



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - 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)، الکتrolیتی 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، الکتrolیت، کاتالیزور، لایه نازک

## Electrochromic windows with tungsten oxide thin film design and fabrication

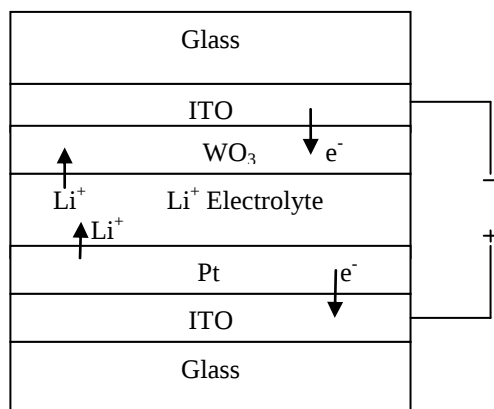
M. Dadafarin, S. M. Bagher Ghorashi

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 applied 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

## ۱- مقدمه



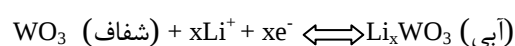
شکل ۱: شمای یک سیستم الکتروکرومیک پس از اعمال ولتاژ

## ۲- آماده سازی نمونه ها

پودر اکسید تنگستن ( $\text{WO}_3$ ) با درصد خلوص ۹۹.۹۹٪ با مارک مرک از شرکت کیمیا اکسیر و محلول رقیق شده  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$  (کاتالیزر) از کمپانی آلد ریچ خریداری شدند.

برای تهیه ی نمونه ها شیشه هایی به مساحت  $18 \times 12$  میلی متر مربع دارای لایه ی ITO با مقاومت سطحی ۳۰ اهم بر متر مربع برش داده شد. این زیرلایه ها ابتدا با آب و مواد شوینده شستشو داده شدند و سپس به ترتیب در آب دو قطیره و اتانول در دستگاه حمام فراصوتی (آلتراسونیک) هر کدام به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند و در نهایت به مدت ۱۵ دقیقه در کوره ی ۹۰ درجه سانتی گراد خشک گردیدند تعدادی از نمونه ها جهت لایه نشانی  $\text{WO}_3$  در دستگاه تبخیر در خلاء مدل Edwards نصب شدند نمونه ها در فشار اولیه  $6 \times 10^{-5}$  میلی بار و دمای اولیه ۴۰ درجه ی سانتی گراد با آهنگ لایه نشانی ۰.۲ نانومتر در ثانیه در ضخامت ۱۰۰ نانومتر تهیه شدند. سپس مابقی زیرلایه ها در کوره ی ۴۰۰ درجه به مدت ۱۵ دقیقه قرارداده شدند تا از هرگونه آلودگی احتمالی پاک شوند پس از سرد شدن نمونه ها جهت لایه نشانی پلاتین، چند قطره محلول رقیق شده ی  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$  روی آن ها ریخته شد و در کوره ی ۴۰۰ به مدت ۳۰ دقیقه بازپخت شدند.

در چند دهه ی اخیر اکسید فلزات شفاف در علوم مختلف از جمله نانو، میکروالکترونیک، اپتوالکترونیک و سیستم های الکتروکرومیک مورد توجه قرار گرفته است. از میان این اکسیدهای شفاف، اکسید تنگستن ( $\text{WO}_3$ ) یکی از جالب ترین موادی است که گستره ای از خواص مختلف را به ویژه در لایه ی نازک خود داراست. از جمله ی این خواص می توان به خاصیت الکتروکرومیک این لایه اشاره کرد که موجب شده از آن به عنوان لایه ی الکتروکروم در شیشه های الکتروکرومیک که نوع خاصی از شیشه های هوشمند هستند استفاده شود [1] و [2]. میزان عبور نور از این شیشه ها 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 آن ها قابل کنترل است و دید را مختل نمی کنند [3]. این شیشه ها زمانی خاصیت الکتروکرومیک از خود نشان می دهند که تحت تأثیر ولتاژ قرار بگیرند. مطابق با شکل ۱ با اعمال ولتاژ به این شیشه ها، الکترون ها به لایه ی الکتروکرومیک ( $\text{WO}_3$ ) تزریق می شوند و به طور هم زمان جهت بالانس واکنش، کاتیون های  $\text{Li}^+$  موجود در الکترولیت، طبق رابطه ی زیر روی سطح  $\text{WO}_3$  جایگزین می شوند.



