بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فیزیک

گرایش حالت جامد

عنوان:

طراحی و ساخت قطعات حسگر گازی نانوساختار برای کاربری در گازسنج‌های صنعتی

دانشجو :

امید ملکان

استاد راهنما :

دکتر حمید هراتی‌زاده

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۱۳۹۲

برای پدرم به شکرانه زحمات و امیدش

مادرم به پاس مهر و محبت اش

و همسرم به شکرانه شکیبایی‌اش در روزهای سخت

تقدیر و سپاسگذاری

سپاس خدایم را از آغاز تا انجام.

تجربه‌ای متفاوت بود، سرشار از شور و هیجان، روشنایی و امید به آینده، آکنده از طـراوت و تـرنم دانش‌اش، آزمایشگاه ۲۰۱. شگفت انگیز بود همکاری در این تیم. هدف های تبیـین شـده مشـخص و تلاش و پشتکار برای نیل به آن‌ها. راهنمایی های ارزشمند معلممان، دکتر هراتی زاده بهتـرین مسـیر بود برای پیمودن. بسیار سپاسگذارم از وجودش در کنارمان و خوشـحال از اینکـه بـیش از دو سـال از بهترین سال‌های عمرمان را در کنار هم به شادی گذراندیم. صبوری را از آرامشش آموختیم و انسانیت را از قلب پاکش. و اینگونه آغاز کردیم مسیر بی انتهای دانش‌اندوزی را.

محبت های بی دریغ عزیزترین دوستانم را هرچند که شایسته مهرشان نیست، اما تمام چیزیسـت که دارم، با زیباترین جمله در دنیایم جبران می کنم؛ "دوستتان دارم". یاشار، جـواد، میثـاق و زهـرا، مرضیه، مهرداد، رویا، مریم، وحید، صادق، نرگس، سپاس از حضورتان!

بر خود لازم می‌دانم از دوست عزیزم علی اسدی بخاطر همکاری اش در طراحـی مـدار الکتریکـی تشکر و تقدیرم را اعلام دارم.

در انتها همچون همیشه قدردان حضور پر رنگ خانواده‌ام در تمام مراحل زندگی هستم.

تعهد نامه

اینجانب **امید ملکان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **فیزیک** دانشکده **فیزیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **طراحی و ساخت قطعات حسگر گازی نانوساختار برای کاربری در گازسنج‌های صنعتی تحت راهنمایی دکتر حمید هراتی زاده** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده :

حسگرهای گازی دستگاهایی هستند که می‌توانند غلظت یک گاز بخصوص را بـه یـک سـیگنال الکتریکی تبدیل کنند.اکسید قلع(SnO_2) و اکسید روی(ZnO) جزء مهمترین موادی هستند که بـه عنوان حسگرهای گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر، حجم وسیعی از تحقیقـات بـر روی حسگرهای گازی نانومقیاس انجام شده‌است. کاهش اندازه‌ی حسگرهای SnO_2 و ZnO در ابعاد نانومتر، عملکرد حسگری آن‌ها را در قیاس با حسگرهای میکرومتری بـه‌طـور قابـل توجـه‌ای افـزایش داده‌است. یکی از دلایل برتری این حسگرها شکل نانو ساختاری آن‌ها می‌باشد کـه نسـبت سـطح بـه حجم بالایی نسبت به دیگر مواد دارند. در این پروژه حسگر صنعتی قابل حمل با پایه‌ی نانو ساختار که منبع تغذیه این حسگر باطری‌های حداکثر تا ۱۲ ولت بوده و در محـیط گـازی تسـت شـده‌اسـت. در نمونه‌های حسگری (قبل از سنتز نانو ساختار) یک قطعـه فیلامـان داغ در سـاختار سـرامیکی حـاوی مولایت(آلومینا AL_2O_3) تعبیه شده تا مانع از تماس مستقیم ناحیه‌ی حرارتی با گاز شـود. سـپس نانو میله‌ها و نانو سیم‌های SnO_2 و ZnO به عنوان ماده حسگری به روش رسوبدهی بخار شـیمیایی (CVD) در یک کوره الکتریکی افقی دو ناحیه‌ای رشد داده‌شـد وبـرای سـنتز از گـاز فعـال صـنعتی استفاده شده تا هزینه و صنعتی بودن پروژه مدنظر قرار گرفته شود. نانوساختارهای یک بعـدی سـنتز شده به وسیله‌ی پراش پرتو X، میکروسکوپ روبشی الکترونی و طیف فوتولومینسانس مشخصـه‌یـابی شدند. عملکرد حسگری نانوساختارهای SnO_2 سنتز شده برای گاز مایع بررسی شد. اما در مورد نانو ساختارهای ZnO بر روی زیر لایه‌ی آلومینا از ماندگاری خوبی برخـوردار نبـوده و بـرای تسـت‌هـای حسگری نمی توان از آن‌ها استفاده کرد. نانوساختارهای SnO_2 حساسیت و گزینش بسیار خـوبی بـه گاز مایع نشان دادند. در دماهای بالا، حسگرگازی نسبت به غلظت‌های بسـیار کـم گـاز LPG بسـیار حساس بود. بنابراین وابستگی حساسیت به ابعاد نانوسیم‌ها، نانوسیم‌های SnO_2 با قطر کمتر و چگال-تر، به عنوان گزینه‌ی برتر برای حسگر گازی در نظر گرفته‌شد.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول: حسگرهای گازی صنعتی.....۱

