

تأثیر غلظت و ضخامت آلاینده آلومینیوم بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی لایه‌های نازک دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم

بهاره آذروند حسن فرد، خدیجه ابراهیمی اردی

گروه فیزیک، دانشگاه پیام‌نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۰۵/۲۹- پذیرش مقاله: ۹۷/۰۸/۲۳)

چکیده

در این کار تجربی لایه‌های نازک دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم با ترکیب‌های مختلفی از ۵ تا ۱۰ درصد جرمی آلومینیوم و ۹۵ تا ۹۰ درصد جرمی دی‌اکسید قلع بوسیله تبخیر با باریکه الکترونی بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای نهشته شدند. سپس تأثیر غلظت آلاینده آلومینیوم و ضخامت بر خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری این لایه‌ها بررسی شد. خواص این لایه‌های نازک بوسیله پراش پرتو X، اسپکتروفوتومتر VIS-UV و پروب چهارسوزنی بررسی شد. طیف XRD بدست آمده بر حسب افزایش درصد ناخالصی نشان داد که همه لایه‌ها جهت ترجیحی (۱۱۰) را نشان می‌دهند و ساختار بس بلوری دارند که با افزایش میزان ناخالصی اندازه دانه‌ها کاهش یافته، تعداد و شدت پیک‌های ظاهر شده کم شده و بلورینگی در این لایه‌ها کاهش یافته است. همچنین با افزایش ضخامت لایه‌ها، میزان شفافیت لایه‌ها و مقاومت ویژه کاهش می‌یابند، بنحوی که در مورد لایه‌های با ۷/۵٪ جرمی آلومینیوم، مقدار میانگین عبور لایه‌ها از مقدار ۸۸/۵٪ برای نمونه‌ای با ضخامت ۲۵۰ نانومتر به مقدار ۸۲/۳٪ برای نمونه‌ای با ضخامت ۴۵۰ نانومتر کاهش می‌یابد. همچنین مقاومت ویژه به کمترین مقدار خود یعنی 5.247×10^{-4} اهم-سانتیمتر برای نمونه‌ای با ضخامت ۴۵۰ نانومتر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: لایه‌های نازک، دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم، پراش پرتو ایکس، شفافیت اپتیکی، مقاومت ویژه.

Effect of Concentration and Thickness of Aluminum Contamination on the Properties of Structural, Optical and Electrical of Tin Oxide (SnO₂) Thin Films Doped With Aluminum

Bahare Azarvand Hassan Fard, Khadijeh Ebrahimi Ardei

Department of Physics, Payame Noor University (PNU), 19395-3697, Iran

(Received 20 August 2017, accepted 14 November 2018)

Abstract

In this experimental work Al doped tin oxide thin films with different composition of 5 to 10 mass percent of Al and 95 to 90 mass percent of SnO₂ were deposited on glass substrates by electron beam evaporation technique. Then effects Al and thickness on the electrical, optical and structural properties of thin films were investigated. Properties of thin films have been studied using X-ray diffraction, UV-Visible spectrophotometer and four probe methods. XRD photographs were prepared and show the polycrystalline structure formation and preferred orientation (110). Also by increasing films thickness, optical transmission and resistivity are decreased. So that in the case of the films with 7.5 mass percent of Al, the average transmission decreases from 88.5 % for film with a thickness of 250 nanometer to 82.3 % for film with a thickness of 450 nanometer and resistivity reaches to its minimum value of 5.247×10^{-4} ($\Omega.cm$) for the sample with a thickness of 450 nm.

Keywords: thin films, Al doped tin oxide, X-ray diffraction, optical transmission, resistivity.

E-mail of Corresponding author: b.azarvand@pnu.ac.ir.

مقدمه

در اکسیدهای فلزی همچون SnO_2 ، ITO و WO_3 می‌توان با اعمال تبهگنی الکترونی رسانندگی الکتریکی را زیاد کرد در حالی که گاف با بند اپتیکی این اکسیدها بیشتر از eV ۳/۱ است. این تبهگنی می‌تواند بصورت اعمال نقص در سیستم و یا آلایش سیستم با مواد دیگر صورت پذیرد. اعمال تبهگنی باعث می‌شود که اکسیدهای رسانای شفاف به دو نوع n و p تبدیل شود. دی اکسید قلع SnO_2 که یکی از معروف‌ترین اعضای خانواده اکسیدهای رسانای شفاف (TCO) است یک نیم رسانای نوع n با پهنای گاف نواری ۴-۳/۶ است [۱-۲].

آنچه اکسیدهای رسانای شفاف را مورد توجه قرار می‌دهد خصوصیات آن‌ها در حوزه اپتیک و الکترونیک است. این اکسیدها بیش از یک قرن است که شناخته شده‌اند. آن‌ها در گستره نور مرئی دارای شفافیت زیاد و بطور همزمان دارای هدایت الکتریکی خوبی نیز هستند و بطور وسیعی در ابزارهای اپتوالکترونیکی مانند نمایشگرهای صفحه تخت، سلول‌های خورشیدی، قطعات پیزوالکتریکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال‌های گذشته نیز پتانسیل اکسیدهای رسانای شفاف شامل Al_2O_3 و Zno آلاییده با Ga ، In_2O_3 آلاییده با SnO_2 برای کاربردهای ویژه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است [۳-۴].

