بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

شبیه‌سازی اپتیکی و ساخت الکترودهای شفاف رسانای نانو ساختار $MoO_3/Ag/D$ 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 $MoO_3/Ag/V_2O_5$، $MoO_3/Ag/WO_3$، $MoO_3/Ag/ZnS$ با ضخامت‌های بهینه به ترتیب ۳۹,۹/۲۱,۴/۲۲ و ۲۲,۸/ ۳۹,۳/۲۱,۷ و ۲۱/ ۲۰,۷/ ۴۲,۴ 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 نشـــانی، ضـــخامت لایه‌ها، دمای زیر لایه‌ها، روی ویژگی های ســـاختاری، اپتیکی و الکتریکی، این نانو ساختارهای چندلایه ای بررسی شد. تراگسیل اپتیکی برای هر ساختار به‌ویژه در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر به ترتیب به‌صورت ۵۵,۱%، ۶۵,۸%، ۶۶,۹% و مقاومت سطحی الکترودهای ساخته‌شده به ترتیب(Ω/□) ۴,۳۸، ۴,۲۶، ۸,۳۸ به دست آمد.

کلید واژه-الکترود رسانای شفاف نانوساختار ، تراگسیل اپتیکی ، فاکتور شایستگی، مقاومت سطحی .

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 thermal 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 (Ω / □), respectively.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

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 انجام گیرد.اخیراً استفاده وسیع از ITO در وسایل اپتوالکترونیکی به یک مشکل بزرگ تبدیل‌شده است، از یک‌سو 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 الکترودهای جدید با مقاومت سطحی پایین و خصوصیات اپتیکی بالاتری نسبت به الکترودهای نسل حاضر نیاز دارند. اخیراً برای بهبود بخشیدن به خواص الکتریکی و اپتیکی اکسیدهای رسانای شفاف و یا مواد دی‌الکتریک استفاده می‌شود.ساختارهای دی‌الکتریک (اکسید) / فلز/ دی‌الکتریک (اکسید)، خصوصیات اپتیکی بهتری را نسبت به الکترودهای تک لایه‌ای TCO و یا الکترودهای فلزی فراهم می‌آورد. به عنوان مثال ساختار ZnS/Cu/Ag/ZnS به‌عنوان الکترود شفاف طراحی و ساخته‌شده است[۲] یکی از عوامل مؤثر بر روی بازدهی خواص لایه فلزی است، که به‌عنوان لایه رسانای سطحی می‌باشد. با تغییر ضخامت لایه‌ی فلز میانی در ساختارهای چندلایه‌ای می‌توان میزان تراگسیل اپتیکی و مقاومت سطحی را کنترل کرد. خصوصیت مهم دیگر ساختار الکترودهای رسانای چندلایه‌ای، شفافیت در ناحیه طیفی موردنظر است. در ساختارهای سه لایه‌ای موردبحث با بهینه کردن ضخامت لایه‌ها، تراگسیل در ناحیه مرئی (۱,۷- eV ۳,۳) و جذب در ناحیه فرابنفش را می‌توان بیشینه نمود.

مواد و روش ساخت

انتخاب دی‌الکتریک : لایه‌های، به‌کاررفته در دو طرف لایه‌ای فلزی نقره به دلیل دارا بودن ضریب شکست بالا، از بازتاب نور فرودی از سطح لایه فلزی 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 بازتاب را برای محدوده طول‌موج موردنظر تنظیم کرد[۳] در ساختارهای الکترودهای رسانای شفاف نانو ساختار، لایه فلز پارامتر اصلی در تعیین مقاومت سطحی است. در این پژوهش فلز نقره به علت دارا بودن کمترین مقدار مقاومت ویژه نسبت به سایر فلزات بهترین کاندید برای لایه‌ی فلز می‌باشد. در ساختار سه لایه‌ها علاوه بر رسانندگی فلز، شفافیت و مقاومت سطحی به‌شدت وابسته به ضخامت لایه است[۴] .