۱-۱مقدمه..... ۲

۱-۲دسته بندی حسگرهای گازی..... ۵

۱-۳حسگرهای گازی نیمهرسانا اکسید- فلزی..... ۷

۱-۴مشخصات مهم حسگرهای گازی عبارتند از..... ۸

۱-۴-۱حساسیت..... ۸

۱-۴-۲گزینندگی..... ۹

۱-۴-۳دمای کار..... ۹

۱-۴-۴پایداری یا تکرار پذیری..... ۹

۱-۴-۵زمان پاسخ..... ۱۰

۱-۴-۶زمان بازگشت پذیری..... ۱۰

۱-۵مکانیزم پاسخ در حسگرهای گازی..... ۱۰

۱-۶سنسورهای سری MQ..... ۱۴

۱-۶-۱ویژگی‌ها..... ۱۵

۱-۶-۲انواع سنسورهای سری M Q..... ۱۶

۱-۶-۳سنسور گاز سنسور MQ-9..... ۱۷

فصل دوم: سنتز و نتایج حاصل از سنتز نانوساختارهای یک بعدی اکسید قلع و اکسید روی ۱۹

۲-۱نانو ساختارهای یک بعدی ۲۰

۲-۱-۱رویکرد بالا به پایین ۲۰

۲-۱-۲رویکرد پایین به بالا ۲۱

۲-۲سنتز نانوساختارهای یک بعدی از فاز بخار ۲۲

۲-۲-۱مکانیزم بخار-جامد ۲۳

۲-۳قسمت های مختلف یک سیستم CVD ۲۶

۲-۳-۱کپسول‌های گاز فعال و متعلقات آن ۲۶

۲-۳-۲اتصالات لوله‌ای ۲۶

۲-۳-۳شیرهای سوزنی و شارسنج‌ها ۲۷

۲-۳-۴درپوش‌ها ۲۷

۲-۳-۵لوله واکنش ۲۸

۲-۳-۶کوره و کنترلر ۲۸

۲-۳-۷پمپ های خلأ و خلأ سنجها ۲۹

۲-۳-۸گازشو ۳۰

۲-۴مراحل سنتز نانومیله‌های اکسید قلع ۳۱

۲-۵کاربرد و خواص نانوسیمهای اکسید قلع ۳۴

۲-۶کاربرد و خواص نانو ساختارهای اکسید روی ۳۴

۲-۷پارامترهای اساسی در سنتز کنترل شده‌ی نانوسیمهای اکسید قلع..... ۳۶

۲-۷-۱تغییر فاصله‌ی چشمه از زیر لایه..... ۳۷

۲-۷-۲اثر آهنگ رشد..... ۳۷

۲-۷-۳اثر جنس زیر لایه..... ۳۷

۲-۷-۴اثر دمای چشمه..... ۳۸

۲-۷-۵تغییر شار گاز واکنشگر..... ۳۸

۲-۷-۶تغییر در زمان واکنش..... ۴۰

۲-۸مطالعه خواص ساختاری لایه‌ها با استفاده از طیف پراش پرتو X..... ۴۲

۲-۸-۱اکسید قلع..... ۴۱

۲-۸-۲اکسید روی..... ۴۳

فصل سوم: مدار الکترونیکی حسگر گازی صنعتی..... ۴۷

۳-۱مقدمه..... ۴۸

۳-۲دیاگرام کلی مدار الکترونیکی..... ۴۸

۳-۲-۱بخش ورودی..... ۴۹

۳-۲-۲بخش پردازش..... ۵۰

۳-۲-۲-۱ میکروکنترلرها AVR و معرفی مدل ATMega32 ..... ۵۰

۳-۲-۲-۲ مهمترین مشخضات این میکروکنترلر ATMEGA 32..... ۵۰

۳-۲-۲-۳ نحوه ی کار با میکروکنترلر ATMEGA 32..... ۵۵