لایه‌های نازک دی اکسید قلع از لحاظ مکانیکی سخت هستند و در دمای بالا بسیار مقاوم بوده و دارای مقاوت الکتریکی کم، عبور نوری بالا و پایداری شیمیایی هستند. ویژگی‌های مختلف لایه‌های نازک SnO_2 با تغییر دادن روش و محیط تهیه لایه‌ها، تغییر می‌کنند. برای مثال خواص الکتریکی این لایه‌ها به تهی جاهای اکسیژن [۵]، ضخامت لایه، ریز ساختار، شرایط لایه‌نشانی مانند دمای زیر لایه و نرخ لایه‌نشانی [۶] بستگی دارد. بتازگی توجه پژوهشگران به استفاده از اکسید قلع SnO_2 بعنوان یک حسگر گازی بخاطر حساسیت آن به مواد شیمیایی مختلف مانند OH^- --

CO و NO_x ، NH_3 ، H_2 ، C_2H_6

در محدوده‌های دمایی مختلف معطوف شده است [۷-۹]. همچنین از آلایش SnO_2 با Pd و Pt در ساخت قطعات حسگرهای حساس به گازهای LPG استفاده شده است [۱۰]. روش‌های مختلفی از قبیل تبخیر حرارتی [۱۱]، کندوپاش مگنترونی [۱۲]، پلاسما و سل-ژل [۱۳] و تبخیر با باریکه الکترونی [۱۴] می‌تواند برای نهشت لایه‌های SnO_2 بکار رود. دی اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم عضوی از گروه مواد اکسیدی رسانای شفاف است.

لایه‌های نازک دی اکسید قلع در صورت آلایش با آلومینیوم جزو نیم رساناهای تبهگن بوده و انتظار می‌رود خواص فیزیکی جالبی از خود نشان بدهند. از آنجا که این لایه‌ها دارای ویژگی‌های منحصر بفردی از قبیل شفافیت در ناحیه مرئی، رسانندگی خوب و چسبندگی عالی به زیر لایه‌ها هستند بعنوان اتصالات شفاف در ابزارهای اپتوالکترونیکی و میکروالکترونیکی و پیوند همگن ترانزیستورهای دو قطبی بکار می‌روند و بتازگی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در سال ۲۰۱۴ [۱۵] تأثیر غلظت آلومینیوم بر خواص ساختاری و اپتیکی لایه‌های نازک دی اکسید قلع آلاییده، با روش لیزرپالسی برای درصدهای جرمی (۱-۵ درصد) از AL مطالعه شده است؛ نتایج آن‌ها نشان می‌دهد کاهش غلظت آلاینده موجب افزایش گاف باند اپتیکی و رسانندگی در لایه‌ها می‌شود. در سال ۲۰۱۶ [۱۶] نیز مطالعه ساختاری لایه‌های نازک دی اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم با روش سل-ژل انجام گرفت. از آنجایی که در روش سل-ژل به علت خلاء کامل نبودن محیط، امکان نشست ذرات ناخالصی مانند گرد و غبار روی لایه‌ها افزایش می‌یابد و در روش کندوپاش نیز ممکن است آسیب‌های زیادی به سطح زیر لایه برساند و نقص‌هایی را بوجود آورد که در عملکرد ابزارهای اپتوالکترونیکی تأثیر بگذارد، لذا تبخیر با باریکه الکترونی برای تهیه لایه‌های نازک دی اکسید قلع ترجیح داده می‌شود. در این کار پژوهشی لایه‌های نازک دی اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم، برای اولین بار به روش تبخیر با باریکه الکترونی تهیه شده و تأثیر غلظت با درصدهای جرمی

برای شستشوی زیرلایه‌ها از حلال‌های شیمیایی تری‌کلرواتیلن، استون، اتیل الکل و آب مقطر استفاده شده است. برای مطالعه ساختار فیلم‌ها از طیف پراش پرتو ایکس^۱ استفاده شده است. پراش اشعه ایکس لایه‌های نازک دی-اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم توسط دستگاه (Siemens - D500) با استفاده از تابش ($\lambda = 1.54 \text{ \AA}$) CuK_{α} بدست آمد. برای تعیین خواص اپتیکی و محاسبه گاف باند اپتیکی طیف‌های عبور این لایه‌ها در نواحی طول موجی UV و مرئی با استفاده از دستگاه طیف سنج SHIMADZU (UV -1700) بدست آمد. در نهایت برای مطالعه خواص الکتریکی، مقاومت ویژه نمونه‌ها با استفاده از روش پروب چهار سوزنی اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در دانشکده فیزیک دانشگاه تبریز انجام شد.

