

پوشش نانو سیم های اکسید روی بر روی الکتروود آرایه های درهم تنیده طلا و بررسی عملکرد نانو حسگر گازهای الکلی

حمید غیور^{۱*}، امین نکوین^۱، امیرعباس نوربخش^۲

۱- مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مواد، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، اصفهان، ایران.

* Ghayour_ham@iust.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۸)

چکیده

الکتروود آرایه‌های درهم تنیده^۱ با استفاده از نانولیتوگرافی طلا بر روی بستر آلومینایی با روش PVD ساخته شد. از نانو میله اکسید روی به عنوان ماده حسگر استفاده شده که به روش هیدروترمال بر روی بذر لایه ای از اکسید روی سنتز شد. نانومیله‌های سنتز شده با استفاده از تفرق پرتو ایکس- (XRD)، میکروسکوپ الکترونی عبوری با تفکیک بالا (HR-TEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مشخصه یابی گردید. عملکرد حسگری برای چهار گاز الکلی بررسی شد. به منظور بهینه کردن شرایط حسگری، حساسیت و پاسخ نانومیله های اکسید روی در گستره دمایی ۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد بررسی شد. دمای کاری ۴۷ درجه سانتیگراد به عنوان دمای بهینه انتخاب گردید و متغیرهای مهمی همچون حساسیت حسگر، زمان پاسخ دهی و زمان بازیابی برای چهار گاز در دمای ثابت و برای غلظتهای مختلف به دست آمد. نتایج حاصل نشان داد که با استفاده از نانومیله های همراستای اکسید روی، گازهای الکلی در دمای پایین با حساسیت بالا قابل تشخیص هستند.

کلمات کلیدی:

حسگر گازی، نانومیله های اکسید روی، رشد هیدروترمال.

۱- مقدمه

ترکیب تک جزئی در Ar، N₂ و یا هوای سنتزی بوده است. بنابراین، انتخاب پذیری برای تشخیص یک گاز به خصوص در حضور ترکیبات پیچیده هنوز در اغلب موارد نیاز به ارزیابی دارد. حسگرهای جدید نیاز به حساسیت زیاد، انتخاب پذیری بالا و برگشت پذیری در شرایط دمایی مطلوب را دارند. از جنبه کاری، در میان دیگر مشخصه ها، نیاز به فشرده بودن و هزینه تولید پایین نیز از اهمیت بالایی برخوردار است [۲-۴].

در زندگی امروزه تشخیص گاز به منظور کنترل گسیلهای صنعتی و وسایط نقلیه، ایمنی خانه ها و کنترل محیطی نقش مهمی را ایفا می کند. در دهه های اخیر وسایل زیادی برای تشخیص گازهای SO₂، O₂، NH₃، Ar، H₂O، H₂، O₃، CO₂ و N₂ توسعه یافته است. به هر حال انتخاب کنندگی پایین و یا دمای کاری بالا، مطالعه بر روی مواد جدید و استفاده از مواد سنتی در حالت نانو ساختار را منجر شد [۱]. اغلب مطالعات بر روی ماتریسهای ساده انجام می شود که عموماً به صورت

در مقام الکتریکی از یک حالت ثابت در هوا (R_{air}) به یک حالت پایدار (R_{gas}) تغییر خواهد کرد. زمانی که گاز حذف و یا قطع می شود مقاومت الکتریکی می بایست دوباره به سطح اولیه مقاومت در هوا باز گردد. از نمودار حساسیت بر حسب غلظت دو خصلت مهم ماده حسگر گازی قابل محاسبه است. اول پاسخ حسگر و حساسیت ماده به غلظت مشخصی از گاز می باشد. حساسیت در مقالات مختلف به چند شکل مختلف گزارش می شود [۱۸]، اما به طور کلی در اغلب موارد نسبت مقاومت حسگر زمانی که در معرض گاز است به مقاومت آن در هوا به شکلهای مختلف به صورت زیر است:

$$S = \frac{R_{gas}}{R_{air}}$$

$$S = \frac{R_{air}}{R_{gas}}$$

$$S = \frac{R_{gas} - R_{air}}{R_{air}}$$

$$S(\%) = \frac{R_{gas} - R_{air}}{R_{air}}$$

با انتخاب معادله $\frac{R_a}{R_g}$ برای یک نیمه هادی نوع منفی که در معرض یک گاز کاهنده قرار می گیرد (مانند CO)، مقاومت کاهش خواهد یافت. بنابراین پاسخ گاز بزرگتر از یک خواهد شد. برای یک نیمه هادی نوع مثبت، پاسخ گاز بین صفر تا یک خواهد بود. دمای کاری حسگر برای کارکرد آن حیاتی است چراکه یونهای اکسیژن روی سطح جذب شیمیایی می شوند. [۱۹].

دومین خاصیت مهم دیگر، زمان پاسخ و بازیابی ماده است که برای تشخیص سریع طی عملکرد ابزاری مهم است. زمان پاسخ عموماً به عنوان زمان مورد نیاز برای رسیدن مقاومت به ۹۰٪ مقدار بیشینه یا کمینه اطلاق می شود. بازیابی به عنوان زمان مورد نیاز مقاومت به منظور بازگشت به ۱۰٪ بیشینه یا کمینه مقاومت گفته می شود. حساسیت و زمان های بازیابی و پاسخ به شدت به دمای کاری وابسته اند [۲۰].

