

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XV РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

18–20 мая 2016 г., г. Томск, Россия

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Характеристики сенсоров водорода на основе тонких пленок Au/SnO₂:Sb, Au, Ni

А.В. Алмаев, Н.К. Максимова, В.Н. Пнёв

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, г. Томск

E-mail: almaev_alex@mail.ru

Characteristics of hydrogen sensors based on thin films Au/SnO₂:Sb, Au, Ni

A.V. Almaev, N.K. Maksimova, V.N. Pnev

National Research Tomsk State University, 634050, Tomsk

E-mail: almaev_alex@mail.ru

В настоящей работе представлены исследования характеристик сенсоров водорода на основе тонких пленок диоксида олова с введенным в объем пленок добавками золота и никеля и с добавкой золота на поверхности пленок Au/SnO₂:Sb, Au, Ni. Выбор данного направления работ обусловлен необходимостью разработок селективных и быстродействующих сенсоров водорода. Кроме того, актуальной задачей является установления роли добавок Ni при детектировании газов сенсорами на основе тонких пленок SnO₂. Ранее [1] было установлено, что сенсоры на основе тонких пленок Au/SnO₂:Sb, Au обладают низким рабочим сопротивлением и селективностью к водороду, также к одному из преимуществ таких приборов можно отнести относительно слабую зависимость проводимости от влажности окружающей среды.

Пленки Au/SnO₂:Sb,Au,Ni были получены методом магнетронного распыления мишени, состоящей из сплава Sn и Sb (Sb – 0,49 ат.%) на постоянном токе. Для введения добавок в объем пленок на поверхности мишени размещали кусочки соответствующего металла. На основе специальных исследований определено оптимальное отношение S_m/S_{Sn} , где S_m – площадь кусочков металла, S_{Sn} – площадь распыляемой части мишени, которое позволяет направленно влиять на свойства сенсоров. Для исследуемых образцов из обеих серий $S_{Au}/S_{Sn}=3\times 10^{-3}$ и $S_{Ni}/S_{Sn}=3\times 10^{-3}$. На поверхность пленок тем же методом магнетронного напыления на постоянном токе напыляли дисперсные слои Au. Для исследований использовались сенсоры из двух серий на основе пленок Au/SnO₂:Sb, Au, Ni. На поверхности пленок серии (i) золото меньше, чем на поверхности пленок серии (ii). Имеющаяся технология не позволяет определить точное содержание Au на поверхности пленок. Для пленок серии (i) золото напылялось 10 с, а для серии (ii) – 30 с.

Введение в объем пленок SnO_2 добавок Ni приводит к значительному росту сопротивления сенсоров в атмосфере чистого воздуха R_0 . Так для пленок $\text{Au/SnO}_2\text{:Sb, Au}$ R_0 при температуре $T = 300 \text{ K}$ составляет $0,25 \text{ МОм}$, для пленок серии (i) – $1,6 \text{ ГОм}$, серии (ii) – $2,5 \text{ МОм}$. Увеличение содержания золота на поверхности приводит к понижению R_0 . Высокое сопротивление пленок (i) и (ii) вызвано тем, что введение Ni приводит к образованию глубоких уровней, локализованных в запрещенной зоне полупроводника. Энергии активаций этих уровней, вычисленные по температурной зависимости R_0 , для пленок серии (i) составляют $0,20$ и $0,70 \text{ эВ}$, для пленок серии (ii) – $0,23$ и $0,45 \text{ эВ}$. К тому же из литературных источников [2] известно, что добавка никеля приводит к росту поверхностной плотности хемосорбированного кислорода, увеличение которого приводит к повышению R_0 и отклика сенсоров, так как хемосорбированные на поверхности атомы кислорода являются центрами адсорбции для восстановительных газов. Откликом сенсора называется отношение G_1/G_0 , где G_1 – проводимость сенсора при воздействии газа, G_0 – проводимость сенсора в атмосфере чистого воздуха. Температурная зависимость отклика на воздействие 100 ppm H_2 для сенсоров серий (i) и (ii) изображена на рис. 1. Сенсоры с пониженным содержанием Au на поверхности имеют более высокий отклик в диапазоне рабочих температур $550\text{--}800 \text{ K}$, чем сенсоры серии (ii). Температура, при которой наблюдается максимальный отклик на водород T_{max} , соответствует 773 K .

