دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد–فیزیک–گرایش حالت جامد

عنوان:

ساخت حسگر گازی اکسید–فلز SnO_2 با ناخالصی F به منظور آشکارسازی گاز H_2

استاد راهنما:

دکتر سید حسین کشمیری

نگارنده:

زهره علویان

بهمن‌ماه ۱۳۸۷

تقدیر و تشکر

در آغاز خداوند منان را شکر و سپاس می‌گویم که مرا در تمام مراحل زندگی یاری نمود.

از پدر و مادر عزیزم که در طول زندگی محبت‌ها و زحمات بی‌دریغشان را نثار من نمودند، بینهایت سپاسگزارم.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر کشمیری به خاطر راهنمائی‌های ارزشمندشان در این رساله، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

همچنین از استاد بزرگوار جنای آقای دکتر رضائی رکن‌آبادی و نیز اساتید محترم آقایان دکتر بهدانی و دکتر عربشاهی کمال سپاسگزاری و تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر رحمانی و دکتر بیجاری به خاطر کمک‌های ارزشمندشان در انجام این رساله و نیز از تمامی کسانی که همواره مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم. امید است که قدردان محبت‌های ایشان باشم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب صفحه

فصل اول: مقدمه‌ای بر حسگر و معرفی حسگر گازی

۱-۱ تعریف حسگر ۲

۱-۲ مهمترین خصوصیات حسگر ۴

۱-۳ حسگرهای گازی ۵

۱-۴ کاربرد حسگرهای گازی ۷

۱-۵ دسته‌بندی حسگرهای گازی ۷

۱-۵-۱ حسگرهای طیف نگار (Spectroscopic sensors) ۷

۱-۵-۲ حسگرهای نوری (Optical sensors) ۸

۱-۵-۳ حسگرهای حالت جامد (Solid State sensors) ۹

۱-۶ حسگرهای گازی نیمه‌هادی (SGS) ۱۰

۱-۷ اجزای یک حسگر گازی(بر پایه فیلم ضخیم) ۱۱

۱-۸ خصوصیات بستر مناسب برای یک حسگر گاز ۱۲

۱-۹ حسگر گازی نیمه‌هادی اکسید-فلز ۱۳

فصل دوم: مواد هادی شفاف (خواص الکتریکی و ساختاری)