به طور کلی، دمای کاری بهینه به عنوان دمایی تعریف می شود که در آن یک حسگر گازی بیشترین حساسیت را به یک غلظت گاز خاص نشان می دهد. به هر حال، این تعریف به طور کلی

تشخیص گاز با استفاده از نیمه هادی های اکسیدی تاکنون اثر قابل ملاحظه ای داشته است. به هر حال، نیاز به دمای کاری بالا اغلب استفاده از این نوع تشخیص را محدود می کند. به این دلایل، پیشنهاداتی به منظور بهبود برخی از پارامترهای ساختمانی ارایه شده است: برای مثال، شکل کریستال و جهت گیری مواد نانو ساختار نیز می توانند به منظور کاهش دماهای کاری استفاده شوند که باعث مصرف انرژی کمتر می گردند [۵].

یکی از مشخصات نانو مواد نسبت سطح به حجم بالای آنها است. این اتفاق جذب سطح گاز بر روی حسگر را بیشتر می کند و حساسیت ابزار را بالا می برد چراکه برهم کنش میان گاز آنالیز شونده و اجزای حسگر بیشتر می شود. مطالعات زیادی، بر روی کاهش اندازه ذرات اکسیدهای فلزی در شکل نانو ذرات و نانو سیمها انجام شده است. لایه نازک برخی از پلیمرهای آلی، نانو ذرات فلزی و اخیراً نانو لوله های کربنی نیز استفاده شده است. تمامی این مواد در خواص الکتریکی (هدایت و یا امیدانس) و خواص نوری (ضریب جذب مواد) دست خوش تغییر شده اند. مکانیزم های تشخیص گازها در اکسیدهای فلزی و نانو لوله های کربنی شامل فرآیند جذب و تشخیص ویژه برای تشکیل ابر مولکولها یا باند های کوالانسی بین حسگر و گاز آنالیز شونده می باشد [۶-۱۰].

به طور کلی دو نوع نیمه هادی اکسید فلزی به عنوان حسگرهای مقاومتی استفاده می شوند. اولین آنها نیمه هادی های نوع منفی (n-type) می باشد که حاملهای عمده در آن الکترونها هستند که شامل SiO_2 ، ZnO و SnO_2 می باشد. گروه دیگر از اکسیدهای فلزی نیمه هادی های نوع مثبت (p-type) می باشد که حاملهای اصلی در آن، حفرات هستند که اکسیدهایی مانند CoO_4 ، NiO از این دست هستند. عمده نیمه هادی های اکسید فلزی که در ساخت حسگرهای مقاومتی ساخته می شوند از نوع منفی هستند چرا که الکترون ها ذاتاً از طریق جای خالی های اکسیژن در دمای کاری حسگرها ساخته می شوند [۱۰-۱۷]. مقاومت الکتریکی اکسید فلزی حسگر بسته به اینکه در معرض گاز اکسند و یا کاهنده قرار گیرد، تغییر خواهد کرد. این تغییر

ساختار میکرونی مزایایی همچون جریانهای کنترل نفوذی و جریانهای کم شارژ را در بر دارد. تعدادی گازهای آنالیز شونده همچون اتانول در دمای بالا، به راحتی روی سطوح اکسید فلزی تجزیه می شوند، بنابراین شیب غلظتی گازهای آنالیز شونده روی ماده اکسید فلزی وجود دارد و غلظت گاز آنالیز شونده روی سطح بسیار کمتر است. مسیر کوتاهتر نفوذ گاز می تواند منجر به غلظتهای بالاتر گازهای آنالیزی شود، که منجر به حساسیت بالاتر می شود. ویلیامز و همکارانش در دهه ۱۹۷۰ الکترودهایی با ساختار آرایه های در هم تنیده را ساختند. الکتروود آرایه های درهم تنیده (IDA) که در شکل (۱) اکنون بسیار رایج بوده و برای حسگرهای مقاومتی بسیار استفاده می شود. در این پژوهش، IAD با استفاده از نانولیتوگرافی طلا بر روی ورقه ای آلومینایی با ابعاد $1 \times 10 \times 10$ میلیمتر با همکاری دانشکده برق دانشگاه تهران ساخته شد. مواد حسگری روی الکتروود درهم تنیده پخش می شود و پاسخ حسگری از طریق نفوذ گاز روی این سطح اندازه گیری می شود.

