

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Комарского Александра Александровича
«ОСТРОФОКУСНАЯ ВЗРЫВОЭМИССИОННАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ
ТРУБКА С КОМБИНИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки.

Общая характеристика диссертационной работы

Представленная на оппонирование диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 114 наименований. Основная часть работы изложена на 107 страницах, включая 82 рисунка и 4 таблицы.

Во введении сформулирована цель работы, обоснована актуальность разработки и создания новых острофокусных импульсных рентгеновских источников с высокой частотой следования импульсов и высокой мощностью, рассеиваемой на аноде, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, представлены защищаемые положения.

В первой главе проводится обзор научных исследований и разработок импульсных рентгеновских источников, в основе работы которых лежит явление взрывной эмиссии электронов. Анализируются и сравниваются импульсные высоковольтные питающие устройства рентгеновских трубок с различными типами накопителей энергии – трансформаторами Тесла, индуктивными схемами формирования импульсов с магнитной компрессией, в том числе с использованием SOS-диодов и схемами построения генераторов с полностью твердотельной системой коммутации энергии. Сравняются различные конструкции импульсных рентгеновских трубок. На основе проанализированных в первой главе данных формулируются задачи, которые необходимо решить в диссертационной работе.

Вторая глава посвящена разработке графитокерамического катода для импульсной наносекундной взрывоэмиссионной рентгеновской трубки. Описываются экспериментальные установки для проведения исследований эмиссионных характеристик конструкционных марок графита, изучения поверхности эмиттеров и испытания импульсных взрывоэмиссионных катодов. Исследованы вольт-амперные характеристики для пяти марок графита, проведена их Оже-спектроскопия. Показано, что наиболее перспективным материалом является МПГ-7 и графито-керамический катод на его основе.

Третья глава посвящена разработке, изготовлению и испытанию комбинированного вольфрамографитового анода для импульсной взрывоэмиссионной рентгеновской трубки.

Проводится теоретическая оценка тепловых процессов на аноде импульсной взрывоэмиссионной наносекундной рентгеновской трубки для разных конструкций анода, экспериментально измеряется зависимость температуры анода от времени в разных режимах бомбардировки электронами – вплоть до плавления вольфрама. Предложена принципиально новая конструкция анода с повышенным уносом тепла, представляющего собой графитовый стержень с находящимся в центре него вольфрамовым прутком. Экспериментально исследованы характеристики вольфрамографитового анода: эффективное фокусное пятно, радиационный выход, ресурс работы, определены его предельные эксплуатационные характеристики.

Четвертая глава посвящена разработке и созданию компактного импульсного рентгеновского генератора с регулировкой эффективной энергии рентгеновского излучения мощностью до 3 кВт при частоте следования импульсов до 5 кГц. Описывается система оперативной регулировки выходного напряжения генератора импульсов, регулировки напряжения включения двухэлектродной взрывоэмиссионной рентгеновской трубки в зависимости от скорости нарастания напряжения. Проводится сравнительное тестирование на медико-биологических объектах созданного аппарата и аппаратов с непрерывным излучением при работе с цифровыми твердотельными приемниками рентгеновского излучения в рентгенографическом режиме. На дефектоскопических тест-объектах проводится сравнение созданного аппарата с другими импульсными аппаратами в видеорежиме.

Актуальность

В диссертационной работе описывается разработка взрывоэмиссионной рентгеновской трубки для современного типа рентгеновских генерирующих устройств – импульсные частотные наносекундные генераторы с твердотельной системой коммутации. Создание данных устройств стало возможным благодаря изобретению в Институте электрофизики Уральского отделения Российской Академии Наук (г. Екатеринбург) высоковольтного полупроводникового твердотельного коммутатора в начале 2000-ых годов. В 2002 году за эту работу (“Цикл фундаментальных исследований процессов нано- и субнаносекундного обрыва сверхплотных токов в полупроводниках и создание на их основе нового класса сверхмощных полупроводниковых приборов и электрофизических устройств”) присуждена Государственная премия Российской Федерации 2002 года в области науки и техники.

