

طراحی و ساخت شیشه‌های الکتروکرومیک با لایه اکسید تنگستن تهیه شده به روش لایه‌نشانی چرخشی

نیره، داروغه؛ سید محمد باقر، قرشی

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

چکیده - در این پژوهش شیشه‌های الکتروکرومیک با لایه نازک اکسید تنگستن به روش لایه‌نشانی چرخشی طراحی و ساخته شد. بدین منظور ساختار $Glass / FTO / WO_3 / electrolyte / FTO / Glass$ در نظر گرفته شد که شامل یک لایه الکتروکرومیک (WO_3) روی یک رسانای شفاف (FTO)، الکترولیتی شامل کاتیون‌های Li^+ و یک لایه رسانای شفاف (FTO) می‌باشد. سپس با اعمال ولتاژ، میزان عبور، زمان پاسخ و فاکتور رنگ نمونه ساخته شده اندازه‌گیری شد و این پارامترها با نمونه ساخته شده به روش تبخیر حرارتی مقایسه شد.

کلید واژه- اکسید تنگستن، الکتروکرومیک، سل - ژل، فاکتور رنگ.

Electrochromic windows with tungsten oxide film design and fabrication provided by spin coating

Nayyereh, Daroogheh 1; S.M. Bagher, Ghorashi 2

Abstract - In this study, electrochromic glass with tungsten oxide thin film designed and fabricated by spin coating. For this purpose, structure $Glass / FTO / WO_3 / electrolyte / FTO / Glass$ was considered, which include an electrochromic layer (WO_3) on a transparent conductor (FTO), electrolyte containing Li^+ cations and a transparent conductor layer. Then with voltage applied, transmission, switching speed and coloration efficiency for fabricated sample was measured and these parameters was compared with fabricated sample by thermal evaporation.

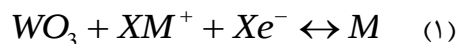
Keywords: Tungsten oxide, electrochromic, Sol-gel, coloration efficiency.

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

مقدمه

مطلوب نگه داشتن هوای داخل ساختمان در طول زمستان و تابستان به ویژه در کشورهایی با تغییرات آب و هوایی زیاد امری ضروری و مهم محسوب می شود. حدود یک سوم انرژی یک ساختمان از طریق پنجره های آن به هدر می رود بنابراین پنجره ها مهم ترین جزء ساختمان در اتلاف انرژی محسوب می شوند و تلاش برای کاهش مصرف انرژی بر روی پنجره ها متمرکز شده است. در این راستا جدیدترین ایده برای حفظ انرژی استفاده از مواد هوشمند و پنجره های هوشمند در ساختمان ها می باشد. دسته بزرگی از مواد هوشمند با عنوان مواد الکتروکرومیک شناخته شده اند، که این مواد قادرند با اعمال یک محرک خارجی میزان عبور، جذب و بازتاب قابل کنترلی داشته باشند [۱]. شیشه های الکتروکرومیک یکی از انواع شیشه های هوشمند هستند که می توان جذب و عبور نور را در آن تغییر داد. استفاده از این پنجره های الکتروکرومیک منجر به کاهش شدید مصرف انرژی توسط کاهش بارهای خنک کننده و بار گرمایش و کاهش تقاضا برای روشنایی می شود [۲] و [۳]. در میان مواد الکتروکرومیک، اکسید فلزات واسطه، مخصوصا اکسید تنگستن به علت گاف نواری بالا در طول ۳۰ سال گذشته مورد توجه بسیار قرار گرفته است. فیلم های نازک آمورف یا چند بلوری اکسید تنگستن را به کمک روش های تبخیر در خلا، کندو پاش، سل-ژل و... می توان آماده ساخت [۴].

