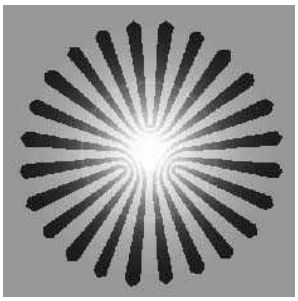
بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين



دانشگاه پیام نور

دانشکده مرکز تهران

گروه علمیعلوم پایه

بررسی فرآیند اشباع حسگر مقاومتی گاز در حضور بخارهای الکلی

نگارش :

امیر هفت لنگی

استاد راهنما :

دکتر سید محسن حسینی گلگو

استاد مشاور :

دکتر صفارزاده

پایان نامه

برای دریافت درجهکارشناسی ارشد

در رشتهفیزیک حالت جامد

تابستان ۱۳۹۱

بعد از مدتها، پس از پیمودن راههای فراوان و طولانی که با حضور استاد عزیزم جناب دکتر سید محسن حسینی گلگو ، با راهنماییها و دغدههای فراوانشان با چشمهای پر از برق شوق که خستگیهای این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کرده ، امیدوارم بتوانم درآیندهی نزدیک جوابگوی این همه محبت او باشم. اکنون، با احترام فراوان برای این در این راه پر پیچ و خم این پایان نامه را به همه تلاش این عزیزان برای موفقیت من اساتید عزیزم تقدیم میکنم امیدوارم قادر به درک زیباییهای وجودشان با شم.

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

به نکته های دلاویز و گفته های بلند صحیفه های سخن از تو علم پرور باد

چکیده :

حسگرهای مقاومتی گاز، حسگرهای شیمیای هستند که در مواجهه با گازهای محیطی و در دماهای کاری بالا مقاومتشان تغیر می‌کند. این تغیر مقاومت با افزایش تراکم گاز هدف، تا حد معینی، افزایش می‌ابد. افزایش تراکم به بیش از این مقدار تغیر چندانی در مقاومت حسگر ایجاد نمی کند. این تراکم، به عنوان تراکم اشباع حسگر در مواجهه با آن گاز هدف در نظر گرفته می شود. هدف این تحقیق پاسخ به این مسائل است :

1 -اشباع حسگر مقاومتی در مواجهه با بخارهای الکلی (متانول، اتانول، پروپانول و ...) در چه تراکمی از گاز هدف رخ می دهد و چه ارتباطی بین تراکم اشباع حسگر با افزایش وزن مولکولی گاز هدف وجود دارد؟

2 -آیا ارتباط حاصل با نحوه‌ی پایرولیز الکل ها در دماهای کاری حسگرها وجود دار د؟

طی یک کار صورت گرفته، نحوه اشباع حسگر گاز تاگوشی در مواجهه با بخارات الکلی مشاهده شد و این رفتار بر طبق دو مدل سازی زیر توجیه شد.

الف) تجزیه الکل به اجزا سازنده

ب) مدلسازی بر اساس تجزیه واقعی

هدف مدل‌سازی نحوه واکنش بخارهای الکلی با حسگرهای مقاومتی گاز است . بدین منظور از روابط مربوط به تجزیه الکل‌ها در دمای کار حسگر ، میزان پوشش سطح حسگر با اجزا ء تجزیه‌ای و عناصر موجود در تجزیه واقعی محاسبه می شود. این معادلات به همراه شرط اشباع حسگر، می‌توانند رابطه‌ای برای تراکم اشباع حسگر حاصل نمایند .

عنوان **صفحه**

فصل اوّل : مقدمات

۱-۱. تعریف واژۀ « حسگر » ۱

فصل دوّم: حسگرهای مقاومتی گازی

۲-۱. چرا از حسگرهای گازی استفاده می‌کنیم..... ۷

۲-۲. تاریخچۀ حسگرهای گاز مقاومتی ۸

۲-۳. روش‌های تولید ۹

۲-٤. حسگرهای لایه نازک..... ۱۰

۲-٥. انواع حسگرهای گازی..... ۱۰

۲-٥-۱. حسگرهای مقاومتی مواد شیمیایی..... ۱۱

۲-٥-۱-۱. حسگرهای پلیمر هادی (CP)..... ۱۲

۲-٥-۱-۲. حسگرهای مقاومتی گاز (RGS)..... ۱۳

۲-٦. اصول عملکرد آشکارسازی حسگرها..... ..... ۱٤

۲-٦-۱. اصول عملکرد حسگرهای مقاومتی گاز(RGS)..... ۱۷

۲-٦-۲. تغییر تابع کار..... ۲۳

۲-۷. تعریف حساسیت در حسگرهای گاز مقاومتی..... ۲٥

۲-۸. نقش دما در حساسیت حسگرها..... ۲٦

فصل سوّم: سینیتیک شیمیایی و تیوری لانگمایر

۳-۱. مقدمه..... ۲۸

۳-۲. معیاری برای تعادل شیمیایی..... ۲۹

۳-۳. ثابت تعادل برای مخلوط گازهای ایده ال ۳٤

۳-٤. توضیحاتی در مورد K_p مربوط به مخلوط گازهای ایده آل..... ۳۷

۳-٥. تعادل شیمیایی برای واکنشهای همزمان..... ٤۱

۳-٦. تغییرات K_p با درجه حرارت..... ٤۲

۳-۷. مدل‌های تحلیلی برای جذب سطحی گاز ٤٤
۳-۷-۱. جذب برگشت‌پذیر تک‌لایه ٤٤
۳-۷-۲. رابطه‌ی دمایی ضرایب واکنش ٥٠

