ‌تمامی مواد دیگر ترجیح داده می‌شود [۳].

با توجه به چسبندگی کم لایه نقره به هر گونه دی‌الکتریک از جمله شیشه از لایه واسطی با چسبندگی زیاد به شیشه مانند اکسید ایندیم قلع (ITO) استفاده می‌شود، ITO علاوه بر خاصیت مناسب ترکنندگی (چسبندگی) شیشه دارای بازتابش مناسب در ناحیه IR و شفافیت بالا نیز می‌باشد [۴ و ۵].

برای انباشت این لایه ه معمولاً از روش کندوپاش مغناطیسی DC، به دلیل کیفیت بالای لایه تولیدی، نرخ لایه نشانی بالا، قابلیت کنترل ترکیب لایه و ... استفاده می‌شود [۶، ۷].

در فن‌آوری آینه‌های متمرکز کننده نور خورشید (CPS)<sup>۱</sup> ابتدا نور باید از سوی خورشید به آینه‌های با توان بارتاب زیاد تابیده شود و سپس آینه ها در خط کانونی خود اشعه‌های خورشیدی بازتابیده را متمرکز می‌کنند تا به لوله جاذب حاوی آب تحت فشار برسد. لوله جاذب نیروی حرارتی بازتاب شده را جذب می‌کند و به این ترتیب باعث گرمایش آب پمپ شده می‌شود و بخار آب تولید می‌شود. دمای بخار آب به  $400^{\circ}\text{C}$  و نیروی آن به  $10\text{ bar}$  می‌رسد. نیروی بخار تولید شده باعث حرکت توربین بخار مرسوم شده و بدین ترتیب برق تولید می‌شود و نیروی برق تولید شده برای کاربردهای مختلف به مصرف می‌رسد [۱]. در شکل ۱ نحوه چرخش و عملکرد



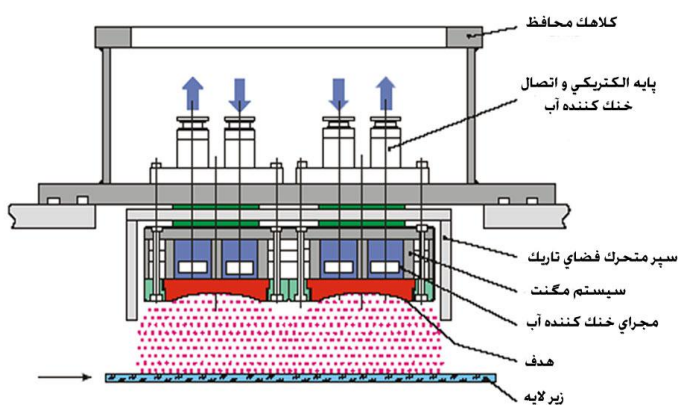
شکل ۱. تصویر چرخش یک آینه متمرکز کننده نور خورشید [۱]

## آزمایشات

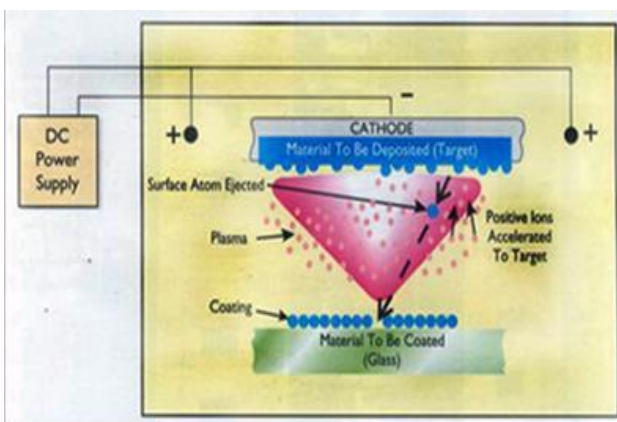
برای لایه نشانی از دستگاه کندوپاش مغناطیسی استفاده شد. در ابتدا سطح شیشه ها توسط محلولهای شستشوی شیمیایی و الکل برای لایه نشانی تمیز شد. فشار درون محفظه کندوپاش ابتدا توسط پمپ های مکانیکی شامل پمپ‌های روتاری و روتز به  $10^{-3}\text{ mbar}$  رسید و سپس خلاء بالا در حدود  $10^{-6}\text{ mbar}$  با عملکرد پمپ دیفیوژنی ایجاد شد و در پلاسمای گاز آرگون با خلوص بالا

