



لیگ
انجمن
فوتونیک
و پرتوانی

بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



طراحی و لایه‌نشانی نانوساختار رسانای شفاف ITO بر بستره اکریلیک به روش کندوپاش DC و بررسی ویژگی‌های ساختاری و اپتیکی آن

علیرضا فیروزی‌فر، حسین زابلیان، محمود ورپایی، مهدی مردیها، محمد جان‌شاری، جواد شاه‌محمدی

گروه پژوهشی لایه‌های نازک، صنایع اپتیک اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده — در این پژوهش بهینه‌سازی فرایند سونش سطح بستره با پلاسمای فرکانس رادیویی و سپس لایه‌نشانی ماده ITO به روش کندوپاش جریان مستقیم بر روی بستره اکریلیک به گونه‌ای انجام شد که علاوه بر دستیابی به چسبندگی مناسب لایه به بستره، مقاومت الکتروپلیکی و عبور اپتیکی نمونه به ترتیب کمینه و بیشینه باشدند. همچنین خواص اپتیکی و ریخت‌شناسی سطح بسترها مورد بررسی قرار گرفت و شرایط بهینه جهت انجام هر دو فرایند سونش با پلاسما و نیز لایه‌نشانی ITO بر بستره اکریلیک بدست آمد.

کلید واژه— لایه نازک، ITO، بستره پلیمری، خواص الکتروپلیکی.

Design And Fabrication of ITO Nanostructure Thin Film on Acrylic Substrate by DC Magnetron Sputtering and Evaluation of Its Optical and structural Properties

A.R. Firoozifar, H. Zabolian, M. Varpaei, M. Mardiha, M. Jannesari and J. Shahmohammadi

Thin film research group, Isfahan Optic Industry, Isfahan, Iran

Abstract- In this research, we have optimized the condition of RF plasma etching and ITO thin film by DC magnetron sputtering system on acrylic substrates. We want to reach the best adhesion of thin film to the substrate, the maximum optical transmittance of samples in the visible range and the minimum electrical resistive of ITO thin film. The morphology of substrate and thin film were investigated and optimum condition for plasma etching and ITO coating were reached.

Keywords: Thin film, ITO, Polymer substrate, Electro-Optical properties.

۱- مقدمه

Controller SCCM با دقت ۰/۱ کنترل گردید. همچنین از تارگت ITO با خلوص ۹۹/۹۹٪ جهت لایه‌نشانی استفاده شد. از پروب ۴ سر و دستگاه طیف‌سنجی شرکت شیمادزو مدل UV-۳۶۰۰ به ترتیب برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی و طیف عبوری نمونه‌ها در گستره طول‌موجی مرنی استفاده شده است. همچنین جهت بررسی سطح بسترهای از دو آزمون AFM و SEM و برای سنجیدن چسبندگی لایه به بستره از آزمون چسب برطبق استاندارد MIL-F-۴۸۶۱۶ استفاده شد. برای انجام این آزمون چسب استاندارد بطور کامل بر روی قطعه چسبانده شده و با نیروی عمود بر سطح بطور ناگهانی از روی نمونه کنده می‌شود. در صورتی که هیچ قسمتی از لایه نازک توسط چسب جدا نشود، قطعه آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است و در صورتی که قسمت‌هایی از لایه نازک توسط چسب از سطح بستره جدا شود، این آزمون برای آن قطعه ناموفق گزارش می‌شود. تغییرات در پارامترهای سونش سطح با پلاسما در جدول شماره ۱ قابل مشاهده می‌باشد. در هر مرتبه از انجام آزمایش، ۱۲ قطعه مشابه جهت انجام تمامی آزمون‌ها در دستگاه قرار داده شد.

جدول شماره ۱: شرایط سونش پلاسمایی مورد استفاده در آزمایش.

