

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСНЫХ ИОНОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ДИЭЛЕКТРИКОВ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ**

А.А. Перминов, А.В. Чернявский

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.В. Чернявский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

E-mail: [19antoon93@mail.ru](mailto:19antoon93@mail.ru)

**DEPTH PROFILES OF IMPURITY IONS IN THE SURFACE LAYERS OF DIELECTRICS  
MODIFIED BY ION BEAMS**

A.A. Perminov, A.V. Chernyavskii

Scientific Supervisor: Ph.D. A.V. Chernyavskii

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

E-mail: [19antoon93@mail.ru](mailto:19antoon93@mail.ru)

**Annotation.** *The results of studies of impurity ions distribution in surface layers of dielectric modified by ion beams are presented. Depth profiles were measured by secondary ion mass spectrometry method. Computer simulations of the expected ion depth profile were carried out using the TRIM program. The alumina ceramic implanted with Ti ions at energy 50 keV and zirconium ceramic implanted with Al ions at energy 78 keV were investigated in our work.*

Имплантация металлических ионов в диэлектрические материалы является эффективным способом модификации поверхностных слоев обрабатываемых материалов. В результате имплантации изменяются оптические, механические и электрические свойства поверхностных слоев диэлектрических материалов. Результаты исследований изменения этих свойств можно найти в работах [1-4]. Для интерпретации и объяснения полученных результатов необходимы данные о распределении и концентрации имплантированных ионов по глубине обрабатываемых образцов, которые могут быть получены методом вторично-ионной масс-спектропии.

В связи с этим целью данной работы являлось измерение профилей распределения имплантированных ионов титана в поликристаллический оксид алюминия и ионов алюминия в циркониевую керамику методом вторично-ионной масс-спектрометрии.

Для имплантации образцов использовалась установка на базе источника ионов металлов Mevva-5.RU, описание которой можно найти в [5]. Источник ионов предназначен для получения широкоапертурных пучков ионов металлов, сплавов для их использования в технологиях модификации поверхностных свойств материалов функционального назначения. Принцип действия устройства основан на генерации и последующем отборе ионов из плазмы вакуумного дугового разряда с катодным пятном. Такой разряд функционирует исключительно в парах материала катода. Поэтому разрядная плазма состоит из ионов металла материала катода. При этом источник ионов характеризуется снижением загрязнения ионного пучка продуктами эрозии катододержателя и электродов системы извлечения. В наших экспериментах для имплантации ионов титана в образцы оксида алюминия использовалось ускоряющее напряжение

50 кВ, доза облучения составляла  $5 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Имплантация ионов алюминия в оксид циркония была проведена при ускоряющем напряжении 60 кВ и дозе облучения  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>, плотность ионного тока в импульсе 4 мА/см<sup>2</sup>, длительность импульса 250 микросекунд, частота следования импульсов 5 Гц.

Для измерения профилей распределения использовалась установка вторично-ионной масс-спектрометрии PHI 6300 (Perkin-Elmer PHI 6300 Ion Microprobe, USA), которая ранее использовалась для измерения профилей распределения имплантированных ионов углерода в оксид циркония в работе [6]. Для травления образцов использовался источник первичных ионов Cs<sup>+</sup> с энергией 7 кэВ и ионов O<sup>+</sup> с энергией 5 кэВ. Поверхность образцов сканировалась пучком сфокусированных первичных ионов с размерами сторон области сканирования 500 мкм. С целью исключения краевого эффекта кратера для анализа собирались вторичные ионы, приходящие с центральной части кратера травления (25% от общей площади кратера травления). После проведения измерений с помощью профилометра определялась глубина кратера травления, и затем были построены зависимости интенсивности сигнала вторичных ионов примеси от глубины травления. По этим зависимостям можно судить о концентрации и распределении имплантированных ионов по глубине образца, поскольку в наших условиях эксперимента интенсивность сигнала вторичных ионов прямо пропорциональна концентрации интересующих элементов в образце.

Результаты экспериментальных измерений и численных вычислений с помощью программы TRIM профилей распределения имплантированных ионов приведены на рис. 1, 2.

