

Борисов Игорь Викторович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: la@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-697.

Пращенко Сергей Алексеевич

Открытое акционерное общество Научно-производственный комплекс «Применение авиации в народном хозяйстве».

E-mail: lik@panh.ru.

г. Краснодар, Россия.

Ципенко Антон Владимирович

Научно-исследовательский институт Новых технологий при Московском авиационном институте.

E-mail: tsipenko_av@mail.ru.

г. Москва, Россия.

Borisov Igor Viktorovitch

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: la@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-697.

Prashentsev Sergey Alekseevitch

Public Corporation Scientific Production Complex “Aviation use in National economy”.

E-mail: lik@panh.ru.

Krasnodar, Russia.

Tsipenko Anton Vladimirovitch

Research Institute of New Technologies by Moscow Aviation Institute

E-mail: tsipenko_av@mail.ru.

Moscow, Russia.

УДК 539.217.5:546.28

М.С. Александрова, Н.Ф. Копылова, В.В. Петров

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ
ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЕНОК НА ПАРАМЕТРЫ СЕНСОРОВ
ГАЗА**

В статье исследованы электрофизические свойства и газочувствительные характеристики пленок состава $\text{SiO}_2(\text{SnO}_x\text{CuO}_y)$, полученных двумя способами по золь-гель технологии. В первом случае в золь-гель раствор вводили

наноразмерный CuO, во втором случае - Cu(NO₃)₂. Пленки, полученные по второй технологии обладают лучшими газочувствительными характеристиками.

Газочувствительный материал; сенсор газа; золь-гель технология.

M.S. Aleksandrova, N.F. Kopilova, V.V. Petrov

TECHNOLOGY OF PREPARATION OF GAZSENSITIVE FILMS INFLUENCE ON GAZ SENSORS PARAMETERS

Electrophysical properties and gassensitive parameters of SiO₂(SnO_xCuO_y) films were investigated, which two kinds sol-gel technology were prepared. At first technology nanosize CuO introduce into sol-gel solvation and at second technology - Cu(NO₃)₂. Films were prepared by second technology have more better gassensitive parameters.

Gassensitive material; gas sensor; sol-gel technology.

Золь-гель-процессы способны проходить при низких температурах и атмосферном давлении и позволяют создавать материалы регулируемого состава и структуры, обладающие высокой гомогенностью (вплоть до молекулярного уровня), изменяя только технологические режимы, оснастку и оборудование можно получать ультрадисперсных порошков и пористых газочувствительных материалов.

Современные исследования показывают, что более высокие газочувствительные свойства проявляют пленки на основе сложных (смешанных) оксидов или пленки на основе оксидов, легированных металлами и имеющих развитую морфологию поверхности.

Оксиды меди (I и II), являются полупроводниками р-типа с шириной запрещенной зоны 0,8-2,1 эВ и проявляют каталитические свойства [1,2]. Поэтому они являются перспективным материалом для использования их в качестве чувствительного элемента в сенсорах газов.

В данной работе с помощью золь-гель метода были получены наноразмерные пленки газочувствительного материала на основе оксидов олова и кремния, легированных оксидами меди. Пленки имели толщину 60 - 150 нм. В пленкообразующий раствор соединения меди вводились двумя способами: оксид меди (I), полученный электролитически в виде мелкодисперсного порошка и азотнокислая медь, которая при дальнейшем термической обработке превращалась в оксид меди (II). Технология получения описана в [3].

Исследования морфологии поверхности образцов пленок состава SiO₂(SnO_xCuO_y), отожженных при температуре 600°C с содержанием 5% меди в исходном растворе, но полученных разными технологиями проводили на сканирующем зондовом микроскопе Solver P47 (рис. 1).

Из рисунка видно, что пленки, полученные по первой технологии, имеют выступы высотой 15-45, а пленки, полученные по второй технологии впадины с глубиной 50 – 200 нм.

Рентгенофазовые исследования этих образцов проводились на установке ДРОН-3 (МГУ им. М.И.Ломоносова) (рис. 2). Анализ проводился на длине волны рентгеновского излучения CuK α 1.54051 А.

Рентгенофазовый анализ показал, что пленки, полученные по первой технологии, имеют в своем составе аморфный диоксид кремния и оксиды CuO и Sn₂O₃. Более разнообразный фазовый состав наблюдается у пленок, полученных по второй технологии. Материал представляет собой сложное оксидное соединение, состоящее из диоксида кремния и смеси оксидов: Cu₂O, CuO, Sn₂O₃ и Sn₃O₄. Согласно проведенным рентгеноструктурным исследованиям установлено, что размеры кристаллитов оксидов олова 14 – 25 нм, а кристаллитов оксида меди 7 – 14 нм.