آینه‌های خورشیدی مشخص شده است. در آینه های خورشیدی به سطحی با کیفیت بالا و توان بازتابش زیاد در ناحیه فرورسرخ (Infrared)، از حدود طول موج  $750\text{ nm}$ ، نیاز است. از جمله مواد دارای این خصوصیات آلومینیم، طلا و نقره می‌باشند [۲]. نقره بهترین انتخاب برای آینه‌های خورشیدی است زیرا به علت داشتن توان بازتابش

<sup>۱</sup>Concentrated Solar Power



الف



ب

شکل ۲. الف) تصویر مقطع عرضی دستگاه کندوپاش مغناطیسی،  
ب) تصویر شماتیک کندوپاش مغناطیسی [۷ و ۶]

(۹۹/۹۹٪) انباشت لایه‌ها آغاز گردید. فاصله زیرلایه تا هدف در ۸۰mm ثابت نگه‌داشته شد. با سرعت حرکت یکنواخت شیشه‌ها به سمت محفظه کندوپاش (۱m/min- (۱/۰۶)، لایه اول اکسید ایندیم قلع (ITO) با نسبت  $90 \text{ In}_2\text{O}_3 : 10 \text{ SnO}_2$  انباشت شد و سپس لایه‌های فلزی نقره و مس با خلوص ۹۹/۹۹٪ به ترتیب بر روی زیر لایه شیشه سفید انباشت شدند. شرایط انباشت در جدول ۱ آمده است. برای اطمینان از یکنواختی ضخامت لایه ITO از تست مقاومت چهار نقطه‌ای (4-point probe) استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات لایه نشانی به روش کندوپاش مغناطیسی

توان نقره (Kw)	$R_{\square}$ (ITO) ( $\Omega/\square$ )	دمای زیرلایه ( $^{\circ}\text{C}$ )	نام نمونه
۵	۵۴	۲۰	۱
۳	۵۴	۲۰	۲
۳	-	۱۰۰	۳
۳	۵۶	۳۰۰	۴
۳	۱۹۰	۳۰۰	۵
۳	۴۲	۳۰۰	۶

### بحث و بررسی

نتایج آزمون RBS و اسپکترومتری در جدول ۲ آمده است. متوسط درصد بازتابش فروسرخ نمونه‌ها در جدول با میانگین گرفتن از مقدار بازتابش‌های بالاتر از طول موج ۷۵۰nm به دست آمده است.

با توجه به جدول ۲ افزایش ضخامت لایه ITO بیش از ۵۰ نانومتر اثر منفی در بازتابش لایه نقره داشته و باعث کاهش عملکرد آن می‌شود. با توجه به رابطه زیر با افزایش ضخامت لایه عبور نور از آن کاهش می‌یابد، در نتیجه با افزایش ضخامت لایه ITO مقدار نور کمتری به لایه نقره رسیده است و در نهایت بازتابش لایه Ag کمتر شده.

$$T = (1-R)^2 \exp(-\beta x) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که  $T$  درصد عبور (از شیشه یا لایه)،  $R$  بازتابش،  $\beta$  میزان

کندوپاش در حضور و عدم حضور لایه واسطه ITO، دماهای متفاوت زیر لایه و توان متفاوت اعمالی به هدف نقره به منظور اثر بر بازتابش فروسرخ شیشه سفید انجام شد و طیف نمونه‌ها و اندازه دانه‌های لایه نقره با استفاده از تفرق اشعه ایکس (X-ray diffraction) بدست آمد و طیف بازتابش شیشه لایه نشانی شده با دستگاه

اسپکترومتر در محدوده طول موج ۵۰nm-۲۵۰۰ بدست آمد و ضخامت لایه‌ها نیز توسط اسپکتروسکوپی

پراکندگی به عقب راترفرد (Rutherford Backscattering Spectrometry) تخمین زده شد.

