

بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ۱۳۹۸ بهمن ۱۳۹۸



شبیه سازی اپتیکی و ساخت الکترودهای شفاف رسانای نانو ساختار MoO<sub>3</sub>/Ag/D به منظور استفاده در ادوات اپتوالکترونیک بهرام جلیلی، سید محمدباقر قریشی دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان ، کاشان bahram.jalili1994@gmail.com- mghorashi@kashanu.ac.ir

چکیده – در این پژوهش نخست شبیه سازی الکترودهای شفاف نانو ساختار MoO3/Ag/V2O5 ، MoO3/Ag/WO3 ، MoO3/Ag/V2O5 با ف با ضخامتهای بهینه به ترتیب ۳۹۹۹/۲۱۱۴/۲ و ۲۲۹۸ (۳۲۱٫۷ ۲۱٫۷ ۲۱٫۷ ۲۰٫۴ نانومتر بهمنظور د ست یابی به شفافیت بالا و مقاومت سطحی پایین پرداخته شد. سپس این ساختارها روی بسترهای شیشه ای به روش تبخیر حرارتی انباشت شدند. همچنین در این مقاله تأثیر پارامترهایی نظیر آهنگ لایه نشانی، ضخامت لایهها، دمای زیر لایهها، روی ویژگی های ساختاری، اپتیکی و الکتریکی، این نانو ساختارهای چندلایه ای بررسی شد. تراگسیل اپتیکی برای هر ساختار بهویژه در طول موج ۵۵۰ نانومتر به ترتیب بهصورت ۵۵٫۱ ، ۴٫۳۸ (Ω/۵)، ۴٫۳۸ (Ω/۵)، اکترودهای ساختهشده به ترتیب(□/Ω) ۴٫۳۸، ۴٫۳۶ به دست آمد.

كليد واژه-الكترود رساناى شفاف نانوساختار ، تراگسيل اپتيكى ، فاكتور شايستگى، مقاومت سطحى .

Optical design and fabrication of  $MoO_3 / Ag / D$  nano conductive transparent electrodes for use in optoelectronic devices

Bahram Jalili; S.M.B Ghoreyshi

Department of Physics, University of Kashan, Kashan

bahram.jalili1994@gmail.com- mghorashi@kashanu.ac.ir

Abstract- In this study, we first design and simulate transparent nanostructured electrodes  $MoO_3 / Ag / V_2O_5$ ,  $MoO_3 / Ag / WO_3$ ,  $MoO_3 / Ag / ZnS$  with optimum Thickness, 39.3 / 21.7 / 22.8, 39.9 / 21.4 / 22, 42.4 / 20.7 / 21, respectively. The nanometers were studied to achieve high transparency and low sheet resistance and then these structures were deposited on glass substrates by ther mal evaporation. In this paper, the effect of parameters such as layer rate, layer thickness, substrate temperature, on structural, optical and electrical properties of these multilayer nanostructures was investigated. The optical transducers for each structure, especially at 550 nm, were 65.8,55.1 and 66.9%, respectively, and the sheet resistance of the electrodes was  $8.38 / 4.26 / 4.38 (\Omega / \Box)$ , respectively.

Keywords: Nanostructure Transparent conductive electrode, Optical transducer, Competency factor ,Surface resistivity.