زمان (min)	گاز اکسیژن (SCCM)	شار گاز (SCCM)	توان آرگون (وات)	شماره آزمون
۱۰	۱۰	۲۰	۳۰۰	۱
۱۵	۵	۳۰	۳۰۰	۲
۲۰	۰	۴۰	۳۰۰	۳
۱۰	۱۰	۲۰	۴۰۰	۴
۱۵	۵	۳۰	۴۰۰	۵
۲۰	۰	۴۰	۴۰۰	۶
۱۰	۱۰	۲۰	۵۰۰	۷
۱۵	۵	۳۰	۵۰۰	۸
۲۰	۰	۴۰	۵۰۰	۹

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون AFM

بررسی تصاویر AFM گرفته شده از سطح نمونه‌های سونش شده گویای این حقیقت است که با افزایش توان پلاسما از ۳۰۰ تا ۴۰۰ وات، زیری سطح بطور محسوسی افزایش یافته است اما با افزایش توان تا ۵۰۰ وات، تغییرات به سمت کاهش زیری سوق داده شده‌اند. همچنین مشاهده می‌گردد که در آزمون‌ها بطور میانگین

عنوان آلاینده کاتیونی در شبکه In_2O_3 وارد می‌شوند. یون‌های Sn^{4+} در مکان‌های In^{3+} جایگزین می‌شوند و یک الکترون اضافی برای رسانش فراهم می‌کنند. بسترهای لایه‌نشانی شده با این ماده جهت کاربردهای گوناگون همچون ساخت سلول‌های خورشیدی، شیشه‌های هوشمند، شیشه‌های ضد یخ و نیز شیشه‌های سپر الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لایه‌نشانی این ماده بر روی شیشه آلی نیازمند دمای بالا و نیز فرایند بازپخت می‌باشد که موجب استحکام بالای لایه و نیز چسبندگی بسیار خوب لایه به بستره می‌گردد [۱]. بسترهای پلیمری به دلیل حساسیت بسیار زیاد به دما، توانایی تحمل فرایند لایه‌نشانی در دما و فرایند بازپخت را ندارند و از این رو لایه نازک لایه‌نشانی شده بر روی این بسترهای دارای خواص مکانیکی بسیار ضعیف می‌باشد. از این رو تعریف فرایند آماده‌سازی سطح با پلاسما در کنار انتخاب روش مناسب جهت لایه‌نشانی می‌تواند خواص مکانیکی و الکترواپتیکی لایه نازک را ارتقا دهد [۲ و ۳]. در این پژوهش بسترهایی از جنس اکریلیک که پیش از انجام فرایند لایه‌نشانی تحت فرایند سونش پلاسمایی قرار گرفته بودند بوسیله لایه نازک ITO به روش کندوپاش جریان مستقیم لایه‌نشانی شدند و خواص مورد انتظار اپتیکی و مکانیکی مورد نظر حاصل گردید.

۲- مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق، بسترهایی از جنس اکریلیک با ابعاد ۱ در ۱ سانتی‌متر تهیه و توسط روش استاندارد تمیز شدند. تنها با این تفاوت که بجای استفاده از استون، از محلول OP1۲۰ جهت تمیزسازی نهایی بسترهای استفاده شد [۴]. جهت آماده‌سازی سطح بستره برای افزایش چسبندگی لایه نازک به بستره از سونش پلاسمایی در دمای اتاق استفاده شد. سامانه سونش پلاسمایی مورد استفاده در این تحقیق مجهز به منع تغذیه RF با حداکثر توان ۶۰۰ وات می‌باشد که درون محافظه لایه‌نشانی در کنار سامانه کندوپاش DC با حداکثر توان ۱۰۰۰ وات قرار گرفته است که در آن شار Mass Flow دو گاز آرگون و اکسیژن توسط دو

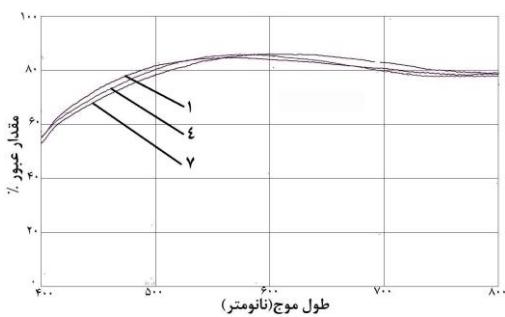
لایه‌نشانی به ترتیب SCCM ۳۰ و SCCM ۱۰ قرار داده شد.

