СВОЙСТВА СЛОЕВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА МОЛИБДЕНА ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ ДАТЧИКОВ

Д.М.Ташланова, А.И.Зокиров
Независимый исследователь из Ферганского государственного университета.

Аннотация

При разработке газовых датчиков крайне важен выбор подходящего газочувствительного материала. В настоящее время большой интерес представляет разработка новых газочувствительных слоев на основе оксида молибдена MoO3 и улучшение их сенсорных характеристик. Были изучены химический состав и рентгеноструктурный анализ слоёв выращенных на металлической подложке из чистого Mo но на поверхности также наблюдаются адсорбированные гидроксильные группы. Анализ сенсорных свойств полученных слоёв триоксида молибдена MoO3 показал, что чувствительность при 250 и 150 °C составляет 13,3 и 5,5 соответственно. Установлено, что слои MoO3, синтезированные методом магнетронного ионного распыления на основе проявляют чувствительность к парам изопропилового спирта даже при 150 °C.

Ключевые слова: *оксид молибдена, магнетронного ионного распыления, газовый сенсор, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, поверхность.*

ВВЕДЕНИЕ

Газовые датчики на основе оксидов металлов, обладающих полупроводниковыми свойствами, отличаются своей надежностью и имеют такие преимущества, как дешевизна, простота изготовления, компактные размеры, высокий отклик и быстродействие, малое энергопотребление, а также применимость для обнаружения большого числа газообразных веществ.

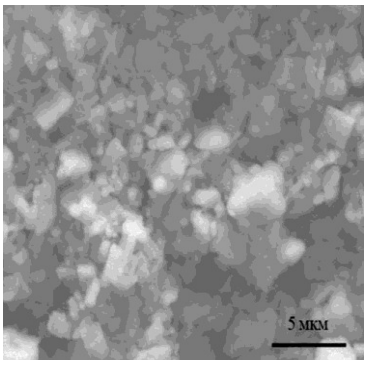
На сегодняшний день газоанализаторы находят широкое применение в сенсорике для выявления наличия горючих и токсичных газообразных веществ. Они также могут быть востребованы, например, в промышленности для обеспечения безопасности персонала. Другой перспективной областью применения газоанализаторов является медицина, в частности диагностика заболеваний и оценка эффективности терапии согласно анализу выдыхаемого воздуха. При этом важная задача – выбор подходящего материала для чувствительного элемента газового датчика.

Наночастицы оксида молибдена MoO3 имеют высокую реакционную способность и высокую долговременную стабильность. Разработан датчик для обнаружения триметиламина на основе иерархического MoO3 [1], работающий при температуре 250 °C с пределом обнаружения 0,5 ppm и откликом, равным 416. В работе [2] описан сенсор на основе наностержней MoO3 для обнаружения диоксида азота NO2 при температуре 290 °C, проявляющий отклик к данному газу, равный 105. Проведенные авторами работы [3] расчеты из первых принципов показали возможность использования MoO3 для обнаружения водорода при комнатной температуре. Также показана эффективность различных гибридных материалов на основе оксида молибдена, например пористый кремний – MoO3

[4], гетероструктуры Fe2O3-MoO3 [5], MoO3 – восстановленный оксид графена [6]. Несмотря на описанные в литературе результаты, газочувствительные свойства наноструктурированного MoO3 по сравнению с другими оксидными наноматериалами исследованы меньше. Анализ литературных источников показал, что большинство описанных датчиков на основе MoO3 работает при высоких температурах. Актуальной задачей является разработка газочувствительных слоев, способных детектировать восстанавливающие газы при температурах менее 200 °C.

Цель настоящей работы – разработка газочувствительных слоев MoO3 и исследование их сенсорных свойств к парам изопропилового спирта.

