

Comparison of Optical Properties of Aluminum-doped Zinc Oxide (AZO) and Tin-doped Indium Oxide (ITO) Nanostructure Layers¹

Somaye Davodi² and Maryam Gheshlaghi^{3*}

Received: 2020.02.05

Accepted: 2020.10.07

Abstract

The optical properties of aluminum-doped zinc oxide (AZO) and tin-doped indium oxide (ITO) thin films on glass and the flexible polymer substrate (PET) are studied and are compared. The purpose of this study is to obtain optimal layers with a minimum specific resistance and a clear transparency in the visible area. In the AZO and ITO coatings, two anti-reflective coatings for different applications are designed to increase transmission by the MacLeod coating software. For the two coating types, the highest transmission through the visible area (400 to 700 nm) was 98.01% and 95.41% for the AZO coatings and 81.85% and 79.45% for the ITO coatings. Also, by changing the substrate from glass to PET for the single layer of AZO and ITO, the average percentage of light transmission increased, and the rate of change in light transmission per wavelength was decreased. For two types of anti-reflective coatings of AZO and ITO layers, by changing the substrate from glass to PET, the highest transmission in the visible area (400 to 700 nm) was to 97.87 and 96.18% for AZO coatings and 82.23% and 80.04% for ITO coatings.

Keywords: *Aluminum-doped Zinc Oxide (AZO), Tin-doped Indium Oxide (ITO), Polymer Substrate (PET).*

¹ DOI: 10.22051/jap.2020.30199.1148

² M.Sc. in Physics, Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI). Email: sdavodi@aeoi.org.ir

³ Assistant Professor, Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), (Corresponding Author). Email: mgheshlaghi@aeoi.org.ir

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهرا
سال دهم، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

مقایسه خواص اپتیکی لایه‌های نانوساختار اکسید روی آلاییده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم آلاییده با قلع ITO^۱

سمیه داودی^۳ و مریم قشلاقی^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۶

چکیده

در این پژوهش، خواص اپتیکی لایه‌نازک اکسید روی آلاییده با آلومینیوم (AZO) و لایه‌نازک اکسید ایندیوم آلاییده با قلع (ITO) بر زیرلایه شیشه و زیرلایه پلیمری انعطاف پذیر (پلی اتیلن) PET بررسی شد. سپس فیلترهای فوق با یکدیگر مقایسه شدند. هدف این پژوهش، به دست آوردن لایه بهینه با مقاومت ویژه کمینه و شفافیت مناسب در ناحیه طول موج مرئی است. در لایه‌نشانی‌های AZO و ITO، برای افزایش قابلیت عبور، دو نوع پوشش ضدانعکاسی برای اهداف کاربردی مختلف، با استفاده از نرم افزار لایه‌نشانی مکلود، طراحی شده است. برای دو نوع لایه‌نشانی، بالاترین میزان عبور در ناحیه مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) به ترتیب برای لایه‌نشانی‌های AZO، ۹۸/۰۱ و ۹۵/۴۱ درصد و برای لایه‌نشانی‌های ITO، ۸۱/۸۵ و ۷۹/۴۵ درصد شد. همچنین با تغییر زیرلایه از

¹ DOI: 10.22051/jap.2020.30199.1148

^۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فوتونیک و

فناوری‌های کوانتومی. Email: sdavodi@aeoi.org.ir

^۴ استادیار، گروه فیزیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی. (نویسنده

مسئول). mgheshlaghi@aeoi.org.ir

۵۴ / مقایسه خواص اپتیکی لایه‌های نانوساختار اکسید روی آلاینده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم ...

شیشه به زیرلایه پلیمری برای تک‌لایه‌های AZO و ITO، نه تنها میانگین درصد عبور نور افزایش یافت بلکه نواخت تغییرات درصد عبور نور به طول‌موج کمتر بود. برای دو نوع پوشش ضدانعکاسی لایه‌نشانی‌های AZO و ITO، نیز با تغییر زیرلایه از شیشه به PET، بیشترین میزان عبور در ناحیه مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) به ترتیب برای لایه‌نشانی‌های AZO به ۹۷/۸۷ و ۹۶/۱۸ درصد و برای لایه‌نشانی‌های ITO به ۸۲/۲۳ و ۸۰/۰۴ درصد رسید.

واژگان کلیدی: پوشش ضدانعکاسی، اکسید ایندیوم آلاینده با قلع (ITO)، اکسید روی آلاینده با آلومینیوم (AZO)، زیرلایه پلیمری (PET).

