



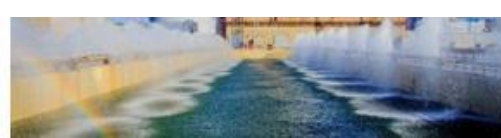
II Международная научно-практическая конференция
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Исследование газочувствительных свойств пленок оксида кобальта

В.В. Бесполудин, В.В. Поляков, В.В. Петров,
А.В. Нестеренко и Э.Е. Вакулов
bespoludin@sfedu.ru

16-18 сентября 2020 г
Воронеж, Россия





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Исследование газочувствительных свойств пленок оксида кобальта

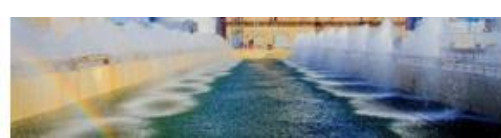
Введение

В настоящее время оксиды металлов являются одними из наиболее перспективных материалов для использования в качестве чувствительного слоя в газовых сенсорах благодаря целому ряду достоинств таких как: высокая газочувствительность, селективность, невысокая стоимость, небольшое время отклика и восстановления и т.д. Все эти достоинства сделали металлооксидные газовые сенсоры перспективными для применения в различных областях газового анализа.

Оксиды металлов способны обнаруживать большое количество токсичных и взрывоопасных газов. Принцип работы металлоксидных газовых сенсоров основан на изменении электрического сопротивления в результате адсорбции молекул газов на поверхности чувствительного слоя.

В настоящее время, одними из перспективных металлоксидных газовых сенсоров являются газовые сенсоры на основе оксида кобальта. Это связано с тем, что оксид кобальта обладает хорошим откликом к большому количеству техногенных газов, селективностью, а также долговременностью в использовании.

Существуют два основных типа оксида кобальта это Co_3O_4 и CoO . Оба оксида кобальта являются полупроводниками р-типа проводимости. Существуют различные способы формирования оксида кобальта на диэлектрической подложке. Одним из перспективных методов является быстрый термический отжиг (БТО) галогенными лампами на воздухе. К основным достоинствам быстрой термической обработки относятся: скоростная обработка полупроводниковых пластин и различных микроструктур, невысокое энергопотребление, невысокая стоимость эксплуатации и невысокая стоимость оборудования, высокая скорость нагрева, широкий диапазон нагрева, воспроизводимость и равномерность обработки, высокая производительность, малые габариты установки. Используя БТО пленки оксида кобальта могут формироваться из металлического кобальта.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Исследование газоочувствительных свойств пленок оксида кобальта

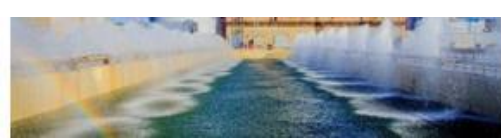
Методика эксперимента

Пленки кобальта толщиной 470 нм формировались на предварительно очищенной ситалловой подложке с помощью метода вакуумно-термического напыления.

Измерения электрических параметров проводились с помощью системы измерений эффекта Холла HMS-3000 (Eсорia Corp., Корея). Сопротивление полученных пленок кобальта составило 2,43 Ом, а удельное сопротивление $5,48 \cdot 10^{-5}$ Ом·см. После быстрого термического отжига производился контроль удельного сопротивления полученных пленок оксида кобальта, которые представлены в таблице 1. Процесс изготовления газового сенсора на основе пленки оксида кобальта показан на рисунке 1. На первом этапе происходит очистка подложки перед нанесением металла рисунок 1 (а). После этого пленки кобальта толщиной 470 нм формировались на предварительно очищенной ситалловой подложке с помощью метода вакуумно-термического напыления рисунок 1 (b). После чего, для формирования оксида нанесенные пленки кобальта подвергались быстрому термическому отжигу (БТО) галогенными лампами на воздухе рисунок 1 (с) (формирование оксида). БТО проводился при температурах 500°C, 600°C, и 700°C. Далее формировали металлические контактные площадки рисунок 1 (d).

