

## ОПТИКО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСИРОВАННОГО РАЗРЯДА В СВЧ ПЛАЗМОТРОНЕ НА БАЗЕ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОГО АППЛИКАТОРА

С.В. БОРДУСОВ, М.С. ЛУШАКОВА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
bordusov@bsuir.by*

Представлены результаты экспериментов по исследованию оптических характеристик комплексированного разряда. Исследованы зависимости интенсивности свечения комплексированного разряда от давления плазмообразующих газов и коэффициента поглощения от подаваемого на электрод НЧ напряжения.

*Ключевые слова:* комплексированный разряд, плазма, оптико-спектроскопические характеристики, плазмотрон, СВЧ, НЧ.

Одной из разновидностей СВЧ разряда является комплексированный разряд, формируемый путем наложения на СВЧ разряд электромагнитного поля низкочастотного (НЧ) или высокочастотного (ВЧ) диапазона [1].

Одной из характеристик неравновесной плазмы газового разряда является ее оптическое излучение, определяемое режимами поддержания разряда [1]. Интенсивность оптического излучения зависит от мощности разряда, распределения электрических полей, наличия и величины магнитного поля давления газа, состава и расхода компонентов плазмообразующей смеси, энерговыклада и т. д. С целью выявления характерных эффектов взаимодействия СВЧ поля с комплексированным разрядом проводилось изучение интегральной оптической характеристики процесса формирования и поддержания такого разряда.

Эффективность поглощения СВЧ энергии плазмой комплексированного разряда определялась по величине коэффициента отражения СВЧ волны от плазменной нагрузки путем измерения мощности падающей и отраженной СВЧ волны.

В качестве СВЧ генератора использовался магнетрон с частотой генерации 2,45 ГГц, питаемый высоковольтным импульсным напряжением частотой 50 Гц.

Регистрация оптического эмиссионного спектра плазмы газового разряда осуществлялась с помощью спектрометра SL 40-2-2048 ISA, который имеет в своем составе два спектрографа. В спектрометре используется оригинальная вертикально-симметричная оптическая схема. Она имеет низкий уровень рассеянного света, обеспечивающий получение высокого качества изображения на плоском поле, позволяющий использовать фотоэлектрические линейки и матрицы для регистрации спектра.

Проведенные исследования показали, что характерной особенностью комплексированного разряда является более высокая стабильность повторения оптических сигналов в исследуемом диапазоне частот по сравнению с разрядом под действием СВЧ энергии. Характерные зависимости амплитуды оптического сигнала для диапазона давлений показаны на рис. 1.

При проведении исследований установлено, что в случае воздействия СВЧ и НЧ полей интенсивность оптического излучения плазменного образования возрастала (рис.1). Из зависимостей хорошо видно, что интенсивность свечения комплексированного разряда превышает аналогичные характеристики отдельно НЧ и СВЧ разрядов.

Исключение составляет свечение СВЧ разряда в узком диапазоне давлений  $\sim(10 - 15)$  Па, что обусловлено низким отражением СВЧ энергии от плазменной нагрузки.

Экспериментально установлено, что характер взаимодействия возбуждающего плазму СВЧ сигнала зависит не только от давления плазмообразующих газов, но и от величины подаваемого на потенциальный электрод напряжения. При этом коэффициент поглощения СВЧ сигнала в разряде имеет характерные минимальные значения в узких диапазонах величин возбуждающего разряд НЧ напряжения (рис. 2).

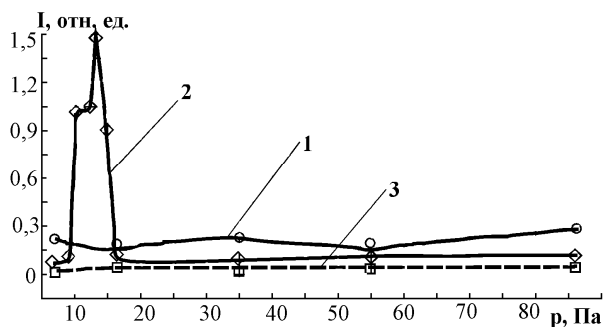


Рис. 1. Оптические сигналы разрядов в воздухе: 1 – СВЧ + НЧ; 2 – СВЧ; 3 – НЧ

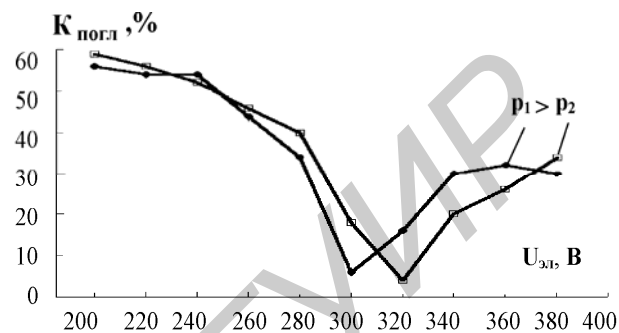


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения  $K_{погл}$  от НЧ напряжения на электроде при  $p_1 = 133$  и  $p_2 = 90$  Па воздуха

С повышением давления плазмообразующего газа наблюдается сдвиг этих значений в сторону более низких величин подводимого к потенциальному электроду НЧ напряжения. Характерные зависимости представлены на рис. 2. Этот эффект может быть объяснен тем, что при определенных разрядных условиях происходит существенное рассогласование эквивалентного волнового сопротивления разрядного устройства и характеристического сопротивления волноводного тракта.

Уменьшение величины  $K_{погл}$  с ростом подаваемого на электрод НЧ напряжения связано с повышением плотности плазмы (т. е. концентрации электронов в разряде), в результате чего происходит увеличение отраженной от плазмотрона СВЧ мощности.

Таким образом, представленные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о том, что в объеме плазмы комплексированного разряда протекают сложные явления, связанные с формированием и поддержанием разряда. Установлено также, что на условия поглощения СВЧ энергии в случае комплексированного разряда существенное влияние оказывают характеристики плазменной нагрузки.

#### Список литературы

1. Бордусов С.В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники. Минск, 2002.