

С. Ю. Соковнин

**Наносекундные
ускорители
электронов
для радиационных
технологий**

**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

С. Ю. СОКОВНИН

**Наносекундные
ускорители электронов
для радиационных
технологий**

Екатеринбург 2017

УДК 537.5+621.3

ББК 35

С 59

Соковнин С.Ю. Наносекундные ускорители электронов для радиационных технологий. – Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2017. – 348 с.
ISBN 978-5-7691-2494-5

В монографии описаны принципы создания и конструкция импульсно-периодических наносекундных ускорителей электронов, а также технология разработки и конкретные радиационные технологии на их основе.

Развитие техники генерации высоковольтных импульсов наносекундной длительности на основе эффекта наносекундного обрыва тока в полупроводниковых диодах создало предпосылки для разработки наносекундных ускорителей электронов импульсно-периодического режима действия. Такие ускорители генерируют пучки большого сечения с высокой интенсивностью, обладающие сильным биологическим действием. Однако для создания промышленных ускорителей и реализации высокоэффективных радиационных технологий необходимо обеспечить требуемый диапазон параметров пучка, высокую надежность и ресурс ускорителей.

Рассмотрены примеры применения созданных ускорителей в различных отраслях науки и техники, в частности, для радиационной стерилизации и дезинфекции медицинских и пищевых продуктов, сырья животного и растительного происхождения, наведения дефектов в твердых телах, в радиационно-химических технологиях и т.п.

Изложены вопросы измерения параметров электронных пучков, мониторинга параметров и автоматизации управления ускорителей.

Книга может быть использована в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов физических и инженерных специальностей, в том числе по курсу «Физические установки», и справочника при курсовом и дипломном проектировании для направления 14030 «Ядерная физика и технологии», специальностей 140306 «Электроника и автоматика» и 330300 «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Содержит обширный фактический материал.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 16-16-04038 «Разработка электрофизических технологий по обеспечению ветеринарной и биологической безопасности в птицеводстве» и отражены в главах монографии 2, 4, 5, 7, 11, 12.

Рецензенты:

А.И. Пушкарев, доктор физ.-мат. наук, профессор, Томский политехнический университет;

С.А. Чайковский, доктор физ.-мат. наук, Институт электрофизики УрО РАН;

В.И. Дорожкин, академик РАН, доктор биол. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии.

ISBN 978-5-7691-2494-5

Печатается по решению ученого совета Уральского ГАУ, ученого совета Института электрофизики УрО РАН и кафедры экспериментальной физики ФТИ УрФУ

© Уральский ГАУ, 2017

© Институт электрофизики УрО РАН, 2017

© С.Ю. Соковнин, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Сокращения, используемые в работе	6
Введение	8
Список литературы к введению	15
Глава 1. Ускорители электронов для радиационных технологий	15
1.1. Наносекундные ускорители электронов	17
1.2. Описание механизма работы полупроводникового прерывателя тока	22
1.3. Применение полупроводниковых прерывателей тока	23
1.4. Расчет схем питания НУЭ с полупроводниковыми прерывателями тока	26
Список литературы к главе 1	26
Глава 2. Описание ускорителей для радиационных технологий	29
2.1. Частотный наносекундный ускоритель электронов УРТ-0,2	29
2.2. Частотный наносекундный ускоритель электронов УРТ-0,5	36
2.3. Частотный наносекундный ускоритель электронов УРТ-0,5М	42
2.4. Выводы по главе 2	46
Список литературы к главе 2	49
Глава 3. Наносекундные ускорители электронов серии УРТ-1	50
3.1. Частотный наносекундный ускоритель электронов УРТ-1	50
3.2. Ускоритель электронов УРТ-1М	57
3.3. Ускоритель электронов УРТ-1М-300	58
3.4. Выводы по главе 3	67
Список литературы к главе 3	68
Глава 4. Вакуумный диод для двухстороннего облучения	70
4.1. Создание геометрии двухстороннего облучения	70
4.2. Выходное окно ускорителей	78
Список литературы к главе 4	80
Глава 5. МДМ-катоды для наносекундных ускорителей электронов	81
5.1. Введение	81
5.2. Исследования элемента МДМ-катода на ускорителе УРТ-0,2	83
5.3. Исследования свечения плазмы МДМ-катода	94
5.4. МДМ-катоды большого размера для больших частот работы	96
5.5. Выводы по главе 5	102
Список литературы к главе 5	103
Глава 6. Металлокерамические катоды для наносекундных вакуумных диодов	105
6.1. Введение	105
6.2. Описание конструкции МК-катодов	106
6.3. Постановочные исследования МК-катодов	110
6.4. Обсуждение результатов экспериментов с МК-катодом	112
6.5. Расширенные исследования свойств МК-катодов	114
6.6. Анализ характеристик МК-катодов	119
6.7. Оптические исследования МК-катода	123
6.8. Исследование влияния площади МК-пластины на свойства вакуумного диода	129
6.9. Исследования МК-катода с различными генераторами ускоряющих импульсов	133

