دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ساخت نانو حسگر گازی با استفاده از اکسید کبالت و ناخالصی مس جهت شناسایی گاز متان

اساتید راهنما

دکتر علی احمدپور، دکتر ناصر شاه‌طهماسبی

استاد مشاور

دکتر محمد مهدی باقری محقق

نگارش

زهرا شیخی مهرآبادی

تیرماه ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

قدردانی

سپاس یگانه بی همتایی را که بر تن نیستی، خلقت هستی پوشانید و جان را بر دانش و حکمت بیارایید؛ راه حاجت آوردن به غیر را بر ما بست و احتیاجمان را فقط به سوی خود گشود. سپاسی جاودان به بیکرانگی علم و رحمتش...

سپاس آن آفتاب سیرتانی را که عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است. به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید، به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند و راستی قامتم در شکستی قامتشان تجلی یافت، در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می نهم و با دلی مملو از عشق و محبت و خضوع بر دستان پر مهر پدر و مادرم بوسه می زنم و این پایان نامه را به آنان تقدیم می کنم.

بر خود واجب می دانم عالی ترین مراتب قدردانی و سپاس را خدمت اساتید محترم جناب آقای دکتر علی احمد پور و جناب آقای دکتر ناصر شاه طهماسبی که همواره با دقت فراوان، حوصله وصف ناپذیر و درایت بی نظیر راهنمای اینجانب بوده و با رهنمودهای اندیشمندانه خود طی مسیر را بر من هموار کردند و مرا یاری نمودند تقدیم کنم.

من ستایشگر وجود بزرگوار جناب آقای دکتر محمد مهدی باقری محققی هستم که با دلسوزی فراوان از ابتدای این پایان نامه راقم سطور را همراهی کرده و با صبوری، مشقّات را به جان خریدند تا راه کمال را بر من هموار نمایند.

مراتب سپاس و قدردانی خود را به جناب آقای دکتر موسوی و جناب آقای دکتر حسینی که ردای استادیشان به زیور دانش و بردباری آراسته است، تقدیم می کنم.

سپاس آن دوستانی را که گرمی کلامشان، آفتاب نگاهشان و روح زلالشان در این ایام مرا به پیمودن این طریق امیدوار ساخت و تنهایم در زمان تنهایی هایم بودند. سرکار خانم ها مهدویان، رواقی، طلوعی، فاضلی، آرمون، قربانی، حیدری و اشرفی که از ایمان و مهر خویش به من بخشیدند تا به تعبیر عظیم و انسانی "دوستی" پی ببرم.

و با سپاس فراوان از جناب آقای کریمی پور که با بصیرت علمی و زحمات بسیار در به ثمر رسیدن این تحقیق مرا مورد لطف خویش قرار دادند.

فهرست

فصل اول: نانو حسگرها و کاربردهای آن‌ها

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ خصوصیات حسگرها ۲

۱-۳ نانو حسگر ۲

۱-۴ دسته بندی نانوحسگرها ۴

۱-۴-۱ دسته بندی نانوحسگرها براساس نوع ساختار ۴

۱-۴-۲ دسته بندی بر مبنای کمیت های قابل اندازه گیری و نوع خاصیت اندازه‌گیری شده توسط حسگر ۶

۱-۵ حسگر گازی نیمرسانای اکسید-فلز ۱۱

۱-۵-۱ ساز و کار حسگری ۱۲

۱-۵-۲ پارامترهای مورد توجه در حسگرهای گازی ۱۴

۱-۵-۳ کاربرد نانو حسگرها ۱۵

فصل دوم: بررسی خواص اکسید کبالت و روش‌های تهیه فیلم‌های نازک و سنتز نانو ذرات اکسید کبالت

۲-۱ **کبالت** ۱۶

۲-۲ **اکسیدهای کبالت** ۱۹

۲-۲-۱ کاربردهای اکسید کبالت ۲۱

۲-۲-۲ روش‌های ساخت مواد در ابعاد نانو ۲۳
۲-۲-۳ مروری بر تحقیقات: روش‌های سنتز نانو ذرات و لایه های نازک اکسید کبالت ۳۷
۲-۲-۴ مروری بر تحقیقات: اکسید کبالت به عنوان حسگر گازی ۳۹