فصل چهارم: کار آزمایشگاهی

٤-١. مقدمه ٥٢
٤-٢. سامانه انجام آزمایش ٥٢
٤-٣. حسگر گاز ٥٢
٤-٤. محفظه آزمایش ٥٤
٤-٥. گازهای هدف ٥٥
٤-٥-١. ویژگی های گازهای هدف ٥٥
٤-٥-٢. محاسبهٔ تراکم گاز ٥٨
٤-٦. تعریف حساسیت در حسگرهای گاز مقاومتی ٥٩
٤-٧. سامانه اندازه گیری مقاومت حسگ ٦٠
٤-٧-١. مدار تقسیم ولتاژ ٦١
٤-٧-٢. اسیلوسکوپ دیجیتال ٦١
٤-٧-٣. کامپیوتر ٦١

فصل پنجم: اندازه گیری‌ها، نتایج و بحث

٥-١. مقدمه ٦٢
٥-٢. منحنی‌های مقاومت بر حسب تراکم گاز هدف ٦٣
٥-٣. بررسی حساسیت حسگر گاز تاگوشی ٦٧
٥-٤. پاسخ دینامیکی حسگر گاز تاگوشی ٦٨
٥-٥. بررسی تراکم اشباع حسگرTGS ٧١
٥-٦. محاسبه‌ی تراکم اشباع بر اساس مدل لانگمایر ٧٢
٥-٧. واکنشهای واقعی ٧٩

۵-۷-۱. واکنش عامل C_nH_{2n} با اکسیژن در سطح ۸۰
۵-۷-۲. واکنش عامل H_2O با اکسیژن در سطح ۸۰

نتایج و پیشنهادات

فصل اوّل

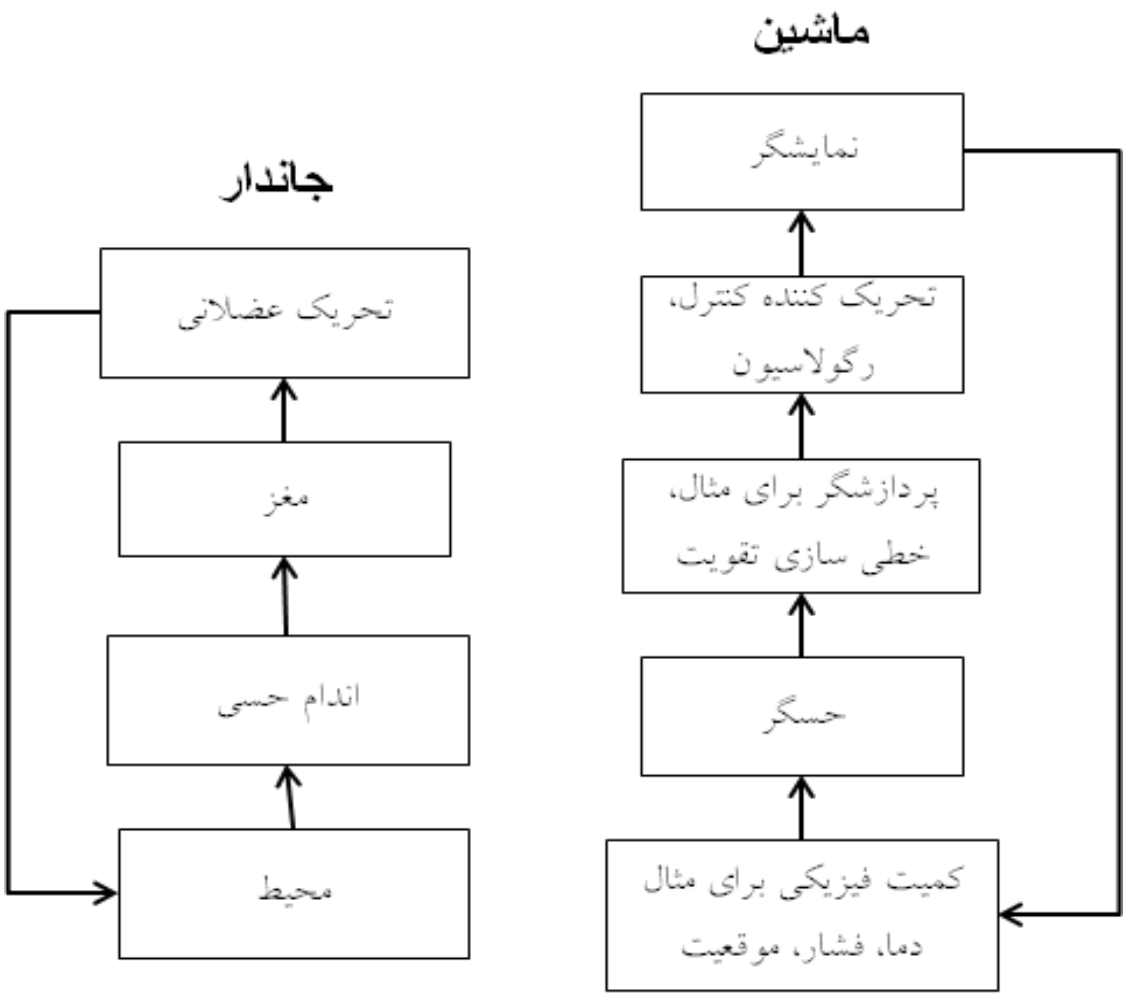
مقدمات

۱-۱. تعریف واژۀ « حسگر » [۱]

