

улучшенные массогабаритных показателей систем измерения мощности за счет отсутствия ответвителя и ослабителя сигнала.

Список использованных источников

1. Щербак А.В., Курганская Л.В., Голубева Д.Ю. Быстродействующие преобразователи СВЧ-мощности на основе радиоэлектрического эффекта / Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2017, т. 20, № 1, С. 124.

УДК 681.586.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ WS_2 И MOS_2 , СИНТЕЗИРОВАННЫХ В СМЕСИ АЦЕТОНИТРИЛ/ВОДА

А.С. Горшкова, К.Н. Тукмаков, А.Р. Рымжина, Н. Трипати,
В.С. Павельев

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева», г. Самара

В данной статье описывается исследование чувствительности газовых сенсоров на основе двумерных материалов - WS_2 и MoS_2 , синтезированных в смеси ацетонитрил/вода с последующим центрифугированием. Преимущество данной технологии жидкостного синтеза заключается в ускорении процесса синтеза, однако требует дополнительной промывки для последующего проведения процесса нанесения частиц [1, 2].

Так, синтез проводился следующим образом: 1 мг неотшелушенных частиц были добавлены в 15 мл ацетонитрила и 5 мл воды, затем раствор был подвержен ультразвуковой обработке в течение 6 часов. Далее проводилось центрифугирование раствора на 3500 rpm в течение 20 минут, после чего были взяты верхние фракции растворов. Затем для проведения процесса диэлектрофореза наночастицы были промыты от воды на максимальных оборотах центрифуги с последующим добавлением изопропанола.

Также была проведена предварительная оценка необходимого количества добавленной воды для ускорения процесса отшелушивания, результат оценивался визуально по цвету раствора после обработки в ультразвуковой ванне - присутствие насыщенного желтого цвета является косвенным свидетельством успешного протекания синтеза. Так, были сравнены колбы с ацетонитрилом, ацетонитрилом и водой в соотношении 15мл/5мл и 10мл/10мл соответственно. Было отмечено, что для ускорения процесса отшелушивания достаточно небольшого количества воды.

Электроды для газовых сенсоров были изготовлены на основе стандартного литографического процесса на оксидированной кремниевой подложке, материал электродов - алюминий. Затем на поверхность

электродов были нанесены двумерные частицы с помощью процесса диэлектрофореза. Параметры процесса - 10 Vpp, 900 кГц - 1 МГц, форма сигнала – меандр, время выдержки порядка 2 минут. Нанесенные таким образом частицы показаны на рисунке 1.

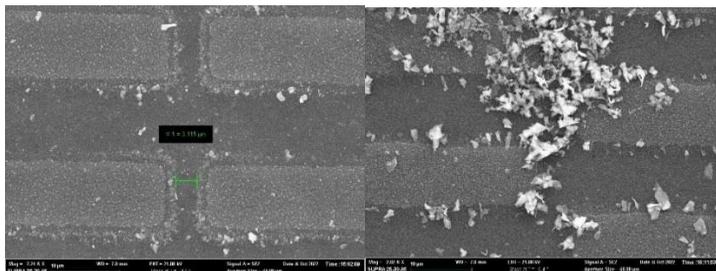


Рисунок 1 – Фотографии электродов с нанесенными частицами WS_2 , выполненные с помощью сканирующей электронной микроскопии

Для исследования отклика образцы были проверены в диапазоне концентраций 20-140 ppm для газа NO_2 и для газа NH_3 .

На газ NO_2 как газ-окислитель (являющийся донором электронов) сенсоры на вышеуказанных двумерных материалах реагируют снижением сопротивления. На газ NH_3 как газ-восстановитель (являющийся акцептором электронов) исследуемые сенсоры реагируют повышением сопротивления.

Для каждой концентрации был вычислен отклик, выражающийся как отношение разницы сопротивлений до/после воздействия газа к исходному значению сопротивления.

Графики изменения сопротивления и отклика сенсора на основе WS_2 для концентрации 20 ppm газа NO_2 показаны на рисунке 2.

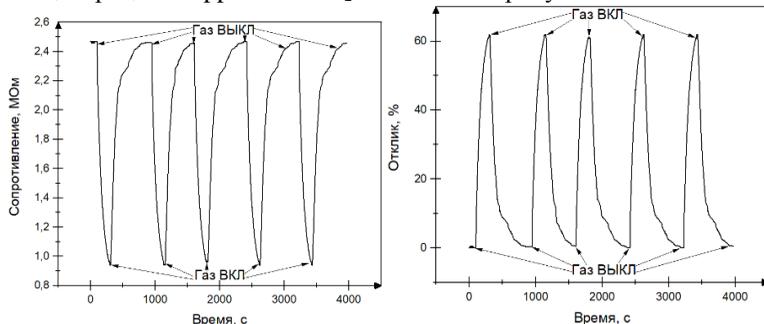


Рисунок 2 – Зависимость сопротивления и отклика сенсора на WS_2 по времени от подачи газа NO_2 20 ppm

Восстановление данных сенсоров происходило полностью при комнатной температуре без применения УФ-лампы и составляло от 15 до 30 минут в зависимости от концентрации газа NO_2 .

Для сравнения были приведены результаты исследования образца, выполненного с помощью капельного нанесения. Подробные показания откликов сенсоров приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследования газовых сенсоров на основе WS₂ (отклик)

	Диэлектрофорез	Капельное нанесение
20 ppm	60 %	6 %
70 ppm	43 %	20 %
100 ppm	90 %	-
140 ppm	70 %	30 %

Графики изменения сопротивления и отклика сенсора на основе MoS₂ для концентрации 20 ppm показаны на рисунке 3. Подробные показания откликов сенсоров приведены в таблице 2.

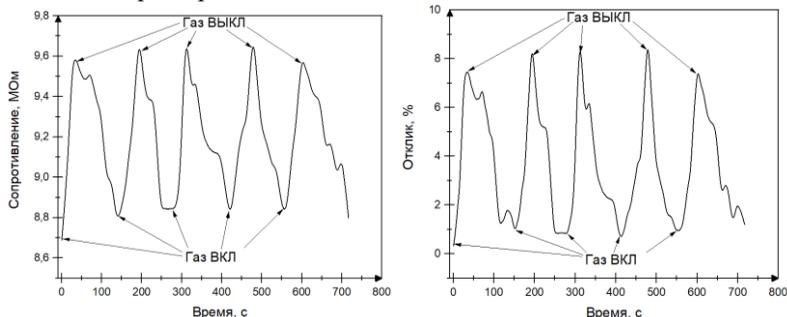


Рисунок 3 – Зависимость сопротивления и отклика сенсора на MoS₂ по времени от подачи газа NH₃ 10 ppm

Таблица 2 - Результаты исследования газовых сенсоров на MoS₂

Концентрация газа NH ₃	10 ppm	70 ppm	100 ppm
Отклик	8%	10%	30%

Таким образом, применение данной технологии показывает возможность создания газовых сенсоров, обладающих высоким уровнем отклика при сокращенном времени синтеза наночастиц.

Список использованных источников

1. Saliba, M. Molybdenum disulfide, exfoliation methods and applications to photocatalysis: a review [Текст] / M. Saliba, J. P. Atanas, T. M. Howayek, R. Habchi // *Nanoscale Adv.* - 2023. - №5. - С. 6787-6803.
2. Dai, Y. Liquid Exfoliation and Electrochemical Properties of WS₂ Nanosheets [Текст] / Y. Dai, L.-L. Wei, M. Chen, J.-J. Wang, J. Ren, Q. Wang, X.-H. Yan // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology.* - 2018. - № 18, 5. - С. 3165–3170.