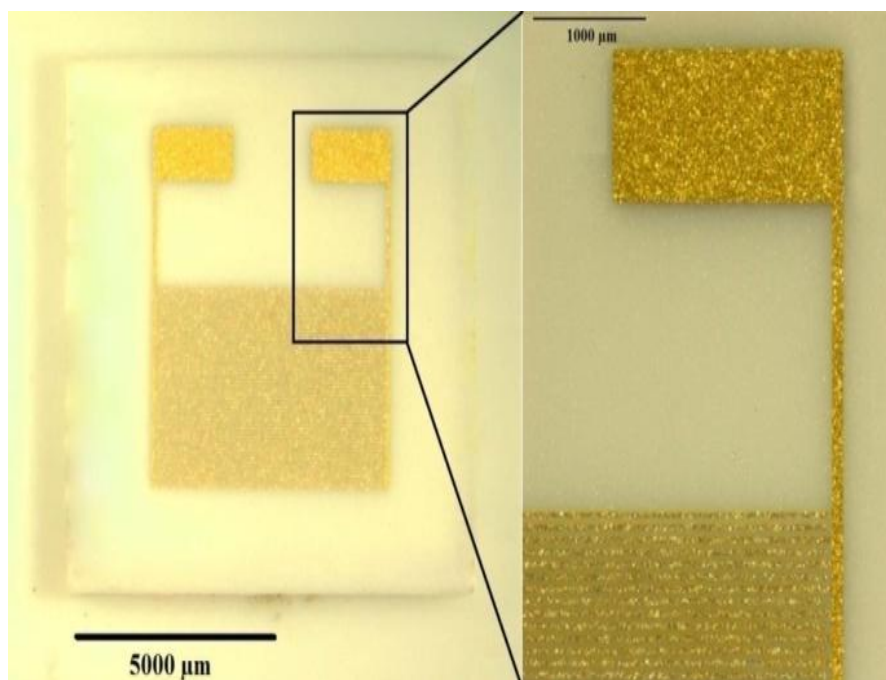
جامع نیست چرا که عملکرد حسگری نه تنها با حساسیت بلکه با زمان های پاسخ و بازیابی و همچنین انتخاب پذیری تعیین می شود. همچنین، واکنش یک گاز اکسند و یا کاهنده خاص با اکسیژنهای جذب یونی شده روی سطح اکسید فلزی به دما مرتبط است. بنابراین، گازهای مختلف دماهای مختلفی دارند که در آن ها بالاترین حساسیت و کوتاهترین زمانهای پاسخ و بازیابی برای یک لایه اکسیدی حسگر مشابه را دارند. اهمیت دمای کاری همچنین بر نفوذ مولکولهای گاز درون لایه حسگر متخلخل هم اثر گذار است.

از آنجا که امروزه کاهش دمای کاری در حسگرهای گازی به عنوان چالش اصلی پیش روی محققان می باشد، لذا هدف این پژوهش سنتز نانومیله های همراستای اکسید روی به عنوان نیمه هادی و کاهش دمای حسگر می باشد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- ساخت الکتروود آرایه های درهم تنیده

یکی از متغیرهای مهم در پاسخ دهی حسگر در حسگرهای مقاومتی، ریز ساختار الکتروود حسگر است. استفاده از الکتروود



شکل (۱): قطعه حسگر قبل از پوشش دهی با اکسید روی (الکتروودهای درهم تنیده از جنس طلا بر روی بستر آلومینایی به روش نانولیتوگرافی)

۲-۲- تهیه ی پوشش نانو سیم ای اکسید روی بر روی

الکتروود

نانومیله های هگزاگونال اکسیدروی (ZnO) از طریق روش هیدروترمال رشد داده شد. بذر لایه از جنس ذرات ZnO توسط روش کندوپاش با همکاری جهاد دانشگاهی شریف ایجاد شد (RF-Magnetron Sputtering). برای تهیه بذر لایه، از هدف ZnO با خلوص بالا (۹۹/۹۹ درصد) برای پوشش استفاده گردید. پس از مدت حدود ۲ ساعت که خلا دستگاه به 5×10^{-6} torr رسید، به منظور ایجاد محیط پلاسما، گاز آرگون با فشار 8×10^{-3} torr و توان ۱۰۰W، گاز آرگون یونیزه شده و یک محیط پلاسما اطراف سطح هدف ایجاد می شود که با بمباران سطح هدف توسط یونهای گاز آرگون، اتمهای ZnO از سطح هدف جدا شده و روی سطح زیر لایه می نشیند. با کنترل نرخ پوشش دهی، بذر لایه با ضخامت ۲۰۰ نانومتر بر روی ویفرهای آلومینایی اعمال گردید، ضمن اینکه پس از اعمال پوشش، ضخامت بذر لایه ها مجدداً توسط دستگاه ضخامت سنج کنترل گردید.

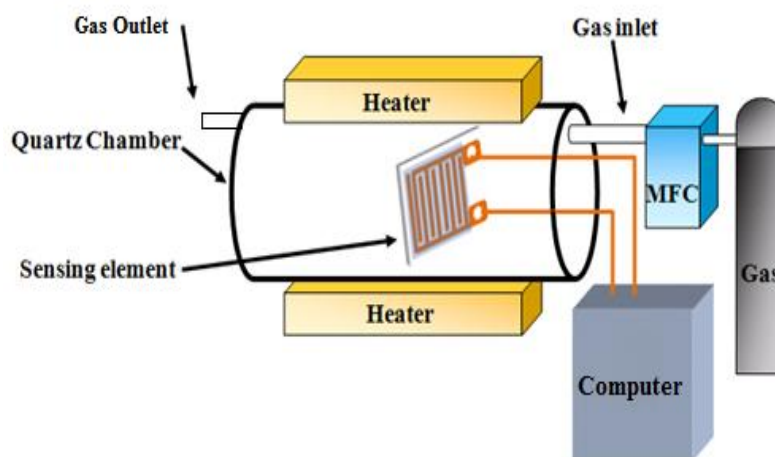
محلول هیدروترمال شامل نیترات روی و متان آمین با غلظت ۰/۰۵M تهیه شد که در محلول سازی از آب دو بار تقطیر

استفاده شد. محلول حاصل به مدت ۳۰ دقیقه توسط همزن مغناطیسی و در دمای محیط با سرعت ۱۰۰۰ rpm همزده شد. محلول در اتوکلاو آب بندی شد و به مدت ۲ ساعت در دمای 95°C فرآیند انجام شد.

