

ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 533.9

ИМИНОВ КАДИ ОСМАНОВИЧ

**КИНЕТИКА ПЛАЗМЫ ПОПЕРЕЧНОГО НАНОСЕКУНДНОГО
РАЗРЯДА С ЩЕЛЕВЫМ КАТОДОМ В ГЕЛИИ И
В СМЕСИ ГЕЛИЙ-АРГОН**

01.04.04 - физическая электроника

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Махачкала
1996

Работа выполнена на кафедре физической электроники физического факультета Дагестанского государственного университета

Научные руководители: - доктор физико-математических наук,
профессор Омаров О.А.,
- кандидат физико-математических наук,
доцент Ашурбекрв Н.А.

Официальные оппоненты: - доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Ключарев А.Н.
- доктор физико-математических наук,
профессор Абдурахманов А.А.

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт Комплекс
ных испытаний оптико-электронных приборов
и систем Государственного научного центра
Государственный оптический институт
им. СИ. Вавилова"

Защита состоится "___" _____ 1996 г. в ____ час. на заседании специализированного совета К.063.61.06 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук в Дагестанском государственном университете по адресу: 367025, г. Махачкала, ул. Советская, 8.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Дагтосуниверситета

Автореферат разослан "___" _____ 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Ш.А. Гайдаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Современный этап развития исследований низкотемпературной плазмы характеризуется резким ростом интереса к изучению физических свойств пучковой плазмы, образованной жестким внешним ионизатором. Это обусловлено ее широким практическим использованием, в частности, при создании рекомбинационных лазеров, среди которых одними из перспективных являются плазменные лазеры, в которых очистка нижнего рабочего уровня происходит безизлучательно [1, 2]. Примером могут служить пеннинговские плазменные лазеры со столкновительной очисткой нижних рабочих уровней, где получена мощная генерация в видимой области спектра [3 – 5].

Несмотря на то, что изучению пучкового разряда через инертные газы посвящено большое количество работ, многие вопросы, существенные для понимания кинетики образования и распада такой плазмы, остаются не выясненными до конца. Как следствие этого в имеющихся в литературе работах нет единого мнения и относительно механизма образования инверсной заселенности в таких разрядах. Так, в работе [6] сообщалось о получении генерации на переходе $3^3S - 2^3P$ ($\lambda=706,5$ нм) атома гелия в послесвечении высоковольтного импульсного разряда в смеси He-H₂. Наличие инверсии авторы связывали с ион-ионной рекомбинацией, а кинетику очистки нижнего уровня вообще не обсуждали. В работе [7] также была получена генерация на длине волны $\lambda=706,5$ нм атома гелия. Авторы связывают генерацию с избыточным возбуждением верхнего уровня электронным ударом и не учитывают роль легкоионизирующей компоненты в смеси. Авторы [8] объясняют инверсию на переходе неона $\lambda=585,3$ нм реакцией ионизации водорода при столкновении с возбужденным атомом неона, однако утверждают, что заселение верхнего рабочего уровня связано не с рекомбинационными процессами, а обусловлено прямым возбуждением из основного состояния. В [9] генерацию объясняют рекомбинационным заселением верхнего рабочего уровня и среди процессов разрушения нижнего уровня обсуждают возможность реакции Пенинга, а в работе [10] обращается внимание на важную роль электронного возбуждения, главным образом, из метастабильных состояний, как на один из основных механизмов заселения рабочих уровней атомов инертных газов в лазерах высокого давления. Такая неоднозначность в объяснении механизма генерации в первую очередь объясняется недостатком экспериментальных данных об основных параметрах плазмы. Хотя пучковая плазма довольно часто

встречается в практических лабораторных ситуациях, ее экспериментальное исследование находится на начальной стадии. Это связано как с техническими трудностями, так и с ограниченностью известных методов диагностики при исследовании пучковой плазмы, которая к тому же существует обычно в течение весьма небольшого времени. Между тем в пучковой плазме пеннинговских смесей существенно возрастает число процессов, влияющих на формирование инверсной населенности и кинетику распада плазмы, в связи с чем ее теоретическое исследование становится затруднительным. Поэтому получение надежных данных об основных параметрах пучковой плазмы, таких как населенности возбужденных состояний атомов, электрокинетические параметры (n_e , T_e) и сочетание методов экспериментального и теоретического исследования является весьма актуальной задачей. Такой подход и используется в данной работе.

