

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный архитектурно-строительный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**

Сборник научных трудов  
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

**21–24 апреля 2015 г.**

## **PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT**

XII International Conference of students and young scientists

**21–24 April, 2015**

Томск 2015

УДК 50(063)  
ББК 20л0  
П27

**Перспективы развития фундаментальных наук** [Электронный П27 ресурс] : сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 1556 с.

ISBN 978-5-4387-0560-4

Сборник содержит труды участников XII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов и молодых ученых, представленные на секциях «Физика», «Химия», «Математика», «Биология и медицина», «Наноматериалы и нанотехнологии», «Технология», «Конкурс архитектурных работ», «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области естественных наук и высшей математики.

**УДК 50(063)**  
**ББК 20л0**

*Редакционная коллегия*

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент ТПУ.  
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент ТПУ.  
С.А. Поробова, инженер ТГАСУ.

**ISBN 978-5-4387-0560-4**

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ,  
электронный текст, 2015

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕНСОРОВ ВОДОРОДА

А.В. Алмаев, Н.С. Сергейченко

Научные руководители: с.н.с., к.ф.-м.н. Н.К. Максимова; профессор, д.ф.-м.н. В.И. Гаман

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: [almaev\\_alex@mail.ru](mailto:almaev_alex@mail.ru)

## THE EFFECT OF HUMIDITY ON CHARACTERISTICS OF THE HYDROGEN SENSORS

A.V. Almaev, N.S. Sergeychenko

Scientific Supervisor: Dr. N.K. Maksimova; Prof., Dr. V.I. Gaman

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina ave., 36, 634050

E-mail: [almaev\\_alex@mail.ru](mailto:almaev_alex@mail.ru)

***Annotation.** The results of studies of the humidity effect on the response of hydrogen sensors, based on thin polycrystalline tin dioxide films with deposited disperse layers of catalytic Pt and Pd, in the thermo – cyclic operation mode, are presented. The results of experiment are shown that response of sensors decreases with increasing level of absolute humidity. This phenomenon is caused by a decrease of the energy band bending at the interface of the SnO<sub>2</sub> microcrystals with an increase of humidity.*

В качестве объекта исследований выбраны сенсоры водорода на основе тонких пленок Pt/Pd/SnO<sub>2</sub>:Sb толщиной 100 нм. Технология получения пленок и сенсоров на их основе изложена в статье [1].

В настоящей работе рассмотрено влияние водорода на характеристики сенсоров при различных уровнях влажности окружающей среды. В процессе диссоциативной адсорбции молекул воды и водорода на поверхности полупроводника имеет место конкуренция между H<sub>2</sub>O и H<sub>2</sub> за центры адсорбции [2].

Измерения проводимости сенсоров проводили в режиме термодеривации, поскольку в этом случае анализ характеристик позволяет определить изгиб энергетических зон на границах раздела микрокристаллов SnO<sub>2</sub>  $e\phi_s$  ( $e$  – заряд электрона,  $\phi_s$  – поверхностный потенциал), а также оценить концентрацию газа  $n_{H_2}$  [3]. Использовали следующий режим: охлаждение до температуры  $T_1=473$  K в течение 6 с; и нагрев до  $T_2=673$  K в течение 8 с. На рисунке 1 показана концентрационная зависимость отклика сенсора при воздействии водорода при различных уровнях абсолютной влажности  $A$ . За отклик сенсора  $G_H/G_0$  принимали отношение проводимостей при воздействии водорода  $G_H$  и в атмосфере чистого воздуха  $G_0$ , соответственно. При увеличении  $A$  от 2,84 г/м<sup>3</sup> до 10,33 г/м<sup>3</sup> значения отклика для всех задаваемых концентраций водорода уменьшались примерно в 2 раза. Ранее [1,4] было показано, что в случае пленок Pt/Pd/SnO<sub>2</sub>:Sb при воздействии водорода определяющую роль играет надбарьерная составляющая проводимости. Отклик сенсора определяется выражением [4]

$$\frac{G_{H\delta}(A)}{G_{0\delta}(A)} = \exp \left[ \frac{e\phi_s(A)\eta_H n_{H_2}}{kT(1 + \eta_H n_{H_2})} \left( 2 - \frac{\eta_H n_{H_2}}{1 + \eta_H n_{H_2}} \right) \right], \quad (1)$$

