

УДК 543.26

Исследование чувствительных слоев на основе оксида индия, синтезированного с применением органических добавок

Мияссарова Альбина Фаритовна^{1(*)}

miassarowa.albina@yandex.ru

Иким Мария Ильинична²¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² ФИЦ ХФ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Гидротермальным методом с введением в реакционную смесь органических добавок получены нанопорошки оксида индия. Установлено, что введение мочевины и глицина при синтезе приводит к уменьшению размера частиц, что может быть связано с их стабилизирующим и структурообразующим действием. Оксид индия In_2O_3 , синтезированный с применением глицина показал улучшенную чувствительность к 100 ppm водорода H_2 с быстрым временем отклика и восстановления по сравнению с другими образцами.

Ключевые слова: оксид индия, гидротермальный метод, водород, сенсорный отклик, проводимость, сенсор

Study of sensitive layers based on indium oxide synthesized using organic additives

Miyassarova Albina Faritovna^{1(*)}

miassarowa.albina@yandex.ru

Ikim Mariya Ilinichna²¹ BMSTU, Moscow, Russia² FRCCP RAS, Moscow, Russia

Abstract. Indium oxide nanopowders were obtained by hydrothermal method with introduction of organic additives into the reaction mixture. It was found that introduction of urea and glycine during synthesis leads to decrease in particle size, which may be due to their stabilizing and structure-forming effect. Indium oxide In_2O_3 synthesized using glycine showed improved sensitivity to 100 ppm hydrogen H_2 with fast response and recovery time compared to other samples.

Keywords: indium oxide, hydrothermal method, hydrogen, sensor response, conductivity, sensor

Введение. Сенсоры на основе металлооксидных полупроводников используются для обнаружения токсичных, взрывоопасных газов из-за их простоты приготовления, относительно низкой стоимости и низкого предела обнаружения целевых газов [1]. In_2O_3 исследуется в качестве материала для сенсоров благодаря своей высокой концентрации и подвижности электронов проводимости, высокой термической стабильности [2]. Работа металлоксидных

газовых сенсоров основана на обратимой хемосорбции молекул анализируемого газа на поверхности оксида металла, что приводит к изменению его проводимости [3, 4]. Поэтому морфология поверхности может оказывать значительное влияние на сенсорные характеристики при детектировании различных газов. В связи с этим актуально рассмотреть возможность улучшения газочувствительных свойств путем изменения структурных характеристик через подбор методики синтеза материала.

Методы и материалы; результаты. Оксид индия получали гидротермальным методом (200 °С, 3 ч) из водного раствора нитрата индия $\text{In}(\text{NO}_3)_3$ с последующим центрифугированием полученного осадка, сушкой (90 °С) и отжигом (500 °С, 2 ч). Аналогично проводили гидротермальный синтез с применением органических добавок, внося в раствор нитрата индия мочевины или глицин. Структура полученных образцов охарактеризована методами рентгеновской дифракции и низкотемпературной адсорбции азота. Проводимость и отклик сенсорных пленок на основе оксида индия исследованы в диапазоне температур от 280 до 520 °С при детектировании 100 ppm H_2 .

Обсуждение. Методом рентгенофазового анализа было показано, что все синтезированные образцы независимо от состава добавки имеют кубическую структуру оксида индия. Применение органических добавок в процессе синтеза приводит к уменьшению размера частиц In_2O_3 от 39 нм до 19 нм. Этот эффект может быть объяснен тем, что во время формирования наночастиц оксида индия существует отталкивающая сила между молекулами органической кислоты (глицина) и ионами металла, образующими комплекс, что препятствует агрегации ионов металла и приводит к хорошо диспергированным частицам [5]. При гидротермальных условиях мочевины гидролизуются с образованием ионов OH^- , которые обеспечивают щелочную среду, что приводит к медленной нуклеации $\text{In}(\text{OH})_3$ (промежуточная фаза), и тем самым подавляется неконтролируемый рост частиц [6].

При исследовании свойств полученных образцов при детектировании 100 ppm водорода установлено, что уменьшение размера частиц способствует увеличению величины отклика и снижению рабочей температуры. Эти результаты согласуются с моделью, согласно которой уменьшение размера частиц увеличивает удельную поверхность, что выгодно для диффузии газа и массопереноса в материалах, а также обеспечивает больше активных участков для реакции между хемосорбированными ионами кислорода и водородом [7].

Заключение. Были синтезированы нанопорошки In_2O_3 , с использованием глицина или мочевины в качестве структурообразующего агента. Включение в синтез исследуемых добавок приводит к уменьшению среднего размера кристаллитов оксида индия, что положительно отражается на сенсорных свойствах. Улучшенные сенсорные характеристики можно объяснить увеличением числа активных центров на поверхности, большей удельной площадью поверхности и повышенной концентрацией поверхностных электронов. Эти результаты подчеркивают перспективность использования органических

добавок для оптимизации газочувствительных свойств наноматериалов и представляют интерес для дальнейших исследований в этой области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Saruhan B., Lontio Fomekong R., Nahirniak S. Influences of semiconductor metal oxide properties on gas sensing characteristics. *Frontiers in Sensors*, 2021, vol. 2, art. no. 657931. <https://doi.org/10.3389/fsens.2021.657931>
- [2] Ikim M.I., Gerasimov G.N., Gromov V.F., Ilegbusi O.J., Trakhtenberg L.I. Synthesis, structural and sensor properties of nanosized mixed oxides based on In_2O_3 particles. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, no 2, art. no. 1570. <https://doi.org/10.3390/ijms24021570>
- [3] Barsan N., Weimar U.D.O. Conduction model of metal oxide gas sensors. *Journal of electroceramics*, 2001, vol. 7, pp. 143–167. <https://doi.org/10.1023/A:1014405811371>
- [4] Chen C., Wei Y., Chen D., Jiao X. Indium oxide nanocrystals: capping-agent-free synthesis, size-control mechanism, and high gas-sensing performance. *Materials Chemistry and Physics*, 2011, vol. 125, no 1–2, pp. 299–304. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.09.042>
- [5] Fang Z., Ying Z., Zhong Y., Zheng X., Sheng W. Development of a rapid NO_2 gas sensor based on SnO_2 nanoparticles synthesized with glycine. *Microchemical Journal*, 2024, vol. 206, art. no. 111452. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.111452>
- [6] Xue D., Zhang S., Zhang Z. Hydrothermal synthesis of methane sensitive porous In_2O_3 nanosheets. *Materials Letters*, 2019, vol. 252, pp. 169–172. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.05.125>
- [7] Zhang S., Song P., Yang Z., Wang Q. Facile hydrothermal synthesis of mesoporous In_2O_3 nanoparticles with superior formaldehyde-sensing properties. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 2018, vol. 97, pp. 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2017.10.020>