روش ساخت : به منظور طراحی سیستم های سه لایه‌ای مد نظر با استفاده از نظریه ماتریس انتقال لایه‌های نازک هر سه ساختار در محیط نرم افزارMathcad شبیه‌سازی شد . سپس با کمک ضخامت‌های محاسبه‌شده هر سه نوع ساختار به روش تبخیر حرارتی روی بسترهای شیشه‌ای انباشت شدند. زیر لایه‌های شیشه‌ای به ابعاد ۲۰ × ۱۰میلی‌متر پس از شست‌وشو اولیه با آب و صابون و حلال‌های ایزوپروپانول، استون، اتانول و آب یونیزه شده جهت چربی زدایی که در هر مرحله به مدت ۱۸دقیقه مورد شست‌وشو قرار گرفتند و در ادامه در دمای ۱۲۰درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون آزمایشگاهی خشک شدند.برای اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ها از دستگاه ضخامت سنج بلور کوارتز استفاده شده است که در هرلحظه می‌تواند ضخامت لایه و آهنگ انباشت را در حین لایه نشانی بر روی صفحه نمایشگر نشان دهد. فلز Ag و پودرهای MoO_3، ZnS ، V_2O_5، WO_3 با خلوص ۹۹,۹۹ درصد در هر بار فرایند لایه نشانی در بوته‌های تنگستن و مولیبدن قرار داده شدند و پس از اعمال خلأ توسط پمپ مکانیکی و دیفیوژن تا فشار$^{-۴}$۱۰ ×۲,۲ میلی بار می رسد.جهت لایه نشانی ساختار / (۲۲) V_2O_5/ (۲۱,۴)Ag/ (۳۹,۹) MoO_3 با اعمال 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 باضخامت 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 $MoO_3/Ag/WO_3$ ، $MoO_3/Ag/ZnS$ شرایط و نحوه لایه نشانی همانند مراحل بیان‌شده 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.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

جدول ۱ مشخصات فرآیند انباشت سه لایه $MoO_3/Ag/WO_3$

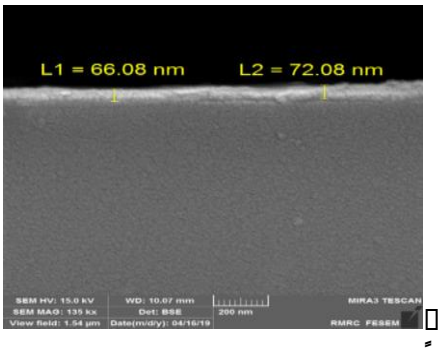
لایه‌ها	ماده	جریان بوته(آمپر)	فشار(میلی بار) ($mbar^{-4}10$)	جنس بوته	ضخامت(nm)
۱	MoO_3	۱۲	۲,۳	Mo	۳۹,۳
۲	Ag	۳۳	۲,۲	W	۲۱,۷
۳	WO_3	۶۷	۲,۲	W	۲۲,۸

جدول ۲ مشخصات فرآیند انباشت سه لایه $MoO_3/Ag/ZnS$

لایه‌ها	ماده	جریان بوته(آمپر)	فشار(میلی بار) ($mbar^{-4}10$)	جنس بوته	ضخامت(nm)
۱	MoO_3	۱۳	۲	Mo	۴۲,۴
۲	Ag	۳۵	۲,۱	W	۲۰,۷
۳	ZnS	۷۲	۲,۱	W	۲۱

نتایج و بحث

در تنظیمات مربوط به ضخامت سنج،ضریب تصحیح نیاز است تا ضخامت مواد به‌طور واقعی لایه نشانی و نمایش داده شوند. برای به دست آوردن ضریب تصحیح فلز Ag و پودرهای MoO_3، ZnS، V_2O_5 ، WO_3 ابتدا به صورت تک لایه با ضریب 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 واناديم اکسید است که با ضریب تصحیح ۱ و ضخامت ۲۰,۵ نانومتر لایه نشانی شده است برای به دست آوردن ضریب تصحیح واناديم اکسید، میانگین L_1,L_2 که ضخامت‌های واقعی مقدار ۷۲,۰۸ ، ۶۶,۰۸ روی بسترهای شیشه‌ای لایه نشانی شده‌اند را به دست می آید و بر ۲۰,۵ تقسیم می‌شود به‌این‌ترتیب ضریب تصحیح برای واناديم اکسید مقدار ۳,۳۷ به دست می آید و برایMoO_3 ، ZnS ، Ag ، WO_3 ضریب تصحیح به ترتیب ۱۰,۰۱، ۰,۵۸ ، ۲,۳۷، ۵,۰۲ به دست آمد. به‌منظور بررسی خواص اپتیکی و الکتریکی ساختارها و مقاومت سطحی الکترودهای نانو ساختار شفاف سه لایه، طیف تراگسیل آن‌ها به ترتیب با دستگاه پروب چهار نقطه‌ای و اسپکتوفتومتر دو پرتویی اندازه‌گیری شدند، سپس با اندازه‌گیری تراگسیل اپتیکی در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر، مقاومت سطحی و فاکتور شایستگی (φ_m) محاسبه شد که این کمیت به‌صورت زیر تعریف می‌شود[۵].

$$\varphi_m = \frac{T^{10}}{R_s} \qquad (1)$$

که در آن T نشان‌دهنده تراگسیل اپتیکی در طول‌موج ۵۵۰ وR_S مقاومت سطحی است، این عامل نشان‌دهنده عملکرد خوب ساختارها ازلحاظ اپتیکی و الکتریکی است. در جدول۳ نتایج این محاسبات را نشان می‌دهد که با نتایج سایر پژوهش‌ها از تطابق مناسبی برخوردار است[۶]