Данный тип генераторов имеет существенные отличия, как от аппаратов постоянного тока, так и импульсных аппаратов с емкостным накопителем. Во-первых, длительность импульса высокого напряжения составляет всего несколько наносекунд, что

позволяет многократно снизить требования к изоляции и уменьшить габаритные размеры и вес аппарата. Во-вторых, рентгеновская трубка не имеет термоэмиссионного накального катода, используется неподвижный, холодный катод, ток при этом достигает сотен ампер в каждом импульсе, а импульсная мощность достигает нескольких мегаватт. В-третьих, полностью твердотельная система формирования импульса высокого напряжения без разрядника-обострителя обеспечивает формирование пакетов импульсов с частотой следования в несколько килогерц, среднюю выходную мощность киловаттного диапазона и увеличенный во много раз ресурс работы по сравнению с газовыми разрядниками. В-четвертых, схема формирования высоковольтных импульсов позволяет легко регулировать выходное напряжение в диапазоне около 30%.

Таким образом, наносекундные генераторы с твердотельной системой коммутации объединяют в себе лучшие особенности, как рентгеновских аппаратов постоянного напряжения (высокая мощность, регулируемое напряжение), так и импульсных генераторов (малые габаритные размеры и вес). Решение задачи создания наносекундных острофокусных рентгеновских генераторов является актуальной задачей.

Применение данных генераторов возможно в таких областях как медицинская диагностика, дефектоскопия промышленных изделий, досмотровый контроль (борьба с терроризмом), скоростная рентгеновская киносъемка быстропротекающих процессов (впрыск топлива в камеру сгорания, краш-тесты, смещение внутренних органов биологических объектов при ударах и ускорениях и т.д.), стробоскопическая рентгеновская съемка периодических процессов, МЧС, научные исследования. Данная технология имеет мировой уровень. Литературных данных, о развитии подобной технологии за рубежом, не имеется. Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений.

Достоверность экспериментальных данных, степень обоснованности заключений и выводов

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается грамотным использованием современных средств и методик проведения исследований. Список использованной литературы состоящий из 114 наименований показывает, что автором изучены и критически анализируются известные достижения других авторов. Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Обоснованность заключений и выводов, приведенных в диссертационной работе, подтверждается также многочисленными экспериментами, соответствием их результатов с теоретическими моделями.

Научная новизна результатов

Предложена конструкция керамографитового катода для рентгеновской трубки с взрывной эмиссией. Исследованы вольтамперные характеристики для пяти марок графита, проведена их Оже-спектроскопия. Показано, что наиболее перспективным материалом является МПГ-7 и графито-керамический катод на его основе.

Впервые предложено использовать комбинированный вольфрамографитовый анод, представляющий собой графитовую трубку с находящимся в центре неё вольфрамовым прутком. При этом за счет разницы в номере ядра у вольфрама и графита, мощность излучения от графита на порядок меньше мощности излучения от вольфрама. А графитовая оболочка эффективно отводит тепло от вольфрамового сердечника, позволяя, в свою очередь, уменьшить диаметр вольфрамового прутка и размер фокуса рентгеновской трубки. Чтобы уменьшить видимый размер фокуса, мягкую компоненту излучения от графита предложено фильтровать на выходе трубки алюминиевым фильтром. Проведена экспериментальная проверка, которая показала рекордный ресурс рентгеновской трубки на основе предложенного комбинированного вольфрамографитового анода и рекордную рассеиваемую мощность – при меньшем размере фокусного пятна.

Создан уникальный компактный импульсный рентгеновский генератор с регулировкой эффективной энергии рентгеновского излучения мощностью до 3 кВт при частоте следования импульсов до 5 кГц, ресурсе более $2 \cdot 10^6$ импульсов и с размером фокусного пятна 1,5 мм.

Значение для теории и практики

В значительном числе случаев импульсная рентгеновская методика оказывается практически единственной, позволяющей контролировать непрозрачный объект в динамике или в процессе его разрушения. Разработанный автором импульсный рентгеновский аппарат с высокой частотой повторения и наносекундной длительностью импульсов может быть использован для рентгеновской киносъемки и стробоскопической съемки быстропротекающих процессов в непрозрачных средах (горение, баллистика, краш-тесты, фазы движения внутренних деталей механизмов и др.). Портативность аппарата позволяет использовать его в нестационарных условиях для рентгеновской дефектоскопии и в медицине катастроф.