۳-۲-۳خروجی..... ۵۶

۳-۳تغذیه مدار..... ۵۷

۳-۴برنامه نویسی میکروکنترلر ATMEGA 32..... ۵۰

فصل چهارم :نتایج مشخصه‌یابی حسگرهای گازی ساخته شده بر پایه‌ی نانو میله‌های اکسید قلع..... ۷۱

۴-۱مقدمه..... ۷۲

۴-۲مشخصه‌یابی فیلامان داغ..... ۷۲

۴-۳الکترودگذاری..... ۷۴

۴-۳-۱تبخیر حرارتی در خلا..... ۷۴

۴-۴نحوه‌ی اندازه گیری غلظت گاز..... ۷۶

۴-۵نتایج حاصل از حسگر نانوساختار SnO_2 سنتز شده به روش CVD..... ۷۷

۴-۵-۱پاسخ دهی حسگر نانوساختار SnO_2 در مجاورت گاز LPG..... ۷۷

۴-۵-۲زمان پاسخ و بازیابی حسگر نانوساختار SnO_2 برای گاز LPG..... ۸۲

۴-۶بحث و نتیجه‌گیری..... ۸۴

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ : توصیف شماتیک جذب شیمیایی اکسیژن روی سطح حسگرهای گازی اکسید- فلـز ۱۲

شکل ۱-۲ : گونه‌های مختلف اکسیژن آشکارسازی شده در دماهای مختلف روی سطح اکسید قلع با تکنیک‌های مختلف ۱۳
شکل ۱-۳ : توصیف شماتیک تغییر مقاومت اکسید- فلز با جذب اکسیژن روی سطح ۱۴
شکل ۱-۴ : نمایی از سنسور گاز سری MQ..... ۱۵
شکل ۱-۵ : مدار راه انداز سنسور سری MQ..... ۱۵
شکل ۲-۱ : الف)رشد کنترل شده‌ی نانوساختارهای یک بعدی با رویکرد پایین به بالا. ب)تصاویر SEM و TEM از نانوسیم‌های رشد یافته روی زیرلایه Si ۲۲
شکل ۲-۲ : نمایی کلی از فرایند CVD ۲۵
شکل ۲-۳: نمونه‌ی آزمایشی هیتر پیچیده شده در زیر لایه ۳۲
شکل ۲-۴ : قالب‌های آماده شده برای زیرلایه..... ۳۲
شکل ۲-۵ : زیر لایه‌ها بعد از بیرون آمدن از قالب و آماده برای مرحله‌ی بازپخت ۳۳
شکل ۲-۶ : نانوساختارهای مختلف ZnO ۳۶
شکل ۲-۷ : تصویر SEM از نانو میله‌های رشد داده شده SnO_2 با شار گاز واکنشگر ۱۵۰ sccm ۳۹
شکل ۲-۸ : تصویر SEM از نانو میله‌های رشد داده‌شده SnO_2 با شار گاز واکنشگر ۱۵۰sccm ۳۹
شکل ۲-۹ : تصویر SEM از نانو میله های رشد داده‌شده SnO_2 با شار گاز واکنشگر ۱۰۰ sccm ۳۹
شکل ۲-۱۰ : تصویر SEM از نانو میله‌های رشد داده‌شده SnO_2 با شار گاز واکنشگر sccm ۱۰۰..... ۴۰
شکل ۲-۱۱ : تصویر SEM نانو میله‌های SnO_2 رشد داده شده در زمان ۱۲۰ min ۴۰