## مقدمه

در سالهای اخیر استفاده زیاد از اکسیدهای رسانای شفاف تک لایهای و چندلایهای بهخصوص درزمینهی صفحات و وسایل فوتولتائیک (OPV) و دیودهای نور گسیل آلی (OLED) منجر به این امر شده است که تلاشهای بسیاری برای طراحی و ساخت اکسیدهای رسانای شفاف باکیفیت بالا و هزینه پایین انه جام گیرد.اخیراً است فاده وسیع از ITO در وسیا یل ایتوالکترونیکی به یک مشکل بزرگ تبدیل شده است، از یک سو تقاضای زیاد برای فلز ایندیوم و از سوی دیگر محدود بودن منابع، باعث افزایش قیمت آن در سالهای اخیر شده است [۱]. از جهتی دیگر وسایل توسعهیافته و پیشرفته امروزی به الكترودهاى جديد با مقاومت سطحى پايين و خصوصيات اپتیکی بالاتری نسبت به الکترودهای نسل حاضر نیاز دارند. اخیراً برای بهبود بخشییدن به خواص الکتریکی و اپتیکی اکسیدهای رسانای شفاف و یا مواد دیالکتریک استفاده می شود.ساختارهای دی الکتریک (اکسید) / فلز / دی الکتریک (اکسید)، خصو صیات اپتیکی بهتری را نسبت به الکترودهای تک لایهای TCO و یا الکترودهای فلزی فراهم می آورد. به عنوان مثال ساختار ZnS/Cu/Ag/ZnS بهعنوان الكترود شفاف طراحی و ساخته شده است[۲] یکی از عوامل مؤثر بر روی بازدهی خواص لایه فلزی است، که بهعنوان لایه رسانای سطحی می باشد. با تغییر ضخامت لایه یفلز میانی در ساختارهای چندلایه ای میتوان میزان تراگسیل اپتیکی و مقاومت سطحی را کنترل کرد. خصو صیت مهم دیگر ساختار الکترودهای رسانای چندلایهای، شفافیت در ناحیه طیفی موردنظر است. در ساختارهای سه لایهای موردبحث با بهینه کردن ضـخامت لایهها، تراگسـیل در ناحیه مرئی ( eV - ۹۷ ۳,۳) و جذب در ناحیه فرابنفش را می توان بیشینه نمود.

## مواد و روش ساخت

انتخاب دیالکتریک : لایههای، به کاررفته در دو طرف لایهای فلزی نقره به دلیل دارا بودن ضریب شکست بالا، از بازتاب نور فرودی از سطح لایه فلزمی کاهند. با استفاده از فیلم سه لایهای دیالکتریک /فلز/دیالکتریک D/M/D به دلیل نفوذ لایه فلزی به داخل نیمهرسانا، بهبود بخشیدن به خواص بلوری و اپتیکی آن میتوان علاوه بر کنترل و رسانش الکتریکی میزان عبور یا

باز تاب را برای محدوده طول موج موردنظر تنظیم کرد [۳] در ساختارهای الکترودهای ر سانای شفاف نانو ساختار، لایه فلز پارامتر ا صلی در تعیین مقاومت سطحی ا ست. در این پژوهش فلز نقره به علت دارا بودن کمترین مقدار مقاومت ویژه نسبت به سایر فلزات بهترین کاندید برای لایه ی فلز می با شد. در ساختار سه لایه ها علاوه بر ر سانندگی فلز، شفافیت و مقاومت سطحی به شدت وابسته به ضخامت لایه است [۴].

روش ساخت : به منظور طراحی سیستم های سه لایه ای مد نظر با استفاده از نظریه ماتریس انتقال لایههای نازک هر سه ساختار در محیط نرم افزار Mathcad شبیه سازی شد . سیس با کمک ضخامتهای محاسبه شده هر سه نوع ساختار به روش تبخیر حرارتی روی بسترهای شیشهای انباشت شدند. زیر لایههای شیشهای به ابعاد ۲۰ × ۱۰ میلیمتر پس از شستو شو اولیه با آب و صابون و حلالهای ایزوپروپانول، ا ستون، اتانول و آب یونیزه شــده جهت چربی زدایی که در هر مرحله به مدت ۱۸دقیقه مورد شــسـتوشـو قرار گرفتند و در ادامه در دمای ۱۲۰درجه سانتی گراد در دستگاه آون آزمایشگاهی خشک شدند.برای اندازه گیری ضخامت لایهها از دستگاه ضخامت سنج بلور کوارتز استفاده شده است که در هرلحظه می تواند ضخامت لایه و آهنگ انباشت را در حین لایه نشانی بر روی صفحه نمایشــگر نشـان دهد. فلز Ag و یودرهای ZnS ،MoO<sub>3</sub> ، WO3 ،V2O5 با خلوص ۹۹٬۹۹ درصد در هر بار فرایند لایه نشانی در بوتههای تنگستن و مولیبدن قرار داده شدند و پس از اعمال خلاً توسط پمپ مکانیکی و دیفیوژن تا فشار<sup>۴</sup>-۱۰ ۲,۲X میلی بار می رسـد.جهت لایه نشـانی سـاختار / (۲۲) V2O5/ MoO<sub>3</sub> (۳۹,۹) /Ag(۲۱,۴) با اء مال جریان ۱۴ آمپر به بوتهی مولیبدن حاوی پودر اکسید مولیبدن با نرخ ۰٫۱ نانومتر بر ثانیه و با ضخامت۳۹,۹ نانومتر انجام گرفت . و پسازآن بدون شکستن خلأ با اعمال جریان ۳۵ آمپر به بوتهی تنگستن حاوی فلز نقره با نرخ ۰٫۱ نانومتر بر ثانیه باضـخامت ۲۱٫۴ نانومتر صورت گرفت. سپس تحت همان فشار با اعمال جریان ۲۸ آمپر به بوتهی تنگستن حاوی پودر وانادیم پنتا اکسید با نرخ لایه نشانی ۰٫۱ نانومتر بر ثانیه انجام شد برای لایه نشانی دو الکترود شرايط و نحوه MoO\_3/Ag/ZnS  $\cdot$  MoO\_3/Ag/WO\_3 لایه نشانی همانند مراحل بیان شده است ، تنها تفاوت ، در ضخامتها و مقدار جریان اعمال شده به بوتهها و نوع بوته است که به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱ مشخصات فرآیند انباشت سه لایه MoO<sub>3</sub>/Ag/WO<sub>3</sub>

