

# Физика плазмы и плазменные технологии

УДК 537(075.8)

## Получение однородной слабоионизованной плазмы повышенного объема в высокочастотном гриле

*И. Д. Дубинова, С. С. Журавлев*

Саровский физико-технический институт, г. Саров Нижегородской обл., Россия

*Разработано, создано и исследовано устройство для получения ВЧЕ-разряда (ВЧ-гриль), представляющее собой диэлектрическую газонаполненную камеру, внутри которой размещены, по меньшей мере, две пары параллельных проволочных электродов, некоторые из которых подключены к ВЧ-генератору, а оставшиеся заземлены, причем все электроды находятся в одной плоскости в ряд, и подключенные к ВЧ-генератору электроды чередуются через один с заземленными электродами; подключение электродов к ВЧ-генератору осуществлено параллельным способом, а оставшихся электродов к заземлению — также параллельным способом. Измерения показали, что в нем формируется слабоионизованная плазма большого объема и высокой степени однородности.*

Для получения однородной слабоионизованной неравновесной плазмы большого объема, например для спектроскопии газов, их смесей и др., получили широкое применение газоразрядные устройства с высокочастотным емкостным разрядом (ВЧЕ-разрядом).

В течение многих десятилетий наиболее распространенными оказались газоразрядные устройства, представляющие собой диэлектрическую камеру, вблизи или внутри которой размещена пара металлических электродов, один из которых подключен к ВЧ-генератору, а другой заземлен [1]. Недостатком таких устройств является неоднородность горения разряда в объеме камеры, проявляющаяся в неоднородности распределения электронной концентрации и распределения интенсивности свечения, связанной с особыми формами ВЧЕ-разряда в таких условиях (так называемые  $\alpha$ - или  $\gamma$ -формы ВЧЕ-разряда [1]).

Наиболее интересным для получения ВЧЕ-разряда является также устройство, представляющее собой диэлектрическую камеру, вблизи которой размещены две пары расположенных по окружности параллельных проволочных электродов, причем два из них (в любой последовательности) подключены к ВЧ-генератору, а два других заземлены [1]. Если к ВЧ-генератору подключить два смежных проволочных электрода такого устройства, то в камере установится  $\alpha$ - или  $\gamma$ -форма ВЧЕ-разряда, еще более неоднородная в поперечном сечении устройства, чем в двухэлектродных схемах аналогов. Если же к ВЧ-генератору подключить два диаметрально противоположных электрода, то в центре ок-

ружности образуется особая точка с нулевым значением электрического поля порядка  $-1$  по классификации, представленной в работе [2]. При зажигании ВЧЕ-разряда вблизи этой точки понижены концентрация электронов и интенсивность свечения в разряде, что также приводит к неоднородности горения разряда, а поперечная структура разряда имеет вид восьмерки типа той, которая показана в [3]. Устройства [1, 2] широко описаны в литературе и также были опробованы авторами для сравнения.

Описанные устройства не позволяют получать однородную плазму ВЧЕ-разряда: участки однородной концентрации в них имеют объем не более нескольких десятков кубических сантиметров, более ионизованные участки плазмы в устройствах [1, 2] легко различимы визуально, а перепад концентрации в разрядных промежутках может превосходить по величине порядок. Повидимому, это принципиальное свойство известных устройств для создания ВЧЕ-разрядов. Цель данной работы — разработка нового устройства для получения ВЧЕ-разряда, повышенного по сравнению с ВЧЕ-разрядами [1, 2] объема и с более высокой степенью однородности. Такое устройство предложено в работе [4] и названо авторами ВЧ-грилем.

Основу ВЧ-гриля составляет диэлектрическая газонаполненная камера, вблизи или внутри которой размещены, по меньшей мере, две пары параллельных проволочных электродов, некоторые из которых подключены к ВЧ-генератору, а оставшиеся заземлены, при этом все электроды находятся в одной плоскости в ряд, причем подключенные к ВЧ-генератору электроды череду-

ются через один с заземленными электродами, а подключение электродов к ВЧ-генератору осуществлено параллельным способом, и подключение оставшихся электродов к заземлению также осуществлено параллельным способом (рис. 1).

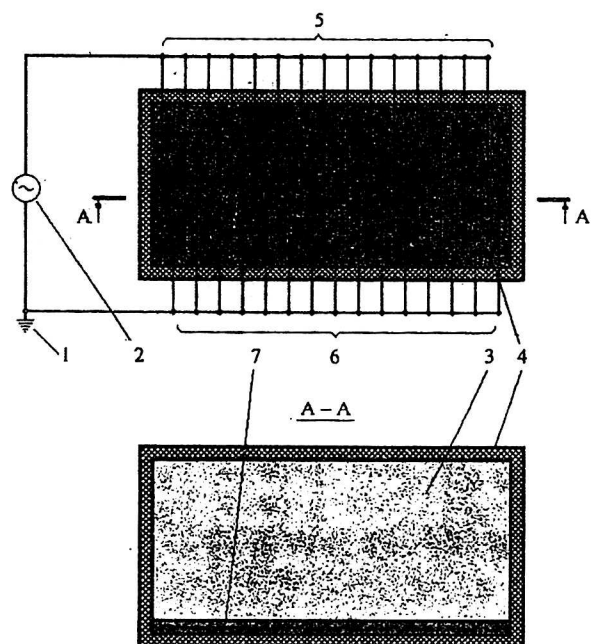


Рис. 1. Конструкция ВЧ-гриля:

1 — заземление; 2 — ВЧ-генератор; 3 — плазма; 4 — диэлектрическая газонаполненная камера; 5 — группа электродов, подключаемая к ВЧ-генератору; 6 — группа заземленных электродов; 7 — поролоновый изолятор

Достижение цели работы основано на том, что предлагаемая конфигурация электродов при синфазном подключении к ВЧ-генератору и к заземлению не создает в пространстве точек с нулевым значением поля, а синфазность электродов обеспечивается параллельным подключением. При этом плазма разряда представляет собой по форме толстый слой, однородный вдоль своей поверхности.