شکل ۲ تصویر مقطع عرضی دستگاه کندوپاش مغناطیسی و نیز شماتیک از کندوپاش مغناطیسی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج متوسط بازتابش محدوده مادون قرمز و ضخامت لایه‌ها

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵
متوسط بازتابش در ناحیه IR (%)	۸۳/۲۴	۸۳/۹	۷۴/۴۹	۷۵/۱۲	۷۳/۵۷
ضخامت لایه ITO (nm)	۲۰۱	۱۷۷	-	۲۱۸	۲۹۰
ضخامت لایه Ag (nm)	۸۹	۵۱	۴۶	۵۰	۶۰

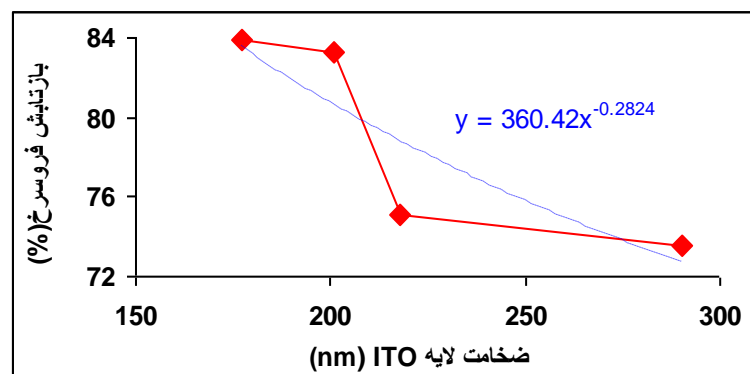
با افزایش ضخامت لایه نقره متوسط بازتابش ناحیه فرورسرخ زیاد شده ولی پس از آن دیگر افزایش ضخامت بر بازتابش اثری ندارد و متوسط بازتابش فرورسرخ ثابت می ماند.

اکثراً لایه نقره کندوپاش شده از مدل رشد ولمر- ویر پیروی می کند، رشد بصورت جزایره های سه بعدی و در ضخامت‌های زیر ۵۰ نانومتر نقره در واقع در مرحله آستانه تراوش<sup>۱</sup> می باشد یعنی مرحله تکمیل جزایر و رشد لایه ها بر روی همدیگر [۹]، به همین دلیل در ضخامت کمتر از این مقدار بازتابش با افزایش ضخامت افزایش می یابد زیرا جزایر نقره در حال رشد و به هم پیوستن می باشند ولی با افزایش ضخامت لایه نقره به بیش از ۵۰ نانومتر بازتابش دیگر افزایش نخواهد یافت، زیرا رشد جزایر کامل شده و فقط لایه‌ها بر روی هم انباشت می شوند (شکل ۵).

جذب (و برای مقداری ثابت است)  $X$  و ضخامت لایه می باشد [۸].

همانطور که از نمودار شکل ۳ مشخص است در ضخامت لایه واسط ITO کمتر از ۲۰۰nm درصد بازتابش تقریباً ثابت است اما با افزایش ضخامت به بیش از حدود ۲۰۰nm درصد بازتابش فرورسرخ نمونه ها کاهش شدیدی می یابد (در نمودار شبیه سازی شده عملکرد لایه ITO به صورت نقطه چین مشخص است).

