НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408

электронный научно-технический журнал

Применение лазерного инициирования при исследовании магнитных полей СВЧ-разряда

77-48211/633383

10, октябрь 2013

Синогейкин К. Н., Дуванов Б. Н., Волков А. Е., Суетина Н. В.

УДК 537.523

ВА РВСН им. Петра Великого
МГТУ им. Н. Э. Баумана
Siniyk@ya.ru
ale4074695813@yandex.ru
aewaew@mail.ru

Введение

При проведении исследований с использованием газового разряда, зачастую, для получения разряда используют различные способы инициирования [1-3]. К таким способам относятся, например, резонансные вибраторы, ультрафиолетовое излучение, лазерное инициирование, различные источники ионизирующих излучений. При этом исследования электромагнитных полей самого разряда требуют исключения влияния вторичных факторов на исследуемое явление. Добиться этого возможно лишь при использовании краткосрочно действующего, по сравнению с исследуемым процессом, инициирующего воздействия. К таким способам можно отнести инициирование ультрафиолетовым источником и лазерным импульсом. Ввиду того, что возможность управления лазерным импульсом, как по точности воздействия, так и по энергетике существенно выше, чем у источника ультрафиолетового излучения, в данной работе предлагается лазерный способ инициирования СВЧ-разряда.

Исследования по экранированию от электромагнитных полей в основном сводятся к определению экранирующих свойств материалов и конструкций экранов. Исследования по экранированию от электромагнитных полей разрядов, в большинстве случаев направлены на защиту от наведенных полей молниевых разрядов. При этом исследования по экранированию вторичных полей газовых, в частности СВЧ-разрядов

практически не проводятся. Актуальность исследования состоит в том, что при функционировании мощных СВЧ-источников прежде всего в исследовательских установках, влияние вторичных магнитных полей разрядов может оказать существенное влияние на регистрирующую аппаратуру.

В настоящей работе предложен способ экспериментальных исследований магнитных полей СВЧ-разряда, инициированного импульсом Nd-лазера. Приведены примеры исследований, проведенных описываемым способом на базе Лаборатории физики и химии высокоскоростных потоков газоразрядной плазмы отделения № 3 Магнитоплазменной аэродинамики и МГД – преобразования энергии Института высоких температур АН РФ.

Исследование вторичных полей инициированного СВЧ-разряда

При проведении лабораторных исследований вторичных магнитных полей газового разряда, одним из важных моментов является получение разряда наименьшими энергетическими затратами. Так как поддержание газового, в частности сверхвысокочастотного разряда требует существенно меньших энергетических затрат чем его возбуждение, то использование инициирования позволит существенно снизить энергозатраты, получив так называемый подкритичный СВЧ-разряд.

Для решения этой проблемы предлагаем использовать твердотельный лазер [3, 4]. Выбор обусловлен тем, что время существования плазмы лазерной искры существенно меньше времени существования СВЧ-разряда и не оказывает влияния на чувствительные элементы. При использовании других способов инициирования (резонансный вибратор, диполь и т. д.) [2], влияние инициирующего элемента на развитие разряда не позволяет проводить измерения с требуемой чистотой.

Инициирующий импульс лазера, в соответствии с рисунком 1, подводился в фокус СВЧ-пучка вблизи диэлектрической поверхности экрана, внутри которого размещались датчики магнитного поля. Максимальная энергия лазера достигала 500 мДж, диаметр пучка ~ 6 мм, расходимостью < 0,7 мрад и длительностью импульсов $10 \div 14$ нс. Фокусное расстояние линзы – 4 см, размер искры при нормальных условиях $2 \div 3 \times 5 \div 7$ мм.

Для фоторегистрации лазерного и СВЧ-разрядов использовалась высокоскоростная камера. Время экспозиции выбиралось исходя из задачи исследований. Эта же камера применялась в режиме теневой съемки. Синхронизация камеры с лабораторной установкой с помощью ПЭВМ позволяла получать снимки разрядных процессов при каждом измерении.

