

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 533.93:537.525

DOI: 10.17223/00213411/68/9/13

**Формирование глубоколегированных слоев  
при импульсно-периодической имплантации алюминия  
пучками ионов титана высокой плотности<sup>\*</sup>**

А.И. Иванова<sup>1</sup>, О.С. Корнева<sup>1</sup>, С.В. Дектярев<sup>1</sup>, А.В. Гурулев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Представлены результаты исследований формирования глубоколегированных слоев при импульсно-периодической имплантации алюминия пучками ионов титана высокой плотности мощности. Приведены результаты исследования закономерностей накопления примеси в условиях изменения тепловых полей приповерхностного слоя за счет увеличения объема образца и применения дополнительного теплоотвода. Показано, что синергия высокоинтенсивной имплантации и энергетического воздействия пучка ионов титана высокой плотности мощности 70 кВт/см<sup>2</sup> на поверхность алюминия обеспечивает формирование ионно-легированного слоя глубиной около 5 мкм, что на два порядка больше длины проективного пробега. Исследованы распределение температурных полей в приповерхностном слое при импульсно-периодической имплантации алюминия пучками ионов титана и фазовый состав.

**Ключевые слова:** синергия, имплантация ионов, энергетическое воздействие, титан, алюминий.

Ионная имплантация как метод модификации приповерхностных слоев изделий различного назначения широко известна уже не одно десятилетие [1–8]. Несмотря на большое количество исследований в данной области, классическая ионная имплантация при плотностях токов 1–100 мА/см<sup>2</sup> [9–11] ограничивается небольшой глубиной ионно-модифицированного слоя на уровне длины проективного пробега ионов в веществе. Для формирования ионно-модифицированных слоев больших глубин необходимо увеличивать плотность ионного тока, а соответственно, и флюенсы облучения. Новый метод высокоинтенсивной ионной имплантации обеспечивает плотность импульсного тока до 5 А/см<sup>2</sup> и флюенсы облучения до 10<sup>22</sup> ион/см<sup>2</sup> [12].

Экспериментальные исследования проводились на комплексной установке, описанной в работе [13]. Формирование легированных слоев при импульсно-периодической имплантации алюминия пучками ионов титана высокой плотности мощности 70 кВт/см<sup>2</sup> проводилось при частоте импульсов 8 имп./с и времени облучения 60 мин. Ток дугового разряда составлял 160 А. Доза облучения – 2·4·10<sup>18</sup> ион/см<sup>2</sup>. Образцы из алюминия были расположены на вращающемся вокруг своей оси подложкодержателе при частоте вращения 8.8 оборотов в минуту. Для исследования зависимости накопления примеси по глубине от температурных полей были подготовлены два образца с разными размерами и их размещением. В первом случае квадратный образец со стороной 20 мм располагался на подложкодержателе, закрепленном с двух сторон с помощью шпилек M4 на расстоянии 65 мм от оси вращения вала. Во втором случае с целью улучшения теплоотвода образец прямоугольной формы 40×20 мм располагался на цилиндрической дюралюминиевой вставке диаметром 18 мм и длиной 42 мм. Для исследования накопления примеси по глубине модифицированного слоя были изготовлены поперечныешлифы образцов. Толщины модифицированного слоя и распределение примеси по глубине определялись с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400 N, оснащенного энергодисперсионной приставкой Bruker XFlash 4010. Изучение фазового состава исследуемых образцов выполняли методом рентгенофазового анализа (РФА) на основании дифрактограмм, полученных с помощью дифрактометра XRD-7000 фирмы «Shimadzu». Для измерения температуры поверхности образцов применялся высокоскоростной инфракрасный пирометр KLEIBER KGA 740-LO.

Численным моделированием были проведены расчеты температурных полей по глубине приповерхностного слоя образца из алюминия, модифицированного ионами титана (рис. 1). Температура плавления алюминия составляет 660 °С. Результаты математического моделирования показывают, что в первом случае имеет место подплавление приповерхностного слоя к концу действия каждого импульсного воздействия на глубину около 3 мкм. Во втором случае температура не превышает температуру плавления.

Экспериментальные исследования показали следующие результаты. Средняя температура поверхности алюминия к концу действия каждого импульса при облучении пучком ионов титана на основании данных пирометра в первом случае достигала ~ 700 °С. Во втором случае была на уровне 650 °С.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10061, <https://rscf.ru/project/22-79-10061/>.