در یک سیستم الکتروکرومیک، پس از اعمال ولتاژ منفی به لایه الکتروکرومیک WO_3 ، این لایه کاهیده می شود و هم زمان یون های M^+ انباشته شده در لایه ی ذخیره یونی از طریق محلول الکترولیت در سرتاسر لایه ی WO_3 مطابق با واکنش زیر پخش می شوند تا ترکیب جایگیری شده M^+WO_3 تشکیل شود.



در نتیجه ی این واکنش خواص اپتیکی لایه ی WO_3 تغییر می کند و به طور برگشت پذیر از بی رنگ به آبی تیره تغییر رنگ می دهد [۵] و [۶].

فیلم های نازک اکسید تنگستن با استفاده از روش های مختلف مانند کندوپاش، تبخیر حرارتی، اسپری بخار، رسوب شیمیایی، سل-ژل و... آماده می گردد. در این پژوهش اکسید تنگستن به روش سل-ژل به دلیل مقرون به

صرفه بودن و داشتن انعطاف پذیری شیمیایی بالا تهیه گردید و سپس لایه نازک اکسید تنگستن به روش لایه نشانی چرخشی آماده گردید.

۱- روش و مواد آزمایش

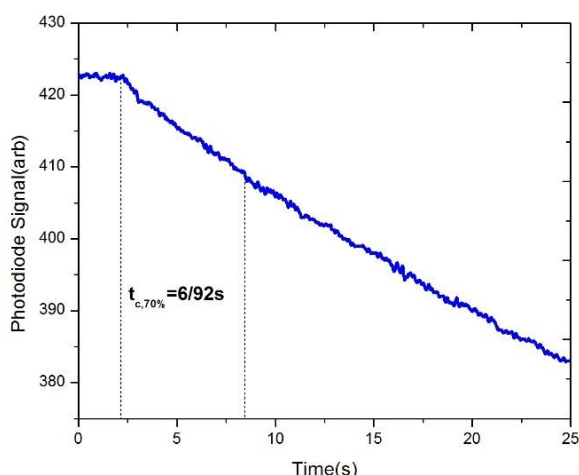
به منظور تهیه ی پیش ماده پرکسواسید تنگستیک، ۳/۲۵ گرم پودر تنگستن از شرکت مرک خریداری و با ۲۰ میلی لیتر آب اکسیژنه و ۲ میلی لیتر آب مقطر ترکیب گردید. به دلیل گرمازا بودن واکنش، محلول در حمام آب یخ در دمای بین ۰ تا ۱۰ درجه سانتیگراد نگهداری شد. پس از حدود ۲۰ ساعت محلول سفید و شفاف به دست آمده را از کاغذ صافی عبور داده و ۲۰ میلی لیتر اسیداستیک به آن اضافه کرده و به مدت ۶ ساعت در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد رفلکس شد. بعد از رفلکس محلول زرد رنگ را در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد خشک گردید، ماده جامد زرد رنگ و پوسته پوسته بدست آمد که پرکسواسید تنگستیک نامیده می شود.

سپس ۱ گرم از ماده تهیه شده را با ۳ میلی لیتر اتانول مرک در دمای ۵۰ درجه بر روی همزن مغناطیسی به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. به منظور تهیه نمونه ها، شیشه ها به مساحت 20×15 میلی متر مربع دارای لایه FTO با مقاومت سطحی ۸ اهم بر مترمربع برش زده شد. این زیر لایه ها به ترتیب در آب و مواد شوینده، متانول، استون و آب دوبار تقطیر در حمام فراصوتی هر کدام به مدت ۱۰ دقیقه شست و شو داده شدند و در نهایت هر کدام به مدت ۲۰ دقیقه در کوره با دمای ۹۰ درجه سانتیگراد خشک گردید.

