

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кулевого Тимура Вячеславовича «Источники пучков ионов твердотельных веществ на основе вакуумно-дугового и пеннинговского разрядов для экстремальных режимов ионной имплантации», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Диссертационная работа Кулевого Т. В. посвящена разработке ионных источников с экстремальными параметрами пучка для ускорителей заряженных частиц, а также для высокоэнергетических и ультранизкоэнергетических ионно-имплантационных установок, включая создание на их основе экспериментальной базы для проведения фундаментальных исследований и прикладных работ. В диссертационной работе основное внимание уделяется двум типам ионных источников, а именно: источнику ионов металлов на основе вакуумной дуги и источнику ионов типа Vernas на основе разряда в скрещённых электрическом и магнитных полях в электродной системе ячейки Пеннинга. Для обоих типов ионных источников соискателем проведены исследования условий генерации ионно-эмиссионной плазмы, процессов формирования и ускорения ионных пучков.

Диссертация изложена на 252 страницах текста, включая 138 рисунков и 30 таблиц, и состоит из введения, пяти глав и заключения; перечень цитируемых литературных источников включает 276 наименований. Цели и задачи исследования сформулированы чётко; структура работы логична и обоснована.

Актуальность работы заключается в многообразии сфер практического применения ионных источников. В настоящее время ионные источники находят самое широкое применение. С одной стороны, они используются для генерации пучков ионов в крупнейших ускорительных комплексах, а с другой стороны – в сугубо утилитарных установках, таких как имплантационные устройства для производства полупроводников. Требования, предъявляемые к источникам, определяются задачами, которые решаются с их помощью. Для высокоэнергетических установок требуются пучки ионов с как можно более

высоким зарядовым состоянием, чтобы увеличить темп набора энергии пучком и сократить размеры всего ускорительного комплекса. В то время как полупроводниковая промышленность стремится к созданию всё более компактных изделий с постоянно повышающейся плотностью размещения единичных полупроводниковых элементов. Это обуславливает необходимость снижения характерных размеров ионного легирования, что в конечном итоге требует для этих целей генерацию низкоэнергетических пучков однозарядных ионов тяжёлых молекул с высоким содержанием элемента, легируемого в полупроводник. Процессы воздействия на материалы высокоэнергетическими пучками многозарядных ионов или относительно медленными пучками тяжёлых однозарядных ионов представляют собой особые режимы ионно-лучевой обработки или имплантации. Именно поэтому соискателем вполне обоснованно предложено выделить реализацию этих режимов в отдельную научно-технологическую проблему – «экстремальные» режимы ионной имплантации.

Научная новизна исследований и полученных результатов, а также их практическая ценность обстоятельно описаны в автореферате и не вызывают сомнений в компетентности соискателя, который внёс определяющий вклад в постановку задач исследований, проведение экспериментов и анализ полученных результатов, а также в разработку основных конструктивных решений, используемых в экспериментальных макетах и устройствах.

Несомненным достоинством диссертационной работы является проанализированный автором механизм фрагментации многоатомных боросодержащих молекулярных ионов, понимание которого позволяет создавать уникальные ионные установки для имплантации атомов (кластеров) бора в кремниевые подложки с высокой плотностью пучка, сравнимой с достигаемой на атомарных пучках, а также осуществления режима самоочистки разрядной камеры, что позволяет решить ключевую проблему данного направления ионной имплантации.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы Кулевого Т. В. подтверждена систематическим и скрупулёзным характером

исследований, использованием независимых экспериментальных методик, а также сопоставлением полученных результатов с результатами сторонних исследователей.

Полнота изложения материалов диссертационной работы подтверждена публикациями в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и/или индексируемых базами данных Scopus и Web-of-Science, докладами на международных конференциях, патентами РФ и США и препринтами ИТЭФ.

Оценивая работу Кулевого Т. В., следует отметить и присущие ей недостатки. К сожалению, в автореферате присутствует ряд досадных опечаток как в тексте, так и в приведённых схемах; на отдельных рисунках не указаны размеры или не приведён масштаб, что в некоторой степени затрудняет восприятие иллюстративного материала.

Замеченные недочёты имеют частный характер, не являются существенными и не снижают высокую оценку рецензируемой работы. Кулевой Т. В. провёл большой и чрезвычайно сложный цикл исследований, внёсший весомый вклад в физическую электронику. Выполненная автором работа, несомненно, имеет важное теоретическое и прикладное значение.

В целом, оценивая диссертационную работу, следует отметить, что она актуальна, выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне и соответствует всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 01.10.2018), а её автор – Тимур Вячеславович Кулевой – заслуживает присуждения искомой учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Генеральный директор ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС»,
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор



Подпись доктора химических наук, профессора П. А. Стороженко заверяю.
Учёный секретарь ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС»,
кандидат химических наук

Н. И. Кирилина