بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و ساخت شیشه‌های الکتروکرومیک با لایه‌ی اکسید تنگستن

محبوبه دادآفرین و **سید محمد باقر قرشی**

گروه لیزر و فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده - در این پژوهش شیشه‌های الکتروکرومیک با لایه نازک اکسید تنگستن طراحی و ساخته شد، که شامل یک لایه‌ی الکتروکرومیک (WO_3) روی یک رسانای شفاف (ITO)، الکترولیتی شامل کاتیون‌های Li^+ و یک کاتالیزور (Pt) که روی دومین لایه‌ی رسانای شفاف (ITO) قرار گرفته، می‌باشد و دارای ساختار Glass / ITO / WO_3 / electrolyte / Pt / ITO / Glass است. با اعمال ولتاژ منفی ۲ ولت به نمونه‌ی ساخته شده، مشاهده شد میزان عبور به ویژه برای محدوده طول موجی مرئی از ۶۰٪ به ۳۴٪ کاهش می‌یابد و برای طول موج ۶۸۰ نانومتر عبور ماکزیمم است.

کلید واژه- الکتروکرومیک، الکترولیت، کاتالیزور، لایه نازک

Electrochromic windows with tungsten oxide thin film design and fabrication

M. Dadafarin, S. M. Bagher Ghorashi

laser and photonic group, physics department, University of kashan, kashan

Abstract- In this study, electrochromic windows with tungsten oxide thin film was designed and fabricated, which consist of an electrochromic layer (WO_3) on a transparent conductor (ITO), electrolyte containing Li^+ cations and the catalyst on the second transparent conductor and its structure is Glass/ ITO/ WO_3/ electrolyte/ Pt/ ITO/ Glass. When a negative voltage of 2V was appplied on fabricated sample, transmittance especially for visible wavelength range decreases from 60% to 34% and for a wavelength of 680nm transmittance is maximum value.

Keywords: Electrochromic, Electrolyte, Catalyst, Thin film

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

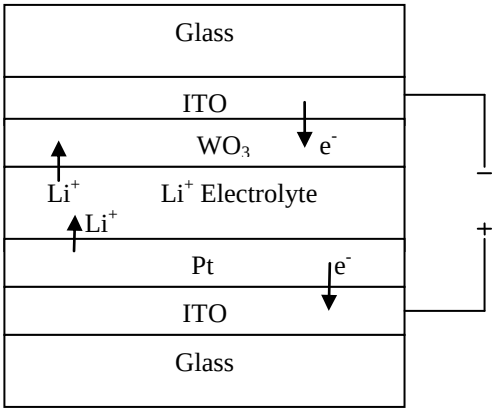
۱- مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر اکسید فلزات شفاف در علوم مختلف از جمله نانو، میکروالکترونیک، اپتوالکترونیک و سیستم‌های الکتروکرومیکی مورد توجه قرار گرفته است. از میان این اکسیدهای شفاف، اکسید تنگستن (WO_3) یکی از جالب‌ترین موادی است که گستره‌ای از خواص مختلف را به ویژه در لایه‌ی نازک خود داراست. از جمله‌ی این خواص می‌توان به خاصیت الکتروکرومیکی این لایه اشاره کرد که موجب شده از آن به عنوان لایه‌ی الکتروکروم در شیشه‌های الکتروکرومیک که نوع خاصی از شیشه‌های هوشمند هستند استفاده شود[1] و [2]. میزان عبور نور از این شیشه‌ها بسته به شرایط آب و هوایی و نیاز کاربر، قابل تنظیم است و علاوه بر تأمین روشنایی مناسب برای داخل ساختمان، حفاظ مناسبی در برابر گرما نیز هستند، میزان تیرگی رنگ آن‌ها قابل کنترل است و دید را مختل نمی‌کنند[3]. این شیشه‌ها زمانی خاصیت الکتروکرومیکی از خود نشان می‌دهند که تحت تأثیر ولتاژ قرار بگیرند. مطابق با شکل ۱ با اعمال ولتاژ به این شیشه‌ها، الکترون‌ها به لایه‌ی الکتروکرومیک (WO_3) تزریق می‌شوند و به طور هم زمان جهت بالانس واکنش، کاتیون‌های Li^+ موجود در الکترولیت، طبق رابطه‌ی زیر روی سطح WO_3 جایگزیده می‌شوند.