где  $\eta_H$  – коэффициент, пропорциональный отношению вероятности адсорбции молекулы водорода на поверхности полупроводника к вероятности ее десорбции;  $k$  – постоянная Больцмана.

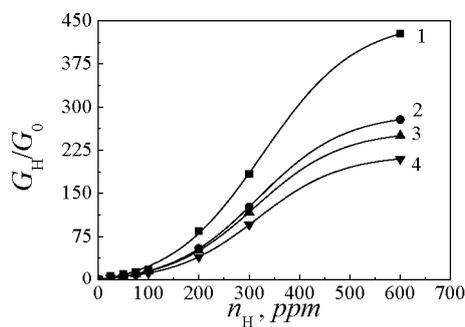


Рис. 1. Концентрационная зависимость отклика сенсора на водород при разных уровнях абсолютной влажности: 1 -  $A=2,84 \text{ г/м}^3$ ; 2 -  $A=6,04 \text{ г/м}^3$ ; 3 -  $A=8,17 \text{ г/м}^3$ ; 4 -  $A=10,33 \text{ г/м}^3$

Из выражения (1) видно, что зависимость  $G_H/G_{06}$  от  $A$  может определяться изменением  $e\varphi_s(A)$  и  $\eta_H(A)$ . Эксперименты показали, что при увеличении уровня влажности наблюдается незначительный рост  $G_H$  (таблица 1). Надбарьерная составляющая проводимости сенсора в атмосфере чистого воздуха описывается выражением [4]

$$G_{06}(A) = G_{00}(A) \exp \left[ -\frac{e\varphi_s(A)}{kT} \right], \quad (2)$$

где  $G_{00}(A)$  – величина, определяемая электрофизическими и геометрическими параметрами пленки  $\text{SnO}_2$ . Зависимость  $G_{06}$  от абсолютной влажности обусловлена  $e\varphi_s(A)$  и  $G_{00}(A)$ . Значение  $G_{00}(A)$  пропорционально концентрации электронов  $n_v(A)$  [4], образовавшихся в результате ионизации вакансий решеточного кислорода, которые могут возникать при диссоциативной адсорбции молекул воды.

Таблица 1

Проводимость сенсора  $G_H$  при различных уровнях абсолютной влажности

$n_{H_2}$ , ppm	$G_H (A=2,84 \text{ г/м}^3)$ , мСм	$G_H (A=6,04 \text{ г/м}^3)$ , мСм	$G_H (A=8,17 \text{ г/м}^3)$ , мСм	$G_H (A=10,33 \text{ г/м}^3)$ , мСм
25	0,00243	0,00254	0,00266	0,00269
200	0,0316	0,0362	0,0381	0,0338
300	0,0685	0,0841	0,0881	0,0815
600	0,159	0,185	0,188	0,179

В монографии [4] произведена оценка влияния величин  $e\varphi_s(A)$  и  $n_v(A)$  на проводимость пленки  $\text{SnO}_2$  при увеличении влажности. Изменение  $n_v(A)$  в данном случае мало по сравнению с изменением  $e\varphi_s(A)$ . На рисунке 2 изображена зависимость  $G_0$  от абсолютной влажности. На кривой имеется два линейных участка, аналогичный вид кривых получен для зависимостей  $[e\varphi_s - kT]^{-1/2}$  от  $A$  (рис. 3). Результаты обработки экспериментальных данных позволяют предположить, что на поверхности пленки диоксида олова имеются адсорбционные центры двух типов. Возможно роль таких центров выполняют поверхностные дефекты, занятые ионами  $\text{O}^{2-}$  и  $\text{O}^\cdot$ . При  $A < A_0$ , где  $A_0$  – абсолютная влажность, соответствующая точке перегиба на рисунках 2 и 3, адсорбция молекул воды происходит на центры первого типа ( $\text{O}^{2-}$ ). При  $A > A_0$  преобладает адсорбция молекул воды на центры второго типа ( $\text{O}^\cdot$ ).

