

## Отзыв

на автореферат диссертации Кулевого Т.В. на тему

**"Источники пучков ионов твердотельных веществ на основе вакуумно-дугового и пеннинговского разрядов для экстремальных режимов ионной имплантации"**,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника

Источники ускоренных ионов различных твердотельных веществ (металлов, их соединений) широко используются, как в фундаментальных исследованиях, в частности, в экспериментах на Большом Адронном Коллайдере ЦЕРН, так и в различных технологических задачах, например, для легирования подложки при изготовлении элементов полупроводниковой техники. В первом случае для повышения эффективности ионного источника необходимо максимально повысить зарядность эмитируемых ионов с целью их последующего ускорения в электрических полях. Во втором случае с целью уменьшения масштаба создаваемых путем низкоэнергетической ионной имплантации элементов современной наноэлектроники и повышения точности их позиционирования необходимо обеспечить эмиссию многоатомных молекулярных пучков однозарядных ионов. Решению этих актуальных задач, параметры которых лежат в существенно различных областях значений, и посвящена данная работа.

В диссертации выполнены обширные экспериментальные исследования и разработки на их основе, с целью создания технологической базы для проведения, как фундаментальных, так и прикладных работ. В области фундаментальной физики получен ряд первоклассных результатов. К ним можно отнести разработку оригинального метода существенного повышения зарядности ионов тяжелых элементов (свинца, урана) в плазме вакуумно-дугового источника типа MEVVA при сохранении высокой интенсивности эмитируемого пучка путем инъекции в разряд высокоэнергетического пучка электронов (Глава 1). Автором предложено использовать этот метод также для повышения средней зарядности в источнике ионов газов и ионов твердотельных непроводящих веществ, типа Bernas, широко используемом для легирования полупроводников (Глава 2).

Существенным достоинством диссертации является то обстоятельство, что на основе проведенных экспериментальных исследований автором создан и усовершенствован широкий набор источников ионов твердотельных веществ различных типов для решения прикладных задач ионного облучения и имплантации. Это, с одной стороны, подтверждает достоверность и обоснованность полученных физических результатов, а с другой - демонстрирует значительный прикладной потенциал выполненных исследований. О высоком научном уровне диссертационной работы свидетельствуют также публикации результатов в рейтинговых российских и международных журналах: Applied Physics Letters, Rev. Sci. Instrum, Приборы и Техника Эксперимента и др., а также полученные патенты, в том числе, патента США.

Как всякий серьезный труд, диссертация не свободна от недостатков.

1. Автор оперирует термином «ионные источники с экстремальными параметрами пучка», по-видимому, имея в виду повышенный зарядовый состав ионных пучков, генерируемых разработанными оригинальными вакуумно-дуговыми плазменными источниками. Предложенные автором методы повышения зарядности ионов позволили увеличить ее в 1.5 – 1.7 раза. Вместе с тем, уже около 20 лет известны быстрые

импульсные вакуумные разряды, где среднюю зарядность ионов удалось повысить 4-5 раз, а в недавних работах сотрудников ИСЭ СО РАН это увеличение достигло почти 10. Поэтому употребление термина «экстремальные параметры» в данном случае считаю неуместным.

2. В качестве практической ценности проведенных исследований автор заявляет, что «Увеличение среднего заряда генерируемых ионных пучков позволяет сократить энергопотребление и размеры установок». Это вывод, в принципе, не вызывает сомнений, однако его следовало подкрепить конкретными оценками и расчетами.

Высказанные замечания носят рекомендательный характер, в целом же работа выполнена на высоком научном уровне, автором получен ряд первоклассных физических результатов, реализованных в широком наборе технологических приложений. Автор является признанным специалистом в области физики и техники ионных пучков, результаты его исследований докладывались на престижных международных конференциях, опубликованы в рейтинговых научных изданиях и широко известны мировой научной общественности.

На основании изложенного считаю, что диссертация соответствует требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 –Физическая электроника

Заведующий кафедрой общей и космической физики ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», доктор физико-математических наук, профессор Паперный Виктор Львович.

664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, д. 1

Телефон: 8- (3952)-521-254; e-mail: paperny@math.isu.runnet.ru

07.10.2019 года, г.Иркутск

 Паперный В.Л.

Отзыв заверяю, ученый секретарь совета

 Кузьмина Н.Г.