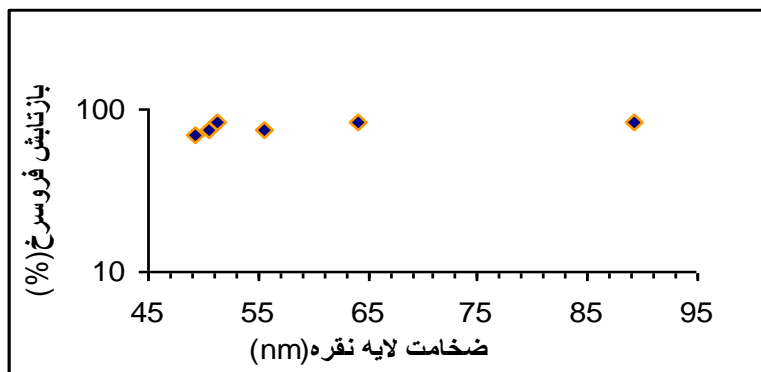
در نمونه هایی که ضخامت لایه ITO زیاد می باشد درصد بازتابش فرورسرخ نیز کم است و در نمونه ای که از لایه واسط ITO استفاده نشده است انتظار می رود درصد بازتابش افزایش یابد ولی تقریباً مقدار کمی دارد زیرا لایه نقره نیز در این نمونه ضخامت کمی دارد (حدود ۴۶nm). با توجه به نمودار شکل شماره ۴ دیده می شود که در ابتدا



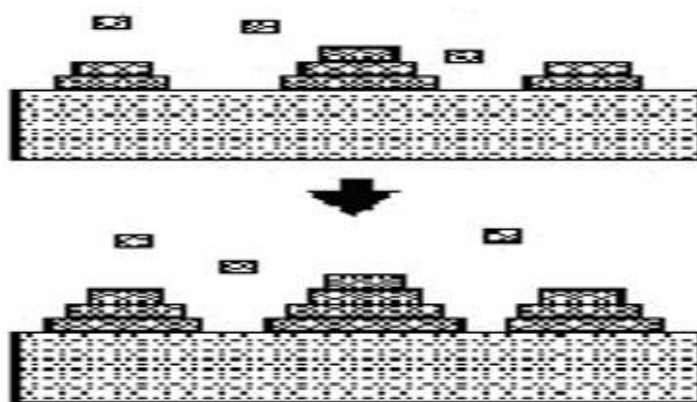
شکل ۳. نمودار درصد بازتابش مادون قرمز با افزایش ضخامت لایه ITO به همراه نمودار شبیه سازی

شده برای کاهش بازتابش با افزایش ضخامت لایه ITO

<sup>1</sup> percolation threshold



شکل ۴. نمودار درصد بازتابش مادون قرمز با افزایش ضخامت لایه نقره



شکل ۵. مدل رشد ولمر - وبر در کندوپاش مغناطیسی

با توجه به شکل ۷ با افزایش دمای زیر لایه اندازه دانه ها تقریباً کاهش می یابد و با کاهش اندازه دانه های نقره درصد بازتابش محدوده فروسرخ نیز کاهش می یابد. در این نمونه ها مقدار ضخامت لایه نقره زیر آستانه تراوش می باشد در نتیجه جزایر نقره در حالت رشد و تکمیل شدن می باشند. در نمونه با بیشترین ضخامت لایه نقره، جزایر ولمر- وبر به همدیگر نزدیکتر شده و رشدشان کامل می شود و در نتیجه به انجام بازتابش بهتر کمک می کنند.

