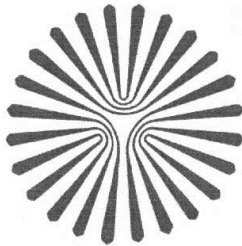


سلام افلا



دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

گروه علمی فیزیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک (حالت جامد)

طراحی و امکان سنجی سنسورهای گازی با استفاده از نانوتین اکساید

استاد راهنما: دکتر مهدی صادقی

استاد مشاور: دکتر امیر عباس صبوری دودران

مارال صمدی بخارایی

شهریور ۹۱

اینجانب مارال صمدی بخارایی دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۹ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک گواهی می‌نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته‌ام با نقل قول مستقیم یا غیرمستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده‌ام. بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می‌دانم و جوابگوی آن خواهم بود.

مارال صمدی بخارایی

.....

اینجانب مارال صمدی بخارایی دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۹ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک گواهی می‌نمایم چنانچه براساس مطالب پایان‌نامه خود اقدام به انتشار مقاله، کتاب و... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله، کتاب و... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم.

مارال صمدی بخارایی

.....

کلیه حقوق مادی مرتبط از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه پیام نور می‌باشد

مارال صمدی بخارایی

.....

تقدیم به

مادر و برادر عزیزم، ارزشمندترین و بزرگ‌ترین سرمایه‌های زندگی‌ام
و پدر بزرگوارم

سپاسگزاری

عقل تحصیلی مثال جوی‌ها	کان رود در خانه‌ای از کوی‌ها
راه آبش بسته شد شه بی‌نوا	از درون خویشان جو چشمه را
پیش‌بینی این خرد تا گور بود	و آن صاحب دل به نفخ صور بود
این خرد از گور و خاکی نگذرد	وین مدم عرصه عجایب نسپرد
زین نظر وین عقل ناید جز دوار	پس نظر بگذار و بگزین انتظار

وظیفه خود را می‌دانم از تمامی عزیزانی که در این پایان‌نامه همراه و راهنمای من بودند تشکر و قدرانی داشته باشم.

از استاد ارجمند جناب دکتر مهدی صادقی (پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای) که راهنمایی ایشان در انجام این پروژه راه‌گشا بوده است و راهنمایی دلسوزانه ایشان در تمامی مراحل اجرای تحقیق مشوق اینجانب بوده است.

همچنین از اساتید بزرگوار دکتر امیر عباس صبوری (دانشگاه پیام نور تهران) و جناب دکتر علی اصغر شکری (دانشگاه پیام نور) به خاطر مطالعه پایان‌نامه و نیز قبول زحمت شرکت در جلسه دفاعیه تقدیر و تشکر نمایم.

