



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



تاثیر ضخامت مس و ایندیوم در فیلم نازک رسانای شفاف

$\text{MoO}_3/\text{In}/\text{Cu}/\text{In}/\text{MoO}_3$

مسعود عبدالهی^۱، عرفان کدیور^۱

۱. دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز

چکیده - در این مطالعه تاثیر ضخامت لایه مس به عنوان لایه هدایت کننده الکتریکی و ایندیوم به عنوان لایه واسط در فیلم نازک ساندویچ شده توسط تری اکسید مولیبدن مورد بررسی قرار می گیرد. برای دست یافتن به ساختار فوق، لایه های نازک روی زیرلایه شیشه ای به روش تبخیر حرارتی لایه نشانی شده اند. طیف عبوری در ناحیه مرئی بوسیله دستگاه طیف سنج دو پرتویی و مقاومت الکتریکی سطحی پوشش توسط دستگاه پروپ چهارسر اندازه گیری شده است. همچنین کیفیت و زبری سطح توسط میکروسکوپ نیروی اتمی اندازه گیری شده است. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که بیشینه مقدار تابع شایستگی مربوط به ضخامت مس ۱۲ نانومتر و ایندیوم ۳ نانومتر است.

کلید واژه - طیف عبوری، فیلم نازک رسانای شفاف، لایه نشانی، لایه واسط، مقاومت الکتریکی

Influence of copper and indium thicknesses in the transparent conductive thin film: $\text{MoO}_3/\text{In}/\text{Cu}/\text{In}/\text{MoO}_3$

Masoud Abdollahi 1, Erfan Kadivar 2

1. Department of Physics, Shiraz University of Technology

Abstract - In this study, the role of copper as an electric conductive layer and indium as an interface layer in a thin film of molybdenum trioxide sandwich have been investigated. To achieve the above structure, the thin layers are deposited on the substrate by thermal evaporation of the layer. Transmission spectrum in the visible region was measured by two-beam spectrophotometer instrument and electrical resistance was measured by the four-point probe. The experimental results show that the maximum value of the suitability function is 8 nm copper thickness and 3 nm indium thickness.

Keyword - Transmission spectrum, Thin film, Deposition, Interface layer, Electrical resistance

مقدمه

در سال‌های اخیر، دستگاه‌های صفحه‌های نمایش تخت (مانند دیو‌های آلی نور، نمایشگرهای کریستال مایع یا دستگاه‌های پلاسما) به دلیل انعطاف پذیری مکانیکی، وزن و هزینه ساخت کم به سرعت در حال توسعه هستند. در همه این دستگاه‌ها یک الکتروود شفاف مورد نیاز است. اکسیدهای رسانای شفاف (TCO) به عنوان آند به طور گسترده ای در این دستگاه‌ها استفاده می‌شوند [۱ و ۲]. از مواد و روش‌های متعددی برای ساخت فیلم‌های نازک رسانای شفاف استفاده می‌شود. فیلم‌هایی مانند پوشش ITO و AZO به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از ساختارهایی که به ندرت مورد مطالعه قرار گرفته است، ساختار اکسید/فلز/اکسید است. در ساختارهای اکسید/فلز/اکسید به منظور کاهش بازتاب زیاد نور، فیلم فلزی بین دو لایه دی الکتریک اکسید فلزی تعبیه می‌شود [۳]. در چنین ساختاری، فیلم فلزی باید به اندازه کافی ضخیم باشد تا بتواند هدایت الکتریکی خوبی داشته باشد و به اندازه کافی نازک باشد تا از جذب زیاد نور جلوگیری کند [۴]. خواص الکتریکی و اپتیکی چنین ساختارهایی به شدت تحت تاثیر عواملی همچون دمای زیرلایه، آهنگ لایه‌نشانی و ضخامت لایه‌ها است.

تیبان و همکارش مطالعاتی در خصوص دیو‌های گسیل نور آلی (OLED) با استفاده از کاتد $\text{MoO}_3/\text{Ag}/\text{MoO}_3$ به روش تبخیر حرارتی انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که این ساختار می‌تواند میزان انتقال نوری را به میزان ۶۵ تا ۸۰ درصد در محدوده طول موجی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر و مقاومت در حد $9 \Omega/\square$ نشان دهد [۵].