جدول ۱. شرایط نهشت لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم

فشار پایه خلأ (mbar)	ولتاژ شتاب‌دهنده (kV)	جریان باریکه الکترونی (mA)	ضخامت لایه (nm)	نرخ نهشت (nm/s)
(10^{-4} - 10^{-5})	۵/۵	۱۰-۲۰	۲۵۰	۰/۱۲

جدول ۲. شرایط نهشت لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم

فشار پایه خلأ (mbar)	ولتاژ شتاب‌دهنده (kV)	جریان باریکه الکترونی (mA)	نرخ نهشت (nm/s)
(10^{-4} - 10^{-5})	۵/۵	۱۰-۲۰	۰/۱۲

نتایج و بحث

لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم با ترکیب (۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد جرمی آلومینیوم)

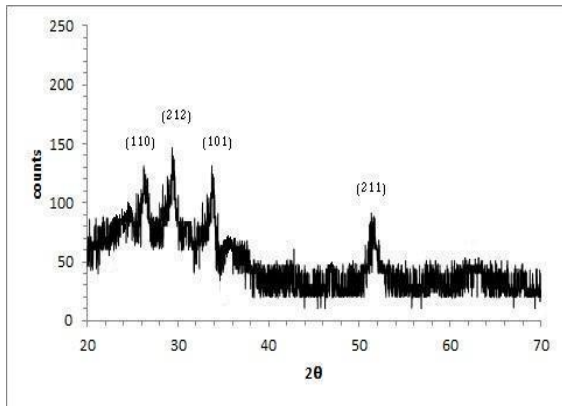
مشخص (۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد) از AL بر خواص ساختاری، اپتیکی و الکتریکی آن‌ها مطالعه شده است. علاوه بر آن از آنجایی که ضخامت یکی از پارامترهای نهشت است که بر خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری لایه‌ها تأثیر دارد و بمنظور بدست آوردن خواص بهینه یعنی شفافیت بالا و مقاومت ویژه پایین لازم است ضخامت لایه‌ها بهینه شوند؛ خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری لایه‌های نازک دی-اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم در ضخامت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

روش‌های آزمایشی

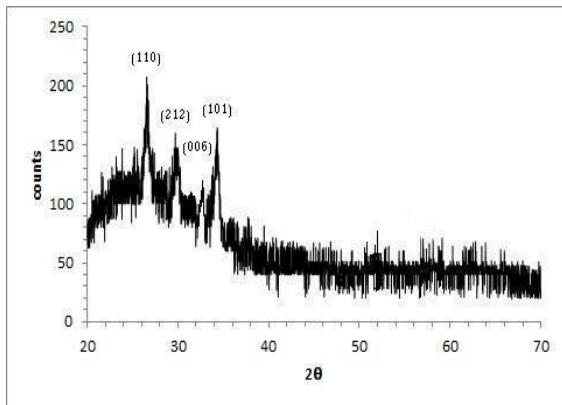
ابتدا پودر دی‌اکسید قلع با درجه خلوص ۹۹/۹۹٪ و پودر آلومینیوم با درجه خلوص ۹۹/۹۹٪ با درصدهای جرمی مشخص (۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد جرمی آلومینیوم) با ترازوی دیجیتالی با دقت 10^{-5} گرم وزن شدند، سپس این ترکیب جهت بدست آوردن یک پودر همگن بخوبی بوسیله یک هاون و دسته هاون با هم مخلوط شدند، سپس این پودر ترکیبی جهت همگن‌سازی و کلوخه‌سازی به مدت چند ساعت در کوره با دمای بالا قرار داده شدند و در مرحله بعد هر یک جهت فشردن، تحت پرس قرار گرفتند. سپس از سه فقره نمونه تهیه شده با درصدهای جرمی مختلف، ۳ فیلم با شرایط یکسان مندرج در جدول (۱) و با استفاده از روش بمباران الکترونی [۱۷ و ۱۸] بر روی زیر لایه‌های شیشه‌ای نهشته شدند و پس از نهشت به مدت ۳ ساعت در دمای $^{\circ}C$ ۴۵۰ در هوا تحت بازپخت قرار گرفتند. در مرحله بعد از نمونه دارای ۷/۵ درصد جرمی آلومینیوم ۳ فیلم با شرایط یکسان مندرج در جدول (۲) و با ضخامت‌های، ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ نانومتر با استفاده از روش تبخیر با باریکه الکترونی بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای نهشته شدند و پس از نهشت به مدت ۳ ساعت در دمای $^{\circ}C$ ۴۵۰ در هوا تحت بازپخت قرار گرفتند.

اندازه گیری ساختاری

(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱. طیف‌های XRD لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با (الف) ۵٪ جرمی آلومینیوم، (ب) ۷/۵٪ جرمی آلومینیوم و (ج) ۱۰٪ جرمی آلومینیوم

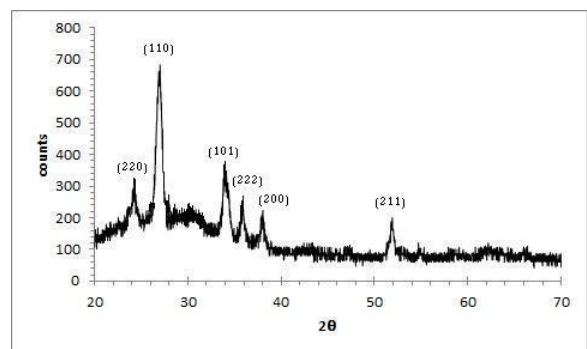
متوسط اندازه بلورک‌های لایه‌های نازک دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم با استفاده از معادله شرر و (قله (۱۱۰)) محاسبه شد [۲۱]:

$$D = \frac{\kappa\lambda}{\beta \cos \theta}$$

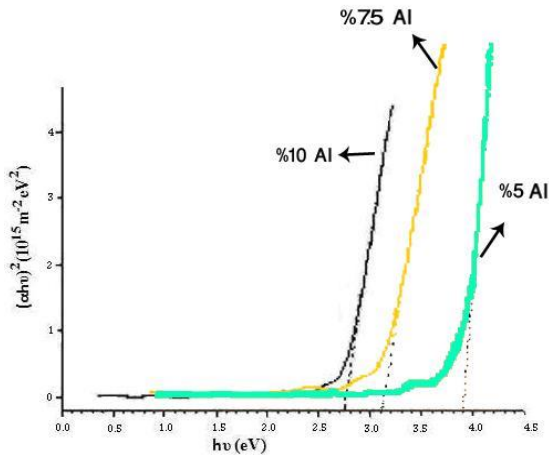
که در آن D اندازه بلورک، $\kappa = 0.9$ یک ضریب تصحیح، β پهنای کامل در نیمه بیشینه ($FWHM$) قله پراش، λ طول موج اشعه ایکس و θ زاویه براگ است.

اندازه گیری اپتیکی

طیف XRD بدست آمده بر حسب افزایش درصد ناخالصی در شکل ۱ آمده است. مشاهده می‌شود که تمام لایه‌ها جهت ترجیحی (۱۱۰) را نشان می‌دهند و ساختار بس‌بلوری دارند که با افزایش میزان ناخالصی اندازه دانه‌ها کاهش یافته، تعداد و شدت پیک‌های ظاهر شده کم شده و بلورینگی در این لایه‌ها کاهش یافته است که این امر را می‌توان به افزایش میزان بی‌نظمی در ساختار لایه‌ها نسبت داد. همه این قله‌ها متناظر با ساختار مکعبی دی‌اکسید قلع هستند به جز قله‌های (۲۱۲) و (۰۰۶) که متناظر با یکی از ترکیبات آلومینیوم یعنی Al_2O_3 هستند که باعث کاهش رسانندگی می‌شوند. قله (۲۱۲) در شکل (۱. ب) و قله‌های (۲۱۲) و (۰۰۶) در شکل (۱. ج) ظاهر شده‌اند در حالی که این قله‌ها در شکل (۱. الف) ظاهر نشده‌اند و با توجه به این‌که همه این لایه‌ها پودر اولیه‌شان در دمای یکسانی تکلیس شده و در این دما طبق آزمایش‌های انجام شده، پدیده دیفیوژن به صورت کامل صورت گرفته و آلومینیوم در ساختار دی‌اکسید قلع نفوذ می‌کند، بنابراین نتیجه می‌شود که در آرایش بالای ۵ درصد، یون‌های آلومینیوم باعث ناآراستی‌هایی در شبکه دی‌اکسید قلع می‌شوند. این ناآراستی‌ها بعنوان مراکز پراکندگی برای حامل‌های بار محسوب شده و ایجاد بی‌نظمی می‌نمایند که می‌تواند باعث کاهش بلورینگی شوند [۱۹ و ۲۰]. در شکل (۱. الف) نشانه نفوذ آلومینیوم در ساختار دی‌اکسید قلع، جابجایی صفحات براگ و تغییر ثابت شبکه است که همین امر باعث تغییر 2θ قله‌های مربوط به دی‌اکسید قلع شده است.



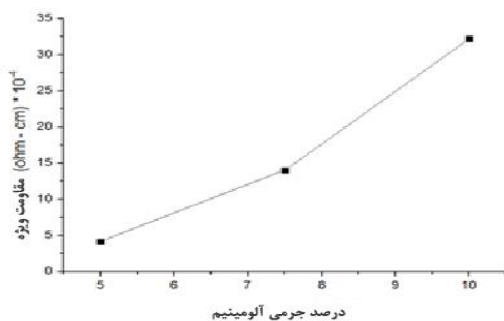
حالت‌ها را در مجاورت تراز فرمی کاهش دهد؛ کاهش چگالی حالت‌ها در مجاورت تراز فرمی نیز منجر به کاهش گاف باند اپتیکی و رسانندگی می‌شود. این نتایج با نتایج مرجع [۱۵] در تطابق است.



شکل ۲. منحنی‌های $(\alpha hv)^2$ بر حسب انرژی فوتون فرودی (hv) برای نمونه‌های آلاییده با ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد جرمی آلومینیوم

اندازه‌گیری الکتریکی

منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب درصد آلومینیوم در شکل ۳ آمده است که نشان می‌دهد با افزایش درصد ناخالصی مقاومت ویژه لایه‌ها افزایش یافته است. زیرا در آلایش‌های بالای آلاینده آلومینیوم، یون‌های آلومینیوم باعث ناآراستی‌هایی در شبکه دی‌اکسید قلع می‌شوند. این ناآراستی‌ها مراکز پراکندگی برای حامل‌های بار محسوب می‌شوند که با افزایش سطح بی‌نظمی‌ها باعث کاهش رسانندگی و افزایش مقاومت ویژه لایه‌ها می‌شوند.