۲-۱ اکسیدهای رسانای شفاف ۱۷

۲-۱-۱ اکسید قلع ۱۸

۲-۱-۲ خواص الکتریکی SnO2 ۱۹

۲-۲ اثر عاملهای جایگذاری در خواص الکتریکی و ساختاری لایه‌های هادی شفاف ۲۰

۲-۲-۱ اکسیژن دهی ۲۰

۲-۲-۲ دمای زیر لایه (T_s) ۲۲

۲-۲-۳ عامل ناخالصی ۲۳

۲-۲-۳-۱ لایه‌های آلاییده با ناخالصی فلوئور ۲۵

فهرست مطالب صفحه

۴-۲-۲ پراکندگی و تحرک‌پذیری ۲۸

۵-۲-۲ تراکم حامل‌ها ۳۳

فصل سوم: تحلیلی بر عملکرد حسگری

۳-۱ مدل‌های توجیه‌پذیر کاهش مقاومت حسگر در حضور گاز احیاء کننده ۳۶

۳-۲ احیای اکسید- فلز ۳۷

۳-۳ تابع کار، الکترون‌خواهی و برهمکنش گاز با سطح ۳۸

۳-۴ سهم لایه‌های متراکم و متخلخل در فرآیند حسگری ۴۲

۳-۵ هدایت در لایه حساس ۴۸

۳-۵-۱ لایه متراکم ۴۸

۳-۵-۱-۱ لایه‌های ضخیم ۴۹

۳-۵-۱-۲ لایه‌های نازک ۵۰

۳-۵-۲ لایه‌های متخلخل ۵۱

۳-۵-۲-۱ دانه‌های بزرگ ۵۱

۳-۵-۲-۱ الف) تئوری نفوذ ۵۲

۳-۵-۲-۱ ب) تئوری گسیل گرماالکترونی ۵۳

۳-۵-۲-۲ دانه‌های کوچک ۵۴

۳-۶ مدل‌های پاسخ در حسگر ۵۵

۳-۶-۱ مدل پاسخ برای گاز اکسیژن ۵۶

۳-۶-۲ مدل پاسخ برای گاز کاهنده و اکسیژن جذب سطحی شده ۵۷

۳-۷ اثر بخار آب ۵۸

۳-۸ گزینندگی ۶۰

۱-۸-۳ دمای کار ۶۱

فهرست مطالب

صفحه

۲-۸-۳ کاتالیزور ۶۲
۳-۸-۳ فیلتر ۶۷

فصل چهارم: کارهای تجربی

۴-۱ آماده‌سازی و تهیه لایه‌های نازک ۷۰
۴-۲ معرفی و نحوه کار با دستگاه اسپری پایرولیزیز ۷۰
۴-۳ تهیه نمونه‌های قلع با ناخالصی فلوئور ۷۴
۴-۳-۱ تغییر نسبت وزنی ۷۴
۴-۳-۲ تغییر دمای جایگذاری ۷۵
۴-۳-۳ تغییر مولاریته ۷۶
۴-۴ تعیین نوع ساختار بلوری با XRD ۷۶
۴-۵ مشاهده دانه‌بندی نمونه با تصویربرداری SEM ۷۷
۴-۶ تعیین ضخامت لایه ۷۸
۴-۷ اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ۷۹
۴-۸ آماده‌سازی سیستم اندازه‌گیری حسگری ۸۰

فصل پنجم: نتایج و بررسی

۵-۱ بررسی نتایج ساختاری لایه‌های نازک ۸۴
۵-۲ نتایج تصویربرداری SEM ۸۸
۵-۳ نتایج اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ۸۸
۵-۴ بررسی نمودارهای حساسیت ۹۰
۵-۵ جمع‌بندی نتایج ۱۰۴

۶–۵ پیشنهادات ۱۰۵

منابع

پیوست

چکیده

لایه‌های نازک اکسید قلع با ناخالصی فلوئور به روش اسپری پایرولیزیز جایگذاری شدند. نمونه‌ها با پارامترهایی نظیر: نسبت وزنی مختلف، دمای جایگذاری مختلف، مولاریته و حجم محلول مختلف تهیه شدند. برای مورد اول، نسبت وزنی فلوئور به قلع(F/Sn) با گام‌های ۰/۰۵ از ۰ تا ۰/۳ تغییر نمود.

برای موارد بعدی نمونه با نسبت وزنی F/Sn:۰/۰۵ در سه دمای متفاوت و سه مولاریته متفاوت جایگذاری شد. طیف پراش پرتو X برای۴ نمونه با نسبت وزنی ۰/۳ ،۰/۲۵، ۰/۰۵ ،۰ :F/Sn گرفته شد. بررسی طیفXRD، ساختار تتراگونال (فاز کسیترایت) را برای این نمونه‌ها نشان داده است.

تصویربرداری SEM برای نمونه با نسبت وزنی ۰/۰۵ :F/Sn انجام شد. از بررسی تصویر SEM، اندازه دانه‌ها برای این نمونه در حد ۱۰۰–۷۰ nm تخمین زده شد. از اندازه‌گیری مقاومت سطحی نمونه‌ها مشخص گردید که به استثنای نمونه F/Sn:۰/۰۵(wt) ، با افزایش غلظت ناخالصی فلوئور مقاومت الکتریکی نیز روندی کاهشی دارد. بررسی اثر حسگری لایه‌ها نشان داد که از بین تمام نمونه‌ها، نمونه F/Sn: ۰/۰۵(wt) و دمای جایگذاری ۴۷۰℃ و مولاریته محلول ۰/۰۵ M،بهترین حساسیت را نسبت به ۲۰۰۰ ppm گاز هیدروژن دارد.

مقدمه

۱-۱ تعریف حسگر

حسگر المان حس‌کننده‌ای است که کمیت‌های فیزیکی مانند فشار، حرارت، رطوبت، دما، را به کمیت‌های الکتریکی پیوسته (آنالوگ) یا غیرپیوسته (دیجیتال) تبدیل می‌کند. به طور کلی حسگرها ابزارهایی هستند که تحت شرایط خاص از خود عکس‌العمل‌های پیش بینی شده و مورد انتظار نشان می‌دهند. شاید بتوان دماسنج را جزء اولین حسگرهایی دانست که بشر ساخته است.

بعضی از حسگرها مانند دماسنج جیوه‌ای به تنهایی قابل استفاده‌اند و برای خواندن آن‌ها احتیاجی به وسایل جانبی دیگری نیست. برخی دیگر مانند ترموکوپل برای استفاده باید با وسایل دیگری همراه باشند. بیشتر حسگرها الکتریکی یا الکترونیکی هستند که انواع الکتریکی از دقت پایین تری برخوردارند. حسگرها در زندگی روزمره ما به صورت فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرند، به عنوان مثال در خودروها، ماشین‌های صنعتی، تجهیزات فضائی و حتی دارویی. پیشرفت فنی باعث شده تا انواع مختلف و گوناگونی از حسگرها با فناوری MEMS[1] تولید شود. در اکثر موارد، این کار باعث بدست آمدن حساسیت بالا شده است[۳۱].