۱. مقدمه

لایه‌های نازک از اکسیدهای رسانای شفاف^۸ (TCO) در بسیاری از کاربردهای صنعتی مانند یاخته خورشیدی، صفحه نمایش تخت سه‌بعدی و دیود نوری به علت شفافیت آن‌ها در طول‌موج مرئی، انرژی اتصال اکسایتونی بزرگ و مقاومت کم، به کار می‌رود [۱]. ZnO به عنوان یک نیمه‌هادی با شکاف نواری مستقیم، انرژی بیش از ۳/۳ eV و بیش از ۶۰ مگاوات انرژی اتصال اکسیتون دارد. لایه‌های نازک اکسید تیتانیم ایندیوم ITO از گروه اکسیدهای نادر خاکی نوع n هستند، که به دلیل شفافیت نوری مناسب بیشتر از ۸۰ درصد و مقاومت الکتریکی کمتر از 10^{-4} اهم سانتی‌متر، در ساخت صفحه نمایشگرهای تخت بلور مایع، و افزارهای فتولتایی کاربرد گسترده‌ای دارند [۲]. همچنین، لایه‌های نازک ITO به طور گسترده به عنوان مواد رسانای شفاف در بسیاری از زمینه‌های الکترونیکی نوری نظیر دیودهای نور گسیل مواد آلی کاربرد دارند [۳]. در برخی کاربردها از جمله ساخت یاخته‌های خورشیدی، حداکثر مقدار شفافیت و رسانندگی مدنظر است. امروزه، لایه‌های نازک AZO به طرز امیدوارکننده‌ای به عنوان یک TCO نوع n برای جایگزینی به جای لایه‌های نازک اکسید تیتانیم ایندیوم (ITO) بررسی شده‌اند، زیرا غیرسمی و مقرون به صرفه هستند. برتری لایه‌های نازک AZO با مقاومت کم در حدود 10^{-4} اهم سانتی‌متر، نه تنها کاربردهای گسترده‌ای در صفحه نمایش انعطاف‌پذیر و یاخته‌های خورشیدی نازک به عنوان الکترودهای شفاف هادی دارد، بلکه نقش مهمی نیز در ناحیه مادون قرمز به عنوان نیمه‌هادی‌های شفاف کم‌نشر دارد. پوشش‌های کم‌نشر اشعه مادون قرمز به طور گسترده در کاربردهای اجتماعی و نظامی مانند صنایع کنترل اتلاف گرما یا تجهیزات نظامی مسلح استفاده می‌شود [۴].

⁸ Transparent conductive oxides

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال دهم، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹ / ۵۵

در زمینه لایه‌های نازک TCO، این پژوهش‌ها انجام شده است: بررسی خواص الکتریکی و اپتیکی لایه نازک ITO که به شدت متأثر از شرایط لایه‌نشانی نظیر دمای زیرلایه، نواخت لایه‌نشانی، تغییر شار گاز اکسیژن و آرگون، فشار کل محفظه قبل و حین لایه‌نشانی، توان پلاسما، ضخامت لایه‌ها و نیز کیفیت سطح و جنس زیرلایه است [۵، ۶]. تأثیر توان پلاسما در خواص اپتیکی و الکتریکی فیلم ITO بررسی شد [۷]. تأثیر دمای زیرلایه در خواص فیزیکی و اپتیکی لایه نازک ITO که به شیوه کندوپاش جریان مستقیم DC در دماهای بین ۲۰۰ تا ۴۵۰°C لایه‌نشانی شده بود، مطالعه شد [۸]. تأثیر شار گاز آرگون در زبری سطح لایه نازک نانومتری ITO به روش کندوپاش DC، بررسی کردند [۹]. اثر ناخالص‌سازی در ثابت‌های اپتیکی لایه‌های نازک ZnO بررسی شد [۱۰]. خصوصیات اپتیکی لایه‌های ZnO که فلز آلومینیوم روی آن تزریق شده، در محدوده مادون قرمز بررسی شد و جذب آن مطالعه شد [۱۱].

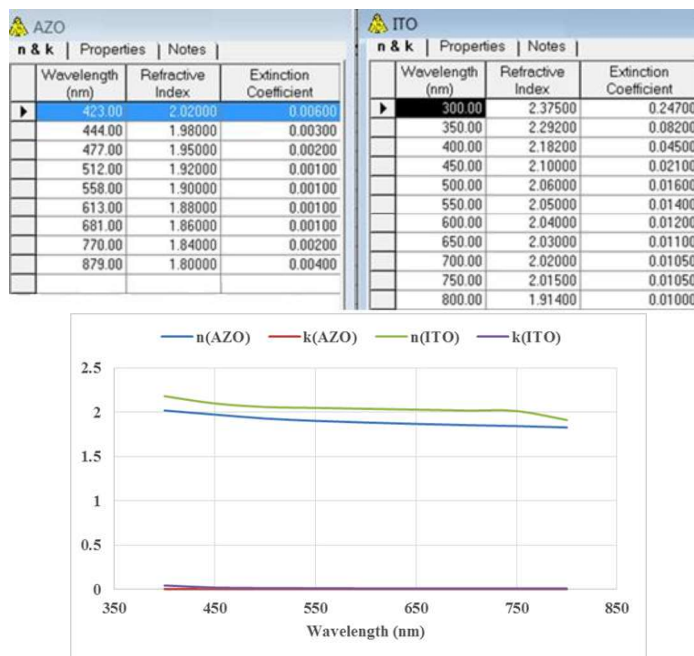
در این پژوهش، خواص اپتیکی لایه‌های نانوساختار اکسید روی آلاییده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم آلاییده با قلع ITO، به صورت شبیه‌سازی با روش طراحی نانوساختارهای فوق با استفاده از نرم‌افزار لایه‌نشانی مک‌لئود (Macleod) بررسی و مقایسه شد.