سطوح ایجاد شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Leo 435 vp و میکروسکوپ عبوری (HR-TEM) مدل Jeol و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بررسی شد. به منظور بررسی مورفولوژی، قطر و طول میله ها و بذر لایه، همچنین جهت بررسی فازی سطوح تشکیل شده و جهت گیری نانومیله ها از سطوح آنالیز تفرق سنجی اشعه ایکس (XRD) به عمل آمد.

۲-۳- بررسی خواص حسگری

خواص الکتریکی حسگر با استفاده از دستگاه نشان داده شده در شکل (۲) دانشکده فیزیک دانشگاه خواجه نصیر طوسی اندازه گیری شد. حساسیت نمونه ها به چهار گاز الکلی توسط حسگرهای ساخته شده اندازه گیری شد.



شکل (۲): دستگاه اندازه گیری خواص حسگری به همراه قطعه حسگر

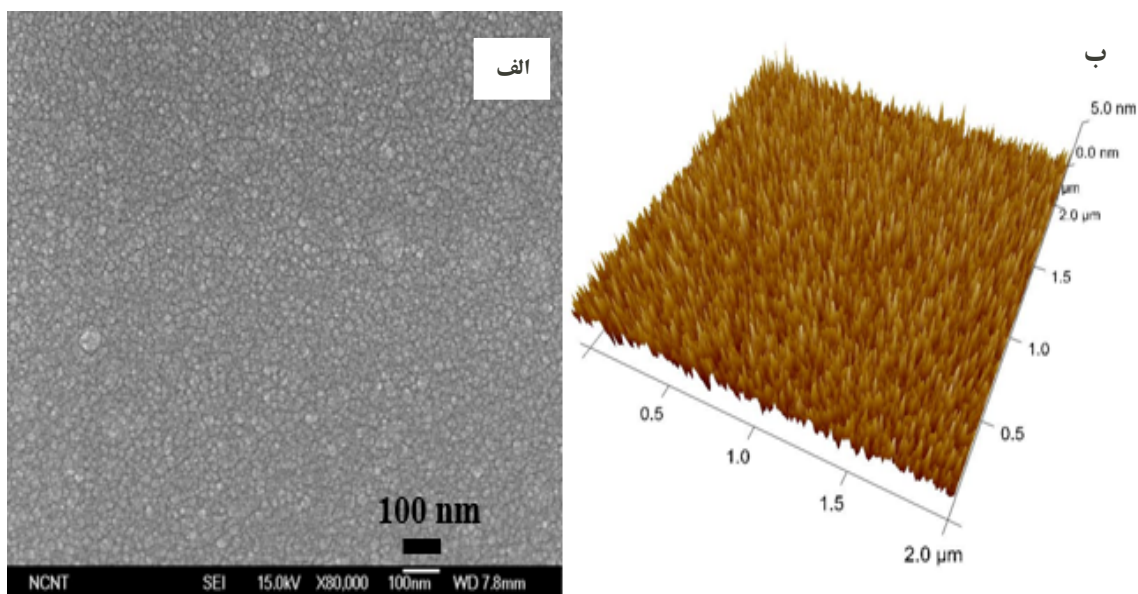
شکل (۳-الف و ب) تصویر SEM و AFM بذر لایه اکسید روی اعمال شده بر روی حسگر را نشان می دهد که کاملاً یکنواخت و

۳- نتایج و بحث

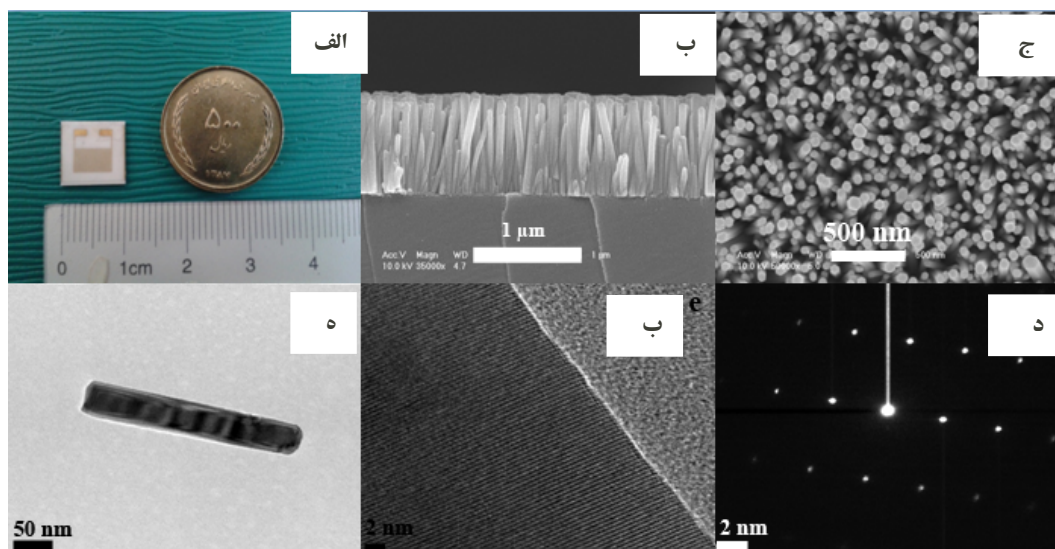
۳-۱- مشخصه یابی نانوپوششها

فوقانی انجام گردید. همانگونه که مشخص است میله ها، طولی در حدود ۱ میکرون و قطری در حدود ۴۰ نانومتر دارند. شکل (۵) الگوی تفرق اشعه ایکس (XRD) از نانومیله های اکسید روی را نشان می دهد. وجود تنها پیک صفحات (۰۰۲) نشان دهنده همراستایی بسیار مناسب نانومیله ها می باشد که نتایج SEM نیز این موضوع را تایید می نماید.