کاتین و همکارانش به مطالعه خواص $\text{MoO}_3/\text{Ag}/\text{MoO}_3$ با استفاده از تبخیر حرارتی پرداختند. آن‌ها دریافتند زمانی که آهنگ رسوب نقره از ۰/۲ به ۰/۴ نانومتر بر ثانیه افزایش می‌یابد ضخامت مورد نیاز نقره برای هدایت الکتریکی از ۸ به ۴ نانومتر

کاهش می‌یابد. با افزایش ضخامت لایه نقره، رسانش از حدود $10^{-6} \times 1$ اهم سانتیمتر تا بیش از $10^4 \times 1$ اهم سانتیمتر افزایش می‌یابد. همچنین برای ضخامت لایه نقره تقریباً ۱۰ نانومتر در محدوده ۴۴۰ تا ۴۶۰ نانومتر، حداکثر انتقال نوری برابر ۸۶ درصد و مقدار متوسط عبور نوری برای این ضخامت ۷۶ درصد به دست آوردند [۱].

لوپز و همکارانش به مطالعه ساختار $\text{MoO}_3/\text{Cu}/\text{MoO}_3$ لایه‌نشانی شده به روش تبخیر حرارتی پرداختند. آن‌ها دریافتند که به دلیل نفوذ لایه مس در فیلم‌های MoO_3 ، برای دست یافتن به ساختاری رسانا باید ضخامت لایه مس را افزایش دهند که این امر منجر به تضعیف عبور می‌گردد. بنابراین از لایه واسطه آلومینیوم بین دو لایه Cu و MoO_3 استفاده کردند و ساختار را لایه نشانی کردند:



بهترین نتایج برای Al ضخامت ۱/۷، Cu، ۱۸ و MoO_3 در مجاورت زیر لایه و هوا به ترتیب ضخامت-های ۲۰ و ۳۵ نانومتر را به دست آوردند. ساختار فوق عبور اپتیکی ۷۰ درصد در ۵۹۰ نانومتر و رسانش $5 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ را نشان می‌دهد [۲].

آماده سازی نمونه‌ها

در این مطالعه، ابتدا زیر لایه شیشه‌ای با الکل اتیلن و استون تمیز می‌شود. سپس با گاز نیتروژن خشک شده و مجدداً به وسیله پنبه آغشته به استون تمیز می‌شود. عملیات لایه‌نشانی توسط دستگاه DTT که شامل سه منبع تبخیر گرمایی است صورت گرفته است.

پس از رسیدن دستگاه به فشار 10^{-5} Torr عملیات لایه‌نشانی در دمای اتاق صورت گرفته است. ضخامت لایه‌ها توسط ضخامت سنج کریستال کوارتز اندازه‌گیری شده است. پس از فرآیند لایه‌نشانی، عبور اپتیکی با اسپکترومتر، مقاومت الکتریکی سطح با

همان طور که در جدول شماره (۲) مشاهده می شود پیداست، افزایش ضخامت ایندیوم باعث کاهش رسانندگی و افزایش عبور اپتیکی می شود. یکی از پارامترهای موثر در مقایسه پوشش های رسانای شفاف، محاسبه فاکتور معیار شایستگی است که از رابطه زیر پیروی می کند [۶]:

$$\Phi_{TC} = T^{10}/R_s \quad (1)$$

جدول های ۳ و ۴ معیار شایستگی برای ضخامت های مختلف مس و ایندیوم را نشان می دهند.

جدول ۳: معیار شایستگی برای ساختار با ضخامت ایندیوم ۴ نانومتر و ضخامت مس متغیر

ضخامت مس (nm)	۱۴	۱۲	۸
Φ_{TC}	$8/7 \times 10^{-6}$	$1/6 \times 10^{-4}$	$2/5 \times 10^{-4}$

جدول ۴: معیار شایستگی برای ساختار با ضخامت مس ۱۲ نانومتر و ضخامت ایندیوم متغیر

ضخامت ایندیوم (nm)	۴	۳	۲
Φ_{TC}	$1/6 \times 10^{-4}$	$2/7 \times 10^{-4}$	$3/5 \times 10^{-8}$

بنابراین معیار شایستگی بهینه مربوط به ساختار دارای مس ۸ و ایندیوم ۴ نانومتری و ساختار دارای مس ۱۲ و ایندیوم ۳ نانومتری است.