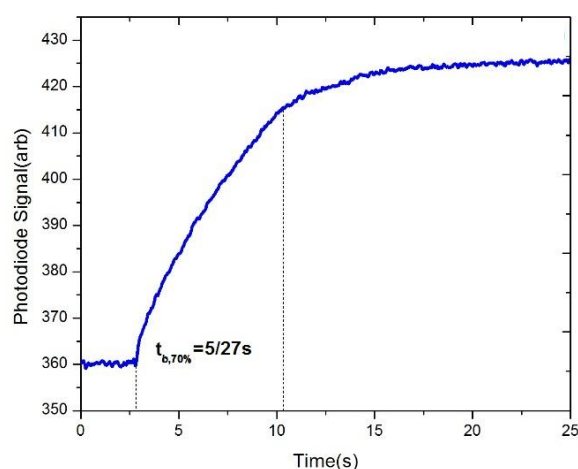
به منظور لایه نشانی پیش ماده پرکسواسید تنگستیک از روش لایه نشانی چرخشی و با سرعت ۳۵۰۰ و زمان ۳۰ ثانیه استفاده گردید و تمام زیر لایه ها به مدت ۲ ساعت در کوره با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. تعداد دیگری از زیر لایه های FTO به منظور تزریق الکترولیت با مته با قطر ۰/۷ میلی متر سوراخ گردید.

۱-۱- بستن سیستم الکتروکرومیک

لایه های FTO و WO_3 توسط یک لایه اسپیسر (سرلین) به هم متصل شدند و در فضای خالی بین آن ها الکترولیت لیتیم کلراید ۱ مولار تزریق گردید. جهت جلوگیری از تبخیر الکترولیت از لامل و اسپیسر برای بستن روزنه استفاده کردیم.



شکل ۴: نمودار زمان پاسخ رنگی شدن.



شکل ۵: نمودار زمان پاسخ بی رنگ شدن

با توجه به چیدمان ارائه شده، با اعمال ولتاژ به نمونه نمودارهای ولتاژ-زمان مطابق با شکل‌های ۴ و ۵ بدست می‌آید. معمولاً زمان پاسخ، زمان لازم برای ۷۰٪ تغییرات رنگ سلول در نظر گرفته می‌شود که با تعیین اختلاف زمان کمینه و بیشینه نمودار ولتاژ-زمان، زمان پاسخ محاسبه می‌گردد. براساس نمودارهای رسم شده، زمان پاسخ برای حالت رنگی ۶/۹۲ ثانیه و برای حالت بی رنگ شدن ۵/۲۷ ثانیه بدست آمد.

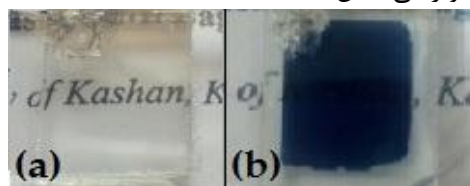
برای محاسبه فاکتور رنگ از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$\eta = \frac{\Delta OD}{Q_d} \quad (1)$$

$$\Delta OD = \log \frac{T_b}{T_c} \quad (2)$$

که در آن ΔOD ، Q_d ، T_c و T_b به ترتیب تغییرات چگالی

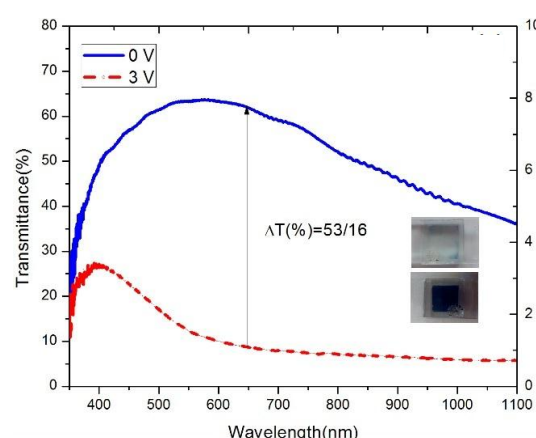
در شکل ۱ تصاویری از نمونه ساخته شده در حالت‌های شفاف و رنگی نشان داده شده‌است.