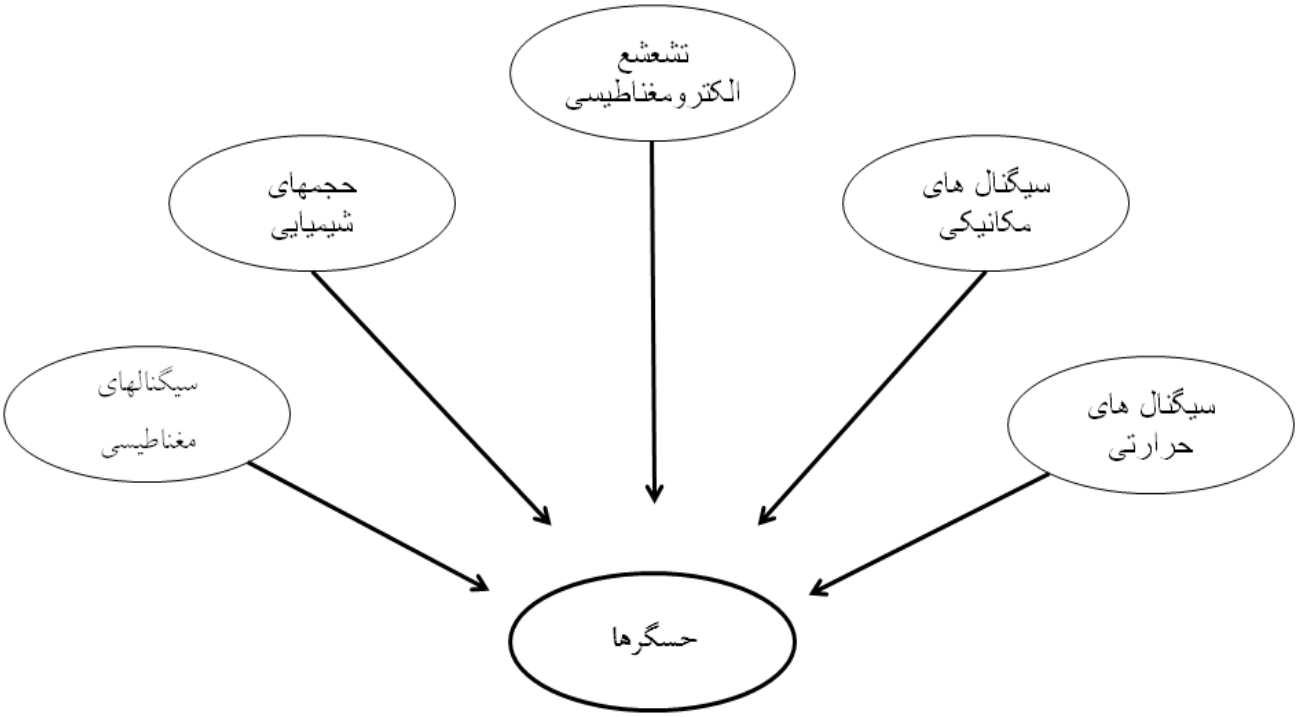
امروزه واژۀ «حسگر» بعنوان یکی از واژه های تخصصی از نوآوری های فنی ، در پشت ایده هایی همچون ریزپردازنده [۱] ، ترانسپیوتر [۲] ، طراحی های گوناگون برای حافظه ها و دیگر مؤلفه های الکترونیکی ، پنهان نمی ماند. با این وجود ، هنوز هم فقدان یک تعریف دقیق همانند آنچه برای واژگانی شبیه «پروب» ، «گِیج»[۳] و «مبدل»[٤] وجود دارد ، در مورد آن دیده می شود. قطع نظر از واژۀ «حسگر» ترکیباتی همچون عنصر حسگر[٥] ، سیستم حسگر[٦] ، حسگرهای هوشمند[۷] و غیره نیز بسیار دیده می‌شوند. چه چیزی در پشت واژۀ«حسگر» نهفته است ؟ حسگر ، یک واژۀ تخصصی است که از کلمۀ لاتین *sensorium* ، بمعنی «توانایی حسی» یا *sensus* ، بمعنای «حس» گرفته شده است . با دانستن سرچشمۀ ایدۀ حسگرها ، تأکید بر قیاس بین حسگرهای حاصل از فن‌آوری و اندام‌های حسی انسان ، واضح بنظر می‌رسد. شکل۱.۱ ، این قیاس را نشان می‌دهد. در اینجا لازم است واژۀ « حسگر» تعریف شود : *حسگر، وسیله‌ایست که کمیت فیزیکی را طوری تبدیل می‌کند (تغییر می‌دهد) که بتواند* بصورت یک کمیت الکتریکی اندازه گیری شود (تغییر کند) تا بتواند بصورت الکتریکی پردازش یا انتقال داده شود . ابعاد فیزیکی را می توان با توجه به دیاگرام شکل۲.۱ طبقه‌بندی کرد .جدول۱.۱ مثال‌هایی از ابعاد فیزیکی را که حسگرها می‌توانند اندازه‌گیری کنند ، نشان می دهد.

