



Пушкарев А.И., Исакова Ю.И.

ГЕНЕРАЦИЯ МОЩНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ ДЛЯ ПУЧКОВО- ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие

Новосибирск
2016

УДК 533
ББК 22.333
П91

Рецензенты:

Ковивчак В.С. кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник комплексного научно-исследовательского отдела региональных проблем Омского научного центра СО РАН;

Коханенко А.П. доктор физико-математических наук, профессор радиофизического факультета Томского государственного университета.

ISBN 978-5-4379-0506-7

Пушкарев А.И., Исакова Ю.И.

П91 «Генерация мощных ионных пучков для пучково-плазменных технологий»: – Учебное пособие. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2016. – 122 с.

ISBN 978-5-4379-0506-7

ББК 22.333

© Пушкарев А.И., Исакова Ю.И., 2016
© АНС «СибАК», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Глава 1. Подавление электронного тока в ионном диоде.....	8
1.1. Влияние изменения траектории электронов в А-К зазоре вакуумного диода на его импеданс	10
1.1.1. Планарный электронный диод с графитовым катодом.....	11
1.1.2. Электронный диод с развитой поверхностью катода	14
1.1.3. Диод с магнитной изоляцией электронов	17
1.1.4. Электронный пинч-диод.....	22
1.1.5. Заключение	23
1.2. Моделирование подавления электронного тока в ионном диоде	24
1.2.1. Ионный диод с магнитной самоизоляцией.....	25
1.2.2. Ионный пинч-диод	27
1.2.3. Магнитное поле в А-К зазоре	30
1.2.4. Продолжительность дрейфа электронов.....	34
1.2.5. Продолжительность ускорения ионов.....	38

1.2.6. Заключение.....	39
1.3. Экспериментальное исследование подавления электронного тока в ионном диоде	40
1.3.1. Одноимпульсный режим работы диода	40
1.3.2. Двухимпульсный режим работы диода	55
1.3.3. Спиральный ионный диод	66
1.3.4. Ионный диод с внешней магнитной изоляцией....	71
1.3.5. Конусный ионный диод с внешней магнитной изоляцией.....	73
1.3.6. Диод без магнитной самоизоляции электронов....	78
1.4. Модель подавления электронного тока.....	79
Глава 2. Усиление плотности энергии МИП.....	84
2.1. Исследование усиления плотности ионного тока.....	86
2.2. Исследование усиления плотности энергии МИП.....	91
2.2.1. Диод с незамкнутым дрейфом и магнитной самоизоляцией электронов	92
2.2.2. Спиральный диод с магнитной самоизоляцией...	98
2.2.3. Диод с незамкнутым дрейфом и внешней магнитной изоляцией электронов.....	100

2.2.4. Диод с замкнутым дрейфом и внешней магнитной изоляцией электронов	106
2.3. Механизм усиления плотности ионного тока.....	109
Заключение.....	114
Список литературы.....	116

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научная область, к которой относятся материалы, изложенные в учебном пособии – генерация ионных пучков гигаватной мощности. Представлен аналитический обзор, результаты моделирования и экспериментальных исследований генерации импульсных ионных пучков, формируемых диодом в режиме внешней магнитной изоляции и магнитной самоизоляции электронов.

Совершенствование продукции машиностроения невозможно без применения новых технологических процессов, позволяющих повысить ресурс и надежность деталей и узлов в самых жестких условиях эксплуатации. Термическая закалка и ковка металлических изделий являются древнейшими методами улучшения их эксплуатационных свойств. Такое воздействие образует твердые растворы и вторичные фазы, которые не характерны для равновесной диаграммы состояний. Совершенствование технологического процесса закалки идет по пути увеличения скорости изменения температуры и обработки только поверхностного слоя, без изменения объемных свойств. Для этого используют лазерное излучение, электронные пучки, мощные ионные пучки (МИП) и импульсные потоки плазмы. Модификация металлических изделий импульсными потоками энергии улучшает свойства материалов: твердость, прочность, износостойкость; повышает эксплуатационные характеристики изделий из них.

Для модификации поверхностного слоя материалов с высокой теплопроводностью (металлы и сплавы) необходимы импульсные потоки энергии с плотностью энергии 2–3 Дж/см² при длительности импульса не более 100–200 нс. Увеличение длительности импульса приводит к увеличению толщины прогреваемого слоя облучаемой мишени при незначительном росте температуры. Воздействие МИП длительностью 100–150 нс и плотностью энергии 2–3 Дж/см² обеспечивает нагрев и охлаждение поверхностного слоя обрабатываемого изделия со скоростью 10⁸ К/с (сверхскоростная закалка). Толщина такого слоя составляет 1–2 мкм и объемная плотность мощности радиационного воздействия достигает 10¹¹ Вт/см³. При плотности энергии более 5 Дж/см² происходит интенсивная абляция материала мишени и в обрабатываемом изделии формируются ударные волны отдачи, давление при этом превышает 10⁸ Па (сверхмощная ковка). Ударные волны обеспечивают изменение свойств изделия на большую глубину, превышающую 100 мкм для стали. Использование высокоэнергетических электронных пучков для модификации материалов требует

значительно более высокой поверхностной плотности энергии из-за большего пробега электронов, превышающего сотни микрон в металлах. Для уменьшения пробега электронов снижают их энергию до 20–30 кэВ. В этом случае для получения поверхностной плотности энергии 2–5 Дж/см² используют электронные пучки с длительностью импульса до 10–20 мксек. Объемная плотность мощности при этом ниже в 100 раз.

За последние 30–40 лет в России и за рубежом опубликовано много статей и докладов на конференциях, посвященных генерации мощных ионных пучков. Наиболее полно эти материалы обобщены в монографиях В.М. Быстрицкого и А.Н. Диденко «Мощные ионные пучки». – М.: Энергоатомиздат, 1984 и S. Humphries «Charged Particle Beams». Wiley, New York, 1990. С момента выхода этих книг были продолжены исследования по генерации наносекундных пучков ионов в диодах с магнитной изоляцией электронов. Результаты опубликованы в отдельных работах, что затрудняет оценить закономерности явлений, протекающих при генерации МИП.

Предлагаемое издание является первым, в котором обобщены результаты экспериментальных исследований генерации импульсных ионных пучков гигаваттной мощности в диодах в условиях быстрого формирования плазмы на всей рабочей поверхности катода. Это позволило выявить наиболее важные физические процессы при генерации импульсных ионных пучков наносекундной длительности.

Учебное пособие предназначено для студентов и аспирантов физических специальностей, для курсов лекций «Источники пучков заряженных частиц», «Радиационно-пучковые технологии модифицирования материалов». Оно будет полезно специалистам в области сильноточной электроники, генерации импульсных пучков заряженных частиц.

Учебное пособие

Пушкарев А.И., Исакова Ю.И.

ДИАГНОСТИКА МОЩНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Подписано в печать 16.12.2016. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 7,625. Тираж 550 экз.

Издательство АНС «СибАК»
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, офис 4.
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии Allprint
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3