



بررسی اثر درصد حضور زینک استات در ساختار نانوالیاف الکتروسی شده

ZnO بر دمای کاری حسگر گاز جهت شناسایی گاز NO

نیلوفر خمارلو^{۱,۲,۳} | روح‌اله باقرزاده^۱ | الهام محسن‌زاده^{۲,۳} | هایره گیدیگ^{۲,۳} | مسعود لطیفی^۱ | دریس لاهم^۴ | الی احمدو^۱

چکیده

حسگرهای گاز بر پایه مواد اکسید نیمه فلزی به عنوان دسته‌ای مهم از مواد برای شناسایی گازها استفاده می‌شوند. از جمله چالش‌های این نوع از حسگرها بالا بودن دمای کاری برای تشخیص گاز است. در این پژوهش با تغییر درصد زینک استات، عملکرد حسگر با پاسخ بسیار خوب در دمای کاری پایین‌تر به دست آمده است. در این پژوهش، مهمترین عوامل هندسی و ساختاری حسگرهای گازی مبتنی بر نانوالیاف زینک اکساید با تغییر درصد بخش غیرآلی در محلول الکتروسی، در درجه حرارت‌های مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که افزایش میزان درصد بخش غیرآلی حسگر ترکیبی ZnAC/PVA، تنها در محدوده درجه حرارت بین ۲۰۰ الی ۳۵۰ درجه سانتیگراد، می‌تواند سبب بهبود پاسخ حسگر برای تشخیص گاز NO شود. همچنین این تغییر در میزان درصد زینک استات در ساختار لایه الکتروسی شده، منجر به تغییر میزان فشردگی اجزای داخلی حسگر و در نهایت تغییر در پاسخ حسگر می‌گردد.

۱- مقدمه

حسگر گاز نقش حیاتی در کاربردهای مختلف، به‌ویژه در حوزه پزشکی و تشخیص بیماری دارد. یکی از گازهایی که از اهمیت زیادی در این حوزه برخوردار است، نیتروژن مونوکسید (NO) است که می‌تواند به عنوان نشانگر حیاتی برای تشخیص مشکلات تنفسی عمل کند.

نظارت دقیق و برخط در میزان گاز NO در محدوده غلظت‌های پایین^۱ PPB تا بالاتر^۲ PPM ارزش قابل توجهی دارد.

حسگرهای مبتنی بر نانومواد قدرت ویژه‌ای به عنوان ابزارهای تشخیص دارند. به این منظور، نانوساختارهای اکسید فلزی نیمه‌رسانا SMO به دلیل خواص متمایز شان شامل حساسیت بالا، پایداری، قابلیت تهیه با هزینه کم و پاسخ سریع، توجهات زیادی را به خود جلب کرده‌اند.

اکسید روی (ZnO) یک نیمه‌رسانای نوع N است

که در حسگرهای گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نیمه هادی دارای فاصله باند وسیع (۳/۳۷ الکترون-ولت) بوده که به دلیل هزینه تولید پایین و غیرسمی بودن از آن به عنوان ماده حساس به گاز بهره‌برداری گسترده‌ای شده است.

یکی از روش‌های تولید نانوساختارها استفاده از الکتروسی به منظور تولید نانوالیاف از مواد غیر پلیمری مانند SMO هاست.

از آنجایی که که فرآیند حسکردن در حسگرهای مبتنی بر اکسیدفلزی برپایه جذب گاز روی سطح است، کنترل بر ساختار و مورفولوژی نهایی می‌تواند در توانایی‌های حسگری از جمله پاسخ به گاز هدف، قدرت انتخاب گاز، پاسخ‌دهی سریع و برگشت‌پذیری نقش داشته باشد.