لايدها	مارہ	جريان بوته(آمپر)	فشار(میلی بار) ( ۱۰ <sup>- ۲</sup> - mbar	جنس بوته	ضخامت(mm)
١	MoO <sub>3</sub>	١٢	۲,۳	Mo	۳۹,۳
۲	Ag	٣٣	٢,٢	W	۲۱,۷
٣	WO <sub>3</sub>	۶۷	٢,٢	W	۲۲٫۸

## نتايج و بحث

در تنظیمات مربوط به ضخامت سنج، ضریب تصحیح نیاز است تا ضخامت مواد به طور واقعی لایه نشانی و نمایش داده شوند. برای به دست آوردن ضریب تصحیح فلز Ag و پودرهای برای به دست آوردن ضریب تصحیح فلز Ag و پودرهای تصحیح ۱ در بوتههای جداگانه بر روی بسترهای شیشهای با ضخامت معلوم لایه نشانی شدند. ضریب تصحیح به صورت حاصل تقسیم مقدار واقعی ضخامت لایه نشانی شده به مقدار واقعی نشان داده شده با ضریب تصحیح ۱ توسط ضخامت سنج دستگاه تعریف میشود.



شکل ۱ تصویر FE-SEM گرفتهشده از وانادیم اکسید

شکل ۱ تصویر FE-SEM وانادیم اکسید است که با ضریب تصحیح ۱ و ضخامت ۲۰٫۵ نانومتر لایه نشانی شده است برای به دست آوردن ضریب تصحیح وانادیم اکسید، میانگین L۱٫L2 که ضخامتهای واقعی مقدار ۶۶٫۰۸ ، ۶۶٫۰۸ روی بسترهای شیشهای لایه نشانی شدهاند را به دست می آید و بر ۲۰٫۵ تقسیم می شود به این ترتیب ضریب تصحیح برای وانادیم اکسید مقدار ۳٫۳۷ به دست می آید و برای MoO3 ، Ag ، ZnS

جدول ۲ مشخصات فرآیند انباشت سه لایه MoO<sub>3</sub>/Ag/ZnS

لايهها	ماده	جريان بوته(آمپر)	فشار(میلی بار) ( mbar <sup>t-1</sup> )	جنس بوته	ضخامت(mm)
١	MoO <sub>3</sub>	۱۳	٢	Mo	47,4
۲	Ag	۳۵	۲,۱	W	۲۰,۷
٣	ZnS	۷۲	۲,۱	W	۲۱

 $WO_3$  ضریب تصحیح به ترتیب ۱۰,۰۱، ۵٫۸، ۲٫۳۷، ۲٫۳۷، ۵٫۰۲ به دست آمد. به منظور بررسی خواص اپتیکی و الکتریکی ساختارها و مقاومت سطحی الکترودهای نانو ساختار شفاف سه لایه، طیف تراگسییل آنها به ترتیب با دستگاه پروب چهار نقطهای و اسپکتوفتومتر دو پرتویی اندازه گیری شدند، سپس با اندازه گیری تراگسیل اپتیکی در طول موج ۵۵۰ نانومتر، مقاومت سطحی و فاکتور شایستگی ( $\varphi_m$ ) محاسبه شد که این کمیت به صورت زیر تعریف می شود [۵].