مارال صمدی بخارایی

شهریور ۹۱

چکیده

در پروژه صورت گرفته کار روی سنسور گازی می‌باشد و بررسی و ساخت سنسور گازی و نحوه کار با سنسور گازی توضیح داده شد، ماده حساس مورد مطالعه در این سنسور لایه ضخیم SnO_2 می‌باشد که شامل ۴ جزء اصلی: ۱. زیر لایه ۲. هیتتر ۳. الکترودها ۴. لایه حساس SnO_2 بوده، ماده حساس بررسی شده به عنوان ماده اصلی و آزمایش شده نانو تین اکساید است، ماده مشخصه که به عنوان زیر لایه در نظر گرفته می‌شود آلومینا بوده، که حضور این ماده بعلت گزینش پذیری و ترکیب نشدن با گازهای وارد شده ضروری می‌باشد، روی لایه اصلی ۷ گاز بعنوان گازهای قابل شناسایی بررسی می‌شود، سنسورهای گازی بعلت ویژگی طولانی بودن زمان کارکرد و پایداری قابل تشخیص مقاومت خوب در مقابل گازهای خورنده ساختار قوی و قدرت مکانیکی خوب، قیمت پایین کوچکی کارکرد و اسان، مفید بوده و از خواص مربوطه SnO_2 هدایت خوب الکتریکی شفافیت نوری در ناحیه مرئی، تخلخل بالا، پایداری حرارتی و مقاومت خوب مکانیکی در سنسورهای گازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دی اکسید قلع یک نیمه هادی دارای گاف انرژی پهن با ساختار پلی کریستالین روتیل تتراگونال است هدایت الکتریکی آن ناشی از وجود حفره های اکسیژن که بعنوان دهنده عمل می‌کنند می‌باشد. سنسورهای گازی SnO_2 در دمای بین ۴۰۰-۲۰۰ سانتی گراد عمل می‌کنند در این محدوده دمایی هدایت یونی قابل صرف نظر می‌باشد. اساس سنسورهای گازی بر پایه واکنش بین گازها و سطوح جامد استوار است. جذب گازهای مختلف به ترکیب ساختاری سطح و مولکولهای گاز بستگی دارد و به روشهای مختلف روی می‌دهد. سنسورهای گازی جامد از یک لایه حساس و یک مبدل انتقال تشکیل شده است که جهت رشد سنسورهای جدید و سنسورهای ماتریسی بررسی می‌شود، سنسورهای گازی بسته به تغییر خواص به چهار دسته تقسیم می‌شود: ۱- سنسورهای حساس به نور ۲- سنسورهای حساس به جرم ۳- سنسورهای خازنی ۴- سنسورهای هدایتی، با استفاده از این ۴ سنسور و مدل‌های تشخیصی مطرح شده از جمله SEM, XRD, TEM, FTIR و متدهای ساده ساز ابزارها، آنالیزورهای گازی مناسبی می‌توان ساخت. در آزمایش و تحقیق صورت گرفته گازهای CO , CO_2 , NO_2 , CH_4 , O_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, H_2 بررسی شد، در چه دماهایی این

گازها شناسایی می شود و میزان غلظت هایی که برای گازهای مختلف استفاده می شود متفاوت بوده و این غلظت ها نشانی است از حضور گاز و نوع ساختار گاز مربوطه و ماده اصلی نانوتین اکساید که دمای بررسی گازهای مختلف را کاهش می دهد.

کلمات کلیدی:

نانوتین اکساید, XRD, SEM, TEM, گازهای CO , CO_2 , NO_2 , CH_4 و زیرلایه Al_2O_3 , الکترو دسیگنال

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول:	
ویژگی‌ها و کاربردهای SnO_2	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- حسگرهای WO_3 , SnO_2 , Fe_2O_3 , ...	۲
۱-۳- مزیت استفاده از SnO_2 در امکانسنجی	۱۰
۱-۴- ساختار ماده ی SnO_2	۱۳
۱-۵- ویژگی‌های حسگر SnO_2	۱۶
۱-۵-۱- نوع برخورد SnO_2 با گازهای متفاوت و عکس العمل ایجاد شده	۱۶
۱-۶- سنتز SnO_2	۱۶
۱-۶-۱- سنتز SnO_2 توسط KOH , KCl , $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	۱۷
۱-۶-۲- سنتز SnO_2 توسط NaOH , NaCl , $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	۱۷
۱-۶-۳- سنتز SnO_2 توسط LiOH , LiCl , $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	۱۷
۱-۷- نتیجه گیری	۱۹

فصل دوم:

خواص و ویژگی های زیر لایه سنسور گازی

- ۲-۱- ویژگی های آلومینا..... ۲۱
- ۲-۲- ویژگی های آلومینا با زیر لایه های دیگر..... ۲۱
- ۲-۳- کاربرد زیر لایه Al_2O_3 ۲۴
- ۲-۴- تهیه زیر لایه آلومینایی..... ۲۷
- ۲-۵- نتیجه گیری..... ۲۸

فصل سوم:

خواص و ویژگی های الکتروود سیگنال

- ۳-۱- خواص و ویژگی های Pt, Pd..... ۳۰
- ۳-۲- کاربرد الکتروود سیگنال در حضور زیر لایه..... ۳۲
- ۳-۳- مزایای حضور الکتروود سیگنال ها..... ۳۴

فصل چهارم:

طراحی سنسورهای گازی

- ۳۹-۴-۱- ساخت و طراحی تجربی سنسورهای گازی ($\text{CO}, \text{CO}_2, \dots$).....
- ۴۲-۴-۲- ویژگی های سنسورهای گازی مورد مطالعه در محفظه ی گازی.....
- ۴۳-۴-۳- آنالیز طراحی سنسور گازی و گاز اصلی (هوا).....

فصل پنجم:

امکان سنجی سنسورهای گازی ($\text{CO}, \text{CO}_2, \text{NO}_2, \text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}, \text{H}_2, \text{O}_2$)

- ۴۹-۵-۱- امکان سنجی و اثربخشی گاز O_2 با استفاده از نانوتین اکساید.....
- ۵۱-۵-۲- ویژگی های گاز O_2 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....
- ۵۲-۵-۳- امکان سنجی و اثر بخشی گاز CO با استفاده از نانوتین اکساید.....
- ۵۳-۵-۴- ویژگی های گاز CO در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....
- ۵۳-۵-۵- امکان سنجی و اثر بخشی گاز CO_2 با استفاده از نانوتین اکساید.....
- ۵۵-۵-۶- ویژگی های گاز CO_2 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....
- ۵۵-۵-۷- امکان سنجی و اثر بخشی گاز NO_2 با استفاده از نانوتین اکساید.....
- ۵۷-۵-۸- ویژگی های گاز NO_2 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....
- ۵۷-۵-۹- امکان سنجی و اثر بخشی گاز H_2 با استفاده از نانوتین اکساید.....

- ۱۰-۵- ویژگی های گاز H_2 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید..... ۵۸
- ۱۱-۵- امکان سنجی و اثر بخشی گاز CH_4 با استفاده از نانوتین اکساید..... ۵۹
- ۱۲-۵- ویژگی های گاز CH_4 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید..... ۶۰
- ۱۳-۵- امکان سنجی و اثر بخشی گاز C_2H_5OH با استفاده از نانوتین اکساید..... ۶۱
- ۱۴-۵- ویژگی های گاز C_2H_5OH در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید..... ۶۲

فصل ششم:

بررسی و آنالیز مواد و مورفولوژی سطح با استفاده از روش های XRD, TEM, SEM

- ۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در سنسور گازی ۶۵
- ۱-۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در گاز CO ۶۷
- ۲-۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در گاز NO_2 ۶۸
- ۳-۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در گاز H_2 ۶۹
- ۴-۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در گاز O_2 ۷۰
- ۵-۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در گاز CH_4 ۷۱
- ۶-۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در گاز CO_2 ۷۲
- ۷-۱-۶- آنالیز تشخیص ترکیب مواد بکار رفته در گاز C_2H_5OH ۷۴
- ۲-۶- نتیجه گیری ۷۵