---

[1] . microprocessor
[2] . transputer
[3] . gage
[4] . transducer
[٥] . sensor element
[٦] . sensor system
[۷] . intelligent sensor



شکل۱.۱. مقایسه‌ای بین اندام‌های حسی که به انسانها امکان درک محیط اطرافشان را می‌دهد و حسگرتولید شده توسط فن‌آوری.گرچه تفاوت‌های زیادی وجود دارد اما شباهت‌های قابل ملاحظه‌ای نیز وجود دارد. آنچه در هر دو مشترک است ، اینستکه خود حسگر یا اندام حسی چیز زیادی برای گفتن به ما ندارند این سیستم هوشمند است که اطلاعات را برای ما فراهم می‌سازد.



شکل۲.۱. کمیت‌های فیزیکی که توسط حسگر به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌شوند.

حسگر می‌تواند متشکل از یک عنصر حسی باشد که برای مثال فشار را بعنوان نتیجه ای از انحراف در پوستهٔ نیمه‌هادی یا تغییر در ضریب شکست را بعنوان نتیجه‌ای از کاهش شدت نور در فیبر نوری حس می‌کند ، همچنین یک عنصر مبدلی است که این انحراف در پوستهٔ نیمه‌هادی که بصورت مقاومت‌هایی هستند که بشکل پل قرار دارند را به شکل یک ولتاژ الکتریکی تبدیل می‌کند ؛ یا تغییر در شدت نور را با استفاده از فرآیندهای تبدیل الکترونیک نوری به شکل یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. همچنین یک حسگر ممکن است فقط شامل یک عنصر مبدل باشد (برای مثال حسگرهای پیزوالکتریک ، حسگرهای نوری و حسگرهای مقاومتی). این تعریف از حسگر هیچ محدودیتی بر اندازه یا شکل آن ایجاد نمی‌کند. در نتیجه ، به این لحاظ تفاوتی بین حسگر (بعنوان یک وسیلهٔ اندازه گیری جدید) و ابزارهای اندازه‌گیری کلاسیک وجود ندارد. تفاوت واقعی بین این دو در مرحلهٔ بعد دیده می‌شود ، که مرحلهٔ تدارک و پردازش سیگنال الکتریکی می باشد که همیشه منظور یک حسگر می باشد. نتیجه اینستکه در مورد احتیاجاتی که باید برای ابزارهای اندازه گیری کلاسیک و حسگرها برآورده شود ، تفاوت‌های اساسی وجود دارد

جدول۱.۱. کمیت‌های قابل اندازگیری توسط حسگر

کمیت‌های مکانیکی جامدات

شتاب ، چگالی ، ضخامت ، گشتاور ، سرعت انتقالی ، فشار ، قطر ، شکل ، سرعت ، وزن ، طول ، ارتفاع ، سختی جرم ، کشش ، فاصله ، زاویه و غیره

کمیت‌های مکانیکی مایعات و گازها

چگالی ، فشار ، ویسکوزیته ، حجم ، سرعت شار و غیره

کمیت‌های حرارتی

دما ، گرما ، تشعشع حرارتی و غیره

تشعشع نوری

شدت ، طول موج ، پلاریزاسیون ، انعکاس ، رنگ و غیره

کمیت‌های صوتی

فشار صوت ، سرعت انتشار ، جذبیت ، شدت ، فرکانس صوت و غیره

تشعشعات هسته‌ای

انرژی تشعشع ، درجهٔ یونیزاسیون ، شار تشعشع و غیره

سیگنال‌های شیمیایی

مقدار PH ، غلظت ، نوع مولکول یا یون ،تراکم و نوع گاز ، شکل و اندازهٔ ذره ، سرعت واکنش ، رطوبت و غیره

سیگنال‌های الکتریکی و مغناطیسی

فرکانس ، فاز ، جریان ، ولتاژ ، قابلیت نفوذ ، میدان مغناطیسی سلف ، خازن ، مقاومت و غیره

کمیت‌های دیگر

کمیت ، زمان دوام پالس و غیره.