شکل ۲-۱۲ : تصویر SEM نانو میله‌های SnO_2 رشد داده‌شده در زمان ۹۰ min ۴۱

شکل ۲-۱۳ : الف: نمودار XRD مربوط به نانو میله‌های SnO_2 با زمان واکنش ۱۲۰min ب: نمودار XRD مربوط به نانو میله‌هایSnO_2 با زمان واکنش ۹۰ min..... ۴۲

شکل ۲-۱۴: الف: نمودار XRD از نانو میله‌های رشد داده‌شده SnO_2 با شار گاز واکنشگر ۱۰۰ sccm ب: نمودار XRD از نانو میله‌های رشد داده‌شده SnO_2 با شار گاز واکنشگر ۱۵۰ sccm ۴۳

شکل ۲-۱۵ : نمودار XRD از نانو میله‌های رشد داده‌شده ZnO با شار گاز واکنشگر ۱۵۰ sccm ۴۴

شکل ۲-۱۶ : نمودار XRD از نانو میله‌های رشد داده‌شده ZnO با شار گاز واکنشگر ۱۰۰ sccm ۴۴

شکل ۲-۱۷ : تصاویرSEM نانو سیم‌های ZnO..... ۴۵

شکل ۲-۱۸ : طیف PLنمونه SnO_2 ..... ۴۶

شکل ۳-۱: دیاگرام کلی مدار الکتریکی حسگر گازی..... ۴۸

شکل ۳-۲ : پتانسیو متر یا مقاومت‌های متغییر استفاده شده در مدار ۴۹

شکل ۳-۳ : سویچ‌های عیب یابی..... ۵۰

شکل ۳-۴ : نمایی از میکروکنترلر AVR ۵۲

شکل ۳-۵ : میکروکنترلر ATMEGA32 و تمام پایه‌های آن ۵۴

شکل ۳-۶: نمایی از خازن الکترولیت و عدسی استفاده شده در مدار ۵۶

شکل ۳-۷ : LCD۲۰×۴ استفاده شده در مدار ۵۷

شکل ۳-۸ : آی سی رگولاتور و نقش هر یک از پایه‌های آن ۵۸

شکل ۳-۹ : کامپایلر code vision AVR..... ۵۹

شکل ۳-۱۰ : نرم افزار PROGISP ۶۱

شکل ۳-۱۱ : نقشه‌ی pcb مدار قبل از مرحله‌ی چاپ ۶۸

شکل ۳-۱۲ : نقشه مدار چاپی..... ۶۹

شکل ۳-۱۳: شکل کلی مدار پس از چاپ..... ۶۹

شکل ۴-۱ : دستگاه تبخیر حرارتی موجود در آزمایشگاه نانوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود .. ۷۵

شکل ۴-۲: الف) تصویر شماتیک قطعه حسگری. ب) نانوسیمهایSnO_2 سنتز شده بر روی زیرلایه کوارتز. ج) الکترودهای طلا جایگذاری شده بر روی لایه نانوسیمهایSnO_2 .د) قطعه حسگری آماده شده. ۷۶

شکل ۴-۳ : پاسخ‌دهی حسگر SnO_2 در معرض گاز LPG در دماهای مختلف ۸۰

شکل ۴-۴ : حساسیت حسگر SnO_2 به ppm ۱۰۰۰ از گاز LPG در دمای کار ۳۰۰°C..... ۸۰

شکل ۴-۵ : حساسیت حسگر SnO_2 به ppm ۲۵۰۰ از گاز LPG در دمای کار ۳۰۰°C ۸۱

شکل ۴-۶ : حساسیت حسگر SnO_2 به ppm ۳۰۰۰ از گاز LPG در دمای کار ۳۰۰°C..... ۸۱

شکل ۴-۷ : زمان پاسخ‌دهی و بازیابی حسگر SnO_2 در حضور گاز LPG برای ppm ۱۰۰۰.... ۸۲