جدول شماره ۳: شرایط لایه‌نشانی مورد استفاده در آزمایش.

شماره آزمون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
توان (وات)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
ضخامت(نانومتر)	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰

۱-۴- بررسی طیف عبوری

طیف عبوری قطعات در گستره طول موجی ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مشاهده شد که اختلاف چندانی بین نمونه‌هایی که در شرایط مختلف، تحت فرایند سونش قرار گرفته شده و در شرایط یکسان لایه‌نشانی شده بودند وجود ندارد. به عبارت دیگر فرایند سونش سطح با پلاسما تاثیری در شرایط اپتیکی قطعات ندارد. علت این امر را می‌توان این دانست که فرایند سونش پلاسمایی باعث ایجاد پستی و بلندی‌هایی در سطح بستره شده است که زبری آنها در محدوده نانومتر است. از این رو تاثیری در تغییر ویژگی‌های اپتیکی قطعه که متأثر از شرایط ماکروسکوپی قطعه می‌باشد ندارد. طیف عبوری سه نمونه با شماره‌های ۱ و ۴ و ۷ در شکل شماره ۳ قابل مشاهده می‌باشد. دیده می‌شود که تفاوتی بین نمونه‌هایی که با ضخامت یکسان لایه‌نشانی شده بودند وجود ندارد. اما همانطور که در شکل شماره ۴ قابل مشاهده است، با افزایش ضخامت لایه نازک از ۱۵۰ نانومتر تا ۲۵۰ نانومتر، افت در شدت طیف عبوری نمونه‌ها مشاهده می‌شود. علت این امر را می‌توان در افزایش جذب اپتیکی دانست که بر اثر افزایش ضخامت فیزیکی لایه نازک اتفاق می‌افتد.

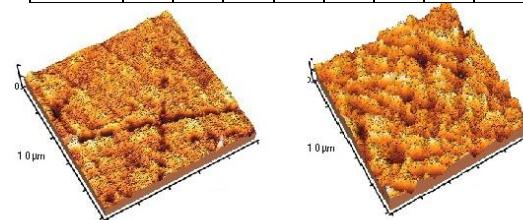


شکل شماره ۳: طیف عبوری سه نمونه با شماره‌های ۱ و ۴ و ۷.

با افزایش نسبت گاز آرگون به اکسیژن و نیز افزایش زمان پلاسما، زبری سطح اندکی افزایش یافته است. شکل شماره ۱ زبری سطح زیادتر بر اثر انجام فرایند سونش با توان ۴۰۰ وات (نمونه شماره ۵) نسبت به توان ۳۰۰ وات (نمونه شماره ۲) را نمایش می‌دهد.

جدول ۲: زبری سطح نمونه‌ها به ترتیب شماره آزمون

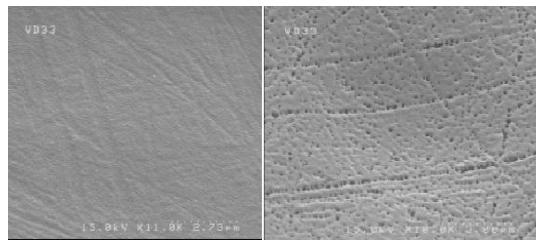
شماره آزمون	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
زبری (نامتر)	۲/۶۳	۲/۲۳	۲/۶۹	۴/۵۸	۴/۶۱	۴/۶۹	۴/۱۶	۴/۲۴	۴/۳۷



شکل شماره ۱: تصاویر AFM مربوط به دو نمونه شماره ۵ (راست) و شماره ۲ (چپ).