Таблица 1. Зависимость сопротивления от температуры отжига

Пленка оксида кобальта	Сопротивление, Ом	Удельное сопротивление, Ом·см
БТО при 500 °С	$1,6 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^{-2}$
БТО при 600 °С	$5,6 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^3$
БТО при 700 °С	$2,6 \cdot 10^8$	$5,8 \cdot 10^3$



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Исследование газочувствительных свойств пленок оксида кобальта

Методика эксперимента

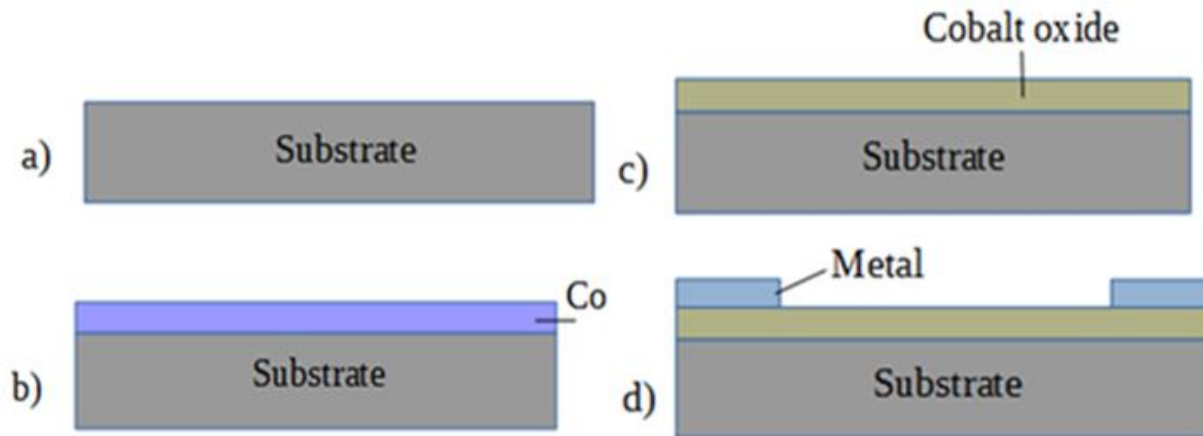


Рисунок 1. Этапы изготовления газового сенсора на основе оксида кобальта а) очистка подложки перед нанесением металла б) нанесение металла в) формирование оксида кобальта используя БТО д) нанесение металла



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Исследование газочувствительных свойств пленок оксида кобальта

Методика эксперимента

Полученные пленки оксида кобальта исследовались на чувствительность к таким газам как CO , NO_2 , CH_4 , а также к парам $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ (ацетон), $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ (изопропил) и к парам $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25%-й раствор аммиака). Измерение газочувствительности тонких пленок оксида кобальта проводили при температуре 300°C (для всех случаев). Коэффициент чувствительности к газу S (%) определялся по следующей формуле:

$$S = \left| \frac{(R_{\text{gas}} - R_{\text{air}})}{R_{\text{air}}} \right| * 100$$

где R_{gas} – сопротивление пленки в присутствии газа, R_{air} - сопротивление пленки на воздухе.



Результаты и обсуждение

Исследование газочувствительных свойств пленок оксида кобальта

Контроль морфологии поверхности пленок кобальта без отжига и с отжигом посредством БТО осуществлялся методом АСМ с использованием зондовой нанолaborатории Integra Vita рисунок 2. На рисунке 2 (а) представлена морфология поверхности пленки металлического кобальта без отжига. Изображения поверхности пленок полученных при 500°C, 600°C, и 700°C представлены на рисунках 2 (b), (c) и (d) соответственно. Из результатов видно, что применение БТО позволяет существенно изменить поверхность пленки, увеличить значительно её шероховатость и размер зерна в сравнении с пленкой металлического кобальта. Так, средняя шероховатость поверхности для пленки без отжига составляет 3,514 нм, а для пленок при БТО на 500°C, 600°C, и 700°C средняя шероховатость поверхности составляет 28,904 нм, 25,922 нм и 18,747 нм соответственно.

