

КОМБИНИРОВАННЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. О. Поживилко

Белорусский государственный университет, г. Минск

pozhivilkoo@mail.ru;

науч. рук. – В. А. Зайков, ст. преп.

В настоящей работе исследованы вольтамперные и спектральные характеристики разряда в парах ртути, основанного на комбинации индуктивного высокочастотного (ВЧ) разряда и разряда постоянного тока. Для зажигания индуктивного ВЧ разряда низкого давления разработан ВЧ генератор, мощностью до 300 Вт, работающий на частотах от 10 до 30 МГц. Показано, что в комбинированном разряде интенсивность излучения спектральных линий ртути зависит от величины постоянной составляющей тока разряда и может как понижаться, так и повышаться по сравнению с интенсивностью в чисто индуктивном разряде. Источники излучения с комбинированным типом разряда могут повысить эффективность преобразования электрической энергии в излучение резонансных линий атомов ртути.

Ключевые слова: индуктивный высокочастотный разряд; разряд постоянного тока; вольтамперные характеристики; оптические спектры.

Основным достоинством ВЧ индуктивного разряда является высокая концентрация электронов при относительно невысоком уровне ВЧ-мощности [1], что позволяет эффективно преобразовывать электрическую энергию в излучение резонансных линий ртути и может применяться для уничтожения микроорганизмов [2]. Увеличение мощности ламп с ртутным разрядом низкого давления позволит применять их там, где необходима высокая плотность излучения при сохранении высокого КПД и длительного срока службы этих ламп [1, 2].

Известно, что разряд низкого давления зажигается с помощью антенны, подключенной к ВЧ-генератору. Токи, текущие по антенне, индуцируют в плазме вихревое электрическое поле, которое нагревает электроны до энергий, превышающих порог ионизации рабочего газа.

Применение дополнительного разряда постоянного тока позволяет увеличить однородность плазменного столба, стабилизировать разряд и повысить плотность плазмы [3].

В настоящей работе изучался комбинированный разряд ВЧ индуктивного типа и постоянного тока в газоразрядных трубках, заполненных парами ртути. Исследования проводили с целью увеличения плотности излучения и повышения КПД преобразования электрической энергии в ультрафиолетовое излучение.

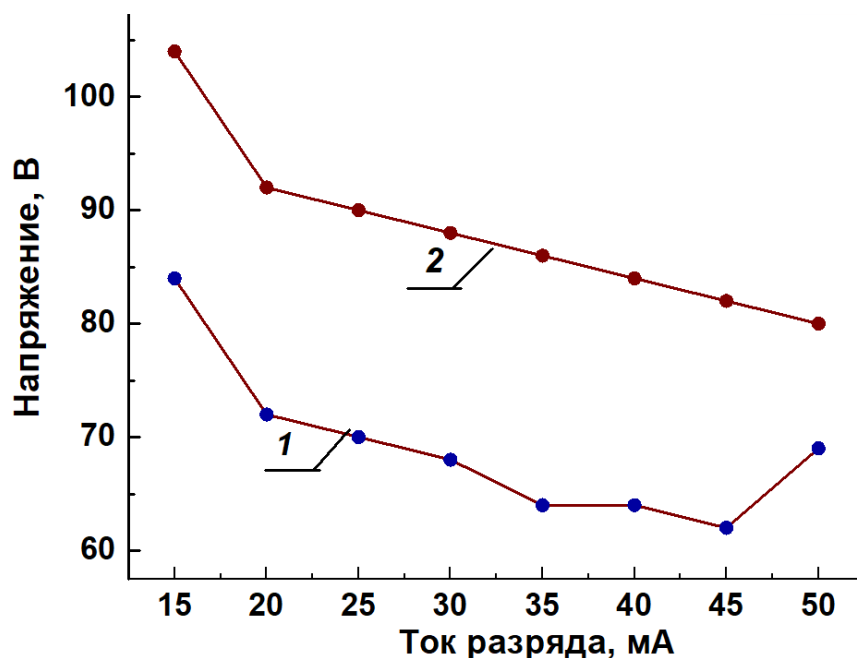
Схемы и работа генераторов ВЧ ранее рассматривались в работе [4]. Разработан ламповый генератор для зажигания индуктивного ВЧ разря-

да низкого давления, который состоит из задающего генератора на пентоде 6Ж38П и усилителя мощности на двух лучевых тетрадах ГС36Б. В ходе испытаний генератора установлено, что амплитудно-частотная характеристика задающего генератора равномерна в полосе от 10 до 30 МГц. Амплитуда и частота сигнала задающего генератора слабо зависят от входной ёмкости ламп усилителя мощности. Аноды ламп усилителя мощности соединены. в цепь анодов включается колебательный контур, состоящий из индуктора и подстроечного конденсатора.

