

А.И. Пушкарев, Ю.И. Исакова

**ПУЧКОВО-
ПЛАЗМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

А.И. Пушкарев, Ю.И. Исакова

ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторный практикум

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК 621.7.048.7(076.5)

ББК 34.55я43

П91

Пушкарев А.И.

П91 Пучково-плазменные технологии обработки материалов. Лабораторный практикум: учебное пособие / А.И. Пушкарев, Ю.И. Исакова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 208 с.

В пособии изложены научные основы генерации импульсных пучков заряженных частиц гигаваттной мощности. Приведены методические указания для выполнения лабораторных работ на исследовательских генераторах импульсных электронных пучков (ускоритель ТЭУ-500) и импульсных ионных пучков (ускоритель ТЕМП-4М). Рассмотрены современные методы контроля параметров пучков заряженных частиц – тепловизионная диагностика импульсных электронных и ионных пучков, времяпролетная диагностика состава ионного пучка, акустическая диагностика. Даны конкретные примеры практического применения мощных пучков заряженных частиц в различных технологиях.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.7.048.7(076.5)

ББК 34.55я43

Рецензенты

Доктор технических наук
ведущий научный сотрудник Института электрофизики УрО РАН
С.Ю. Соковнин

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной
и медицинской физики Омского государственного университета
В.С. Ковивчак

Кандидат технических наук
старший научный сотрудник ИФВТ ТПУ
Б.Г. Шубин

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2013

© Пушкарев А.И., Исакова Ю.И., 2013

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1. Тепловизионная диагностика мощных ионных пучков	10
1.1. Введение	10
1.2. Методика измерения распределения плотности энергии ионного пучка.....	11
1.3. Исследование охлаждения мишени	14
1.4. Исследование распределения плотности энергии МИП по сечению.....	18
1.5. Анализ влияния электронов на нагрев мишени	19
1.6. Влияние взрывоэмиссионной плазмы на нагрев мишени	22
1.7. Тепловизионная диагностика МИП диода с внешней магнитной изоляцией.....	24
1.8. Баланс энергии в диоде с магнитной самоизоляцией	25
1.9. Задание к работе	26
1.9.1. Получение экспериментальных осциллограмм тока и напряжения	26
1.9.2. Измерение распределения плотности энергии ионного пучка по сечению.....	27
1.9.3. Исследование баланса энергии диодного узла.....	27
1.9.4. Оформление отчета по работе.....	28
1.10. Контрольные вопросы.....	29
2. Времяпролетная диагностика состава и энергетического спектра мощных ионных пучков.....	30
2.1. Цилиндр Фарадея с магнитной отсечкой электронов.....	31
2.2. Цилиндр Фарадея с электрическим смещением.....	34
2.3. Экспериментальная установка	36
2.4. Исследование состава пучка.....	38
2.5. Определение энергетического спектра ионов	40
2.6. Заключение	42
2.7. Задание к работе	42
2.7.1. Получение экспериментальных осциллограмм тока и напряжения	42
2.7.2. Измерение состава ионного пучка, формируемого плоским полосковым диодом с магнитной самоизоляцией.....	43
2.7.3. Исследование энергетического спектра ионов.....	43
2.7.4. Оформление отчета по работе.....	44
2.8. Контрольные вопросы.....	44
3. Акустическая диагностика мощных ионных пучков.....	45
3.1. Введение	45

3.2. Экспериментальный стенд.....	46
3.3. Определение зависимости амплитуды сигнала с пьезодатчика от плотности энергии МИП.....	49
3.4. Калибровка пьезодатчика методом падающей массы	52
3.5. Измерение давления в области поглощения МИП	53
3.6. Влияние распределения энергии МИП по сечению на форму акустического сигнала.....	55
3.7. Заключение	57
3.8. Задание к работе	58
3.8.1. Получение экспериментальных осциллограмм тока и напряжения	58
3.8.2. Калибровка акустической диагностики	58
3.8.3. Оформление отчета по работе.....	59
3.9. Контрольные вопросы	59
4. Тепловизионная диагностика сильноточных электронных пучков	60
4.1. Введение	60
4.2. Экспериментальный стенд и методика измерения	61
4.3. Контроль энергетического спектра электронов	62
4.4. Пространственное распределение электронов с энергией в выбранном диапазоне.....	65
4.5. Измерение распределения плотности энергии по сечению	67
4.6. Заключение.....	69
4.7. Задание к работе	70
4.7.1. Экспериментальные измерения осциллограмм напряжения и тока	70
4.7.2. Экспериментальные измерения распределения плотности энергии электронного пучка по сечению	70
4.7.3. Экспериментальные исследования поглощения электронного пучка в пенополистироле.....	71
4.7.4. Оформление отчета по работе.....	71
4.8. Контрольные вопросы.....	72
5. Баланс энергии в ионном ускорителе ТЕМП-4М.....	73
5.1. Введение	73
5.2. Экспериментальный стенд и калибровка диагностического оборудования.....	74
5.3. Исследование баланса энергии	80
5.3.1. Баланс энергии ДФЛ при работе на резистивную нагрузку ..80	
5.3.2. Баланс энергии ДФЛ при генерации МИП	81
5.3.3. Баланс энергии в диодном узле.....	83
5.4. Обсуждение результатов.....	85
5.5. Заключение.....	86