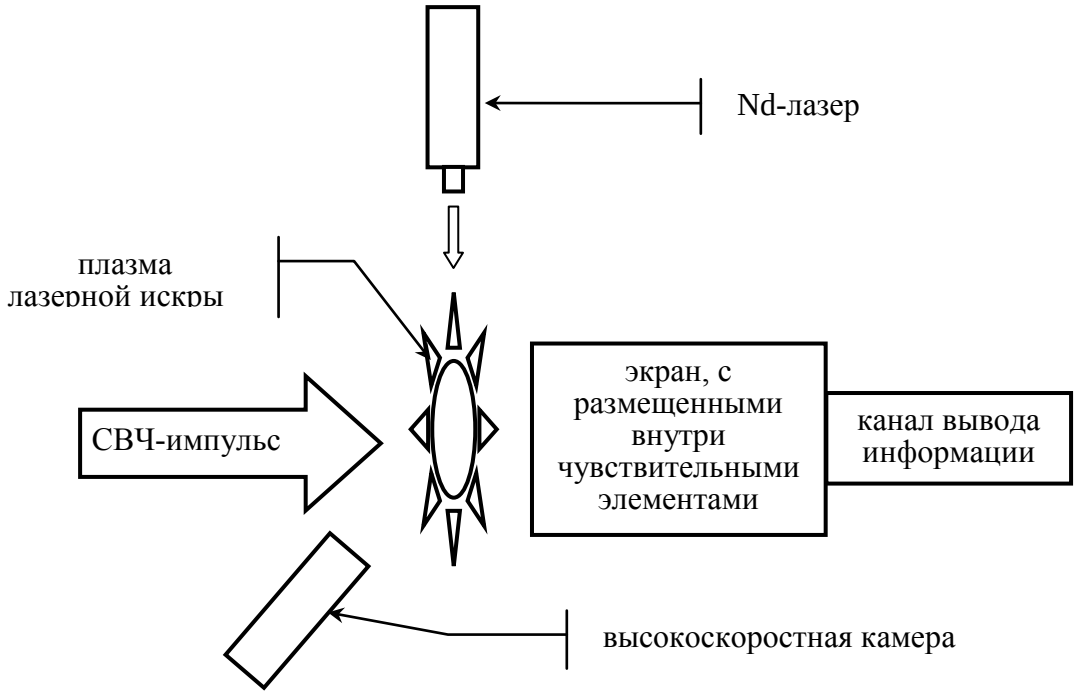


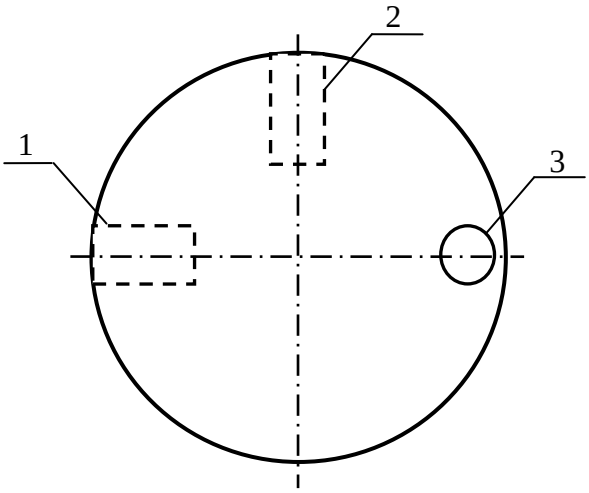
Рисунок 1. Схема экспериментальных исследований.

С помощью многолучевого осциллографа (на схеме не обозначен) обеспечивались калибровка и контроль работы лабораторной установки, фиксировались временные интервалы между лазерной искрой и СВЧ-разрядом. Моменты появления лазерной искры и СВЧ-разряда фиксировались с помощью ФЭУ (на схеме не обозначен).

Все элементы лабораторной установки, кроме средств регистрации и Nd-лазера, размещались внутри вакуумной камеры.

При проведении исследований для регистрации и оценки магнитного поля внутри экранированной камеры, использовались датчики, изготовленные на основе индуктивных катушек с ферритовыми сердечниками.