Целью диссертационной работы являлось:

1. Развитие методики комплексного исследования наносекундного разряда плазменно-пучкового типа и получение экспериментальных сведений об основных параметрах (электрических, оптических и спектральных) нс разряда с щелевым катодом в He, Ar и смеси He-Ar в диапазоне давлений газа 1-100 Тор.

2. Детальное экспериментальное исследование и анализ механизмов и динамики развития поперечного нс разряда с щелевым катодом в инертных газах при средних давлениях.

3. Экспериментальное и теоретическое исследование кинетики образования и распада пучковой плазмы нс разряда в He и смеси He-Ar. Исследование механизмов образования инверсной населенности на переходах атома гелия в нс разряде в смеси He-Ar.

Научная новизна. В работе впервые проведено систематическое исследование нс разряда с щелевым катодом в He, Ar и смеси He-Ar в широком диапазоне изменения условий в разряде и получены экспериментальные сведения об основных параметрах нс разряда плазменно-пучкового типа.

Впервые сделан детальный анализ динамики и механизмов развития нс разряда с щелевым катодом. Установлено существование двух стадии развития разряда, на первой из которых рост проводимости обусловлен механизмом лавинного размножения начальных электронов, на второй стадии – пробоем между положительным пространственным зарядом и ленками полости катода, который приводит к росту амплитуды импульса тока более чем на порядок.

Впервые проведен детальный анализ характера и особенностей релаксации энергии быстрых электронов не разряда с щелевым катодом в He и в смеси He-Ar.

Впервые обнаружено усиление излучения на переходе атома гелия ($3^3D - 2^3P$) в смеси He-Ar и исследован механизм формирования инверсной заселенности на данном переходе.

Сделан последовательный анализ кинетики возбужденных атомов в нс разряде пучкового типа.

Общие методы исследования. В соответствии с задачами данной работы применялись следующие методы:

Динамика развития разряда исследовалась методом скоростной фоторегистрации с использованием фотоэлектрического регистратора типа ФЭР2-1, имеющего субнаносекундное временное разрешение. Электрокинетические характеристики разряда определялись на основе экспериментальных данных, полученных осциллографическим методом путем определения проводимости разряда и дрейфовой скорости электронов.

Для определения концентраций возбужденных атомов использовались спектроскопические методы, в том числе и метод лазерной абсорбционной спектроскопии с наносекундным временным разрешением.

Научная и практическая ценность работы. Результаты, полученные в диссертации, важны для понимания физики процессов, протекающих в нс разрядах плазменно-пучкового типа с генерацией быстрых электронов в самом разряде.

Полученные в работе результаты по кинетике возбужденных атомов в плазменно-пучковых разрядах могут быть использованы при оптимизации характеристик пеннинговских плазменных лазеров на смесях инертных газов с легкоионизирующими компонентами. Развитый в работе метод комплексного исследования и полученные в ней результаты могут быть использованы при дальнейшем исследовании нс разрядов пучкового типа и газоразрядных устройств на их основе.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на IV Всесоюзной конференции по ФГР (Махачкала, 1988), на региональной научной конференции "Физико-химические процессы в электрических разрядах" (Грозный, 1990), на VIII Всесоюзной конференции по ФНП (Минск, 1991), на XX Международной конференции по явлениям в ионизованных газах (Италия, 1991) и на VI Всесоюзной конференции по ФГР (Казань, 1992).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации 150 страниц (41 рисунок, 5 таблиц). Библиография содержит 96 наименований.

Содержание работы

Во Введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цель и задачи работы, описывается структура диссертации.