با اندازه دانه ای در حدود ۵ نانومتر می باشد و برای رشد نانو میله ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مقدار میانگین ریشه مربعات (rms) زبری سطح در حدود ۱/۵ nm می باشد که حاکی از ایجاد سطحی موثر برای جوانه زنی و رشد اکسید روی دارد. به منظور بررسی مطالعه نانو میله ها، تصویر SEM تهیه شد (تصویر ۴- ب و ج). تصویر برداری به دو صورت جانبی و

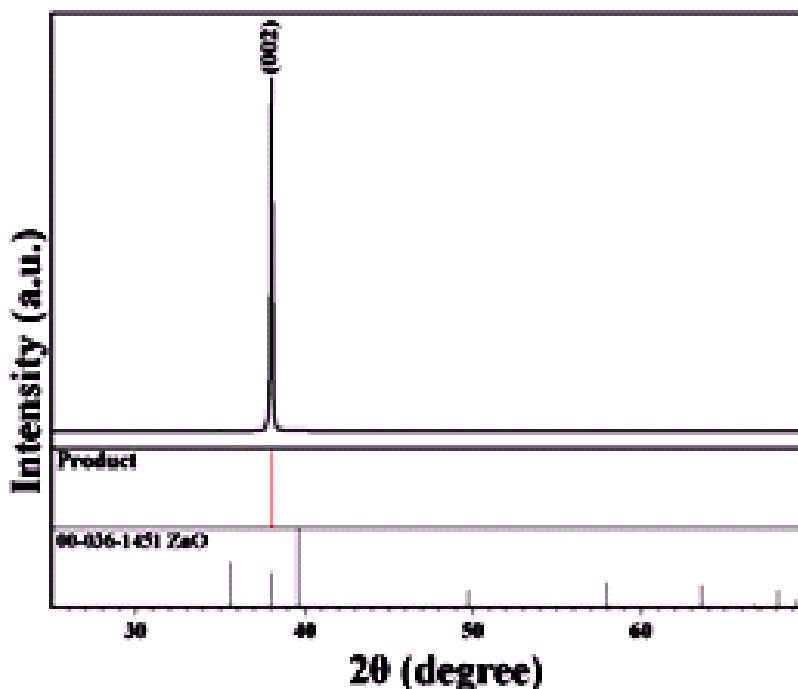


شکل (۳): تصویر SEM از بذر لایه اکسید روی پوشش داده شده روی سطح حسگر (الف)، تصویر AFM از همان سطح (ب)



شکل (۴): قطعه حسگر: (الف): تصویر SEM از مقطع عرضی نانو میله های رشد داده شده، (ب): تصویر SEM از نانومیله های رشد داده شده از بالا، (ج): تصویر

(د) SAED روی نانومیله اکسید (د-ه) از نانومیله منفرد (د)



شکل (۵): الگوی تفرق اشعه ایکس (XRD) نانومیله‌های اکسید روی.

۲-۳- نتایج حسگری

۱-۲-۳- تعیین دمای کاری حسگر

یکی از مهمترین مشخصه یک حسگر دمای کاری آن است، بدین معنی که هر حسگر بهترین عملکرد را در یک دمای مشخص دارد. بنابراین دمای کاری برای گاز اتانول به عنوان گاز مرجع با قرار دادن حسگر در معرض مقدار مشخصی از گاز در دماهای مختلف اندازه‌گیری شد. برای اینکار حسگر در معرض ۱۰۰ ppm از گاز اتانول در دماهای مختلف قرار گرفت (شکل ۶- الف). با توجه به این نتایج حسگر در دمای ۴۷°C بیشترین حساسیت را به گاز نشان می‌دهد. بنابراین این دما به عنوان دمای کاری حسگر برای انجام مابقی آزمایشات انتخاب شد.