Эксперимент. Слои MoO3 получены методом магнетронного ионного распыления [7,8]. Элементный состав поверхности образца анализировали методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) . Эксперименты проводили с использованием излучения Al-Kα (энергия фотонов равна 1486,6 эВ). Газочувствительные свойства (отклик, время отклика и восстановления) полученного образца исследовали при воздействии паров изопропилового спирта и варьировании рабочей температуры (150, 200 и 250 °C). Значение сенсорного отклика слоёв MoO3 рассчитывали как отношение сопротивления слоя в атмосфере воздуха к соответствующему значению при наличии целевого газа. Время отклика оценивали как временной интервал, в течение которого изменение сопротивления достигало 90 % от итогового значения при подаче целевого газа, а время восстановления – как временной интервал, в течение которого сопротивление достигало 90 % от своего первоначального значения на воздухе



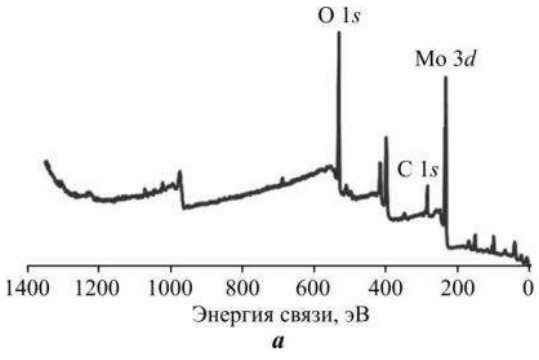


Рис. 1. РЭМ-изображение слоя MoO3 **Рис. 2. РФЭС-спектры слоя MoO3**

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлены результаты исследования морфологии поверхности газочувствительного слоя на основе MoO3. Анализ топологии образца с помощью растровой электронной микроскопии подтверждает наличие в нем нанокристаллов с размерами 0,5–2 мкм и толщиной 100–500 нм.

На рис. 2, а представлены результаты исследования состава поверхности слоя MoO3 методом РФЭС. На РФЭС-спектре наблюдаются пики,

соответствующие молибдену, ки-слороду и адсорбированному на поверхности углероду. Анализ методом РФЭС позволяет определить особенности химической связи и окружение поверхностных атомов.Измерения сенсорного отклика отожженного газочувствительного слоя MoO3 к парамизопропилового спирта с концентрацией 1000 ppm при различных рабочих температурах показали, что отклик при температуре 150 °C составляет 5,5. С ростом рабочей температуры до 200 °C отклик остается почти неизменным. Максимальное время отклика наблюдается при температуре 250 °C и составляет 330 с, а самый быстрый отклик к парам изопропилового спирта с концентрацией 1000 ppm проявляется при температуре 200 °C и составляет 120 с. Рабочая температура почти не влияет на время восстановления. При температурах 250 и 200 °C время Таким образом, установлено, что разработанный газочувствительный слой на основе MoO3 имеет высокий сенсорный отклик при температуре 150 °C.восстановления составляет 500 с, при 150 °C – 470 с.

Заключение. Сравнение полученных результатов с результатами других авторов по исследованию свойств датчиков на основе MoO3 показало, что большинство извест-ных датчиков для детектирования восстанавливающих газов работает при температу-рах выше 250 °C [1, 2]. Достигнутое в настоящей работе значение отклика к парам изо-пропилового спирта уже при температуре 150 °C не уступает известным результатам. При этом более низкая рабочая температура обеспечивает меньшее энергопотребление, а также лучшую долговременную стабильность из-за меньшего эффекта деградации структуры при длительном нахождении материала при повышенной температуре. Практический интерес представляют дальнейшие исследования, направленные на снижение рабочей температуры и улучшение сенсорных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Construction of three-dimensional flower-like α-MoO3 with hierarchical structure for highly selective triethylamine sensor / L.-L. Sui, Y.-M. Xu, X.-F. Zhang et al. // Sensors and Actuators B. 2015. Vol. 208.

