

به نام خدا

# نانوحگرهای گازی پایه فریت حالت جامد

نویسند:

دکتر حمیدرضا ابراهیمی

عضو هیأت علمی گروه علوم پایه

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مبارکه - مجلد ۱

|                         |                                                                |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|
| سرشناسه                 | ابراهیمی، حمیدرضا، ۱۳۵۴.                                       |
| عنوان و نام پدیدآور     | نانوحسگرهای گازی پایه فریت حالت جامد/نویسنده حمیدرضا ابراهیمی. |
| مشخصات نشر              | اصفهان: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر مجلسی، ۱۳۹۹.             |
| مشخصات ظاهری            | ۱۶۰ ص.                                                         |
| شابک                    | ۳۵۰۰۰ ریال ۵-۶۱۷۵-۱۰-۹۶۴-۹۷۸                                   |
| وضعیت فهرست نویسی: فیبا |                                                                |
| موضوع                   | آشکارسازهای گازی.                                              |
| موضوع                   | Gas detectors :                                                |
| شناسه افزوده            | دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر مجلسی                            |
| شناسه افزوده            | Islamic Azad University. Majlesi Branch :                      |
| رده‌بندی کنگره          | TP۷۵۴ :                                                        |
| رده‌بندی دی‌سی          | ۶۸۱/۲ :                                                        |
| شماره کتبشناسی ملی      | ۶۱۶۷۲۹۹ :                                                      |



نانوحسگرهای گازی پایه فریت حالت جامد

نویسنده: حمیدرضا ابراهیمی

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، شهر مجلسی

مدیر تولید و ناظر فنی: حمید ناظمی

نوبت چاپ: اول / بهار ۱۳۹۹

قطع: وزیری / ۱۶۰ صفحه / مصور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۳۵۰۰۰ تومان

شابک: ۵-۶۱۷۵-۱۰-۹۶۴-۹۷۸

مرکز پخش: ۰۳۱۵۲۴۱۰۱۶۸

## فهرست

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول: اصول عملکرد نانوحسگرهای گازی حالت جامد .....                    | ۱  |
| ۱-۱ مقدمه .....                                                          | ۱  |
| ۲-۱ ساختار کلی یک نانوحساسه .....                                        | ۲  |
| ۳-۱ اصول عملکرد نانوحساسه حالت جامد .....                                | ۲  |
| ۴-۱ خصوصیات نانوحساسه ها .....                                           | ۲  |
| ۵-۱ دسته بندی نانوحساسه ها .....                                         | ۳  |
| ۶-۱ انواع نانوحساسه های گاز .....                                        | ۴  |
| ۷-۱ معرفی بازارهای مهم در نانوحساسه ها .....                             | ۵  |
| ۸-۱ نانوحساسه .....                                                      | ۶  |
| ۹-۱ انواع نانوحساسه ها .....                                             | ۶  |
| ۹-۱-۱ حساسه های شیمیایی .....                                            | ۷  |
| ۹-۲-۱ حساسه های سنتزی .....                                              | ۷  |
| ۹-۳-۱ حساسه ها با استفاده از نانوسیم ها نیمه هادی برای تعیین عناصر ..... | ۷  |
| ۹-۴-۱ نانولوله های کربنی و نانوسیم ها برای شناسایی باکتری و ویروس .....  | ۸  |
| ۹-۵-۱ نانوحساسه های مولکولی مکانیکی .....                                | ۸  |
| ۱۰-۱ نحوه عملکرد حسگرهای اکسید فلزی .....                                | ۱۰ |
| ۱۱-۱ سازوکار آشکارسازی گاز در حسگرهای اکسید فلزی .....                   | ۱۱ |
| ۱۲-۱ مشخصات مهم یک حسگر گاز .....                                        | ۱۴ |
| ۱۳-۱ مدل الکتریکی حسگر .....                                             | ۱۹ |
| ۱۴-۱ نقش افزودنی در حس کنندگی گاز .....                                  | ۲۰ |
| فصل دوم: نحوه ساخت نانوحسگرهای گازی پایه فریت حالت جامد .....            | ۲۵ |
| ۱-۲ مقدمه .....                                                          | ۲۵ |