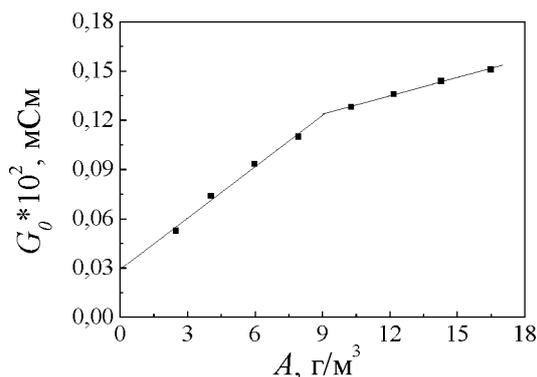


Рис.2. Зависимость от абсолютной влажности проводимости сенсора в чистом воздухе

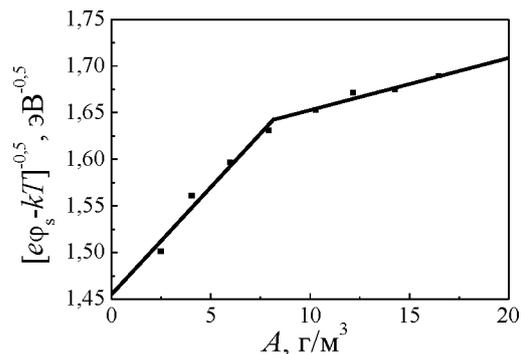


Рис.3. Зависимость  $[e\varphi_s - kT]^{-1/2}$  от абсолютной влажности чистого воздуха

Из теории [4] и предварительных данных следует, что параметр  $\eta_H$  от уровня абсолютной влажности не зависит. Таким образом, можно сделать вывод о том, что уменьшение отклика сенсора на воздействие водорода при увеличении влажности газовой смеси вызвано резким ростом величины  $G_{06}$ , зависимость которой от  $A$  в свою очередь определяется  $e\varphi_s(A)$ . Так как  $e\varphi_s \sim N_i^2$  [4], где  $N_i$  – поверхностная плотность адсорбированных ионов кислорода, то уменьшение изгиба энергетических зон при увеличении влажности свидетельствует о снижении поверхностной плотности центров адсорбции для  $H_2$  в результате диссоциативной адсорбции молекул воды на поверхности полупроводника.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (задание № 2014/223, код проекта: 1368).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Севастьянов Е.Ю., Максимова Н.К., Новиков В.А., Рудов Ф.В., Сергейченко Н.С., Черников Е.В. Влияние добавок Pt, Pd, Au на поверхности и в объеме тонких пленок диоксида олова на электрические и газочувствительные свойства // Физика и техника полупроводников. – 2012. – Т. 46. – №. 6 - С. 820 - 828.
2. Capone S., Siciliano P., Quaranta F., Rella R., Epifani M., Vasarelli L. Moisture influence and geometry effect of Au and Pt electrodes on sensing CO response of SnO<sub>2</sub> microsensors based on sol-gel thin film // Sensors and Actuators. – 2001. – V. 77. – P. 503 – 511.
3. Гаман В.И., Севастьянов Е.Ю., Максимова Н.К., Алмаев А.В., Сергейченко Н.С. Характеристики полупроводниковых резистивных сенсоров водорода при работе в режиме термоциклирования // Известия ВУЗов: Физика. – 2013. – Т.56. - №12. – С.96-102.
4. Гаман В.И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров: монография. – Томск: Издательство Научно-технической литературы, 2012. – 112 с.