۲. دی‌الکتریک‌های AZO و ITO

جدول ۱ قسمت‌های حقیقی و موهومی ضرایب شکست دو ماده AZO و ITO را نشان می‌دهد. این مقادیر از نرم‌افزار لایه‌نشانی مک‌لئود استخراج شده است و نمودار شکل ۱ مقایسه قسمت‌های حقیقی و موهومی ضرایب شکست دو ماده AZO و ITO است، که بر اساس داده‌های جدول ۱ رسم کردیم. پیش‌فرض روش لایه‌نشانی در این نرم‌افزار، انباشت فیزیکی در خلأ (PVD) است. لذا، لایه‌ها بلوری در نظر گرفته می‌شود و سطح لایه‌ها یکنواخت (البته بسته به ضخامت لایه‌ها هرچه ضخامت بیشتر باشد یکنواخت‌تر است) و به‌صورت ترکیبی اتمی است. چنانکه ملاحظه می‌شود، ضریب شکست ITO (هر دو قسمت حقیقی و موهومی) در ناحیه مرئی بیشتر از ضریب شکست AZO است.

جدول ۱ قسمت‌های حقیقی و موهومی ضرایب شکست دو ماده AZO و ITO.

۵۶ / مقایسه خواص اپتیکی لایه‌های نانوساختار اکسید روی آلاینده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم ...



شکل ۱ قسمت‌های حقیقی و موهومی ضرایب شکست دو ماده AZO و ITO.

فیلم‌های نازک AZO را می‌توان با روش‌های مختلفی از قبیل اسپکترومغناطیسی مگنترون [۱۲]، رسوب بخار شیمیایی، رسوب تپی لیزر [۱۳]، همبافت پرتومولکولی، افشانه پریولیز و رسوب (الکترو) شیمیایی تهیه کرد.

با این حال، یک تک‌لایه AZO امکان عبور زیاد را نمی‌دهد و مقاومت ناچیزی در برابر هوای فشرده دارد؛ بنابراین ساختار پیچیده‌تری لازم است. دو نوع پوشش ضد انعکاسی که موجب بیشتر شدن مقدار عبور از فیلم‌های AZO می‌شود، اثبات شده است: در نوع اول، لایه نازک AZO به عنوان لایه درونی استفاده می‌شود؛ در نوع دوم، لایه نازک AZO به عنوان لایه بالای انتخاب شده است. نوع زیرلایه نیز می‌تواند درصد عبور را تغییر دهد. در این پژوهش، تمامی لایه‌نشانی‌های فوق جداگانه با دو نوع زیرلایه شیشه و PET طراحی شد. ضخامت لایه‌ها با ضخامت اپتیکی مشخص می‌شود و طول موج مرکزی ۵۵۰ نانومتر است. ضرایب قبل از ماده نیز، نسبت طول موج مرکزی است.

۳. طراحی لایه‌نشانی AZO با زیرلایه شیشه

استفاده از لایه‌نشانی‌های ضد انعکاسی راه خوبی برای افزایش عبور از فیلترهاست و آن‌ها را در برابر هوا محافظت می‌کند و از این طریق، اهداف کاربردی آن‌ها را گسترش می‌دهد. با استفاده از

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال دهم، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹ / ۵۷

نرم افزار طراحی اپتیکی Macleod، دو نوع لایه نشانی ضد انعکاسی طراحی شده است. جزئیات لایه نشانی طراحی شده در جدول ۲ نشان داده شده و عبور نور از تمام نمونه ها در شکل ۲ ارائه شده است.

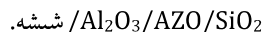
طراحی لایه های اپتیکی شامل دو بخش است: در طراحی اول، لایه نازک AZO به عنوان لایه داخلی و در طراحی دوم به عنوان لایه بالایی استفاده می شود. ضخامت فیلم ها با ضخامت اپتیکی مشخص می شود و طول موج مرکزی آن ۵۵۰ نانومتر است.

ابتدا لایه نازک AZO به تنهایی بر زیر لایه شیشه ای لایه نشانی شد. سپس دو نوع لایه نشانی ذکر شده به شرح زیر انجام شد. در نوع اول، لایه نازک AZO به عنوان لایه داخلی استفاده می شود و مواد با ضریب شکست کم، SiO_2 و Al_2O_3 به عنوان لایه ضد انعکاس برای بهینه سازی نوری استفاده می شود. هر دو SiO_2 و Al_2O_3 دارای انتقال حرارت خوب در ناحیه طول موج مادون قرمز هستند، بنابراین آن ها در تابش اشعه مادون قرمز از لایه نازک AZO تاثیر نمی گذارد.

سیستم لایه نشانی نوع اول را می توان به شرح زیر توصیف کرد:



و

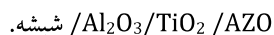


همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده، میانگین عبور سیستم $\text{AZO} / \text{SiO}_2$ شیشه ممکن است در ناحیه مرئی (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) به ۹۳/۱۳٪ برسد و بیشترین مقدار عبور ۹۸/۰۱٪ است که در مقایسه با تک لایه AZO بهبود اپتیکی حاصل شده است. برای سیستم لایه نشانی سه لایه، Al_2O_3 به عنوان یک لایه بافر در بین شیشه و AZO استفاده شد که می تواند چسبندگی بین زیر لایه و لایه نازک AZO را بهبود بخشد. در این سیستم سه لایه، بیشترین و میانگین عبور به ترتیب ۹۷/۸۹٪ و ۹۳/۳۶٪ است. لایه SiO_2 که به عنوان لایه بالایی استفاده می شود می تواند از لایه نازک AZO در برابر خوردگی محیطی محافظت کند. این لایه نشانی ها را می توان برای پنجره شیشه ای کابین خلبان هواپیما استفاده کرد، که نیاز به کاهش اشعه مادون قرمز و هدایت الکتریکی بالا دارد.

