

Б-211934

В.А. Бурдовицин, А.С. Климов,
А.В. Медовник, Е.М. Окс, Ю.Г. Юшков

**ФОРВАКУУМНЫЕ
ПЛАЗМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ
ЭЛЕКТРОНОВ**

Б-211934

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

В.А. Бурдовицин, А.С. Климов,
А.В. Медовник, Е.М. Окс, Ю.Г. Юшков

ФОРВАКУУМНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОНОВ

К

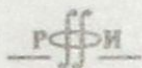
Издательство Томского университета
2014

621.383 + 537.53

УДК 621.384:537.533

ББК 22

Б90



*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 14-08-07011, не подлежит продаже*

Рецензенты:

член-корр. РАН *Н.В. Гаврилов*,
д-р техн. наук *Н.Н. Коваль*

Бурдовицин В.А.

Б90 Форвакуумные плазменные источники электронов / В.А. Бурдовицин, А.С. Климов, А.В. Медовник, Е.М. Окс, Ю.Г. Юшков. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2014. – 288 с.

ISBN 978-5-7511-2269-0

В монографии рассматривается одно из активно развиваемых в настоящее время направлений плазменной эмиссионной электроники, связанное с так называемыми форвакуумными плазменными источниками электронов. Отличительной особенностью этих устройств является возможность эффективной генерации стационарных и импульсных электронных пучков в ранее недоступной области повышенных давлений форвакуумного диапазона (1–100 Па). Представленный в книге материал основан на результатах реализации научных проектов, поддержанных более чем 10 грантами РФФИ.

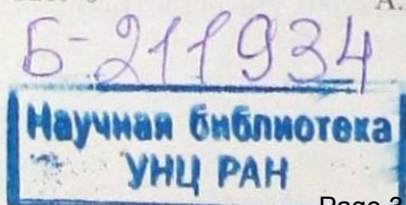
Для разработчиков источников электронов, а также специалистов, использующих электронные пучки для решения фундаментальных и прикладных задач.

УДК 621.384: 537.533

ББК 22

ISBN 978-5-7511-2269-0

© В.А. Бурдовицин, А.С. Климов,
А.В. Медовник, Е.М. Окс, Ю.Г. Юшков, 2014



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>Глава 1. ГЕНЕРАЦИЯ ЭМИССИОННОЙ ПЛАЗМЫ В ФОРВАКУУМНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭЛЕКТРОНОВ</i>	8
1.1 Общие принципы и подходы к созданию форвакуумных плазменных источников электронов	9
1.2 Разрядные системы форвакуумных плазменных источников электронов.....	12
1.2.1 Тлеющий разряд с полым катодом	12
1.2.2 Дуговой разряд.....	15
1.3 Влияние процессов в ускоряющем промежутке на зажигание разряда.....	17
1.3.1 Особенности зажигания разряда с полым катодом.....	17
1.3.2 Особенности зажигания дугового разряда.....	31
1.4 Параметры и характеристики разрядных систем для форвакуумных плазменных источников электронов.....	35
1.4.1 Разряд с полым катодом.....	35
1.4.2 Импульсный режим функционирования разряда с полым катодом.....	49
1.4.3 Дуговой разряд.....	54
Литература к главе 1	58
<i>Глава 2. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ИСТОЧНИКОВ С ПЛАЗМЕННЫМ КАТОДОМ В ФОРВАКУУМНОЙ ОБЛАСТИ ДАВЛЕНИЙ</i>	63
2.1 Характеристики форвакуумных плазменных источников электронов.....	64
2.1.1 Источник аксиально-симметричного непрерывного электронного пучка на основе тлеющего разряда с полым катодом.....	64
2.1.2 Источник широкоапертурного импульсного электронного пучка.....	78
2.1.3 Источник широкоапертурного импульсного пучка электронов на основе дугового разряда	90
2.2 Влияние эмиссии электронов на параметры плазмы и разряда	96
2.2.1 Плазменно-эмиссионные системы на основе тлеющего разряда с цилиндрическим полым катодом для генерации сфокусированных электронных пучков	96
2.2.2 Плазменно-эмиссионные системы на основе тлеющего разряда с протяженным полым катодом для генерации ленточных электронных пучков.....	103
2.2.3 Плазменно-эмиссионные системы на основе импульсного тлеющего разряда с цилиндрическим полым катодом для генерации пучков большого сечения	110
2.3 Электрическая прочность ускоряющего промежутка форвакуумных плазменных источников электронов	117