В первой главе диссертации описаны виды разрядов, в которых имеет место генерация быстрых электронов. Приведены работы по исследованию ФРЭЭ в плазме, создаваемой пучком быстрых электронов. Там же приведены работы, в которых получена генерация на переходах атомов гелия и неона в пеннинговских смесях при накачке пучком быстрых электронов. Обсуждены основные процессы, заселяющие возбужденные состояния атомов в послесвечении. Проведенный анализ имеющихся в литературе работ показывает, что остаются невыясненными до конца вопрос происхождения быстрых электронов и тесно с ним связанный вопрос об их энергетическом спектре. Практически отсутствуют работы, посвященные изучению динамики развития не разрядов пучкового типа. Нет единого мнения и относительно механизма образования инверсной заселенности в таких разрядах.

Вторая глава посвящена описанию методики комплексного исследования пучковой плазмы. Приводится описание экспериментальной установки для измерения электрических параметров не разряда. Обсуждаются особенности разрядной камеры с щелевым катодом. Описываются методики диагностики импульсного разряда на основе методов лазерной абсорбционной спектроскопии и метода реабсорбции излучения. В отдельном параграфе описана методика и установка с ФЭР2-1 для регистрации пространственно-временной картины развития разряда.

Перечисленные методы диагностики не разряда позволяют получить сведения об электрических характеристиках разряда, концентрациях возбужденных атомов, электрокинетических параметрах (n_e , T_e) и спектральных характеристиках с одновременной регистрацией пространственно-временной картины развития разряда

Третья глава посвящена описанию результатов экспериментального исследования не разряда в гелии, аргоне и в смеси гелия с аргоном с различным парциальным содержанием компонент в смеси. Разряд происходит в камере с щелевым катодом, длина электродов составляла 30 см, а расстояние между ними 0,6 см. Генератор высоковольтных импульсов напряжения собран по схеме Блюмлейна, где в качестве коммутирующего

устройства использован керамический тиратрон с водородным наполнением типа ТГИ1-500/16. На разрядную камеру подавались импульсы напряжения длительностью фронта нарастания около 15 нс и регулируемой амплитуды $U \sim (0,5 - 5)$ кВ с частотой следования до 50 Гц. Емкость накопительных конденсаторов имела величину – 20 нф. Диапазон исследуемых давлений газа – (1 – 100) Тор.

В п.3.1 описываются результаты исследования вольт-амперных характеристик разряда и времени формирования пробоя, измеренные в широком диапазоне изменения давления газа и амплитуды напряжения на электродах.

Приводятся закономерности изменения тока разряда в максимуме в зависимости от давления газа и амплитуды напряжения. Также приводятся результаты исследования концентраций электронов в разряде в зависимости от давления газа, напряжения на электродах и времени развития разряда. Амплитуда тока разряда составляла величину в диапазоне (40 – 400) А.

Результатам исследования закономерностей формирования спектра оптического излучения и образования метастабильных атомов гелия и аргона посвящен п.3.2. Экспериментально установлено, что с ростом давления газа в диапазоне 1 – 20 Тор интенсивности всех исследованных спектральных линий проходили через максимум и имели сильную зависимость от давления газа. Исследования заселенностей метастабильных состояний атомов гелия и аргона показали, что как в разряде в гелии, так и в смеси гелия с аргоном плотность атомов $He(2^3S_1)$ была примерно на порядок выше, чем $He(2^1S)$ и составила в максимуме величину порядка 10^{12} см⁻³. При добавлении аргона в разряд через гелий максимальная плотность метастабильных атомов $He(2^3S)$ уменьшалась в 2 – 3 раза. В смеси He-Ar обнаружено усиление света на спектральном переходе HeI ($3^3D - 2^3P$) (длина волны $\lambda=587,5$ нм). Максимальное значение коэффициента усиления имело величину $\alpha \sim 5 \cdot 10^{-3}$ см⁻¹ и соответствовало суммарному давлению газа 15 Тор при парциальном содержании компонент в смеси $[He]:[Ar] = 6:5$.

В п. 3.3 приводятся оптические картины интегрального свечения и картины пространственно-временного развития разряда в гелии и аргоне при различных напряжениях на камере и давлениях исследуемого газа. Там же приводятся диаграммы пространственно-временного распределения интенсивности излучения из области разряда и полости в катод, полученные после микрофотометрирования и обработки на ЭВМ.

