

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шунайлова Сергея Афанасьевича «Разработка малогабаритных сильноточных устройств для исследований в пикосекундной электронике больших мощностей», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.13. Электрофизика, электрофизические установки

Общая характеристика диссертационной работы

Представленная на оппонирование диссертационная работа состоит из введения, восьми разделов, заключения и списка литературы, включающего 120 наименований. Работа изложена на 86 страницах и содержит 57 рисунков.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи диссертационного исследования. Представлены пять защищаемых положений.

Раздел 1 полностью посвящен разработке и описанию конструкций компактных источников высоковольтных наносекундных и субнаносекундных импульсов напряжения. Рассматриваются вопросы управления запуском и синхронизации нескольких генераторов РАДАН, построенных по схеме двойной формирующей линии.

В разделе 2 проведено исследование особенностей работы сильноточных диодов. Автором экспериментально определены характеристики формируемых электронных потоков в зависимости от параметров предимпульса напряжения, материала катода и других практически важных условий работы коаксиального диода с магнитной изоляцией (КДМИ).

Раздел 3 продолжает описание экспериментов по изучению эмиссионных характеристик КДМИ в субнаносекундном временном диапазоне. Рассматриваются эффекты на фронте пучка. Приводится новая методика определения параметров высоковольтных импульсов непосредственно на

катоде диода с использованием динамической рефлектометрии. Метод позволяет рассчитывать формы напряжения и тока с пикосекундной привязкой по времени.

Разделы 4-6 посвящены применению разработанных генераторов в высокочастотной электронике. Рассмотрены различные варианты микроволновых приборов черенковского типа, работающих как в квазистационарных режимах, как и в нестационарном режиме сверхизлучения. В ряде представленных работ удалось реализовать рекордные значения выходных параметров излучения гигаватного уровня.

В разделе 7 представлены результаты исследований генерации убегающих электронов (УЭ) в атмосферных разрядных промежутках. Регулировка параметров высоковольтных импульсов, подаваемых на катод, позволили определить ряд важных характеристик УЭ, найти способы управления эмиссией сгустков электронов пикосекундной длительности.

Раздел 8 показывает возможности применения разработанных автором устройств короткоимпульсной мощной электроники в смежных областях науки: исследованиях импульсной катодной люминесценции диэлектриков, изучения пороговых характеристик лазерного излучения полупроводниковых мишеней, реализации высокоградиентного ускорения электронов полем микроволнового импульса.

Актуальность

Диссертация С.А. Шунайлова посвящена разработке малогабаритных высоковольтных устройств для пикосекундной мощной электроники и, безусловно, представляется актуальной. В настоящее время разработка сильноточных источников электрических импульсов - динамично развивающееся направление электрофизики. Особый интерес вызывают исследования, направленные на создание компактных систем, имеющих перспективы для их применения в смежных с электрофизикой сферах науки

и техники. Востребованность такой аппаратуры в эксперименте не вызывает сомнений.

Достоверность экспериментальных данных, степень обоснованности заключений и выводов

Приводимые автором выводы по результатам экспериментов хорошо аргументированы и обоснованы. Все результаты работы реализованы в экспериментальных образцах и физических установках, что отмечает практическую ценность проведенного исследования.

Результаты диссертации опубликованы в ведущих научных журналах, включенных в базы данных RSCI и/или Scopus и имеющих категорию K1, докладывались на представительных международных конференциях. Публикации автора полно и правильно отражают содержание диссертации.

Научная новизна результатов

Разработанные малогабаритные источники высоковольтных импульсов типа РАДАН продемонстрировали высокую результативность в экспериментальных исследованиях. Новизну представляют следующие результаты:

1. Субмикросекундное инициирование взрывозмиссионного катода коротким импульсом напряжения позволило увеличить ток пучка в КДМИ и получить на фронте темп нарастания до 55 кА/нс. При использовании инициирующего импульса с опережением в единицы наносекунд, малоинерционный переход (~ 100 пс) автоэлектронной в взрывную эмиссию (ВЭЭ) позволил увеличить ток пучка и темп его нарастания за счёт предварительной «наработки» плазмы у катода.
2. Методом динамической рефлектометрии с пикосекундной привязкой к напряжению на катоде определены эмиссионный ток и динамический импеданс КДМИ. Продемонстрировано влияние крутизны фронта

напряжения на момент возникновения ВЭЭ с графита и динамика деградации эмиссии стального катода при тренировке. Зарегистрирован связанный с обострённым фронтом пучка электромагнитный сигнал, который можно интерпретировать как затравочный для возбуждения фазово-стабильной генерации мощных черенковских СВЧ приборов.

