

**ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТОНКОЙ ПЛЁНКИ ОКСИДА  
АЛЮМИНИЯ НА ТИТАНЕ VT1-0**

Ван Цайлунь, Е.Д. Даулетханов, Инь Шаньшань

Научный руководитель: ассистент, к.ф.-м.н. В.С. Сыпченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [mujing1225@gmail.com](mailto:mujing1225@gmail.com)

**EFFECT OF HYDROGEN ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF A THIN FILM OF  
ALUMINUM OXIDE ON THE TITANIUM ALLOY VT1-0**

Wang Cailun, E.D. Dauletkhanov, Yin Shanshan

Scientific Supervisor: PhD, V.C. Sypchenko.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [mujing1225@gmail.com](mailto:mujing1225@gmail.com)

***Abstract.** One of the ways to protect titanium and its alloys from embrittlement is the application of the protection thin films on its surface. Such films ( $Al_2O_3$ ) were obtained by magnetron sputtering. The changes in physical and mechanical properties in " $Al_2O_3/Ti$ " system were studied: the lattice parameters, micro-hardness, electrical conductivity. This paper discussed the dependences of the  $Al_2O_3$  surface resistivity from hydrogen saturation time. In particular, the increasing of  $Al_2O_3$  surface conductivity of the film with increasing hydrogen saturation time has been found.*

**Введение.** Тонкоплёночные системы на основе оксида алюминия широко используются во многих высокотехнологичных отраслях промышленности благодаря своим многочисленным достоинствам: легкие и простые в обработке, низкой тепло- и электропроводностью. В литературе имеются данные, указывающие на то, что плёнка  $Al_2O_3$  является эффективным барьером для водорода [1]. Для титана характерна хорошая пластичность, он имеет небольшой удельный вес и сохраняет характеристики в условиях резких перепадов температур. Его механическая прочность почти вдвое превышает прочность чистого железа и в шесть раз – алюминия. Сплавы титан способен активно поглощать кислород, водород и азот, что приводит к изменению его пластических характеристик.

Есть необходимость защищать поверхность металла, соприкасающегося с водородом, от водородного охрупчивания и коррозии при любом способе хранения водорода. В случае металл-гидридных накопителей стоит задача защиты от потерь водорода при самопроизвольном распаде гидридов и выходе растворенного водорода за пределы накопителя. Обе эти задачи могут быть решены с помощью нанесения тонких пленок на соответствующие поверхности: на внутреннюю поверхность контейнера с водородом при его хранении в газообразном состоянии или на внешнюю поверхность при хранении в виде металл гидрида. В литературе имеются данные, указывающие на то, что плёнка  $Al_2O_3$  является эффективным барьером для водорода.

Целью настоящей работой является изучение закономерностей влияния водорода на электропроводность тонкой плёнки оксида алюминия на титане VT1-0.

**Методика эксперимента.** Объектом исследования являются тонкопленочные покрытия оксида алюминия, нанесенные на титан марки ВТ1-0 ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$ ) методом магнетронного распыления. Выбор титана обусловлен хорошей сорбцией по водороду. Образцы титана изготавливались электроискровой резкой размерами  $20 \times 20 \times 1$  мм, с последующие механической и ионной полировкой поверхности.

На образцы-подложки Ti на установке «Яшма-2» [2] методом магнетронного распыления наносилось тонкопленочное покрытие  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Конструктивно установка выполнена из двух камер: шлюзовой и рабочей; шлюзовая камера предназначена для загрузки подложек без развакуумирования рабочей камеры, а в рабочей камере происходит ионная очистка и напыление покрытий. Образцы из титана помещались на подвижный столик, и камера откачивалась до предварительного вакуума  $P=7 \cdot 10^{-5}$  торр. Ионная очистка поверхности образцов производилась при следующих параметрах:  $U=2,5$ кВ,  $I=0,2$ А. Когда мишень очищалась от ненужной оксидной пленки, в камеру добавлялся кислород и магнетронная система переводилась в рабочий режим:  $P=2 \cdot 10^{-3}$ торр,  $U=0,8$ кВ,  $I=10$ А. Таким образом, за один проход на подложку осаждалось пленка толщиной 2 нм, а общая толщина покрытия составила ~400 нм.

Выдерживание образцов титана ВТ1-0 и  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$  в водородной атмосфере производилось на установке PCI «GasReactionController» методом Сивертса. Режимы водородной атмосферы были следующие: давление водорода в камере  $P = 2$  атм, температура  $T = 400$  °С, в течение от 1 до 4 часов.

Измерение электропроводности пленки оксида алюминия проводилось методом «накладных электродов», электроды изготовлены из медной пластинки длиной 7 мм. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) получались в результате изменения напряжения на электродах в диапазоне 0,01 – 0,09 В и регистрации соответствующего значения тока.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 1а представлены результаты измерения ВАХ полученных с поверхности пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$  после 1, 2, 3 и 4 часов выдержки в водородной атмосфере. Откуда можно видеть, что при увеличении времени выдержки пленки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в водородной атмосфере ВАХ смещаются вверх. На основании полученных ВАХ были рассчитаны поверхностные электропроводности пленок по формуле

$$\sigma = \frac{d \cdot I}{L \cdot U}$$

где  $\sigma$  – поверхностная электропроводность,  $U$  – значение приложенного напряжения,  $I$  – измеренная сила тока,  $d$  – расстояние между электродами,  $L = 7$  мм – длина электрода.

