

Государственная корпорация по атомной энергии
"Росатом"
Федеральное государственное унитарное предприятие
**РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР**
Всероссийский
научно-исследовательский
институт экспериментальной физики
ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ"

УТВЕРЖДАЮ

Ц.о. Директор РФЯЦ-ВНИИЭФ,
доктор технических наукВ.Е. Костоков
2019 г.

ОТЗЫВ

31.10.19 № 195-04/ 225740

На автореферат диссертации
Кулевого Т.В. на соискание
ученой степени

Источники ионов нашли широкое применение для решения ряда научно-технических задач, имеющих важное значение. Например, таких как:

- поставка пучков ионов для крупнейших ускорительных комплексов, типа Большого адронного коллайдера (БАК) в ЦЕРН, на которых осуществляются исследования по фундаментальной физике;
- создание на основе ионных источников имплантационных устройств для производства полупроводников (п/п).

Решение задач, связанных с поставкой ионов для высокоэнергетичных установок типа БАК и ионных ускорительных комплексов, предполагает разработку источников с как можно более высоким зарядовым состоянием, требуемого для увеличения темпа набора энергии пучком и, как следствие, уменьшения размеров ускоряющих резонаторов.

Для производства современных п/п устройств с высочайшей топографической плотностью и постоянным уменьшением характерных размеров ионного легирования требуется генерация низкоэнергетичных пучков однозарядных ионов тяжелых молекул, которые имеют высокое содержание элемента, легируемого в п/п.

Два выше представленных режима генерации пучков определяются как «экстремальные» режимы ионной имплантации.

Решению научно-технических проблем, связанных с разработкой ионных источников с экстремальными параметрами пучка для широкого спектра практических применений (в ускорителях заряженных частиц, высокоэнергетических и ультранизкоэнергетических ионно-имплантационных установках), а также созданию на их основе экспериментальной базы для проведения различных исследований посвящена диссертация Кулевого Т.В.

Диссертант предложил и обосновал использование плазменного катода для формирования электронного пучка в вакуумно-дуговом источнике ионов металла e-MEVVA. Оригинальное конструктивное решение источника, предложенное Кулевым Т.В., позволило повысить зарядность пучка ионов

свинца с 3+ до 6+ с сохранением интенсивности. Им также выполнен полный цикл экспериментальных исследований данного источника. Необходимо отметить, что данные источники имеют особые перспективы при использовании их для ускорительных комплексов тяжелых ионов.

В источнике ионов металлов MEVVA-M вакуумная дуга реализована в форме «ступенчатого разряда» в сильном нарастающем продольном магнитном поле, а образование фракции высокоэнергетических плазменных электронов, обеспечивает условия для ступенчатой ионизации в дуговой плазме. В таком источнике увеличивается удельный энерговклад в плазму, а также достигается существенное повышение средней зарядности ионного пучка.

Диссертанту принадлежит идея реализации источника ионов газов и твердотельных непроводящих веществ в скрещенных электрическом и магнитном полях $E \times B$ типа Bernas на основе разряда Пеннинга с термокатодом косвенного накала. На данном источнике проведены исследования по увеличению зарядности ионов плазмы разряда. Достижение таких результатов возможно в случае инъекции части высокоэнергетического электронного пучка, нагревающего катод, непосредственно в разрядный промежуток. При этом происходит дополнительный нагрев плазменных электронов и многократная ионизация в плазме, что, в конечном счете, приводит к повышению средней зарядности ионного пучка, извлекаемого из плазмы.

Кулевым Т.В. реализована идея по разработке источника многоатомных борсодержащих молекулярных ионов. Такой источник типа Bernas с модернизированной конструкцией разрядной ячейки и оптимизированным режимом горения разряда обеспечивает формирование интенсивного пучка ионов борсодержащих соединений с плотностью тока уровня 1 мА/см², что находится на уровне лучших мировых аналогов. При использовании в качестве рабочего вещества специального борсодержащего соединения с включением атомов сильных оксидантов обеспечивается непрерывная очистка электродов разрядной камеры от тугоплавких фрагментов, что дополнительно повышает надежность и увеличивает срок службы ионного источника.

Результаты исследований, проведенных диссертантом по усовершенствованию ионных источников, обеспечили возможность создания в НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ целого ряда экспериментальных установок ионного облучения и имплантации, таких как:

- ускоритель пучков тяжелых ионов ТИПр (Тяжелый Ионный Прототип) для экспресс-анализа материалов ядерных и термоядерных реакторов и изучения взаимодействия ионного пучка с газовыми и плазменными мишенями;

- установка СОРМАТ, предназначенная для предварительного воздействия ионным пучком на образцы, которые в дальнейшем исследуются методами атомно-зондовой томографии;

- установка УСИ, предназначенная для ультранизкоэнергетической ионной имплантации в п/п.

Основные результаты диссертационной работы доложены Кулевым Т.В. на научно-технических конференциях и рабочих совещаниях, опубликованы в статьях и журналах, входящих в перечень ВАК научных изданий и индексируемых Web-of-Science и Scopus, в которых требуется опубликование основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и защищены патентами Российской Федерации и США.

Принципиальных замечаний по автореферату диссертации Кулевого Т.В. не имеется.

Выполненную Кулевым Т.В. работу следует квалифицировать как решение крупной научно-технической проблемы в области создания ионных источников с экстремальными параметрами пучка широкого спектра применения и создания на их основе экспериментальной базы, как для фундаментальных исследований, так и для прикладных работ, имеющих важное народно-хозяйственное значение.

Выполненная Кулевым Т.В. работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а соискатель достоин присуждения ему степени доктора технических наук.

Директор ИЯРФ,
доктор физико-математических наук

Н.В. Завьялов

Заместитель директора ИЯРФ –
начальник отделения,
кандидат физико-математических наук

А.В. Тельнов