بیست و چهارمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و دهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۱۰ الی ۱۲ بهمن ۹۶ – دانشگاه شهرکرد
24th Iranian Conference on Optics and Photonics (ICOP 2018) and
9th Iranian Conference on Photonics Engineering and Technology (ICPET 2018)
Jan 30 - Feb 1 , 2018 - Shahrekord University

خواص اپتیکی و الکتریکی پوشش‌های چندلایه‌ای FTO/Ag/FTO

فاطمه رزمگه، سعید هادوی

گروه فیزیک. دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

با توجه به اهمیت کاهش مقاومت الکتریکی سطحی و ارتقاء بازدهی پوشش‌های هادی شفاف، در این گزارش پژوهشی سعی شده است با جایگزینی پوشش‌های چندلایه‌ای TCO/Metal/TCO به جای پوشش‌هی تک لایه هادی شفاف و بهینه‌سازی پارامترهای ساخت، تا حد مقدور ویژگی‌های اپتیکی و الکتریکی این ساختارها بهبود یابند. در این مقاله، تأثیر تغییر ضخامت لایه فلزی و نیز تأثیر دمای زیرلایه بر روی خواص اپتیکی و الکتریکی ساختار چندلایه‌ای FTO/Ag/FTO مورد مطالعه قرار گرفته است. لایه اول و سوم به روش اسپری پایرولیز و لایه دوم به روش تبخیر حرارتی در خلأ لایه نشانی شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با استفاده از پوشش‌های چند لایه یادشده می‌توان تا حدودی ضریب برتری پوشش‌های الکتریکی شفاف را بهبود بخشید.

کلیدواژه : پوشش‌های هادی شفاف، پوشش‌های چندلایه ای، اسپری پایرولیزیز، لایه‌های نازک

Electrical and optical properties of FTO/Ag/FTO multilayer coatings

Fatemeh Razmgah, Saeed Hadavi

Department of Physics. The University of Sistan & Baluchestan

Abstract: Due to importance of decreasing of electrical sheet resistance and improvement of efficiency in conducting oxides coatings, in this project we have tried to do this work by replacing of TCO single layer with TCO/Metal/TCO multilayer and optimization of deposition parameters. The effect of metal layer thickness and substrate temperature on optical and electrical properties of TCO/Metal/TCO were studied and reported. The first and third layers were deposited by spray pyrolysis technique and the metal layer was deposited by thermal vacuum deposition.The results of this investigation shows that it is possible to improve the TCO figure of merit by using of aforementioned multilayers.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

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

۱- مقدمه

اکسیدهای رسانای شفاف (TCO's) پوشش‌های مناسب و موردنیاز بسیاری از قطعات الکترونیکی حساس به نور از جمله الکترودهای شفاف، دیودهای شفاف و نیز در ساخت صفحات نمایشی لمسی و صفحات نمایشی دارای صفحه تخت [۱] و سلول‌های خورشیدی لایه نازک [۲] می‌باشند. اکسیدهای رسانای شفاف ، به‌طور هم‌زمان دارای شفافیت اپتیکی بالا در ناحیه مرئی و رسانایی الکتریکی بالا (نزدیک به رساناها) می‌باشند. در حالت ایده آل، هر دو ویژگی عبور اپتیکی و هدایت الکتریکی باید حداکثر باشد. اگرچه تا به امروز پوشش‌های الکتریکی شفاف زیادی به‌صورت تک لایه ساخته و توسعه یافته‌اند، اما در موارد خاصی نیازمند پوشش‌هایی با کارایی بهتر و هدایت الکتریکی بیشتر و ویژگی‌های اپتیکی ممتاز هستیم. یکی از راهکارهای پیشنهادی، ساخت ساختارهای چندلایه‌ای به‌صورت کلی TCO/metal/TCO می‌باشد. در ساختارهای سه لایه TCO/metal/TCO لایه‌ی فلزی، عنصر کلیدی برای تعیین مقاومت سطحی است. در مطالعات انجام شده محقق شده است که با توجه پایین‌تر بودن مقاومت الکتریکی نقره در مقایسه با سایر فلزات، استفاده از این عنصر بهترین گزینه برای ساخت پوشش سه لایه‌ای مذکور است. بااین-حال، عبور اپتیکی و مقاومت سطحی به‌سرعت با افزایش ضخامت لایه تغییر می‌کند[۳]. در این مقاله لایه اول و سوم را FTO (اکسید قلع آلاییده شده با فلوئور) انتخاب شده است و به منظور دستیابی به ویژگی‌های الکتریکی و عبور اپتیکی بهتر پارامترهای ساخت ساختارهای چندلایه‌ای بهینه‌سازی شد.

