

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ИОННЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

© 2016 г. А.А. ПЕРМИНОВ, А.Б. ПЕТРОВА, А.В. ЧЕРНЯВСКИЙ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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 и их сравнение с результатами численных расчетов.

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/см². Имплантация ионов алюминия в оксид циркония была проведена при ускоряющем напряжении 40 кВ и двух дозах облучения (10^{16} и 10^{17} ион/см²), плотность ионного тока в импульсе 4 мА/см², 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 нами применялась для измерения профилей распределения имплантированных ионов углерода и алюминия в оксид циркония [6], [7]. Для травления образцов в описываемых экспериментах использовался источник первичных ионов O_2^+ с энергией 5 кэВ. Поверхность образцов сканировалась пучком сфокусированных первичных ионов с размерами сторон области сканирования 700 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.

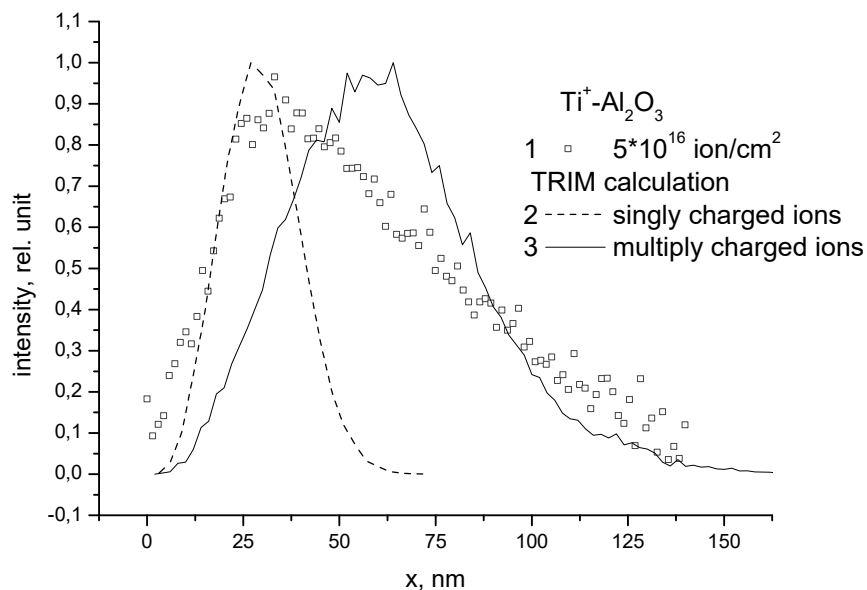


Рис. 1. Профиль распределения ионов Ti в образце Al₂O₃:
1 – экспериментальные данные; 2 – численный расчет.

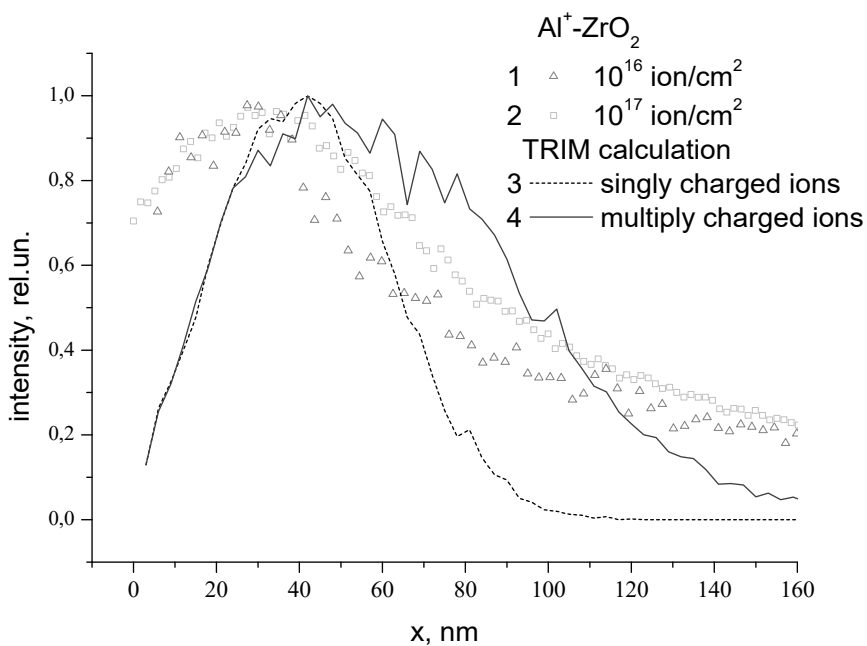


Рис. 2. Профиль распределения ионов Al в образце ZrO₂:
1,2 – экспериментальные данные; 3,4 – численный расчет.

На рисунках приведены результаты численных расчетов распределения имплантированных ионов для однозарядных и многозарядных частиц, поскольку используемый имплантер не имел системы разделения ионов по заряду, и в пучке ионов присутствует одно- и многозарядные частицы. По данным одного из авторов [5] (Савкин К.П.) в извлеченном ионном пучке присутствуют ионы алюминия с зарядом: 1+, 2+, 3+;

и ионы титана с зарядом: 1+, 2+, 3+, 4+. Из представленных результатов видно, что глубина максимума измеренного распределения имплантированных ионов не совпадает с аналогичным параметром для численных расчетов. Положение максимума распределения смещено ближе к поверхности образца по сравнению с положением максимума расчетного распределения. Это можно объяснить возможным стравливанием поверхностных слоев образцов в процессе имплантации ионов при использованных экспериментальных условиях. Тем не менее, по результатам проведенного численного расчета можно корректно оценить форму распределения имплантированных ионов и глубину их максимального проникновения в образец.

Авторы считают своим долгом выразить признательность
Савкину К.П. (ИСЭ СО РАН, г. Томск) за проведение имплантации
используемых в этой работе образцов.

Работа 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. <http://dx.doi.org/10.1063/1.3697900>.
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. <http://dx.doi.org/10.1063/1.3655529>.
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.
7. *Ghyngazov S.A., Vasiliev I.P., Frangulyan T.S., Chernyavski A.V.* Deformation characteristics of the near-surface layers of zirconia ceramics implanted with aluminum ions [Electronic resource] / [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2015, vol.93, Modern Technique and Technologies (MTT'2015), 012026. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/93/1/012026>.