$$\varphi_m = \frac{T^{10}}{R_s} \tag{1}$$

که در آن T نشاندهنده تراگسیل اپتیکی در طول موج ۵۵۰ و  $R_S$  مقاومت سطحی است، این عامل نشاندهنده عملکرد خوب ساختارها ازلحاظ اپتیکی و الکتریکی است. در جدول  $\pi$  نتایج این محاسبات را نشان میدهد که با نتایج سایر پژوهشها از تطابق مناسبی برخوردار است[8]

جدول ۳ مشخصات الکتریکی و اپتیکی سه الکترود ساختهشده

ساختارها	$T_{550nm} \ \%$	$arphi_m$ ( $\Omega/\Box$ )	Rs
MoO <sub>3</sub> /Ag/V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۵۵,۱	4,77	۰,۰۱۴
MoO <sub>3</sub> /Ag/ZnS	88,9	۸,۳۸	• ,• ٢٢
MoO <sub>3</sub> /Ag/WO <sub>3</sub>	۶۵,۸	4,79	۰,۰۲

همان طور که بیان شد نخست طراحی الکترودهای نامبرده توسط نرمافزار Mathcad انجام گرفت و سپس ساختار الکترود سه لایهای شفاف در آزمایشگاه لایه نشانی در مقیاس آزمایشگاهی به صورت تجربی ساخته شد. در شکل ۲ و ۳ به ترتیب طیف تراگسیل اپتیکی به صورت تجربی و شبیه سازی شده

هر سه الکترود ساخته شده نشان داده شده است و بیانگر این است که روند تجربی ساخت سه لایه ها با روند شبیه سازی آنها با نرم افزار از همخوانی مناسبی برخوردار است. . اختلاف کوچکی که بین نمودار تراگسیل تجربی با شبیه سازی ساختار ها وجود دارد به این علت است که در شبیه سازی ساختارها



شکل ۲ نمودار تراگسیل اپتیکی ساختار های ساخته شده و شفافیت سهلایهای رسانای ساختهشده در آزمایشگاه

نتيجهگيرى

با توجه به کارهای تجربی انجامشده اندازه گیریهای صورت گرفته روی نمونه های ساخته شده می توان بیان کرد که، شبیه سازی، طراحی و ساخت الکترودهای ر سانای شفاف سه MOO3/Ag/WO3، MOO3/Ag/V2O5، MOO3/Ag/ZnS ، MOO3/Ag/ZnS با داشتن سه ویژگی همزمان، تراگسیل ایتیکی بالا در ناحیه مرئی و باز تاب مناسب در نواحی دیگر، شفافیت مناسب و رسانندگی بالا ازنظر الکتریکی و ایتیکی شفافیت مناسب و رسانندگی بالا ازنظر الکتریکی و ایتیکی جبهت استفاده در قطعات ایتوالکترونیک نظیر دیودهای نور به شمار می روند. همچنین جایگزین مناسب برای الکترودهای طلا در سلول های خورشیدی پروسکایتی می باشد.

مرجعها

1. Lim, Sooyeon, et al. "Cu-based multilayer transparent electrodes: a low-cost alternative to ITO electrodes in

ضریب شکست حالت بالک مواد در نظر گرفته شده است اما ساخت سه لایه ها در مقیاس نانومتر می با شند. در شکل ۲ تصویری از نمونههای ساخته شده در آزمایشگاه به روش تبخیر حرارتی نمایش دادهشده است. شفافیت سه لایههای ساخته شده به خوبی قابل مشاهده است.



organic solar cells." Solar Energy Materials and Solar Cells 101 (2012): 170-175.

2. Hssein, M., et al. "Cu-Ag bi-layer films in dielectric/metal/dielectric transparent electrodes as ITO free electrode in organic photovoltaic devices." Organic Electronics 42 (2017): 173-180.

3. Bao, Jie, et al. "INFLUENCE OF THE BOTTOM WO3 LAYER ON THE SERIES RESISTANCE IN SILICON BASED SOLAR CELLS WITH WO3/AG/WO3 EMITTER."

4. Sun, Xilian, et al. "Thickness dependence of structure and optical properties of silver films deposited by magnetron sputtering." Thin Solid Films 515.17 (2007): 6962-6966.

5. Haacke, G. "New figure of merit for transparent conductors." Journal of Applied Physics 47.9 (1976): 4086-4.

6. Bae, Hyeong Woo, et al. "Thermally Evaporated Organic/Ag/Organic Multilayer Transparent Conducting Electrode for Flexible Organic Light-Emitting Diodes." Advanced Electronic Materials (2019).