Четвертая глава посвящена обсуждению полученных экспериментальных результатов. В п.4.1. обсуждается динамика формирования поперечного нс разряда с щелевым катодом. Экспериментально установлено, что:

1. В диапазоне давлений газа 1 – 100 Тор при пробое гелия формируется объемный разряд, причем первое регистрируемое свечение разряда возникает в объеме между катодом и анодом, и затем через 15-30 нс оптическое излучение фиксируется из щели в катоде.

2. При пробое аргона объемный разряд переходит в искровой при давлениях газа, превышающих 20-25 Тор. При искровом пробое формируется два ярких канала, идущие с двух краев щели в катоде и относительно слабое свечение, имеющее сложный поперечный профиль и выходящее из щели в катоде.

3. Как при пробое гелия, так и аргона в определенных условиях на дне щели в катоде формируется катодное пятно.

Характерный вид распределения интенсивности излучения из прорези в катоде (а) и пространственно - временного распределения (б) представлены на рис. 1.

Путем решения уравнения Пуассона с соответствующими граничными условиями определено распределение потенциала внутри полости катода на лавинной стадии ионизации. В ходе анализа результатов таких расчетов, времен формирования разряда и экспериментальных данных о динамике пространственно-временного развития разряда сделаны следующие выводы относительно динамики развития пробоя в исследованных условиях:

1. На стадии формирования объемного разряда рост проводимости обусловлен механизмом лавинного размножения начальных электронов, причем этот механизм работает только в промежутке между электродами и вблизи выхода из щели в катоде. Затем, после перераспределения электрического поля между электродами за счет влияния пространственного заряда, на второй стадии наблюдается пробой между положительным пространственным зарядом и стенками щели катода. Проникновение разряда внутрь щели в результате такого механизма приводит к росту импульса тока более чем на порядок.

2. При высоких напряжениях на накопительном конденсаторе ГИН вторая стадия пробоя может иметь осциллирующий характер, что сопровождается формированием двух максимумов тока.

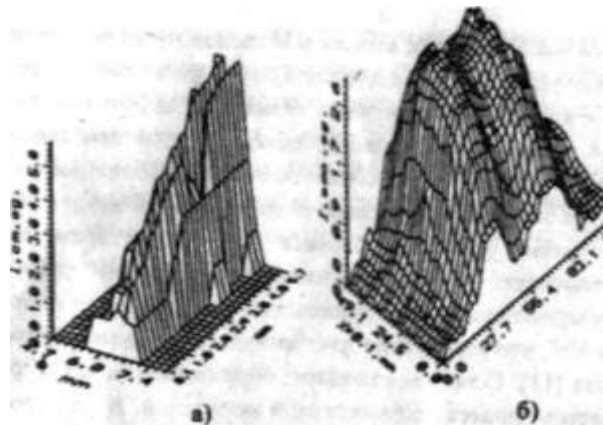


Рис.1 Характерный вид распределения интенсивности излучения из прорези в катоде (а) и пространственно-временное распределение интенсивности излучения между электронами (б).

В п.4.2 обсуждается кинетика заряженных частиц в поперечном нс разряде с щелевым катодом. На основе экспериментально измеренных значений тока разряда при различных давлениях газа рассчитаны значения потенциала (U_k) и толщины катодного слоя (d_k) разряда в гелии и аргоне. Используя полученные значения U_k и d_k в работе оценена энергия, набираемая электронами, проходящими область катодного падения потенциала. Далее получены оценки интенсивности пучка ускоренных в катодном слое электронов. Для оценки времени релаксации средней энергии электронов пучка вводится параметр релаксации

$$K=(\nu_{ee}+\delta\nu_{em}+\nu)\tau_{qф} \cdot (1)$$

где ν_{ee} , ν_{em} , ν - частоты электрон - электронных, электрон-атомных упругих и неупругих соударений соответственно. Анализируя выражение (1) в частности для смеси He-Ar при суммарном давлении газа 15 Тор показано, что энергия быстрых электронов за время порядка 1 нс падает до 12 эВ (порога неупругих процессов) и в дальнейшем эти электроны за счет свободной диффузии уходят из разряда. Это вызывает резкий спад температуры медленной части электронов. В конце параграфа анализируются механизмы формирования ФРЭЭ в зависимости от давления газа в разряде. Установлена граница перехода режима формирования ФРЭЭ от локальной к нелокальной

в разряде в гелии, и на этой основе объясняются закономерности формирования излучения при низких давлениях газа.