۲-۳- آزمون SEM

شکل شماره ۲ تصویر SEM گرفته شده از سطح نمونه شماره ۶ در سمت راست و نمونه خام در سمت چپ را نمایش می‌دهد. در تصویر سمت راست مشاهده می‌گردد که سطح بستره در اثر برخورد یون‌های پر انرژی دچار خوردگی شده و حفره‌هایی بر روی سطح بستره ایجاد شده است. این حفره‌ها باعث جفت‌شدگی لایه نازک در سطح بستره شده و این عامل در کنار سونش شیمیایی سطح که در اثر برخورد یون‌های اکسیژن به سطح بستره اتفاق می‌افتد، باعث افزایش چسبندگی خواهد شد.



شکل شماره ۲: تصاویر SEM مربوط به دو نمونه شماره ۶ (راست) و بستره خام (چپ).

۴- لایه‌نشانی لایه نازک ITO

در این مرحله، از هریک از مراحل سونش پلاسمایی، یک قطعه انتخاب و در کنار یکدیگر قرار داده شدند و لایه‌نشانی برروی آنها انجام شد. شرایط مورد استفاده در فرایند لایه‌نشانی در جدول شماره ۳ قابل مشاهده می‌باشد. تمامی فرایندهای لایه‌نشانی در دمای محیط انجام شد. شار گازهای آرگون و اکسیژن در فرایندهای

پشت سر نگذاشتند. علت گرمای تولید شده در توان زیاد فرایند لایه‌نشانی می‌باشد که پیش از این توضیح داده شد. همچنین نمونه‌های تولید شده در فرایندهای سونش ۲، ۳، ۵، ۶، ۸ و ۹ نیز این آزمون را با موفقیت پشت سر نگذاشتند. علت را می‌توان کمبود اکسیژن در فرایند سونش با پلاسمای ذکر کرد که باعث می‌شود فرایند عملیات سطحی به خوبی انجام نشده و لایه نازک چسبندگی مناسبی به بستره نداشته باشد. تنها تست چسب نمونه‌های سونش شده در فرایند شماره ۴ و لایه‌نشانی شده در فرایندهای ۴ و ۵ و ۶ موفقیت آمیز بود.

۵- نتیجه‌گیری

نمونه‌های سونش شده با توان ۴۰۰ و ۵۰۰ وات بیشترین زبری سطح را دارا می‌باشند و این در حالی است که بهترین چسبندگی لایه به بستره مربوط به نمونه‌هایی است که در فرایند سونش از اکسیژن بیشتری استفاده شده است. همچنین در فرایند لایه‌نشانی، کمترین مقاومت نقطه‌ای مربوط به فرایندهایی است که با ضخامت بیشتری لایه‌نشانی شده‌اند. اما توان زیاد در فرایند لایه‌نشانی موجب تولید گرما و سوختن سطح بستره حین فرایند لایه‌نشانی شد. مناسب‌ترین نمونه مربوط به فرایند سونش شماره ۴ و فرایند لایه‌نشانی شماره ۴، ۵ و ۶ می‌باشد که علاوه بر دارا بودن مقاومت نقطه‌ای کم، دارای چسبندگی مناسب لایه به بستره بوده و در نمونه شماره ۴ از عبور اپتیکی مناسبی نیز برخوردار می‌باشد.