در نوع دوم، لایه نازک AZO به عنوان لایه بالایی انتخاب شده است:



و



۵۸ / مقایسه خواص اپتیکی لایه‌های نانوساختار اکسید روی آلیپیده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم ...

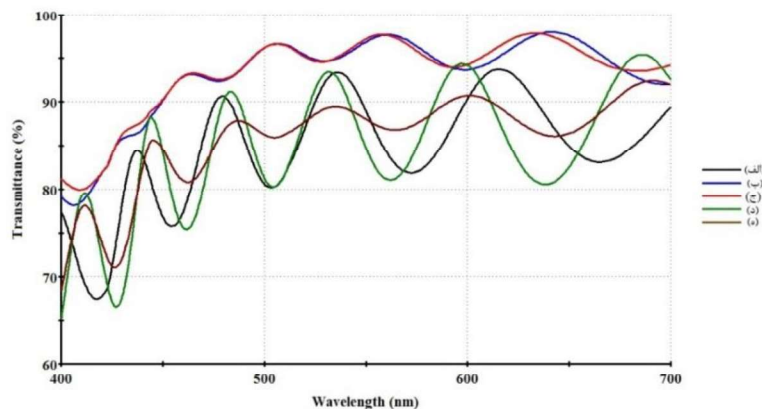
لایه TiO_2 به عنوان ماده دارای ضریب شکست عالی و SiO_2 به عنوان ماده دارای ضریب شکست کم و Al_2O_3 به عنوان یک لایه بافر استفاده شد.

جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین عبور در ناحیه مرئی برای سیستم دولایه (TiO_2 / AZO / شیشه) ۸۴/۹۹ درصد و سیستم سه‌لایه ($Al_2O_3 / TiO_2 / AZO$ / شیشه) ۸۵/۹۹ درصد است که از ۸۴/۵۸ درصد تک‌لایه AZO بیشتر است.

برای سیستم ($Al_2O_3 / TiO_2 / AZO$ / شیشه)، کمترین میزان عبور ۶۸/۳۲٪ است که آشکارا کمتر از ۷۹/۹۳٪ مربوط به سیستم ($SiO_2 / AZO / Al_2O_3$ / شیشه) است. از آن‌ها می‌توان به عنوان الکتروود رسانای شفاف در دستگاه‌های صفحه نمایش و لایه ضدانعکاس در شیشه‌ای از کابین خلبان هواپیما استفاده کرد.

جدول ۲ لایه‌نشانی‌های طراحی شده AZO و نتایج عبور آن‌ها.

ردیف	ساختار لایه‌ها	کمترین درصد عبور	بیشترین درصد عبور	میانگین درصد عبور
الف	Glass/13.6AZO/Air	۶۷/۴۰	۹۳/۷۷	۸۴/۵۸
ب	Glass/13.6AZO/0.9SiO ₂	۷۸/۱۸	۹۸/۰۱	۹۳/۱۳
ج	Glass/1.86Al ₂ O ₃ /13.6AZO/0.89SiO ₂	۷۹/۹۳	۹۷/۸۹	۹۳/۳۶
د	Glass/1.83TiO ₂ /13.6AZO	۶۵/۱۵	۹۵/۴۱	۸۴/۹۹
ه	Glass/0.91Al ₂ O ₃ /1.87TiO ₂ /13.6AZO	۶۸/۳۲	۹۲/۴۴	۸۵/۹۹



شکل ۲ نمودار درصد عبور مربوط به (الف) Glass/13,6 AZO/Air، (ب) Glass/13,6 AZO/0,9SiO₂/Air، (ج) Glass /1,86Al₂O₃/13,6 AZO/0,89SiO₂/Air، (د) Glass /1,83TiO₂/13,6 AZO/Air، (ه) Glass /0,91Al₂O₃/1,87TiO₂/13,6AZO.

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال دهم، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹ / ۵۹

.Glass /0,91Al₂O₃/1,87TiO₂/13,6 AZO/Air (۵)

۴. طراحی لایه‌نشانی ITO با زیرلایه شیشه

در بخش قبل، نتایج طراحی دو نوع پوشش ضد انعکاسی بر زیرلایه شیشه بررسی شد که موجب بالا رفتن مقدار عبور از فیلم‌های AZO شد. در آن مرحله، از لایه‌های نازک اکسید تیتانیم ایندیوم ITO به جای فیلم‌های AZO استفاده شد. هر دو طراحی پوشش ضد انعکاسی انجام شد. سیستم لایه‌نشانی نوع اول به شرح زیر است:

شیشه /ITO/SiO₂

و

شیشه /Al₂O₃/ITO/SiO₂.

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده، میانگین عبور سیستم ITO/SiO₂ شیشه می‌تواند در ناحیه مرئی (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) به ۷۶/۰۵٪ برسد و بیشترین مقدار عبور ۸۱/۸۵٪ است که در مقایسه با تک‌لایه AZO از نظر اپتیکی کاملاً بهتر است. برای سیستم لایه‌نشانی سه‌لایه، Al₂O₃ به عنوان یک لایه بافر در بین شیشه و ITO استفاده شد که مانند لایه‌نشانی‌های AZO می‌تواند چسبندگی بین زیرلایه و لایه نازک ITO را بهبود بخشد. در این سیستم سه‌لایه، بیشترین و میانگین عبور به ترتیب ۸۱/۵۷٪ و ۷۶/۲۶٪ است. لایه SiO₂ که به عنوان لایه بالایی استفاده می‌شود از لایه نازک ITO در برابر خوردگی محیطی محافظت می‌کند.