Аналізу кинетики возбужденных атомов в исследованных условиях посвящен п.4.3. Рассмотрены основные элементарные процессы, формирующие заселенности возбужденных состояний гелия с главными квантовыми числами $n = 2,3,4$. Для раннего послесвечения с учетом процессов ступенчатого возбуждения атомов He, диссоциативной рекомбинации молекулярных ионов He_2^+ с электронами, диэлектронной рекомбинации ионов He^+ составлена система уравнений баланса для плотности атомов $He^*(n=2)$, $He^*(n=3,4)$, плотности электронов и их средней энергии. В расчетах плотность молекулярных ионов He_2^+ принималась равной 0,1 от плотности атомных ионов He^+ , что характерно для импульсных разрядов при средних давлениях газа [11]. Основным каналом образования молекулярных ионов He_2^+ является процесс ассоциативной ионизации. В качестве основных механизмов релаксации средней энергии электронов учитывались упругие и неупругие соударения электронов с атомами, а также диффузию электронов из области разряда. Рассчитаны потоки заселения уровней He($n=3,4$) за счет указанных процессов в зависимости от средней энергии электронов и показана существенная роль рекомбинации молекулярных ионов при средних энергиях электронов $\varepsilon < 1$ эВ и существенное влияние процессов ступенчатого возбуждения при $\varepsilon \geq 1$ эВ. Далее показано, что процессы рекомбинации не объясняют появление короткого всплеска излучения на заднем фронте импульса тока. Анализируя релаксацию средней энергии электронов и заселенностей уровней атомов гелия, расположенных в районе "узкого места" установлена доминирующая роль перераспределения заселенностей между дискретными уровнями с главными квантовыми числами $n=3,4$ и непрерывным спектром в гелии за времена порядка времен релаксации средней энергии электронов. Характерный вид рассчитанной зависимости средней энергии электронов в раннем послесвечении разряда в гелии от времени представлен на рис.2

Предложен способ оценки средней энергии электронов в максимуме плотности метастабильных атомов, по экспериментально измеренным отношениям концентраций метастабильных атомов к концентрациям атомов в основном состоянии. Для этих целей численно рассчитаны отношения констант ступенчатой ионизации к константе возбуждения метастабильных состояний в зависимости от средней энергии электронов и установлена связь этих функций с плотностью метастабильных атомов.

Выполнен анализ механизма образования инверсной населенности на переходе $\text{HeI}(3^3\text{D}-2^3\text{P})$. Показано, что из-за быстрой релаксации средней энергии электронов в заселении верхнего 3^3D уровня необходимо последовательно учитывать перераспределение населенностей между дискретным и непрерывным спектрами атома гелия и процессы ступенчатого возбуждения и диссоциативной рекомбинации ионов He_2^+ с электронами. Отмечается, что преимущественное заселение 3^3D уровня в послесвечении может быть связано с дополнительным заселением этого уровня за счет перемешивания заселенностей в столкновениях с электронами. И наконец, установлено, что очистка нижнего 2^3P уровня происходит за счет процессов тушения атомами аргона.

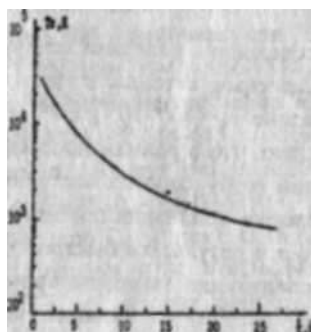


Рис.2 Характерный вид рассчитанной зависимости средней энергии электронов от времени в разряде в гелии ($p=15$ Тор).