2.3.1 Пробой межэлектродного промежутка	118
2.3.2 Пробой, обусловленный неустойчивостью плазменной границы.....	129
2.3.3 Механизм «плазменного» пробоя	133
2.3.4 Предельные параметры и пробой в импульсном режиме генерации электронного пучка.....	137
2.4 Параметры пучковой плазмы, генерируемой в форвакуумной области давлений	144
2.4.1 Генерация плазмы сфокусированным электронным пучком.....	145
2.4.2 Параметры «плазменного листа», создаваемого электронным пучком.....	154
Литература к главе 2.....	159
 <i>Глава 3. ФОРВАКУУМНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ</i>	 164
3.1 Источники аксиально-симметричных электронных пучков.....	164
3.2 Источники ленточных электронных пучков.....	177
3.3 Источники импульсных широкоапертурных электронных пучков на основе тлеющего разряда с полым катодом	186
3.4 Источники импульсных широкоапертурных электронных пучков на основе дугового разряда	193
Литература к главе 3.....	199
 <i>Глава 4. НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРВАКУУМНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОНОВ</i>	 202
4.1 Анодирование и азотирование	202
4.1.1 Экспериментальная установка и методика эксперимента.....	203
4.1.2 Результаты экспериментов и их обсуждение.....	204
4.1.3 Азотирование кремния	208
4.2 Синтез углеродных нанотрубок электронно-лучевым испарением графита	212
4.3 Потенциал изолированной мишени при ее обработке электронным пучком в форвакуумной области давлений	217
4.3.1 Непрерывный пучок	218
4.3.2 Импульсный пучок	222
4.3.3 Потенциал диэлектрической мишени.....	226
4.3.4 Механизм установления потенциала изолированной мишени	232
4.4 Электронно-лучевая сварка	234
4.4.1 Сварка керамики	235
4.4.2 Металло-керамическое соединение	250
4.5 Электронно-лучевое спекание.....	254
4.6 Импульсная обработка керамических материалов	263
Литература к главе 4.....	277
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	 282

Научное издание

БУРДОВИЦИН Виктор Алексеевич
КЛИМОВ Александр Сергеевич
МЕДОВНИК Александр Владимирович
ОКС Ефим Михайлович
ЮШКОВ Юрий Георгиевич

ФОРВАКУУМНЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОНОВ

Редактор *В.Г. Лихачева*
Компьютерная вёрстка *Г.П. Орлова*
Художник обложки *В.С. Куприянов*
Корректоры *Н.А. Сидорова, О.И. Дятлова*

Подписано в печать 09.07.2014 г.

Формат 60x84¹/₁₆. Бумага офсетная №1. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 16,8; уч.-изд. л. 16,6. Тираж 250 экз. Заказ 421.

ООО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4
ООО «Интегральный переплет», 634040, г. Томск, ул. Высоцкого, 28, стр. 1



Виктор Алексеевич Бурдовицин, доктор технических наук, профессор Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Научные интересы В.А. Бурдовицина связаны с исследованием процессов эмиссии электронов из низкотемпературной плазмы и созданием на этой основе электронных источников. Значительное место в его исследованиях занимает применение разработанных электронных источников в различных технологических процессах. В.А. Бурдовицин – автор (соавтор) более 80 научных публикаций и 10 патентов.



Александр Сергеевич Климов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории плазменной электроники кафедры физики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Научные интересы А.С. Климова связаны с исследованием эмиссии электронов из плазмы газового разряда, созданием и применением плазменных источников технологических пучков, разработкой технологий электронно-лучевой обработки диэлектрических материалов. Он автор (соавтор) более 50 научных публикаций и 5 патентов.



Александр Владимирович Медовник, кандидат технических наук, доцент кафедры физики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Научные интересы А.В. Медовника связаны с исследованием процессов импульсной эмиссии электронов из низкотемпературной плазмы тлеющего и дугового разрядов, созданием и применением источников мощных пучков электронов для модификации непроводящих материалов. Он автор (соавтор) более 50 научных публикаций и 3 патентов.



Ефим Михайлович Окс, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, заведующий лабораторией плазменных источников Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук. Автор (соавтор) 3 монографий, более 300 научных публикаций и 22 патентов. Результаты исследований и разработки, выполненные научным коллективом, руководимым Е.М. Оксом, используются как в нашей стране, так и за рубежом в таких странах, как США, Германия, Польша, Бразилия, Турция, Китай и др.



Юрий Георгиевич Юшков, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры физики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Научные интересы Ю.Г. Юшкова связаны с исследованием процессов генерации, транспортировки и практического применения мощных электронных пучков, генерируемых в форвакуумной области давлений, а также свойств низкотемпературной пучковой плазмы. Ю.Г. Юшков – автор (соавтор) более 40 научных публикаций и 3 патентов.