$$WO_3\ (\text{شفاف}) + xLi^+ + xe^- \Longleftrightarrow Li_xWO_3\ (\text{آبی})$$

در نتیجه‌ی این واکنش خواص اپتیکی لایه‌ی WO_3 تغییر می‌کند و به طور برگشت پذیر از بی‌رنگ شفاف به آبی تیره تغییر رنگ می‌دهد، که میزان تیرگی این لایه پس از اعمال ولتاژ به ضخامت آن بستگی دارد[4] و [5]. لایه نازک اکسید تنگستن را می‌توان به روش‌های مختلفی نظیر تبخیر گرمایی، تبخیر بیم الکترونی، کند وپاش و لیزر لایه نشانی کرد. که روش تبخیر حرارتی ساده‌ترین، مناسب ترین ومعمول‌ترین روش برای تولید لایه‌های نازک است[1].

در این پژوهش از لایه نازک اکسید تنگستن که به روش تبخیرگرمایی تولید شده و الکترولیتی شامل کاتیون‌های Li^+ در ساخت شیشه‌ی الکتروکرومیک استفاده می‌شود.



شکل ۱: شمای یک سیستم الکتروکرومیک پس از اعمال ولتاژ

۲- آماده سازی نمونه ها

پودر اکسید تنگستن (WO_3) با درصد خلوص ۹۹.۹۹٪ با مارک مرک از شرکت کیمیا اکسیر و محلول رقیق شده‌ی H_2PtCl_6 (کاتالیزر) از کمپانی آلدریچ خریداری شدند.

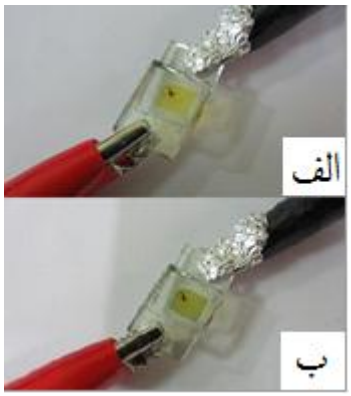
برای تهیه‌ی نمونه‌ها شیشه‌هایی به مساحت ۱۸×۱۲ میلی‌مترمربع دارای لایه‌ی ITO با مقاومت سطحی۳۰ اهم بر متر مربع برش داده شد. این زیرلایه‌ها ابتدا با آب و مواد شوینده شستشو داده شدند و سپس به ترتیب در آب دو تقطیره و اتانول در دستگاه حمام فراصوتی (آلتراسونیک) هر کدام به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند و در نهایت به مدت ۱۵ دقیقه در کوره‌ی ۹۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند تعدادی از نمونه‌ها جهت لایه نشانی WO_3 در دستگاه تبخیر در خلاء مدل Edwards نصب شدند نمونه‌ها در فشار اولیه 6×10^{-5} میلی‌بار و دمای اولیه ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد با آهنگ لایه نشانی ۰.۲ نانومتر در ثانیه در ضخامت ۱۰۰ نانومتر تهیه شدند. سپس مابقی زیرلایه‌ها در کوره‌ی ۴۰۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه قرارداده شدند تا از هرگونه آلودگی احتمالی پاک شوند پس از سرد شدن نمونه‌ها جهت لایه نشانی پلاتین، چند قطره محلول رقیق شده‌ی H_2PtCl_6 روی آن‌ها ریخته شد و در کوره‌ی ۴۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه بازپخت شدند.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

۳- بستن سیستم الکتروکرومیک

لایه‌های Pt , WO_3 توسط یک لایه ترموپلاستیک (سرلین) با ضخامت ۳۰ میکرومتر در دمای ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد به هم چسبانده شدند و در فضای خالی بین آن‌ها الکترولیت مورد نظر تزریق شد و جهت جلوگیری از تبخیر الکترولیت با استفاده از لامل و سرلین روزنه مربوط به تزریق بسته شد.

