

- [1] *Abeles F.A., Catolan L.A., Lopez-Rios T., Lafait O.J.* // Thin Solid Films. 1972. Vol. 13. P. A35.
- [2] *Abeles F.A.* // Surf. Sci. 1976. Vol. 56. N 1. P. 237-250.
- [3] *Никитин А.К.* Автореф. канд. дис. 1986. 14 с.
- [4] *Святицкий К.К., Семеновко А.И., Семеновко А.В. и др.* // Опт. и спектр. 1977. Т. 42. Вып. 6. С. 1142-1147.
- [5] *Никитин А.К., Тищенко А.А.* // Зарубежная радиоэлектроника. 1983. № 3. С. 38-56.

04;09  
© 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 10, 1994

## ИСТОЧНИК СФЕРИЧЕСКОГО ВЧ РАЗРЯДА ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

*Е.Т.Протасевич*

Научно-исследовательский институт ядерной физики  
при Томском Политехническом институте им.С.М.Кирова,  
634061, Томск, Россия  
(Поступило в Редакцию 16 февраля 1994 г.)

В последние годы получили широкое развитие плазменные технологии, связанные с ВЧ разрядами. При этом наряду с традиционными схемами емкостного (ВЧЕ) и индукционного (ВЧИ) разрядов предлагается использовать и более экзотические типы разрядов. Так, в [1] приведено описание конструкции и приведены некоторые результаты исследований ВЧ разряда шаровой конфигурации, который создавался за счет определенной ориентации возбуждающих обмоток на поверхности стеклянного сферического объема с внутренним диаметром 13 см. В таком разряде на частоте  $f = 310$  кГц удалось сформировать шарообразный плазмоид, сжимающийся от периферии к центру. По мнению автора [1], это обстоятельство может быть использовано в дальнейшем для получения плотной плазмы. Однако известно, что ВЧ разряд наиболее эффективен, когда частота возбуждения составляет не кГц, а единицы-десятки МГц. По этой причине сказать что-либо об эффективности сферического ВЧ разряда без проведения дополнительных исследований не представляется возможным.

В данной статье кратко описана ВЧ установка для получения сферического разряда, когда в качестве источника ионизации служил перестраиваемый на частоте ВЧ генератор с независимым возбуждением и системой стабилизации частоты ( $f = 36-37$  МГц,  $\tau = 10-75$  мс,  $F = 1-5$  Гц) [2,3].

Упрощенная схема источника сферического ВЧ разряда приведена на рис. 1 [1]. Возбуждающая обмотка представляла собой индуктор, витки которого размещались на поверхности кварцевого баллона в виде октаэдра. Подвод ВЧ мощности от генератора к нагрузке осуществлялся через вершины октаэдра при помощи 6 кабелей. При этом

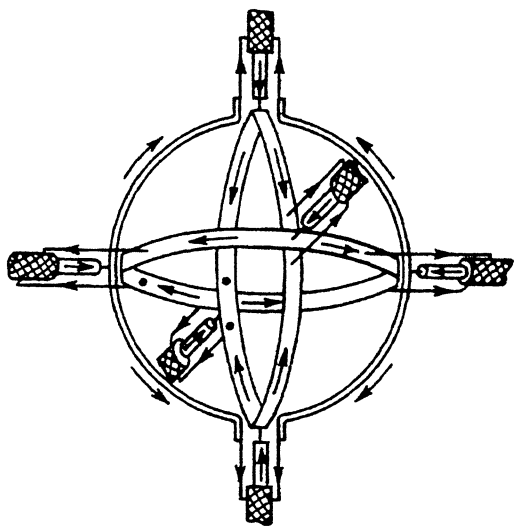


Рис. 1. Электрическая схема возбуждения сферического разряда. Стрелками отмечены направления протекания ВЧ токов.

каждая грань октаэдра образовывала магнитный диполь определенной ориентации [1], а смежные диполи включены навстречу друг другу. Для наглядности внешний вид разработанного источника представлен на рис. 2.