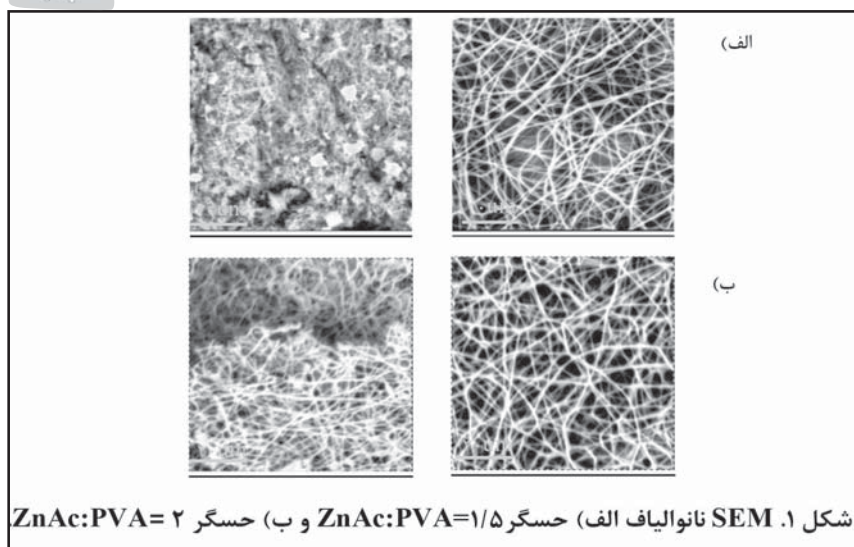
میزان اکسیدفلزی به عنوان ماده اصلی حساس در لایه حسگر، می‌تواند به عنوان یک عامل در تغییر

ساختار عمل کند.

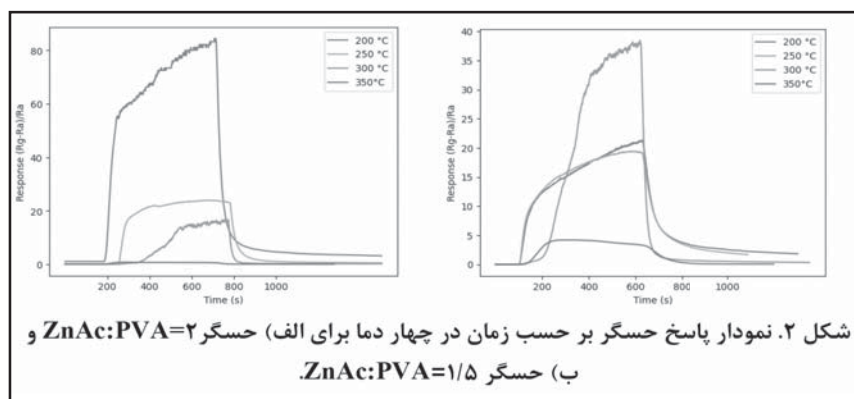
SMO ها برای واکنش با گاز هدف نیاز به حرارت دارند؛ چراکه انرژی لازم برای فعال شدن سطح لایه حسگر و درآدمه زمان پاسخ‌دهی به گاز و برگشت‌پذیری به حالت اولیه به دمای واکنش وابسته است. در طراحی تجاری و کاربردی حسگرهای SMO به منظور حرارت‌دهی به حسگر در ابعاد میکرو، از لایه میکروماشین مجهز به گرمکن استفاده می‌شود.

محققان همواره در تلاش بوده‌اند تا دمای کاری حسگرهای مبتنی بر SMO را کاهش دهند به طوریکه زمان پاسخ‌دهی و برگشت‌پذیری افزایش چشمگیری نداشته باشد، چراکه کاهش این دما منجر به کاهش هزینه‌های ساخت حسگر می‌شود.

در این پژوهش در خصوص اثر تغییر در اجزای آلی و غیر آلی بر روی ساختار حسگر و در نهایت عملکرد



شکل ۱. SEM نانوالیاف (الف) حسگر ZnAc:PVA=۱/۵ و (ب) حسگر ZnAc:PVA=۲



شکل ۲. نمودار پاسخ حسگر بر حسب زمان در چهار دما برای (الف) حسگر ZnAc:PVA=۱/۵ و (ب) حسگر ZnAc:PVA=۲

عنوان داربست پلیمری حذف شده و نانوالیاف ZnO نانوالیاف ZnO است.