شکل ۴-۸ : زمان پاسخ‌دهی و بازیابی حسگر SnO_2 در حضور گاز LPG برای ppm ۲۰۰۰.... ۸۲

شکل ۴-۹ : زمان پاسخ‌دهی و بازیابی حسگر SnO_2 در حضور گاز LPG برای ppm ۲۵۰۰.... ۸۳

شکل ۴-۱۰ : زمان پاسخ‌دهی و بازیابی حسگر SnO_2 در حضور گاز LPG برای ppm ۳۰۰۰.. ۸۳

فهرست جداول

جدول ۱-۱ : مقایسه‌ی حسگرهای مختلف ۸

جدول ۴-۱ : مشخصه‌یابی دمایی حسگر ۷۳

فصل اول

حسگرهای گازی صنعتی

۱-۱ مقدمه

با افزایش جمعیت جهانی، صنعتی شدن و آلودگی هوا ناشی از حمل و نقل، صنایع مختلف و ... به طور مداوم در حال افزایش می‌باشد. آلودگی هوا، نشر گاز های گل خانه‌ایی از منابع بالا سبب گرم شدن کره‌ی زمین، بارش باران‌های اسیدی و تولید غبارهای فتوشیمیایی می‌شود که خطری بسیار جدی برای سلامت انسان و محیط زیست محسوب می‌شود. سیستم‌های هشدار دهنده بر مبنای سنسورها یک راه حل جهت افزایش بازده‌ی انرژی مورد استفاده‌ی سیستم‌های احتراقی مختلف و کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. علاوه بر این، حسگرها برای کنترل فرآیند با افزایش سوددهی و بهبود کیفیت محصول در بخشهای مختلف صنعت می‌توانند به کار گرفته شوند. مونیتورینگ و کنترل کیفیت هوا،کنترل فرایند صنعتی، حمل و نقل، سلامت و ایمنی (آشکار سازی سموم، گازهای قابل اشتعال و منفجر شونده در معادن، صنایع و محیط‌های مسکونی)، علم تشخیص بیماری، بازیافت مواد و... از جمله کاربردهای حسگر می‌باشد[۱].

حسگرهای گازی دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند غلظت یک گاز خاص را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل کنند به عنوان جزء مهم و شناخته شده در بینی‌های الکتریکی به حساب می‌آیند به جای آنالیز تک تک اجزای گاز به وسیله‌ی تکنیک‌هایی مثل کروماتوگرافی گاز طیف نگاری اپتیکی یا طیف نگاری جرمی حسگرهای گازی به دنبال الگوی مشخص یا اثر پاسخ مواد مختلف برای ترکیبی از گازها هستند[۱].

سنسورها عموما رابط بین سیستم کنترل الکتریکی از یک طرف و محیط، عملیات رشته کارها یا ماشین از طرف دیگر هستند. سنسور اطلاعات راجع به محیط از قبیل درجه حرارت، فشار، نیرو و .... را تبدیل به یک سیگنال الکتریکی می‌نماید. ازدیاد سنسورها و مدارات الکتریکی تغییر شکل دهنده ی سیگنال، فرصت مهیجی برای تعداد زیادی از کاربردها پدید می‌آورد. بنابراین برهه‌ی زمانی جدیدی در زمینه‌ی سنسور در دهه‌ی ۱۹۸۰ شروع شد[۱].

یک نیاز فوری برای توسعه‌ی سریع حسگرهای کم قیمت با طراحی ساده و حساسیت بالا برای استفاده در محیط‌های ناگوار موجود در فرایندهای متالوژی، شیشه، سرامیک، هوا و فضا، کاغذ سازی و تولید انرژی وجود دارد. تکنولوژی جاری حسگرها بر پایه‌ی الکتروشیمی و اسپکتروسکوپی تکنیک‌های بسیار گران و پر دردسر هستند، حسگرهای گازی حالت جامد ساخته شده از مواد نیمه هادی به علت قیمت پایین، اندازه‌ی کوچک، سهولت تولید و سازگاری با سیستم‌های الکترونیکی بسیار حائز اهمیت می‌باشد[۱].