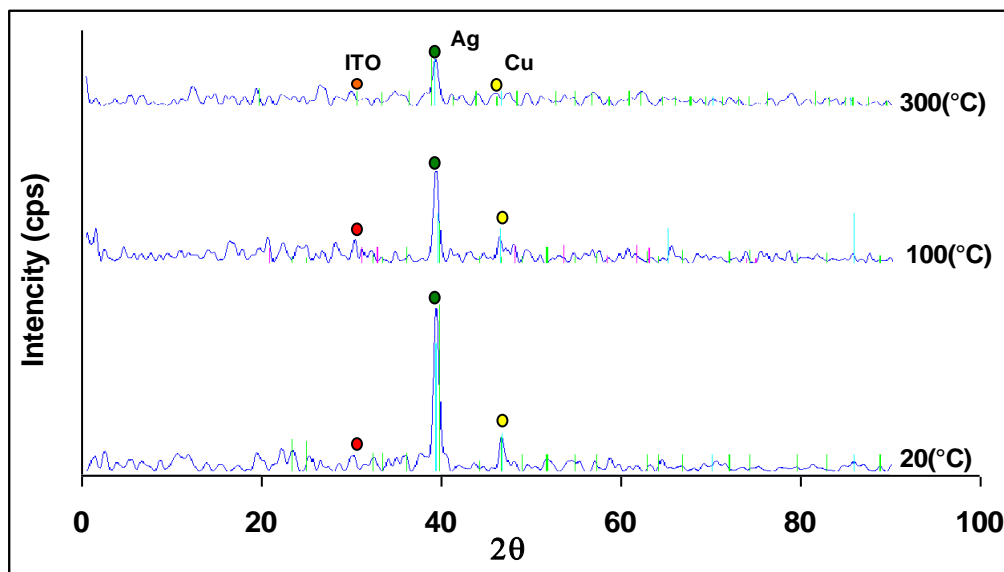
جدول ۳. نتایج XRD برای سه دمای زیر لایه متفاوت

نام نمونه	دمای زیر لایه (°C)	2θ	hkl	D (Å)
۲	۲۰	۳۸/۱۶	[111]	۱۵۲/۷
۳	۱۰۰	۳۸/۱۴	[111]	۱۴۲/۶۲
۴	۳۰۰	۳۸/۱۶	[111]	۱۳۱/۶۲

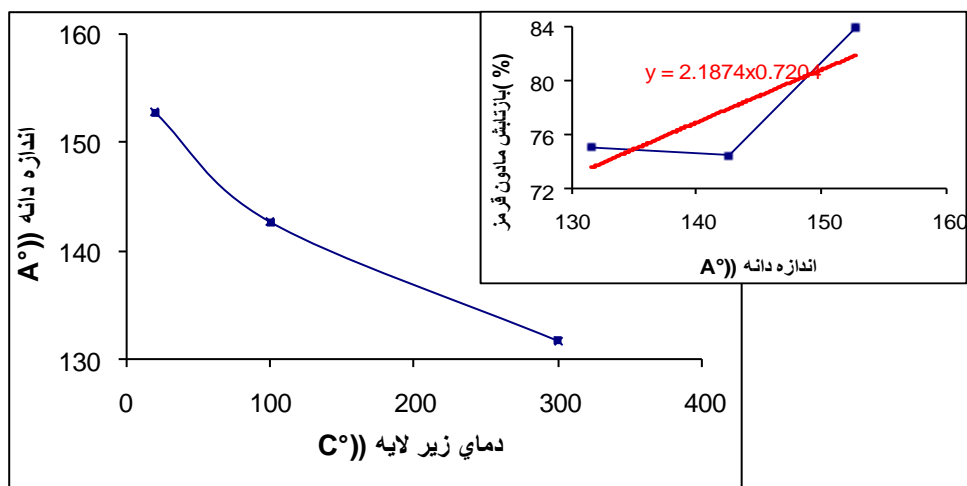
شکل ۶ الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به سه نمونه ۲، ۳ و ۴ در سه دمای زیر لایه به ترتیب ۲۰°C، ۱۰۰ و ۳۰۰ است. در این سه نمونه با افزایش دما از شدت پیک های مربوط به Cu, Ag و ITO کاسته می شود. محاسبه اندازه دانه های نقره با توجه به رابطه دبی - شر [۷]، در دماهای متفاوت زیر لایه در جدول ۳ آورده شده است.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه  $D$  سایز دانه ها،  $\beta$  عرض قله ها (پهنای نیمه ماکزیمم قله شدت) در الگوی پراش اشعه  $X$ ،  $\lambda$  طول موج اشعه  $X$  تابشی،  $K$  ثابت تناسب بدون بعد است و عموماً یک در نظر گرفته می شود. این نمونه ها با اشعه مشخصه  $Cu\alpha$  با طول موج  $1.5406 \text{ \AA}$  شناسایی شده اند. با توجه به نتایج XRD نقره دارای ساختار مکعبی FCC با جهت ارجح رشد دانه (۱۱۱) است و اندازه دانه ها با افزایش دمای زیر لایه کوچکتر شده است.