P. 406–414. https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.10.138

2. Ultrasonic synthesis of MoO3 nanorods and their gas sensing properties / S. Bai, S. Chen, L. Chen et al. // Sensors and Actuators B. 2012. Vol. 174. P. 51–58. https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.08.015

3. Xu K., Liao N., Xue W., Zhou H. First principles investigation on MoO3 as room temperature and high temperature hydrogen gas sensor // Int. J. Hydrog. Energy. 2020. Vol. 45. Iss. 15. P. 9252–9259. https://doi.org/ 10.1016/j.ijhydene.2020.01.065

4. Porous silicon/α-MoO3 nanohybrid based fast and highly sensitive CO2 gas sensors / T. Thomas,

Y. Kumar, J. A. R. Ramón et al. // Vacuum. Vol. 184. Art. ID: 109983. https://doi.org/10.1016/ j.vacuum.2020.109983

5. A fast response ppb-level aniline gas sensor based on hierarchical hollow spheres of α-Fe2O3/α-MoO3 heterostructure / L. Sui, W. Zhang, P. Wang et al. // Sensors and Actuators B. 2021. Vol. 346. Art. ID: 130519. https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130519

6. Музафарова С.А, Хусанов З.М., Ташланова Д.М., Методы получения плёночных структур оксида молибдена, № DGU 64911.

7. Утамурадова Ш.Б., Музафарова С.А, Хусанов, Есбергенова А.С., Ташланова Д.М., № DGU 63077

8. S.A. Muzafarova, K.E. Onarkulov, D.M. Tashlanova Physical properties of molybdenum and its oxides in film formation, Science and innovation international scientific journal volume 5 issue 4 april 2026 ISSN: 2181-3337 | SCIENTISTS.UZ, PP 30-37. https://doi.org/10.5281/zenodo.19703632

G‘ulomjanova Sevaraxon G‘ofurjon qizi

19 THE INVERSE-SOURCE PROBLEM FOR MIXED-TYPE EQUATIONS
Murolimova N.A. **99**

20 INVERSE COEFFICIENT PROBLEM FOR A DEGENERATE PARABOLIC EQUATION WITH THE BESSEL OPERATOR
Kodiraliev Asadbek **102**

21 A BOUNDARY-VALUE PROBLEM FOR A COUPLED SECOND KIND DEGENERATE HYPERBOLIC EQUATIONS
Feruza Mamanazarova **106**

22 YUPQA PARDALAR TENZOQARSHILIGIGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR TAHLILI
To‘xtasinov Oybekjon Abduvahob o‘g‘li **110**

23 YARIMO‘TKAZGICHLAR VA IOT (INTERNET OF THINGS): RAQAMLI DUNYO TARMOG‘INING RIVOJI
To‘xtasinov Oybekjon Abduvahob o‘g‘li **113**

24 СВОЙСТВА СЛОЕВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА МОЛИБДЕНА ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ ДАТЧИКОВ
Д.М.Ташланова
А.И.Зокиров **115**

25 FARG‘ONA VODIYSI IQLIM SHAROITIDA QUYOSH PANELLARI ISHLASH SAMARADORLIGIGA TA'SIR ETUVCHI ASOSIY OMILLARNING KOMPLEKS TAHLILI
Axmedova Shalola Yunusali qizi
Kamolova Muhabbatxon Muhiddin qizi
Holmatova Ruhshona **119**

26 TOR TEBRANISH TENGLAMASI UCHUN INTEGRAL SHARTLI MASALA
Jo‘rayeva Dilnavoz Umidjon qizi **126**

27 BESSEL OPERATORI QATNASHGAN ITERATSIYALANGAN ISSIQLIK TENGLAMALARINI TADQIQ ETISH
Raximova Sh.U. **129**

28 KUCHSIZ-SINGULYAR INTEGRAL OPERATORLAR UCHUN SHARTLANGAN ITERATSION METODLARNI TADQIQ QILISH
Raximov Quvvatali Ortiqovich **131**