خواص الکتریکی بیشتر مواد نیمه‌هادی از قبیل اکسید تنگستن، اکسید تیتانیم، اکسید روی و اکسید قلع با جذب یا واکنش با گازهای مختلف در محیط تحت تاثیر قرار می‌گیرد. از میان اکسیدهای ذکر شده، هدایت الکتریکی SnO_2 و ZnO به صورت کاملا مشخص هنگامی که در معرض گازهای احیایی و اکسیدی قرار می‌گیرد، تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

اخیرا از نانو ساختارهای اکسید قلع و اکسید روی از قبیل نانو تسمه‌ها، نانو سیم‌ها و نانو لوله‌ها برای آشکارسازی گازهای اکسیژن، منواکسید کربن، اتانول، هیدروژن، دی اکسید کربن با موفقیت استفاده شده‌است[۴].

اگر چه سنسورها به همراه علم میکروالکترونیک پردازشگر اطلاعات یک گام مهم رو به جلو را عرضه می‌دارد لیکن این تنها اولین قدم است. در این مرحله سنسورها از تعدادی از عناصر میکروالکترونیک موجود برای مثال به شکل پردازشگرها، حافظه‌ها، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال یا تقویت کننده‌ها، برای آماده نمودن سیگنال خروجی استفاده می‌کنند. دومین گام نیز اتصال سنسور به بخش مکانیکی می‌باشد.

اطلاعات حاصل شده توسط سنسور پس از عبور از یک طبقه پردازش سیگنال الکتریکی وارد بخش کنترل کننده می‌شود. حال با توجه به این که ما در محیطی که زندگی می‌کنیم ویا در معادن و پالایشگاه وجود گازهای سمی و خطرناک می‌تواند برای سلامت ما مضر باشد.

برای آشکارسازی این گازها و مواد شیمیایی به انرژی نیازمندیم که بتوان آن‌ها را تشخیص داده و در صورت امکان بتوان با آن‌ها مقابله کرد و یا حتی تشخیص نوع گاز می‌تواند کمک بزرگی برای مداوای افرادی که مسموم شده‌اند کند و همچنین تشخیص آلاینده‌ها جهت محافظت محیط زیست بسیار ضروری و مهم است. در بین انواع حسگرهای گازی، تحقیقات بیشتر بر روی حسگرهای گازی مقاومتی متمرکز شده‌است. نانو ساختارهای تهیه شده در این پروژه نیز برای ساخت حسگر گازی مقاومتی ساخته شده‌اند. عملکرد این حسگرها براساس تغییر مقاومت الکتریکی نمونه‌ی حسگری در حضور یک گاز قابل جذب بر روی آن‌ها بنا شده‌است.

به طور کلی حسگرهای مقاومتی به نوع گازی که می‌خواهند آشکار کنند فوق العاده حساس هستند. چرا که برخی از گازها با آشکارسازی بر روی سطح حسگر، مقاومت نمونه را کم(گازهای کاهنده مانند: H_2، استون، H_2S و...) و بعضی مقاومت نمونه را زیاد (گازهای اکسنده مانند : O_2 و....) می‌کنند.

اصول پایه در پشت عملکرد تمام حسگرهای گازی؛ حساسیت، گزینش گاز، برگشت پذیری و پاسخ حسگرهاست. این اصول به عنوان پارامترهای قابل اندازه‌گیری تعریف می‌شوند. حساسیت یک حسگر به عنوان اندازه‌گیری کمترین غلظت از یک گاز مورد نظر که حسگرمی‌تواند آشکارسازی کند، تعریف می شود.

حساسیت را می‌توان بصورت نسبت متوسط پاسخ خط پایه‌ی حسگر که در حضور هواست نسبت به پاسخ آن به یک غلظت خاص از گاز مورد نظر محاسبه کرد. معادله ی ۱-۱ حساسیت نرمالیزه شده‌ی یک حسگر که تحت یک سری شرایط فیزیکی ثابت عمل کرده‌است را نشان می‌دهد.

$$Sensitivity_{X(p)} = \left| \frac{X_{baseline} - X_{gas}}{X_{baseline}} \right| \qquad (۱-۱)$$

که X مقدار متوسط یک پارامتر قابل اندازه‌گیری است و p مربوط به داده‌های مشخصی است. گزینش به عنوان توانایی حسگر در تشخیص یک گاز در میان گازهای دیگر است.