نوع دوم لایه‌نشانی، لایه نازک ITO به عنوان لایه بالایی انتخاب شده است:

شیشه /TiO₂ / ITO

و

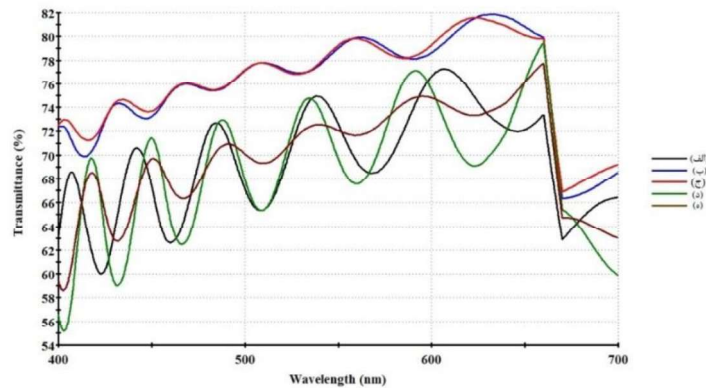
شیشه /Al₂O₃/ TiO₂ / ITO

لایه TiO₂ به عنوان ماده با ضریب شکست عالی و SiO₂ به عنوان ماده دارای ضریب شکست کم و Al₂O₃ به عنوان لایه بافر استفاده شد. جدول ۳ نشان می‌دهد که میانگین عبور در ناحیه مرئی برای سیستم دولایه (شیشه /TiO₂ /ITO) ۶۸/۸۸ درصد و سیستم سه‌لایه (شیشه /Al₂O₃/TiO₂/ITO) ۷۰/۰۰ درصد است که از ۶۹/۵۰ درصد تک‌لایه ITO بیشتر است. برای سیستم (شیشه /Al₂O₃/TiO₂/ITO)، کمترین مقدار عبور ۵۸/۶۱٪ است، که کمتر از ۶۶/۸۸٪ مربوط به سیستم (شیشه /Al₂O₃/AZO/SiO₂) است.

۶۰ / مقایسه خواص اپتیکی لایه‌های نانو ساختار اکسید روی آلیبده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم ...

جدول ۳ لایه‌نشانی‌های طراحی شده ITO و نتایج عبور آن‌ها.

ردیف	ساختار لایه‌ها	کمترین درصد عبور	بیشترین درصد عبور	میانگین درصد عبور
الف	Glass/13.6 ITO /Air	۵۹/۹۹	۷۷/۲۷	۶۹/۵۰
ب	Glass/13.6 ITO /0.9SiO ₂	۶۶/۳۲	۸۱/۸۵	۷۶/۰۵
ج	Glass/1.86Al ₂ O ₃ /13.6 ITO /0.89SiO ₂	۶۶/۸۸	۸۱/۵۷	۷۶/۲۶
د	Glass/1.83TiO ₂ /13.6 ITO	۵۵/۱۶	۷۹/۴۵	۶۸/۸۸
ه	Glass/0.91Al ₂ O ₃ /1.87TiO ₂ /13.6 ITO	۵۸/۶۱	۷۷/۷۳	۷۰/۰۰



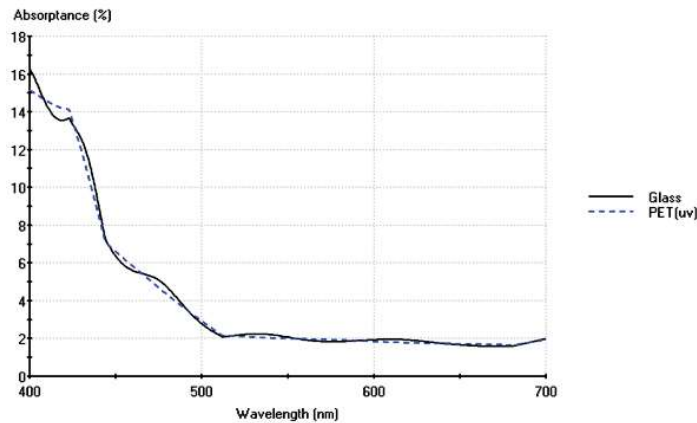
شکل ۳ نمودار درصد عبور مربوط به (الف) Glass/13.6 ITO /Air، (ب) Glass/13.6 ITO /0.9SiO₂/Air، (ج) Glass /1.86Al₂O₃/13.6 ITO /0.89SiO₂/Air، (د) Glass /1.83TiO₂/13.6 ITO /Air، (ه) Glass /0.91Al₂O₃/1.87TiO₂/13.6 ITO /Air

۵. طراحی لایه‌نشانی AZO با زیرلایه PET

نوع زیرلایه می‌تواند خواص اپتیکی فیلتر را تغییر دهد. در طراحی و ساخت فیلترهای اپتیکی یکی از متداول‌ترین زیرلایه‌ها شیشه است. در کنار آن، استفاده از زیرلایه‌های انعطاف‌پذیر پلیمری PET^۹ نیز مطلوب است. PET یک پلیمر اصلی با کاربردهای متنوع است. شیمی سنتز و مهندسی تولید این پلیمر مشکلات زیادی را به همراه دارد. در دماهای بالای عبور نور از شیشه و PET آمورف دارای ویژگی‌های نوری و مکانیکی مشابه با لاستیک است. شکل ۴ درصد جذب هر یک از زیرلایه‌های فوق را در ناحیه مرئی نشان می‌دهد.