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

1. Развита методика комплексного исследования поперечного нс разряда плазменно-пучкового типа, включающая в себя методы оптической абсорбционной спектроскопии, скоростной пространственно-временной фоторегистрации и осциллографирования, обладающие нано- и субнаносекундным временным разрешением. С использованием этих методик впервые получены детальные экспериментальные данные об основных параметрах (электрических, оптических и спектральных) нс разряда с щелевым катодом в He, Ar и в смеси He-Ar в диапазоне давлений газа 1 – 100 Тор в широком диапазоне изменения прикладываемого поля.

2. Впервые проведено детальное экспериментальное исследование и анализ динамики развития поперечного нс разряда с щелевым катодом в

инертных газах при средних давлениях газа Установлено наличие двух стадий развития разряда. На первой стадии рост проводимости обусловлен механизмом лавинного размножения начальных электронов, на второй стадии - проникновением разряда внутрь полости катода в результате пробоя между пространственным зарядом и стенками полости, сопровождающимся ростом тока разряда более чем на порядок. Установлено, что вторая стадия пробоя может иметь осциллирующий характер, что вызывает формирование двух максимумов тока.

3. Проведен детальный анализ характера релаксации энергии быстрых электронов в открытом поперечном нс разряде в смеси He-Ar, и установлены механизмы резкого спада средней энергии электронного газа и условия нелокального формирования функции распределения электронов по энергиям.

4. Впервые исследована кинетика возбужденных атомов в поперечном нс разряде с щелевым катодом в He и смеси He-Ar с плотностью электронов в диапазоне $n_e=(10^{12}-10^{13}) \text{ см}^{-3}$ и начальных давлениях газа $p=(1-100)Tор$. Показано, что в раннем послесвечении разряда в смеси He-Ar рост заселенностей возбужденных состояний атомов He происходит за счет перераспределения заселенностей между дискретным и непрерывным спектрами атома в результате быстрой релаксации средней энергии электронов. В последующие моменты времени основную роль играют процессы диссоциативной рекомбинации молекулярных ионов He_2^+ с электронами.

5. Предложен и реализован способ определения средней энергии электронов в неравновесном нс разряде в гелии, неоне и аргоне с использованием экспериментально измеренных значений плотности метастабильных атомов и рассчитанных численно на ЭВМ универсальных функций, характеризующих отношения сечений неупругих электрон - атомных процессов.

6. Впервые обнаружено и исследовано усиление на переходе $HeI(3^3D - 2^3P)$ с длиной волны $\lambda=587,6 \text{ нм}$ в пеннинговской смеси He-Ar. Показано, что заселение верхнего 3^3D уровня имеет рекомбинационную природу, а нижний 2^3P уровень опустошается в результате хемоионизации атомов Ar. Выявлена роль процессов быстрой релаксации электронной температуры и электронного перемешивания заселенностей при формировании инверсной заселенности на данном переходе.

Цитированная литература:

1. Гудзенко Л.И., Яковленко СИ. Плазменные лазеры. - М.: Атомиздат, 1978. - 256 с.
2. Держиев В.И., Тарасенко В.Ф., Яковленко С.И. и др. Пеннинговские плазменные лазеры на переходах гелия и неона. // Труды ИОФ АН, 1989. Т.23.-С5-43.
3. Бункин Ф.В., Держиев В.И., Месяц Г.А. и др. Плазменный лазер на длине волны 585,3 нм с пеннинговской очисткой на плотных смесях с неоном, возбуждаемый электронным пучком. //Квантовая электроника, 1985, Т. 12, Вып.2. - С245-246.
4. Бункин Ф.В., Держиев В.И., Месяц Г.А. и др. Мощный лазер с накачкой от промышленного малогабаритного ускорителя. //Квантовая электроника, 1985, Т. 12, Вып. 10. - С1993-1994.
5. Басов Н.Г., Баранов В.В., Данилычев В.А. и др. Мощный лазер высокого давления на переходах $3p-3s$ NeI с длинами волн 703 и 725 нм. // Квантовая электроника, 1985, Т.12. Вып.7. -С1521-1524.
6. Pixton P.M., Fowles G.R. Visible laser oscillation in helium at 7065 Å. //Phys.ZettA., 1969, Vol .29, №11. - P.654-655.
7. Schubel W.K. Laser action in AlII and HeI in a slot cathode discharge. //Appl.Phys. Zett., 1977, Vol.30, N10, - P.516-519.
8. Schmieder D., Brink D.J., Salamon T.I., Jones E.G. A high pressure 585,3 nm . neon hydrogen laser. //Opt. Commun. 1981, Vol.36, N3. - P.222-226.
9. Schmieder D. Salamon T.I. A visible helium recombination laser. //Opt.Commun, 1985, Vol.55, N1. - P.49-54.
10. Колоколов Н.Б., Кудрявцев А.А. Роль ступенчатого возбуждения в плазме образованной пучком заряженных частиц в несамостоятельном объемном разряде. //Опт. и спектр. 1987, Т.62, Вып.3. С.494-497.
11. Егоров В.С. Молекулярные ионы инертных газов в плазме импульсного разряда. - // Химия плазмы. /Под ред. Смирнова Б.М. - М.: Энерго-атомиздат, 1980, Вып. 7. - С. 187-218.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Омаров О.А., Эфендиев А.З. Исследование импульсного поперечного разряда не длительности в полем катоде в He и в смеси He-Ar. //В сб.: Материалы IV Всесоюзной конференции по ФГР. Махачкала. 1988. Часть 2. -С. 75-76.
2. Ашурбеков Н.А., Иминов К.О. Усиление света на 3^3D-2^3P переходе атома гелия в разряде в смеси гелий-аргон. //Оптика и спектроскопия. 1990 г. Т.68. ВЫП.1.-С48-51.