Для измерений использовалась бактерицидная ртутная лампа ДРБ-8. Увioletовое стекло лампы пропускает излучение с длиной волны $\lambda = 253,7$ нм, и задерживает озонирующее излучение с $\lambda = 185,6$ нм. Спектральные измерения проводили с помощью компактного спектрометра S-100 обзорного типа.

При внесении ртутной лампы в индуктор наблюдается свечение плазмы газового разряда в парах ртути, при этом темное катодное пространства вблизи электродов отсутствует, что характерно для ВЧ-разряда. При подключении источника питания постоянного тока ТВ-1 к торцевым электродам лампы ДРБ-8 возникает комбинированный разряд и появляется темное катодное пространство, свечение плазмы становится равномерным.

На рис. 1 представлены вольтамперные характеристики разряда постоянного тока и комбинированного разряда.

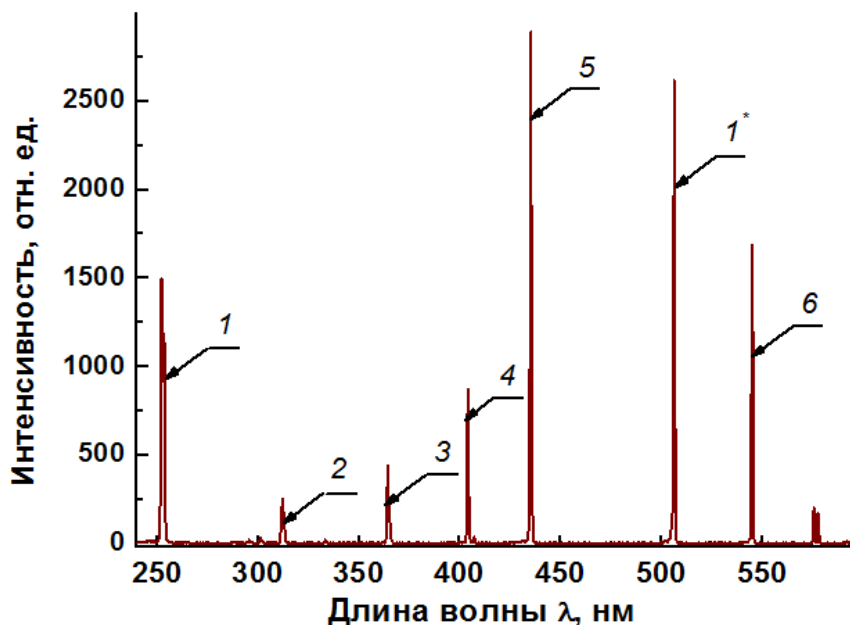


Кривая 1 – комбинированного разряда при частоте ВЧ-генератора 12 МГц; кривая 2 – разряда постоянного тока.

Рис. 1. Вольтамперные характеристики разряда

Уменьшение напряжения с увеличением тока разряда объясняется ростом давления паров ртути, испаряющихся со стенок лампы, при увеличении мощности разряда. В комбинированном разряде при одинаковых значениях тока напряжение ниже на 18-20 В (кривые 1 и 2).

На рис. 2 представлен спектр плазмы комбинированного разряда.