Для измерения составляющих магнитных полей по трем компонентам внутри экрана датчики были размещены на поворотной платформе, в соответствии с рисунком 2. Платформа располагалась вплотную к торцевой части экрана, на минимально возможном расстоянии от области разряда.

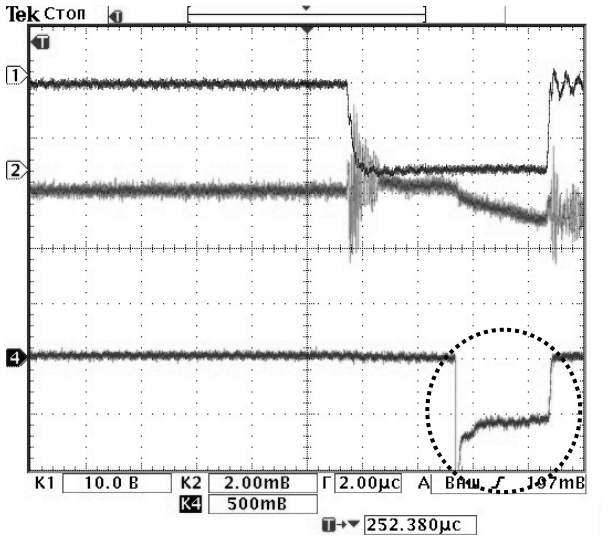


1- датчик №1; 2 – датчик №2; 3 – датчик №3.

Рисунок 2. Схема размещения датчиков внутри экрана.

Варьирование интервалом времени между СВЧ и лазерным импульсами позволило проследить динамику развития и время существования разряда.

Инициирование разряда с высокой стабильностью обеспечивалось при задержке между лазерным и СВЧ импульсами до 100 мс. Смещение лазерной искры внутрь СВЧ-импульса, в соответствии с рисунком 3, стабилизировало разряд и обеспечило наилучшую повторяемость результатов измерений.



P = 122 мм. рт. ст.: 1 – СВЧ-генератор, 2 – датчик №2, 4 – ФЭУ

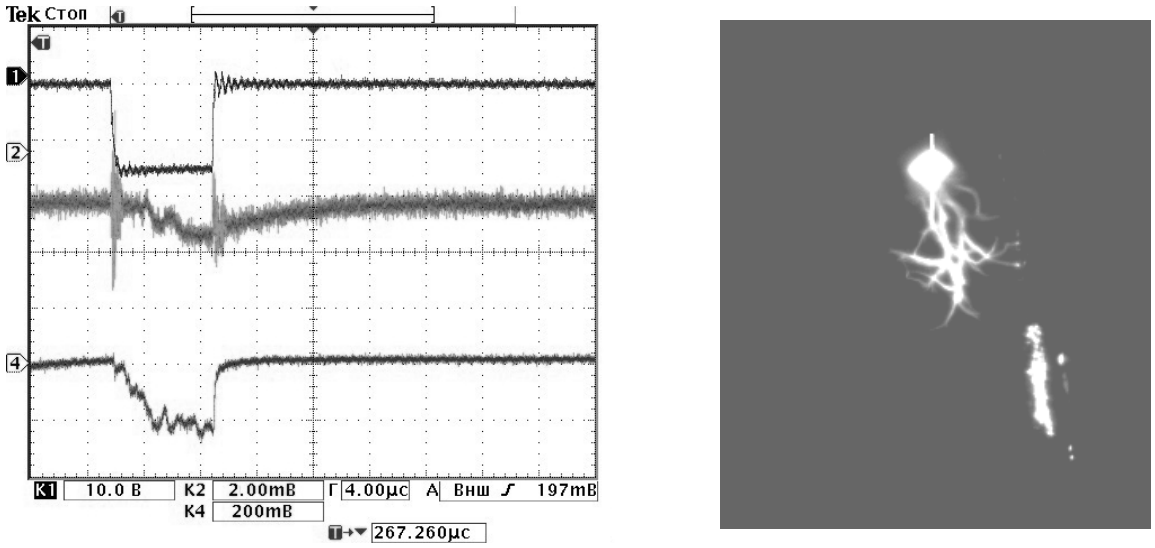
Рисунок 3. Осциллограмма эксперимента при смещении лазерного импульса (отмечен пунктиром) внутрь фронта СВЧ-импульса.