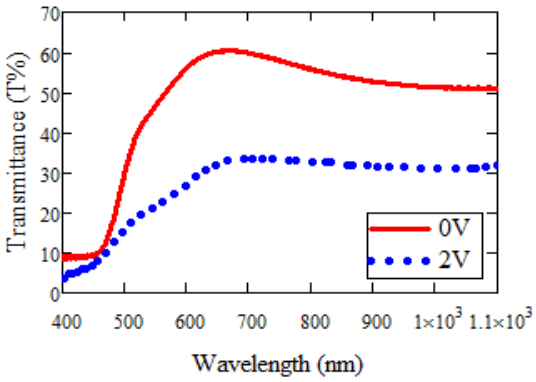
در شکل ۲ تصاویری از نمونه‌ی ساخته شده در حالت‌های شفاف و رنگی نشان داده شده است. شکل ۲-الف سیستم را بدون اعمال ولتاژ و شکل ۲-ب سیستم را دو ثانیه پس از اعمال ولتاژ ۲ ولت نشان می دهد.



شکل ۲: نمونه‌ی سیستم الکتروکرومیک (الف) در ولتاژ صفر، (ب) در ولتاژ ۲ ولت.

۴- اندازه‌گیری طیف عبور

طیف عبور با استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی دو پرتویی مدل Cintra6 UV-Visible برای گستره‌ی طول موجی ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر با گام ۰.۴۲۷ اندازه گیری شد.

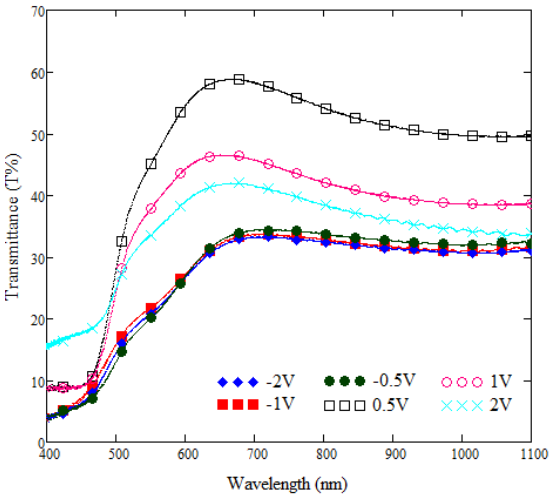


شکل ۳: منحنی طیف عبور سیستم بر حسب طول موج در ولتاژهای صفر و ۲ ولت.

طیف عبور سیستم برای هر دو حالت شفاف و رنگی در محدوده‌ی طول‌موجی ذکر شده در بالا، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود درصد عبور سیستم با اعمال ولتاژ ۲- ولت در طول موج ماکزیمم (۶۸۰ نانومتر) به میزان ۲۶٪ کاهش می‌یابد.

همچنین نمودارهای حالت رنگی برای ولتاژهای مختلف در شکل ۴ آورده شده است. تغییرات ولتاژ از منفی ۲- ولت تا ۲ ولت می باشد.



شکل ۴: منحنی طیف عبور سیستم بر حسب طول موج در ولتاژهای۲- ، ۱- ، ۰/۵- ، ۰/۵، ۱ و ۲ ولت.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مشاهدات و منحنی‌های رسم شده، کاهش عبور به محض اعمال ولتاژ اتفاق می‌افتد و میزان این کاهش به میزان ولتاژ وارده و مستقیم و معکوس بودن آن و وابسته است. در ادامه به دنبال بهینه‌سازی ساختار، زمان پاسخ و فاکتور رنگی هستیم.

سپاسگزاری

با تشکر از زحمات و حمایت‌های بی دریغ خانم‌ها زهره چمن‌زاده و ملیحه افروز و آقایان علی دادستان و شهریار سعیدیان.

مراجع

[1] Rao M.C., Hussain O.M., *optical properties of vacuum evaporated WO_3 thin films*, **Research Journal of chemical sciences**, vol. 1(7), 76-86, Oct. (2011)

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

[2] Anneke G., Andreas G., Wolfgang G., Volker W., *Switchable windows with tungsten oxide*,Vacuum 82 (2008) 730-735.
[3] Anneke G.,Andreas G., *Electrchromic device with a redox electrolyte*, **solar energy materials & solar cells.** 39 (2009) 1329-1337.
[4] Junichi N, Graham D.M., Yumiko S., *Durability of electrochromic glazing*, **solar energy materials & solar cells.** 56 (1999) 309-319.
[5] Joakim K., Arne R., *Angle-resolved optical characterization of an electrochromic device*, **solar energy.** Vol. 68, No. 6, pp. 493-497, 2000.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]