تکنولوژی ریزالکترومکانیکی(MEMS) مجموعه‌ای فرایندهایی را در بر می‌گیرد که برای ساخت قطعات یا سیستم‌های مجتمع کوچک که ترکیب کننده مولفه‌های مکانیکی و الکتریکی با یکدیگر هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اغلب موارد، این سیستم‌ها با استفاده از روش‌های پردازش گروهی مدار مجتمع(IC) ساخته می‌شوند و اندازه آن‌ها از چند میکرومتر تا چند میلی‌متر متغییر است.

این قطعات یا سیستم‌ها توانایی حسگری، کنترل و به کار اندازی در مقیاس بسیار کوچک را دارا بوده و اثرات خود را در مقیاس بزرگ (ماکرو) ایجاد می‌کنند. برای اطلاعات بیشتر به منبع[۱] مراجعه شود.

[1] Microsystems Technology

حسگر اصولا یک مبدل انرژی است یعنی قطعه‌ای است که می‌تواند نوعی از انرژی را به نوع دیگر تبدیل کند. اکثر حگرها انواع مختلف انرژی مانند گرمایی-مکانیکی-شیمیایی و غیره را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند.

بنابراین در اکثر حسگرها ورودی انرژی است که می‌خواهیم اندازه‌گیری شود و در خروجی یک سیگنال الکتریکی متناسب با انرژی ورودی داریم. منظور از سیگنال الکتریکی جریان یا ولتاژ است. از فناوری‌های مختلفی برای ساخت حسگرها استفاده می شود ولی با توجه به پیشرفت صنعت نیمه‌هادی، امروزه بسیاری از حسگرها با استفاده از قطعات نیمه‌هادی ساخته می‌شوند. اصولا خروجی اکثر حسگرها یک سیگنال پیوسته است که ما آن‌ها را به عنوان حسگر آنالوگ می‌شناسیم. اما برای آنکه خواندن اطلاعات خروجی حسگرها توسط سیستم‌های دیجیتال(مانند انواع پردازش‌گرها از جملهICU) راحت‌تر انجام شود از مدارهای واسطی برای تبدیل خروجی آنالوگ به دیجیتال یا انجام مدولاسیون‌های خاص (مانند مدولاسیون فرکانس) استفاده می‌شود.

همانطور که گفته شد ورودی حسگر یک نوع انرژی است. بر همین اساس حسگرها را می‌توان به گونه‌های زیر تقسیم کرد[۳۱]:

۱. صوتی: اندازه گیری سرعت، دامنه، فاز، پلاریزاسیون و قطبش امواج صوتی

۲. زیستی: اندازه گیری چگالی و اجزای جرم‌های زیستی

۳. الکتریکی: اندازه گیری جریان، بار، پتانسل، میدان الکتریکی. رسانایی

۴. مغناطیسی: اندازه‌گیری میدان و شار مغناطیسی

۵. مکانیکی:اندازه گیری مکان، سرعت، شتاب، نیرو، تنش، کرنش ، فشار، چگالی، اندازه حرکت و سرعت شارش

۶ نوری: اندازه گیری سرعت، دامنه، فاز، قطبش و امواج الکترومغناطیس

۷. تابشی: اندازه گیری نوع پرتو، شدت، انرژی

۸. حرارتی: اندازه گیری دما، گرمای ویژه، شارش گرما

۹. شیمیایی: اندازه گیری نوع و چگالی مواد شیمیایی

در طراحی یک حسگر دانشمندان علوم مختلف مانند بیوشیمی، زیستی، الکترونیک، شاخه‌های مختلف شیمی و فیزیک حضور دارند. به عنوان مثال قسمت اصلی یک حسگر شیمیایی یا زیستی، عنصر حسگر آن می‌باشد که 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 موردنظر تولید شده است را

به یک سیگنال خروجی قابل اندازه گیری تبدیل می‌کند. 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 طوری که در برابر مقادیر ناچیزی از گاز، گرما و یا پرتو حساس اند. بالا بردن درجه حساسیت، بهره و دقت این حسگرها به کشف مواد و ابزارهای جدید نیاز دارد.