شکل ۱: (a) قبل از اعمال ولتاژ، (b) بعد از اعمال ولتاژ.

۱-۲ اندازه‌گیری‌ها

الف: طیف عبور: طیف عبور با استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی دو پرتویی برای گستره‌ی طول موجی ۳۵۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر با گام ۰/۴۲۷ اندازه‌گیری شد.



شکل ۲: منحنی طیف عبور سیستم برحسب طول موج در ولتاژهای ۰ و ۳ ولت.

ب: زمان پاسخ و فاکتور رنگ: مدت زمان رنگی شدن، سفید شدن و بازده رنگ نمونه با استفاده از دستگاه آنالیزر شامل فوتودیود، لیزر و اسپلوسکوپ اندازه‌گیری شد که در شکل ۳ نمای شماتیک از آن نشان داده شده‌است.



شکل ۳: نمای شماتیک از دستگاه آنالیزور.

نمودارهای زمان پاسخ رنگی در شکل ۴ و حالت سفید شدن در شکل ۵ نشان داده شده‌است.

اپتیکی، بار ورودی، میزان عبور در حالت شفاف و میزان عبور در حالت رنگی می‌باشد و هرچه میزان فاکتور رنگ بیش‌تر باشد، نمونه به حالت بهینه نزدیک‌تر می‌شود.

۲- نتیجه‌گیری

با اندازه‌گیری نمونه ساخته شده به روش سل-ژل با ساختار Glass / FTO / WO₃ / electrolyte / FTO / Glass، درصد عبور سیستم با اعمال ولتاژ ۳ ولت در طول موج ۶۵۰ نانومتر به میزان ۵۳/۱۶٪ کاهش می‌یابد و زمان پاسخ برای حالت رنگی ۶/۹۲ ثانیه و برای حالت بی-رنگ شدن ۵/۲۷ ثانیه تعیین شد. همچنین مقدار فاکتور رنگی محاسبه شده در این مقاله نیز ۲۹۵/۳۴ cm²/C و ۱۰s و ۱۸۱ cm²/C و برای روش اسپری به ترتیب ۵/۵s و ۴۳ cm²/C می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود پارامترهای بدست آمده به روش سل ژل تا حد زیادی با روش‌های دیگر مشابه و حتی در مواردی نتایج بهتر حاصل شده‌است [۵] و [۷].

مراجع

- [1] S.K. Deb, "Handbook of Inorganic Electrochromic Materials"; Appl. Opt., suppl. 3 (1969) 192.
- [2] R. Baetens, B. Petter, and A. Gustavsen, "Solar Energy Materials & Solar Cells Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 94, no. 2, pp. 87-105, 2010.
- [3] L. M. Bertus, C. Faure, a. Danine, C. Labrugere, G. Campet, a. Rougier, and a. Duta, "Synthesis and characterization of WO₃ thin films by surfactant assisted spray pyrolysis for electrochromic applications," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 140, no. 1, pp. 49-59, 2013.
- [4] A. A. Argun, P. Aubert, B. C. Thompson, I. Schwendeman, C. L. Gaupp, J. Hwang, N. J. Pinto, D. B. Tanner, A. G. Macdiarmid, and J. R. Reynolds, "Multicolored Electrochromism in Polymers: Structures and Devices," pp. 4401-4412, 2004.
- [5] Joakim K., Arne R., Angle-resolved optical characterization of an electrochromic device, **solar energy**. Vol. 68, No. 6, pp. 493-497, 2000.
- [6] Junichi N, Graham D.M., Yumiko S., *Durability of electrochromic glazing, solar energy materials & solar cells*. 56 (1999) 309-319.
- [7] C. Li, F. Lin, R. M. Richards, and C. A. Wolden, "Solar Energy Materials & Solar Cells The influence of sol-gel processing on the electrochromic properties of mesoporous WO₃ films produced by ultrasonic spray deposition," vol. 121, pp. 163-170, 2014.