6.10. Экранированный МК-катод	140
6.11. Экранированные МК-катоды большого размера	143
6.12. Выводы по главе 6	148
Список литературы к главе 6	149
Глава 7. Радиационная дезинфекция и стерилизация	151
7.1. Применение НЭП для очистки воды	151
7.2. Радиационная обработка мелажа	157
7.3. Применение НЭП для стерилизации медицинских изделий	162
7.3.1. Введение	162
7.3.2. Изучение образцов изделий	164
7.3.3. Выработка требований к параметрам НУЭ для стерилизации	164
7.3.4. Методика и результаты дозиметрических измерений	168
7.4. Исследование возможности применения НЭП для стерилизации писем	172
7.5. Применение НЭП для поверхностной обработки яиц	177
7.5.1. Дозиметрия куриного яйца	177
7.5.2. Облучение пищевых и инкубационных яиц	182
7.6. Мобильная установка для радиационной дезинфекции	190
7.7. Радиационная дезинфекция зерна	192
7.8. Выводы по главе 7	194
Список литературы к главе 7	195
Глава 8. Радиационные технологии на основе ускорителей типа УРТ	198
8.1. Применение тормозного излучения для облучения крови	198
8.1.1. Радиационная устойчивость крови и реакция организма на ее переливание	198
8.1.2. Рентгеновский наносекундный облучатель крови РНОК-300	202
8.2. Исследование радиационной устойчивости внутренней памяти программируемых цифровых микросхем	207
8.3. Облучение нанопорошков	210
8.4. Наведение дефектов облучением НЭП	215
8.4.1. Радиационное дефектообразование в оксиде бериллия	215
8.4.2. Радиационно-стимулированная агрегация дефектов в кристаллах NaF	222
Список литературы к главе 8	226
Глава 9. Радиационно-химическая стерилизация	229
9.1. Генерация озона наносекундным электронным пучком	229
9.2. Понятие радиационно-химической стерилизации	233
9.3. Применение радиационно-химической стерилизации	235
9.4. Применение РХС для стерилизации кассет с титановыми скобками	243
9.5. Применение РХС для стерилизации одноразового медицинского белья	245
9.6. Выводы по главе 9	248
Список литературы к главе 9	249
Глава 10. Радиационно-химические технологии	251
10.1. Введение	251
10.2. Модификация поверхности полимеров	255
10.3. Технология производства сорбентов	258
10.4. Использование НЭП для получения нанопорошков серебра	265
10.5. Разложение НЭП тетрахлорида кремния и титана	274

10.5.1.	Введение	274
10.5.2.	Получение нанопорошка TiO_2	277
10.5.3.	Получение нанопорошков SiO_2	279
10.6.	Использование НЭП для разложения хлористого водорода	281
	Список литературы к главе 10	285
Глава 11.	Генераторы высоковольтных импульсов и технологии на их основе	288
11.1.	Генератор ГВИ-150	288
11.2.	Генератор ГВИ-400	292
11.3.	Антимикробная обработка излучением плазмы газового разряда	295
11.3.1.	Моделирование выхода УФИ из плазмы наносекундного газового разряда	295
11.3.2.	Антимикробная обработка яйца излучением плазмы газового разряда	301
11.4.	Антимикробная обработка жидкостей	303
11.4.1.	Введение	303
11.4.2.	Эксперименты по обработке жидкости НВИ	305
11.4.3.	Разработка основ технологии по обработке жидкости НВИ	308
	Список литературы к главе 11	311
Глава 12.	Измерение параметров и мониторинг ускорителей	313
12.1.	Общие положения	313
12.2.	Рентгеновская диагностика НЭП	314
12.3.	Измерение энергии электронов методом фильтров	318
12.4.	Применение твердотельных детекторов для мониторинга НЭП	320
12.5.	Исследование пространственного распределения плотности тока пучка электронов люминесцентным способом	323
12.6.	Мониторинг параметров и автоматизация управления ускорителей	325
12.6.1.	Радиационно-химическая установка на ускорителе УРТ-0,5М	325
12.6.2.	Система мониторинга облучения РНОК-300	327
12.6.3.	Автоматизированная система контроля ускорителя УРТ-1М	329
12.6.4.	Автоматизированная система контроля ускорителя УРТ-1М-300	331
	Список литературы к главе 12	334
	Заключение	336
Приложение.	Расчет схем питания НУЭ с полупроводниковыми прерывателями тока	338
П.1.	Начало расчета	338
П.2.	Расчет параметров контуров прямой и обратной накачки ППТ	340
П.3.	Расчет параметров импульсного трансформатора	342
П.4.	Определение конструкционных параметров элементов схемы	344
	Список литературы к приложению	347