|         |                                                       |    |
|---------|-------------------------------------------------------|----|
| ۲-۲     | روش ساخته ماده حساس حسگر                              | ۲۵ |
| ۱-۲-۲   | ساخت نانوذرات فریت به عنوان ماده حساس به روش هم رسوبی | ۲۶ |
| ۲-۲-۲   | سامانه الکترونیکی حسگر تک حساسه                       | ۲۷ |
| ۳-۲-۲   | سامانه الکترونیکی حسگر چند حساسه (۷ حسگر هم زمان)     | ۲۹ |
| ۱-۳-۲-۲ | محفظه تزریق نمونه                                     | ۳۰ |
| ۲-۳-۲-۲ | محفظه قرارگیری حساسه ها                               | ۳۱ |
| ۳-۳-۲-۲ | محفظه کنترل کننده دما                                 | ۳۱ |
| ۴-۳-۲-۲ | محفظه مدار الکترونیکی                                 | ۳۲ |
| ۵-۳-۲-۲ | نرم افزار سیستم حساسه                                 | ۳۴ |
| ۶-۳-۲-۲ | روش کار سیستم حساسه                                   | ۳۵ |

## فصل سوم: کاربردهای نانوحسگرهای گازی پایه فریت حالت جامد..... ۳۷

|         |                                                                               |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| ۱-۳     | مقدمه                                                                         | ۳۷ |
| ۲-۳     | ساخت گونه های فریت مختلف با ترکیب های متفاوت                                  | ۳۸ |
| ۳-۳     | پاسخ نانوحساسه ها به گونه های گازی مختلف                                      | ۳۸ |
| ۱-۳-۳   | پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ به گونه های گازی مختلف | ۳۸ |
| ۱-۱-۳-۳ | بررسی حسایت پذیری نانوحسگر در برابر اتان                                      | ۳۹ |
| ۲-۱-۳-۳ | بررسی حسایت پذیری نانوحسگر در برابر متانل                                     | ۴۰ |
| ۳-۱-۳-۳ | بررسی حسایت پذیری نانوحسگر در برابر استن                                      | ۴۱ |
| ۴-۱-۳-۳ | بررسی حسایت پذیری نانوحسگر در برابر کلروفرم                                   | ۴۳ |
| ۵-۱-۳-۳ | بررسی حسایت پذیری نانوحسگر در برابر گاز متان                                  | ۴۵ |
| ۶-۱-۳-۳ | بررسی حسایت پذیری نانوحسگر در برابر استونیتریل                                | ۴۶ |
| ۲-۳-۳   | پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $Mn_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ به گونه های گازی مختلف | ۴۹ |
| ۳-۳-۳   | پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ به گونه های گازی مختلف | ۵۰ |
| ۴-۳-۳   | پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $ZnFe_2O_4$ به گونه های گازی مختلف               | ۵۳ |

- ۵۳-۳-۵ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Ni}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۵۴.
- ۵۴-۳-۶ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Zn}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۵۹.
- ۵۵-۳-۷ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۵۹.
- ۵۶-۳-۸ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۰.
- ۵۷-۳-۹ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Zn}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۱.
- ۵۸-۳-۱۰ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Mg}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۲.
- ۵۹-۳-۱۱ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۴.
- ۶۰-۳-۱۲ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Cd}_{0.1}\text{Mn}_{0.4}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۵.
- ۶۱-۳-۱۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Mg}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  (Cd Doped) به گونه‌های گازی مختلف ۶۶.
- ۶۲-۳-۱۴ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Cd}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۶.
- ۶۳-۳-۱۵ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Mn}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۷.
- ۶۴-۳-۱۶ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Co}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  به گونه‌های گازی مختلف ۶۸.
- ۶۵-۳-۱۷ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  (Cd Doped) به گونه‌های گازی مختلف ۶۹.
- ۶۶-۳-۱۸ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  (Cd Doped) به گونه‌های گازی مختلف ۷۰.
- ۶۷-۳-۱۹ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Cu}_1\text{Fe}_2\text{O}_4$  (Cd Doped) به گونه‌های گازی مختلف ۷۱.
- ۶۸-۳-۲۰ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  (Cd Doped) به گونه‌های گازی مختلف ۷۲.
- ۶۹-۳-۲۱ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات  $\text{Mn}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  (Cd Doped) به گونه‌های گازی مختلف ۷۴.