گزینش گاز حسگر می‌تواند به صورت مقایسه‌ی پارامترهای قابل اندازه‌گیری برای هر گاز مورد مطالعه، تعیین شود. معادله ی ۱-۲ گزینش گاز حسگر را برای یک گاز مورد مطالعه توصیف می‌کند که (a) مربوط به گاز مورد مطالعه‌ی دیگری است و (b) مربوط به گاز هدف در همان غلظت است.

$$Selectivity_{X(p)} = \left| \frac{X_{gas(a)} - X_{gas(b)}}{X_{gas(a)}} \right| \qquad (۲-۱)$$

پارامتر برگشت‌پذیری، قابلیت حسگر در بازگشت به حالت اولیه‌ی خود بعد از قرار گرفتن در معرض یک گاز بخصوص است. برگشت پذیری یک حسگر بازمان سنجیده می‌شود.

۱-۲ دسته بندی حسگرهای گازی

دسته‌بندی گوناگونی برای حسگرهای گازی ارائه شده‌است[۲]. با توجه به میزان استفاده، حسگرهای گازی را بسته به نوع تکنولوژی ساخت بکار رفته در آن‌ها به سه گروه عمده می توان تقسیم کرد: حسگرهای گازی حالت جامد[۱]، سیستم‌های طیف‌نگاری[۲] و حسگرهای گازی اپتیکی[۳].

سیستم‌های طیف‌نگاری بر پایه تحلیل مستقیم جرم مولکولی یا طیف ارتعاشی گاز هدف قرار دارند. این حسگرها به طور کلی ترکیبی از گازهای متفاوت را با دقت خوبی اندازه‌گیری می‌کنند. کروماتوگرافی جرمی و طیف سنجی جرمی مهم‌ترین سیستم‌های حسگرگاز طیف‌نگاری هستند.حسگرهای اپتیکی طیف جذبی گازی که با نور تحریک شده است را اندازه‌گیری می‌کنند. این نوع از حسگرها به طور معمول نیازمند یک سیستم پیچیده شامل: یک منبع تولید نور تک‌رنگ و یک حسگر اپتیکی برای تحلیل طیف جذبی می‌باشند (حسگرهای اپتیکی فیبر نوری یا لایه‌نازک در دسته

[۱] Solid state gas sensor
[۲] Spectroscopic system
[۳] Optical gas sensor

حسگرهای حالت جامد طبقه‌بندی می شوند).حسگرهای حالت جامد، که بر اساس اصول و مواد مختلفی قرار دارند، بهترین کاندیدا برای گسترش حسگرهای گازی تجاری به حساب می‌آیند. عمده علت توجه دنیای علم و صنعت به این حسگرها به خاطر برتری‌هایی نظیر اندازه کوچک، حساسیت بالا در آشکارسازی غلظت‌های کم (در اندازه ppm[۱] یا حتی ppb[۲]) محدوده‌ی وسیعی از ترکیبات شیمیایی گازی، امکان بهره‌برداری به صورت بلادرنگ[۳]، تولید گروهی و قیمت پایین می‌باشد. در حالی که سیستم‌های آنالیز سنتی نظیر طیف سنجی جرمی، NMR[۴]، وکروماتوگرافی برای مصارف خانگی بسیار گران وحجیم می‌باشند. علاوه بر این بسیاری از آنالیزها با این دستگاه‌ها نیازمند تهیه نمونه می-باشند به‌طوری که آنالیز درون‌خطی و پاسخ‌دهی هم‌زمان مشکل می‌شود. مشخصه‌ی کلیدی حسگرهای گازی حالت جامد برهم‌کنش برگشت‌پذیر گاز با سطح ماده جامد است. مواد آلی (نظیر پلیمرهای هادی، پروفین‌ها[۵]، وفتالوسیانین‌ها[۶]) یا غیرآلی (نظیر نیمه‌رساناهای اکسید- فلز) که به صورت لایه نازک یا ضخیم جایگذاری می‌شوند، به عنوان لایه فعال در این قطعات استفاده می‌شوند. خواندن خروجی نیز از طریق الکترودها، آرایه‌های دیود، ترانزیستورها، اجزای موج سطحی، مبدل‌های مد ضخامت، یا آرایه‌های اپتیکی امکان‌پذیر است.