شکل ۱ عبور اپتیکی فیلم رسانای شفاف برای ضخامت های متفاوت مس را نشان می دهد. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می گردد، با افزایش ضخامت مس عبور اپتیکی فیلم رسانای شفاف کاهش می یابد که این امر ناشی از افزایش میزان جذب اپتیکی فیلم مس است. شکل ۲ عبور اپتیکی فیلم رسانای شفاف برای ضخامت های متفاوت ایندیوم را نشان می دهد. نتایج حاکی از آن است که با افزایش ضخامت ایندیوم عبور اپتیکی افزایش می یابد. علت این امر تشکیل فیلم اکسید ایندیوم در مجاورت فیلم اکسید مولیبدن است. شکل ۳ تصویر AFM مربوط به ساختار حاوی ۱۴ نانومتر مس و ۴ نانومتر ایندیوم را نشان می دهد.

دستگاه پروب ۴ نقطه و زبری سطح با نیروی میکروسکوپ اتمی اندازه گیری شده است.

نتایج تجربی

در این مطالعه، آهنگ لایه نشانی فیلم های اکسید مولیبدن، مس و ایندیوم به ترتیب برابر ۰/۳ و ۰/۲ و ۰/۰۵ نانومتر بر ثانیه ثابت انتخاب شده است. همچنین ضخامت MoO_3 برابر مقادیر ثابت ۲۰ و ۳۵ نانومتر برای لایه های مجاور با زیرلایه و هوا در نظر گرفته شده است.

لایه نشانی با تغییر در ضخامت مس

به منظور بررسی تأثیر تغییر ضخامت مس در فیلم نازک رسانای شفاف، با ثابت نگه داشتن ایندیوم در ضخامت ۴ نانومتری، فرآیند لایه نشانی انجام پذیرفته است. نتایج بدست آمده در جدول شماره (۱) مشاهده می شود.

جدول ۱: ساختارهایی با ضخامت ایندیوم ثابت (۴ نانومتر) و مس متغیر

ضخامت مس (nm)	R (Ω)	R_s ($\Omega/\square$)	T (550 nm)	زبری سطح (nm)
14	8.80	39.00	45	1.097
12	6.88	31.16	59	1.799
8	6.21	28.04	61	1.944
4	-	-	77	2.329

با توجه به نتایج جدول شماره (۱) کاهش ضخامت مس، باعث افزایش عبور اپتیکی و زبری سطح و همچنین کاهش در رسانندگی می شود.

لایه نشانی با تغییر در ضخامت ایندیوم

در این مرحله با ثابت نگه داشتن ضخامت مس در ۱۲ نانومتر، ضخامت ایندیوم تغییر می کند.

جدول ۲: ساختارهایی با ضخامت مس ثابت (۱۲ نانومتر) و ایندیوم متغیر

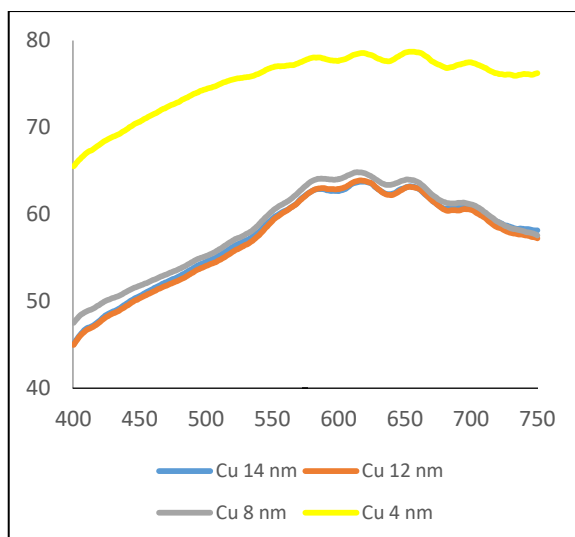
ضخامت ایندیوم (nm)	R (Ω)	R_s ($\Omega/\square$)	T (550 nm)	زبری سطح (nm)
5	-	-	62	1.378
4	6.88	31.16	59	1.799
3	2.97	13.40	57	1.353
2	1.66	7.50	22	3.516

