

تأثیر فرایند پیرسازی بر رفتار رسانایی الکتریکی لایه ضخیم اکسید قلع در حضور اتانول

امیررضا گردشزاده^{*}، بابک رئیسی دهکردی و حامد محبی موشایی

پژوهشگاه مواد و انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۸۵/۲/۱۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۸۶/۷/۲۰، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۸۶/۱۲/۲۳

چکیده در این مقاله، تغییرات رسانایی لایه ضخیم SnO_2 در حضور بخار اتانول، قبل و بعد از فرایند پیرسازی ارزیابی شد. فرایند پیرسازی در دماهای ۳۵۰ تا 750°C و مدت ۹۶ ساعت به طور پیوسته انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش دمای پیرسازی، رسانایی در دمای اتاق (I_{air}) کاهش می‌یابد؛ اما حداکثر رسانایی در حضور اتانول (I_{MAX_g}) تغییری نمی‌کند. این تغییر به افزایش حساسیت لایه اکسید قلع منجر می‌شود.

کلمات کلیدی پیرسازی، پایداری، الکل اتانول، اکسید قلع SnO_2 ، حسگر الکل.

Effect of Aging on the Electrical Conductivity of Tin Oxide Thick Film in Presence of Ethanol

A.R. Gardeshzadeh^{*}, B. Raeesi Dehkordi and H. Mohebi Moshaei

Materials and Energy Research Center

Abstract Variations in electrical conductivity of SnO_2 thick film exposed to ethanol vapor before and after aging process were investigated. Aging is performed continuously at 350.750°C and 96 hours. The Results show that room conductivity (I_{air}) decreases with aging temperature. However, the maximum conductivity in presence of ethanol (I_{MAX_g}) remains approximately constant. Consequently, these variations result in the increase of electrical conductivity of tin oxide layer.

Keywords Argon Plasma, Multicrystalline Silicon, Power Variation, Silicon Nitride, Transmittance.

^{*}عهده‌دار مکاتبات

نشانی: کرج، مشکین دشت، پژوهشگاه مواد و انرژی.

تلفن: ۰۲۶۱-۶۲۰۴۱۳۱، دورنگار: ۰۲۶۱-۶۲۰۱۸۸۸، پیام‌نگار: amirrg60@merc.ac.ir

۱- مقدمه

حداقل ۲۰۰ppm اتانول را در تنفس تشخیص دهد. این مقدار معادل ۰/۶ گرم الکل در یک لیتر خون انسان است [۳]. در جدول ۱ خواص فیزیکی اتانول با سایر الکل‌ها و ترکیبات آلی مقایسه شده است.

سه ویژگی در حسگرها بسیار اهمیت دارد: حساسیت^۱، انتخاب پذیری^۲ و پایداری یا مقاومت به پیرشدن^۳ [۳]. حساسیت عبارت است از: میزان اثر یک گاز مشخص بر رسانایی یک حسگر یا به عبارت دیگر نسبت رسانایی در حضور گاز به رسانایی در هوا [۴]. انتخاب پذیری، به قابلیت حسگر برای پاسخ‌گویی به یک گاز مشخص اطلاق می‌شود [۵]. به‌طورکلی برای بهبود انتخاب پذیری سه راه اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از: (۱) استفاده از الکتروود با شکل مناسب (موقعیت

اتانول پرمصرف‌ترین الکل در صنعت و پزشکی است که شناسایی آن در اتمسفر محیط معمولاً با حسگرهای مقاومتی انجام می‌پذیرد. از جمله این کاربردها می‌توان کنترل اتوماتیک فرایند تخمیر و تشخیص کیفیت غذا را نام برد [۱].

از طرفی تشخیص و کنترل راننده‌هایی که الکل مصرف کرده‌اند نیز از مهم‌ترین کاربردهای حسگرهای الکل است. برای تشخیص غلظت الکل در خون^۱ (BAC) می‌توان غلظت الکل را در یک تنفس عمیق اندازه‌گیری کرد. هر ۰/۰۱ درصد الکل در خون معادل ۱۶ppm الکل در تنفس است [۲]. یک آنالیزگر تنفسی باید این قابلیت را داشته باشد تا

جدول ۱. خواص فیزیکی برخی ترکیبات آلی.

ترکیب	چگالی (g/mL)	نقطه جوش (°C)	آب	استن	اتانول	سیکلوهگزان
Acetone	۰/۷۹	۵۶	S	S	S	S
2.Butanone	۰/۸۱	۸۰	S	S	S	S
t. Butyl alcohol	۰/۷۹	۸۲	S	S	S	S
Cyclohexane	۰/۷۸	۸۱	I	S	S	S
Cyclohexene	۰/۸۱	۸۳	I	S	S	S
Cyclopentan	۰/۷۵	۴۹	I	S	S	S
Ethanol	۰/۷۹	۷۹	S	S	S	S
Ethyl acetate	۰/۹۰	۷۷	S	S	S	S
n.Heptane	۰/۶۸	۹۸	I	S	S	S
n.Hexane	۰/۶۶	۶۹	I	S	S	S
Methanol	۰/۷۹	۶۵	S	S	S	I or S**
n.Pentane	۰/۶۳	۳۶	I	S	S	S
1.Propanol	۰/۸۰	۹۷	S	S	S	S
2.Propanol	۰/۷۹	۸۲	S	S	S	S

(حلال=S، نامحلول=I)

**متانول به آسانی آب را جذب می‌کند. اگر متانول آبی جذب نکرده باشد، در سیکلوهگزان حل می‌شود؛ اما اگر رطوبت محیط را جذب کند، در سیکلوهگزان نامحلول خواهد بود.