5.6. Задание к работе	87
5.6.1. Экспериментальные измерения осциллограмм напряжения и тока	87
5.6.2. Оформление отчета по работе	87
5.7. Контрольные вопросы	88
6. Баланс энергии в диодном узле электронного ускорителя ТЭУ-500	89
6.1. Введение	89
6.2. Экспериментальная установка	89
6.3. Исследование режима работы планарного диода	92
6.4. Исследование баланса энергии планарного диода	95
6.5. Заключение	100
6.6. Задание к работе	100
6.6.1. Экспериментальные измерения осциллограмм напряжения и тока	100
6.6.2. Расчет баланса энергии	100
6.6.3. Оформление отчета по работе	101
6.7. Контрольные вопросы	101
7. Исследование импеданса ионного диода, работающего в двухимпульсном режиме	102
7.1. Введение	102
7.2. Экспериментальный стенд и диагностическое оборудование	102
7.3. Конструкция диодов с магнитной самоизоляцией	104
7.4. Расчетные соотношения	106
7.5. Режим ограничения объемным зарядом	107
7.6. Эффект плазменного сжатия	108
7.7. Задание к работе	111
7.7.1. Экспериментальные измерения осциллограмм напряжения и тока	111
7.7.2. Расчет импеданса диода в двухимпульсном режиме	112
7.7.3. Расчет скорости расширения взрывоэмиссионной плазмы из экспериментальных осциллограмм тока и ускоряющего напряжения	112
7.7.4. Оформление отчета по работе	112
7.7.5. Контрольные вопросы	112
8. Исследование стабильности работы ионного ускорителя ТЕМП-4М	114
8.1. Введение	114
8.2. Экспериментальный стенд	116
8.3. Исследование стабильности работы ускорителя ТЕМП-4М на согласованную нагрузку	117
8.4. Исследование стабильности генерации МИП в плоском диоде	118

8.5. Исследование стабильности генерации МИП в фокусирующем диоде.....	121
8.6. Стабильность плотности энергии пучка	123
8.7. Исследование корреляции плотности тока МИП.....	124
8.8. Корреляция энергии пучка	126
8.8. Заключение	129
8.9. Задание к работе	131
8.9.1. Экспериментальные измерения осциллограмм напряжения и тока	131
8.9.2. Регистрация осциллограмм в серии импульсов	131
8.9.3. Статистический анализ стабильности работы ускорителя	132
8.9.4. Оформление отчета по работе.....	132
8.10. Контрольные вопросы.....	132
9. Транспортировка и фокусировка мощного ионного пучка.....	134
9.1. Введение	134
9.2. Экспериментальный стенд.....	136
9.3. Исследование зарядовой нейтрализации МИП	139
9.4. Фокусировка МИП в полосковом фокусирующем диоде	140
9.5. Фокусировка МИП плоским экраном.....	143
9.6. Фокусировка ионных пучков в конусном диоде.	144
9.7. Фокусировка ионных пучков в спиральном диоде	145
9.8. Обсуждение результатов.....	148
9.9. Заключение	149
9.10. Задание к работе	150
9.10.1. Экспериментальные измерения осциллограмм напряжения и тока	150
9.10.2. Измерение распределения плотности энергии МИП по сечению.....	150
9.10.3. Исследование баланса энергии диодного узла.....	151
9.10.4. Оформление отчета по работе.....	151
9.11. Контрольные вопросы.....	152
10. Наноструктурирование поверхности металлических изделий при воздействии импульсного ионного пучка.....	153
10.1. Введение	153
10.2. Применение концентрированных потоков энергии для модифицирования поверхностного слоя материалов	153
10.3. Модифицирование поверхностного слоя металлических материалов МИП	156
10.4. Зондовая нанолaborатория Интегра Прима.....	162
10.5. Обработка МИП поверхности титанового образца без предварительной полировки	164

10.6. Обработка МИП предварительно полированной поверхности титанового образца	166
10.7. Задание к работе	167
10.7.1. Получение экспериментальных осциллограмм тока и напряжения	167
10.7.2. Измерение распределения плотности энергии ионного пучка по сечению.....	168
10.7.3. Обработка МИП поверхности титанового образца	168
10.7.4. Исследование морфологии поверхности и твердости приповерхностного слоя обработанных образцов	168
10.7.5. Оформление отчета по работе.....	169
10.7.6. Контрольные вопросы.....	169
11. Формирование многокомпонентных тонкопленочных покрытий при распылении мишени импульсным ионным пучком	170
11.1. Импульсные методы осаждения тонких пленок	171
11.1.1. Импульсное лазерное осаждение	171
11.1.2. Осаждение пленок из плазмы взрывающихся проводников	175
11.1.3. Импульсное ионное осаждение.....	177
11.1.4. Описание лабораторного стенда на базе сильноточного импульсного ионного ускорителя «ТЕМП-4М»	180
11.2. Методика и порядок проведения лабораторной работы	181
11.3. Порядок проведения лабораторной работы.....	184
11.4. Задание к работе	185
11.4.1. Подбор необходимой плотности энергии МИП.....	185
11.4.2. Получение тонкопленочных покрытий.....	185
11.4.3. Определение элементного состава осажденной пленки.....	186
11.4.4. Оформление отчета по работе.....	186
11.4.5. Контрольные вопросы.....	186
12. Формирование радиационных центров окраски при воздействии импульсного электронного пучка.....	188
12.1. Введение	188
12.2. Центры окраски.....	188
12.3. Зонная структура стекол	189
12.4. Спектр пропускания	191
12.5. Экспериментальный стенд и методика измерения	193
12.6. Расчет энергии тормозного излучения, формируемого при поглощении электронного пучка ускорителя ТЭУ-500	194
12.7. Задание к работе	195
12.7.1. Экспериментальные измерения осциллограмм напряжения и тока	195

12.7.2. Экспериментальные измерения распределения плотности энергии электронного пучка по сечению	195
12.7.3. Формирование радиационных центров окраски в стеклянных образцах	195
12.7.4. Измерение спектра поглощения облученных стекол	196
12.7.5. Оформление отчета по работе.....	196
12.7.6. Контрольные вопросы.....	196
Список литературы	197