قطر نانوالیاف قبل و بعد از کلسینه در شکل ۱ الف و ب نشان داده شده است.

قطر نانوالیاف ZnAc:PVA = ۱/۵ و ZnAc:PVA = ۲ و ZnAc:PVA = ۱۴۹۰ به ترتیب قبل از کلسینه ۱۱۹۰ و بعد از کلسینه ۴۰۰ و ۶۶۰ نانومتر است. این کاهش قطر می تواند به علت حذف شدن پلیمر PVA از نانوالیاف باشد.

۳-۲ - پاسخ و عملکرد حسگر گاز در برابر گاز NO نانوالیاف ZnO به دست آمده روی الکتروکود شانه ای قرار داده شدند و توسط دستگاه حساسیت سنج داخل آزمایشگاه در چهار دمای ۲۰۰ - ۲۵۰ - ۳۰۰ و ۳۵۵ درجه سانتیگراد و غلظت ۵ PPM مورد ارزیابی قرار گرفتند.

پاسخ حسگر، زمان پاسخ دهی و برگشت پذیری و دمای واکنش از جمله عوامل مهم در عملکرد یک حسگر گاز است. پاسخ حسگر در برابر گاز

۲-۲- ارزیابی ساختاری و اندازه گیری عملکرد حسگر

از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف سنجی پراش اشعه ایکس (EDS) و از دستگاه تحلیل حرارتی (TGA) به منظور بررسی ساختار لایه حسگرها، درصد عناصر موجود و رفتار حرارتی آنها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ساختار و رفتار حرارتی نانوالیاف

طبق نتایج TGA با توجه به از بین رفتن پلیمر بین دمای ۳۰۰ الی ۸۰۰ درجه سانتیگراد، دمای کلسیناسیون ۶۰۰ درجه سانتیگراد تعیین شد. این نتایج به همراه نتایج EDS تأیید کننده از بین رفتن پلیمر بعد از کلسیناسیون و به دست آمدن

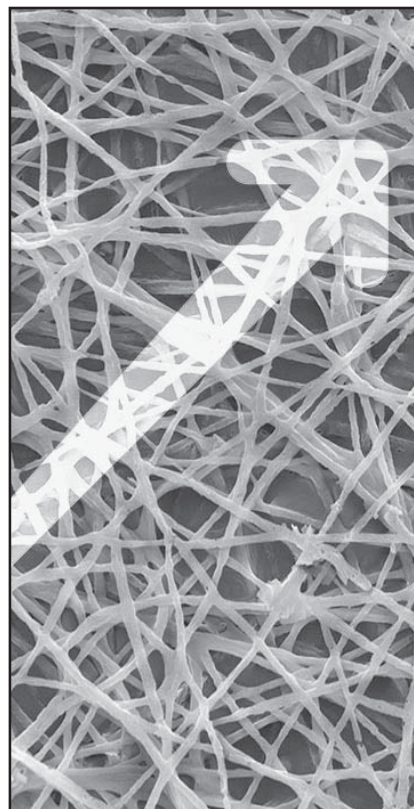
آن مطالعه انجام گرفته است.

در ادامه نتایج تغییر درصد زینک استات نسبت به پلیمر بر روی ساختار هندسی حسگر که منجر به کاهش دمای کاری آن شده، ارائه شده است.

