

## ОТЗЫВ

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

Диссертационная работа Т.В. Кулевого представляет собой детальный труд, посвященный созданию ионных источников нового типа, необходимых для развития техники ионной имплантации, для создания материалов с новыми свойствами и, прежде всего, наноматериалов для современных направлений электроники, оптики, радиационных материалов с новыми свойствами, и развитию даже таких направлений, которые появились практически в совсем недавнее время. Речь идет, например, о создании радиационно-стойких материалов и материалов для развития оптроники и радиофотоники.

В конкретных случаях создание источников ионов либо многозарядных с малыми энергиями, либо ионов с повышенной энергией требовало в момент начала работы объединение совместных усилий ведущих научных групп в странах, где развитию ускорительной техники для решения указанных задач уделялось и уделяется большое внимание. Хорошим примером таких объединённых усилий является работа Кулевого Т.В., в котором полученные результаты демонстрируют возможности совместных усилий стран, где ускорительная техника развивается наиболее активно. В данном случае речь идет об объединении усилий ученых из России и США.

Из представленных результатов работы следует, что авторами проекта, в котором диссертант активно участвовал вплоть до последнего времени, была поставлена задача разработки для современной техники ионных пучков источников нового типа и демонстрация полученных результатов для использования в различных отраслях, начиная от техники ядерной энергетики до формирования направлений, базирующихся на новых технологиях наноэлектроники и нанофотоники.

Представленные результаты демонстрируют возможности новых ускорительных устройств, содержащих источники двух типов, которые могут быть использованы как для разработки систем наноэлектронных и нанофотонных устройств, так и для демонстрации новых возможностей этих устройств в технологии наноэлектроники, нанофотоники и радиофотоники.

Автор справедливо отмечает, что процессы воздействия на материалы высокоэнергичными пучками многозарядных ионов или относительно медленными пучками тяжелых однозарядных ионов представляют собой особые режимы ионно-лучевой обработки для развития методов ионного синтеза, ионной имплантации, а также проверки свойств материалов работающих в экстремальных условиях.

Именно поэтому представляется обоснованным и целесообразным выделить реализацию этих режимов в отдельную научно-технологическую проблему – «экстремальные» режимы ионной имплантации.

Созданные в ходе работы новые источники ионов к настоящему времени позволили создать в НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ сеть экспериментальных установок ионного облучения и имплантации, а именно:

- Ускоритель пучков тяжелых ионов ТИП (Тяжелый Ионный Прототип) с оригинальными конструкциями канала вывода пучка и мишенной камеры для экспресс-анализа материалов ядерных и термоядерных реакторов, а также для изучения процессов по взаимодействию ускоренного ионного пучка с плазменными и газовыми мишенями;
- Установку СОРМАТ для воздействия ионного пучка на образцы, предназначенные для последующего их исследования методами атомно – зондовой томографии;
- Установку УСИ для ультранизкоэнергетической ионной имплантации в полупроводниковые подложки.

Эти устройства в настоящее время активно используются и в дальнейшем, по видимому, могут привести к получению результатов особенно важных для развития техники твердотельных нанoeлектронных и нанoфотонных систем.

Работа представляет собой комплексное пионерское направление, активно используемое в ядерной физике и технике, материаловедении для решения специальных задач (радиационное материаловедение), а также для получения результатов в нанoeлектронике и фотонике.

Представленные результаты являются актуальными, а сделанные в работе заключения обоснованными и проверенными в разных технических направлениях.

Цитируемые в диссертации работы свидетельствуют о том, что даже для проверки результатов в момент первых попыток использования разработанных источников ионов позволили обнаружить ранее неизвестные эффекты, в частности для формирования наноразмерных структур в электронике и фотонике с помощью ионной бомбардировки. К таким результатам можно отнести результаты получения квантовых точек в системе кремний – силицид рения, что позволило продемонстрировать впервые создание таких структур с помощью ионной бомбардировки.

Автор делает упор на то, что именно эти результаты следуют отнести к демонстрации возможностей применения полученных источников для ионного формирования наноструктур, однако, к настоящему времени хотелось бы обратить внимание на то, что такая технология занимает все более доминирующее место в развитии нанотехнологий, в частности, наноструктурированных объектов электроники и фотоники.

При этом следует отметить, что представленный в работе результат применения разработанных источников для твердотельной наноэлектроники и нанофотоники, хотя и является наглядным и убедительным примером уникальных возможностей создания таких объектов, однако, к настоящему времени, по видимому, более широкое применение ионных методов для твердотельной наноэлектроники требует разработки более мобильных, дешевых и способных широкому распространению устройств.

В целом работа представляет собой фундаментальное исследование с выраженным акцентом на возможность практического использования, в котором диссертант принимал участие как один из ведущих авторов.

Считаю, что представленная работа является достойной для присуждения одному из ведущих ее участников Кулевому Тимуру Вячеславовичу ученой степени доктора технических наук.

Доктор физ.-мат. наук, Заслуженный работник высшей школы РФ, начальник Лаборатории «Радиационные методы технологии и анализа» Национального исследовательского университета МИЭТ, Москва.

Профессор

  
(подпись)

Герасименко Николай Николаевич

Дата: 30.10.2019

Лаборатория «Радиационные методы технологии и анализа», Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Телефон: +7(499)734-30-11; e-mail: rmta@miee.ru

Адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Подпись Герасименко Н.Н. заверено

Начальник отдела кадров НИУ МИЭТ



  
(подпись)

Заболотный С.В.