فصل سوم: کارهای تجربی انجام شده

۳-۱ تهیه لایه‌های نازک اکسید کبالت- مس به روش اسپری پایرولیز (SP) ۴۲
۳-۱-۱ معرفی دستگاه اسپری پایرولیز..... ۴۲
۳-۱-۲ پارامترهای موثر بر لایه‌نشانی ۴۴
۳-۱-۳ پارامترهای استفاده شده در لایه‌نشانی ۴۴
۳-۱-۴ الکترودگذاری لایه‌ها ۴۵
۳-۲ تهیه نانو ذرات اکسید کبالت- مس به روش سل – ژل ۴۶
۳-۲-۱ سنتز نانو ذرات اکسید کبالت- مس ۴۶
۳-۲-۲ تهیه قرص از پودرها و الکترودگذاری آن‌ها ۵۰
۳-۳ بررسی‌های ساختاری، اپتیکی و حسگری نانو ذرات و لایه‌های نازک ۵۰
۳-۳-۱ تعیین نوع ساختار به وجود آمده با XRD ۵۰
۳-۳-۲ مطالعه ساختارهای به وجود آمده با FTIR ۵۱
۳-۳-۳ مشاهده نانو ذرات با تصویربرداری TEM ۵۱
۳-۳-۴ مشاهده دانه‌بندی لایه‌های نازک با تصویربرداری SEM ۵۱
۳-۳-۵ بررسی خواص اپتیکی ۵۲
۳-۳-۶ اندازه‌گیری حساسیت حسگر ۵۳

فصل چهارم: مشخصه‌یابی خواص ساختاری، اپتیکی و حسگری و نتایج

۴-۱ **نتایج بررسی‌های ساختاری و حسگری نانو ذرات** ۵۷

۴-۱-۱ نتایج حاصل از بررسی خصوصیات ساختاری با استفاده از پراش پرتو X (XRD) ۵۷

۴-۱-۲ نتایج مطالعات ساختارهای با استفاده از FTIR ۶۰

۴-۱-۳ مشاهده نانو ذرات با تصویربرداری TEM ۶۱

۴-۱-۴ نتایج اندازه‌گیری‌های حسگری قرص‌ها ۶۲

۴-۲ **نتایج بررسی‌های ساختاری، اپتیکی و حسگری لایه‌های نازک** ۶۶

۴-۲-۱ نتایج حاصل از بررسی خصوصیات ساختاری با استفاده از پراش پرتو X (XRD)..... ۶۶

۴-۲-۲ مشاهده دانه‌بندی لایه‌های نازک با تصویربرداری SEM ۶۸

۴-۲-۳ نتایج اندازه‌گیری‌های اپتیکی ۶۹

۴-۲-۴ نتایج اندازه‌گیری‌های حسگری لایه‌های نازک ۷۱

فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادات

۵-۱ **جمع‌بندی** ۷۵

۵-۲ **پیشنهادات** ۷۷

منابع و مراجع ۷۸

فصل اول

نانو حسگرها و کاربردهای آن‌ها

۱-۱ مقدمه

حسگر وسیله‌ای است که تغییرات فیزیکی یا شیمیایی را اندازه گیری می‌کند و آنها را به علائم قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌نماید. واژه حسگر از لغت لاتین Sentire به معنای "درک کردن" گرفته شده است. حسگر، اطلاعاتی را در مورد سیگنال‌های فیزیکی و شیمیایی در بر دارد که به طور مستقیم توسط حواس ما نمی‌تواند درک شود. حسگرها درواقع ابزار ارتباط ربات با دنیای خارج و کسب اطلاعات محیطی و نیز داخلی می‌باشند، و یا به طور کلی ابزارهایی هستند که تحت شرایط خاص ازخود واکنشهای پیش بینی شده و مورد انتظار نشان می‌دهند. شاید بتوان دماسنج را جزء اولین حسگرهایی دانست که بشر ساخت.

در طراحی یک حسگر، علوم مختلفی مانند بیوشیمی، بیولوژی، الکترونیک و شاخه‌های مختلف شیمی و فیزیک دخیل هستند. قسمت اصلی یک حسگر شیمیایی یا زیستی عنصر حسگر آن می‌باشد. عنصر حسگر در تماس با یک آشکارساز است. این عنصر مسئول شناسایی و پیوند شدن با گونه مورد نظر در یک نمونه پیچیده است. سپس آشکارساز، سیگنال‌های شیمیایی را که در نتیجه پیوند شدن عنصر حسگر با گونه مورد نظر تولید شده است، به یک سیگنال خروجی قابل اندازه گیری تبدیل می کند. در حسگرهای زیستی که بر اجزای بیولوژیکی نظیر آنتی بادی‌ها تکیه دارند، آنزیم‌ها، گیرنده‌ها یا کل سلول‌ها می‌توانند به عنوان عنصر حسگر مورد استفاده قرار گیرند.

