

УДК 621.384

DOI: 10.17223/00213411/64/5/26

Ю.Ф. ИВАНОВ¹, В.П. ФРОЛОВА^{1,2}, А.С. БУГАЕВ¹, Б.Е. КАДЛУБОВИЧ³, А.Г. НИКОЛАЕВ¹,
Е.А. ПЕТРИКОВА¹, О.С. ТОЛКАЧЕВ¹, Г.Ю. ЮШКОВ¹

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЦИРКОНИЙ-НИОБИЕВОГО СПЛАВА, ПОДВЕРГНУТОГО ВЫСОКОДОЗНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ ИЗОТОПА БОРА $^{10}\text{B}^{+}$ *

Создание имплантированных изотопом бора ^{10}B слоев на элементах активной зоны ядерного реактора, вследствие аномально большого сечения захвата нейтронов, может обеспечить снижение реактивности реактора в начале кампании по его эксплуатации. Установлено, что имплантация ионами бора $^{10}\text{B}^{+}$ с энергией 22 кэВ при дозе $7 \cdot 10^{16}$ ион/см² приводит к увеличению микротвердости поверхности с 3 ГПа для исходного до 3.7 ГПа для имплантированного образца. Обнаружено, что скорость коррозии образцов сплава Э110 в 1%-м растворе HF после имплантации (энергия ионов $^{10}\text{B}^{+}$ – 22 кэВ, доза – $7 \cdot 10^{16}$ ион/см²) в 1.2–1.4 раза ниже, чем для исходного сплава. Показано, что имплантация сплава Э110 ионами бора $^{10}\text{B}^{+}$ сопровождается формированием в поверхностном слое субзеренной структуры размерностью 100–200 нм, увеличением скалярной плотности дислокаций, выделением наноразмерных 1.8–2.3 нм частиц борида циркония.

Ключевые слова: цирконий-ниобиевый сплав, ионы изотопа бора $^{10}\text{B}^{+}$, ионная имплантация, фазовый состав, дефектная субструктура.

Введение

Актуальность исследования процессов воздействия ускоренных ионов бора на поверхность материалов обусловлена не только интересом к этой проблеме, как к задаче физического материаловедения, но и практическим применением пучков ионов бора в технологиях модификации поверхности [1, 2]. Внимание к изотопу бора ^{10}B связано с тем, что он имеет аномально большое сечение захвата тепловых нейтронов, поэтому создание имплантированных слоев на элементах активной зоны ядерного реактора, выполняемых из сплава Э110, может обеспечить снижение реактивности реактора в начале кампании по его эксплуатации. Кроме этого, имплантированные изотопом ^{10}B поверхности могут применяться для задач нейтронной физики, при создании детекторов нейтронов или для биологической защиты. При изготовлении полупроводниковых кремниевых пластин широко используют имплантеры ионов бора, способные обеспечить дозы внедренных ионов в поверхность кремния уровня 10^{12} – 10^{14} ион/см² при энергии ионов от десятков до сотен килоэлектронвольт [3]. Для генерации пучков ионов бора в таких имплантерах в настоящее время, чаще всего, используют ионные источники типа Фримана [4], в которых плазма образуется при ионизации борсодержащих газообразных веществ.

Для технологии модификации поверхности, обеспечивающей, например, увеличение поверхностной твердости или коррозионной стойкости, необходима доза внедренных ионов более 10^{15} ион/см². Для такой высокодозной имплантации широко используются имплантеры на основе вакуумного дугового разряда, однако они могут генерировать ионы только проводящих материалов. Поскольку удельное сопротивление чистого бора при нормальных условиях составляет ~ 1 МОм·см, то для стабильного инициирования и горения дугового разряда требуется нагрев катода из бора до температуры ~ 800 °С, при котором удельное сопротивление бора снижается примерно до 1 Ом·см. Такой метод генерации плазмы бора на основе вакуумной дуги был реализован в работах [5, 6]. Вместе с тем возможен альтернативный подход – использование в качестве материала катода вакуумного дугового источника гексаборида лантана (LaB_6), имеющего при нормальных условиях низкое удельное сопротивление ~ 10 мкОм·см [7, 8]. В этом случае общая доля ионов бора в пучке соответствует их доле в материале катода и составляет около 85% [8], а ионы лантана, масса которых более чем на порядок превышает массу ионов бора, легко сепарируются в поворотном магните имплантера.

* Работа поддержана Российским научным фондом. Эксперименты по имплантации образцов и исследование их механических и коррозионных свойств были выполнены в рамках проекта РНФ № 16-19-10034; исследования дефектной субструктуры методами оптической, сканирующей и просвечивающей дифракционной электронной микроскопии выполнены в рамках проекта РНФ № 19-19-00183.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>