Часть энергии СВЧ-импульса рассеивалось без развития СВЧ-разряда и лишь при появлении лазерной искры происходил разряд.

Синхронизация переднего фронта СВЧ-импульса и лазерной искры позволила инициировать подкритичный СВЧ-разряд, который существовал на протяжении всего СВЧ-импульса.

Эксперименты во всех случаях проводились с инициирующей лазерной искрой, поэтому на начальных стадиях форма разряда повторяла свою геометрию при различных давлениях. Варьирование давлением позволило проследить зарождение усложнений в структуре разряда, что отражалось на регистрируемых сигналах.

Инициированный СВЧ-разряд наблюдался при всех значениях давления, но характеристики и тип разряда менялись. Так, например, при атмосферном давлении, в соответствии с рисунком 4, прослеживалась четкая стримерная структура разряда.



а) б)

Р = 748 мм. рт. ст.: 1 – СВЧ-генератор, 2 – датчик №2, 4 – ФЭУ

Рисунок 4. Осциллограмма импульса напряжения датчика измерительной схемы (а), интегральная фотография СВЧ-разряда (б).

Каналы прорастали из полюса лазерной искры и имели двоякую направленность: навстречу падающей СВЧ-волне и между лазерной искрой и поверхностью мишени. В реакции датчика прослеживалась задержка появления напряжения, связанная с инертностью катушек и временем диффузии магнитного поля через экран. Колебания регистрируемого сигнала коррелируют с флуктуациями плазмы СВЧ-разряда.

При понижении давления амплитуда регистрируемого сигнала увеличивалась. Также, на амплитуду сигнала влияла мощность СВЧ-импульса. При этом увеличение мощности лазерного импульса повышало его инициирующую способность, но не влияло на амплитуду регистрируемого сигнала.

Наибольшая стабильность разряда и минимальная напряженность СВЧ-поля достигались при задержке СВЧ-импульса относительно лазерной искры на время не более 10 мкс. В этом случае напряженность СВЧ-поля не превышала 2 кВ/см, а плотность потока мощности СВЧ-излучения менее 10^4 Вт/см^2.

Заключение

В результате исследований установлено: лазерное инициирование позволяет наиболее точно определить порог возникновения СВЧ-разряда, требуемую энергетику, зависимости порога разряда от времени задержки инициирующего лазерного импульса, давления окружающего воздуха и др. параметров. Так, при использовании инициировании Nd-лазером порог напряженности СВЧ-поля не превышал 2 кВ/см. Лазерная искра, с временем существования около 10 нс, влияния на измеряемые параметры магнитного поля СВЧ-разряда (около 10 мкс) не оказала, чему также способствовали настройки чувствительности датчиков и характеристики экрана.

При проведении исследований магнитных полей СВЧ-разряда, лазерное инициирование является наиболее предпочтительным способом инициирования.

В зависимости от поставленной задачи, данная схема эксперимента позволяет проводить исследования электромагнитных полей СВЧ-разряда при различных давлениях и газовых составах окружающей среды.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ при выполнении научно-исследовательской работы по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-3851.2012.10.

Список литературы

1. Гуревич А. В., Литвак А. Г., Вихарев А. Л. и др. Искусственная ионизированная область как источник озона в стратосфере // Успехи физических наук. 2000. Т. 170 № 11.

2. Грачев Л. П., Есаков И. И., Ходатаев К. В. // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 12. С. 15 – 24. Инициированный подкритичный стримерный сверхвысокочастотный разряд и проблема глобальной очистки атмосферы Земли от фреонов.

3. Афанасьев С. А., Бровкин В. Г., Колесниченко Ю. Ф. Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. Вып. 14. С. 73 – 78. Инициация СВЧ-разряда посредством лазерной искры.

4. Афанасьев С. А., Бровкин В. Г., Колесниченко Ю. Ф., Машек И. Ч. Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. Вып. 15. С. 40 – 46. Влияние газодинамических процессов на структуру и пороги СВЧ-разряда при инициации лазерной искрой.