و کاهش زمان های پاسخ گویی و بازیابی این حسگرها می شود [۷]. اما تا به حال تحقیقات زیادی روی پایداری (اثر فرایند پیرسازی روی خواص سنسوری) این اکسیدها، از جمله اکسیدقلع، انجام نگرفته است. در این تحقیق اثر زمان های طولانی و دماهای مختلف بر رسانایی اکسیدقلع در حضور بخار الکل اتانول بررسی شده است.

۲. روش انجام آزمایش

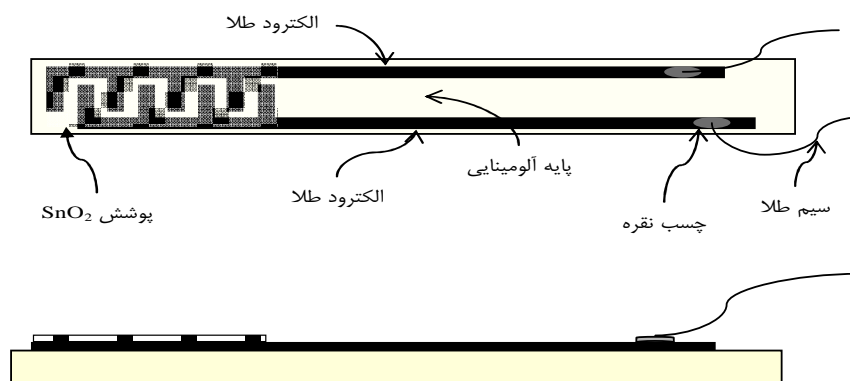
پودر SnO_2 خالص (MERCK Art.7818) داخل ظرفی حاوی الکل ایزوپروپانول ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه التراسونیک قرار گرفت تا خمیری یکنواخت از پودر SnO_2 به دست آید (شکل ۱). الگوی XRD این پودر در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود تمام پیک ها مربوط به SnO_2 هستند. الکترودهای طلا به شکل شانه های درهم فرورفته^۹ (عرض و طول شانه ها به ترتیب ۱mm و ۸mm و فاصله بین شانه ها ۰/۵mm) بر روی پایه ای از جنس آلومینای کاملاً متراکم و بدون قابلیت جذب آب با ابعاد ۱۵۵×۱۵×۴mm

الکترودهای پایه و فاصله الکترودها از هم) و کنترل ضخامت لایه سرامیکی (پوشش سنسوری) (۲) افزودن کاتالیست (مانند Pt یا Pd) یا دوپنت (مانند اکسیدهای فلزی) مناسب و (۳) انتخاب دمای کاری بهینه ای که گاز مورد نظر بیشترین فعالیت را دارد.

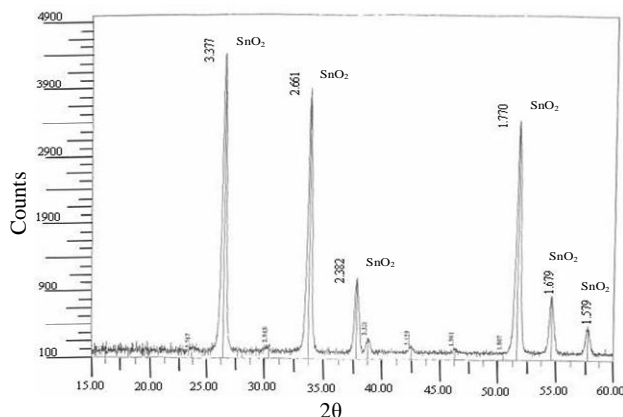
علاوه بر این ویژگی ها، هزینه کم، محدوده وسیع دمای کاری، ابعاد و وزن کم، دقت اندازه گیری بالا، قابلیت تولید مجدد، زمان پاسخ گویی و بازیابی کم، محدوده اندازه گیری وسیع، مقاومت در برابر شرایط محیطی مانند حرارت، ارتعاش و گردوغبار و... نیز در انتخاب ماده حسگر اهمیت دارد [۶].

در میان سرامیک های اکسیدفلزی، ترکیبات پرووسکایتی $(\text{Ln}, \text{M})\text{BO}_3$ (که Ln فلز خاکی کمیاب، M فلز قلیایی خاکی و B فلز واسطه است)، ZnO ، Fe_2O_3 و SnO_2 مهم ترین موادی هستند که برای ساخت این حسگرها به کار می روند [۷].