۷۷.....۳-۶- پیشنهاد ادامه

۷۸.....مراجع

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱-۱ - سنسور ابتدایی تاگوچی package - b سنسور.....	۴
شکل ۱-۳-۱- پوشش و نحوه قرار گرفتن لایه میکروساختار SnO_2 با استفاده (TEM).....	۱۳
شکل ۱-۴-۱- تصویری از مورفولوژی سطح SnO_2 با استفاده از (SEM).....	۱۴
شکل ۱-۴-۲- تصویری از انتقال میکروسکوپی الکترونهادر SnO_2 (TEM).....	۱۴
شکل ۱-۴-۳- ساختار کریستالی SnO_2 با چهار آنیون O^{2-} و دو کاتیون Sn^{4+}	۱۵
شکل ۱-۶-۱- تشخیص و ترکیب مواد بکاررفته در SnO_2 بوسیله XRD و TEM در دماهای 200°C و 400°C و 600°C	۱۸
شکل ۱-۳-۲- الکتروسیگنال با پوشش طلا - مس.....	۲۷
شکل ۱-۳-۲- ساختار چیدمان زیرلایه-الکتروسیگنال-میکروساختار نانوتین اکساید.....	۳۳
شکل ۱-۳-۲- پوشش و نحوه قرار گرفتن لایه میکروساختار SnO_2 با استفاده از TEM.....	۳۳
شکل ۱-۳-۳- ساختار چیدمان Al_2O_3 , pt, SnO_2 با استفاده از روشهای SEM, TEM.....	۳۴
شکل ۱-۳-۴- طیف پراش اشعه X پودر SnO_2 تهیه شده در دماهای 350°C - 450°C - 500°C	۴۴
شکل ۱-۳-۴- اندازه گیری سطح و اندازه ذرات با استفاده از روش SEM در دمای 350°C	۴۵
شکل ۱-۳-۴- اندازه گیری سطح و اندازه ذرات با استفاده از روش SEM در دمای 450°C	۴۵
شکل ۱-۳-۴- اندازه گیری سطح و اندازه ذرات با استفاده از روش SEM در دمای 550°C	۴۶

شکل ۵-۳-۴- اندازه‌گیری سطح و اندازه ذرات با استفاده از روش SEM در دمای 550°C ۴۶

شکل ۱-۱-۶- طیف پراش اشعه X گاز CO تشخیص موادبکاررفته و موفولوژی سطح(نانوتین اکساید)بااستفاده از روشهای SEM,TEM..... ۶۷

شکل ۲-۱-۶- طیف پراش اشعه X گاز NO_۲ تشخیص موادبکاررفته و موفولوژی سطح (نانوتین اکساید)بااستفاده از روشها SEM,TEM..... ۶۸

شکل ۳-۱-۶- طیف پراش اشعه X گاز H_۲ تشخیص موادبکاررفته و موفولوژی سطح (نانوتین اکساید)بااستفاده از روشهای SEM,TEM..... ۶۹

شکل ۱-۴-۶- طیف پراش اشعه X گاز CO_۲ تشخیص موادبکاررفته و موفولوژی سطح(نانوتین اکساید)بااستفاده از روشهای SEM,TEM..... ۷۰

شکل ۵-۱-۶- طیف پراش اشعه X گاز CH_۴ تشخیص موادبکاررفته و موفولوژی سطح (نانوتین اکساید)بااستفاده از روشهای SEM,TEM..... ۷۱

شکل ۶-۱-۶- طیف پراش اشعه X گاز C_۲H_۵OH تشخیص موادبکاررفته و موفولوژی سطح(نانوتین اکساید)بااستفاده از روشهای TEM,XRD..... ۷۲

شکل ۷-۱-۶- طیف پراش اشعه X گاز O_۲ وموادبکاررفته در سطح با نانوتین اکسایدبااستفاده از روشهای SEM,TEM..... ۷۴

فهرست جداول:

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲-۲- خواص و ویژگی های زیر لایه مورد استفاده (آلومینا).....	۲۶
جدول ۱-۳-۳- مواد حسگر نیمه رسانا و گازهای مورد نظر مشابه.....	۳۶
جدول ۱-۱-۵- ویژگیهای طراحی سنسور گاز O_2 با استفاده از نانوتین اکساید.....	۵۰
جدول ۱-۳-۵- ویژگی های طراحی سنسور گاز CO با استفاده از نانوتین اکساید.....	۵۲
جدول ۱-۵-۵- ویژگی های طراحی سنسور گاز CO_2 با استفاده از نانوتین اکساید.....	۵۴
جدول ۱-۷-۵- ویژگی های گاز NO_2 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....	۵۶
جدول ۱-۹-۵- ویژگی های گاز H_2 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....	۵۸
جدول ۱-۱۱-۵- ویژگی های گاز CH_4 در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....	۶۰
جدول ۱-۱۳-۵- ویژگیهای گاز C_2H_5OH در محفظه ی سنسور با حضور نانوتین اکساید.....	۶۲