3. Изучены условия стабилизации фазы генерации СИ в релятивистских ЛОВ диапазонов длин волн $8 \div 10$ мм. Установлено, что для периода излучения ≈ 30 пс, пикосекундный разброс фаз в сериях включений связан с наличием области фронта катодного напряжения с производной не менее 0.8 МВ/нс. Экспериментально доказано, что фазу генерации СИ можно задать внешним затравочным сигналом, который должен превышать по мощности затравку от фронта пучка.
4. Длительность параксиальной фракции УЭ в промежутке с острым коническим катодом оценена в 10 пс, что подтверждало механизм обрыва режима убегания из-за ионизации, снижающей поле у острия ниже критического.
5. Продemonстрировано формирование направленных потоков убегающих электронов в коаксиальных атмосферных диодах с магнитным полем. Показано, что трубчатые замагниченные потоки УЭ состоят из дискретных элементарных сгустков, имеют токи в десятки ампер и заряд в единицы нанокulon. Продemonстрировано радиальное сжатие таких потоков УЭ в неоднородном магнитном поле. В трубчатом пучке, сжатом до диаметра 2.5 мм, плотность тока УЭ достигла 100 А/см². что сравнимо с характеристиками сильноточных вакуумных диодов.

Стиль написания диссертации, раскрытие основных положений, полнота публикаций

Диссертация имеет логичное построение, изложена грамотным научно-техническим языком, качественно оформлена. Оформление диссертации

соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Результаты работы достаточно полно опубликованы автором в научно-технической периодике, доложены на авторитетных и представительных отечественных и зарубежных конференциях.

Замечания к диссертации

Диссертация представляет собой хорошо проработанный научный труд, написанный понятным языком с соблюдением правильной последовательности изложения материала. Тем не менее, имеется ряд замечаний, часть из которых можно расценивать как пожелания для дальнейших исследований автора.

1. Глава 6 перегружена аббревиатурами такими, как лампа обратной волны (ЛОВ), гиромагнитная нелинейная линия (ГНЛ), что затрудняет чтение и восприятие изложенного материала.
2. На рисунке 57 не указан масштаб по вертикали.

Приведенные замечания носят уточняющий характер и не снижают значимости проведенных соискателем научных исследований.

Заключение

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научно-техническом уровне. Полученные С.А. Шунайловым результаты достоверны, выводы и заключения хорошо аргументированы. Поставленные соискателем цели и задачи выполнены в полном объеме.

Таким образом, диссертационная работа «Разработка малогабаритных сильноточных устройств для исследований в пикосекундной электронике больших мощностей» отвечает всем критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842), предъявляемым к докторским диссертациям, а

Шунайлов Сергей Афанасьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.13. Электрофизика, электрофизические установки за решение важной научно-технической проблемы - дальнейшего развития компактной техники формирования высоковольтных нано- и субнаносекундных импульсов, их диагностики и применения для решения широкого круга как прикладных, так и фундаментальных задач.

Официальный оппонент:

Мошкунов Сергей Игоревич, доктор технических наук, специальность 01.04.13, член-корреспондент РАН, руководитель научного направления "Импульсная техника и электрофизика", Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики и электроэнергетики Российской Академии наук (Московский филиал ИЭЭ РАН)

Электронная почта: serg-moshkunov@yandex.ru

Адрес: 119334, Россия, г. Москва,
Ленинский проспект, дом 32а.

Телефон: +7 (499) 135-12-84

<https://ieeras.ru/>

Согласен на обработку персональных данных.

С. И. Мошкунов

10 февраля 2025 г.

Подпись С. И. Мошкунова заверяю

Ученый секретарь ИЭЭ РАН

к.ф.-м.н



И.И. Кумкова