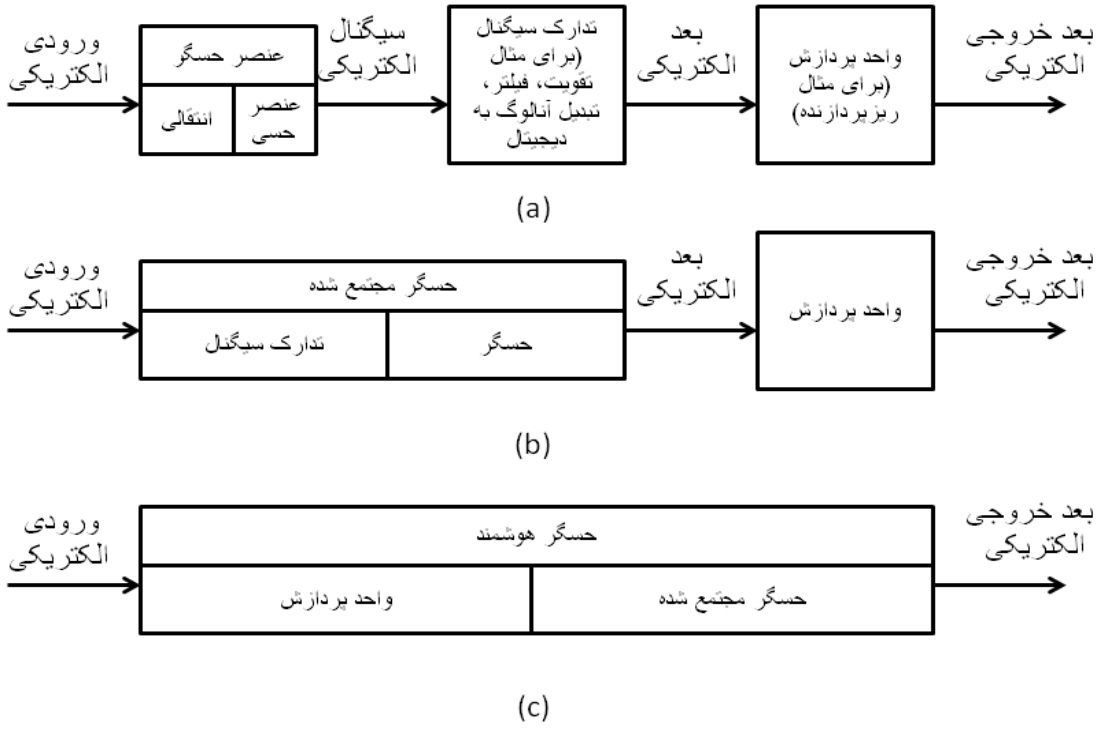
مرحلهٔ تدارک سیگنال ، برای مثال شامل تقویت ، فیلتر ، تبدیل آنالوگ به دیجیتال یا مدارات تصحیح ساده می‌باشد. مدارات الکترونیکی برای تدارک سیگنال ممکن است با حسگر بصورت مجتمع در آمده باشند یا مجزا از آن قرار بگیرند . در وضعیت اول ، حسگرها را حسگرهای مجتمع شده[1] می‌نامند. در غیر اینصورت ، حسگر و مدارات تدارک سیگنال آن با همدیگر غالباً بنام‌سیستم حسگر[2] شهرت دارند.

[1] . integrated sensors
[2] . sensor system

این تفاوت در شکل۳.۱ نشان داده شده است . با اینحال ، عبارت «سیستم حسگر» ممکن است به اتصال چندین حسگر از یک نوع یا از انواع مختلف نیز اشاره داشته باشد. در وضعیت چند حسگری ، عبارت آرایه[1] غالباً برای تشریح وضعیت اخیر بکار می رود. اگر طبقات الکترونیکی از پردازنده هایی استفاده کنند که انجام الگوریتم ها ، تشخیص ها ، تست های تصحیح یا سرکشی انتخابی[2] حسگرهای مختلف را انجام دهند ، در آنصورت حسگرها را حسگرهای هوشمند می‌نامند.گرچه ، عبارت هوشمند ، در مقایسه با توانایی انسان ، بسیار اغراق‌آمیز بنظر می‌رسد ؛ ولی هرگز منظور سطح بالایی از پردازش سیگنال نمی‌باشد. این توانایی ، به یک نرم‌افزار باندازهٔ کافی هوشمند نیاز دارد

عبارت فن‌آوری حسگر[3] ، به مجموعهٔ حسگر یا سیستم حسگر با مدارات تدارک و پردازش سیگنال ، هر دو اشاره دارد که بصورت سخت‌افزار و نرم‌افزار با یکدیگر مرتبط شده‌اند. [3]

1 . array
2 . selective polling
3 . sensor technology



شکل۳.۱. انواع سیستم حسگر: (a) سیستم حسگر با ساختار گسسته ؛(b) سیستم حسگر با حسگر مجتمع ؛(c) سیستم حسگر هوشمند با حسگر هوشمند

فصل دوّم

حسگرهای مقاومتی گازی

۲-۱. مقدمه : چرا از حسگر های گازی استفاده می‌کنیم

اجتماع صنعتی پیشرفته امروزی کالاها و خدمات متعدد جهانی را همراه با یک سری مسائل و مشکلات مرتبط با توسعه تکنولوژی با خود به همراه آورده است . افزایش بی‌رویهٔ صنعتی شدن ، نمایش و کنترل پیوستهٔ آلودگی موجود در هوا را در کارخانه ها، آزمایشگاهها ، بیمارستانها و ا کثر محیط‌های فنی ضروری می سازد. در سال های اخیر ، چندین نوع گاز در نواحی مختلف استفاده شده‌اند. در حقیقت، در بسیاری از صنایع ، گازها بطور فزاینده ای بعنوان مواد اولیه اهمیت یافته اند. بهمین دلیل ، توسعه آشکارسازهای گازهای بسیار حساس ، اهمیت یافته است تا از حوادث ناشی از نشت گاز جلوگیری شود. چنین آشکارسازهایی باید نمایش پیوستهٔ تراکم گازهای ویژه در محیط را بصورت کیفی و انتخابی ، ممکن سازند . ویژگی‌هایی به شرح ذیل ، مشخصه های یک آشکارساز شیمیایی «ایده‌آل» را لیست می‌کند.

a	Chemically selective	قابلیت انتخاب به لحاظ شیمیایی
b	Reversible	برگشت پذیر
c	Fast	سریع
d	Highly sensitive	حساسیت بالا
e	Durable	پایدار

f	Noncontaminating	بدون آلودگی
g	Nonpoisoning	بدون مسمومیت
h	Simple operation	عملکرد ساده
i	Small Size (portability)	اندازهٔ کوچک (قابل حمل)
j	Simple Fabrication	ساخت ساده
k	Low noise	نویز پایین
l	manufacturing costs	هزینهٔ ساخت پایین

ابزارهای آشکارساز گازی بطور فزاینده ای برای سلامت و ایمنی صنعت ، دستگاههای اندازه گیری محیطی و کنترل فرآیند مورد نیاز می‌باشند. برای برآورده کردن این تقاضا ، تحقیقات قابل ملاحظه‌ای در زمینهٔ حسگرهای جدید در جریان است ، که شامل کوشش‌هایی برای توسعهٔ عملکرد ادوات سنتی ، از قبیل حسگرهای اکسید فلز مقاومتی ، تا مهندسی نانو[1] می‌باشد. حسگرهای اکسید فلزی برای چندین دهه بخاطر آشکار سازی کم هزینه گازهای قابل اشتعال و سمی ، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بهر حال مسائلی از قبیل حساسیت ، قابلیت انتخاب و پایداری بخاطر رویکردهای‌گرانتر ، کاربرد آنها را محدود ساخته است.