Кварцевые баллоны имели внутренние диаметры 11, 15 и 18 см. Последний показан на рис. 2. Откачка на вакуум производилась через штуцер, размещенный в горловине колбы. Предельное давление в системе составляло  $\sim 10^{-3}$  Тор. Для обеспечения резонансов токов в

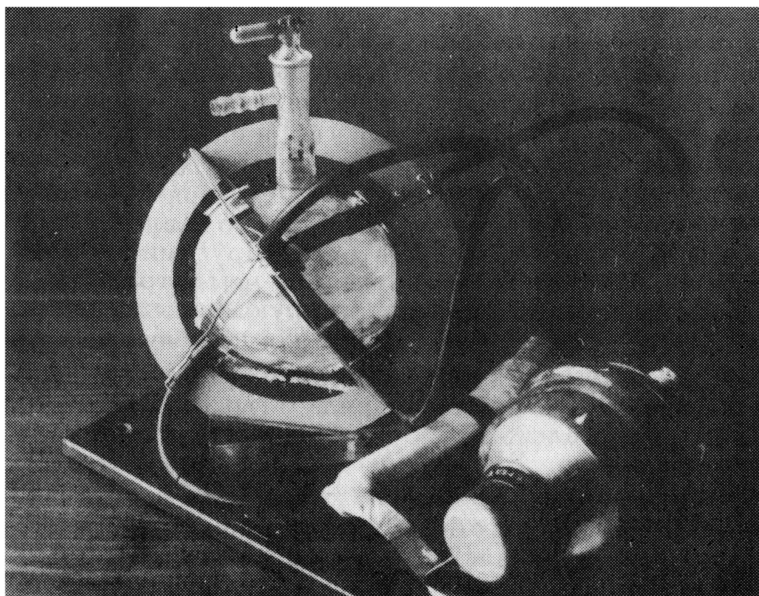


Рис. 2. Внешний вид установки для получения сферического ВЧ разряда.

Слева сверху штуцер для откачки разрядного объема на вакуум и регулирующий вентиль, выполненный из кварцевого стекла, справа вакуумный конденсатор переменной емкости типа КП1-4.

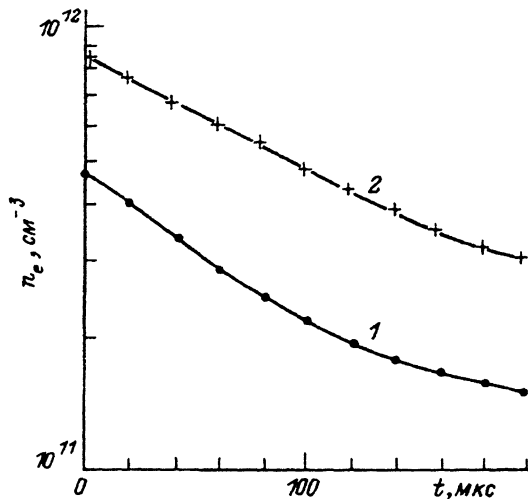


Рис. 3. Кривые распада воздушной плазмы для ВЧ разрядов. 1 — сферического, 2 — ВЧЕ разрядов.

обмотке возбуждения служил конденсатор переменной емкости типа КП-4.

Температура возбуждения воздушной плазмы рассчитывалась по эмиссионному спектру разряда, концентрация электронов в распадающейся плазме — методами активного СВЧ зондирования в трехсантиметровом диапазоне длин волн [4].

Слабый “резонанс” в системе удалось получить лишь при диаметре колбы, равной  $\sim 18$  см. Однако даже в этом случае обеспечить максимальное поступление мощности генератора в плазменную нагрузку не удалось. Эта величина оказалась  $\sim 5$  раз меньше, чем в случае ВЧЕ разряда при одинаковых давлениях в системах [2].

