

УТВЕРЖДАЮ



Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор физико-математических наук

Матвиенко Матвиенко Геннадий Григорьевич

«29» ноября 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Белоплотова Дмитрия Викторовича

«Оптическое излучение плазмы высоковольтных наносекундных разрядов, формируемых в неоднородном электрическом поле в условиях генерации убегающих электронов»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.05 – «Оптика»

Актуальность темы диссертационной работы.

Низкотемпературная газоразрядная плазма была и остается привлекательным объектом исследования в физике, что обусловлено широким спектром ее применения. Развитие техники генерирования наносекундных и субнаносекундных импульсов высокого напряжения привело к появлению компактных устройств с контролируемыми параметрами. Это в свою очередь послужило новым толчком в исследовательских работах по низкотемпературной плазме, создаваемой, в частности, при зажигании разряда в газовой среде. Особый интерес представляет плазма наносекундного газового разряда, формируемого в условиях генерации убегающих электронов, благодаря которым возможно зажигание объемного разряда в газах атмосферного давления без предварительной ионизации третьим источником, что делает разряд с убегающими электронами перспективным с точки зрения его применения в науке и технике.

Как известно, исследование плазмы газового разряда тесно связано с исследованием ее оптических свойств, поскольку процессы возбуждения частиц идут одновременно с процессами их ионизации. Знание этих свойств имеет первостепенное значение как при изучении самой плазмы, так и при ее применении, например, в качестве источников спонтанного и вынужденного излучения, а также для плазменных технологий. Поэтому тема диссертационной работы Белоплотова Д.В. является актуальной, а результаты исследований – востребованными.

К основным научным результатам диссертационной работы следует отнести следующее:

1. Показано, что в плазме наносекундного импульсно-периодического разряда при неоднородном распределении напряженности электрического поля в условиях отсутствия согласования импедансов нагрузки и генератора в промежутке «острие-плоскость» образуются пары материала электрода, излучающие на переходах атомов и ионов металлов. Они образуются при взрыве микронеоднородностей на поверхности электрода за счет выделения джоулева тепла. При этом сохраняются свойства диффузного разряда. В условиях, обеспечивающих согласованный режим нагрузки, люминесценция атомов и ионов отсутствует.
2. Анализ амплитудно-временных характеристик разряда показал, что пробой промежутка, заполненного азотом повышенного давления, совершается за счет прохождения двух волн ионизации – прямой и обратной. При этом скорость обратной волны превышает скорость прямой, поскольку распространяется уже в ионизованной среде.
3. Установлено, что в наносекундном импульсно-периодическом разряде при неоднородном распределении напряженности электрического поля наибольшая интенсивность излучения второй положительной системы азота в центре разрядного промежутка в два раза выше, чем в приэлектродных областях. При этом температура газа в центральной части промежутка в 2-4 раза меньше, чем в приэлектродных областях.
4. Обнаружено, что при наносекундном импульсно-периодическом разряде в азоте в условиях образования паров меди наблюдается длительная люминесценция атомов меди (1-2 мс), возбуждаемых при резонансной передаче энергии с метастабильного состояния молекулы азота на уровень $3d^{10}4d$.

Научная ценность:

- Предложенный оптический метод исследования динамики ионизационных процессов в предпробойной стадии наносекундного разряда позволяет экспериментально исследовать особенности распространения волн ионизации в азоте и азотсодержащих смесях атмосферного давления и выше при временах запаздывания пробоя ~ 1 нс.
- Возбуждение люминесценции материала электродов при диффузном наносекундном импульсно-периодическом разряде в условиях отсутствия широкополосного теплового излучения позволяет проводить спектральные исследования строения материалов и соединений.
- Обнаруженный экспериментальный факт, отраженный в третьем научном положении, служит основанием для проведения численных расчетов по определению оптимальных

условий возбуждения молекул азота в $C^3\Pi_u$ – состояние при наносекундном импульсно-периодическом разряде в неоднородном электрическом поле в условиях неоднородного нагрева газа для получения максимальной интенсивности излучения на полосах перехода $C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$.

- Установлен факт того, что длительная ($\sim 1-2$ мс) люминесценция атомов меди, возбуждаемых при резонансной передаче энергии с метастабильного состояния молекулы азота на уровень $3d^{10}4d$ атома меди, при наносекундном импульсно-периодическом разряде в азоте и азотсодержащих смесях в условиях образования паров меди позволяет экспериментально исследовать распределение потоков продуктов газоразрядной плазмы.

Практическая значимость выполненной работы заключается в том, что с помощью предложенного оптического метода появляется возможность исследовать динамику ионизационных процессов в газоразрядном промежутке при временах запаздывания пробоя ~ 1 нс.

Общие замечания

1. Для полноты обзора работ, касающихся физики убегания электронов следовало отметить работы С.И. Яковленко, поскольку они заслуживают особого внимания.
2. В защищаемом положении 3 единица измерения давления указана в Торр, а дальше по тексту в Па, что не очень удобно для восприятия.
3. Требуется более детального разъяснения выбор ФРЭЭ при вычислении констант скоростей ионизации и возбуждения. Данные для ФРЭЭ взяты из работы [98] для гелия, причем в однородном разряде, в то время как в работе используется азот.
4. В выражении, описывающем связь интенсивности излучения второй положительной системы молекулы азота с концентрацией молекул азота верхнего уровня перехода $C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$, присутствует постоянный параметр Ψ , который фигурирует в дальнейших выкладках, но никак не конкретизирован.
5. Есть опечатки по тексту, но они не являются грубыми.

Заключение.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы.

Диссертационная работа Белоплотова Дмитрия Викторовича выполнена на высоком научном уровне. Автореферат правильно отражает основные результаты диссертации.

Результаты диссертационной работы Белоплотова Д. В. опубликованы в 16 работах: 11 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых

должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 2 статьи в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science, 7 статей российских научных журналах, переводные версии которых индексируются Web of Science и Scopus); 1 монография (соавтор главы); 2 статьи в неиндексируемом зарубежном научном журнале; 2 публикации в сборниках докладов материалов международной и всероссийской конференций (из них 1 публикация в сборнике, индексируемом Scopus).

Диссертация Белоплотова Дмитрия Викторовича является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, соответствует специальности 01.04.05 – «Оптика» и отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013, для кандидатских диссертаций. Белоплотов Дмитрий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Отзыв на диссертацию и автореферат заслушан и одобрен на совместном заседании лаборатории атмосферной абсорбционной спектроскопии, лаборатории молекулярной спектроскопии, лаборатории теоретической спектроскопии и лаборатории квантовой электроники ИОА СО РАН 09 ноября 2016 г., протокол № 2.

Старший научный сотрудник
лаборатории квантовой электроники
ИОА СО РАН,
кандидат физико-математических наук
(01.04.05 – «Оптика»)

Шиянов

Шиянов Дмитрий Валерьевич

Дата оформления отзыва « 29 » ноября 2016 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева

Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1;

Тел.: +7 (3822) 49-27-38, E-mail: mgg@iao.ru, сайт: <http://www.iao.ru>.