۲-۲. تاریخچهٔ حسگرهای گاز مقاومتی

از سال ها قبل 1938 مشاهده شده بود که اتم ها و مولکول های گاز با سطح نیمه هادی واکنش داده باعث تغییر خواص سطحی آن می شوند. لیکن اندیشهٔ استفادهٔ نیمه هادی‌ها بعنوان حسگرهای گاز به سال ۱۹۵۳ بر می‌گردد که *براتین*[2] و *باردین*[1] در آزمایشگاه *بِل* به هنگام کار بر روی ژرمانیوم اثر

[1] . nanoengineering
[2] .Brattain

حساسیت به گاز را در آن مشاهده کردند . بدنبال مشاهدات این دو ، محققین دیگری به بررسی نقش اتمسفر گازی بر هدایت الکتریکی نیمه هادی‌ها پرداختند . حدود ده سال بعد *سایاما*[۲] حساسیت نیمه‌هادی‌های اکسید فلزی به برخی گازها را گزارش نمود. در همان سال *تاگوشی*[۳] اختراع حسگرهای گاز بر اساس اکسیدهای فلزی را به ثبت رسانید. در سال ۱۹۶۸ در شرکت فیگارو که ۶ سال قبل از آن توسط تاگوشی بنیان گذاری شده بود ، تولید انبوه حسگرهای گاز بر پایهٔ SnO_2 تحت عنوان حسگرهای گاز تاگوشی (TGS)[۴] آغاز شد. از آن تاریخ به بعد علاوه بر بهبود حسگرهای اکسید قلع ، اثر احساس گاز در دیگر نیمه هادی‌های اکسید فلزی و انواع دیگری از این حسگرها پیشنهاد گردیده است.

۲-۳. روش‌های تولید

روش‌های تولید امروزی حسگرها ، هنوز هم بر حجم وسیعی از حسگرهای مینیاتوری نشده[۵] استوار است. برای اکثر حسگرهایی که امروزه برای اندازه‌گیری فاصله ، توان ، شتاب ، سرعت و غیره استفاده می‌شوند ، ابعاد از ۱۰ cm نیز تجاوز می‌کنند.غالباً ابعاد حسگرها نه توسط خود حسگر ، که توسط محیطی که در آن استفاده می شوند ، تعیین می شود. بهر حال ، بموازات این نوع حسگرها ، می توان توسعهٔ دیگری را مشاهده کرد که با پیشرفت فن آوری میکرو الکترونیک ایجاد شده است . فن‌آوری میکرو الکترونیک ، توسعهٔ حسگرهایی که قابل مینیاتوری شدن باشند را ممکن ساخته است . هدف از مینیاتوری کردن مزایای زیادی است که بدنبال دارد. برای مثال اثر حسگر مینیاتوری شده بر پارامترهای اندازه‌گیری شده ، ضعیف است . این بدان معناست که خود حسگر درجهٔ تداخل کمتری با پارامتر اندازه‌گیری شده ایجاد می‌کند و بنابراین دقت اندازه گیری بالاتری را فراهم می سازد. از مزایای دیگر این حسگرها اینستکه توان مصرفی آنها کاهش می‌یابد. فن‌آوری‌های میکرو الکترونیک زیر عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد :

- فن‌آوری سیلیکن
- فن‌آوری لایه نازک
- فن‌آوری لایه ضخیم

---

[1] .Bardeen
[2] .Sayama
[3] .Taguchi
[4] .Taguchi Gas Sensor
[5] .nonminiaturized

- فن‌آوری نیمه‌هادی‌های دیگر (نیمه‌هادی‌های II-VI و III-V)

فن‌آوری‌های دیگری که در تولید حسگرها بکار می‌روند عبارتند از : فن‌آوری تفجوش ، فن‌آوری فیبر نوری ، فن آوری لیزر نوری ، فن آوری مایکروویو و فن آوری‌های بیولوژیکی . علاوه بر این ، فن‌آوری‌های مرتبط با پلیمرها ، آلیاژهای فلزی و فلزات پیزوالکتریک نیز در تولید حسگر نقش بازی می‌کنند.

۲-۴. حسگرهای لایه نازک

عناصر کلیدی در یک حسگر لایه نازک ، زیرپایه و مادهٔ لایه نازک می‌باشند. از مواد عمده‌ای که بعنوان زیرپایه استفاده می‌شوند می‌توان از شیشه ، فلز ، پلاستیک و سیلیکن نام برد. استفاده از سیلیکن زمانی جذاب می‌شود که بخواهیم حسگر و مدارات الکترونیکی آشکارساز را بصورت مجتمع درآوریم . بهرحال ، شیشه ، سرامیک و فلزات ، عمومی ترین موادی هستند که بعنوان زیر پایه استفاده می‌شوند. بسته به نوع نیاز این امکان وجود دارد که از شیشهٔ پنجرهٔ ساده یا از کوارتز گرانقیمت استفاده کرد مادهٔ دیگری که بعنوان زیرپایه استفاده می‌شود آلومینا ، (Al_2O_3 یا Saphire) می‌باشد.