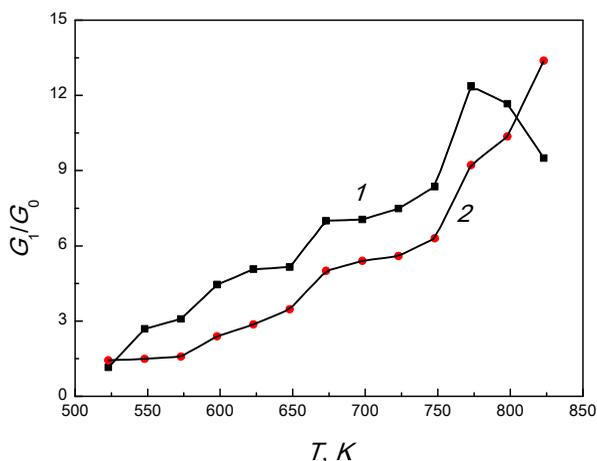


Рис. 1. Температурная зависимость отклика сенсоров на воздействие 100 ppm водорода серии (i) – кривая 1, и сенсоров серии (ii) – кривая 2

Для сенсоров серии (ii) имеет место монотонный рост G_1/G_0 при увеличении T , что характерно для сенсоров на основе $\text{Au/SnO}_2\text{:Sb, Au}$.

Температура технологического отжига сенсоров $T_{отж}$ составляла 723 K; при рабочих температурах, превышающих $T_{отж}$, проявляются процессы, ведущие к изменению параметров сенсоров, уменьшается G_1/G_0 . Для предотвращения дрейфа характеристик сенсоров в качестве рабочей температуры приборов можно выбрать $T = 698$ K. На рис. 2 изображена концентрационная зависимость G_1/G_0 сенсоров водорода при $T = 698$ K.

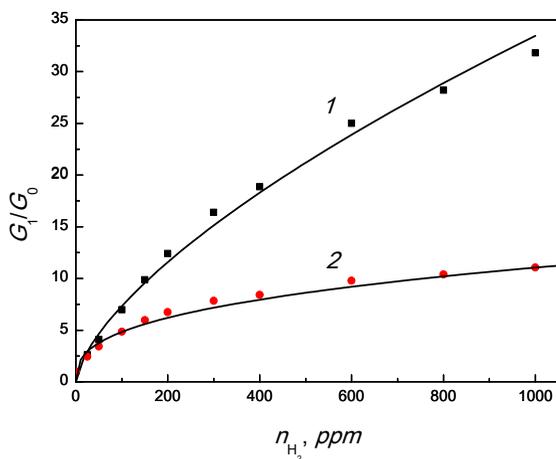


Рис. 2. Концентрационная зависимость отклика сенсоров на воздействие водорода серии (i) – кривая 1, и сенсоров серии (ii) – кривая 2

При увеличении концентрации водорода n_{H_2} рост отклика происходит по сублинейному закону, что соответствует преобладанию в пленках серий (i) и (ii) канального механизма проводимости [1]. При всех задаваемых n_{H_2} G_1/G_0 сенсоров серии (i) превышает G_1/G_0 сенсоров серии (ii). Данная ситуация обусловлена тем, что Au не обладает каталитическими свойствами, увеличение содержания Au на поверхности приводит к уменьшению поверхностной плотности хемосорбированного кислорода [2].

Литература

1. Севастьянов Е.Ю., Максимова Н.К., Новиков В.А. и др. Влияние добавок Pt, Pd, Au на поверхности и в объеме тонких пленок диоксида олова на электрические и газочувствительные свойства // ФТП. 2012. Т. 46, № 6. С. 820–828.
2. Кривецкий В.В., Румянцева М.Н., Гаськов А.М. Химическая модификация нанокристаллического диоксида олова для селективных газовых сенсоров // Успехи химии. 2013. Т. 82, № 10. С. 917–941.