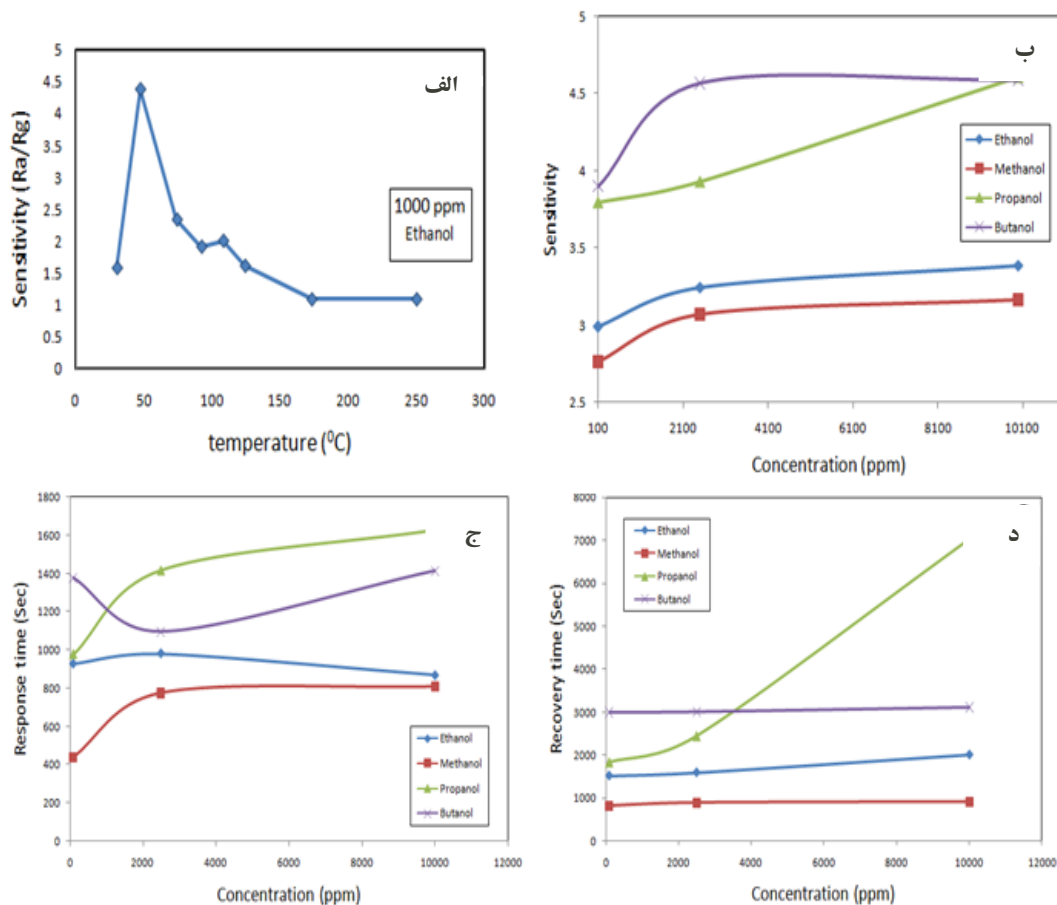
با توجه به این دمای کاری، پاسخ نمونه‌ها در غلظتهای مختلفی از گاز ارزیابی شد. همانگونه که در شکل (۶- ب) دیده می‌شود، حساسیت حسگر به ترتیب به گازهای بوتانول، پروپانول، اتانول و متانول بیشترین می‌باشد.

۲-۲-۳- حساسیت حسگر

در شکل (۶- ج) نمودار حساسیت بر حسب غلظت برای چهار گاز الکیلی نشان داده شده است. این اندازه‌گیری در دمای ثابت ۴۷°C انجام گرفت. همانگونه که مشخص است، حساسیت برای سه گاز اتانول، پروپانول و اتانول با افزایش غلظت، افزایش می‌یابد اما برای بوتانول این مقدار در غلظت ۲۵۰ ppm کمی کاهش می‌یابد.

۳-۲-۳- دمای پاسخ و دمای بازگشت

در شکل (۶ ج و د) نمودارهای زمان پاسخ و زمان بازگشت حسگر را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، کمترین زمان پاسخ و بازگشت مربوط به متانول می‌باشد که در غلظت ۱۰۰ ppm این رفتار را از خود نشان می‌دهد. این در حالی است که بوتانول بیشترین زمان پاسخ و بازگشت را در این غلظت از خود نشان می‌دهد. خلاصه این نتایج در جدول ۱ آمده است.



شکل (۶): (الف): نمودار حساسیت - دما برای اتانول در غلظت ۱۰۰۰ ppm، (ب): نمودار حساسیت - غلظت، (ج): نمودار زمان پاسخ - غلظت و (د): زمان بازگشت - غلظت برای چهار گاز الکی مختلف در دمای ۴۷°C -

جدول (۱): زمان پاسخ، زمان بازگشت بر حسب غلظت برای چهار گاز الکی مختلف

نوع گاز	غلظت (ppm)	حساسیت	زمان پاسخ دهی (ثانیه)	زمان بازیابی (ثانیه)
اتانول	۱۰۰	۲/۹۹	۹۲۸	۱۵۸۵
	۲۵۰۰	۳/۲۴	۹۸۱	۱۵۹۶
	۱۰۰۰۰	۳/۳۸	۸۶۸	۲۰۱۵
متانول	۱۰۰	۳/۷۵	۴۴۲	۸۲۲
	۲۵۰۰	۳/۰۶	۷۷۶	۸۹۶
	۱۰۰۰۰	۳/۱۶	۸۰۹	۹۱۷
پروپانول	۱۰۰	۳/۷۹	۹۷۷	۱۸۳۲
	۲۵۰۰	۳/۹۳	۱۴۱۷	۲۴۴۲
	۱۰۰۰۰	۴/۶۱	۱۶۲۶	۷۰۲۷
بوتانول	۱۰۰	۳/۸۹	۱۳۷۶	۲۹۹۵
	۲۵۰۰	۴/۵۶	۱۰۹۶	۴۰۱۰
	۱۰۰۰۰	۴/۵۸	۱۴۱۳	۳۱۱۲

نتیجه آن کاهش مقدار فضای یونهای O_2^- ، O^- و O_2^- می باشد. این واکنش طبق رابطه زیر است:



با توجه به واکنش (۲)، با افزایش غلظت الکترون، رسانایی لایه نازک اکسید روی افزایش پیدا می کند. زمانی که ماده در معرض اتمسفر گازهای اکسیدان مثل CO_2 و NO_2 قرار می گیرد با توجه به خاصیت الکترون دوستی بیشتر، از نیمه هادی الکترون گرفته و با یون اکسیژن جذب شده واکنش داده و CO_2^- جذب می گردد که این واکنش باعث افزایش مقاومت الکتریکی پوشش می شود. [۱۳].