Впервые проведенные разработка и исследование нового принципа построения острофокусного анода с высокой рассеиваемой мощностью с рекордными характеристиками являются решением важной научной и технологической задачи.

Проведенный теоретический расчет допустимой тепловой мощности для взрывоэмиссионных анодов разных видов и конструкций с малым размером фокусного пятна позволяет предсказывать характеристики как созданных, так и еще не созданных импульсных рентгеновских трубок.

Стиль написания диссертации, раскрытие основных положений в автореферате, полнота публикаций основного ее содержания

Диссертация имеет логичное построение, изложена грамотным научно-техническим языком.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертационной работы.

Оформление автореферата и диссертации соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Результаты работы также достаточно полно опубликованы автором в научно-технической периодике, патентах и доложены на авторитетных и представительных отечественных и зарубежных конференциях и симпозиумах.

Замечания к диссертации

1. Автором недостаточно проработан обзор литературы. Следовало упомянуть, что первоначальными авторами конструкций большинства из упомянутых в главе 1 промышленно выпускаемых импульсных рентгеновских трубок являются Александрович Э.-Г.В., Белкин Н.В., Канунов М.А., Разин А.А. (ВНИИЭФ, г. Саров) и сотрудники ОКБ РП (ныне «Светлана-рентген», г. Санкт-Петербург) Н.А. Дронь, Г.Н. Слоева. См. например Э.-Г.В. Александрович, Н.В. Белкин, Н.А. Дронь, Г.Н. Слоева. Малогабаритная импульсная рентгеновская трубка. // ПТЭ, 1974 N 5 с.189-190. Малогабаритная импульсная рентгеновская трубка с самовосстанавливающимся автокатодом / Александрович Э.Г.-В. Белкин Н.В., Канунов М.А., Разин А.А. // ПТЭ. 1972. № 6. С. 198–199.

2. Оформление. Подписи на рис 1.3, 1.7 не читаются. Мелкий шрифт, размыто изображение. На стр. 61 опечатка в значении теплопроводности для графита. В некоторых местах не указаны дистанции от фокуса до точки измерения дозы и мощности дозы, что затрудняет сравнение данных.

3. Автором применялись дозиметры ДКС-АТ 1123 (сцинтиллятор + ФЭУ) и Unfors Xi (полупроводниковый диодный) имеющие, согласно паспортам, максимально регистрируемую мощность дозы не более 10 Зв/ч и 1 Гр/с соответственно. Адекватная сертификация Росреестром «для наносекундных импульсов» без указания мощности дозы

в одном импульсе и максимальной дозы в одном импульсе (см. стр 50, стр. 70) вызывает сомнения. Мощность дозы одиночного импульса в созданном аппарате согласно рис.4.8 и рис.4.9 составляет порядка 500 Р/с. Поэтому сравнения доз при съемке медицинских объектов непрерывными и импульсными источниками (Стр 91) требует дополнительной проверки.

Приведенные недостатки не снижают значимости проведенных соискателем весьма добротных научных исследований.

Заключение

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. Диссертационная работа содержит решение задач, имеющих существенное значение для развития приборов и методов экспериментальной физики в области сильноточной электроники и динамической радиографии.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. Ns 842), а ее автор Комарский Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки.

Я, Пальчиков Евгений Иванович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Комарского Александра Александровича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент  Пальчиков Е.И.
доктор технических наук, специальность ВАК 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», доцент,
ведущий научный сотрудник лаборатории физики высоких плотностей энергии
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (ИГиЛ СО РАН) (<http://www.hydro.nsc.ru>),
заведующий кафедрой физики сплошных сред НГУ.

Подпись Пальчикова Е.И.  
Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН,
к.ф.-м.н.

Любашевская И.В.

Пальчиков Евгений Иванович
г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15
E-mail: palchikov@hydro.nsc.ru Тел: +7 (383) 333-23-05