

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу М.Д. Проявина «Увеличение эффективности гиротронных комплексов для микроволновых технологий», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.4 - Радиофизика

Будучи еще студентом ННГУ, с 2012 года М.Д. Проявин был вовлечен в работу лаборатории микроволновой обработки материалов ИПФ РАН для ознакомления с принципами работы, конструирования, и исследования гироприборов, а также с тематикой проектов, выполняемых научным коллективом подразделения. В 2013 году М.Д. Проявин был принят на работу в ИПФ РАН и с этого момента является полноценным сотрудником лаборатории, принимая участие как в теоретических, так и в экспериментальных исследованиях.

В настоящий момент растет интерес к использованию мощного микроволнового излучения для обработки диэлектрических материалов, что требует повышения выходной мощности и эффективности источников излучения. Представляется, что основные возможности повышения эффективности технологических комплексов связаны со снижением энергопотребления магнитной системой, оптимизацией энергообмена между электронным потоком и рабочей модой резонатора, применением схем рекуперации остаточной энергии электронов.

Целью диссертационной работы является разработка и создание непрерывного комплекса на базе гиротрона на первой гармонике циклотронного резонанса с частотой 28 ГГц и мощностью в пределах 25-30 кВт, который является крайне актуальным для нескольких приложений, например скоростного спекания оксидной керамики или получения CVD алмазных пленок и дисков. Возбуждение колебаний на основном циклотронном резонансе позволяет решить проблему устойчивости рабочего типа колебаний при росте электронного тока и, соответственно, увеличении генерируемой мощности. Платой за получаемые бонусы в этом случае является повышение мощности питания основного соленоида. Для компенсации этого эффекта предлагается использовать магнитные экраны. В течение нескольких лет работы по данному направлению М.Д. Проявиным проведен не только большой объем теоретических исследований, но и экспериментально продемонстрирована возможность снижения потребляемой соленоидом мощности в несколько раз, при сохранении интенсивности магнитного поля и длины пространства взаимодействия. Сложность геометрии экранирующих элементов и сильная нелинейность материалов усложняют задачу о формировании оптимального распределения магнитного поля и требуют как хороших знаний специализированного программного обеспечения, так и понимания всех физических процессов, обуславливающих динамику электронного пучка. Ряд физических эффектов, в частности, сильная неадиабатичность магнитного поля, затрудняет использование традиционных магнетронно-инжекторных пушек и требует искать новые решения для оптимизации электронно-оптических систем. Расчет процесса взаимодействия высокочастотного поля рабочей моды с электронным пучком, определяющий КПД гиротрона, требует решения многопараметрической задачи, а результаты расчета определяют основные параметры ключевых элементов гиротрона.

На данный момент М.Д. Проявиным успешно решены все поставленные задачи, разработан и испытан высокоэффективный технологический гиротронный комплекс с магнито-экранированной системой, способный на мультикиловаттном уровне мощности обеспечивать генерацию вплоть до W-диапазона. Для режима работы на частоте 28 ГГц

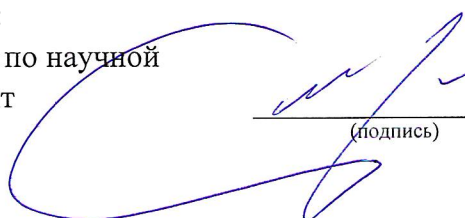
получена устойчивая генерация в непрерывном режиме на уровне мощности 20 кВт с КПД 43%. При этом КПД комплекса в целом составляет 32%, что в 1.5 раз энергоэффективнее существующих комплексов на второй гармонике циклотронного резонанса. Полученные экспериментальные результаты полностью соответствуют данным численного моделирования, что означает корректность используемых расчетных моделей.

Помимо основной темы исследования стоит отметить интерес соискателя к новым технологиям и применению их в науки и технике, а именно о использовании 3D-печати для создания различных компонент оптической и СВЧ-техники. Проявин М.Д. успешно освоил данную технологию производства, провел детальный анализ свойств полученных структур. Им теоретически и экспериментально показана возможность создания оптимального профиля поверхности для широкополосных безотражательных выходных окон СВЧ-приборов и брэгговских резонаторов. Успешно реализованы электродинамические системы К-диапазона, созданные по новой технологии 3D-печати и последующей химической металлизации.

В процессе работы М.Д. Проявин продемонстрировал отличное владение средствами вычислительной техники, как в плане разработки программ численного моделирования физической задачи, так и в плане генерирования новых подходов к решению поставленных задач. Направления его исследований заинтересовали несколько зарубежных лабораторий и послужили началом совместных работ. М.Д.Проявин является активным участником проектов РФФИ и РНФ. Публикационная активность как в плане написания научных статей в рецензируемые журналы, так и выступление на всероссийских и международных конференциях аспиранта находятся на высоком уровне, о чем свидетельствует наличие более 65 трудов. Характеризуя работу М.Д.Проявина в целом, хочется подчеркнуть его искреннюю увлеченность научными исследованиями. При этом готовность к анализу достаточно сложных теоретических проблем с использованием как аналитических, так и численных методов, сочетается с ответственным отношением к рутинным обязанностям, неизбежным при экспериментальных работах. Взаимодействие соискателя с коллегами демонстрирует высокий уровень его коммуникабельности, что позволяет эффективно работать в команде, получать и делиться информацией, необходимой для успешного развития в качестве ученого и преподавателя.

Считаю, что представленная работа «Увеличение эффективности гиротронных комплексов для микроволновых технологий» соответствует выбранной специальности 01.04.03 – Радиофизика, а ее автор М.Д.Проявин, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель:
Заместитель директора по научной
работе, д.ф.-м.н., доцент



(подпись)

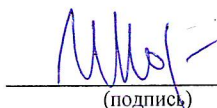
Глявин М.Ю.

«18» 10 20 21 г.

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46 Тел: +7 (831) 436-62-02 Сайт: <https://www.ipfran.ru> E-mail: dir@ipfran.ru

«Подпись Глявина М.Ю. заверяю»

Ученый секретарь ИИФ РАН



(подпись)

И.В. Корюкин

(расшифровка подписи)