ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/289

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУР МУНТ/ ZnO И МУНТ/ $\text{ZnO}/\text{In}_2\text{O}_3$

Болотов В.В., Стенькин Ю.А., Соколов Д.В., Росликов В.Е., Князев Е.В., Ивлев К.Е.
Омский научный центр СО РАН, Омск.

Различные исследования структур на основе МУНТ показали перспективность использования данных материалов в различных областях [1]. Слои МУНТ обладают чрезвычайно развитой поверхностью. Такие структуры, покрытые окислами переходных металлов, могут служить в качестве чувствительных газовых сенсоров с быстрым откликом в различных средах [2]. Очень интересны индивидуальные МУНТ, модифицированные оксидами металлов. Они позволяют использовать их в качестве элементов наноэлектроники. В качестве оксида металла, как компонента наноструктур, можно использовать оксид цинка. Введение ZnO может привести к повышению газовой чувствительности наноструктур. В данной работе представлены результаты исследования морфологии, структуры и газочувствительных свойств наноструктур МУНТ/ ZnO , МУНТ/ $\text{ZnO}/\text{In}_2\text{O}_3$.

Слои МУНТ выращивались методом CVD при пиролизе ацетонитрила на наночастицах металлического никеля в потоке аргона при 800°C . Получение наноструктур МУНТ/ ZnO и МУНТ/ $\text{ZnO}/\text{In}_2\text{O}_3$ проводилось в четыре этапа: очистка от примесей и аморфной фазы, пропитка растворами солей цинка и индия, термическая обработка при температуре 700°C в вакууме и в потоке аргона в течение 1 часа. Морфология композитных слоев исследовались с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) JEOL JSM-6610 LV, данные об элементном составе образцов были получены с помощью энергодисперсионного анализатора Inca-X-act. Сопротивления слоев оксидов и индивидуальных МУНТ, при адсорбции газов, измерялись цифровым прибором AM-1038 в газовой ячейке, в потоке сухого азота (влажность $\leq 5\%$, скорость 0.5 мл/сек). Определение газового отклика полученных наноструктур проводилось путем оценки изменения их сопротивления при воздействии следующих газов: диоксид азота (NO_2), аммиак (NH_3), пары этанола ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), пары ацетона ($(\text{CH}_3)_2\text{CO}$). Величина газового отклика МУНТ и наноструктур к газам определялась по формуле:

$$S = \frac{R_g - R_a}{R_a} \times 100\%,$$

где R_g – сопротивление после адсорбции газа, R_a – исходное сопротивление (до напуска газа).

Диаметр исходных МУНТ составляет величину 56 ± 24 нм. На РЭМ изображениях наноструктур МУНТ/ ZnO видны зерна размером от 50 до 310 нм. По данным энергодисперсионного анализа концентрация цинка составляет $\sim 1,41$ ат.%. Наноструктуры МУНТ/ $\text{ZnO}/\text{In}_2\text{O}_3$ содержат меньшее количество зёрен. Размер зёрен от 40 до 350 нм. По данным энергодисперсионного анализа концентрация цинка составляет $0,25$ ат.%, индия – $0,12$ ат.%.

На Рис. 1а приведена диаграмма газового отклика индивидуальной МУНТ для различных газов. По характеру газовой чувствительности нанотрубок можно говорить о наличии МУНТ р-типа проводимости. Воздействие молекул NO_2 приводит к росту проводимости трубки за счёт акцепторного характера молекулы. Воздействие остальных газов оказалось незначительным. Взаимодействие молекул NO_2 с индивидуальной многостенной нанотрубкой, покрытой слоем ZnO , приводит к большему росту проводимости трубки (Рис. 1б). Воздействие аммиака приводит к падению проводимости композита МУНТ- ZnO . Уменьшение проводимости нанотрубки можно связывать с рекомбинацией электронов и дырок на границе раздела трубка-слой оксида [3]. Добавление оксида индия в ZnO приводит к усилению отклика на аммиак и ослаблению на NO_2 . (Рис. 1с) Усиление реакции на аммиак, скорее всего, можно связать с изменением структуры оксидного композита, размером гранул в поликристаллическом многокомпонентном композите,

Секция 7. Тонкие пленки и многослойные покрытия как иерархически организованные структуры

адсорбцией молекул аммиака на границах гетеропереходов, формирующихся на контакте фаз оксидов цинка и индия.

Рис. 1. Диаграммы газового отклика для: а – МУНТ, $R_a = 2 \text{ M}\Omega$; б – МWCNT/ZnO, $R_a = 1,7 \text{ M}\Omega$; в – МWCNT/ZnO/In₂O₃, $R_a = 1,7 \text{ M}\Omega$

При исследовании газового отклика к диоксиду азота (NO_2), аммиаку (NH_3), парам этанола ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) и парам ацетона ($(\text{CH}_3)_2\text{CO}$) было обнаружено, что индивидуальные МУНТ, модифицированные оксидами металлов, обладают большей газовой чувствительностью. Добавление In_2O_3 к ZnO приводит к заметному увеличению газового отклика, при этом усиливается селективность чувствительности полученных композитов к оксиду азота и аммиаку.

В работе было использовано оборудование Омского регионального центра коллективного пользования СО РАН. Работа выполнена по государственному заданию ОНЦ СО РАН в соответствии с Программой ФНИ ГАН на 2013-2020 годы (номер госрегистрации проекта в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117041210227-8).

1. P.J.F. Harris. Carbon Nanotubes and Related Structures. Cambridge University Press, 1999. 279 pp.
2. D. Barreca, A. Gasparotto, F. Gri, E. Comini, C. Maccato. Plasma-Assisted Growth of $\beta\text{-MnO}_2$ Nanosystems as Gas Sensors for Safety and Food Industry Applications. Adv. Mater. Interfaces 2018, 1800792 (2 - 10)
3. Yu.S. Haiduk, M.S. Okhmanyuk, A.A. Savitsky, I.A. Taratyn. Sensitive toward nitrogen dioxide chemical sensors based on mixed composition indium, gallium and zinc oxides. Vestnik BGU. Vol. 3. 2015. No 3 P. 8–12