نتیجه‌گیری

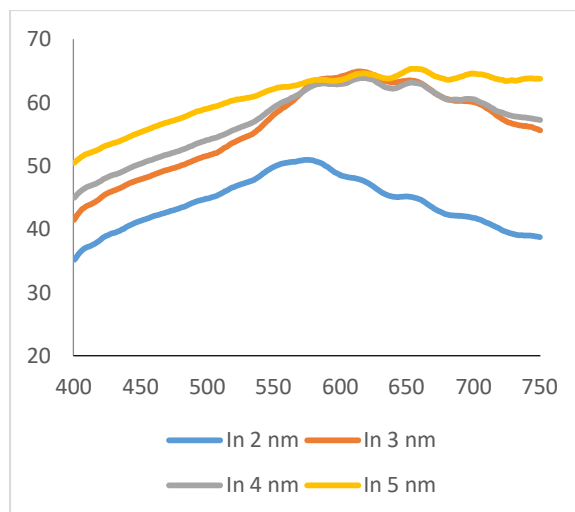
در این مطالعه نقش مس به عنوان لایه رسانش و ایندیوم به عنوان لایه واسط مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که بهینه ساختار فیلم پنج لایه مذکور مربوط به ضخامت‌های مس ۱۲ و ایندیوم ۳ نانومتر است.

منابع

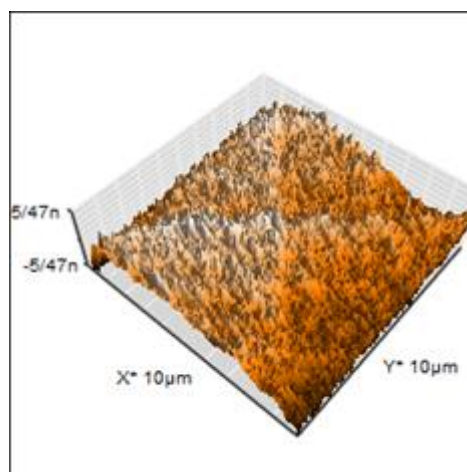
- [1] L. Cattin, Y. Lare, M. Makha, M. Fleury, F. Chandezon, T. Abachi, M. Morsli, K. Napo, M. Addou, J.C. Bernède, "Effect of the Ag deposition rate on the properties of conductive transparent MoO₃/Ag/MoO₃ multilayers" *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 117, pp. 103–109, 2013.
- [2] Pérez Lopéz, L. Cattin, D.T. Nguyen, M. Morsli, J.C. Bernède, "Dielectric /metal/ dielectric structures using copper as metal and MoO₃ as dielectric for use as transparent electrode" *Thin Solid Films*, Vol. 520, pp. 6419–6423, 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] D. T. Nguyen, S. Vedraïne, L. Cattin, P. Torchio, M. Morsli, F. Flory, J.C. Bernède, "Effect of the thickness of the MoO₃ layers on optical properties of MoO₃/Ag/MoO₃ multilayer structures", *J. Appl. Phys.*, Vol. 112, p. 063505, 2012.
- [5] Tian B., Williams G., Ban D., Aziz H., "Transparent organic light-emitting devices using a MoO₃/Ag/MoO₃ cathode", *J. Appl. Phys.*, 2011.
- [6] G. Haacke, *J. Appl. Phys.* 47, p. 4086, 2012.



شکل ۱: طیف تراگسیل نمونه‌ها در ضخامت‌های مختلف مس



شکل ۲: طیف تراگسیل نمونه‌ها در ضخامت‌های مختلف ایندیوم



شکل ۳: تصویر AFM مربوط به نمونه با ضخامت ۱۴ نانومتر مس و ۴ نانومتر ایندیوم در ابعاد ۱۰×۱۰ میکرومتر