۲- تجربیات

۱-۲- مواد و ساختارهای مورد استفاده

نانوالیاف متخلخل ZnO با استفاده از روش الکترورسی تولید شدند. برای انجام این کار، زینک استات (ZnAc) با نسبت ۱/۵ ZnAc:PVA = ۲ و ZnAc:PVA = ۱/۵ در آب مقطر آماده شد و سپس تحت فراصوت قرار گرفت؛ سپس ۱۵ درصد وزنی پلی وینیل الکل (PVA) به محلول افزوده شد. برای به دست آوردن نانوالیاف بکنواخت، روش طراحی آزمایش ها (DOE) استفاده شد که پارامترهای بهینه شده برای نمونه ZnAc:PVA = ۱/۵ و ZnAc:PVA = ۲ به ترتیب برابر با ۱۸ kV، ۲۰۰ UL/H و ۲۰ CM و ۳۰۰ UL/H و ۱۶ CM است. لایه های الکترورسی شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد با نرخ افزایش دمای ۰/۵ درجه در دقیقه کلسینه شدند تا PVA به





دارای فشردگی بیشتری است و می‌تواند علتی برای کاهش نفوذ گاز هدف در ساختار لایه شود. به همین منظور در دمای پایین ۲۰۰ درجه سانتیگراد، حسگر با زینک استات نصف، دارای پاسخی ۴ برابر نسبت به حسگر با درصد زینک استات بیشتر است. به این ترتیب، با کاهش میزان زینک استات، دمای کاری حسگر از ۳۰۰ به ۲۰۰ درجه سانتیگراد رسیده است. مدت زمان پاسخ‌دهی و برگشت‌پذیری نانوالیاف ZnO در حسگر ۱/۵ = ZnAc:PVA و ۲ = ZnAc:PVA در شکل ۴ نشان داده شده است. با افزایش دما، زمان بازگشت‌پذیری حسگر کاهش می‌یابد. طبق قانون LANGMUIR، سرعت جذب و واجذب در نتیجه کاهش دما روی سطح، کاهش می‌یابد؛ در نتیجه دمای پایین‌تر مولکول‌های گاز با سرعت کمتری از سطح لایه واجذب می‌شوند.

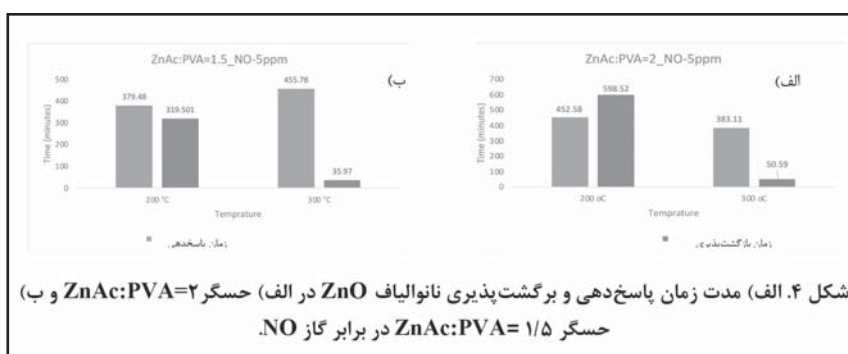
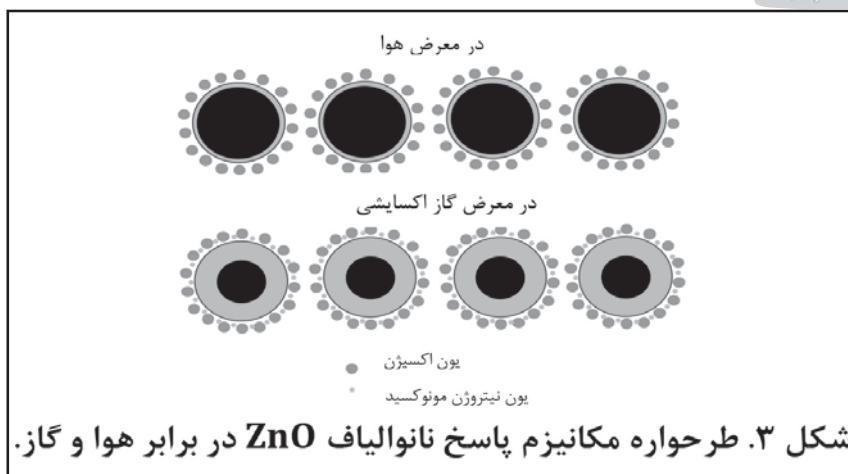
در حسگر ۱/۵ = ZnAc:PVA با کاهش میزان زینک استات، زمان برگشت‌پذیری در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد به ۳۱۹ ثانیه رسیده است در حالیکه در حسگر با زینک استات دو برابر، این زمان در حدود ۲ برابر بیشتر است.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی نشان داد که استفاده از زینک اکساید کمتر در یک محلول، سبب کاهش میزان فشردگی ساختار لایه‌های مورد استفاده در حسگرهای گازی بعد از حذف پلیمر می‌شود. لذا می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای تنظیم پاسخ حسگرهای مبتنی بر زینک اکساید در شرایط مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با تغییر در فشردگی ساختار لایه حسگر، پاسخ آن در برابر گاز هدف افزایش و مدت زمان برگشت‌پذیری کاهش می‌یابد.