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ۲۲-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Cd}_{0.1} \text{Ni}_{0.45} \text{Mn}_{0.45} \text{Fe}_2 \text{O}_4$ به گونه‌های گازی مختلف | ۷۵  |
| ۲۳-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Zn}_{0.5} \text{Mg}_{0.5} \text{Fe}_2 \text{O}_4(\text{Cd Doped})$ به گونه‌های گازی مختلف  | ۷۶  |
| ۲۴-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Ni}_{0.5} \text{Cu}_{0.5} \text{Fe}_2 \text{O}_4(\text{Cd Doped})$ به گونه‌های گازی مختلف  | ۷۸  |
| ۲۵-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Mg}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{Fe}_2 \text{O}_4(\text{Cd Doped})$ به گونه‌های گازی مختلف  | ۸۳  |
| ۲۶-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Mg}_{0.5} \text{Cu}_{0.5} \text{Fe}_2 \text{O}_4(\text{Pb Doped})$ به گونه‌های گازی مختلف  | ۸۴  |
| ۲۷-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Cd}_{0.5} \text{Cu}_{0.5} \text{Fe}_2 \text{O}_4(\text{Pb Doped})$ به گونه‌های گازی مختلف  | ۸۶  |
| ۲۸-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Mg}_{0.5} \text{Co}_{0.5} \text{Fe}_2 \text{O}_4(\text{Pb Doped})$ به گونه‌های گازی مختلف  | ۸۷  |
| ۲۹-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{NiFe}_2 \text{O}_4(\text{Pb Doped})$ به گونه‌های گازی مختلف                                | ۸۹  |
| ۳۰-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{Mg}_{0.5} \text{Cd}_{0.5} \text{Fe}_2 \text{O}_4$ به گونه‌های گازی مختلف                   | ۸۹  |
| ۳۱-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات $\text{NiFe}_2 \text{O}_4$ تولید شده در شرایط مختلف دمایی و اتمسفر عملیات حرارتی                  | ۹۱  |
| ۱-۳۱-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات نیکل فریت $\text{NiFe}_2 \text{O}_4$ به آمونیاک                                                 | ۹۲  |
| ۲-۳۱-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات نیکل فریت $\text{NiFe}_2 \text{O}_4$ به فرمالدئید                                               | ۱۰۷ |
| ۳-۳۱-۳-۳ پاسخ حساسه بر مبنای نانوذرات کامپوزیت مخلوط نیکل کادمیم فریت-کادمیم اکسید/نیکل اکسید به فرمالدئید                            | ۱۱۹ |

به نام او که جان را فکرت آموخت. خداوند را شاکرم که به بنده توفیق نوشتن کتاب حاضر را عطا فرمود. این کتاب حاصل پژوهش تیم تحقیقاتی بنده از سال ۱۳۸۴ تاکنون است. در این مدت ۴۰ پایان نامه کارشناسی ارشد و یک پایان نامه دکتری در زمینه نانوحسگرهای گازی حالت جامد توسط دانشجویان بنده به اتمام رسیده است. در حال حاضر نیز با ادامه این روند تحقیقاتی توسط دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری جدید، به دنبال تکمیل روند تحقیقات گذشته در زمینه نانوحسگرهای گازی هستم.

کار تیم تحقیقاتی بنده با ساخت سامانه نانوحسگر تک حسگر در سال ۱۳۸۵ شروع گردید. پس از انجام تست‌های حسگری متعدد متوجه یک نقص در سامانه اندازه‌گیری شدیم. مسأله این بود که امکان اندازه‌گیری هم‌زمان چند نانوحسگر در برابر یک گونه گازی وجود نداشت. از این رو، در سال ۱۳۹۰ سامانه حسگری سیزدهم هم‌زمان هفت حسگر به طور هم‌زمان، با همکاری دو نفر دانشجوی مکترونیک راه‌اندازی شد، که تاکنون نتایج کارآمد و مفیدی از سیستم مذکور استخراج شده است. حسن سیستم مذکور اندازه‌گیری خواص حسگری هم‌زمان هفت نانوحسگر و امکان مقایسه خروجی سیستم برای نانوحسگرهای مختلف است. در حال حاضر نیز اصلاحاتی در قالب دو پروژه دکتری و تعدادی پروژه کارشناسی ارشد در حال انجام است که امیدوارم افزایش قابل ملاحظه‌ای در بازدهی سیستم مذکور ایجاد کند. نتایج آن در سال‌های آینده انتشار یابد و مورد استفاده جامعه علمی قرار گیرد.

در پایان از همه پژوهشگرانی که به این زمینه تحقیقاتی علاقه مند هستند، تقاضا می‌کنم اینجانب را از پیشنهاد‌های سازنده خود در جهت اصلاح و پیشبرد کارایی سیستم مذکور بهره‌مند سازند.

دکتر حمیدرضا ابراهیمی

دانشیار شیمی معدنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه - مجلسی، مهر ۱۳۹۰

hebrahimi2010@gmail.com