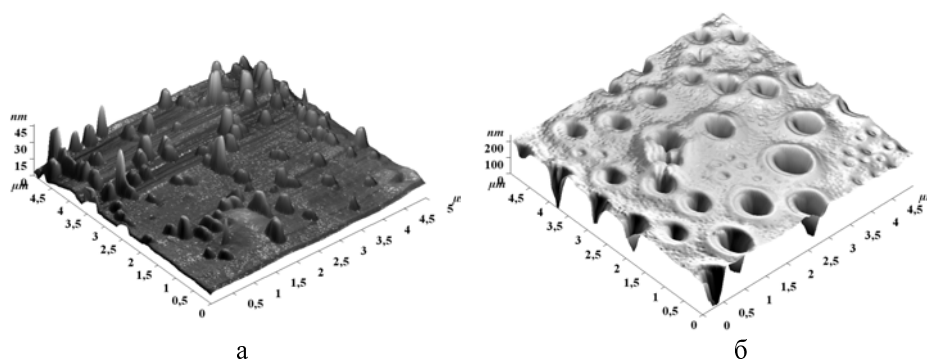


Рис. 1. Поверхность пленки состава SiO₂(SnO_xCuO_y), полученного из растворов с добавлением: а) Cu₂O б) Cu(NO₃)₂

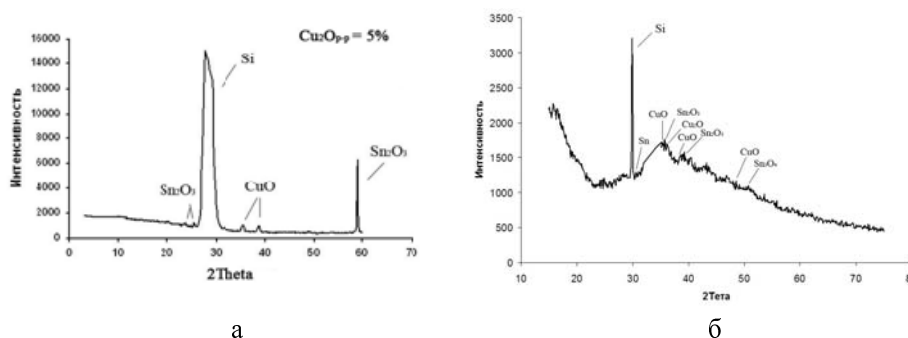


Рис. 2. Дифрактограммы пленок состава SiO₂(SnO_xCuO_y), полученного из растворов с добавлением: а) Cu₂O б) Cu(NO₃)₂

Были исследованы температурные зависимости проводимости полученных пленок, из которых рассчитывали энергию активации проводимости и ширину запрещенной зоны. Для пленок, изготовленных по первой технологии, энергия активации проводимости лежит в диапазоне 0,12 – 0,92 эВ. Ширина запрещенной зоны в зависимости от содержания Cu₂O в исходном пленкообразующем растворе, составила 0,87 эВ (0,5% Cu₂O) и 1,43 эВ (5% Cu₂O). Наименьшая ширина запрещенной зоны наблюдается у материалов с наименьшими размерами кристаллитов оксидов меди (~ 7 нм).

Для пленок, полученных по второй технологии, энергия активации проводимости составляет 0,07±0,01 эВ.

Все образцы исследовались на газовую чувствительность по отношению к диоксиду азота на установке, описанной в [4]. Концентрация оксида азота изменялась в диапазоне от 1 до 200ppm, а рабочая температура сенсора от комнатной до 200⁰С.

На рис. 3 представлены температурные зависимости чувствительности к диоксиду азота.

Из рис. 3 видно, что максимальная чувствительность к NO₂ для пленок, полученных по первой технологии наблюдается при 100⁰С.