تاکنون تحقیقات قابل توجهی بر روی اکسیدقلع انجام گرفته است. از جمله می توان اثر انواع دوپنت ها را بر خواص حسگری آن نام برد. این آزمایش ها نشان می دهند که حساسیت این حسگرها به اتانول با افزودن اکسیدهای قلیایی و فلزات نجیب بهبود می یابد. برای مثال La_2O_3 موجب افزایش حساسیت

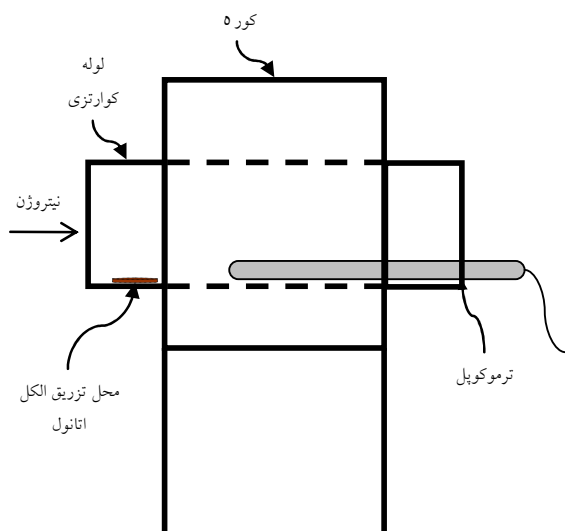


شکل ۱. مجموعه پایه شامل زیر لایه آلومینایی، الکترودها و سیم های طلا.



شکل ۲. الگوی XRD پودر SnO₂ (تابش Cu k_{α1} 1.540510 Å، ولتاژ 30.000 kv، جریان 25.000 MA، سرعت زاویه‌ای 1deg/min).

محفظه هدایت شد (شکل ۴). دمای کاری برای تمام آزمایش‌ها ۳۵۰°C انتخاب شد. برای کنترل و ارزیابی تأثیر الکل بر هدایت الکتریکی، با شبیه‌سازی شرایط تجربی، در تمام آزمایش‌ها از

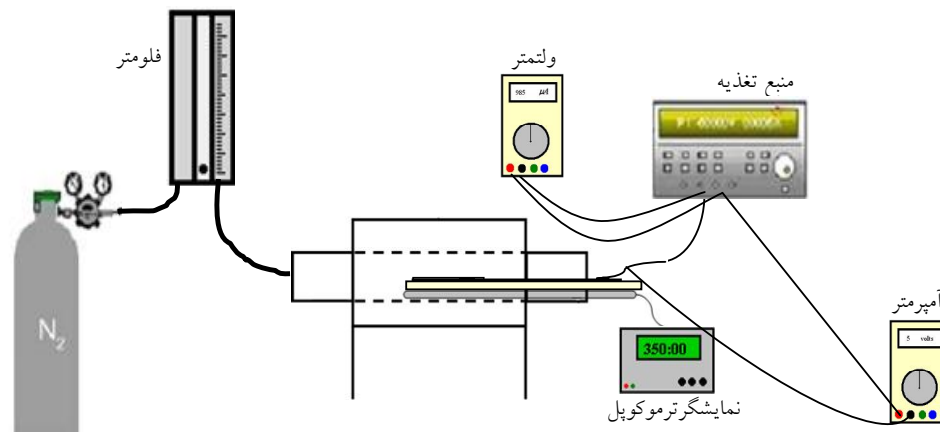


شکل ۳. محفظه آزمایش حسگر شامل یک کوره تیوبی، یک لوله کوارتزی و یک ترموکوپل.

ایجاد شدند (شکل ۱) [۸]. الکترودهای طلا در دمای ۸۰۰°C به مدت ۲ ساعت حرارت داده و سپس به آرامی سرد شدند. سیم‌های نازک طلا با چسب نقره به الکترودها متصل شدند (شکل ۱). لایه ضخیم اکسیدقلع به مساحت ۲×۲cm² با یک قلم‌موی ظریف روی پایه اعمال شد.

نمونه آماده شده داخل محفظه آزمایش حسگر قرار داده شد. مطابق شکل ۳، این محفظه شامل یک کوره تیوبی کوچک برای دستیابی به دمای کاری موردنظر، یک لوله کوارتزی برای قراردادن نمونه و یک ترموکوپل برای اندازه‌گیری دقیق دمای نمونه است.

گاز نیتروژن، که عدم تأثیر آن بر هدایت الکتریکی مجموعه بررسی شد، از طریق یک فلومتر به داخل محفظه آزمایش حسگر جریان می‌یابد. برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی از یک آمپر متر دیجیتال با دقت ۰/۰۱٪ در مدار استفاده شد. در تمام آزمایش‌ها از ۰/۱۰cc اتانول ۹۶٪ استفاده شد. اتانول با یک سرنگ ظریف در ناحیه‌ای داغ از محفظه ریخته شد تا به تدریج تبخیر شود. بخارات اتانول توسط جریان گاز نیتروژن خالص (فلوی ۲۰۰cc/min) به داخل



شکل ۴. مجموعه آزمایش حسگر شامل کپسول نیتروژن، فلومتر، محفظه آزمایش، ترموکوپل و نمایشگر ترموکوپل، منبع تغذیه DC، ولت‌متر و آمپر‌متر.