۲-۱ مهمترین خصوصیات حسگر:

یک حسگر ایده‌آل باید دارای خواص زیر باشد:

۱. ساسیت بالا

۲. قدرت تفکیک و گزینش پذیری بالا (عدم پاسخ دهی به عوامل مزاحم محیطی مانند دما ، قدرت یونی محیط)

۳. تکرارپذیری و صحت بالا

۴. سرعت پاسخ دهی بالا (درحد میلی ثانیه)

۵. سرعت بازگشت‌پذیری بالا

در حال حاضر سازندگان و محققان در حوزه حسگر توجه بسیار زیادی را به قطعات حساس به گازهای موجود در محیط اطراف معطوف داشته اند. حساسیت به این حوزه از وجود گازهای سمی و خطرناک و نیز لزوم کنترل و ایمنی آن‌ها نشأت می‌گیرد. همچنین تقاضای زیادی از سوی سازندگان وسایل نقلیه برای بهینه سازی مصرف سوخت درون موتور ، یکی دیگر از علل این توجه شده است. این حسگرها به علاوه قادر به تشخیص میزان و نوع گازهای تولید شده در کوره‌ها بوده و در نتیجه می توانند در پروسه کنترل سوخت و جلوگیری از خروج گازهای مضر نقشی فعال ایفا کنند[۵].

۳-۱ حسگرهای گازی

حسگر گاز را می‌توان یک نوع از انواع حسگر دانست که نسبت به آلاینده های معلق در اتمسفر محیط ، گازهای سمی و قابل اشتعال حساسیت نشان می‌دهد. انتشار و پخش گازهای مهلک و سمی یکی از خطرات روزمره زندگی صنعتی است. متأسفانه هشدار دهنده‌های موجود در صنعت اغلب بسیار دیر موفق به شناسائی این گونه گازهای نشتی می‌شوند. در حال حاضر سازندگان و محققان در حوزه حسگر توجه بسیار زیادی را به قطعات حساس به گازهای موجود در محیط اطراف معطوف داشته‌اند. حساسیت به این حوزه از وجود گازهای سمی و خطرناک و نیز لزوم کنترل و ایمنی آن‌ها نشأت می‌گیرد. همچنین تقاضای زیادی از سوی سازندگان وسایل نقلیه برای بهینه‌سازی مصرف سوخت درون موتور، یکی دیگر از علل این توجه شده است. این حسگرها بعلاوه قادر به تشخیص میزان و نوع گازهای تولید شده در کوره ها بوده و در نتیجه می توانند در پروسه کنترل سوخت و جلوگیری از خروج گازهای مضر نقشی فعال ایفا کنند.

به عنوان مثال حسگر اکسیژن کاربرد ویژه‌ای در نمایش، نظارت و یا آشکار نمودن گازهای خروجی موتورهای احتراق داخلی مانند موتور اتومبیل دارد. در چنین محیط‌هایی تغییرات همزمان در فشار جزیی اکسیژن و سایر گازها به صورت نسبت هوا به سوخت در ترکیب احتراق عمل می‌کند. به نسبت هوا به سوخت

نسبت لامبدا[۲] یا ضریب لامبدا نیز می‌گویند و از این رو به چنین حسگرهای اکسیژنی، حسگر لامبدا نیز گفته می شود. کاربرد ویژه چنین حسگرهایی به عملکرد سیستم در ناحیه سوخت کم [۳] باز می‌گردد. این ناحیه در واقع ناحیه‌ای است که در آن احتراق سوخت داخلی موتور در نسبت هوا به سوخت بالای ۶۵:۱ صورت می-گیرد. در حالت ایده‌آل در این ناحیه هیچ سوختی نباید وجود داشته باشد که بالطبع از نظر عملی غیر ممکن است. حسگرهای لامبدا در واقع به تغییرات فشارجزیی اکسیژن در دمای بالای c° ۷۰۰ با ایجاد موازنه بین ترکیب گازهای موجود و استیوکیومتری[۴] حجم حسگر پاسخ می‌دهند. رابطه بین فشار جزیی اکسیژن و هدایت الکتریکی بصورت زیر در یک حسگربا مکانیزم حجم بیان می‌شود[۵]:

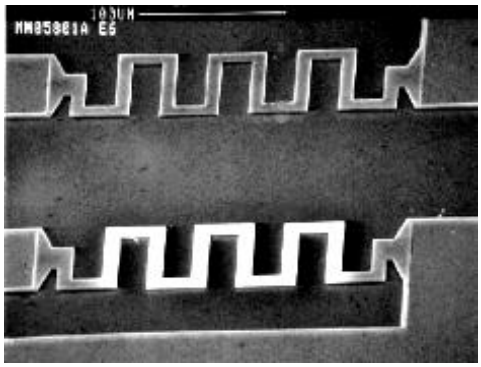
$$\sigma = Ae^{(\frac{-E_A}{kT})} {P_{O_2}}^{\frac{1}{N}} \qquad (۱-۱)$$

