

Утверждаю:

проректор по науке

ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный университет
имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина»,

д.ф.-м.н. Германенко А.В.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Шунайлова Сергея Афанасьевича «Разработка малогабаритных сильноточных устройств для исследований в пикосекундной электронике больших мощностей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук в виде научного доклада по специальности 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки.

Диссертационная работа С.А. Шунайлова посвящена вопросам развития компактной техники формирования и методов диагностики высоковольтных нано- и субнаносекундных импульсов. Разработанные диссертантом малогабаритные источники типа РАДАН показывают высокую результативность в исследованиях быстропротекающих эмиссионных и электроразрядных процессов. В работе проведен детальный анализ режимов формирования и характеристик электронных пучков в коаксиальных диодах с магнитной изоляцией (КДМИ), пикосекундных кинематических и излучательных процессов на фронте тока; рассмотрено применение таких

пучков в экспериментах по релятивистской СВЧ электронике больших мощностей. Разрабатываемая техника и полученные результаты экспериментов полностью соответствуют задачам, сформулированным в Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук РФ, что делает **тему диссертации**, несомненно, **актуальной**. Актуальность диссертации определяется также востребованностью компактной высоковольтной техники в научном эксперименте.

Научная новизна работы состоит в представленных в диссертации результатах разработок и исследований, на момент публикаций имевших мировой приоритет. Эксперименты выполнялись с использованием новейшей осциллографической аппаратуры и измерительных датчиков собственной разработки с максимально возможным разрешением по времени. Все результаты, отраженные в защищаемых положениях, были получены **впервые** и **надежно апробированы** публикациями в ведущих рецензируемых научных журналах. По теме диссертации представлено 89 работ (51 статья за последние 10 лет). Основные публикации соответствуют категории K1 из Перечня рецензируемых научных изданий ВАК, индексируются базой данных RSCI, или имеют категорию Q1 и Q2 (Scopus). Таким образом, соблюдены требования к публикациям, определяющие возможность представления диссертации в виде научного доклада. В соавторстве с диссертантом оформлено 6 патентов и авторских свидетельств. Результаты диссертационной работы лично докладывались Шунайловым С.А. на многих международных конференциях, проводившихся в России, США, Великобритании, КНР, Республике Корея, ФРГ.

Наиболее значимые научные результаты, полученные диссертантом, сводятся к следующему:

1. 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. »

2. Показано, что при определённых параметрах предимпульса и крутизне фронта напряжения фронт тока пучка обостряется за счёт кинематического эффекта. Зарегистрирован связанный с обострённым фронтом пучка электромагнитный сигнал, который можно интерпретировать как затравочный для возбуждения фазово-стабильной генерации мощных черенковских СВЧ приборов.

3. Предложен и реализован метод вариации диаметра трубчатого пучка за счёт различия времени диффузии импульсного магнитного поля в области КДМИ через стальную стенку и через медную стенку замедляющей системы лампы обратной волны (ЛОВ).

4. Изучены условия стабилизации фазы генерации сверхизлучения (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 1 МВ/нс.

5. Экспериментально доказано, что фазу генерации СИ можно задать внешним затравочным сигналом, который может быть коротким или протяженным и должен превышать по мощности затравку от фронта пучка.

6. При изучении эффекта генерации убегающих электронов (УЭ) в атмосферном разрядном промежутке с неоднородным распределением электрического поля подтверждена классическая концепция непрерывного ускорения. Плавная регулировка амплитуды импульса напряжения на катоде позволила определить пороги эмиссии УЭ по полю и напряжению для различных конфигураций катодов.

7. Продемонстрировано формирование направленных потоков УЭ 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 нанокулон. С помощью системы коаксиальных трубчатых катодов в однородном магнитном поле в режиме синхронной эмиссии сформирован дисковый сгусток УЭ, радиальный размер которого кратно превышает аксиальный.

Полученные результаты на сильноточных генераторах типа РАДАН были использованы в экспериментах на более высоковольтных установках с целью достижения рекордных характеристик электронных потоков и микроволновых импульсов.

Результаты исследований по направлению короткоимпульсной электроники больших мощностей нашли применения для разработки новых устройств в смежных областях:

- Использование пикосекундного замагниченного сгустка УЭ на порядки по сравнению с взрывоэмиссионным пучком снижает энергию, поглощаемую диэлектрическим образцом, в котором возбуждается импульсная катодолюминесценция.
- Прецизионная привязка субнаносекундного фронта напряжения на катоде газового диода с развёрткой стрик-камеры позволяет изучать пороговые характеристики накачки при возбуждении лазерной генерации под воздействием сильного электрического поля или коротких электронных сгустков на полупроводниковые кристаллы.
- Гигаваттный импульс 38-ГГц ЛОВ использован для накачки полуволнового резонатора в оригинальном генераторно-ускорительном блоке с коаксиальными пучками, в котором параксиальные сгустки электронов были ускорены с 250 кэВ до 1.25 МэВ при рекордном среднем ускоряющем градиенте ≈ 250 МВ/м.

Научная и практическая значимость работы также не вызывает сомнения. Более двадцати высоковольтных генераторов РАДАН с дополнительными устройствами были поставлены по коммерческим контрактам в РФ и 11 стран мира (Израиль, Эстония, Республика Корея,

Сингапур, ФРГ, США, Великобритания, КНР, Швеция, Австралия, Бельгия), где эксплуатируются в лабораториях различных научных центров и университетов для междисциплинарных исследований.

По содержанию работы имеются **следующие замечания**:

1. В начале первой главы несколько некорректно сформулировано определение «пикосекундных» импульсов, как процессы с длительностями « $< 10^{-10}$ с». Если имеются в виду импульсы длительностью короче 100 пс, то это необходимо пояснить.
2. На рис.9 (вторая глава) не указаны значения амплитуд напряжения и тока.
3. В разделе работы 7 «Убегающие электроны в атмосферных разрядных промежутках», после второго предложения в тексте было бы уместно дать краткое определение понятия «УЭ».

Высказанные замечания не имеют принципиального характера и не снижают высокой оценки диссертационной работы.

Общее заключение

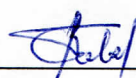
Диссертационная работа Шунайлова Сергея Афанасьевича «Разработка малогабаритных сильноточных устройств для исследований в пикосекундной электронике больших мощностей» соответствует паспорту специальности 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки по 4 пунктам. Результаты работы изложены в диссертации полно и хорошо иллюстрированы графическими материалами. В ней ясно сформулированы цели и достигнутые результаты. Диссертация представляет собой завершённый научный труд, в котором содержится решение приоритетных задач, имеющих существенное значение для развития мощной СВЧ электроники. Работа отвечает критериям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, С.А. Шунайлов заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки - за решение важной

научно-технической задачи, связанной с разработкой компактных сильноточных устройств и их экспериментальной реализацией в области пикосекундной электроники больших мощностей.

Диссертационная работа Шунайлова С.А. и отзыв обсуждены на объединенном научном семинаре кафедр экспериментальной физики, электрофизики, физических методов и приборов контроля качества физико-технологического института, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» 11 декабря 2024 г.

Отзыв составил:

профессор кафедры электрофизики,
д.ф.-м.н. Чолах Сеиф Османович

 С.О. Чолах

Физико-технологический институт УрФУ
620002, г. Екатеринбург,
Ул. Мира, д.21, ауд. ФТ-210

Подпись Чолаха Сеифа Османовича заверяю

Ученый секретарь

Ученого совета

ФГАОУ ВО «УрФУ»



Морозова Вера Анатольевна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Уральский федеральный университет 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, <https://urfu.ru/>

Тел: +7 343 3754890