فصل اول:

ویژگی‌ها و کاربردهای SnO_2

۱-۱- مقدمه

در میان سنسورهای گازی هدایتی، سنسورهای اکسیدهای فلزی مانند TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , SnO_2 مزیت‌های بسیاری نسبت به اکسیدهای فلزی دیگر داشته که در اینجا به بررسی سنسور SnO_2 می‌پردازیم. SnO_2 یک نیمه رسانای اکسید n دارای گاف انرژی پهن 3.6 eV با ساختار پلی کریستالین روتیل تراگونال بوده است، که این بیشترین پهنا برای نیمه رسانای اکسید سرامیکی سنسورهای گازی است که مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای ساخت سنسورهای پیشرفته از SnO_2 که دارای حساسیت بالا و طراحی ساده و وزن کم، قیمت مناسب است استفاده می‌شود. رفتار نوع n نیمه هادی SnO_2 مربوط به کم اکسیژن بودن ماده می‌باشد و سطوح دهنده و گیرنده انرژی غلظت و دما را که اساسی ترین ویژگی توده می‌باشد مشخص می‌کند. امکان استفاده از نیمه هادیهای اکسید فلزی بعنوان سنسور گازی اولین بار توسط سیاما در سال ۱۹۶۲ مطرح شد (دوری^۱، ۲۰۰۰: ۱۶۳). سپس در سال ۱۹۷۰ سنسور گازی نیمه هادی دیگری با آرایش متفاوت توسط تاگوچی طراحی گردید (ایشیما^۲، ۱۹۹۸: ۲۴۳). سیاما و همکارانش دریافته‌اند که سطح هادی بعضی از مواد نیمه هادی مانند TiO_2 , SnO_2 , ZnO , Fe_2O_3 می‌توانند تحت تاثیر گازهای محیط قرارگیرند. بر همین اساس سنسورهای هدایتی نیمه هادی‌ها پایه گذاری شد. در میان اکسیدهای فلزی، نیمه هادی SnO_2 از ویژگی‌های مانند طول عمر بیشتری نسبت به سایر هادی‌ها برخوردار است و نسبت به گازهای CO , CO_2 , NO_2 , CH_4 , H_2 و نسبت به سایر هادی‌ها حساس می‌باشد.

۱-۲- حسگرهای Fe_2O_3 , SnO_2 , WO_3

از وقتی سیاما و دستیارانش برای اولین بار استفاده از اکسیدهای نیمه رسانا را برای تعیین گازهای قابل اشتعال مرسوم کردند (سیاما^۳، ۱۹۶۲: ۱۵۲) و تولید اولین حسگرگازی رسوبی تجاری SnO_2 توسط

۱. Dori

۲. Aishima

۳. Seiyama

کارخانهٔ تاگوچی (TGS) صورت پذیرفت (نیتا^۱، ۱۹۷۲: ۹۸۰). SnO_2 به عنوان حسگر گازی محکم به طور گسترده‌ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت (یامازویی^۲، ۱۹۸۳: ۲۸۴).