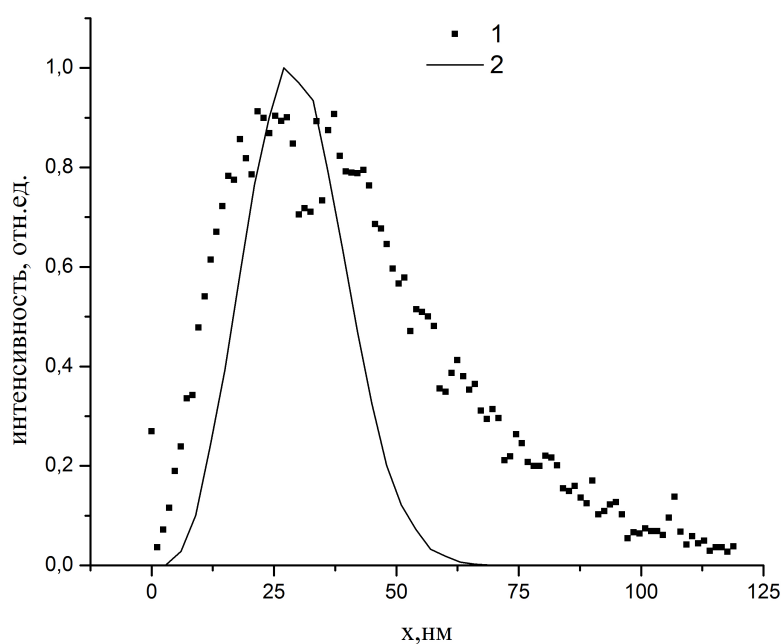


Рис. 1. Профиль распределения ионов Ti в образце Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:  
1 – экспериментальные данные; 2 – численный расчет

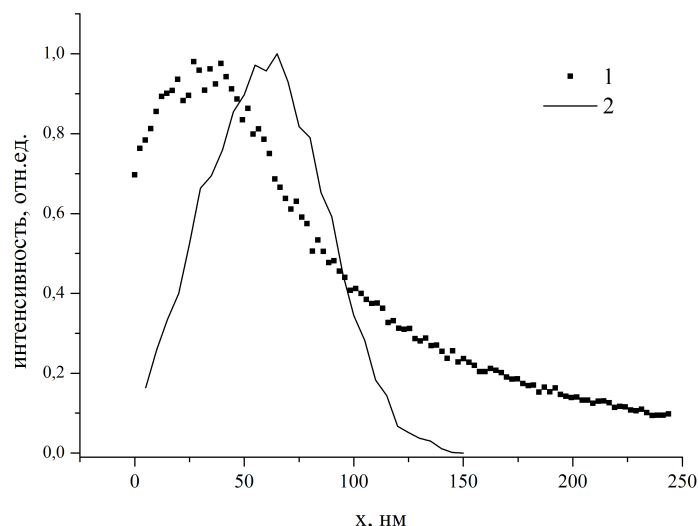


Рис. 2. Профиль распределения ионов Al в образце  $ZrO_2$ :

1 – экспериментальные данные; 2 – численный расчет

Из представленных результатов можно отметить удовлетворительное соответствие расчетов и эксперимента для имплантации ионов титана в оксид алюминия, и некоторое расхождение экспериментальных и численных данных для имплантации ионов алюминия в оксид циркония. Причины этого несоответствия на данный момент затруднительно указать, и поэтому требуется проведение дальнейших исследований.

*Работы выполнена в рамках научно-исследовательских работ по Госзаданию «Наука».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pichugin V.F., Frangulian T.S., Kryuchkov Yu.Yu., Feodorov A.N., Riabchikov A.I. Formation of conductive layers on dielectric substrates by ion bombardment // Nucl. Instrum. Methods B – 1993. – Vol. 80–81. – Part 2. – P. 1203–1206.
2. Kabyshev A.V., Konusov F.V., Kurakov A.G., Lopatin V.V. Properties of oxide and nitride ceramics after ion-heat modification // Nucl. Instrum. Methods B – 2000. – Vol. 166-167. – P. 92–97.
3. Salvadori M. C., Teixeira F. S., Cattani M., Nikolaev A., Savkin K. P., Oks E. M., Park H.-K., Phillips L., Yu K. M., Brown I. G. On the electrical conductivity of Ti-implanted alumina // Journal of Applied Physics – 2012. – Vol. 111. – 063714.
4. Liu F., Dickinson M.R., MacGill R.A., Anders A., Monteiro O.R., Brown I.G., Phillips L., Biallas G., Siggins, T. Surface resistivity tailoring of ceramics by metal ion implantation // Surf. Coat. Technol. – 1998. – Vol. 103–104. – P. 46–51.
5. Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Yu., Brown I.G. Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation // Rev. Sci. Instrum. – 2012. – Vol. 83. – 02A501
6. Ghyngazov S. A., Vasil'ev I. P., Surzhikov A. P., Frangulyan T. S., Chernyavskii A. V. Ion processing of zirconium ceramics by high-power pulsed beams // Technical Physics. – 2015. – Vol. 60 – N 1. – P. 128-132.