

## ФОРМИРОВАНИЕ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПУЧКОВ ИОНОВ ТИТАНА СУБМИЛЛИСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИЗ ПЛАЗМЫ ВАКУУМНОЙ ДУГИ\*

А.И. Рябчиков, С.В. Дектярев, О.С. Корнева, Д.О. Вахрушев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Развитие метода улучшения эксплуатационных свойств различных материалов, основанного на синергии высокоинтенсивной имплантации ионов и одновременного энергетического воздействия на поверхность, нацелено на создание глубоких ионно-легированных слоев. Для реализации этого метода необходимы импульсно-периодические пучки ионов металлов и газов субмиллисекундной длительности с высокой плотностью мощности. В работе представлены результаты экспериментальных исследований по формированию импульсных высокоинтенсивных пучков ионов титана из плазмы вакуумной дуги. Исследовано влияние на фокусировку и эффективность транспортировки размеров ячеек сеточного фокусирующего электрода в виде части сферы. Экспериментально показана возможность баллистической фокусировки пучка ионов титана с длительностью импульса в диапазоне от 150 до 500 мкс с достижением плотности мощности до 200 кВт/см<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** *формирование пучка ионов, плазма вакуумной дуги, ионная имплантация.*

### Введение

Пучки заряженных частиц и плазменные потоки находят все большее применение для модификации свойств различных материалов и покрытий [1]. Особое место в технологиях ионно-плазменной обработки материалов занимает импульсное энергетическое воздействие на поверхность твердого тела. Пучки электронов [2], ионов [3], лазерного излучения [4] нано- и микросекундной длительности с высокой плотностью мощности обеспечивают модификацию различных металлов и сплавов благодаря экстремально высоким скоростям нагрева и последующего охлаждения приповерхностных слоев на глубинах от единиц до нескольких десятков микрометров. Основным процессом модификации микроструктуры и свойств материалов в этом случае обусловлен эффектом сверхскоростной закалки без изменения элементного состава вещества. Альтернативный метод пучковой модификации материалов основан на ионной имплантации [5, 6]. Изучение особенностей и закономерностей модификации свойств металлов и сплавов при обычной ионной имплантации показало ограниченную возможность ее практического применения. Основное ограничение связано с малым проективным пробегом ионов и, соответственно, с незначительной толщиной ионно-легированного слоя.

В последние годы получили развитие новые методы высокоинтенсивной имплантации с применением пучков ионов низкой энергии, но высокой плотности мощности. Эти методы продемонстрировали возможность ионного легирования материалов на глубинах в десятки микрометров при флюенсах ионного облучения  $10^{19}$ – $10^{21}$  ион/см<sup>2</sup> [7]. Хорошие перспективы практического применения показала высокоинтенсивная имплантация ионов азота в нержавеющую сталь, сталь AISI 5135 и AISI 420 [8, 9], когда при температурах имплантации, не превышающих 450–500 °С, в течение часа формировались модифицированные слои толщиной в десятки и сотни микрометров. Можно полагать, что подобные технологии могут быть развиты и в случаях высокоинтенсивной имплантации ионов низкой энергии, имеющих малый атомный радиус. Преимущества метода, обеспечивающего глубокое ионное легирование, в ряде перспективных применений, нивелируются нагревом всего образца до высоких температур, при которых наблюдается деградация микроструктуры материалов. Так, например, при имплантации ионов алюминия в титан для формирования ионно-легированного слоя толщиной в несколько десятков микрометров потребовалось увеличить нагрев имплантируемого титана ионным пучком до 950 °С [10].

На решение проблемы сохранения преимуществ высокоинтенсивной имплантации с одновременным устранением высокотемпературной деградации микроструктуры облучаемой мишени нацелен новый метод, описанный в работе [11]. Сущность метода заключается в использовании для высокоинтенсивной имплантации пучков ионов микро-субмиллисекундной длительности с плот-

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00051, <https://rscf.ru/project/22-19-00051/>.

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>