

04;09;11

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДА И ЕГО МАТЕРИАЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЧ РАЗРЯДА СРЕДНИХ ДАВЛЕНИЙ

© А.В.Бородин, В.Ф.Кравченко, Г.П.Строкань

Научно-исследовательский институт физики
при Ростовском государственном университете,
344104, Ростов-на-Дону, Россия
(Поступило в Редакцию 10 мая 1995 г.
В окончательной редакции 4 июля 1995 г.)

Исследованы вольт-амперные характеристики ВЧ разряда в гелии при средних давлениях (5–22 гПа) для различных электродов на частоте 10 МГц. Установлено, что катоды из сегнетокерамики BaTiO_3 обладают высокой эмиссионной способностью, сравнимой с эмиссионной способностью алюминиевого катода. Обнаружено, что основной причиной увеличения эмиссии электронов из диэлектрических катодов является автоэлектронная эмиссия. Делается вывод о возможности использования полученных результатов при изготовлении катодных узлов лазеров с ВЧ разрядом.

Введение

При разработке и оптимизации газоразрядных приборов электродам уделяется наибольшее внимание в силу того, что процессы как в приэлектродной области, так и на самой поверхности электродов определяют характеристики разряда в целом [1–4]. При этом наряду с металлическими электродами известны применения полупроводниковых и диэлектрических электродов в качестве катодов в ВЧ и *RC*-разрядах. Исследование керамических электродов из оксидных систем на основе редкоземельных элементов и *3d*-переходных металлов в работах [5–8] позволило сформировать ряд требований к таким электродам для их успешного использования в качестве катодов в лазерах. Лазеры с ВЧ разрядом выгодно отличаются от лазеров с разрядом постоянного тока отсутствием дугообразования и хорошей однородностью разряда. Однако ввод мощности в таких лазерах ограничен эмиссионной способностью диэлектрического электрода. В связи с этим представляет интерес расширение класса используемых керамических материалов, используемых в качестве электродов, а также расширение области применения этих электродов, такой как ВЧ разряд.

Целью данной работы явилось исследование керамических электродов в ВЧ разряде и сравнение характеристик с характеристиками используемых в настоящее время диэлектрических и металлических электродов.

Экспериментальная установка

Исследования проводились на установке, блок-схема которой показана на рис. 1, включающей в себя разрядную трубку с исследуемыми электродами, пиковый детектор, графопостроитель Н-306, ВЧ генератор. Сигнал с пикового детектора, пропорциональный току разряда, поступал на вход X графопостроителя, а сигнал, пропорциональный напряжению, — на вход Y . Таким образом можно было получить вольт-амперную характеристику (ВАХ) ВЧ разряда в реальном масштабе времени. Преимуществом такого метода получения ВАХ перед методом получения ВАХ по точкам является его быстрдействие, определяемое характеристиками графопостроителя. Постоянная времени регистрации Н-306 не более 0.05 с, а максимальная скорость регистрации 75 см/с. Рабочий диапазон давлений 5–50 гПа, максимально возможная мощность ВЧ генератора 1 кВт.

Перед измерениями рабочий объем вместе с электродами тщательно обезгаживался, затем после тренировки в разряде гелия проводились замеры. Критерием чистоты поверхности исследуемых электродов служило совпадение кривых при повторных измерениях.

Электроды представляли собой полые цилиндры длиной 25 мм, внешним диаметром 12 мм и толщиной стенки 1 мм для сегнетокерамики $BaTiO_3$ и алюминия. В случае электродов из кварца использовались стенки разрядной трубки внутренним диаметром 12 мм, для обеспечения одинаковой плотности тока длина кварцевых электродов уменьшалась до 20 мм. Внешняя поверхность электродов из керамики и кварца металлизировалась и соединялись с ВЧ генератором через молибденовый пруток диаметром 0.5 мм.

Методика измерений

При исследовании ВАХ разряда в гелии в данной работе принималось, что приложенное к электродам напряжение практически все падает в слое пространственного заряда (СПЗ). Это допущение основано на том, что гамма-разряд (тот тип ВЧ разряда, при котором про-

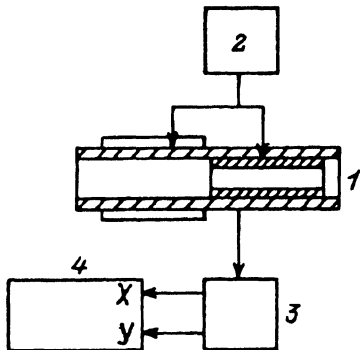


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

- 1 — трубка с исследуемыми электродами,
2 — ВЧ генератор, 3 — пиковый детектор,
4 — графопостроитель Н-306.