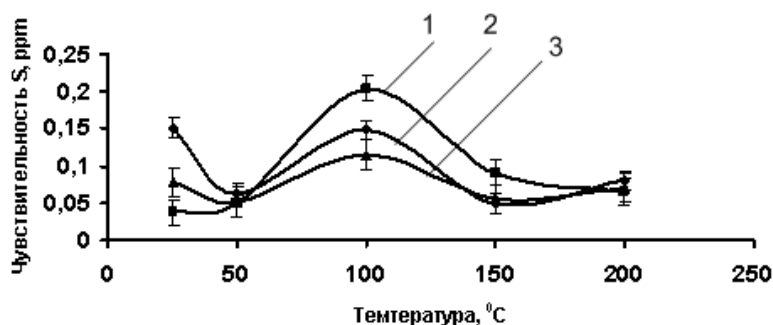


Рис. 3. Температурная зависимость чувствительности пленки (содержание Si₂O в растворе 5 %, температура отжига пленки 500⁰С). Концентрация NO₂: 1 – 36,5 ppm, 2 – 73 ppm, 3 – 146 ppm

Проводилось исследование образцов данных пленок на чувствительность к диоксиду азота. При действии газа сопротивление пленок понижается, время отклика при этом составляет 30-80 секунд. Последующая продувка камеры воздухом, не содержащим NO₂, возвращает сопротивление к исходному значению, время восстановления при этом составляет 1-3 минуты (рис. 4).

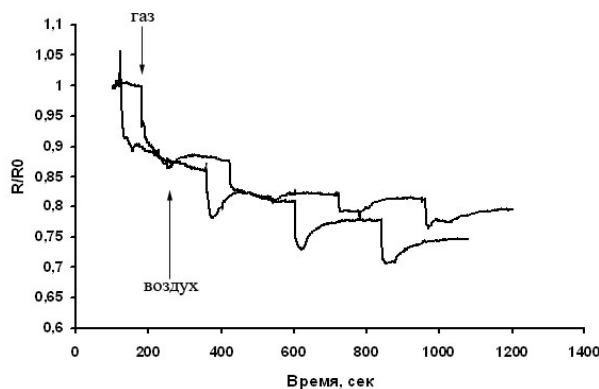


Рис. 4. Отклик пленок состава SiO₂(SnO_xCuO_y), отожженных при 600 °С, на NO₂ с концентрацией 0,8 ppm в воздухе при температуре 20 ° С (1 – Sn/Cu_{p-p} = 340; 2 – Sn/Cu_{p-p} = 34)

На рис. 5 представлены аналогичные зависимости для пленок, полученных по второй технологии.

Максимальная чувствительность для этих пленок зависит от технологических режимов изготовления и наблюдается при 50 и 150⁰С. При чем для пленок с повышенной концентрацией оксида меди наблюдается только один пик на зависимости.

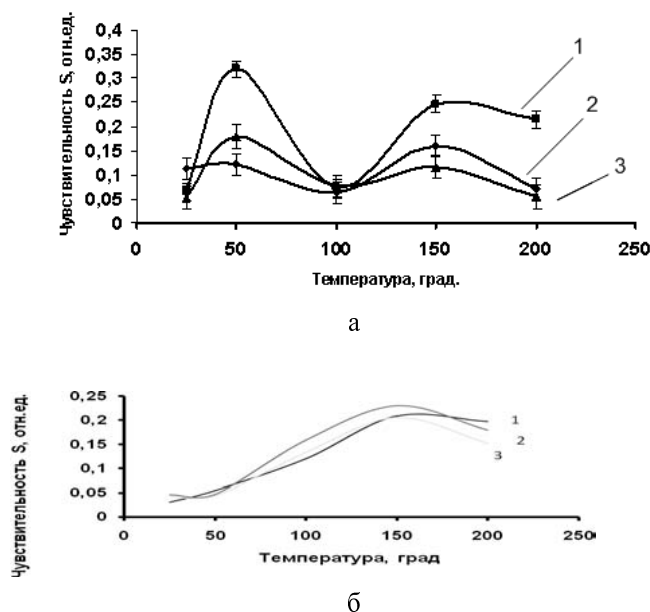


Рис. 5. Температурная зависимость чувствительности пленок: а – содержание $Cu(NO_3)_2$ в растворе 0,5 %, температура отжига пленки 600⁰С; б – содержание $Cu(NO_3)_2$ в растворе 5 %, температура отжига пленки 500⁰С. Концентрация NO_2 : 1 – 36,5 ppm, 2 – 73 ppm, 3 – 146 ppm

На рис.6 представлены кинетические зависимости отклика сенсора на основе пленки с концентрацией $Cu(NO_3)_2$ в растворе 5 % и температурой отжига 500⁰С.

