

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Сорокина Дмитрия Алексеевича
«Оптические свойства плазмы высоковольтного наносекундного разряда,
инициируемого убегающими электронами, и ее применение»
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.05 – Оптика

Целью диссертационной работы Сорокина Д.А. заявлено определение оптических свойств плазмы, формируемой в газонаполненных промежутках при зажигании высоковольтного наносекундного разряда, инициируемого убегающими электронами и ее практическое использование.

Актуальность Высокая актуальность исследования определяется следующими факторами. Плазма, формируемая при возбуждении плотных газов высоковольтным наносекундным разрядом, инициируемым убегающими электронами (ВНРУЭ), представляется перспективным объектом для ряда практических применений, таких как создание мощных оптических источников, обработка материалов. Поэтому информация об основных параметрах плазмы является крайне важным для правильного выбора направлений и определения возможностей ее использования. Исследования оптических свойств формируемой в условиях возбуждения ВНРУЭ плазмы бинарных смесей инертных газов являются актуальными как с чисто научной точки зрения, так и возможностью создания лазера вакуумного ультрафиолета с электроразрядным способом накачки при давлениях газовой среды порядка 1 атм.

Общая характеристика работы

Во **введении** обосновывается актуальность исследований плазмы, создаваемой убегающими электронами, четко формулируются методы исследований, основные защищаемые положения, научная новизна, практическая значимость и достоверность получаемых результатов.

1 глава представляет собой литературный обзор, в котором изложены разные виды плазмы, способы получения газоразрядной плазмы, методы её исследования, особое внимание уделено плазме, возникающей при высоковольтном наносекундном разряде и ВНРУЭ плазме.

2 глава описывает экспериментальный стенд, а также методы, используемые для исследования плазмы. Большое внимание уделяется точности измерений, указываются классы точности используемых измерительных приборов.

В **3 главе** представлены результаты экспериментов по определению электронной концентрации, приведенной напряженности электрического поля, электронной, колебательной, вращательной и газовой (поступательной) температур в низкотемпературной плазме импульсного и импульсно-периодического высоковольтного наносекундного разряда, инициируемого убегаящими электронами, зажигаемого в газах (He, Ar, He-Xe, Ar-Xe, N₂, воздух) при повышенном давлении.

Как показали измерения, низкотемпературная плазма ВНРУЭ в газах и смесях газов повышенного давления является плотной (электронная концентрация $N_e \sim 10^{14} - 10^{15}$ см⁻³), холодной (газовая температура $T_g \sim 400-800$ К) и сильно неравновесной, что, безусловно, может представлять интерес для целого ряда практических приложений.

Полученные данные об основных параметрах плазмы ВНРУЭ в плотных газовых средах, представляют, как чисто научный интерес, так и важны с точки зрения определения возможностей его использования.

В **4 главе** изложены результаты исследования оптических свойств плазмы в бинарных смесях инертных газов He-Xe и Ar-Xe, формируемой в импульсном режиме. Основной задачей являлось уточнение спектральной структуры излучения плазмы ВНРУЭ в бинарных смесях инертных газов He-Xe и Ar-Xe, а, и исследование усилительных свойств плазмы в ВУФ-области.

В плазме разряда было зарегистрировано излучение, спектральное распределение энергии которого лежит в диапазоне длин волн 140 – 150 нм, вблизи длины волны $\lambda = 147$ нм. Полученные результаты позволили предположить, что регистрируемое узкополосное излучение, спектральное распределение которого лежит вблизи резонансной линии атома ксенона 149,96 нм, испускается вследствие переходов в гетероядерных димерах HeXe* и ArXe*.

Интересным результатом 4 главы, имеющим важное практическое применение, является регистрация усилительных свойств плазмы ВНРУЭ в бинарной смеси Ar-Xe вблизи длины волны 147 нм, что позволяет надеяться на создание ВУФ-лазера с электроразрядным способом накачки активной среды.

плазмы ВНРУЭ в плотных газовых средах, представляют, как чисто научный интерес, так и важны с точки зрения определения возможностей его использования.