۱-۲ خصوصیات حسگرها

یک حسگر ایده‌آل باید خصوصیات زیر را داشته باشد:

- سیگنال خروجی باید متناسب با نوع و میزان گونه هدف باشد.
- بسیار اختصاصی نسبت به گونه مورد نظر عمل کند.
- قدرت تفکیک و گزینش پذیری بالایی داشته باشد.
- تکرار پذیری و صحت بالایی داشته باشد.
- سرعت پاسخ دهی بالایی داشته باشد.
- به عوامل مزاحم محیطی مانند دما، قدرت یونی محیط و غیره پاسخ ندهد.

۱-۳ نانو حسگر

با پیشرفت علم در دنیا و پیدایش تجهیزات الکترونیکی و تحولات عظیمی که در چند دهه اخیر و در خلال قرن بیستم به وقوع پیوست، نیاز به ساخت حسگرهای دقیق‌تر، کوچکتر و دارای قابلیت‌های بیشتر احساس شد. امروزه از حسگرهایی با حساسیت بالا استفاده می‌شود به طوریکه در برابر مقادیر ناچیزی از گاز، گرما و یا تشعشع حساس‌اند. بالا بردن درجه حساسیت، بهره و دقت این حسگرها به کشف مواد و ابزارهای جدید نیاز دارد. نانو حسگرها، از مواد در ابعاد نانومتری ساخته شده‌اند که به خاطر کوچکی و نانومتری بودن ابعاد مواد سازنده از دقت و واکنش‌پذیری بسیار بالایی برخوردارند، به طوری که حتی نسبت به حضور چند اتم از یک گاز هم عکس‌العمل نشان می‌دهند.

مزایای استفاده از مواد در ابعاد نانو را می‌توان موارد زیر دانست:

- نسبت سطح به حجم برای مواد با ابعاد نانومتری در مقایسه مواد با ذرات درشت، بسیار بیشتر است که منجر به بالا رفتن خواصی مانند جذب سطحی می‌گردد که اصل مهمی در جامدات به عنوان حسگر گازی است.
- نوع رسانایی ماده، توسط اندازه ذرات تشکیل دهنده ماده مشخص می‌شود. هنگامی که اندازه ذره به اندازه کافی کوچک باشد، مقاومت ماده با کنترل ذره تعیین می‌شود و نوع هدایت ماده از نوع هدایت سطح می‌گردد.

از فن‌آوری‌های مختلفی برای ساخت حسگرها استفاده می‌شود ولی با توجه به پیشرفت صنعت نیمه-هادی‌ها، امروزه بسیاری از حسگرها با استفاده از قطعات نیمه‌هادی ساخته می‌شوند. حسگر نیمرسانا در اندازه کوچک و تکنیکی که در ساخت آن استفاده می‌شود از دیگر حسگرهای جامد متمایز است. بیشتر حسگرهای نیمرسانا به وسیله فرآیندهایی که برای مدارهای مجتمع (IC) توسعه یافته است، ساخته می‌شوند. با استفاده از فرآیند پردازش تجمعی استاندارد، نظیر صنعت IC، صدها و هزاران حسگر نیمرسانای یکسان می‌توانند در یک خط تولید شوند. بنابراین به طور اساسی نسبت کارایی به قیمت آن‌ها بهتر می‌شود. اصولا خروجی اکثر حسگرها یک سیگنال پیوسته است که ما آن‌ها را به عنوان حسگر آنالوگ می‌شناسیم. اما برای آن که خواندن اطلاعات خروجی حسگرها توسط سیستم‌های دیجیتال (مانند انواع پردازش‌گرها از جمله ICU) راحت‌تر انجام شود از مدارهای واسطی برای تبدیل خروجی آنالوگ به دیجیتال انجام می‌شود.

۱-۴ دسته بندی نانوحسگرها

به منظور معرفی و مقایسه حسگرها دسته بندی‌های متفاوتی ارائه شده است.