پی‌نوشت

- ۱- پژوهشکده مواد و فناوری‌های پیشرفته در نساجی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- ۲ - دانشگاه لیل، موسسه مهندسی نساجی ENSAIT، آزمایشگاه مهندسی و مواد (GEMTEX)، لیل، فرانسه
- ۳- دانشگاه جونیا، لیل، فرانسه
- ۴- موسسه تحقیقاتی MATERIA NOVA، بلژیک



امر موجب ایجاد لایه تخلیه می‌شود. نوع یون اکسیژن جذب شده در سطح به دمای واکنش بستگی دارد. هنگامی که گاز اکسایشی NO وارد می‌شود، مولکول‌های گاز، با اتمهای سطح و سایت‌های خالی اکسیژن در ZnO واکنش داده و الکترون‌های سطح ZnO را جذب می‌کنند. به این ترتیب بین مولکول‌های جذب شده و نانوالیاف ZnO شار الکترونی صورت می‌گیرد و در نتیجه لایه تخلیه و مقاومت الکتریکی لایه حسگر ZnO افزایش می‌یابد. براساس مطالعات انجام شده، به نظر می‌رسد که مولکول‌های گاز ابتدا با سطح لایه واکنش داده و سپس درون لایه پخش شده و در نهایت واجذب می‌شود. جذب سطحی بلافاصله یک پاسخ سریع نشان می‌دهد و بعد از آن مولکول‌های گاز درون ساختار لایه نفوذ کرده و با نرخ کمتری پاسخ می‌دهند و زمان پاسخ‌دهی افزایش می‌یابد تا در نهایت نرخ جذب و واجذب به تعادل برسد.

نانوالیاف در لایه حسگر ۲- ZnAc:PVA به علت دارا بودن درصد بالاتر از زینک اکساید

اکسایشی توسط رابطه R_A محاسبه می‌گردد که در این رابطه R_A مقاومت حسگر در برابر هوا و R_G مقاومت حسگر در مقابل گاز هدف تعریف می‌شود. مدت زمان پاسخ‌دهی در برابر گاز هدف به زمانی گفته می‌شود که حسگر به ۹۰ درصد از بیشترین پاسخ خود، و زمان برگشت‌پذیری به زمانی گفته می‌شود که حسگر به ۱۰ درصد از مقاومت اولیه خود بعد از خارج شدن گاز هدف میرسد. پاسخ حسگرها در غلظت ۵ PPM و دماهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. حسگر با درصد زینک استات کمتر در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد دارای پاسخ قابل توجه ۸۴ است. ZnO یک اکسیدفلزی از نوع N است و مکانیزم شناسایی آن به طور عمده بر پایه تغییر مقاومت الکتریکی لایه حساسیت به علت جذب/ واجذب مولکول‌های گاز می‌باشد. مکانیزم پیشنهادی برای حساسیت حسگر به گاز NO در شکل ۳ نشان داده شده است. هنگامی که حسگر در معرض هوا قرار دارد، اکسیژن بر روی سطح جذب شده که این