پس از تهیه طیف عبوری نمونه‌ها، گاف باند اپتیکی با استفاده از رابطه تاک بدست آمده است [۲۲-۲۳]:

$$(\alpha hv) = A (\hbar v - E_g)^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \frac{2.303 \ln \frac{1}{d}}$$

که در آن A یک ثابت، α ضریب جذب، $h\nu$ انرژی فوتون فرودی و E_g انرژی گاف نواری هستند.

تغییرات گاف باند اپتیکی بر حسب درصد آلومینیوم در شکل ۲ آمده است. کمترین مقدار گاف انرژی بدست آمده برای گاف انرژی مربوط به لایه‌ای با ۱۰٪ جرمی آلومینیوم است بنحوی که مقادیر گاف انرژی با افزایش درصد ناخالصی از بیشترین مقدار $3/92 \text{ eV}$ به کمترین مقدار $2/75 \text{ eV}$ کاهش یافته است که با توجه به طیف‌های XRD این لایه‌ها این مسأله قابل توجیه است. زیرا گاف انرژی تحت تأثیر بلورینگی این لایه‌ها قرار می‌گیرد. تغییر گاف باند اپتیکی بر حسب درصد آلومینیوم را می‌توان با استفاده از نظریه برشتاین-ماس نیز توضیح داد زمانی که چگالی حامل‌ها افزایش پیدا می‌کند، تعداد الکترون موجود در باند رسانش افزایش می‌یابد، بنابراین انرژی لازم برای گذار الکترونی بین بالاترین ترازهای انرژی باند ظرفیت و پایین‌ترین تراز آزاد باند رسانش افزایش می‌یابد. طبق مدل برشتاین-ماس جابجایی گاف انرژی با $n_e^{2/3}$ متناسب است. گاف باندی بزرگ‌تر، از افزایش چگالی حامل با استفاده از آلاینده‌های Al یا از تهی‌جایی‌های اکسیژن ناشی می‌شود. منتهی چون در اینجا غلظت آلاینده آلومینیوم بالا است، بنابراین پراکندگی ناشی از تأثیرات متقابل الکترون-الکترون، افزایش می‌یابد. تأثیرات متقابل الکترون-الکترون، از ورود بی‌نظمی در شبکه دی‌اکسید قلع ناشی می‌شود که خود این بی‌نظمی‌ها بوسیله غلظت‌های بالای آلاینده آلومینیوم و تهی‌جایی‌های اکسیژن ایجاد می‌شوند. سطح بالای بی‌نظمی بطور قابل ملاحظه‌ای می‌تواند ساختار باند دی‌اکسید قلع را بشکند و چگالی

شکل ۳. منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب درصد جرمی آلومینیوم

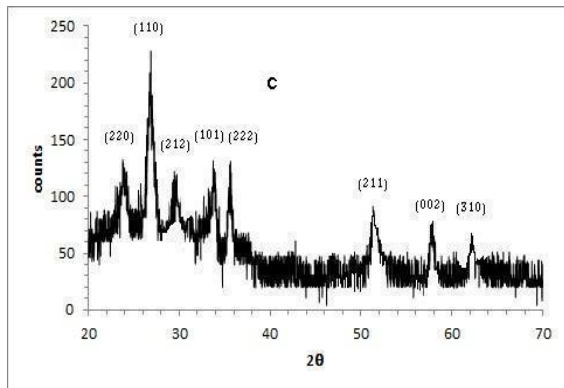
لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم با ترکیب ۷/۵ درصد جرمی آلومینیوم

اندازه‌گیری ساختاری

شکل ۴. طیف‌های *XRD* لایه‌های نازک دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم که در ضخامت‌های مختلف تهیه شده‌اند را نمایش می‌دهد. در شکل (۴-*a*) که ضخامت نمونه تهیه شده ۲۵۰ نانومتر است، طیف مربوطه فقط بازتاب از صفحات پراگ (۱۱۰)، (۲۱۲)، (۱۰۱) و (۲۱۱) را نشان می‌دهد که قله (۲۱۲) مربوطه به Al_2O_3 است.

در شکل (۴-*b*) که طیف پراش پرتو ایکس نمونه تهیه شده با ضخامت ۳۵۰ نانومتر است، قله مربوط به صفحه (۲۲۲) نیز مشاهده می‌شود.

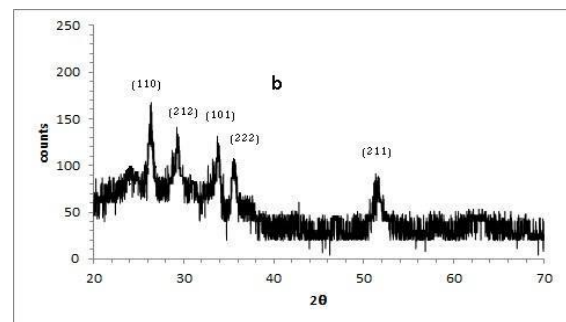
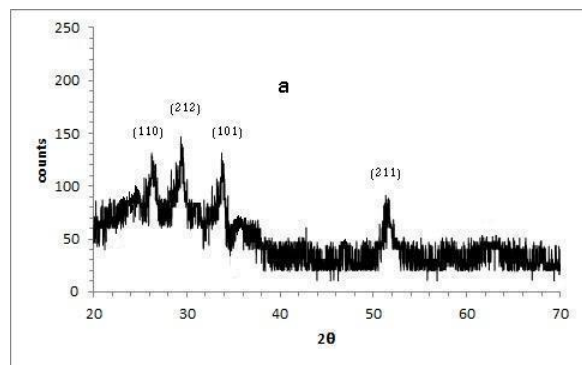
در شکل (۴-*c*) که طیف پراش پرتو ایکس نمونه تهیه شده با ضخامت ۴۵۰ نانومتر است، قله‌های مربوط به صفحات (۲۲۰)، (۲۲۰) و (۰۰۲) نیز ظاهر شده‌اند.