نمونه	TCO	TCO/Metal	TCO/Metal/TCO	T% درصد عبور	R_s مقاومت سطحی	F فیگرآمریت	ΔV_1 حجم اولیه	ΔV_2 حجم نهایی
3.a	FTO			73	519.40	$0.082*10^{-3}$	20	
3.b		FTO/Ag		41.8	555.29	$0.00029*10^{-3}$	20	
3.c			FTO(400)/Ag(8nm)/FTO(500)	56.7	26.95	$0.12*10^{-3}$	20	20
4.a	FTO			72.2	687.08	$0.05*10^{-3}$	20	
4.b		FTO/Ag		37.5	896.37	$0.00006*10^{-3}$	20	
4.c			FTO(400)/Ag(8nm)/FTO(550)	55.6	11.51	$0.24*10^{-3}$	20	20

۲- روش ساخت FTO/Ag / FTO چندلایه‌ای

ماده اولیه برای تهیه لایه‌های نازک اکسید قلع خالص، پودر سفیدرنگ کلرید قلع ۵ آبه (با درجه خلوص ۹۹/۹۰ از شرکت آلدریچ) با فرمول شیمیایی $SnCl_4{:}5H_2O$ و حلال مربوط، ترکیب آب مقطر و الکل به نسبت مساوی می‌باشد. ازآنجایی‌که با افزودن الکل شفافیت محلول کمی کاهش می‌یابد، چند قطره HCl به منظور شفافیت بیشتر، به محلول اضافه می‌شود. سپس مقدار ۰/۰۵ گرم NH_4F به محلول قبلی اضافه شد. محلول تهیه‌شده درون ظرف دستگاه اسپری پایرولیزیز ریخته شد و در دمای زیرلایه $^{\circ}C$ ۴۵۰ با آهنگ زمانی ۱۰mL/min بر روی زیر لایه‌های شیشه‌ای اسپری گردید. در این مقاله، برای تهیه ساختار-های FTO/Ag / FTO ، لایه‌های FTO به روش اسپری پایرولیزز بر روی زیر لایه‌های شیشه‌ای لایه نشانی شده و سپس با استفاده از دستگاه تبخیر حرارتی در خلأ، لایه دوم نقره بر روی FTO لایه نشانی و در مرحله آخر لایه سوم FTO بر روی ساختار دولایه‌ای FTO/Metal لایه نشانی شد.

۲ - ۱ بررسی ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی نمونه‌ها با بهینه‌سازی میزان ضخامت لایه فلزی

برای مقایسه عملکرد الکتریکی و اپتیکی هم‌زمان الکترود-های شفاف مرسوم است که از پارامتر ضریب برتری استفاده می‌شود این فاکتور به‌صورت رابطه (۱) تعریف‌شده است.

$$F_{TC}= T^{10}/R_s \qquad (۱)$$

در این رابطه T معرف میزان عبور اپتیکی در طول‌موج ۵۵۰ نانومتر و R_s مقاومت ورقه‌ای می‌باشد [۴].

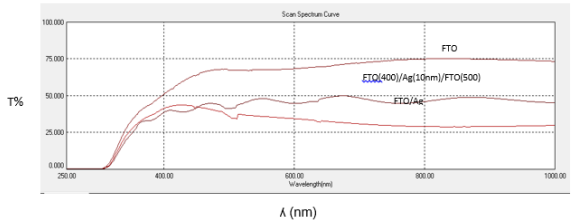
جدول ۱ ویژگی‌های دو نمونه تهیه‌شده را در حالت‌های تک لایه (TCO) و دولایه (TCO/Metal) و سه لایه (TCO/Metal/TCO) نشان می‌دهد. در این نمونه‌ها، TCO لایه اول در دمای یکسان ۴۰۰ درجه و TCO لایه سوم در دمای یکسان ۵۰۰ تهیه‌شده‌اند. ضخامت لایه نقره در حالت دولایه و سه لایه نمونه‌های ۱ و ۲ برابر ۸nm و ۱۰ nm می‌باشد . جدول ۱ درصد عبور T% ، مقاومت سطحی(R_S) و ضریب برتری (F) در TCO/Metal/TCO

مقایسه نمونه‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که مقاومت سطحی TCO با تبدیل تک لایه به سه لایه به‌طور قابل‌توجهی کمتر شده و ضریب برتری افزایش یافته است.

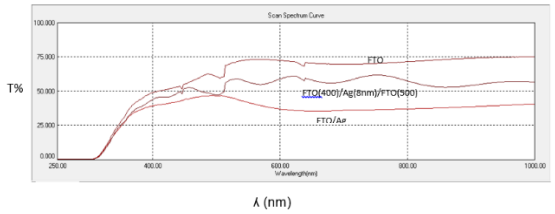
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

شکل‌های ۱ و ۲ طیف عبور اپتیکی نمونه‌های جدول شماره ۱ را نشان می‌دهند.



