



Dr. rer. nat. Pavel Serbun

University of Wuppertal, School of Mathematics and
Natural Sciences, FK 04 Physics.

Gauß Straße 20, 42119 Wuppertal, Germany

| | |
|----------|--|
| Room | D.08.19 |
| Phone | +49 202 439 34 92 |
| Mobile | +49 172 423 05 33 |
| Fax | +49 202 439 28 11 |
| Mail | serbun@uni-wuppertal.de |
| Internet | www.fieldemission.uni-wuppertal.de |

Wuppertal, 1. February 2021

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Попова Евгения Олеговича «Методика и результаты исследования многоострийных полевых эмиттеров большой площади» представленную к защите на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Диссертационная работа Попова Е. О. посвящена исследованию полевых источников электронов и процессов на поверхности твёрдого тела в сильном электрическом поле (~ 1 В/нм), разработке и созданию экспериментального оборудования, а так же методике анализа и обработке полученных результатов. Данное исследование актуально и представляет большой научный и практический интерес. При таких высоких электрических полях на поверхности материала происходит ряд сложных и взаимосвязанных процессов, которые сильно влияют на эмиссионные характеристики и практическое применение материала. Понимание этих процессов дает возможность не только исследовать свойства материала, оптимизировать его, но и найти подходящее применение материалу. Например, электронный луч, испускаемый полевым эмиссионным катодом, из-за малого разброса по энергиям (< 0.5 эВ), идеально подходят для получения изображений с высоким разрешением в сканирующем электронном микроскопе. Также полевые источники электронов могут использоваться в других вакуумных электронных устройствах, а именно: источники терагерцового излучения, источники квази монохроматического рентгеновского излучения, в полупроводниковой литографии, а также для источников излучения в диапазоне глубокого ультрафиолета (< 250 нм), электронно-лучевая сварка, масс спектроскопии.

Судя по представленному автореферату и публикациям, Попов Е. О. является одним из первых, кто предложил и реализовал методику многоканального сбора данных об эмиссионных характеристиках массива многоострийный полевых эмиттеров, а также масс-спектрометрического анализа данных сопровождающих полевую эмиссию. Таким образом, в работе Попова Е. О. была создана не только новая теоретическая методика исследования эмиссионных характеристик массива многоострийных полевых эмиттеров, но и разработан и внедрен программный пакет для управления и анализа экспериментальных данных.

Многие методы обработки вольт-амперной характеристики (ВАХ) материала катода были внедрены в практику экспериментальных исследований впервые. Анализ включает в себя не только «тест на полевую эмиссию» в режиме реального времени, который заключается



в построение ВАХ в координатах Фаулера-Нордгейма («Наклон-Отсечка») и ее аппроксимация прямолинейной зависимостью, но и анализа локальных ВАХ, который базируется на основе онлайн обработки эмиссионных изображений люминесцентного экрана (т. н., картин свечения), и методов дифференцирования ВАХ. Более того, предложены и использованы модифицированные координаты Фаулера-Нордгейма (координаты Мерфи-Гуда) для обработки ВАХ и анализа соответствия эмиссионному режиму работы многоострийных полевых эмиттеров.

Особенно хочется подчеркнуть глубоко проработанную и ясную структуру уравнений полевой эмиссии, с помощью которых проводилось обработка экспериментальных данных, а также результатов 3D моделирования. Также из автореферата видно, что автор имеет огромный теоретический и практический опыт исследования различных наноматериалов для полевой (автоэлектронной) эмиссии.

Результаты докторской работы Попова Е. О. опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах, представлялись на ведущих российских и международных конференциях по вакуумной наноэлектронике (IVNC, IFES, IVESC и др.) в том числе в виде устных докладов и хорошо известны научному сообществу. Их обоснованность, достоверность, высокая научная ценность не вызывают сомнений.

По объему исследований, качеству и значимости полученных результатов докторская работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Положению о присуждении учёных степеней в ФГБУН Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе РАН от 19.08.2019 г. на основании Распоряжения Правительства Российской Федерации от 23.08.2017 № 1792-р, предъявляемым к докторским диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук, а её автор, Попов Евгений Олегович, безусловно заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.04 — физическая электроника.

Доктор наук (Dr. rer. nat.) Павел Фёдорович Сербун

Бергский Университет г. Вуппертала
Группа экспериментальной физики в области полевой эмиссии
Вупперталь, Германия

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL
Fakultät für Mathematik
und Naturwissenschaften
experimentelle Elementarteilchenphysik
Sekretariat
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal
Tel.: +49 202 439-2733