که در آن σ هدایت الکتریکی ، A ثابت (مقدار هدایت الکتریکی اولیه σ_o) و T دمای محیط بر حسب کلوین، K ثابت بولتزمن ، E_A انرژی فعال سازی برای هدایت ، P_{O2} فشار جزیی اکسیژن و سرانجام N ثابتی است که توسط نوع حجم درگیر شده در موازنه بین اکسیژن و حسگر تعیین می‌شود. این معادله نشان می‌دهد که حسگر با مقدار N کمتر، حساسیت بیشتری را به تغییرات فشار جزیی اکسیژن از خود نشان خواهد داد. همین طور E_A کمتر باعث حساسیت کمتر پاسخ به تغییرات دما خواهد شد. اولین ماده‌ای که به طور جدی به عنوان حسگر اکسیژن موازنه حجم به کار رفت، دی اکسید تیتانیوم بود که ماده ای از نوع n است.

حسگرهای اکسیژن TiO_2 که بصورت فیلم ضخیم ساخته شدند، سادگی بیشتر و پاسخ سریعتری نسبت به حسگرهای تجاری اکسید زیرکونیوم ZrO_2 داشتند. شکل زیر تصویر یک حسگر گاز اکسیژن (حسگر لامبدا) را نشان می‌دهد که شامل یک رشته سیم هادی- پوشیده شده توسط یک لایه کاتالیتیک -بوده و توسط جریان الکتریکی گرم می‌شود. این حسگر با تکنولوژی میکروماشین[۵] ساخته شده که به فیلمان اجازه می‌دهد تا بسیار کوچک ساخته شده و بصورت معلق بالای زیرلایه قرار گیرد در نتیجه توان مصرفی بسیار پایین می-

[2] Lambda Ratio
[3] Fuel Lean Region
[4] Stoichiometry
[5] Micro machine

آید. گازهای ناشی از احتراق با سطح کاتالیتیک واکنش صورت داده و منجر به آزادی گرما و در نتیجه تغییر در مقاومت فیلمان می‌شوند[۵].



شکل(۱-۱): حسگر گاز اکسیژن شامل یک رشته سیم هادی که توسط یک لایه کاتالیتیک پوشیده شده است[۵].

۱-۴ کاربردهای حسگر گازی :

امروزه حسگرهای گاز در تکنولوژی و صنایع مختلف کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند.در چند سطر زیر به طور خلاصه به برخی از این کاربردها اشاره می‌نماییم:

- صنایع اتومبیل: تهویه ماشین، کنترل فیلتر، حسگری بخار گازوئیل، تست الکل
- ایمنی: حسگری حریق، گازهای سمی و قابل اشتعال و انفجار
- کنترل کیفیت هوا در مصارف خانگی: پالاینده های هوا، کنترل تهویه، کنترل پخت
- کنترل محیطی: ایستگاه‌های هوا شناسی، نظارت بر آلودگی
- صنایع غذایی: کنترل کیفیت غذا، کنترل فرآیند، کنترل کیفیت بسته بندی
- پزشکی: آنالیز تنفس، تشخیص بیماری، تشخیص برخی از باکتری‌ها
- تولید صنعتی: کنترل تخمیر، کنترل فرآیند[۱]

۱-۵ دسته‌بندی حسگرهای گازی

حسگرهای گاز از نظر تکنولوژی ساخت و عملکردشان به سه دسته تقسیم می شوند:

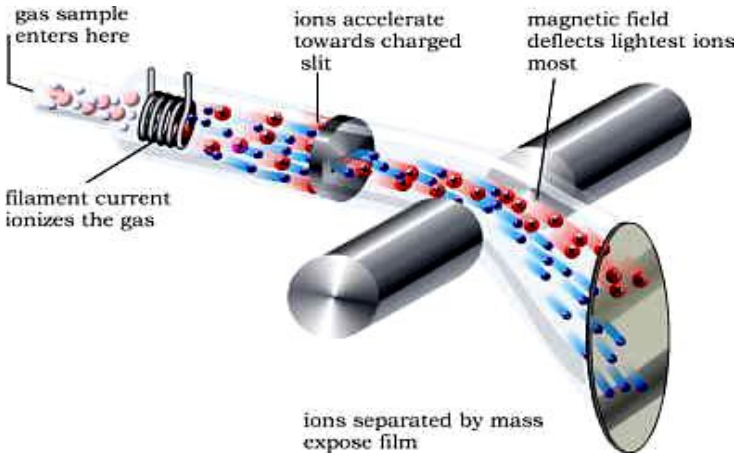
حسگرهای طیف نگار (*Spectroscopic Sensors*)

حسگرهای نوری (*Optical Sensors*)

حسگرهای حالت جامد (*Solid State Sensors*)

۱-۵-۱ حسگرهای طیف نگار (*Spectroscopic Sensors*) :

از نظر کارکرد، سیستم‌های طیف‌نگار تحلیل مستقیمی از جرم مولکولی و طیف ارتعاشی روی گاز هدف – گازی که باید تشخیص داده شود- صورت می‌دهند. این سیستم‌ها قادر به اندازه‌گیری کیفی و کمی ترکیبات گازهای مختلف با دقت بسیار خوب هستند. طیف‌سنج جرمی[۶] و کروماتوگرافی جرمی[۷] از مهمترین گونه‌های سیستم‌های اسپکتروسکوپی هستند.