۱-۴-۱ دسته بندی براساس نوع ساختار

بر اساس تفاوت در نوع ساختار، نانو حسگرها را به صورت زیر دسته‌بندی می‌کنند[۱]:

۱-٤-۱-۱ استفاده از نقاط کوانتومی درتولید نانو حسگرها

نقاط کوانتومی به عنوان بلورهای نیمه هادی کوچک تعریف می‌شوند. با کنترل ابعاد نقاط کوانتومی، میدان الکترومغناطیسی نور را در رنگ‌ها و طول موجهای مختلف، منتشر می‌کند. به عنوان مثال، نقاط کوانتومی از جنس آرسنید کادمیوم با ابعاد ۳ نانومتر نور سبز منتشر می کنند؛ درحالی که ذراتی به بزرگی ۵/۵ نانومتر از همان ماده نور قرمز منتشرمی کنند. به دلیل قابلیت تولید نور در طول موجهای خاص نقاط کوانتومی، این بلورهای ریز در ادوات نوری به کارمی‌روند. دراین عرصه از نقاط کوانتومی در ساخت آشکارسازهای مادون قرمز، دیودهای انتشار دهنده نور می‌توان استفاده نمود. آشکارسازهای مادون قرمز از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردارند. مشکل اصلی این آشکارسازها مسئله خنک سازی آن‌ها است. برای خنک سازی این آشکارسازها از اکسیژن مایع وخنک سازی الکترونیکی استفاده می‌شود. این آشکارسازها برای عملکرد صحیح باید دردماهای بسیار پائین، نزدیک به ۸۰ درجه کلوین کارکنند، بنابراین قابل استفاده در دمای اتاق نیستند، درصورتی که از آشکارسازهای ساخته شده با استفاده از نقاط کوانتومی می‌توان به راحتی در دمای اتاق استفاده کرد.

۱-٤-۱-۲ استفاده ازنانو لوله‌ها درتولید نانوحسگرها

یک نانو لوله ممکن است شامل فقط یک لایه از گرافیت باشد (نانو لوله تک دیواره) و یا از تعدادی از لوله‌های متحدالمرکز تشکیل شده باشد که نانو لوله چند دیواره نامیده می‌شود. نانو لوله‌های تک دیواره سفت‌تر و سخت‌تر از فولاد می‌باشند و در اثر نیروهای فیزیکی– مکانیکی و در برابر آسیب مقاوم می باشند. نانو لوله‌های کربنی تک دیواره و چند دیواره به علت داشتن خواص مکانیکی و الکترونیکی منحصر به فردشان کاربردهای متنوعی پیدا کردند که از جمله می‌توان به استفاده از آن‌ها به عنوان حسگرهایی با دقت بسیار بالا برای تشخیص مواد در غلظت‌های بسیار پائین و با سرعت بالا اشاره کرد. ساختار الکترونیکی گاز هدف در مجاورت نانو لوله موجب تغییر قابل اندازه‌گیری در هدایت الکتریکی نانو لوله می‌شود. هدایت در نانو لوله‌ها تابعی از قطر نانو لوله می باشد. نانو لوله‌ها بسته به قطرشان می‌توانند مانند فلزات، نیمه‌هادی‌ها و یا عایق‌ها رفتار کنند. خواص الکتریکی نانو لوله‌های کربنی با افزایش مواد مختلف تغییر می کند.

به طورکلی کاربرد نانو لوله‌ها در حسگرها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف) نانو لوله‌های کربنی به عنوان حسگرهای شیمیایی:

این حسگرها می‌توانند در دمای اتاق غلظتهای بسیار کوچکی از مولکول‌های گازی با حساسیت بسیار بالا را آشکارسازی کنند. حسگرهای شیمیایی شامل مجموعه ای از نانو لوله‌های تک دیواره هستند و می‌توانند مواد شیمیایی مانند دی اکسید نیتروژن (NO_2) وآمونیاک (NH_3) را آشکار کنند. هدایت الکتریکی یک نانو لوله نیمه هادی تک دیواره که درمجاورت ppm ۲۰۰ از NO_2 قرارداده می‌شود، می‌تواند در مدت چند ثانیه تا سه برابر افزایش یابد و به ازای اضافه کردن فقط ۲% NH_3 هدایت دو برابر خواهد شد. حسگرهای تهیه شده ازنانو لوله‌های تک دیواره دارای حساسیت بالایی بوده و در دمای اتاق هم زمان واکنش سریعی دارند. این خصوصیات نتایج مهمی درکاربردهای تشخیصی دارند.