یک غلظت ثابت و شرایط یکسان ایجاد بخار الکل استفاده گردید. حساسیت لایه SnO_2 به اتانول قبل از انجام فرایندهای پیرسازی اندازه‌گیری شد (نمونه ۱). سپس فرایندهای پیرسازی روی یک نمونه ثابت به‌طور پیوسته در دماهای مختلف به مدت ۹۶ ساعت (جدول ۲) انجام گرفتند و حساسیت آن به اتانول اندازه‌گیری شد (نمونه ۲). سپس همین نمونه در دمای 450°C به مدت ۹۶ ساعت قرار گرفت و بعد حساسیت آن به اتانول اندازه‌گیری شد (نمونه ۳).

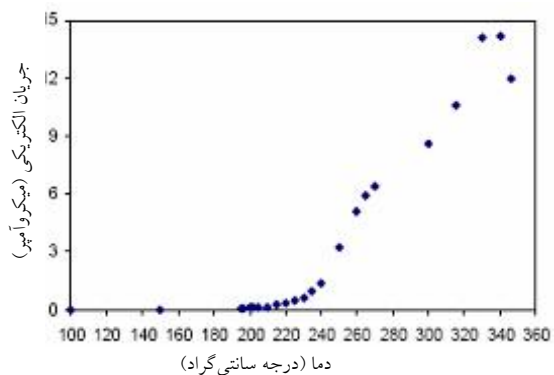
جدول ۲. دما و زمان پیرسازی. دما برحسب درجه سانتی‌گراد و زمان برحسب ساعت.

شماره نمونه	دما	زمان
۱	پیرسازی نشده*	---
۲	۳۵۰	۹۶
۳	۴۵۰	۹۶
۴	۵۵۰	۹۶
۵	۶۵۰	۹۶
۶	۷۵۰	۹۶

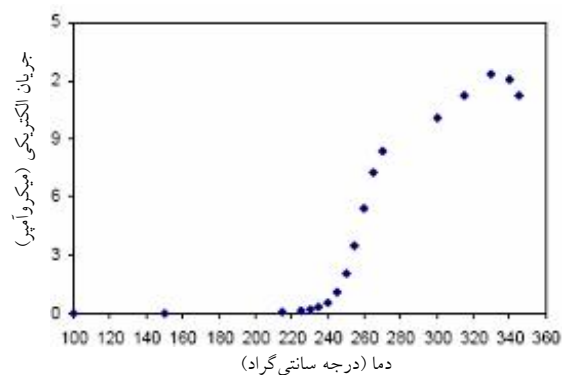
* پوشش SnO_2 قبل از انجام فرایندهای پیرسازی.

همین روند برای دماهای ۵۵۰ و ۶۵۰ و 750°C ادامه یافت (به ترتیب نمونه‌های ۴ و ۵ و ۶). برای اطمینان از صحت اعداد به دست آمده، آزمایش‌ها برای تمام دماها دو بار و برای بعضی دماها سه بار تکرار شد. برای هر یک از نمونه‌های پیرسازی شده نمودار جریان الکتریکی-دما رسم شد تا نحوه تغییرات رسانایی با افزایش دما تا رسیدن به دمای کاری 350°C بررسی شود. این نمودارها در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

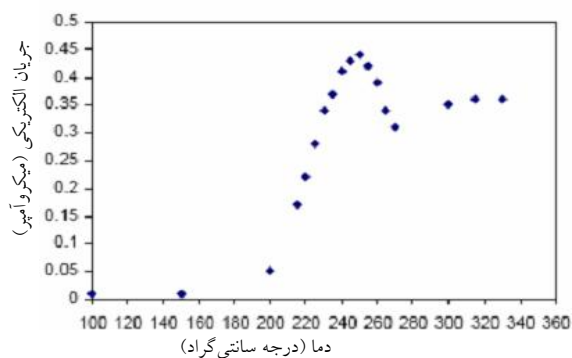
برای رسم نمودارهای زمان-جریان، بعد از اعمال بخارات اتانول به داخل محفظه، هر ۱۵ ثانیه، جریان الکتریکی ثبت شد.



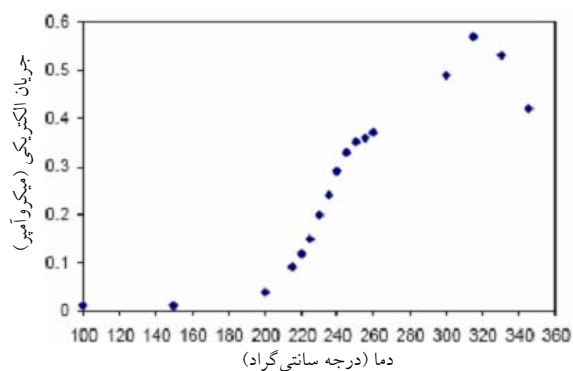
(a)



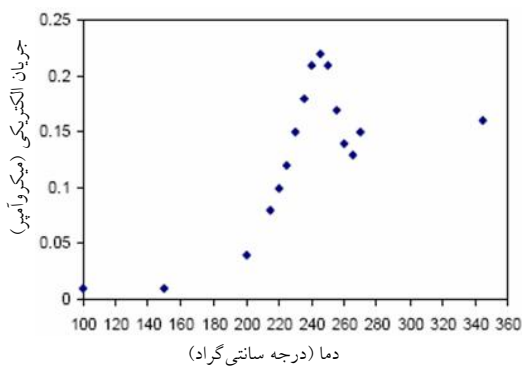
(b)