در نتیجه ی این واکنش خواص اپتیکی لایه ی  $\text{WO}_3$  تغییر می کند و به طور برگشت پذیر از بی رنگ شفاف به آبی تیره تغییر رنگ می دهد، که میزان تیرگی این لایه پس از اعمال ولتاژ به ضخامت آن بستگی دارد [4] و [5]. لایه نازک اکسید تنگستن را می توان به روش های مختلفی نظیر تبخیر گرمایی، تبخیر بیم الکترونی، کند وپاش و لیزر لایه نشانی کرد. که روش تبخیر حرارتی ساده ترین، مناسب ترین و معمول ترین روش برای تولید لایه های نازک است [1].

در این پژوهش از لایه نازک اکسید تنگستن که به روش تبخیر گرمایی تولید شده و الکترولیتی شامل کاتیون های  $\text{Li}^+$  در ساخت شیشه ی الکتروکرومیک استفاده می شود.

### ۳- بستن سیستم الکتروکرومیک

لایه‌های Pt, WO<sub>3</sub> 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.

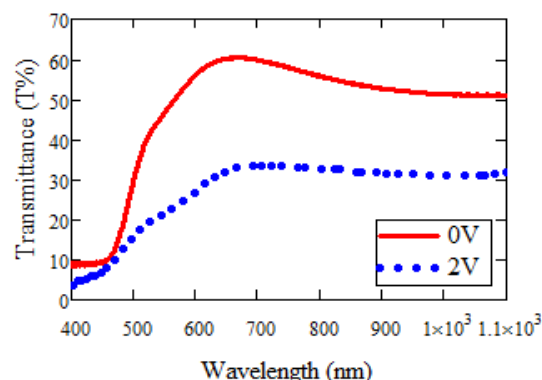
در شکل ۲ تصویری از نمونه‌ی ساخته شده در حالت‌های شفاف و رنگی نشان داده شده است. شکل ۲-الف سیستم را بدون اعمال ولتاژ و شکل ۲-ب سیستم را دو ثانیه پس از اعمال ولتاژ ۲ ولت نشان می‌دهد.



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 اندازه‌گیری شد.

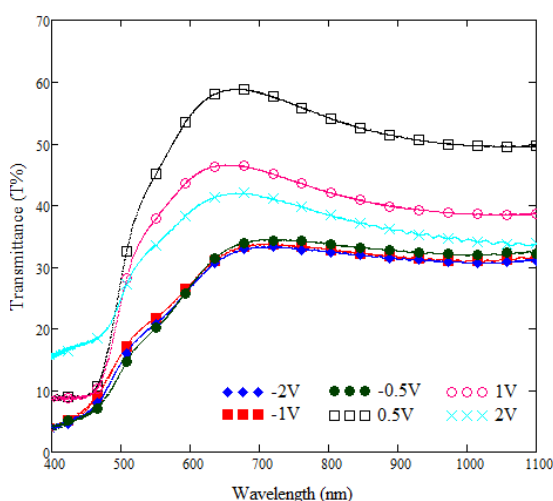


شکل ۳: منحنی طیف عبور سیستم بر حسب طول موج در ولتاژهای صفر و ۲ ولت.

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 می‌باشد.



شکل ۴: منحنی طیف عبور سیستم بر حسب طول موج در ولتاژهای ۲-، -۱، -۰.۵، ۰، 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<sub>3</sub> thin films*, **Research Journal of chemical sciences**, vol. 1(7), 76-86, Oct. (2011)

- [2] Anneke G., Andreas G., Wolfgang G., Volker W., *Switchable windows with tungsten oxide*, *Vacuum* 82 (2008) 730-735.
- [3] Anneke G., Andreas G., *Electrochromic 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.