

2. Shakhnovsky A., Kvitka A., Statyukha G., Jeżowski J., Jeżowska A. On the statistical analysis of data for the water usage network design. // Chemical and process engineering. – 2007. – v. 28. – p. 493-503.

3. Jeżowski J., Walczyk K., Szachnowskij A., Jeżowska A. Systematic methods for calculation minimum flowrate and cost of water in industrial plants. // Chemical and Process Engineering. – 2006. – No 27, p. 1137-1154.

4. Statyukha G., Shakhnovsky A., Jeżowski J., Jeżowska A., Kvitka A. A methodology for designing industrial water networks. // Chemical Engineering Transactions. – 2009. – No 18, pp. 189-194

УДК 539.3

Ю.В. Клунникова, доц., к-т техн. наук,  
А.В. Саенко, доц., к-т техн. наук,  
С.П. Малюков, проф., д-р техн. наук  
(Южный федеральный университет, г. Таганрог)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ТИТАНА НА САПФИРОВОЙ ПОДЛОЖКЕ**

Возможность формирования тонких пленок на диэлектрических и полупроводниковых подложках открывает широкие возможности для конструирования функциональных устройств (фотоэлектрических преобразователей и чувствительных элементов газовых датчиков). Одной из важных особенностей газовых датчиков на основе тонких пленок диоксида титана ( $TiO_2$ ) является возможность их работы при высоких температурах из-за химической стабильности пленки [1].

Для получения пленки диоксида титана на сапфировой подложке использовался метод центрифугирования с последующим отжигом в муфельной печи. Слой диоксида титана наносили из 0,3 М раствора диизопропоксида титана бис (ацетилацетонат) (75 % вес. в изопропанол) в 1-бутаноле (99,8%, Sigma-Aldrich) на сапфировую подложку толщиной 0,43 мм методом центрифугирования (центрифуга SPIN NXG-P1, скорость вращения ротора 4000 об./мин., время нанесения 40 сек.). Сушка пленки диоксида титана осуществлялась в термошкафу при температуре 125 °С в течение 5 мин., а затем подвергалась отжигу при 500 °С в муфельной печи в течение 30 мин.

Проведены исследования пленки диоксида титана на сапфировой подложке методом атомно-силовой микроскопии,

которые показали, что полученные пленки диоксида титана однородны, при этом значения диаметра кристаллов находятся в диапазоне до 200 – 250 нм.

Проведены исследования термоупругих напряжений в тонких пленках  $\text{TiO}_2$  на сапфировой подложке, возникающих в связи с различием значений коэффициентов термического расширения пленки и подложки. Экспериментальные исследования для измерения термоупругих напряжений в тонких пленках  $\text{TiO}_2$  были проведены на установке Tencor FLX-2320 (Япония) в лаборатории НКТБ «Пьезоприбор» (Россия, г. Ростов-на-Дону). Результаты исследования термоупругих напряжений в пленках диоксида титана толщиной порядка 100 нм на сапфировой подложке приведены на рисунке 1.

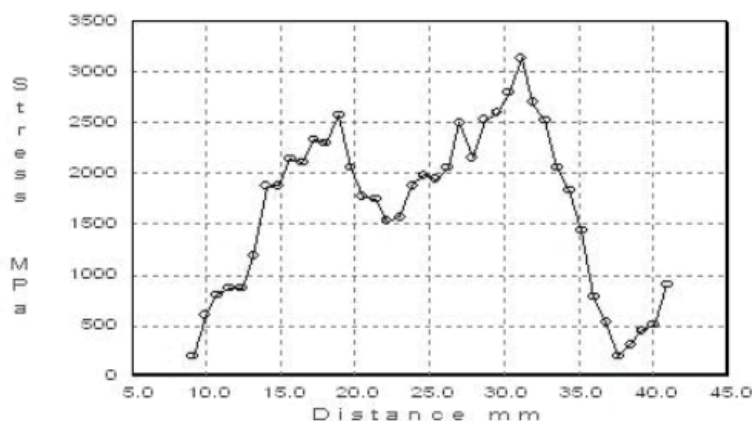


Рисунок 1 – Исследование термоупругих напряжений в пленках диоксида титана толщиной порядка 100 нм на сапфировой подложке (толщиной 0,43 мкм)

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что при формировании пленки диоксида титана на сапфировой подложке образуются растягивающие термические напряжения. Исследовано влияние температурных полей на термоупругие напряжения в пленках диоксида титана. Определено, что при температуре нагрева структуры до 30 – 40 °С термоупругие напряжения находятся на одном уровне и составляют порядка 1,1 ГПа.

Представленные результаты экспериментальных исследований термоупругих напряжений в пленках диоксида титана на сапфировой подложке хорошо согласуются с проведенными теоретическими расчетами для толщины пленки порядка 100 нм.

Работа поддержана Минобрнауки России и Германской службой академических обменов (DAAD) в рамках совместной программы "Михаил Ломоносов".

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Seo, M.-H., Yuasa, M., Kida, T., Huh, J.-S., Yamazoe, N., Shimano, K. Detection of organic gases using TiO<sub>2</sub> nanotube-based gas sensors / M.-H. Seo. Procedia Chemistry, 2009.

УДК 541.138/546.56-121:539.2

А.Л. Козловский<sup>1,2</sup>, М. Алин<sup>2</sup>, К.К. Кадыржанов<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Институт ядерной физики, Астана, Казахстан  
<sup>2</sup>ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ- НИКЕЛЯ

Одним из наиболее перспективных методов получения тонких пленок и защитных покрытий является метод электрохимического осаждения, который обладает рядом преимуществ над другими методами синтеза, такими как высокая точность контроля толщины покрытий, однородность получения покрытий по толщине и составу, масштабируемость процесса от получения лабораторных образцов до полупромышленного и промышленного производства. При этом данный метод прост и эффективен с точки зрения экономических затрат [1-3].

Для получения тонкопленочных покрытий на основе меди и никеля был выбран следующий электролит: CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (238г/л) Ni(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> (15г/л), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (21г/л). Выход металлов по току из сернокислых растворов электролитов составляет 100%. Контроль за процессом формирования пленок осуществлялся методом хроноамперометрии мультиметром «Agilent 34410A». Выбор данных металлов для получения тонкопленочных покрытий обусловлен их физико-химическими, магнитными и проводящими свойствами, а также кристаллической структурой и возможностью получения твердых растворов замещения и внедрения путем изменения условий синтеза.

Для определения физико-химических свойств, изменение кристаллографических характеристик и фазового состава