شکل ۱. طیف عبور اپتیکی سه نمونه اول جدول۱



شکل ۲. طیف عبور اپتیکی سه نمونه دوم جدول۱

۲-۲ بررسی ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی نمونه‌های تهیه‌شده: بهینه‌سازی دمای زیرلایه (T_{S2})

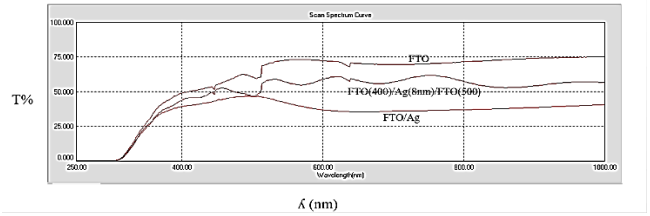
از بررسی نمونه‌های جدول ۱ متوجه شدیم که نمونه سه لایه هنگامی‌که ضخامت لایه فلزی ۸ نانومتر است به‌طور نسبی دارای ضریب برتری بالاتری است. در این بخش از مقاله با ثابت نگه‌داشتن دمای اولیه لایه اول و ثابت نگه‌داشتن ضخامت لایه فلزی (۸ نانومتر) دمای لایه سوم ساختار چندلایه‌ای FTO/Ag/FTO تغییر می‌دهیم. جدول شماره ۲، دو نمونه را در حالت‌های هادی شفاف تک لایه (TCO) و دولایه (TCO/Metal) و سه لایه (TCO/Metal/TCO) را نشان می‌دهد که در آن‌ها TCO زیر لایه اول در دمای اولیه یکسان (۴۰۰ درجه) و TCO زیرلایه سوم در دمای ۵۰۰ و ۵۵۰ درجه قرارگرفته است؛ و ضخامت Ag در حالت دولایه و سه لایه ۸nm می‌باشد.

جدول۲. درصد عبور ، مقاومت سطحی و ضریب برتری با توجه به تغییر دمای زیرلایه سوم TCO/Metal/TCO

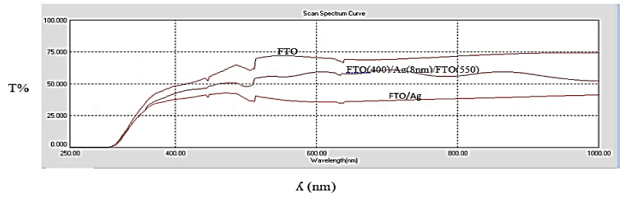
نمونه	TCO	TCO/Metal	TCO/Metal/TCO	T% درصد عبور	R_s مقاومت سطحی	F ضریب برتری	ΔV_1 حجم اولیه	ΔV_2 حجم نهایی
3.a	FTO			67.7	1510.35	$0.013*10^{-3}$	20	
3.b		FTO/Ag		35.5	1342.11	$0.000023*10^{-3}$	20	
3.c			FTO(400)/Ag(10nm)/FTO(500)	48	20.58	$0.031*10^{-3}$	20	20
4.a	FTO			73	519.40	$0.082*10^{-3}$	20	
4.b		FTO/Ag		41.8	555.29	$0.00029*10^{-3}$	20	
4.c			FTO(400)/Ag(8nm)/FTO(500)	56.7	26.95	$0.12*10^{-3}$	20	20

جدول ۲ نشان می‌دهد که ضریب برتری ساختار چندلایه‌ای FTO(400 °c)/Ag(8nm)/FTO(550 °c) در مقایسه با ساختار چندلایه‌ای FTO(400 °c) /Ag(8nm)/FTO(500 °c) بیشتر شده است.

شکل‌های ۳ و ۴، طیف عبور اپتیکی نمونه‌های جدول ۲ در حالت‌های تک لایه (TCO) و دولایه (TCO/Metal) و سه لایه (TCO/Metal/TCO) نشان می‌دهد. در این ترکیب، لایهTCO اول در دمای ۴۰۰ درجه و لایه TCO سوم در دمای ۵۰۰ و ۵۵۰ درجه و ضخامت لایه نقره در حالت دولایه و سه لایه ۸nm می‌باشد.