در این پایان نامه بر روی آشکارسازی گونه‌های گازی بحث می‌کنیم، تاکید ما بر آشکارسازی گازهای قابل اشتعال(نظیر الکل‌ها، گازمایع و دیگر هیدروکربن‌ها) است. آشکارسازی این گازها در هوا توسط حسگرهای نیمه رسانا نخست با نیمه‌رساناهای اکسید- فلز انجام شد. اگر چه به طور مقدماتی مطالعاتی با استفاده از ترانسیتورهای اثر میدان(FET) برای حسگری هیدروژن انجام شده‌بود. این دو رهیافت حسگر شیمیایی کاملا متفاوت هستند. در مورد یک نیمه رسانای اکسید فلز نظیر SnO_2 ،

---

[۱] part per million

[۲] Part per billion

[۳] Online

[4] nuclear magnetic resonance

[۵] prophyrins

[۶] phtalocyan

یک واکنش شیمیایی بین اکسیژن و گاز قابل اشتعال در سطح جامد رخ داده و مقاومت سطح جامد را تغییر می‌دهد. برای حساس کردن مقاومت به چنین فعالیت‌های شیمیایی، باید اکسیدهای فلزی با شکل‌ها یا ویژگی‌های خاص و افزودنی‌های ویژه‌ای انتخاب شوند.

حسگرهای گازی نیمه رسانا به طور کلی بر پایه اکسیدهای فلزی نظیر SnO_2، NiO، ZnO، TiO_2، In_2O_3، WO_3 می‌باشد[۲].

۳-۱ حسگرهای گازی نیمه‌رسانا اکسید- فلزی

نیمه‌رساناهای اکسید- فلزی (MOS) یکی از مواد مهمی هستند که درحسگرهای گازی به‌کار برده می‌شوند. برای اولین بار در دهه‌های گذشته کشف شد که وقتی مولکول‌ها با سطح نیمه‌رساناها برهم‌کنش می‌کنند، می‌توانند ویژگی‌های سطحی مانند هدایت و پتانسیل سطحی نیمه‌رساناها را تحت تاثیر قرار دهند. اولین حسگرگازی نیمه‌رسانای مقاومتی[1] ،توسط سیاما[2] در سال ۱۹۶۲ ساخته شد [۳]. بعد از آن، نیمه‌رساناهای اکسید- فلزی به دلیل ارزان بودن و نسبتا سادگی، بطور گسترده‌ای به عنوان حسگرهای گازی مورد مطالعه قرار گرفتند. اکسیدهای فلزی به دلیل حساسیت بالای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به محیط شیمیایی اطراف خود، حوزه ی وسیعی از الکترونیک را به خود اختصاص داده‌اند. بر این اساس، اکسیدهای فلزی از معروف‌ترین حسگرهای تجاری شده‌اند. مواد مختلفی برای کاربرد حسگرهای اکسید فلزی گزارش شده‌اند که شامل اکسیدهای فلزی تک عنصری مانندZnO, SnO_2, WO_3 TiO_2, Fe_2O_3, و یا اکسیدهای چند عنصری مانند $SrTiO_3$, $BiFeO_2$, $MgAL_2O_4$ می باشد[۳].

جدول زیر مقایسه‌ای بین حسگرهای گازی نیمه رسانا و دیگر حسگرهای حالت جامد را نشان می‌دهد[۴]. مشاهده می‌شود حسگرهای گازی با پایه‌ی اکسیدهای فلزی نسبت به دیگر حسگرهای حالت جامد از مزایای بیشتری برخوردارند به همین دلیل در این پایانامه این حسگرها را انتخاب

[1]chemoresistive semiconductor gas sensor
[2] seivam