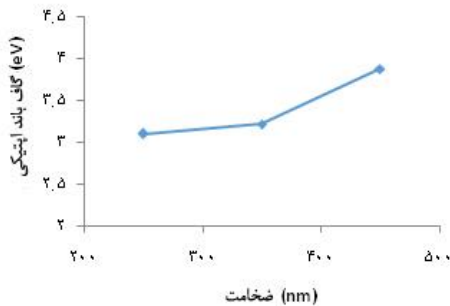
شکل ۴. طیف‌های *XRD* لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم، (۴-*a*) با ضخامت ۲۵۰ نانومتر، (۴-*b*) ۳۵۰ نانومتر و (۴-*c*) ۴۵۰ نانومتر

همان‌طور که از شکل‌های مربوط به طیف‌های پراش پرتو ایکس مشاهده می‌شود، با افزایش ضخامت نمونه‌ها، اندازه بلورک‌ها افزایش یافته، تعداد و شدت قله‌های ظاهر شده بیشتر و بلورینگی در این لایه‌ها افزایش یافته است و در ضخامت‌های بالاتر قله‌های مربوط به صفحاتی که شدت نسبی بالایی دارند، مشاهده می‌شود. درحقیقت شدت اشعه ایکس بازتابی به عمق نفوذ اشعه ایکس وابسته است و علت عدم حضور قله‌های مربوط به صفحات (۲۲۰)، (۰۰۲) و (۳۱۰) در ضخامت‌های پایین نه بدلیل عدم تشکیل جهت-گیری‌های مربوطه بلکه بدلیل پایین بودن ضخامت نمونه است.

لازم به ذکر است که علت ظاهر شدن قله (۲۱۲) در این نمونه‌ها، بالا بودن غلظت آلاینده آلومینیوم در این لایه‌ها است. بنابراین در مقایسه با کارهای مشابه انجام شده، نتیجه می‌شود که در آرایش بالای ۵ درصد، یون‌های آلومینیوم باعث ناآراستی‌هایی در شبکه دی‌اکسید قلع می‌شوند. این ناآراستی‌ها بعنوان مراکز پراکندگی برای حامل-های بار محسوب شده و می‌توانند باعث کاهش بلورینگی شوند [۱۹].



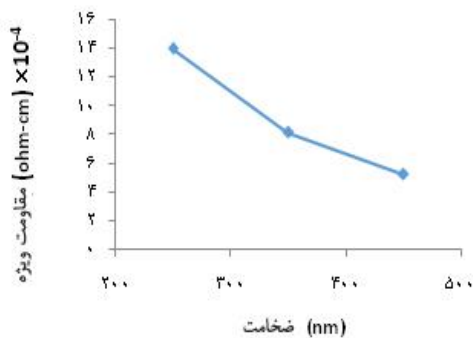
۶ آمده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش ضخامت لایه‌ها، اندازه گاف باند اپتیکی افزایش می‌یابد. این افزایش به احتمال زیاد بدلیل افزایش در تراکم حاملین بار و پر شدن پایین‌ترین حالت‌ها در باند رسانش است.



شکل ۶. تغییرات گاف باند اپتیکی دی‌اکسید قلع آلیایده با آلومینیوم بر حسب ضخامت

اندازه‌گیری الکتریکی

منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب ضخامت لایه‌ها در شکل ۷ آمده است که نشان می‌دهد با افزایش ضخامت، مقاومت ویژه کاهش می‌یابد و کمترین مقدار بدست آمده برای مقاومت ویژه مربوط به نمونه‌ای با ضخامت ۴۵۰ نانومتر است.



شکل ۷. منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب ضخامت لایه‌ها

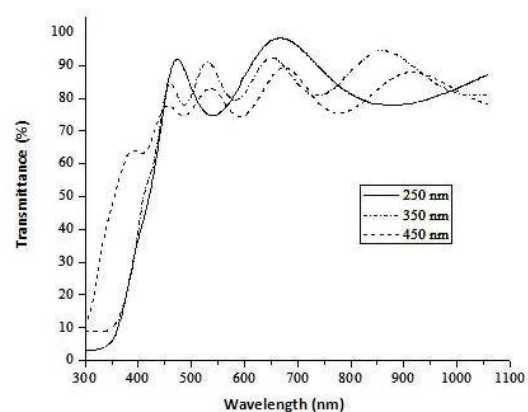
تغییرات در مقاومت ویژه به سه عامل نسبت داده می‌شود:
 ۱- نقص شبکه‌ای ۲- تغییر در بلورینگی سیستم ۳- پراکندگی حاملین بار به دلیل برخورد با سطح لایه نازک. تحقیقات انجام شده برای پیدا کردن مقادیر تحرک پذیری و تراکم حاملین بار به کمک اثر هال، نشان می‌دهد که تراکم

طیف‌های *XRD* نشان می‌دهند که برای تشکیل لایه‌های دارای تراکم حامل و تحرک بزرگ‌تر، ضخامت بالا نسبت به ضخامت پایین مناسب‌تر است، چون با افزایش ضخامت بلورینگی این لایه‌ها افزایش می‌یابد. بعلاوه، ضخامت بالا موجب تشکیل لایه‌هایی با اندازه دانه‌های بزرگ‌تر می‌شود، که اندازه دانه بزرگ‌تر با کاهش پراکندگی مرز دانه‌ای موجب افزایش تحرک می‌شود.