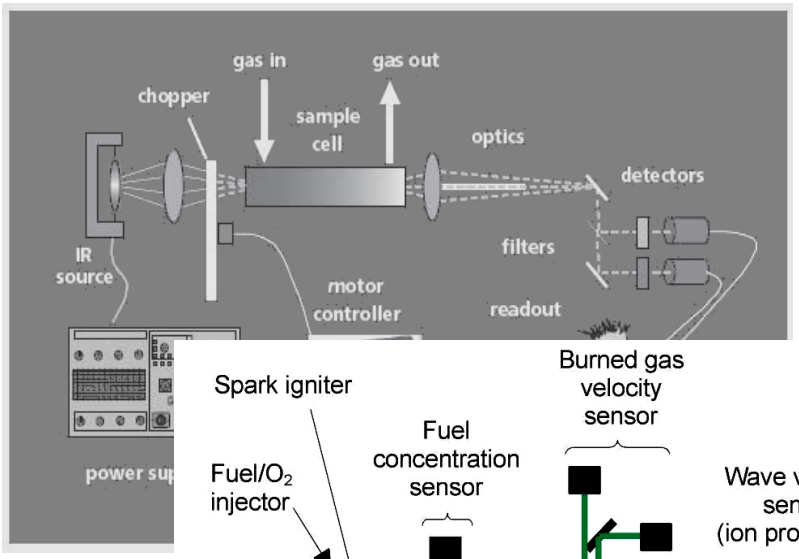
شکل(۲-۱) : یک سیستم طیف سنج جرمی ابتدا مولکول‌های گاز ورودی را یونیزه کرده و به آن‌ها شتاب یکسان می دهد. یون‌های شتابدار بر حسب سبکی و سنگینی در حضور میدان مغناطیسی منحرف و جدا می‌شوند. یون‌های سبکتر بیشتر منحرف می‌شوند و اثر این انحراف بصورت نمودار میزان فراوانی جرم بر بار الکتریکی نمایش داده می‌شود[۵].

۱-۵-۲ حسگرهای نوری (*Optical Sensors*)

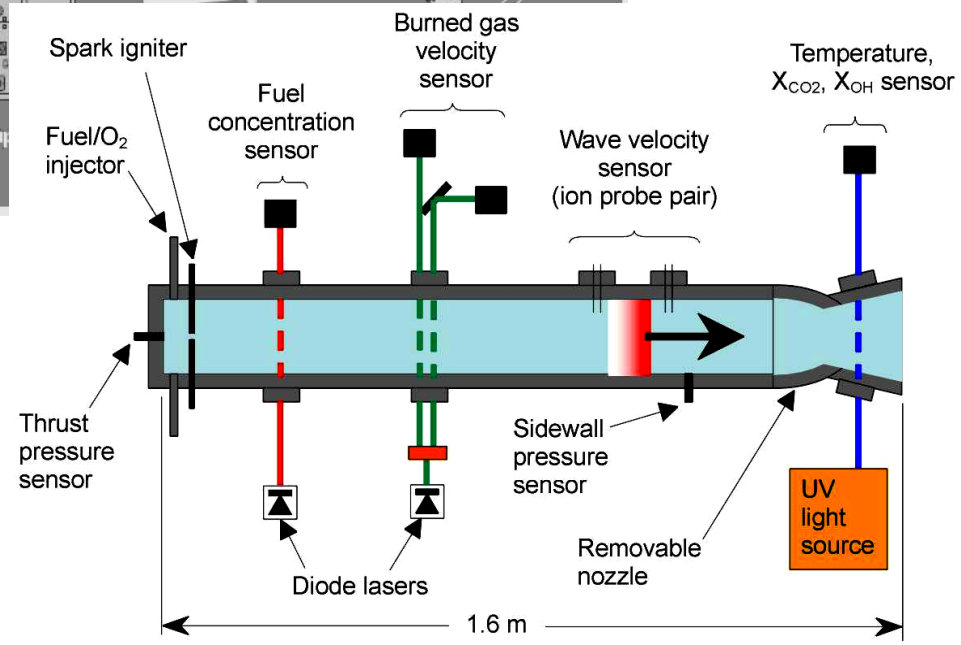
حسگرهای نوری، طیف جذبی[۸] یا طول موج نور منبع را بعد از اینکه گاز هدف توسط نور تحریک شد را اندازه گیری می کنند. آن‌ها نیاز به یک سیستم پیچیده اندازه گیری شامل یک منبع محرک نور تک رنگ و یک حسگر نوری برای تجزیه و تحلیل طول موج طیف جذب شده دارند. روش‌های تحلیلی پرهزینه مثل