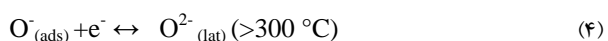
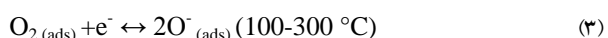
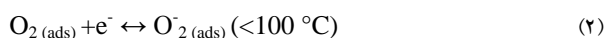
۳-۴- مکانیزم تشخیص بخار الکل

تشخیص دقیق بخار الکل از اهمیت تجاری ویژه ای برخوردار است. رایج ترین کاربرد حسگرهای الکل تشخیص سطح بخار اتانول در نفس انسان است (نفس سنج) که نشان دهنده میزان الکل موجود در خون می باشد. نتایج نشان می دهد که حسگرهای گازی بر پایه نیمه هادی های اکسید فلزی برای تشخیص بخار اتانول بسیار مفیدند. مکانیزم تشخیص بخار اتانول توسط حسگرهای اکسید روی با دو مسیر اکسیدی متفاوت قابل توضیح است، مسیر اول شامل اکسایش اتانول با دهیدروژنه شدن اتانول است که ترکیب واسطه CH_3CHO را تشکیل می دهد، و مسیر دوم شامل دهیدراته شدن اتانول و تشکیل C_2H_4 می باشد. انتخاب این دو واکنش با خواص اسیدی-بازی سطح اکسید فلزی مشخص می شود. فرآیند دهیدروژنه شدن روی سطوح اکسید بازی بسیار محتمل تر است، علاوه بر اینکه فرآیندهای دهیدروژنه معمولاً در دماهای بالاتری نسبت به فرآیندهای دهیدراته رخ می دهد که در آن $O(ads)$ نشان دهنده اجزای اکسیژن سطح است. دکتر رایو و همکارانش مکانیزم اکسایش اتانول روی سطوح ZnO را بررسی کردند. تحقیقات ایشان نشان داد که اتانول در حدود $300^\circ C$ دهیدروژنه شده و واسطه

۳-۳- مکانیزم حسگری گاز توسط نانو میله های اکسید روی

به دلیل نسبت سطح به حجم بالای لایه نازک اکسید روی، رسانایی الکتریکی این لایه حساسیت زیادی نسبت به تغییر سطح شیمیایی از خود نشان می دهد. زمانی که یک مولکول جذب سطح می شود، بین مولکول جذب شده و سطح جاذب امکان انتقال بار بوجود می آید [۵ و ۱۳].

مولکول جذب شده توسط سطح به میزان قابل توجهی خاصیت رسانایی سطح را تغییر می دهد که این امر شدیداً در میزان رسانایی سطح تاثیر گذار می باشد. درحالی که سنسور اکسید فلزی، نیمه هادی نوع منفی باشد این واکنش بصورت اکسایش و یا کاهش بین گاز هدف و اکسیژن جذب شده ظاهر می شود. زمانی که لایه نازک اکسید روی در معرض هوا قرار می گیرد، مولکولهای اکسیژن جذب سطح ماده می شود تا یونهای O_2^- ، O^- ، O_2^- را توسط گرفتن الکترون از باند رسانش شکل دهد [۱۱، ۱۷، ۱۹ و ۲۰]، بنابراین سنسور مقاومت زیادی را در هوا نشان می دهد. سینتیک واکنشها می تواند به صورت معادلات (۴-۱) باشد. همانگونه که مشاهده می شود در هر محدوده دمایی، یک واکنش اتفاق می افتد. در حسگر ساخته شده در این پژوهش واکنش (۲) صادق است چراکه این سنسور در دمای محیط بکار گرفته شد.



زمانی که سنسور در معرض گاز احیاکننده در دمای مناسب قرار می گیرد گاز هدف با فضاهای اکسیژن سطح واکنش داده و

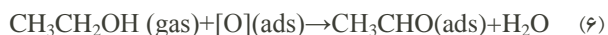
۵- سپاسگذاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد برای حمایت از این پژوهش قدر دانی می نمایند.

۶- مراجع

- [1] S. Ju, K. Lee & D. B. Janes, "Low operating voltage single ZnO nanowire field-effect transistors enabled by self-assembled organic gate nanodielectrics", *Nano Lett*, Vol. 11, pp. 2281-2286, 2005.
- [2] J. Goldberger, D. J. Sirbulu, M. Law & P. Yang, "ZnO nanowire Transistors", *J. Phys. Chem. B*, Vol. 1, pp. 9-14, 2005.
- [3] W. Heo, L. C. Tien & Y. Kwon, "Depletion-mode ZnO nanowire field-effect transistor", *Appl. Phys. Lett*, Vol. 12, pp. 2274-2276, 2004.
- [4] H. T. Ng & J. Han, "Single crystal nanowire vertical surround-gate field-effect transistor", *Nano Lett*. Vol. 7, pp. 1274-1252, 2004.
- [5] K. Keem & D. Y. Jeong, "Fabrication and device characterization of omegashaped-gate ZnO nanowire field-effect transistors", *Nano Lett*. Vol. 7, pp. 1454-1458, 2006.
- [6] G. Z. Shen, "Devices and chemical sensing applications of metal oxide nanowires", *J. Mater. Chem*, Vol. 19, pp. 828-839, 2009.
- [7] S. Ju, "Fabrication of fully transparent nanowire transistors for transparent and flexible electronics", *Nat. Nanotech*, Vol. 2, pp. 378-384, 2007.
- [8] P. Chen, "High-performance single crystalline arsenic-doped indium oxide nanowires for transparent thin-film transistors and active matrix organic light-emitting diode display", *ACS Nano*, Vol. 11, pp. 3383-3390, 2009.
- [9] F. Zhang, "High-performance, fully transparent, and flexible zincdoped indium oxide nanowire transistors", *Appl. Phys. Lett*, Vol. 12, pp. 103-123, 2009.
- [10] Q. Wan, "Doping-Dependent Electrical Characteristics of SnO₂ Nanowires", *small*, Vol. 4, pp. 451-454, 2008.