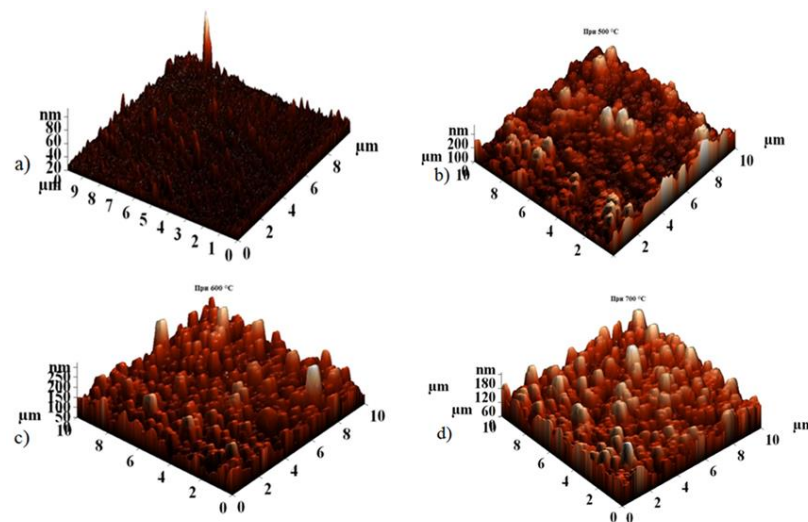


Рисунок 2. Изображения поверхности пленки Co без отжига (а) и пленок после БТО при температуре обработки в 500°C (b), 600°C (c) и при 700°C (d)



Результаты и обсуждение

На рисунке 3 представлен отклик пленок оксида кобальта полученных при 500°C, 600°C, и 700°C. Из результатов видно, что тонкие пленки оксида кобальта проявляют наибольшую чувствительность к парам C_3H_6O по сравнению с другими газами. Кроме того, сравнительно неплохая чувствительность пленок оксида кобальта проявляется к парам $NH_3 \cdot H_2O$ (25%-й раствор аммиака) и к парам изопропила C_3H_8O .

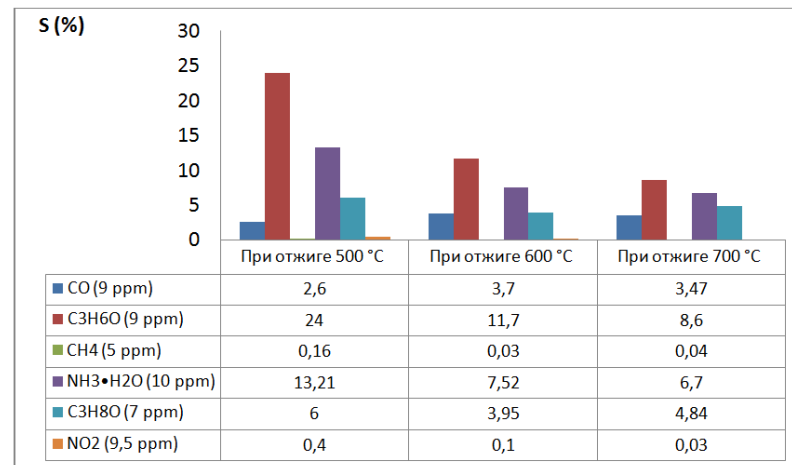


Рисунок 3. Зависимость отклика пленок оксида кобальта от температуры отжига и воздействующих газов



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Выводы

В результате исследования установлено, что значительно меньшая чувствительность полученных оксидных пленок кобальта проявляется к таким газам как CO , NO_2 и CH_4 . При этом, наибольший отклик к газам наблюдается у пленок оксида кобальта полученных при температуре быстрого термического отжига 500°C , и только к CO отклик был незначительно ниже чем отклик к пленкам полученным при 600°C и 700°C .

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что чувствительные элементы на основе пленок оксида кобальта сформированные БТО проявляют заметную газочувствительность и представляют интерес как элементы газовых датчиков к $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, а также к $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$.



Спасибо за внимание