شکل ۶. الگوی پراش اشعه ایکس برای سه نمونه ۲، ۳ و ۴ با دمای زیر لایه متفاوت



شکل ۷. نمودار تغییرات اندازه دانه با دمای زیر لایه و تغییرات بازتابش با اندازه دانه‌های نقره

می‌کند، نتایج XRD نشان‌دهنده تشکیل نقره با ساختار FCC است که در دماهای متفاوت زیر لایه در جهت (۱۱۱) رشد می‌کنند و اندازه دانه‌های نقره با افزایش دمای زیر لایه کوچکتر می‌شود که باعث کمتر شدن بازتابش مادون قرمز شده است. در کل می‌توان بازتابش کم لایه نقره (زیر ۹۰٪) را به حضور لایه واسط ITO و ضخامت کم لایه نقره نسبت داد.

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان این طور اظهار نمود که به روش کندوپاش مغناطیسی می‌توان نانو لایه Ag را برای ساختن آینه خورشیدی بر روی شیشه سفید انباشت نمود با استفاده از لایه واسط ITO برای افزایش چسبندگی نقره به شیشه. افزایش ضخامت لایه ITO باعث کاهش بازتابش IR شده و افزایش ضخامت لایه نقره تا حدود 50nm باعث افزایش بازتابش IR می‌شود ولی پس از آن افزایش ضخامت لایه نقره تاثیری بر بازتابش ندارد. با توجه به اینکه نقره از مدل رشد ولمر-وبر پیروی

## منابع

1. Omar Badran, Markus Eck , *The application of parabolic trough technology under Jordanian climate*, Renewable Energy ,31 ( 2006) 791-802.
2. A. Zendehnam, M. Ghanati and M. Mirzaei, *Study and Comparison of Deposition Rates, Grain Size of Ag and Cu Thin Films with Respect to Sputtering Parameters, and Annealing Temperature*, Journal of Physics: Conference Series, 61 (2007) 1322–1325.
3. Per Nostell, Acta Universitatis Upsaliensis, *Preparation and optical characterisation of antireflection coatings and reflector materials for solar energy systems*, ACTA UNIVERSITATIS UPSALIENSIS, 2000.
4. Woong-Ki Hong, June-O Song, Hyun-Gi Hong, Keun-Yong Ban, Takhee Lee, J. S. Kwak, Y. Park, Tae-Yeon Seong' *Highly Reflective and Low Resistance Indium Tin Oxide/Ag Ohmic Contacts to p-Type GaN for Flip-Chip Light Emitting Diodes* Solid-State Lett., 8 (2005) 320-323.
5. L.R. Cruza, C. Legnania, I.G. Matosoa, C.L. Ferreira, H.R. Moutinh; *Influence of pressure and annealing on the microstructural and electro-optical properties of RF magnetron sputtered ITO thin films*, Materials Research Bulletin, 39 (2004) 993–1003.
6. N. Rahmani Nasab, S. Baghshahi, M. A. Shahbazi, M. Tamizifar, *The Effect of Substrate Temperature on Growth of Nanosilver Layer Deposited on White Glass by Magnetron Sputtering*, Journal of Color science and Technology, 41-47 (2008)2.
7. B. Karunagaran, R. T. R. Kumar, D. Mangalaraj, S.K. Narayandass, G.M. Rao, *Influence of thermal annealing on the composition and structural parameters of DC magnetron sputtered titanium dioxide thin films*, Cryst. Res. Technol, 37 (2002) 1285–1292.
8. W.D.Kingery, Introduction to ceramics, A Wiley-Interscience Publication, 1976.
9. P. Politi et al, *Instabilities in crystal growth by atomic or molecular beams* , Physics Reports, 324 (2000) 271-404.