ب) نانو لوله‌های کربنی به عنوان حسگرهای مکانیکی:

هنگامی که یک نانو لوله توسط جسمی به سمت بالا یا پائین حرکت می‌کند، هدایت الکتریکی آن تغییر می-یابد. این تغییر در هدایت الکتریکی، با تغییر شکل مکانیکی نانو لوله کاملاً متناسب است. این اندازه‌گیری به وضوح امکان استفاده از نانولوله‌ها را به عنوان حسگرهای مکانیکی نشان می‌دهد. یا می‌توان با استفاده از مواد واسط مانند پلیمرها در فاصله میان نانو لوله‌های کربنی و سیستم، نانو لوله‌های کربنی را برای ساخت بیوحسگرها توسعه داد. شبیه‌سازی‌های دینامیکی نشان می‌دهد که برخی پلیمرها مانند پلی‌اتیلن می‌توانند به صورت شیمیایی با نانو لوله کربنی پیوند یابند. همچنین مولکول بنزن نیز می‌تواند به وسیله پیوندهای واندروالس روی نانو لوله کربنی جذب شود. این تحقیقات کاربردهای بسیار متنوع و وسیع نانو لوله‌های کربنی را نشان می‌دهد. تحقیق در این زمینه هنوز در حال توسعه و پیشرفت است و مطمئناً در آینده‌ای نه چندان دور شاهد به کارگیری آن‌ها در ابزارها و صنایع مختلف خواهیم بود.

۱-٤-۱-۳ استفاده ازنانو ابزارها درتولید نانوحسگرها

با استفاده از این حسگرها شناسایی مقادیر بسیار کم آلودگی شیمیایی یا ویروس و باکتری در سامانه کشاورزی و غذایی ممکن است. تحقیقات در زمینه نانو ابزارها جزو پژوهشهای علمی به روز دنیاست.

۱-۴-۲ دسته بندی بر مبنای کمیت‌های قابل اندازه گیری و نوع خاصیت اندازه‌گیری شده توسط حسگر

یکی دیگر از دسته‌بندی‌ها، تفاوت در کمیت قابل اندازه‌گیری در حسگرها می‌باشد. بر این مبنا حسگرها به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند[۲-۵].

۱-۴-۲-۱ حسگر های صوتی

حسگرهای صوتی، امواج کشسان را در محدوده فرکانسی مگاهرتز تا محدوده پایین گیگاهرتز برای اندازه‌گیری مقادیر کمیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به کار می‌گیرند. حساسیت بالای این دستگاه‌ها، آن‌ها را برای تشخیص گازهای شیمیایی مناسب ساخته است. امروزه این نوع حسگرها در سیستم‌های حمل و نقل هوایی، نظامی، کنترل احتراق اتومبیل‌ها و به طور نوعی در علوم پزشکی به عنوان حسگرهای زیستی کاربرد پیدا کرده‌اند.

این قطعات بسته به نوع خواص فیزیکی خود می‌توانند در محیط مایع یا گاز کار کنند. مکانیزم حسگری تابعی از پارامتر اختلال است که روی انتشار موج صوتی در سطح حسگر تاثیر می‌گذارد.

۱-۴-۲-۲ حسگرهای مکانیکی

همه حسگرهای مکانیکی بر پایه برخی اصول فیزیکی، سیگنال مکانیکی را به الکتریکی تبدیل می-کنند. این روش‌ها به دو دسته ایستا و تشدیدی تقسیم می‌شوند که روش‌های ایستا شامل آشکارسازی تنش و آشکارسازی تغییر شکل است. در روش‌های ایستا، مجموعه عناصر به فشار ایجاد شده توسط تغییر شکل در ریزساختار حساسند. در روش‌های آشکارسازی تغییر شکل یا جابه‌جایی ریزساختار می‌تواند به عنوان یک الکترود خازنی انتخاب شود که الکترود دیگرش ثابت است. الکترود دوم یک لایه نازک فلزی روی بستر شیشه‌ای یا سیلیکون است که به ریزساختار مقید شده است. حسگر می‌تواند به صورت ساختار تشدیدی طراحی شود. برای مثال در حسگرهای فشار، فرکانس تشدید غشاء سیلیکون به فشار اعمالی بستگی دارد.

۱-۴-۲-۳ حسگرهای مغناطیسی

یک حسگر مغناطیسی قطعه‌ای است که توانایی حسگری میدان مغناطیسی و استخراج اطلاعات از آن را دارد. این حسگر میدان مغناطیسی را به یک سیگنال الکتریکی مناسب تبدیل می‌کند. برای ساخت یک حسگر مغناطیسی، از نانو ذرات مغناطیسی به فرم (Fe_3O_4)، (Fe_3S_4) و انواع مختلف فریت ها($MeO.Fe_2O_3$ که فلز آن شاملNi, Co, Mg, Zn ,Mn و غیره می باشد) استفاده می شود.