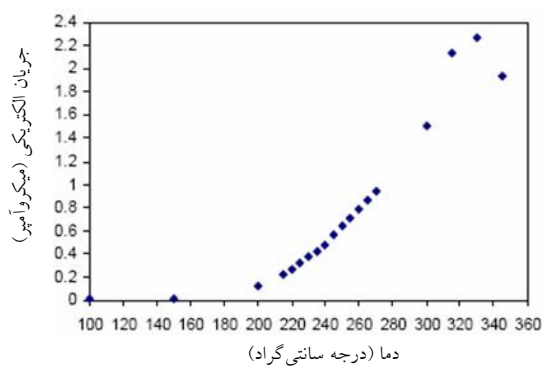
(c)



(d)



(e)



(f)

شکل ۵. نمودارهای جریان دما در هوای محیط (قبل از تزریق الکل و گاز حامل): (a) پیرسازی شده در دمای 35°C (نمونه ۲)، (b) پیرسازی شده در دمای 45°C (نمونه ۳)، (c) پیرسازی شده در دمای 55°C (نمونه ۴)، (d) پیرسازی شده در دمای 65°C (نمونه ۵)، (e) پیرسازی شده در دمای 75°C (نمونه ۶)، (f) نمونه ۶ بعد از ۲۰ ساعت بازیابی (شماره نمونه‌ها مطابق جدول ۲ است).

به طور کلی واکنش جذب الکترون توسط اکسیژن را می توان به صورت زیر نشان داد:



واکنش ۱ که جذب الکترون توسط مولکول اکسیژن را بیان می کند، در دماهای پایین (کمتر از $150^\circ C$ تا $200^\circ C$) رخ می دهد. به عبارت دیگر از آنجا که انرژی فعال سازی یون های O_2^- از یون های O^- کمتر است، تا دماهای مذکور یون های O_2^- غالب هستند؛ اما واکنش ۲ که جذب الکترون توسط اتم اکسیژن است در دماهای بالاتر از $200^\circ C$ رخ می دهد [۹،۲]. یون های اکسیژن در اثر نیروهای جاذبه الکترواستاتیک به سطح متصل می شوند. این پدیده را جذب یونی^v می گویند. به واسطه مثبت بودن ΔG^0 واکنش ۳، یعنی واکنش تبدیل اکسیژن مولکولی به اکسیژن اتمی، با افزایش دما غلظت یون های O^- افزایش می یابد [۲].

۲-۳. نمودارهای زمان-جریان

نمودارهای زمان-جریان که در حضور الکل و گاز حامل در دمای $350^\circ C$ به دست آمده اند، در شکل ۶ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود به محض تماس بخاراتانول با پوشش اکسیدقلع، جریان الکتریکی به سرعت افزایش می یابد تا به حداکثر مقدار خود (I_{MAXg}) برسد. باتوجه به آزمایش هایی که به طور عملی انجام شد (نتایج آنها در این مقاله ارائه نشده است)، I_{MAXg} با افزایش مقدار اتانول و در نتیجه افزایش میزان بخار اتانول، به شدت افزایش می یابد. سپس با کاهش تدریجی مقدار الکل در محفظه، جریان الکتریکی کاهش می یابد تا به حدود

$$S = \frac{I_{MAXg}}{I_{air}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه S حساسیت (واحد دلخواه)، I_{MAXg} حداکثر جریان الکتریکی در حضور گاز مورد نظر و I_{air} جریان الکتریکی در هواست. این رابطه را می توان بر حسب مقاومت الکتریکی به صورت زیر نیز نوشت:

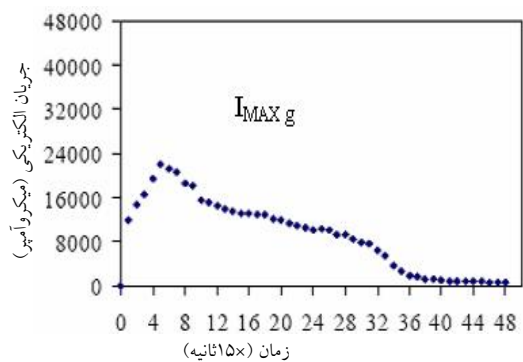
$$S = \frac{R_{air}}{R_{MAXg}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه R_{air} مقاومت در هوا و R_{MAXg} حداکثر مقاومت در حضور گاز مورد نظر است. این دو رابطه در غلظت مشخصی از گاز (C_g) نوشته می شوند.