Такое устройство было изготовлено и опробовано. Диэлектрическая газонаполненная камера была выполнена из капрлона с толщиной стенок 10 мм и размерами внутренней полости  $100 \times 100 \times 400$  мм, имела средства герметизации и накачки газом или смесью газов необходимого давления. Одна из боковых стенок камеры имела окно визуального наблюдения за плазмой.

Проволочные электроды числом 10 пар были изготовлены из меди, имели диаметр 1 мм и длину 80 мм. Расстояние между соседними электродами 15 мм. Подключение электродов выполнялось в соответствии с рис. 1, а именно: подключенные к ВЧ-генератору электроды чередовались через один с заземленными электродами, подключение электродов к ВЧ-генератору было осуществлено параллельным способом, и подключение оставшихся электродов к заземлению также было осуществлено параллельным

способом. Для уменьшения взаимной связи подводящих шнуров от заземления и ВЧ-генератора нагруженные и заземленные электроды вводились в камеру с противоположных стенок.

Для исключения опасности сильноточного пробоя между соседними электродами было сделано следующее: проволочные электроды методом вкалывания внедрялись в поролоновую пластину толщиной 15 мм и площадью  $100 \times 400$  мм.

Заземление выполнялось стандартным способом. Для отработки устройства использовался ВЧ-генератор ИКВ-4 медицинского назначения, непрерывного действия, мощностью 200 Вт, работающий на частоте 13,56 МГц.

Исследования проводились в воздухе при давлении 0,01–0,07 Торр. Визуально было обнаружено, что свечение плазмы равномерно занимает весь объем камеры.

Для определения концентрации плазмы использовался двойной зонд. Было обнаружено, что концентрация плазмы во всех точках одинакова с точностью до погрешности измерений ( $\pm 10\%$ ), чем подтвердилась высокая однородность плазмы по сравнению с описанными в [1, 2]. На рис. 2 показана измеренная зависимость концентрации плазмы от давления воздуха в камере; она, как и ожидалось, имеет монотонно убывающий характер. Электронная температура плазмы оказалась близкой величине 3–5 эВ для всего диапазона давлений, что типично для ВЧЕ-разрядов [5].

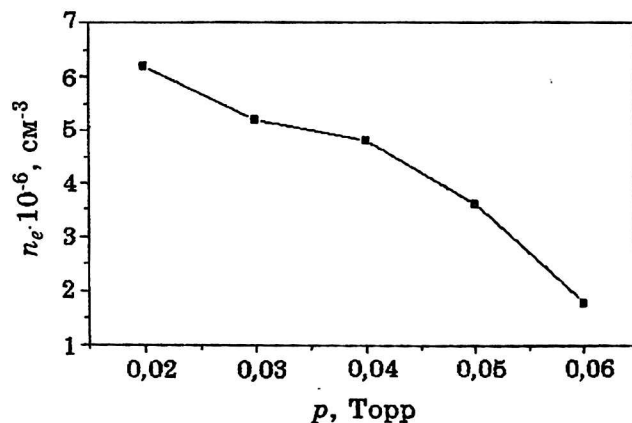


Рис. 2. Измеренная зависимость концентрации плазмы от давления воздуха

### Заключение

Разработано, создано и опробовано новое устройство для получения однородной плазмы ВЧЕ-разряда повышенного объема, что подтвердило идею, предложенную в работе [4]. Оно может быть использовано для указанных выше целей при соответствующем подборе объема камеры, давления газа мощности ВЧ-генератора.

### Литература

1. Райзер Ю. П., Шнейдер М. Н., Яценко Н. А. Высокочастотный емкостный разряд: физика, техника эксперимента, приложения. — М.: Изд-во МФТИ, 1995.

2. Сочнев А. Я. Расчет напряженности поля прямым методом. — Л.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Донко З., Рожжа К., Шапи Л. Высоковольтный разряд с полым катодом: применение в лазерной технике и моделирование движения электронов // Физика плазмы. 1998. Т. 24. № 7. С. 636—648.

4. Дубинова И. Д. Устройство для получения высокочастотного емкостного газового разряда: Пат. 2187217 РФ, Н 05 Н 1/30, приоритет от 27.06.2001, опубл. БИ, 2002. № 22.
5. Goedde C. G., Lichtenberg A. J., Lieberman M. A. Self-consistent stochastic electron heating in radio frequency discharges // J. Appl. Phys., 1988. V. 64. № 9. P. 4375—4383.

## **A creation of a homogeneous low-ionized plasma with a large volume in a high-frequency grill**

*I. D. Dubinova, S. S. Zhuravlyov*

Sarov Physical and Technical Institute, Sarov, Nizhny Novgorod region, Russia

*A device for a creation of a HF-discharge (a HF-grill) is developed, created and investigated. It represents itself a dielectric chamber, inside which two pairs parallel wire electrodes are placed and connected to a HF-generator. Measurements have shown, that formed plasma has a large volume and a high degree of uniformity in it.*