از نظر کاربردی حسگرهای مغناطیسی را می‌توان به دو گروه مستقیم و غیر مستقیم تقسیم کرد. در کاربردهای مستقیم، حسگر مغناطیسی جزئی از مغناطومتر است. برای مثال، در اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین، خواندن در محیط ذخیره اطلاعات مغناطیسی، شناسایی الگوها در کارت‌ها یا اسکناس‌ها و کنترل ابزار مغناطیسی در گروه کاربردهای مستقیم قرار دارند.

در کاربردهای غیر مستقیم، میدان مغناطیسی به عنوان عامل واسطه برای آشکارسازی سیگنال‌های غیرمغناطیسی به کار می‌رود. از کاربردهای غیر مستقیم می‌توان به آشکارسازی جریان مستقل از ولتاژ برای حفاظت از بار اضافی، وات-ساعت سنج‌های مجتمع و آشکارسازی بدون تماس موقعیت خطی یا زاویه‌ای، جابه‌جایی یا سرعت با استفاده از مغناطیس دائم اشاره کرد.

۱-۴-۲-۴ حسگرهای تابشی

این حسگرها تابش یونیزه، نور مرئی، فروسرخ و فرابنفش را پوشش می دهند. حسگرهای تابشی یونیزه برای شناسایی ذرات با انرژی بالا و پرتو x، نوسانگرها و غیره به کار می روند. حسگرهای تابش مرئی، فروسرخ و فرابنفش به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. حسگرهای اپتیکی به طور مستقیم فوتون‌ها را آشکارسازی کرده و یک سیگنال الکترونیکی ایجاد می‌کنند. حسگرهای غیر مستقیم سیگنال‌های اپتیکی را به یک انرژی واسط (برای مثال، گرمایی یا شیمیایی) تبدیل می‌کنند که پس از آن به صورت الکتریکی اندازه‌گیری می‌شوند.

۱-۴-۲-۵ حسگرهای گرمایی

حسگرهای ترمومکانیکی، حسگرهای ترمومقاومتی و ترموکوپل ها در این دسته قرار می گیرند.

حسگرهای ترمومکانیکی: این حسگر از این حقیقت بهره می‌گیرد که همه مواد یک ضریب انبساط گرمایی دارند. در نتیجه اگر دو ماده متفاوت با یکدیگر ساندویچ شده و تحت تغییر دما قرار گیرند، در مجموعه ساندویچ شده، حرکت رخ خواهد داد. این در واقع پایه حسگری و به کار اندازی دو فلز می‌باشد.

حسگرهای ترمومقاومتی: این حسگرها بر این اصل استوار است که مقاومت ویژه بسیاری از مواد با دما تغییر می کند. مواد معمولی و به ویژه فلزات افزایش مقاومت را با دما نشان می دهند. مواد خاصی مانند کربن و برخی سرامیک‌ها با افزایش دما کاهش مقاومت از خود نشان می‌دهند.

ترموکوپل‌ها: این دسته از حسگرهای گرمایی معمول‌ترین مبدل‌های دما هستند و شامل یک اتصال بین دو ماده مختلف می‌باشند که ولتاژ وابسته به دما را که از اتصال ناشی می‌شود، اندازه می‌گیرد. مواد نیمرسانا اغلب اثر ترموالکتریکی بهتری نسبت به فلزات از خود نشان می دهند.

۱-۴-۲-۶ بیوحسگرها

بیوحسگرها از یک برهم کنش بیوشیمیایی برای تعیین یک ترکیب خاص استفاده می کنند. در حالت کلی بیوحسگر با یک آنزیم ساکن ترکیب می شود تا ناظر هر گونه تغییر خاص در ریز محیط باشد.

یکی از بهترین کاربردهای بیوحسگر، حسگر بر پایه گلوکز اکسیداز است که برای نمایش دادن سطح گلوکز در خون به کار می‌رود. این کاربرد برای بیماری دیابت و همچنین فرآیند تخمیر مفید است.

۱-۴-۲-۷ حسگرهای گازی

گازها کمیت مورد اندازه گیری کلیدی در بسیاری از زمینه های صنعتی و مصارف خانگی هستند. در دهه گذشته تقاضای ویژه‌ای برای آشکارسازی و کنترل گازها به خاطر آگاهی از لزوم حفاظت از محیط زیست ایجاد شد. حسگرهای گازی در زمینه‌های مختلفی کاربرد پیدا کرده‌اند. دو گروه مهم از این کاربردها عبارتند از: آشکارسازی گازهایی مانند(SO_X, H_2, CH_4, CO, O_3, NH_3, NO_X) به صورت منفرد و تشخیص بوها[۶, ۷]. از حسگرهای گازی منفرد می توان به عنوان نمونه به آشکارسازهای آتش، آشکارسازهای نشتی، کنترل گرهای سوخت در ماشین و هواپیماها، وسایل هشدار دهنده وجود گازهای خطرناک بیش از حد مجاز در محیط کار اشاره کرد. آشکارسازی ترکیبات آلی فرار[1] (VOCS) یا بوی ایجاد شده از غذاها یا محصولات خانگی نیز به طور روز افزون در صنایع غذایی و در کنترل کیفیت هوا در مصارف خانگی اهمیت پیدا کرده‌اند. حسگرهای گازی را بر اساس میزان استفاده و نوع فناوری ساخت به سه گروه تقسیم می کنند: حسگرهای گازی حالت جامد، سیستم‌های طیف نگاری، حسگرهای گازی اپتیکی[۸].