В 5 главе представлены результаты исследований, направленных на получение нейтронов в результате DD-реакции при возбуждении дейтерия высоковольтным наносекундным разрядом, инициируемым убегающими электронами. При возбуждении дейтерия низкого давления (доли-единицы Торр) был получен стабильный, хотя относительно невысокий (на порядок меньше по сравнению с литературными данными, где использовался тритий) выход нейтронов, обусловленный протеканием в разрядном промежутке DD-реакции. При этом длительность нейтронного импульса, являющаяся оценкой сверху, составила величину $\sim 1,5$ нс.

Полученные результаты имеют большую практическую ценность, так как могут служить основанием для создания малогабаритных источников нейтронов с короткой длительностью импульса.

В приложении приведены акты внедрения результатов исследований.

К основным научным результатам можно отнести следующее:

- при возбуждении разрядом, инициируемым убегающими электронами, в импульсном режиме бинарных смесей инертных газов Ar-Xe и He-Xe зарегистрировано узкополосное излучение вблизи длины волны $\lambda = 147$ нм, спектральное распределение энергии излучения которого определяется содержанием ксенона в смеси;
- впервые при возбуждении ВНРУЭ плазмой, в импульсном режиме смеси Ar-Xe зарегистрировано усиление в плазме разряда излучения вблизи длины $\lambda = 147$ нм;
- впервые при возбуждении дейтерия высоковольтным наносекундным разрядом, инициируемым убегающими электронами, получен выход нейтронов, обусловленный протеканием в разрядном объеме DD-реакции.

Научная и практическая значимость определяется тем, что данные об основных параметрах плазмы импульсного и импульсно-периодического ВНРУЭ в ряде газов при повышенном давлении представляют ценность с точки зрения их использования для анализа плазмо-химических процессов, протекающих в изучаемом плазменном объекте. Полученная плазма является сильно неравновесной, что, безусловно, может представлять интерес для целого ряда практических приложений.

Достоверность полученных результатов основывается на глубоком анализе регистрируемой аппаратуре и использованных методов, проведённом во 2 главе диссертации, анализом погрешностей, получаемых на измерительной технике.

Недостатки и замечания. Диссертация Сорокина Д.А. не свободна от недостатков, по ней можно сделать следующие замечания:

1. Доверительных интервалы содержатся только в нескольких рисунках. Основная масса графиков диссертации не содержат доверительных интервалов, Не содержат их и полученные параметры плазмы, что затрудняет их анализ.

2. Динамика спектра поглощения плазмы ВНРЭУ в смеси Ar-Xe, изображённая на рис.4.4, отражает не два процесса поглощения, а три. Кроме слабого поглощения на длинах волн 146,3нм, и 147,3нм отчётливо наблюдается сильное поглощение с центром на длине волны 146,8нм. Было бы интересно обсудить принадлежность этого поглощения, например, к поглощению атомом Хе.

Сделанные замечания не затрагивают основных научных положений работы и не снижают ценности полученных результатов и ее уровень.

Объем выполненных исследований, научная новизна и практическая ценность полученных результатов свидетельствует о высоком научном уровне работы.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание и полученные результаты. Все основные результаты, выводы, положения диссертации опубликованы в 40 научных работах, 20 из которых - в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК.

Таким образом, актуальность темы, научная ценность, практическая значимость полученных результатов и адекватность их изложения позволяют заключить, что диссертационная работа «Оптические свойства плазмы высоковольтного наносекундного разряда, инициируемого убегаящими электронами, и ее применение», и автореферат диссертации соответствуют предъявляемым требованиям, а соискатель Сорокин Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Официальный оппонент –
заведующий лабораторией молекулярной спектроскопии

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика,
профессор



Синица Леонид Никифорович

12.11.2015

Подпись официального оппонента Синицы Л.Н. заверяю:
Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской
академии наук

к.ф.-м.н.



О.А.Тихомирова

Адрес: 634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева, д. 1;
Тел. +7 (3822) 491-347, E-mail: sln@iao.ru, сайт: www.iao.ru

12.11.2015

к.ф.-м.н.

О.А.Тихомирова