⁹ Poly Ethylene Terephthalate

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال دهم، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹ / ۶۱

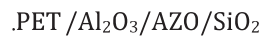


شکل ۴ مقایسه درصد جذب زیر لایه شیشه و PET در ناحیه مرئی.

در بخش لایه نشانی AZO با زیر لایه شیشه، نتایج طراحی دو نوع پوشش ضد انعکاسی که موجب بیشتر شدن مقدار عبور از لایه های AZO می شود، بر زیر لایه شیشه بررسی شد. در این بخش، تمامی لایه نشانی های فوق به صورت جداگانه با زیر لایه PET طراحی شد. سیستم لایه نشانی نوع اول به شرح زیر است:



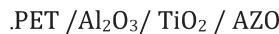
و



در نوع دوم لایه نشانی، لایه نازک AZO به عنوان لایه بالایی انتخاب شده است:



و

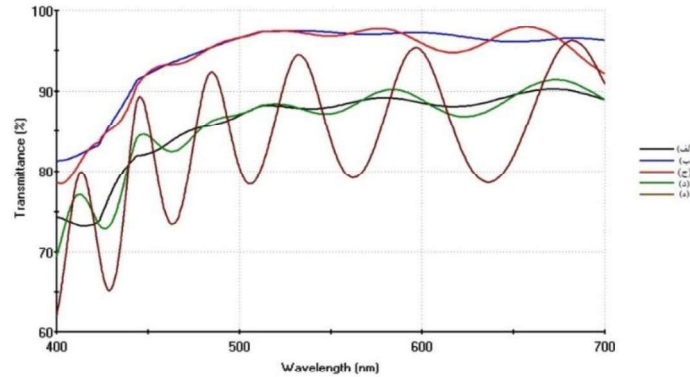


نتایج کمترین و بیشترین و میانگین عبور هر یک از لایه نشانی های فوق در جدول ۴ آورده شده است. همچنین، نمودار درصد عبور هر یک در شکل ۵ مشاهده می شود.

جدول ۴ لایه نشانی های طراحی شده AZO و نتایج عبور آن ها روی PET.

ردیف	ساختار لایه ها	کمترین درصد عبور	بیشترین درصد عبور	میانگین درصد عبور
الف	PET /13.6AZO/Air	۷۳/۲۲	۹۰/۲۳	۸۶/۰۸
ب	PET /13.6AZO/0.9SiO ₂	۸۱/۳۰	۹۷/۳۷	۹۴/۵۰
ج	PET /1.86Al ₂ O ₃ /13.6AZO/0.89SiO ₂	۷۸/۴۲	۹۷/۸۷	۹۴/۰۷
د	PET /1.83TiO ₂ /13.6AZO	۶۹/۴۱	۹۱/۳۷	۸۶/۱۱
ه	PET /0.91Al ₂ O ₃ /1.87TiO ₂ /13.6AZO	۶۲/۰۸	۹۶/۱۸	۸۴/۴۰

۶۲ / مقایسه خواص اپتیکی لایه‌های نانوساختار اکسید روی آلیایده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم ...



شکل ۵ نمودار درصد عبور مربوط به (الف) PET /13.6 AZO/Air، (ب) PET /13.6 AZO/0.9SiO₂/Air، (ج) PET /1.86Al₂O₃/13.6 AZO/0.89SiO₂/Air، (د) PET /0.91Al₂O₃/1.87TiO₂/13.6 AZO/Air

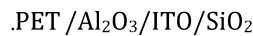
از مقایسه نتایج جدول ۴ و جدول ۲ ملاحظه می‌شود که تغییر زیرلایه هر چند به کاهش بیشترین مقدار عبور می‌انجامد، متوسط عبور را افزایش می‌دهد.

۶. طراحی لایه‌نشانی ITO با زیرلایه PET

در این بخش، لایه‌نشانی‌های مربوط به لایه نازک ITO به صورت جداگانه با زیرلایه PET طراحی شد. سیستم لایه‌نشانی نوع اول به شرح زیر است:



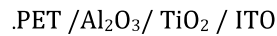
و



نوع دوم لایه‌نشانی، لایه نازک ITO به عنوان لایه بالایی انتخاب شده است:



و



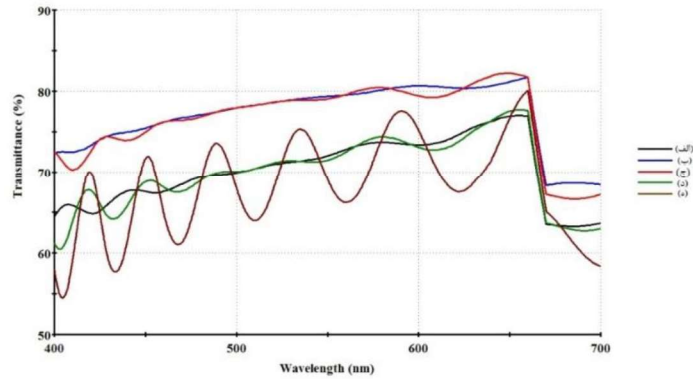
نتایج کمترین و بیشترین و میانگین عبور هر یک از لایه‌نشانی‌های فوق در جدول ۵ آورده شده است. همچنین نمودار درصد عبور هر یک در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

جدول ۵ لایه‌نشانی‌های طراحی شده ITO و نتایج عبور آن‌ها روی PET.