[6] Mass Spectroscopy
[7] Mass Chromatography
[8] Absorption Spectrum

اسپکتروسکوپی مادون قرمز، لامپ‌های فلورسنت ماورای بنفش، کروماتوگرافی و غیره از جمله روش‌هایی هستند که بجای حسگرهای شیمیایی گاز مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل (۳-۱) : الف- نمائی از تحلیل و تجزیه طیف نوری



شکل (۳-۱) : ب- سیستم کامل تشخیص آلاینده‌های موجود در احتراق موتور. دیودهای لیزری به عنوان منبع نور تک رنگ بکار گرفته شده اند. طول این سیستم ۱۳۰ سانتیمتر است[۵]

.

همه این روش‌ها بسیار دقیق هستند و نیاز به تکنسین‌های بسیار ماهر برای کار با دستگاه دارند. از طرف دیگر این سیستم‌ها بسیار گرانقیمت بوده و بدلیل فضای بسیار زیادی که اشغال می کنند قابل استفاده در سیستم‌های کوچک نظیر موتور اتومبیل‌ها نیستند. از این رو فناوری ارزان قیمت نوع نیمه‌هادی با خصوصیات: قابلیت حمل آسان، کوچکی، توان مصرفی کم، ارزان قیمت، و با قابلیت کار آنلاین که می توانند در کنار سیستم‌های دیگر به خدمت گرفته شوند خود نمایی می‌کنند[۵].

انواع حسگرهای حالت جامد	تغییر فیزیکی

۳-۵-۱ حسگرهای حالت جامد (*Solid State Sensors*)

حسگرهای گاز حالت جامد بر اساس تغییر در خواص فیزیکی و یا شیمیایی مواد تشکیل‌دهنده حسگر کار می-کنند. این تغییرات در نتیجه حضور گازهای مختلف صورت می پذیرد. در مقایسه با دو دسته اول تنها معایب این نوع حسگرها فقدان قابلیت تشخیص همزمان چند نوع گاز با هم و پایداری و تثبیت زمانی آن‌هاست. حسگرهای حالت جامد نیز انواع گوناگونی دارند. در صفحه بعد به صورت خلاصه به انواع آن و تغییر فیزیکی مورد نظر اشاره شده است[۴۴]:

حسگرهای نیمه هادی	هدایت الکتریکی
حسگرهای اثر میدان (دیود ، ترانزیستور ، خازن)	قطبش الکتریکی
حسگرهای پایزو الکتریک (بلورکوارتز ، موج صوتی سطحی و . . .)	جرم
حسگرهای اپتیکی (فیبر نوری و یا لایه نازک)	تشدید پلاسمون سطحی ، طول مسیر نوری انعکاس ، جذب ، ضریب شکست ، تداخل سنجی
حسگرهای گازی الکتروشیمیایی (پتانسیل سنجی ، آمپر سنجی)	جریان الکتریکی در یک پیل شیمیایی حالت جامد
حسگرهای کاتالیزوری (اثر سیبک[۹]، پلیستورها[۱۰]، سیمستورها[۱۱])	گرما یا دما

۱-۶ حسگرهای نیمه هادی گاز (SGS)[۱۲]

در سال ۱۹۳۸ واگنر و هاوف[۱۳] کشف کردند که اتم‌ها و مولکول‌ها با سطح نیمه هادی واکنش نشان داده و باعث تاثیر خواص سطحی نظیر رسانایی و پتانسیل سطحی در آن‌ها می شوند. بعدها در ۱۹۵۳، ۱۹۵۴ و ۱۹۵۵ به

ترتیب توسط براتین و باردین[۱۴] ، هیلند [۱۵]و موریسون[۱۶] تاثیر اتمسفر محیط بر روی رسانایی الکتریکی نیمه-هادی

[9] Seebeck Effect
[10] Pellistors
[11] Semistors
[12] Semiconductor Gas Sensors
[13] Wagner, Hauffe
[14] Bardeen Brattain and
[15] Heiland
[16] Morrison

تشریح شد. در ۱۹۶۲ توسط سیاما[17] و بعد در ۱۹۷۰ بوسیله تاگوچی[18] این کشفیات بصورت آشکارساز گاز با تولید اولین حسگرهای گاز نیمه هادی مقاومتی- شیمیایی[19] کامل شد و بدین ترتیب اولین نسل حسگرهای گاز حالت جامد متولد شدند[۵].