۶- مراجع

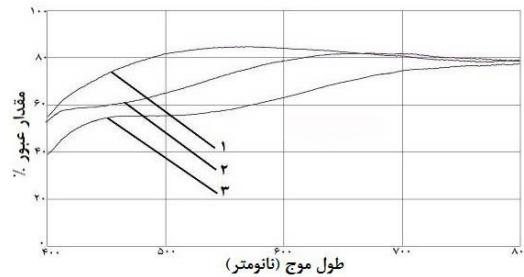
- [۱] فیروزی‌فر، علیرضا؛ زالبیان، حسین؛ جان‌نثاری، محمد؛ مردیهای، مهدی، بررسی اثر تغییر شار و توان پلاسمای بر خواص الکتریکی و اپتیکی لایه نازک ITO ...، کنفرانس فیزیک ایران، ۳۰۶۹-۳۰۷۲.

.۱۳۹۱

[۲] Dong-Ho Kim, Mi-Rang Park, Hak-Jun Lee, Gun-Hwan Lee, Thickness dependence of electrical properties of ITO film deposited on a plastic substrate by RF magnetron sputtering, *Journal of Applied surface science* 253 (2006) 409-411.

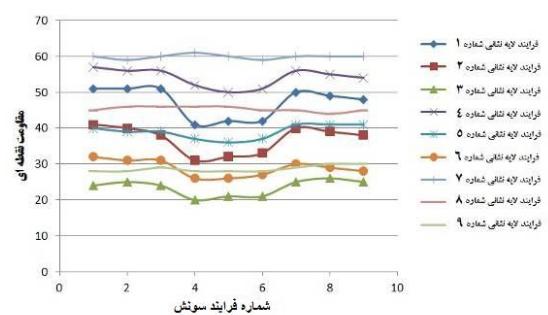
[۳] Li Jian Meng, Jinsong Gao, R.A. Silva, Shigeng Song, Effect of the oxygen flow on the properties of ITO thin films deposited by ion beam assisted deposition (IBAD), *Thin Solid Films* 516 (2008) 5454-5459 .

[۴] S.A.R. Firoozifar, A. Behjat, E. Kadivar, S.M.B. Ghorashi, M. Borhani Zarandi, A study of the optical properties and adhesion of zinc sulfide anti-reflection thinfilm coated on a germanium substrate, *Journal of Applied Surface Science* 258 (2011) 818 – 821.



شکل شماره ۴: طیف عبوری سه نمونه با شماره‌های ۱ و ۲ و ۳.

۲-۴- بررسی نتایج اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی شکل شماره ۵ مقاومت نقطه‌ای نمونه‌ها بر حسب شماره فرایند سونش با پلاسمای افزایش ضخامت لایه، مقاومت نقطه‌ای نمونه‌ها کاهش می‌یابد. مشاهده می‌گردد که در نمونه‌هایی که در فرایند لایه‌نشانی با توان بیشتر تولید شده‌اند، مقاومت نقطه‌ای متأثر از شرایط فرایند سونش با پلاسمای نمی‌باشد. علت این امر را می‌توان در گرمای زیاد تولید شده توسط پلاسمای حین لایه‌نشانی دانست که زبری سطح بستره که بر اثر فرایند سونش با پلاسمای ایجاد شده است را از بین می‌برد. در نمونه‌های ۱ و ۲ و ۳ از فرایند لایه‌نشانی که با توان ۱۰۰ وات لایه نشانی شده‌اند، یک افت محسوس در مقدار مقاومت سطح نمونه برای فرایندهای سونش ۴ و ۵ و ۶ مشاهده می‌گردد. بنظر می‌رسد زبری زیاد سطح در کنار حضور اتم‌های اکسیژن سطحی که در اثر سونش بهینه در این شرایط بر روی بستره انجام شده است موجب کاهش محسوس مقاومت الکتریکی سطح گردیده است.



شکل شماره ۵: مقاومت نقطه‌ای نمونه‌ها بر حسب شماره فرایند سونش با پلاسمای.

۳-۴- بررسی نتایج آزمون چسب آزمون چسب که یک آزمون مخرب می‌باشد در انتهای بر روی تمامی نمونه‌ها انجام شد. نمونه‌های لایه‌نشانی شده در فرایندهای ۷، ۸ و ۹ آزمون چسب را با موفقیت