مواد زیادی می‌توانند بعنوان فیلم‌های حسگر استفاده شوند :

- لایه‌های حساس شیمیایی (برای مثال ، SnO_2 ، ZnO ، Fe_2O_3 ، ZrO_2) ؛
- لایه‌های مقاومتی وابسته به دما (برای مثال ، Pt ، Au ، Ni ، آلیاژهای Ni ، ZnO ، $NaNo_3$) ؛
- لایه‌های مقاومتی حساس به نور (برای مثال ، CdS ، PbSe ، Si ، HgCaTe) ؛
- لایه‌های پیزوالکتریک (برای مثال ZnO) ؛
- لایه‌های حساس به رطوبت (برای مثال ، Ta_2O_5 ، Al_2O_3) ؛
- لایه‌های مقاومت مغناطیسی (فرومغناطیس‌ها ، مغناطیس‌های آمورف).

این لایه‌ها بین ۰۱/۰ تا ۱۰۰ μm ضخامت دارند. می‌توان رنج ضخامت بهینه را برای طبقه های مختلف مواد بسته به عملکردی که از آنها انتظار می‌رود ، تعیین کرد.

۲- ۵. انواع حسگرهای گازی

حسگرهای گاز به دو دسته کلی که شامل حسگرهای شیمیایی و حسگرهای فیزیکی است تقسیم می شوند. یک حسگر شیمیایی قطعه ای است که توانایی تبدیل کمیت شیمیایی به سیگنال الکتریکی را داشته و به تراکم ذرات ویژه ای همچون اتم‌ها، مولکول‌ها و یون‌ها در گازها و جامدات با ایجاد یک

سیگنال الکتریکی پاسخ می‌دهد[10]. حسگرهای شیمیایی با حسگرهای فیزیکی تفاوت بسیاری دارند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تعداد گونه‌های شیمیایی که با حسگر واکنش می‌دهند معمولا خیلی زیاد است. حدود ۱۰۰ کمیت فیزیکی را می‌توان با استفاده از حسگرهای فیزیکی ثبت کرد اما در مورد حسگرهای شیمیایی، این تعداد چندین برابر بیشتر است . مثالی از این نوع را می توان در تعداد مؤلفه‌هایی دید که تست آنها در آزمایشگاه های پزشکی صورت می گیرد. دوم ، حسگرهای شیمیایی باید در مقابل کمیتی که اندازه گیری می‌شوند "باز" باشند و نمی‌توانند همانند حسگرهای دما بصورت بسته‌بندی درآیند. این بدان معناست که این نوع حسگرها در معرض اثرات ناخواسته‌ای همچون نور و آلودگی قرار دارند. انواع حسگرهای شیمیایی که می توانند در یک بینی الکترونیکی استفاده شوند باید بتوانند به مولکول های بویایی در فاز گاز، که نوعا مولکول های آلی فرار می باشند پاسخ دهند . حسگرهای شیمیایی، همانگونه که در جدول2.2 دسته‌بندی شده است، هم اکنون بسیار رشد یافته و به روش‌های مختلف ساخته شده‌اند [11]. اصولی همچون اصول الکتریکی، دمایی، نوری و جرمی برای دسته‌بندی این حسگرهای شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حسگرهای شیمیایی شامل حسگرهای مقاومتی گاز ۱ (RGS)، پلیمرهای هادی آلی۲ (CP)، خازن های شیمیایی، ترانزیستورهای اثر- میدانی MOS (MOSFET)، ریزترازوی کریستال کوارتز ۳ (QCM)، موج صوتی سطحی ٤ (SAW) و ادوات دیگری می‌باشند که در آرایه ی حسگر در بینی های الکترونیکی استفاده می شوند. حساسیت، قابلیت انتخاب، برگشت پذیری، پاسخ سریع، امکان تولید انبوه و هزینه ی ساخت پایین از جمله ویژگی‌های یک حسگر گاز ایده آل است [12]. در ادامه به توضیح برخی از انواع متداول حسگرها خواهیم پرداخت.

۲-۵-۱. حسگرهای مقاومتی مواد شیمیایی[5]

حسگرهای مقاومتی مواد شیمیایی بر مبنای تغییر هدایت RGS یا CPهاي آلی در مواجهه با مولکول‌های گازی عمل می کنند. این حسگرها ساده ترین نوع حسگرهای گاز بوده به طور وسیعی در ساخت آرایه‌ها برای اندازه‌گیری‌های گاز و بو مورد استفاده قرار می‌گیرند.