حسگرهای تاگوچی برمبنای دی اکسید قلع به طور گسترده‌ای برای تعیین اکسیدکردن گازهای کاهنده مورد استفاده قرار گرفت. یک انحراف کوچک خسارات زیادی به این دستگاه‌ها وارد می‌کرد. چندی از نویسندگان تاثیرات انحراف را به تغییرات در کمبود اکسیژن نسبت دادند (گوپل^۳، ۱۹۸۹: ۴۴۲)، (روهلند^۴، ۱۹۸۹: ۹۰)، (کمپ^۵، ۲۰۰۱: ۵۳۸) برخی دیگر به مطالعه‌ی حرکت اکسیژن با استفاده از دو روش متفاوت پرداختند: ۱- تکنیک تشدید کردن آرامش پارامغناطیس ۲- تکنیک آرامش رسانایی (کمپ^۶، ۲۰۰۱: ۵۳۸) آنها به این نتیجه رسیدند که فرایندهای جنبشی انحراف با تغییر سطح واکنش‌های اکسیژن در SnO_2 باعث انتشار شیمیایی اکسیژن می‌شوند. دیگر محققان نظریه‌ای را ارائه دادند که وابستگی حساسیت گاز لایه SnO_2 را بر غلظت لایه و دمای راه اندازی را توصیف می‌کرد. اکسیدهای فلزی دوتایی مانند ZnO_2 , Fe_2O_3 , SnO_2 , TiO_2 ,... از جدیدترین اکسیدهای فلزی احتمالی هستند به علاوه، اکسیدهای بی‌شمار سه تایی، چهارگانه و پیچیده به اصطلاح فلزهای غیر پلیمری نیز وجود دارند. این مواد در حالت‌های خالص و ناخالص تحت بررسی و تولید قرار گرفتند. مثال Ga_2O_3 به خاطر حساسیت آن به کنترل گازهای احتراق پذیر مانند H_2 , CO , CH_4 شناخته شده است (مایکسنر^۶، ۱۹۹۵: ۱۲۲)

۱. Nitta

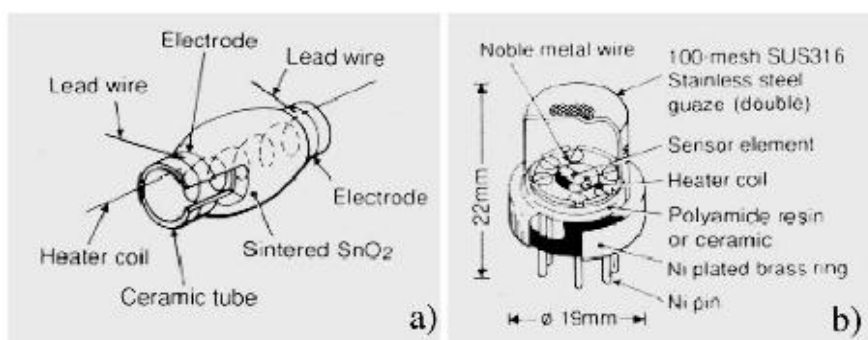
۲. Yamazoe

۳. Gopel

۴. Ruhland

۵. Kamp

۶. Maixner



شکل ۱-۱- a - سنسور ابتدایی تاگوچی b - بسته سنسور تاگوچی (دوری^۱، ۲۰۰۰: ۲۴۳)

یک نمونه گاز بررسی شده ی CH_4 بود که از حساسیت بالایی در دماهای بیش از $800^\circ C$ برخوردار است. در این دماها حساسیت به دیگر گازها قابل اشتعال به صورت چشمگیری پایین است. از اینرو ممکن است Ga_2O_3 بعنوان نمونه انتخابی جهت کنترل CH_4 در دمای بالا مورد استفاده قرار گیرد.

WO_3 , TiO_2 برای تعیین اکسیدهای نیتروژن مورد استفاده قرار گرفت. هرچند، دماهای شروع به کار معمول، اهمیت آنرا تغییر می دهند ولی این کار در ادامه مسیر برای تعدادی از گازها مفید بوده است. برای مثال حساسیت به NO_2 با WO_3 با کاهش دما افزایش می یابد دمای معمول شروع به کار تقریباً $300^\circ C$ می باشد (آکیاما^۲، ۱۹۹۳: ۶۱۹) حساسیت NO_2 در حسگرهای TiO_2 نیز معمولاً به حداکثر $450^\circ C$ می رسد (ساتاکه^۳، ۱۹۹۴: ۱۱۵).