На рис. 3 представлены типичные кривые распада воздушной плазмы, полученные для емкостного ВЧ разряда при давлении  $3 \cdot 10^{-4}$  Тор на установке, описанной в [1], и для сферического ВЧ разряда при давлении в колбе, равном  $2-4 \cdot 10^{-3}$  Тор. Из сравнения этих зависимостей следует, что концентрация  $n_e$  в ВЧЕ разряде в  $\sim 1.5$  раз ниже, чем в сферическом разряде, несмотря на то, что давление в первом случае было на порядок ниже, чем во втором. Другими словами, степень ионизации в сферическом разряде меньше, чем в традиционном ВЧЕ разряде, и с повышением частоты ионизирующего излучения с 310 кГц [1] до 36–37 МГц все его преимущества для получения плотной плазмы исчезают (хотя в обоих случаях в разряды поступало  $\sim 100$  Дж в импульсе). Обнаружить сжатие разряда и его уплотнение на высоких частотах также не удалось.

В момент окончания ВЧ импульсов температура электронов для ВЧЕ и сферического разрядов составила соответственно 10.0 и 7.5 эВ.

Необходимо также отметить, что объем, занимаемый плазмой в сферическом разряде, составляет  $\sim 4 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>, а в емкостном ВЧ разряде —  $3 \cdot 10^4$  см<sup>3</sup>, т.е. приблизительно на порядок меньше. Это обстоятельство также не характеризует сферический разряд как более перспективный по сравнению с ВЧЕ разрядом на частотах, превышающих единицы-десятки МГц (при одной и той же величине мощности иони-

зирующего излучения). Однако на частотах 0.01–0.30 МГц этот тип разряда имеет определенные преимущества [1] перед ВЧЕ разрядом, поскольку возбуждение последнего на столь низких частотах является менее эффективным.

Таким образом, с увеличением частоты ионизирующего излучения эффективность передачи энергии в сферический ВЧ разряд уменьшается из-за трудностей согласования генератора с нагрузкой вследствие возрастающего влияния паразитных емкостей и индуктивностей в системе возбуждения разряда.

Реализация такого разряда на высоких частотах (как в настройке, так и в эксплуатации) оказывается весьма трудоемкой, что требует более высокой профессиональной подготовки обслуживающего персонала, чем для традиционных типов ВЧЕ и ВЧИ разрядов.

Автор выражает благодарность Н.А. Лашуку и В.И. Толмачеву за возможность использования ВЧ генератора для проверки работы источника сферического разряда и помощь в его эксплуатации.

#### Список литературы

- [1] Сеницын В.И. // ЖТФ. 1977. Т. 47. Вып. 5. С. 966–971.
- [2] Протасевич Е.Т. // ПТЭ. 1985. № 5. С. 152–153.
- [3] Диденко А.Н., Клименов В.А., Протасевич Е.Т. и др. // ЖТФ. 1976. Т. 46. Вып. 2. С. 411–413.
- [4] Копытин Ю.Д., Протасевич Е.Т., Чистякова Л.К. Воздействие лазерного и ВЧ излучений на воздушную среду. Новосибирск: Наука, 1972. 159 с.

01:03  
© 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 10, 1994

## К ТЕОРИИ ЭФФЕКТА ОБРАТНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ НАЛИЧИИ ИНТЕНСИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ, КОНДЕНСАЦИИ И ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

*Д.А. Шапиро, О.В. Бойко*

С.-Петербургский государственный технический университет  
Международный институт межфазных взаимодействий  
Поступило в Редакцию 29 июня 1993 г.

Эффект обратного градиента температуры заключается в том, что знак градиента температуры при наличии интенсивных гетерогенных процессов противоположен знаку градиента, который имел бы место, если бы температура газа на границе раздела фаз равнялась температуре поверхности негазовой фазы. В частности, температура газа не убывает от более горячей поверхности испарения к более холодной поверхности конденсации [1–5].

Экспериментально такой эффект при наличии интенсивных процессов испарения и конденсации был установлен в [3] и является следствием того, что при наличии интенсивных гетерогенных процессов гипотеза о термодинамическом равновесии между газом и поверхностью в