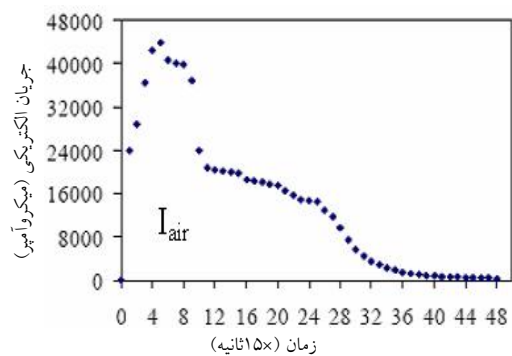
۳- بحث

۱-۳. نمودارهای جریان-دما

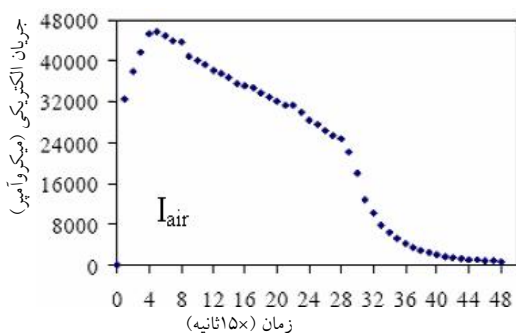
منحنی های جریان-دما در شکل ۵، در حین حرارت دهی نمونه ها تا رسیدن به دمای کاری ($350^\circ C$) در هوای محیط (قبل از اعمال الکل و گاز حامل) به دست آمده اند. باتوجه به این منحنی ها مشاهده می شود که با افزایش دما، به واسطه خاصیت نیمه رسانایی ذاتی اکسیدقلع (افزایش انرژی الکترون ها و انتقال آنها از باند ظرفیت به باند هدایت) رسانایی افزایش می یابد. اما در دمایی مشخص که برای نمونه های مختلف در این تحقیق بین 250 تا $350^\circ C$ قرار دارد، به واسطه واکنش الکترون های باند هدایت (الکترون های آزاد) با اکسیژن موجود در هوای محیط و در نتیجه کاهش دانسیته حامل های بار (الکترون ها)، ضخامت لایه^۶ تهی^۶ افزایش یافته و بنابراین رسانایی کاهش می یابد. این روند با نتایج کار سایر محققان مطابقت دارد [۱۰،۹،۳،۲].



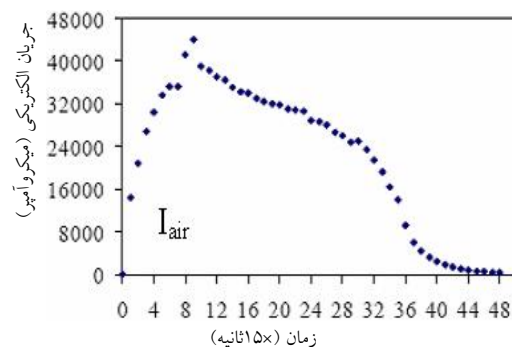
(a)



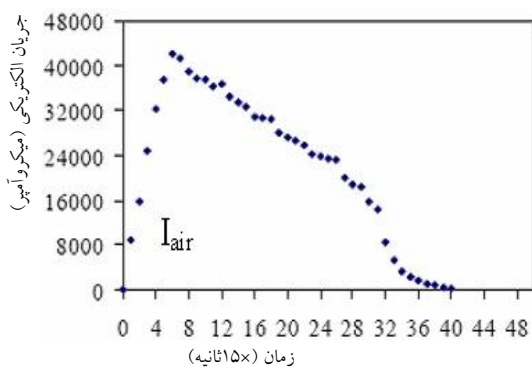
(b)



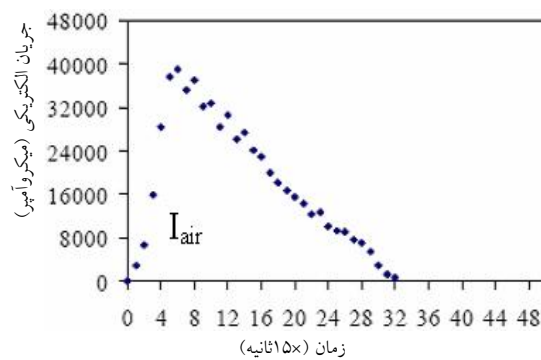
(c)



(d)



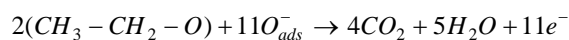
(e)



(f)

شکل ۶. نمودارهای زمان-جریان، (a) پیرسازی نشده، (b) پیرسازی شده در دمای 35°C ، (c) پیرسازی شده در دمای 45°C ، (d) پیرسازی شده در دمای 55°C ، (e) پیرسازی شده در دمای 65°C ، (f) پیرسازی شده در دمای 75°C .

مکانیزم دوم که در اکسیدهای فلزی نیمه رسانا مکانیزم غالب است، به تبادل الکترون در اثر جذب سطحی مولکول‌های اتانول مربوط می‌شود. واکنش مولکول‌های اتانول با یون‌های اتمی اکسیژن (طبق واکنش ۲) موجب آزاد شدن الکترون می‌شود. باتوجه به رابطه زیر به ازای هر دو مول اتانول، ۱۱ الکترون آزاد می‌شود [۶].



بنابراین آزاد شدن الکترون روی سطح، موجب کاهش سد انرژی پتانسیل (کاهش ضخامت لایه تهی) در مرزخانه و افزایش رسانایی آن می‌شود.