جدول ۳ مشخصات الکتریکی و اپتیکی سه الکترود ساخته‌شده

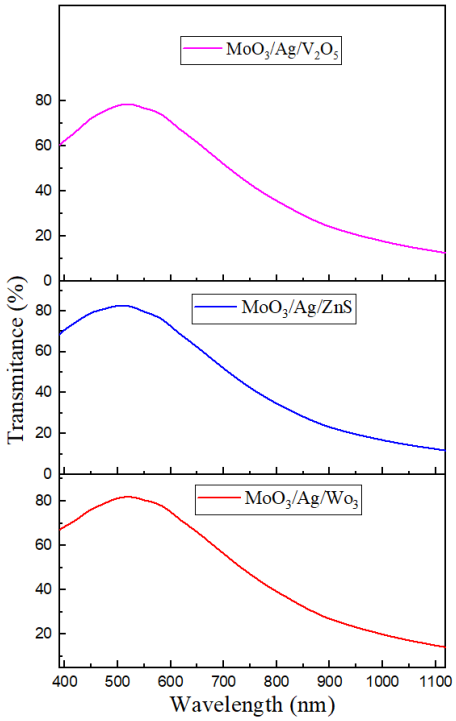
ساختارها	T_{550nm} %	φ_m (Ω/□)	Rs
$MoO_3/Ag/V_2O_5$	۵۵,۱	۴,۳۸	۰,۰۱۴
$MoO_3/Ag/ZnS$	۶۶,۹	۸,۳۸	۰,۰۲۲
$MoO_3/Ag/WO_3$	۶۵,۸	۴,۲۶	۰,۰۲

همان‌طور 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 به‌صورت تجربی ساخته شد. در شکل۲ و ۳ به ترتیب طیف تراگسیل اپتیکی به‌صورت تجربی و شبیه‌سازی‌شده

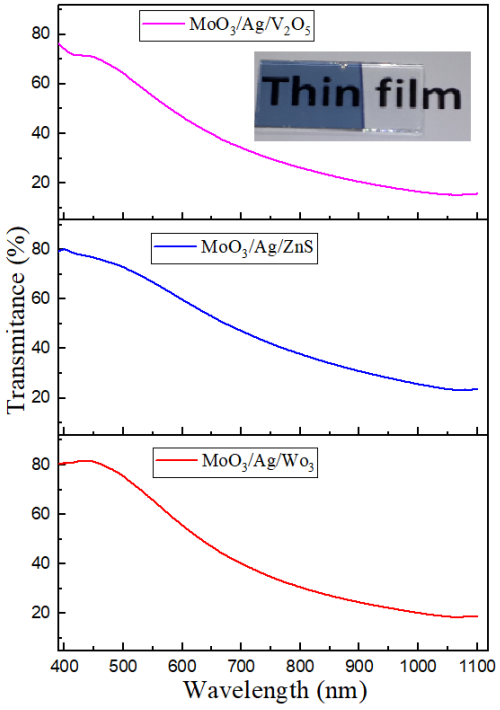
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

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 ضریب شکست حالت بالک مواد در نظر گرفته شده است اما ساخت سه لایه ها در مقیاس نانومتر می باشند. در شکل۲ تصویری از نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه به روش تبخیر حرارتی نمایش داده‌شده است. شفافیت سه لایه‌های ساخته‌شده به‌خوبی قابل‌مشاهده است.



شکل ۱ نمودار های ترا گسیل اپتیکی ساختارهای شبیه سازی شده



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

نتیجه‌گیری

با توجه به کارهای تجربی انجام‌شده اندازه‌گیری‌های صورت گرفته روی نمونه‌های ساخته‌شده می‌توان بیان کرد که، شبیه سازی، طراحی و ساخت الکترودهای رسانای شفاف سه لایه‌ای $MoO_3/Ag/V_2O_5$، $MoO_3/Ag/WO_3$، $MoO_3/Ag/ZnS$ با داشتن سه ویژگی همزمان، تراگسیل اپتیکی بالا در ناحیه مرئی و بازتاب مناسب در نواحی دیگر، شفافیت مناسب و رسانندگی بالا ازنظر الکتریکی و اپتیکی جهت استفاده در قطعات اپتوالکترونیک نظیر دیودهای نور گسیل آلی و سلول‌های خورشیدی نسل سوم ساختاری مناسب به شمار می‌روند. همچنین جایگزین مناسب برای الکترودهای طلا در سلول‌های خورشیدی پروسکایتی می‌باشد.

مرجع‌ها

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.