- سیستم‌های طیف نگاری بر پایه تحلیل مستقیم جرم ملکولی یا طیف ارتعاشی گاز هدف قرار دارند. این حسگرها به طور کلی ترکیبی از گازهای متفاوت را با دقتی خوب اندازه گیری می‌کنند. کروماتوگرافی جرمی و طیف سنجی جرمی مهم ترین سیستم های حسگر گاز طیف نگاری هستند.

- حسگرهای اپتیکی، طیف جذبی گازی که با نور تحریک شده است را اندازه‌گیری می کنند. این نوع از حسگرها نیازمند یک سیستم پیچیده، شامل یک منبع تولید نور تکرنگ و یک حسگر اپتیکی برای تحلیل طیف جذبی می باشند.

[1] Volatile Organic Compound

- حسگرهای حالت جامد بهترین گزینه برای گسترش حسگرهای گازی تجاری به حساب می‌آیند. برتری‌های این حسگرها نظیر اندازه کوچک، حساسیت بالا در آشکارسازی غلظت‌های کم در محدوده وسیعی از ترکیبات شیمیایی گازی آن‌ها را مورد توجه قرار داده است. قیمت این حسگرها پایین است در حالی که سیستم های آنالیز سنتی نظیر طیف سنجی جرم و کروماتوگرافی برای مصارف خانگی بسیار گران وحجیم می باشند.

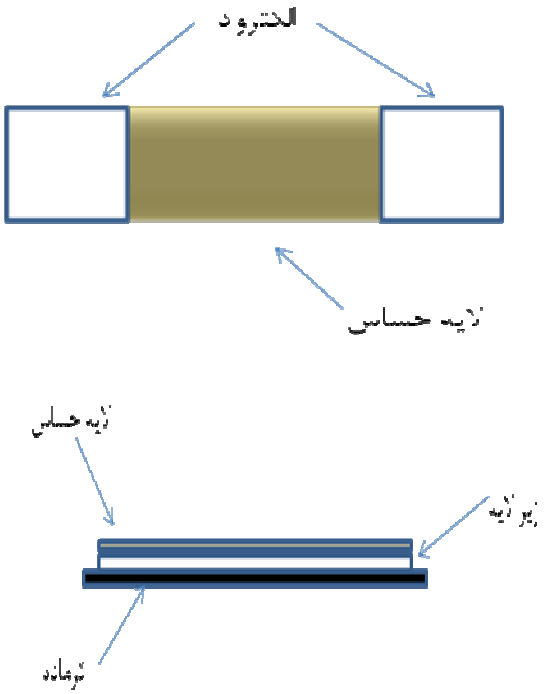
مهم‌ترین ویژگی حسگرهای گازی حالت جامد برهمکنش برگشت پذیر گاز با سطح جامد است. مواد آلی (مثل پلیمرهای پروفین‌ها) یا غیر آلی (مانند نیمرساناهای اکسید-فلز) می‌توانند به عنوان لایه فعال برای عمل حسگری در این قطعات استفاده شوند. خروجی‌ها نیز از طریق الکترودها، آرایه‌های دیود، ترانزیستورها و غیره خوانده می‌شوند.

۱-۵ حسگر گازی نیمرسانای اکسید-فلز

تحقیقات گسترده‌ای جهت ساخت حسگرهای گازی با استفاده از اکسیدهای فلزی نظیر اکسید تیتانیوم، اکسید قلع، اکسید تنگستن و اکسید ایندیوم، به صورت خالص یا همراه با ناخالصی‌های مختلف، جهت شناسایی گازهای مختلف انجام شده است. همچنین در مطالعات جدید توجه خاصی به اکسیدهای مختلف کبالت است.