اندازه‌گیری اپتیکی

بمنظور بررسی تأثیر ضخامت نمونه‌ها بر خواص اپتیکی لایه‌های دی‌اکسید قلع آلیایده با آلومینیوم، طیف‌های عبور این لایه‌ها در نواحی طول موجی UV و مرئی در شکل ۵ بدست آورده شد.

مقادیر عبور میانگین لایه‌ها در ناحیه مرئی برای ضخامت‌های ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ نانومتر به ترتیب ۸۸/۵٪، ۸۵/۸٪ و ۸۲/۳٪ است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تمام این لایه‌ها عبور بیش از ۸۰٪ را در ناحیه مرئی دارند و با افزایش ضخامت لایه‌ها این عبور کاهش می‌یابد.



شکل ۵. طیف عبور لایه‌های دی‌اکسید قلع آلیایده با آلومینیوم در

ضخامت‌های مختلف

پس از تهیه طیف عبوری نمونه‌ها، گاف باند اپتیکی با استفاده از رابطه تاک [۱۹] که قبلاً توضیح داده شد، محاسبه شده است. تغییرات گاف باند اپتیکی با ضخامت نمونه‌ها در شکل

جرمی آلومینیوم، لایه نهشته شده با ضخامت 450nm به عنوان لایه با خواص بهینه گزارش شد. ضخامت بر اندازه دانه‌ها، گاف انرژی و مقاومت ویژه در این لایه‌های نازک تأثیر می‌گذارد بنحوی که با افزایش ضخامت، اندازه دانه‌ها و گاف انرژی، افزایش و مقاومت ویژه کاهش می‌یابد و بزرگترین اندازه دانه، بیشترین گاف انرژی و کمترین مقاومت ویژه مربوط به لایه نهشته شده با ضخامت 450nm گزارش شدند.

قدردانی

از استاد گرانقدر و بزرگوارم جناب آقای دکتر حسن بیدادی بخاطر راهنمایی‌های مفید و ارزنده‌شان کمال تشکر را می‌نمایم.

مراجع

1. A. Aballe, M. Bethencourt, F. J. Botana, M. J. Cano and M. Marcos, *Localized corrosion of alloy AA 5083 in natural 3.5% NaCl Solution*, Corrosion Science, 43(2001)1657-1674.
2. S. Sujatha lekshmy, L. V. Maneeshya, P.V. Thomas, K. Joy, *Intense UV photoluminescence emission at room temperature in SnO₂ thin films*, Indian J. Phys, 8(2013)33-38.
3. R. Dolbec, M. A. El Khakani, A. M. Serventi, M. Trudeau, R. G. Saint-Jacques, *Platinum nanoparticles growth by means of pulsed laser ablation*, Thin Solid Films, 419(2002)230.
4. B. Mattias, D., Ulrike, *The surface and materials science of tin oxide*, Progress in surface Science, 79 (2005)47-154.
5. C. Sevik, C. Bulutay, *High dielectric constant and wide band gap inverse silver oxide phases of the ordered ternary alloys of SiO₂, GeO₂, and SnO₂*, Phy. Re. B, 74(2006).
6. A. Dieguez, A. Romano-Rodriguez, J. R. Morante, U. Weimar, M. Schweizer-Berberich, N. Gopal, *Sens. Actuators B*, 31(1996) 1.
7. C. Morales, H. Juárez, T. Díaz, Y. Matsumoto, E. Rosendo, G. Garcia, M. Rubin, F. Mora, M. Pacio, A. García, *Low temperature SnO₂ films deposited by APCVD*, Microelectronics Journal, 39(2008)586-588.
8. G.S.V. Coles, K.J. Gallagher, J. Watson, *Fabrication and preliminary tests on tin (iv) oxide-based gas sensors*, Sensors and Actuators, 7 (1985) 89-96.

حاملین بار با افزایش ضخامت لایه‌ها افزایش یافته و برای نمونه‌هایی با ضخامت ۱۲۰ نانومتر و بیشتر، تقریباً مقادیر یکسانی دارد ولی تحرک‌پذیری با افزایش ضخامت حتی برای ضخامت‌های بالاتر از ۱۲۰ نانومتر نیز افزایش می‌یابد [۲۴]. بنا به دلایل ذکر شده می‌توان کاهش در مقاومت ویژه را به افزایش در تحرک‌پذیری حاملین بار به دلیل افزایش در مسافت آزاد میانگین آن‌ها نسبت داد. چون در ضخامت‌های کمتر، سطح لایه نازک به دلیل کوتاه‌تر کردن مسافت آزاد میانگین حاملین بار، باعث افزایش در مقاومت ویژه می‌شود.