شکل ۳. طیف عبوری نمونه اول جدول ۲ با توجه به تغییر دمای TCO لایه سوم



شکل ۴. طیف عبوری نمونه دوم جدول ۲ با توجه به تغییر دمای TCO لایه سوم

۲-۳ پهنای گاف انرژی

ضریب جذب α از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\alpha = lnT/d \qquad (۲)$$

که d معرف ضخامت لایه و Tمعرف میزان عبور اپتیکی است. (در این رابطه بزرگی α در نظر گرفته می‌شود.) از

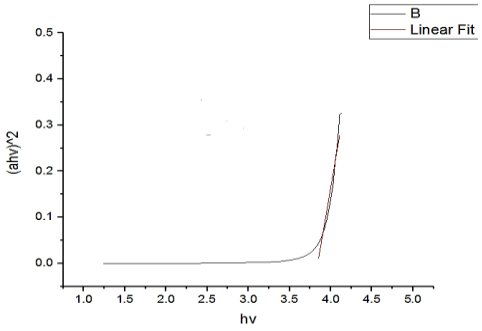
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقادیر ضریب جذب برای تعیین شکاف انرژی استفاده می-کنیم و گاف انرژی مستقیم است. (Eg) از رابطه (۳) به دست می‌آید:

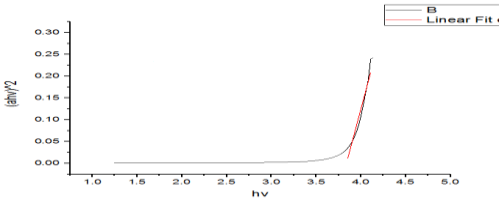
$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - Eg) \qquad (۳)$$

A ثابت است و $h\nu$ انرژی فوتون فرودی است. منحنی $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ برای نمونه‌ها به‌منظور تعیین گاف انرژی در شکل‌های ۵ و۶ و ۷ ترسیم شده است.

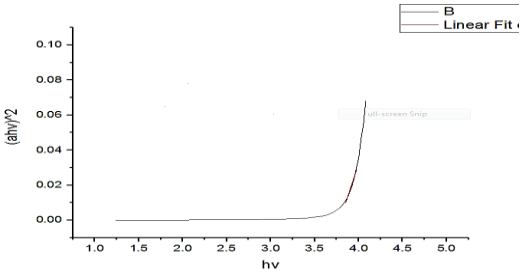


شکل ۵. منحنی $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ مربوط به نمونه

. FTO(400 °C)



شکل ۶. منحنی $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ مربوط به ساختار چندلایه‌ای FTO(400 °C)/Ag(8nm) در حالت دولایه.



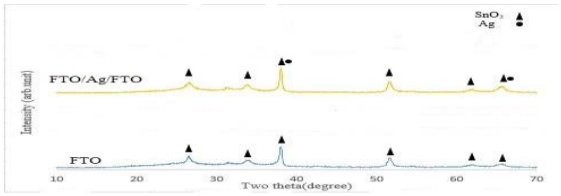
شکل ۷. منحنی $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ مربوط به ساختارچندلایه‌ای

. FTO(400 °C)/Ag(8nm)/FTO(550 °C)

(Eg) شکاف انرژی به‌دست‌آمده از شکل شماره ۵ و ۷ برابر 4eV به‌دست‌آمده است. شکاف انرژی به‌دست‌آمده از شکل شماره ۶ برابر 3.82eV می‌باشد.

۳- بررسی ساختار بلوری نمونه‌های هادی شفاف تک‌لایه، سه لایه TCO/Metal/TCO:

شکل شماره ۸ الگوهای پراشی XRD ، مربوط به نمونه‌های تک-لایه FTO، سه‌لایه FTO/Metal/FTO رانشان می دهد.



شکل ۸. الگوهای پراشی XRD ، مربوط به نمونه‌های تک‌لایه FTO، سه‌لایه FTO/Metal/FTO

در نمونه تک‌لایه FTO، پیک‌های تیز و شاخص SnO2 با ساختار تتراگونال در موقعیت‌های ۲۶/۶، ۳۳/۸، ۳۷/۸، ۵۱/۷، ۶۱/۷، ۶۵/۷ درجه) هستند. با سه لایه کردن نمونه‌ها پیک‌های پهن و بلندتری ایجاد شد که نشان از بلورینگی مناسب‌تر آن‌هاست.

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از پوشش-های مناسب چندلایه ای TCO/Metal/TCO و بهینه‌سازی پارامترهای لایه‌نشانی امکان بهبود ضریب برتری و بویژه مقاومت الکتریکی پوشش‌های هادی شفاف وجود دارد.

۵- مراجع

[1] H. Liu ,V. Avrutin ,N. Izyumskaya , "Transparent conducting oxides for electrode application sin light emitting and absorbing devices", Super- lattices Microstruct. Vol. 48, pp.458–484, 2010.
[2] Noh, S. I., Ahn, H. J., & Riu, D. H. "Photovoltaic property dependence of dye-sensitized solar cells on sheet resistance of FTO substrate deposited via spray pyrolysis". Ceramics International, Vol. 38, No. 5, pp. 3618-3619, 3735-3739, 2012.
[3] C. Guillén , J. Herrero, "TCO/metal/TCO structures for energy and flexible electronics", Thin Solid Films, Vol. 520, pp. 1–17, 2011.
[4]. Haacke, G., New figure of merit for transparent conductors. Journal of Applied Physics, Vol. 47, pp. 4086–4089, 1976.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]