حسگرهای اکسید-فلز بر مبنای تغییر مقاومت در اثر حضور گاز عمل می‌کنند و این تغییر مقاومت تابعی از جنس قطعه حسگر و نوع گاز می‌باشد. همچنین دامنه این تغییرات وابسته به نوع گاز و دمای کاری می‌باشد.

یک حسگر نیمرسانای اکسید-فلز از یک لایه حساس، منبع گرما (جهت رساندن دما به دمای بهینه کار)، الکترودها (جهت اندازه‌گیری تغییرات مقاومت لایه حساس)، و در صورت نیاز یک زیرلایه تشکیل شده است. شکل ۱-۱ طرح ساده‌ای از یک حسگر گازی نیمرسانا را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱. ساختمان یک نمونه حسگر گازی نیمرسانا

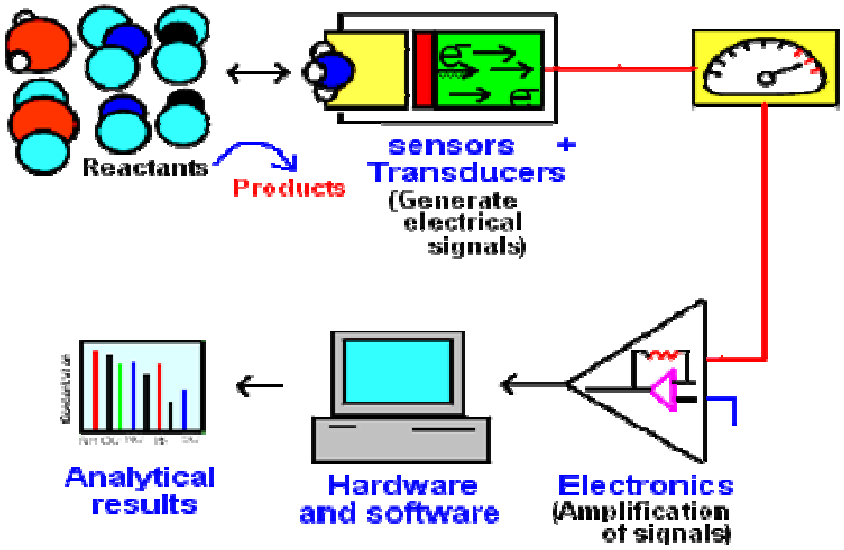
۱-۵-۱ ساز و کار حسگری

همان‌طور که بیان شد، تغییر مقاومت لایه حساس در اثر مجاورت با گاز، خروجی یک حسگر می-باشد. دلیل این تغییر مقاومت برهمکنش بین گاز و سطح جامد می‌باشد. در شکل ۱-۲ نمایی از نحوه کار یک حسگر نشان داده شده است.

جذب سطحی گازهای مختلف به ترکیب ساختاری سطح و ملکول گاز بستگی دارد. جذب سطحی می‌تواند به صورت فیزیکی، هیدروژنی، شیمیایی و یا یونی باشد. جذب سطحی گاز به عنوان برهم‌کنش شیمیایی مستقیم بین ملکول‌های گاز و سطح نیمرسانا همراه با تبادل الکترون می‌باشد. این تبادل از دیدگاه الکترونی

به صورت ایجاد یک تراز داخلی در گاف اپتیکی مشخص می‌گردد. رفتار تراز ایجاد شده به عنوان بخشنده یا پذیرنده به ساختار نیمرسانا و نوع ملکول جذب شده بستگی دارد. در نیمرساناهای نوع n الکترون‌ها حامل-های اکثریت می‌باشند، بنابراین مجاورت با گازی که دهنده الکترون باشد موجب افزایش رسانش و کاهش مقاومت می‌گردد. در نیمرساناهای نوع P حفره‌ها حامل‌های اکثریت می‌باشند. بنابراین در مجاورت گازهایی که پذیرنده الکترون باشند، حامل‌های آنها افزایش یافته، رسانش بیشتر شده و مقاومت کاهش می‌یابد.

عامل دیگری که در حسگری موثر است، دما می‌باشد. دما در فرآیندهای وابسته به سطح مثلا جذب سطحی و بازپس‌دهی سطحی موثر است. همچنین با توجه به مدل ذکر شده، دما پارامتری در میزان پیشرفت واکنش‌ها می‌باشد. با توجه به این مسائل، خصوصیات دینامیکی حسگر مانند زمان پاسخ‌دهی به دمای کار حسگر بستگی دارند، به طوریکه همواره حساسیت حسگر گازی نیمرسانا در یک دمای خاص بیشینه خواهد بود.



شکل ۱-۲. نحوه کار یک حسگر در مجاورت ملکول‌های گاز