3. Ашурбеков Н.А., Иминов К.О. О механизме заселения возбужденных состояний атомов гелия в нс разряде в полом катоде в смеси гелий - аргон. //В сб.: Физика газового разряда. Махачкала. 1990. -С. 34-38.
- 4.Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Омарова И.О. Об энергии электронов в завершающей стадии не разряда в инертных газах. //В сб.: Физика газового разряда. Махачкала. 1990 г. -С. 31-33.
- 5.Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Омарова И.О., Таилов К.Т. Роль процессов Пеннинга в формировании заселенностей возбужденных состояний атомов He в нс разряде в смеси He-Ar. //В сб.: Физхимические процессы в электрических разрядах. Грозный. 1990 г. -С. 11-13.
- 6.Ashurbekov N.F., Iminov K.O., Kurbanismailov V.S., Omarov O.A., Omarova N.O., Taibov K.T. Development kinetics of ionization fronts and their impact on nanosecond discharge optic characteristics// In Proceedings of the XX international Conference on Phenomena in Ionized Gases, Barga (Italy), 1991.-P.540-541.
- 7.Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Омаров О.А., Влияние быстрых электронов на релаксацию возбуждения в продольном нс разряде в He. //В сб.: Материалы VI Всесоюзной конференции по ФГР. Казань. 1992г.
- 8.Ашурбеков Н.А., Иминов К.О. Курбанисмаилов В.С., Омаров О.А. Разработка лазерно - спектроскопических методов диагностики пробойной стадии развития плазмы импульсных сильноточных разрядов (отчет по Программе "Лазеры и их новые приложения". Проект 2.1.4.). //В сб.: Лазерная физика. Санкт-Петербург. 1994 г. Вып.9. С.35.
- 9.Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Курбанисмаилов В.С., Муртазаев А.К. Омаров О.А. Динамика развития поперечного нс разряда с щелевым катодом. // Вестник ЛГУ №2. 1996 г. -С. 112-126

КАДИ ОСМАНОВИЧ ИМИНОВ

**КИНЕТИКА ПЛАЗМЫ ПОПЕРЕЧНОГО
НАНОСЕКУНДНОГО РАЗРЯДА С ЩЕЛЕВЫМ
КАТОДОМ В ГЕЛИИ И В СМЕСИ ГЕЛИЙ-АРГОН**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Редактор Н.Т. Крайнова
Корректор З.М. Гаджбутдеева

Подписано в печать 28.05.96.

Печать офсетная.

Тираж 100 экз.

Заказ № 502.

Формат 60x80 1/16

Усл.п.л. 1,0

Уч-изд.л. 0,9

Издательско-полиграфический центр ДГУ
Махачкала, ул. 26 Бакинских комиссаров, 59^е