در فرایند اکسیداسیون اتانول، ابتدا پیوند O.H شکسته می‌شود و ساختار اتانول به ساختار اتوکسی (CH_3CH_2O) تبدیل می‌شود. در صورتی که سطح خاصیت قلیایی داشته باشد، واکنش هیدروژن زدایی رخ می‌شود و اتوکسی به استالدئید (CH_3CHO) و هیدروژن تبدیل می‌شود؛ اما در صورتی که سطح خاصیت اسیدی داشته باشد، واکنش دهیدراسیون رخ می‌دهد و اتوکسی به استون (CH_3COCH_3)، اتیل استات ($CH_3COOC_2H_5$) و اتیلن (C_2H_4) تبدیل می‌شود [۱].

در جدول ۳، S_1 و S_2 و S_3 به ترتیب حساسیت‌های اندازه‌گیری شده در مرحله اول، مرحله دوم و مرحله سوم برای هر دمای پیرسازی هستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش دمای پیرسازی، رسانایی الکتریکی اولیه (I_{air}) کاهش می‌یابد. این کاهش را می‌توان به افزایش اکتیویته اکسیژن در دماهای بالاتر و در نتیجه جذب بیشتر الکترون از سطح توسط اکسیژن مربوط دانست. از طرف دیگر حداکثر رسانایی در حضور اتانول (I_{MAXg}) تغییر چندانی نمی‌کند؛ زیرا در حضور گاز نیتروژن، تأثیر اکسیژن بر پوشش ناچیز خواهد بود و پوشش فقط از حضور بخار اتانول تأثیر می‌پذیرد.

قرار گرفتن پوشش SnO_2 در دماهای بالا و زمان‌های

جریان الکتریکی اولیه (I_{air}) که در مقایسه با I_{MAXg} در حد صفر است - برسد. زمان لازم برای رسیدن به حداکثر رسانایی برای تمام نمونه‌ها بین ۱ تا ۲ دقیقه به دست آمد.

به‌طور کلی مکانیزم شناسایی گاز با یک حسگر مقاومتی، به واکنش‌های بین سرامیک نیمه رسانا (که بیشتر اکسید فلزی هستند) و گاز مربوط می‌شود. این واکنش‌ها به تبادل الکترون بین مولکول‌های جذب شده و ماده منجر می‌شوند. این تبادل بار باعث تغییر سد انرژی پتانسیل در مرزخانه شده و مقاومت لایه سرامیکی تغییر می‌کند. به عبارت دیگر وقتی یک گاز با سطح یک سرامیک نیمه رسانا تماس می‌یابد، برحسب اینکه اکسیدی یا احیایی باشد، می‌تواند به ترتیب از سطح الکترون بگیرد یا به سطح الکترون بدهد؛ در نتیجه دانسیته حامل‌های بار روی سطح اکسید فلزی می‌تواند به ترتیب کم یا زیاد شود و مقاومت تغییر کند.

برای مثال وقتی یک گاز اکسیدی مانند اکسیژن روی سطح یک سرامیک نیمه رسانای نوع n جذب می‌شود، مطابق واکنش‌های (۱) و (۲)، از سطح الکترون می‌گیرد و مقاومت سطح را افزایش می‌دهد. اما در مورد یک گاز احیایی مانند اتانول، پس از جذب روی سطح سرامیک نیمه رسانا، طبق واکنش (۴) الکترون آزاد می‌شود و مقاومت کاهش می‌یابد.

بنابراین باتوجه به رابطه ۱، برای گازهای احیایی که الکترون دهنده هستند و رسانایی را افزایش می‌دهند $S < 1$ و برای گازهای اکسیدی که الکترون می‌گیرند و رسانایی را کاهش می‌دهند $S > 1$ خواهد بود. در مورد اکسیدهای فلزی نوع p، تبادل الکترون موجب تغییر دانسیته حفره‌ها می‌شود و مقاومت تغییر می‌کند.

افزایش جریان در نمونه‌ها را می‌توان با دو مکانیزم توضیح داد: مکانیزم اول واکنش مولکول‌های اتانول با اکسیژن شبکه اکسیدقلع و ایجاد جای خالی اکسیژن است که نقش یک دهنده^۸ را بازی می‌کند و رسانایی افزایش می‌یابد [۱۰، ۱۱].

جدول ۳. مقادیر جریان اولیه و جریان حداکثر برحسب میکروآمپر، و حساسیت محاسبه شده از رابطه ۱ (شماره نمونه ها مطابق جدول ۲ است).

شماره نمونه	I_{AIR}	I_{MAXG}	S_1	I_{AIR}	I_{MAXG}	S_2	I_{AIR}	I_{MAXG}	S_3
۱	۸/۳۱	۲۱۹۰۰	۲۶۳۵	۸/۴۰	۲۴۰۰۰	۲۸۵۷	---	---	---
۲	۱۶	۴۳۸۰۰	۲۷۳۷	۱۳/۵۲	۳۴۴۰۰	۲۵۴۴	---	---	---
۳	۹/۷	۴۵۶۰۰	۴۷۰۱	۶/۹۸	۴۵۲۰۰	۶۴۷۵	۵۴۴۸	۴۷۴۰۰	۸/۷
۴	۱/۰۷	۴۴۰۰۰	۳۸۵۰۴	۱/۲۵	۴۰۳۰۰	۳۲۲۴۰	---	---	---
۵	۰/۴۰	۴۲۲۰۰	۱۰۵۵۰۰	۰/۵۲	۴۰۳۰۰	۷۷۵۰۰	۱۰۱۹۰۴	۴۲۸۰۰	۰/۴۲
۶	۰/۲۹	۳۹۰۰۰	۱۳۴۴۸۲	۰/۴۲	۲۴۹۰۰	۵۹۲۸۵	۶۳۱۴۸	۳۴۱۰۰	۰/۵۴