---

1. Resistive gas sensor
2. Organic conducting polymers
3. Quartz crystal microbalance
4. Surface acoustic wave
5. Chemoresistors

۲-۵-۱-۱. حسگرهای پلیمر هادی (CP)

هدایت مقاومت‌های شیمیایی ساخته شده از پلیمر ه ادی (CP) در معرض گازهای احیایی و اکسیدی تغییر می‌کند. هنگامیکه نمونه های شیمیایی (برای مثال متانول، اتانول، پروپانول و بوتانول) به پلیمر جذب یا از آن دفع می شود، تغییر هدایت برگشت پذیری در آن رخ می دهد. مکانیزمی که با جذب نمونه‌ها سبب تغییر هدایت می شود به درستی روشن نیست. تعداد بسیار زیادی پلیمر هادی وجود دارد. پلی‌پیرول[1] برای اولین بار به طریق الکتروشیمیایی در سال1968 تهیه شد [30] و تاکنون به طور وسیعی مطالعه شده است. عمومی‌ترین پلیمرهای به کار رفته برای کاربردهای احساس گاز پلی‌پیرول، پلی‌آنیلین، پلی‌تایوفین و پلی‌استیلن می‌باشند که بر مبنای مونومرهای پیرول، آنیلین یا تایوفین می‌باشند [31]. مطالعات اخیر در مورد کاربردهای احساس گاز این نوع حسگرها اکثراً بر پاسخ به گازهای احیایی همچون آمونیا و سولفید هیدروژن متمرکز شده است [32]-[33]. گوستافسون[2] و همکارانش [34] حسگرهای گاز بر مبنای فیلم‌های پلی‌پروپیل گزارش کرده‌اند که حساسیت بالایی را به گاز آمونیا از خود نشان می‌دادند. کارهای بعدی [35]- [36]نیز نشان می‌داد که حسگرهای گاز بر مبنای CPهای آلی همچون پلی پیرول به محدوده ی وسیعی از بخارات آلی همچون متانول از خود پاسخ نشان می‌دهند. مقاومت‌های شیمیایی با استفاده از CPهاي آلی به محدوده‌ی وسیعی از مولکول‌های قطبی در دماهایی نزدیک به دمای اتاق پاسخ می‌دهند و گزارش‌های اخیر امکان حساسیت بالا در این حسگرها را تا تراکم ppm0.1 ارائه می‌کند. این نتایج نشان می‌دهند که CP به طور بالقوه ماده ی مفیدی برای کاربردهای احساس بو است. استفاده از CPهای آلی به عنوان مواد حسگر بو به دلایل زیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است:

1. محدوده‌ی وسیعی از مواد را می‌توان به راحتی آماده ساخت.
2. پلیمرها، مواد نسبتاً ارزان قیمتی می‌باشند.
3. حساسیت بالایی به انواع زیادی از بخارات آلی دارند
4. حسگرهای گاز بر اساس پلیمرهای هادی در دماهای پایین کار می‌کنند.

---

[1]. Polypyrole
[2]. G. Gustaffson

طریق دیگر برای استفاده از پلیمرهای هادی، ساخت مواد غیرهادی همچون پلی‌مرهای سیلیکانی[1] [37] و پلی استیرن[2] [38] و سپس هادی‌سازی آن با وارد ساختن پودر فلز یا دوده می‌باشد. این حسگرها در بینی‌های الکترونیکی استفاده شده و حساسیت بالایی از خود نشان می‌دهند[39].

۲-۵-۱-۲. حسگرهای مقاومتی گاز (RGS)

حسگرها مقاومتی در دماهای بالا ، هدایت الکتریکی ازخود نشان می دهند و این هدایت وابستگی شدیدی به تراکم گازهای معینی دارد. در دماهایی در حدود $^{\circ}C$ ۵۰۰-۱۵۰ اکسیدهای فلزی نوع $n-$ ، از قبیل SnO_2 ، ZnO یا Fe_2O_3 در اصل به گازهای احیاءکننده[3] همچون H_2 ، $CH4$ ، CO ، $C2H5$ یا $H2S$ ، پاسخ می دهند و هدایتشان افزایش می یابد. در مقابل نیمه هادیهای نوع $p-$ ، از قبیل CuO ، NiO یا CO در اصل به گازهای اکسید کننده[4] همچون $O2$ ، $NO2$ یا $Cl2$ ، پاسخ می‌دهند. علاوه بر این اکسیدهای تک عنصری ، اکسید های چند عنصری (مانند $BiFeO_3$ ، $MgAl_2O_3$ ، $SrTiO_3$ ، $Sr_{1-y}Ca_yFe_xO_{3-x}$) نیز بعنوان حسگرهای گاز مورد استفاده قرار گرفته اند. عملکرد حسگرهای اکسید فلزی ، عمدتاً با اضافه کردن اتم‌های فلزی همچون Pt ، Pd ، Cu ، Au و Ag ، تصحیح و بهینه می‌شود. این کار به حسگرها تا حدودی قابلیت انتخاب می دهد. به دلایل فنی ، حسگرهای اکسید فلزی بر مبنای $SnO2$ ، ZnO یا $Fe2O3$ در کاربردهای عملی ، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. اولین حسگرهای گازی ، حسگرهای پلی‌کریستال بودند. همانگونه که در مقدمهٔ تاریخی نیز بیان شد شناخته شده‌ترین این حسگرها ، حسگر گاز تاگوشی است که بر مبنای SnO_2 می‌باشد و توسط شرکت ژاپنی فیگارو ، بطور وسیعی تولید می شود. این حسگر ، بعنوان آژیر آتش در اکثر خانه های ژاپن استفاده می‌شود. شکل(a)1.2 و (b)1.2 تعدادی از طراحی‌های مختلف ممکن را نشان می‌دهد و شکل(c)1.2 یک حسگر تاگوشی تجاری را نشان می‌دهد.

---

[1]. Silicone
[2]. Polystyrene
[3] .reducing
[4] .oxidizing