در حسگرهای نیمه‌هادی، لایه فعال برای عمل حسگری شامل موارد زیر است :

الف- مواد آلی (پلیمرها، پروفین‌ها، فتالوسیان‌ها)

ب - مواد غیر آلی (نیمه هادی‌های اکسید-فلز)

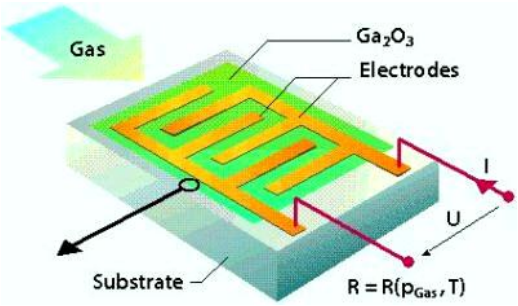
که مناسب ترین آن‌ها برای عمل حسگری، مورد دوم یعنی نیمه‌هادی‌های اکسید-فلز است. بر خلاف سایر نیمه هادی‌ها که در زمان طولانی یا گرم شدن در هوای معمولی تبدیل شیمیایی غیرقابل بازگشتی را با تشکیل لایه های پایدار اکسید تحمل می‌کنند، اکسیدهای فلزی با اکسیژن واکنش برگشت پذیر انجام می-دهند.

۱-۷ اجزای یک حسگر گاز (بر پایه فیلم ضخیم)

این حسگرها مرکب از شش بخش اصلی هستند، اولین بخش زیرلایه[20] است که می تواند آلومینا Al_2O_3 یا اکسید سیلیکون SiO_2 و یا هر ماده مناسب دیگری باشد. بخش دوم شامل الکترودهای فلزی[21] معمولا از جنس طلاست که باعث تغییرات رسانایی در آن بخاطر تاثیر گاز می شود. گاز هدف در دمای مناسبی می‌تواند باعث انجام فعل و انفعال شیمیایی و اثرگذاری بر الکترودها شود. لذا بخش سوم شامل گرماده و در نتیجه بخش چهارم شامل مقاومتی برای اندازه گیری و کنترل این دماست. مواد مناسب برای این بخش‌ها پلاتین هستند.

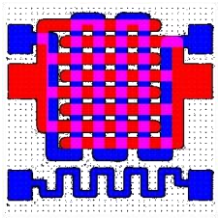
---

[17] Seiyama
[18] Taguchi
[19] Chemo-Resistive Semiconductor Gas Sensors
[20] Substrate
[21] Metal Electrods



شکل (۴-۱) : تصویر شماتیک یک حسگر گاز فیلم ضخیم

این اجزای الکتریکی برای ارتباط با سایر قطعات نیازمند اتصالات هستند که معمولا از طلا ساخته می‌شوند و بخش پنجم را شکل می دهند. و سرانجام ماده فعال[۲۲] حسگر(مواد آلی یا اکسیدهای فلزی) بر روی الکترودها گسترده شده و به عنوان اصلی‌ترین بخش یعنی جزء ششم وظیفه واکنش با گاز هدف و در نتیجه تغییر در تحرک پذیری حامل‌ها و بالتبع آن تغییر در رسانایی الکترود را بر عهده دارد. اصولا آشکارسازی گاز هدف توسط این ماده تعیین می‌شود و از اینرو در روند طراحی حسگرهای گاز مهمترین نقش را داراست. این مرحله از ساخت حسگر بنام فاز فعال[۲۳] خوانده می‌شود[۵].



شکل(۵-۱): طرح اولیه الکترودها (به رنگ روشن)، هیتر و مقاومت کنترل‌کننده حرارت (در پایین‌ترین قسمت شکل)

۱-۸ خصوصیات بستر مناسب در تولید حسگرهای گاز (بر پایه تکنولوژی فیلم ضخیم)

در سال‌های اخیر تکنولوژی بستر برای حسگر ها از رشد چشمگیری برخوردار بوده است، بطوریکه انتخاب ماده زیرلایه مناسب اهمیت زیادی یافته است. به طورخاص، بستر یا زیرلایه برای مقاصدی نظیر حسگرهای گاز باید

دارای هدایت الکتریکی کم، پایداری حرارتی و شیمیایی قابل ملاحظه و تضمین چسبندگی مناسب لایه‌ای که روی آن می‌نشیند باشد. همزمان، بستر نباید هیچ واکنش ناخواسته ای با لایه اکسید فلز حساس به گاز در

[22] Functional Material
[23] Active Phase