در دماهای نسبتاً پایین (350°C) قابلیت این ماده را برای ساخت حسگرهای الکل به وضوح ثابت می کند؛ اما آزمایش ها نشان می دهند که به واسطه کاهش رسانایی الکتریکی اولیه (I_{air}) با افزایش دمای پیرسازی، و ثابت بودن حداکثر رسانایی در حضور اتانول (I_{MAXg})، حساسیت این حسگرها (S) به اتانول طبق رابطه ۱ افزایش می یابد. بنابراین استفاده طولانی از حسگرهای الکل بر پایه SnO_2 خالص در دماهای بالا به تغییر حساسیت این حسگرها و ایجاد خطا در تعیین میزان الکل منجر خواهد شد.

از طرف دیگر می توان از این ویژگی استفاده کرد و با انجام عملیات پیرسازی روی پوشش SnO_2 در زمان و دمای مناسب، حساسیت این حسگرها را به الکل افزایش داد.

طولانی می تواند موجب رشد دانه ها و در نتیجه کاهش مرزانه ها شود. این امر موجب کاهش موانع حرکتی الکترون ها می شود و انتقال الکترون ها در پوشش با سهولت بیشتری انجام خواهد گرفت. علاوه بر این اتصال دانه های SnO_2 در ساختار پوشش بهبود می یابد، و این امر حرکت آسان تر الکترون ها را از میان دانه ها به همراه خواهد داشت؛ بنابراین پیرسازی پوشش SnO_2 موجب بهبود حساسیت آنها می شود. از این ویژگی می توان در ساخت حسگرهای الکل استفاده کرد؛ بدین معنی که قبل از ساخت حسگر، یک فرایند پیرسازی در دما و زمان مناسب روی پوشش انجام گیرد. اما از طرف دیگر اگر این پیرسازی در حین استفاده از حسگر صورت گیرد، موجب بروز خطا در تشخیص میزان الکل می گردد.

مراجع

1. Neri, G., Bonavita, A., Rizzo, G., Galvagno, S., Caponeb, S. and P, Siciliano., "A Study of the Catalytic Activity and Sensitivity to Different Alcohols of $\text{CeO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Thin Films", *Sensors and Actuators B*, Vol. 111-112 (2005) 78-83.
2. Park, C.O. and Akbar, S.A., "Ceramics for Chemical" (2003) 4611-4637.

۴- نتیجه گیری

حسگری بر پایه اکسید قلع خالص (SnO_2) ساخته شد و اثر فرایند پیرسازی بر آن در دماهای مختلف در دمای کاری 350°C بررسی شد. حساسیت زیاد اکسید قلع خالص به اتانول

- Thin Films Sensitive to Ethanol and Humidity”, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 63 (2000) 104–108.
۸. رئیسی دهکردی، بابک، گردش زاده، امیررضا و محبی موشایی، حامد، ثبت اختراع: ۳۳۶۴۳، ۱۳۸۴.
9. Comini, E., “Metal Oxide Nano-Crystals for Gas Sensing, (Review)”, *Analytica Chimica Acta*, Vol. 1 (2005) 2-6.
 10. Bläser, G., Rühl, T., Diehl, C., Ulrich, M. and Kohl, D., “Nanostructured Semiconductor Gas Sensors to Overcome Sensitivity Limitations due to Percolation Effects”, *Physica A*, Vol. 266 (1999) 218-223.
 11. Hofer, U., Frank, J. and Fleischer, M., “High Temperature Ga₂O₃ Gas Sensor and SnO₂ Gas Sensor: A Comparison”, *Sensors and Actuators B*, Vol. 78 (2001) 6-11.
 3. Comini, E., Faglia, G., Sberveglier, G., Calestani, D., Zanotti, L. and Zha, M., “Tin Oxide Nanobelts Electrical and Sensing Properties”, *Sensors and Actuators B*, Vol. 111–112 (2005) 2–6.
 4. Toshko Nenov, G. and Stefcho Yordanov, P., “Ceramic Sensors, Technology and Applications”, *Technomic Publishing Company*, (1996) Chapter 4 134.
 5. Toshko Nenov, G. and Stefcho Yordanov, P., “Ceramic Sensors, Technology and Applications”, 1996, *Technomic Publishing Company*, Chapter 4 137.
 6. Toshko Nenov, G. and Stefcho Yordanov, P., “Ceramic Sensors, Technology and Applications”, *Technomic Publishing Company*, (1996) Chapter 1 3.
 7. Stambolova, I., Konstantinov, K., Vassilev, S., Peshev, P. and Tsacheva, T., “Lanthanum Doped SnO₂ and ZnO

