

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Кропоткина Андрея Никитича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Физические процессы в плазме индукционных разрядов в реакторах для обработки материалов микроэлектроники» по специальности 1.3.9 «Физика плазмы»

А.Н. Кропоткин был принят на работу в отдел микроэлектроники НИИЯФ МГУ в 2018 г. в должности программиста 2-ой категории, будучи студентом 1-го курса магистратуры физического факультета МГУ. Под моим научным руководством приступил к подготовке сначала магистерского диплома, а затем и диссертации в продолжении темы диплома. К моменту окончания магистратуры с отличием в 2020 г. А.Н. Кропоткиным в соавторстве со мной было выпущено 2 статьи в научных рецензируемых журналах, а также он принимал участие в 2 международных научных конференциях с устными докладами с опубликованием тезисов в сборниках трудов конференций. Также А.Н. Кропоткин в этот период принимал участие в успешном выполнении грантов РНФ (№ 18-72-00155 и № 16-12-10361) в качестве исполнителя. С самого начала работы в отделе микроэлектроники А.Н. Кропоткин зарекомендовал себя как ответственный сотрудник с большим потенциалом. Вскоре он был переведен на должность программиста 1-ой категории, а затем в 2023 г. на должность младшего научного сотрудника отдела. А.Н. Кропоткин продолжает работать в отделе в настоящее время, сохраняя высокий уровень интенсивности работы. Основная область его исследований – моделирование физических процессов в плазме индукционных разрядов низких давлений в применении к промышленным реакторам обработки материалов. В настоящий момент А.Н. Кропоткин является автором 11 статей в научных рецензируемых журналах, участником 6 международных конференций, с опубликованием по итогам 4 тезисов докладов в сборниках трудов.

В диссертацию вошли исследования разрядов в различных газах, активно используемых в промышленности микроэлектроники – в аргоне, кислороде, хлоре, октафторциклобутане, октофторпропане и их смесях. Расчеты проводились с помощью разработанной А.Н. Кропоткиным двумерной самосогласованной гидродинамической модели плазмы индукционных разрядов. Это позволило получать параметры разрядов (концентрации и потоки заряженных и нейтральных частиц, температуры газа и электронов и так далее) в указанных газах в широком диапазоне давлений (5-100 мТорр), мощностей индуктора (50-1000 Вт) и в различных конфигурациях экспериментальных и промышленных установок. Полученные результаты имеют хорошее согласие с экспериментальными данными как из нашего отдела, так и с опубликованными в литературе.

Одним из наиболее интересных результатов работы является установление перехода индукционного разряда во фторуглеродных газах из режима «вниз по потоку» к режиму более равномерного горения при увеличении мощности индуктора. Показано, что увеличение мощности вызывает не только увеличение плотности плазмы, но и расширение области её горения из зоны индуктора в область обработки, что приводит к качественной перестройке структуры разряда и открывает возможности отдельного управления генерацией заряженных и активных нейтральных частиц. Этот результат

логически обобщает проделанную работу, и демонстрирует эффективность всей разработанной самосогласованной модели.

За время работы в ОМЭ А.Н. Кропоткин проявил себя как активный и целеустремленный исследователь, хорошо ориентирующийся в научной литературе, способный успешно выполнять поставленные ему задачи, а также планировать и выполнять самостоятельно научные исследования. Активно принимает участие в научных обсуждениях и семинарах, проводимых в отделе. Является членом Совета Молодых Ученых НИИЯФ МГУ. Неоднократно являлся лауреатом конкурса стипендий им. М.И. Панасюка. Кропоткин А.Н. был исполнителем в грантах РФФИ (№ 18-72-00155, № 16-12-10361, № 23-22-00196) и НОЯФ с НИИТМ (№ 23-3К-151/240-23), ответственным исполнителем в гранте РФФИ (№ 21-72-10040) и НОЯФ с НИИТМ (№ 22-3К-041). В настоящее время является исполнителем гранта РФФИ (№ 23-91-06004) по разработке процессов атомно-слоевого травления.

Диссертационная работа А.Н. Кропоткина – актуальное научное исследование, которое содержит новые результаты, обладает существенной практической значимостью. Работа соответствует пп. 2, 10, 12, паспорта специальности «Физика плазмы» (шифр 1.3.9) и удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова. Рекомендую диссертационную работу А.Н. Кропоткина «Физические процессы в плазме индукционных разрядов в реакторах для обработки материалов микроэлектроники» к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности – «Физика плазмы» (шифр 1.3.9).

Научный руководитель,
ведущий научный
сотрудник
отдела микроэлектроники
НИИ ядерной физики
имени Д.В. Скобельцина
МГУ имени М.В.
Ломоносова,
к.ф.-м.н.

Д.Г. Волошин

22.04.2026

Подпись Д.Г. Волошина заверяю

Ученый секретарь
ученого совета
НИИ ядерной физики
имени Д.В. Скобельцина
МГУ имени М.В.
Ломоносова,
к.ф.-м.н.

Е.А. Сигаева