نتیجه گیری

در این کار تجربی لایه‌های نازک دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم با ترکیب‌های مختلفی از ۵ تا ۱۰ درصد جرمی آلومینیوم و ۹۵ تا ۹۰ درصد جرمی دی‌اکسید قلع بوسیله تبخیر با باریکه الکترونی بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای نهشته شدند. سپس تأثیر غلظت و ضخامت آلاینده آلومینیوم بر خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری این لایه‌ها بررسی شد خلاصه نتایج بدست آمده به شرح زیر است:

۱- غلظت آلاینده آلومینیوم نقش بسیار مهمی را در تغییرات خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم بازی می‌کند بنحوی که از میان ۳ لایه نهشته شده با شرایط یکسان که فقط غلظت آلاینده متفاوت دارند، لایه با کمترین غلظت آلاینده یعنی ۵٪ جرمی آلومینیوم، بعنوان لایه با خواص بهینه گزارش شد.

غلظت آلاینده، بر بلورینگی، گاف باند اپتیکی و مقاومت ویژه در این لایه‌های نازک تأثیر می‌گذارد بنحوی که با افزایش غلظت آلاینده آلومینیوم از ۵٪ جرمی، بلورینگی و گاف باندی در این لایه‌ها کاهش و مقاومت ویژه افزایش می‌یابد.

۲- ضخامت یکی از پارامترهای نهشت است که به خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری لایه‌های دی‌اکسید قلع آلاییده با آلومینیوم تأثیر می‌گذارد بنحوی که در بررسی تأثیر ضخامت بر خواص این لایه، از میان لایه‌های با ۷/۵٪

- Engineering, Case Western Reserve University, 2008.
22. A. Santhosh Kumar , K.K. Nagaraja, H.S .Nagaraja, J.Mater, *Investigation of annealing temperature effect on structural and optical properties of SnO₂*, Sci. Mater. Electron. 24 (2013) 3812-3822.
 23. H. R., Fallah, M. Ghasemi, A. Hassanzadeh, *The effect of annealing on structural, electrical and optical properties of nanocrystalline ITO Films grown on glass at room temperature prepared by electron beam evaporation*, Material Research Bulletin, 42(2007)487-496.
 24. S. Sujatha Lekshmy. K. Joy, *Conductivity in oxide thin films is an important step towards their application*, Journal of Sol-Gel Science and Technology, 67(2013) 29-38.
 25. V. Senthilkumar And P. Vickraman, *Structural, optical and electrical studies on nano crystalline tin oxide (SnO₂) thin films by electron beam evaporation technique*, J. Mater Sci: Mater Electron, 21(2010) 578-583.
 9. A. A. Mousa–Bahia, G. S. V. Coles and M. J. Willett, *The characterization of semiconductor gas sensors II. A critical comparison with respect to products of combustion*, Sensors and Actuators B, 19 (1994) 668-74.
 10. J. Watson, *The tin oxide gas sensor and its applications*, Sensors and Actuators, 5 (1984) 29-42.
 11. K. Ihokura, J. Watson, *The Stannic Oxide Gas Sensor*, Principles and Applications, CRC Press, Boca Raton, 1994.
 12. L. I. Maissel And R. Glang, *Handbook of thin film Technology*, McGraw-Hill, New York, 1970.
 13. F. Fang, Y. Zhang, X. Wu, Q. Shao, Z. Xie, *Electrical and optical properties of nitrogen doped SnO₂ thin films deposited on flexible substrates by magnetron sputtering*, Materials Research Bulletin, 68(2015)240-244.
 14. Ch. Messaadi, M. Ghrib, H. Chenaina, M.Manso-Silvan, H. Ezzaouia, *Structural, optical and electrical properties of SnO₂ doped TiO₂ synthesized by the Sol–Gel method*, Journal of Materials Science, 29(2018)3095–3103.
 15. G. Sanon, R. Rup And A. Mansingh, *Band-gap narrowing and band structure in degenerate tin oxide (SnO₂) films*, Phys. Rev. B, 44(1991)5672-5680.
 16. S.K. Sinha, S.K. Ray and I. Manna, *Effect of Al doping on structural, optical and electrical properties of SnO₂ thin films synthesized by pulsed laser deposition*, Philosophical Magazine, 94(2014)3507–3521.
 17. N. A. Dahham, A. Esmaeel, N. A. Abed, *Effect of Al doping on the Structural properties of SnO₂ thin films prepared by (sol-gel) method*, Tikrit Journal of Pure Science, 21(2016)155-161.
 18. K. S. Sree Hasha, *Principles of physical vapour deposition of thin films (First Edition)*. Academic Press, 2006.
 19. L. I. Maissel, R. Glang, *Handbook of thin film Technology*, McGraw-Hill, New York, 1970.
 20. K. Tang, L. Wang, J. Zhang, W. Shi, Y. Xia, *Electrical and structural properties of Al-doped ZnO films*, Junction Technology (IWJT), International Workshop on, 2011.
 21. Y. tang, *Synthesis and characterization of tin oxide for thin film gas sensor applications*, Department of Materials Science and