ردیف	ساختار لایه‌ها	کمترین درصد عبور	بیشترین درصد عبور	میانگین درصد عبور
الف	PET /13.6 ITO /Air	۶۳/۲۵۷	۷۷/۰۱	۷۰/۲۶
ب	PET /13.6 ITO /0.9SiO ₂	۶۸/۳۰	۸۱/۷۳	۷۷/۰۶
ج	PET /1.86Al ₂ O ₃ /13.6 ITO /0.89SiO ₂	۶۶/۶۲۵	۸۲/۲۳	۷۶/۶۹
د	PET /1.83TiO ₂ /13.6 ITO	۶۰/۴۶	۷۷/۷۴	۷۰/۰۷

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال دهم، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹ / ۶۳

۶۸/۲۴	۸۰/۰۴	۵۴/۴۸۶	PET /0.91Al ₂ O ₃ /1.87TiO ₂ /13.6 ITO	۵
-------	-------	--------	---	---

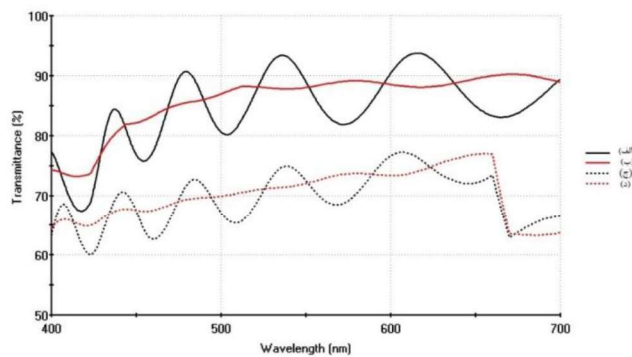


شکل ۶ نمودار درصد عبور مربوط به (الف) PET /13.6 ITO /Air، (ب) PET /13.6 ITO /0.9SiO₂/Air، (ج) PET /1.86Al₂O₃/13.6 ITO /0.89SiO₂/Air، (د) PET /1.83TiO₂/13.6 ITO /Air، (ه) PET /0.91Al₂O₃/1.87TiO₂/13.6 ITO /Air

از مقایسه نتایج جدول ۵ و جدول ۳ ملاحظه می شود که تغییر زیرلایه به افزایش بیشترین و میانگین درصد عبور می انجامد. در نمودار شکل ۷ نیز مقایسه ای برای لایه نشانی های تک لایه AZO و ITO بر دو زیرلایه شیشه و PET انجام شده است.

جدول ۶ مقایسه لایه نشانی های تک لایه AZO و ITO بر روی شیشه و PET.

ردیف	ساختار لایه ها	کمترین درصد عبور	بیشترین درصد عبور	میانگین درصد عبور
الف	Glass/13.6 AZO/Air	۶۹/۴۰	۹۳/۷۷	۸۴/۵۸
ب	PET/13.6 AZO/ Air	۷۳/۲۶	۹۰/۲۳	۸۶/۰۴
ج	Glass/13.6 ITO/Air	۵۹/۹۹	۷۷/۲۷	۶۹/۵۰
د	PET/13.6 ITO/Air	۶۳/۲۶	۷۷/۰۱	۷۰/۲۶



۶۴ / مقایسه خواص اپتیکی لایه‌های نانوساختار اکسید روی آلاینده با آلومینیوم AZO و اکسید ایندیوم ...

شکل ۷ نمودار درصد عبور مربوط به (الف) Glass/13.6 AZO/Air، (ب) PET/13.6 AZO/Air، (ج) Glass /13.6 ITO/Air، (د) PET/13.6 ITO/Air.

با زیرلایه PET درصد عبور نسبت به طول موج تغییری کمتری دارد و یکنواخت‌تر است (همانطور که از نمودار شکل‌های ۲ الی ۷ ملاحظه شد، استفاده از زیرلایه شیشه، به دلیل بازتاب‌های متوالی بین دو سطح و ایجاد تداخل بین این بازتاب‌ها، به ایجاد حالت موجی برای پاسخ طیف بازتاب می‌انجامد، که با استفاده از زیرلایه PET این نوسانات کاهش می‌یابد) و همانطور که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود تغییر زیرلایه سبب افزایش میانگین درصد عبور می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری

به منظور افزایش مقاومت در برابر نفوذپذیری و افزایش چسبندگی و مقاومت در برابر هوای آزاد برای لایه‌نشانی‌های AZO یا ITO، دو نوع لایه‌نشانی ضد انعکاسی، توسط نرم‌افزار لایه‌نشانی مکتئود طراحی شد. این طراحی لایه‌نشانی ضد انعکاسی با توجه به منابع موجود و گزارش‌های مذکور در قسمت مقدمه، کاری جدید است. در نوع اول پوشش دهی، لایه نازک AZO یا ITO به عنوان لایه داخلی و مواد با ضریب شکست کم SiO_2 و Al_2O_3 به عنوان لایه ضد انعکاس برای بهینه‌سازی نوری استفاده شد و میانگین درصد عبور به $93/13\%$ و $93/36\%$ برای AZO (در مقایسه با درصد عبور $84/86\%$ برای تک‌لایه AZO) و $76/05\%$ و $76/26\%$ برای ITO (در مقایسه با درصد عبور $69/50\%$ برای تک‌لایه) و در ناحیه مرئی (400 تا 700 نانومتر) رسید. در لایه‌نشانی نوع دوم، انتخاب لایه نازک AZO یا ITO به عنوان لایه بالایی با سه لایه طراحی شد که میانگین درصد عبور به میزان $84/99\%$ و $85/99\%$ برای AZO و $68/88\%$ و $70/00\%$ برای ITO در ناحیه مرئی (400 - 700 نانومتر) است.

با تغییر زیرلایه از شیشه به PET، میانگین درصد عبور برای لایه‌نشانی‌های نوع اول AZO، به $94/50\%$ و $94/07\%$ و لایه‌نشانی نوع دوم، به $86/11\%$ و $84/40\%$ رسید و برای ITO به ترتیب به $77/06\%$ و $76/69\%$ (لایه‌نشانی‌های نوع اول) و $70/07\%$ و $68/24\%$ (لایه‌نشانی‌های نوع دوم) رسید.

در نهایت، ملاحظه شد که در هر دو نوع لایه‌نشانی AZO یا ITO درصد عبور افزایش چشمگیری دارد، کما آنکه همچنان درصد عبور برای لایه‌نشانی‌های AZO بیشتر از لایه‌نشانی‌های ITO است و به همین دلیل، لایه‌نشانی‌های نوع اول به لایه‌نشانی‌های نوع دوم ارجحیت دارد.

فصلنامه علمی فیزیک کاربردی ایران، دانشگاه الزهراء، سال دهم، پیاپی ۲۰، بهار ۱۳۹۹ / ۶۵

همچنین تغییر زیرلایه از شیشه به PET، به افزایش درصد عبور (تقریباً در تمام انواع لایه‌نشانی‌های فوق‌الذکر) انجامید.

منابع

- [1] Shakeri Shamsi M., Ahmadi M., Sabet M., "Al Doped ZnO Thin Films; Preparation and Characterization", *J. Nanostruct.* 8(4), (2018) 404-407.
- [2] Du J., Chen X., Liu C., Ni J., Hou G., Zhao Y., Zhang X., "Highly transparent and conductive indium tin oxide thin films for solar cells grown by reactive thermal evaporation at low temperature", *Applied Physics A*, 117 (2), (2014) 815.
- [3] Bulovic V., Tiam P., Burrows P. E., Gokhale M. R., Forrest S. R., Thompson M. E., "A Surface-emitting Vacuum-Deposition Organic Light Emitting Device", *Appl. Phys. Lett.* 70, (1997), 2954.
- [4] Guo T., Zheng L., Nshimiyimana J. P., Diao X., and Chen Q., "Design of antireflective coatings for AZO low infrared emissivity layer", *Chinese Optics Letters*, COL 11(Suppl.), (2013) S10103.
- [5] Guillen C., Herrero J., "Influence of oxygen in the deposition and annealing atmosphere", *Vacuum*, Vol. 80, (2006), pp. 615-620.
- [6] Yoon-Heung Tak, "Criteria for ITO (indium-tin-oxide) thin film as the bottom electrode of an organic light emitting diode", *Thin Solid Films*, Vol. 411, (2002), pp. 12-16.
- [7] Her S. C. and Chang C. F., "Effect of Sputtering Power on Optical and Electrical Properties of Indium Tin Oxide Films", *Sensors and Materials*, Vol. 28, (2016), pp. 975-981.
- [8] Juan X., YuJie Y., Fang W., and Kailiang Z., "Influence of substrate temperature on properties of indium tin oxide thin films prepared by DC magnetron sputtering", *ECS Transactions*, Vol. 44, (2012), p. 1311-1316.
- [9] Moshabaki Esfahani, A, Kadivar, E., Firoozi Far, A., "The influence of argon gas flow on the roughness of the ITO nanolayer thin film", *Proceeding of 8th Vacuum Conf.*, Shahid beheshti University, Tehran, 22-23 November (2017), p. 65-68. (In persian)
- [10] Xie G. C., Fang L., Peng L. P., Liu G. B., Ruan H. B., Wu F., Kong C. Y., "Effect of Indoping on the optical constants of ZnO thin films", *Physics Procedia*, Vol. 32 (2012), p. 651 - 657.
- [11] Zheng H., Zhang R. J., Li D. H., Chen X., Wang S. Y., Zheng Y. X., Li M. J., Hu Z. G., Dai N. and Chen L. Y. "Optical Properties of Al-Doped ZnO Films in the Infrared Region and Their Absorption Applications", *Nanoscale Research Letters*, (2018) 13:149.
- [12] Kim Y., Lee W., Jung D. R., Kim J., Nam S., and Kim H., "Optical and electronic properties of post annealed ZnO;Al thin films", *Appl. Phys. Lett.* 96, (2010) 171902.
- [13] Zhang Y., Li Y., Li Ch., Wang W., Zhang J., Wang R., "Effects of dopant content on optical and electrical properties of In₂O₃: W transparent conductive films", *Rare Metals*, 31 (2), (2012)168-171.