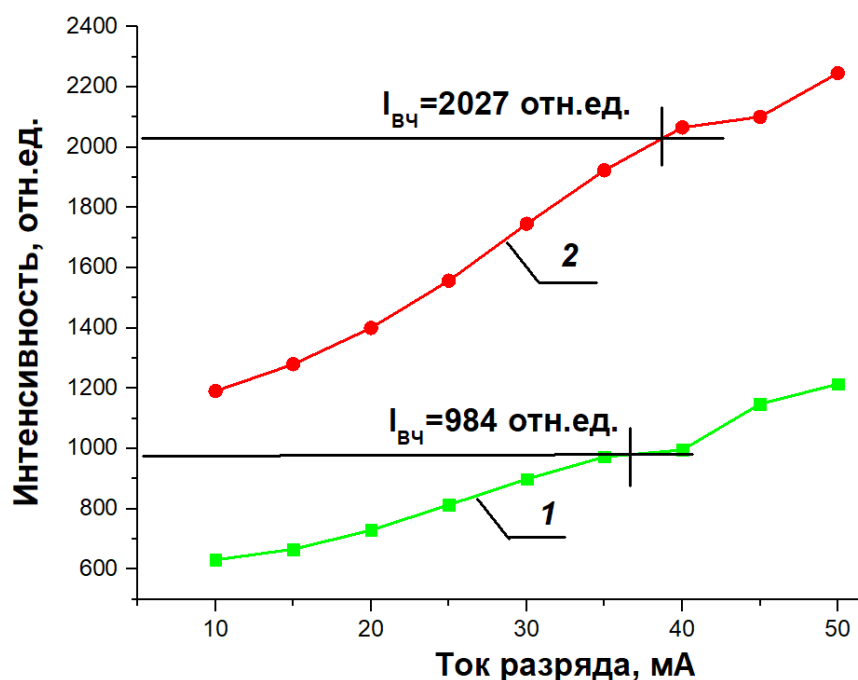
1 и 1* - 253,6 нм, *) - 2-й порядок дифракции, $E=4,88$ эВ; 2 - 313,2 нм, $E=8,82$ эВ; 3 - 366,3 нм, $E=8,85$ эВ; 4 - 404,7 нм $E=7,73$ эВ; 5- 435,8 нм, $E=7,73$ эВ; 6- 546,1 нм, $E=7,73$ эВ

Рис. 2. Спектр плазмы комбинированного разряда

В спектре плазмы разряда присутствуют резонансная линия ртути $\lambda = 253,7$ нм (энергия возбуждения 4,88 эВ) и ряд линий ртути с большим значением энергии возбуждения до 8,82 эВ.

На рис. 3 представлены зависимости интенсивностей спектральных линий комбинированного разряда от постоянной составляющей тока разряда. Горизонтальной чертой представлены интенсивности $I_{ВЧ}$ спектральных линий для ВЧ индуктивного разряда, без постоянного тока. Следует отметить, что интенсивности излучения плазмы в комбинированном разряде могут быть как ниже, так и выше по сравнению с интенсивностью в чисто индуктивном разряде. Действительно, в случае комбинированного разряда изменение постоянной токовой составляющей приводит к самосогласованному изменению как параметров плазмы, так и долей мощности, вкладываемой в плазму через постоянный и индуктивный каналы возбуждения разряда.

В дальнейших исследованиях необходимо изучить взаимное влияние различных механизмов ввода энергии и механизмов ионизации в плазме комбинированного разряда.



1 - 253,6 нм, $E=4,88$ эВ; 2 - 435,8 нм, $E=7,73$ эВ. Частота ВЧ - 20 МГц.

Рис. 3. Зависимость интенсивностей спектральных линий комбинированного разряда от постоянной составляющей тока разряда

1. Разработан ВЧ генератор мощностью до 300 Вт, работающий на частотах от 10 до 30 МГц.
2. Показано, что в комбинированном разряде интенсивность излучения спектральных линий ртути зависит от величины постоянной составляющей тока разряда и может как понижаться, так и повышаться по сравнению с интенсивностью в индуктивном разряде.
3. Комбинированный разряд может использоваться для эффективного преобразования энергии разряда в излучение.

Библиографические ссылки

1. Кралькина Е. А. Индуктивный разряд низкого давления и возможности оптимизации источников плазмы на его основе // Успехи физических наук. 2008. Т. 178, № 5. С. 19-40. DOI: 10.3367/UFNr.0178.200805f.0519.
2. Кузьменко М. Е., Митичкин О. В., Безлепкин А. И., Костюченко С. В., Кудрявцев Н. Н., Печеркин В. Я. Экспериментальное исследование амальгамной лампы низкого давления при повышенной мощности разряда // Теплофизика высоких температур. 2000. Т. 38, № 3. С. 510–512. DOI:10.1007/BF02756012.
3. Неклюдова П. А., Никонов А. М., Кралькина Е. А., Вавилин К. В., Задириев И. И. Исследования комбинации индуктивного высокочастотного разряда и разряда постоянного тока // Прикладная физика. 2018. № 4. С. 18-23.
4. Поживилко А. О. Разработка источника питания высокочастотного магнетронного распылителя // Науч. конф. студентов и аспирантов БГУ: сборник работ 76-й науч. конф., Минск, 13-24 мая 2019 г.: в 3 ч. / БГУ; в авторской ред. – Минск, 2014. Ч.1. С. 209-212.