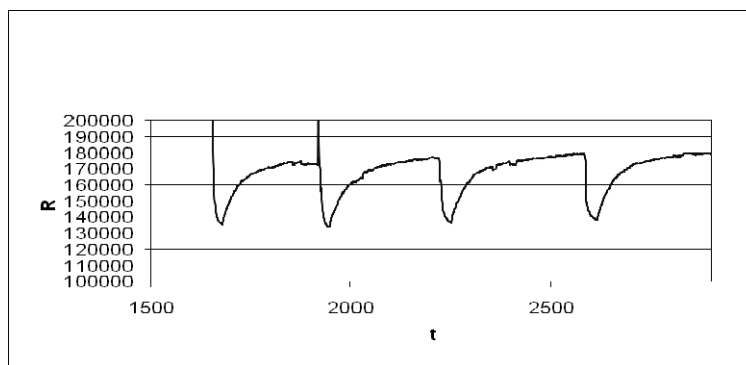


Рис. 6. Кинетические зависимости отклика сенсора на основе пленки с концентрацией $Cu(NO_3)_2$ в растворе 5 % и температурой отжига 500⁰С. Концентрация NO_2 17ppm

Из сравнения рис. 4 и 6 видно, что отклик сенсоров на диоксид азота, полученных по второй технологии более стабильный.

Исследованные пленки состава $\text{SiO}_2(\text{SnO}_2, \text{CuO}_y)$ обладают ярко выраженными, стабильными, восстанавливаемыми и воспроизводимыми характеристиками при изменении температуры и действии газов с концентрациями на уровне ПДК_{р.з.}, что свидетельствует о возможности их применения в качестве материалов для сенсоров на диоксид азота.

Таким образом, варьируя технологией получения газочувствительного материала можно изготавливать сенсоры диоксида азота с разными техническими параметрами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Henrich V.E., Cox P.A.* The surface science of metal oxides. Cambridge: University Press. – 1993. – 460 p.
2. *Самсонов Г.В., Борисова А.Л., Жидкова Т.Г. и др.* Физико-химические свойства окислов. Справочник. – М.: Металлургия. 1978. – 472 с.
3. *Копылова Н.Ф., Петров В.В., Тарантеева Н.В., Александрова М.С.* Исследование электрофизических свойств наноразмерных пленок $\text{SiO}_2(\text{SnO}_x\text{CuO})$, чувствительным к оксидам азота // Материалы VII Межд. науч. конф. «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии», (17-22 сентября 2007) - Кисловодск: Сев-КавГТУ, 2007. – С. 261-263.
4. *Петров В.В.* Автоматизированный стенд для калибровки сенсоров газов: тезисы докл. 1 Межд. науч.-техн. конф. «Сенсорная электроника и микросистемные технологии» (1-5 июня 2004г) - Украина, Одесса: «Астропринт», 2004. – С. 288-292.

Александрова Мария Сергеевна

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: hie@fib.tsure.ru

347922, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-624

Кафедра химии и экологии.

Студентка.

Копылова Наталья Федоровна

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: hie@fib.tsure.ru

347905, г. Таганрог, ул. Дымо, 7.

Тел.: 8(8634)371-624

Кафедра химии и экологии.

Ассистент.

Петров Виктор Владимирович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: vvpetrov@fib.tsure.ru.
347922, г. Таганрог, ул. Греческая, 12.
Тел.: 8(8634)371-624
Кафедра химии и экологии.
Доцент.

Aleksandrova Mariy Sergeevna
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: hie@fib.tsure.ru
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347922, Russia.
Phone: 8(8634)371-624
Department of Chemistry and Ecology.
Student.

Kopilova Natalya Fedorovna
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: hie@fib.tsure.ru
7, Dyumo strit, Taganrog, 347905, Russia.
Phone: 8(8634)371-624
Department of Chemistry and Ecology.
Assistant.

Petrov Viktor Vladimirovich
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: vvpetrov@fib.tsure.ru.
12, Grecheskaya street, Taganrog, 347922, Russia.
Phone: 8(8634)371-624
Department of Chemistry and Ecology.
Associate professor.

УДК 530.1

В.Г. Сапогин

ГАМИЛЬТОНОВ ФОРМАЛИЗМ ОДНОМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГРАВИТИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ

Построен гамильтонов формализм бесстолкновительного движения гравитирующих частиц в плоском самосогласованном поле. Показано, что поле системы представляет собой потенциальную яму, глубина которой определяется интегралом энергии, а длина – значением интеграла полного давления. Рассчитанное распределение концентрации указывает на то, что поле выталкивает вещество системы на её границы, образуя у границ области с высокой концентрацией медленных частиц.