Результаты поверхностной электропроводности, рассчитанные по формуле, представлены на рис. 2. Из зависимости видно, что у образцов с большим временем выдержки в водородной атмосфере, поверхностная электропроводность пленки повышается, это различие объясняется, тем что при пропускании тока через оксидную пленку ионы в пленки перераспределяются и частично разрушается р-п-переход. При этом пленка оксида алюминия превращается в электронный полупроводник, содержащий большее или меньшее (в зависимости от условий) избыточное количество ионов алюминия. Воздействие на оксидную пленку водорода, связывающего кислород, приводит оксид алюминия в электронный полупроводник [3].

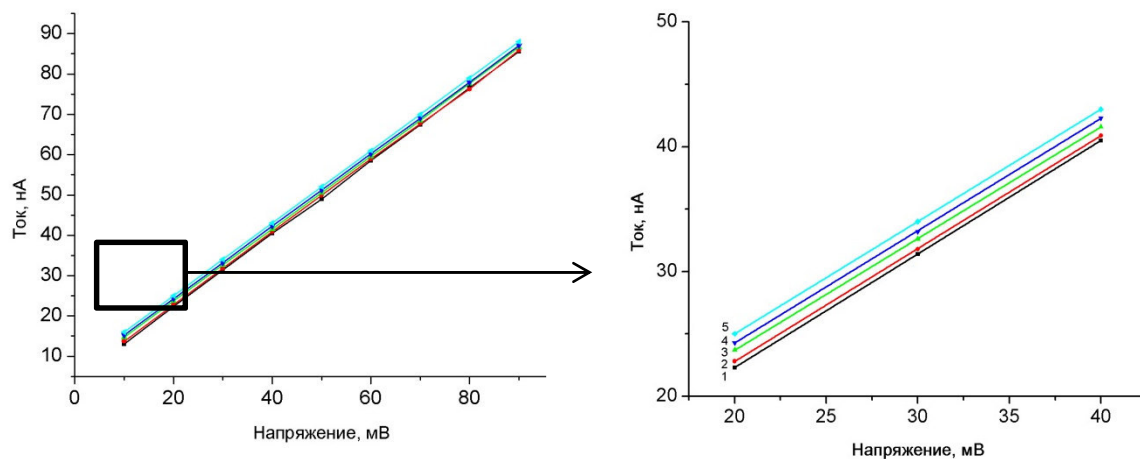


Рис.1 ВАХ системы  $Al_2O_3/Ti$ : 1 – исходная пленка и выдержанные в водородной атмосфере в течение: 2 – 1 ч, 3 – 2 ч, 4 – 3 ч, 5 – 4 ч.

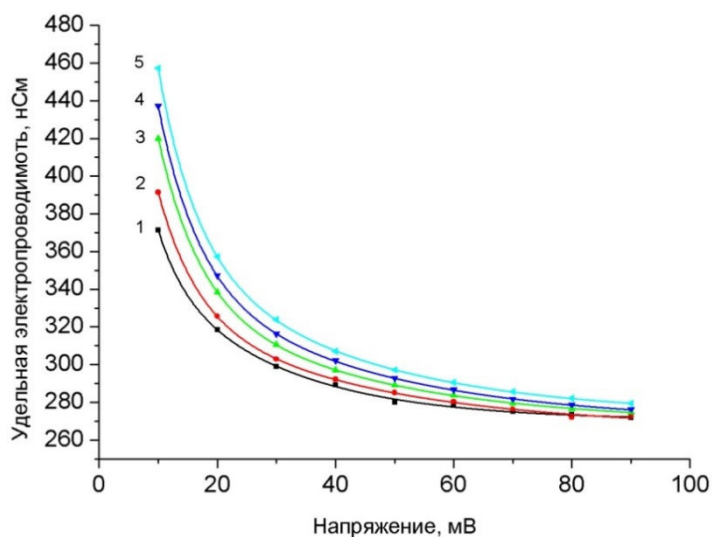


Рис.2 Зависимость поверхностной электропроводности пленки  $Al_2O_3$  на титане выдержанной в водородной атмосфере: 1 – исходная пленка, 2 – 1 ч, 3 – 4 ч, 4 – 2 ч, 5 – 3 ч.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания "Наука" в рамках научного проекта № 1524

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Junichiro Yamabe, Saburo Matsuoka, Yukitaka Murakami. International journal of hydrogen energy. (2013) 1014.
2. Ананьин П.С., Баинов Д.Д., Косцын Л.Г., Кривобоков В.П. Установка для нанесения покрытий на поверхность твердых тел «Яшма-2». // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – №4. – С. 1–4.
3. Новиков Г.Ф. Явления переноса, электропроводность в диэлектриках. – Воронеж, – 2000 – 203 с.