



Минобрнауки России
Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики
Российской академии наук»
(ИПФ РАН)

Ульянова ул., 46, Бокс-120, Нижний Новгород,
603950

Тел. (831) 436-62-02

Факс (831) 416-06-16

E-mail: dir@appl.sci-nnov.ru

http://www.ipfran.ru

ОКПО 04683326, ОГРН 1025203020193,

ИНН/ КПП 5260003387/526001001

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики
Российской академии наук», чл.-корр. РАН



Ф.Г. Денисов

«14» сентября 2019

15.10.2019 № 120/3203

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

Ведущей организации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» на диссертацию Т.В. Кулевого «Источники пучков ионов твердотельных веществ на основе вакуумно-дугового и пеннинговского разрядов для экстремальных режимов ионной имплантации», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Актуальность для науки и практики

Диссертация Т.В. Кулевого посвящена теме разработки компактных надежных ионных источников для фундаментальных и прикладных исследований. Ионные источники широко применяются в области ядерной физики, где требуются качественные интенсивные пучки для инъекции в ускорители. Особенное место занимают источники многозарядных ионов тяжелых элементов, такие как MEVVA. Требования к этим источникам постоянно возрастают: необходимо повышать как заряд ионов, так и интенсивность ионных пучков для увеличения вероятности наблюдения реакций. В настоящее время развитие источников многозарядных ионов во многом определяет развитие экспериментальной ядерной физики. Еще одной областью, где крайне востребованы специализированные ионные источники, является обработка и модификация различных материалов. Крупнейшим потребителем таких устройств является полупроводниковая промышленность, где применяются ионные пучки с различными апертурами, энергиями и химическим составом. В диссертации рассмотрена как проблема создания эффективных источников многозарядных ионов для высокоэнергетической имплантации, так и методы генерации ионов многоатомных молекул для про-

цессов обработки при экстремально низких энергиях. Диссертационное исследование покрывает широкий спектр упомянутых глобальных задач и, несомненно, является крайне актуальным.

Новизна основных научных результатов и их значимость для науки и производства

В описанных в работе исследованиях впервые было предложено использовать дополнительную инжекцию электронного пучка в плазму вакуумно-дугового разряда, а также вакуумную дугу в форме «ступенчатого разряда» в магнитном поле с сильным градиентом для повышения характеристик источников многозарядных ионов металлов типа MEVVA. Данные методы были успешно реализованы автором, в результате чего были достигнуты ранее недоступные для MEVVA характеристики ионных пучков, существенно повышен максимальный доступный заряд ионов (до U^{8+}), их средний заряд увеличен до полутора раз, при этом сохранена высокая интенсивность пучков. Аналогичная модернизация пеннинговского ионного источника, основанная на инжекции в область разряда части электронов, предназначенных для косвенного нагрева катода, также позволила существенно улучшить характеристики устройств данного типа.

При использовании разработанного Т.В. Кулевым модернизированного источника типа Bernas для генерации пучков ионов многоатомных борсодержащих молекул были достигнуты рекордные параметры. Были получены пучки ионов декаборана и карборана с плотностью тока до 1 mA/cm^2 , что соответствует эквивалентной плотности атомарного пучка бора на уровне 10 mA/cm^2 . С использованием достигнутых результатов была реализована имплантация при эквивалентной энергии атомов бора менее 400 эВ.

Достигнутые результаты в разработке ионных источников позволили создать в ИТЭФ ряд уникальных исследовательских установок ионного облучения и имплантации, а именно ускоритель ТИПр, установки СОМАТ и УСИ, что открыло возможности для широкого круга уникальных материаловедческих исследований.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертации могут быть использованы в работе Института общей физики им. А.М. Прохорова, ФИЦ «Институт прикладной физики Российской академии наук», Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, Института сильноточной электроники СО РАН, Объединенного института ядерных исследований, НИЦ «Курчатовский институт» и др. Разработанные в работе методы могут широко применяться на предприятиях полупроводниковой промышленности.

Общие замечания

Как уже отмечалось выше, в работе предложено использовать дополнительную инжекцию электронов в схемах вакуумно-дугового и пеннинговского источников ионов. Несмотря на единый подход к усовершенствованию источников разных типов, энергия инжектируемого в плазму вакуумно-дугового и пеннинговского разрядов электронного пучка отличалась примерно на порядок, 18 и 1,5 кВ соответственно. Следует заметить, что в обоих случаях энергия электронов существенно превосходит оптимальное значение для ионизации электронным ударом ионов рассматриваемых зарядностей, что вызывает вопрос о механизме, приводящем к повышению среднего заряда ионов в плазме. Из текста диссертации неясно, проводилась ли оптимизация работы ионных источников по параметру энергии электронного пучка. Вопрос механизмов влияния электронного пучка с разной энергией на параметры плазмы и методов выбора ее оптимальной величины, по видимому, стоило обсудить в диссертации более подробно.

В ходе исследований были получены оригинальные результаты по генерации пучков ионов многоатомных борсодержащих молекул для ионной низкоэнергетической имплантации, подробно описаны преимущества данной технологии. Было бы уместно в работе также обсудить и недостатки такой методики, в частности, влияние потока столь тяжелых ионов на кристаллическую решетку облучаемого образца.

На всех приведенных в диссертации чертежах разработанных устройств не указан масштаб или какие-то характерные размеры, что существенно замедляет скорость визуального восприятия и оценки предлагаемого технического решения.

В работе отмечается, что выполненные разработки выгодно отличаются от конкурирующих решений ресурсом работы и соответствуют требованиям, предъявляемым полупроводниковой индустрией. Тем не менее, в работе не представлено сведений о полноценных ресурсных испытаниях. Наличие таких данных могло бы украсить диссертацию.

Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предложены эффективные оригинальные схемы ионных источников на основе вакуумно-дугового и пеннинговского разрядов с дополнительной инжекцией электронов. Для обоих типов источников предложены области применения, в которых разработанные устройства имеют существенное преимущество перед конкурирующими решениями других авторов. В работе успешно продемонстрированы стабильность и надежность их работы, реализовано их использование в составе крупных исследовательских стендов в НИЦ «Курчатовский институт».

Можно заключить, что мы имеем дело с работой высокого качества, выполненной по актуальной проблематике современной техники. Достоверность результатов обоснована примененными современными методами измерений и, естественно, добросовестностью автора, не вызывающей

сомнения у коллег. Замечания по диссертации, сделанные выше, никак не влияют на результаты исследований и их высокую оценку.

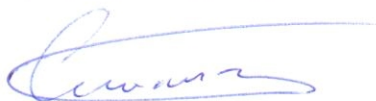
Текст автореферата правильно отражает содержание диссертации. Результаты работы были представлены на многочисленных отечественных и международных конференциях, опубликованы в 27 статьях в журналах, входящих в перечень ВАК научных изданий и/или индексируемых Web of Science и Scopus.

Диссертационная работа соответствует всем требованиям действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК Российской Федерации к докторским диссертациям, а ее автор Кулевой Тимур Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Доклад Т.В. Кулевого, отражающий основные результаты диссертации, был заслушан на научном семинаре Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» 01 октября 2019 г. Работа получила единогласную положительную оценку участников семинара.

Отзыв составил

д.ф.-м.н.



В.А. Скалыга

Скалыга Вадим Александрович, доктор физико-математических наук, руководитель Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46.

Тел.: 831-416-47-04, email: skalyga@ipfran.ru