استالدهید (CH₃CHO) ایجاد می گردد، سپس اتمهای هیدروژن را تولید و جذب سطحی صورت می پذیرد که اتمهای جذب سطحی شده بر روی سطح ZnO اکسید می شوند [۲۳]. پروتونهای تولید شده با یونهای اکسیژن جذب سطحی شده، همکاری نموده و تشکیل OH(ads) را می دهند. دو گروه OH جذب سطحی، تغلیظ شده و یک مولکول H₂O حذف می کنند و در نتیجه یک آنیون اکسیژن جذب سطحی شده باقی می ماند. طی فرآیند دهیدروژنه شدن بالا، یک الکترون شبکه ای به باند هدایت ZnO انتقال می یابد بنابراین مقاومتش کاهش می یابد (واکنش ۶).
 واسطه استالدهید (CH₃CHO) جذب شده، می تواند تحت اکسیداسیون بیشتر قرار گیرد و واسطه های استات را تشکیل دهد. این واکنش در زیر نشان داده شده است (واکنش ۷). سپس واسطه استات CH₃CO₂(ads) می تواند به CO₂ و بخار آب تجزیه شود که البته جزییات این مکانیزم هنوز در دست تحقیق است.



۴- نتیجه گیری

الکترودهای درهم تنیده از جنس طلا با استفاده از نانولیتوگرافی بر روی بستر آلومینایی ساخته شد و نانو میله های اکسید روی به عنوان ماده حسگر به روش هیدروترمال بر روی آن لایه نشانی شد. کیفیت نانو میله های سنتز شده از لحاظ بلوری و ساختاری با استفاده از تفرق پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی عبوری با تفکیک بالا (HR-TEM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بررسی شد. دمای کاری حسگری برای گاز های الکلی °C ۴۷ بدست آمد. نتایج حسگری از جمله حساسیت، زمان پاسخ و زمان بازیابی در غلظتهای مختلف برای چهار گاز الکلی بدست آمد که متانول کمترین زمان پاسخ و بازیابی را از خود نشان داد. کاهش دمای کاری از دستاوردهای مهم این پژوهش می باشد اگرچه نیاز است در پژوهش های آینده بر روی کاهش زمان پاسخ و بازگشت کار شود.

- [17] Q. Wan & J. Huang, "Branched SnO₂ nanowires on metallic nanowire backbones for ethanol sensors application", *Appl. Phys. Lett*, Vol. 10, pp. 102101, 2008.
- [18] Q. Kuang & C. Lao, "High-sensitivity humidity sensor based on a single SnO₂ nanowire", *J. Am. Chem. Soc*, Vol. 19, pp. 6070 - 6071, 2007.
- [19] P. H. Yeh, Z. Li, & Z. L. Wang, "Schottky-gated probe-free ZnO nanowire biosensor", *Adv. Mater*, Vol. 21, pp. 4975-4978, 2009.
- [20] S. N. Das, K. J. Moon, J. P. Kar, J. H. Choi, J. Xiong, , T. I. Lee, & J. M. Myoung, "ZnO single nanowire-based UV detectors", *Appl. Phys. Lett*, Vol. 97, pp. 022103, 2010.
- [11] Q. Wan, "Fabrication and ethanol sensing characteristics of ZnO nanowire gas sensors", *Appl. Phys. Lett*, Vol. 18, pp. 3654-3656, 2004.
- [12] Z. Fan & G. Lu, "Chemical sensing with ZnO nanowire field-effect transistor", *IEEE Trans. Nanotech*, Vol. 4, pp. 393-396, 2006.
- [13] J. Son, "Synthesis of horizontally aligned ZnO nanowires localized at terrace edges and application for high sensitivity gas sensor", *Appl. Phys. Lett*, Vol. 5, pp. 053109, 2008.
- [14] D. Zhang, "Detection of NO₂ down to ppb levels using individual and multiple In₂O₃ nanowire devices", *Nano Lett*, Vol. 10, pp. 1919-1924, 2004.
- [15] Z. Zang, "Tailoring Zinc oxide nanowires for high performance amperometric glucose sensor", *Electroanalysis*, Vol. 9, pp. 1008-1014, 2007.
- [16] J. Zhou, "Flexible piezotronic strain sensor, *Nano Lett*", Vol. 9, pp. 3035-3040, 2008.

۷- پی نوشت

- [1] Interdigitated array electrodes
[2] Target
[3] Root mean square