کاهش انتشار NO_x می تواند در طول کاهش کاتالیز انتخابی با NH_3 تحت کنترل قرار گیرد. در مطالعه پیشین (گاردنر^۴، ۱۹۹۰: ۱۶۸) گاردنر و ویلانوا و دستیارانش مدلی را برای رفتار ناپایدار رسانایی الکتریکی در حسگر لایه ضخیم SnO_2 ارائه دادند. (ویلانوا^۵، ۱۹۹۵: ۴۷۵)، (ویلانوا، ۱۹۹۶: ۷۸) آنها دو مدل را پیشنهاد کردند که نشان می داد رفتار ناپایدار حسگر لایه ضخیم SnO_2 که در معرض یک مرحله تغییر تراکم قرار دارد که در صورت انتشار محدود می شود. دیگر مقاله ها روش کمی

۱. Dori

۲. Akiyama

۳. Satake

۴. Gardner

۵. Vilanova

ترکیبات فرار آلی را که از هردو واکنش‌های ناپایدار و ثابت در لایه ضخیم حسگر گازی اکسید قلع استفاده می‌کنند مورد بررسی قرار می‌دهند (لیوبت^۱، ۱۹۹۷: ۹۷۳)، (لیوبت، ۱۹۹۷: ۱۷) ترتیبی از چهار نوع TGS, گزینش ناپذیری، حسگرهای گازی SnO_۲ تکنیک‌های الگو شناختی همگی برای جداسازی و تعیین کمیت یک بخار خاص و ترکیبات دو تایی اتانول، تولوئن و... متحد شده اند.

این سیستم بخار خاصی را با میزان موفقیت و کارایی ۱۰۰٪ و نیز بخاری با میزان کارایی ۹۵٪ شناسایی و کمیت آنرا تعیین کرده و ترکیبات دو تایی را با میزان ۸۰٪ تعیین می‌کند و دیگر موارد بدست آمده در مطالعات آنها نیز با همین عنوان‌های مشابه معرفی شده است.

محققان دیگری ویژگی‌های غیر عادی جریان ولتاژ WO_۳ که در آزمایش‌های صورت گرفته که ارزش زیادی دارد، در حسگرهای اکسیدی SnO_۲ مورد پژوهش قرار می‌دهد (یان^۲، ۱۹۹۱: ۵۰) آنها روشی جدیدی برای یافتن گازهای کاهنده که در ساختار خود لایه حسگر به کار می‌رفت ارائه دادند که این روش بدون استفاده از گرماده اضافی کار می‌کرد. این روش برای کشف گاز اتانول (C_۲H_۵OH) به کار می‌رفت.

حقیقتاً وجود تکنیک‌های رسوبی بیشماری، به بسیاری این اجازه را داد که به مطالعه‌ی چگونگی تاثیر ویژگی حسگر گازی بپردازند. با اتصال یک فعال کننده‌ی فلزی بسیار نازک (Pt, Pd, Au,...) زمان واکنش به کمتر از یک دهم مقدار واقعی آن کاهش می‌یابد که در این بررسی‌ها نشان داده می‌شود هر گازی و هر ماده اصلی که بعنوان سنسور تعریف شده است الکتروسیگنال مخصوص به خود را داشته‌است، هلمیچ و دستیارانش حساسیت میکروماشینی عنصرهای حسگرگازی را که که ۷ گاز معرفی شده است ... C_۲H_۵OH, CH_۴, H_۲, O_۲, CO_۲, CO و تغییرات فشار جزئی اکسیژن را مورد پژوهش قرار دادند. آنها دریافتند که تغییرات در ولتاژ می‌تواند برای شناخت سینماتیک حساسیت مقطعی به طور یکسان عنصرهای حسگر را فراهم آورد و حسگرهای گازی اکسید قلع توسط فرآیند نیمه جامد و نیمه ژلاتین (sol-gel) مهیا شود که توسط رلا و دستیارانش مورد مطالعه قرار گرفت

۱. Liobet

۲. Yun