водились исследованием в данной работе) близок по своим свойствам к катодным частям тлеющего разряда [9,10].

Так как падение напряжения на отрицательном свечении пренебрежимо мало, то считается [1,11], что приложенное к электродам напряжение падает в прикатодной области или в СПЗ для нашего случая [9]. Следовательно, измеряемое на электродах напряжение соответствует потенциалу в СПЗ, а измеряемый ток разряда обусловлен эмиссией электронов из поверхности катода.

В рассмотрении принимались два фактора, вызывающие эмиссию электронов: бомбардировка нейтральными и ионизованными атомами газа поверхности катода (гамма-эмиссия) и автоэлектронная эмиссия.

Так как энергия бомбардирующих катод ионов зависит от величины ускоряющего потенциала СПЗ, то можно говорить, что случаи малых напряжений на электродах при одной и той же плотности тока соответствуют меньшей работе выхода электронов из поверхности катода.

С ростом давления уменьшается толщина СПЗ, что приводит к росту напряженности поля в нем. Так, при толщине СПЗ порядка 0.1 мм напряженность поля в нем составляет порядка $10^4 - 10^5$ В/см, что по данным работы [7] может приводить к возрастанию роли автоэмиссии. Как будет показано ниже, на вклад автоэмиссии влияет рельеф поверхности электрода.

Основные результаты и их обсуждение

В работе проведено сравнительное исследование электродов из алюминия, сегнетокерамики BaTiO_3 и кварца в разряде гелия. На рис. 2 приведены ВАХ ВЧ разряда в зависимости от материала катода при давлениях гелия 10 и 22 ГПа. ВАХ для катода из керамики имеет больший наклон по сравнению с характеристиками для алюминия и кварца. При этом несколько большее напряжение для кварцевого электрода обуславливается наличием балластной емкости стенок из-за низкого значения диэлектрической проницаемости кварца

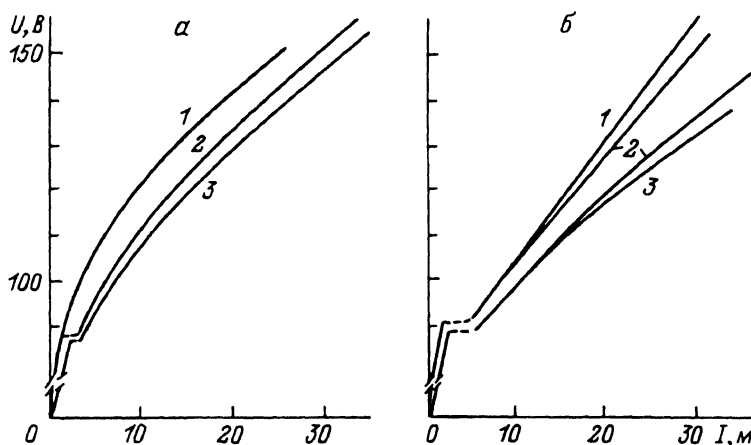


Рис. 2. Зависимость ВАХ в разряде гелия от материала электродов при давлении 22 (а) и 10 ГПа (б).

1 — катод из кварца, 2 — катод из алюминия, 3 — катод из керамики; частота 10 МГц.

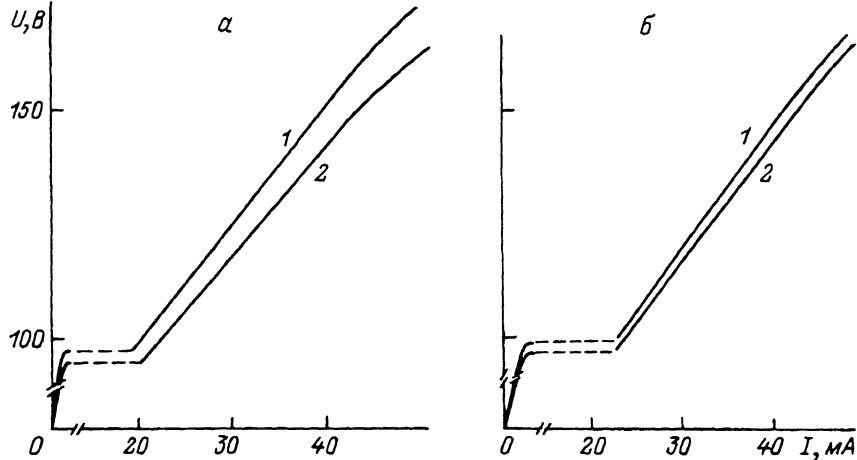


Рис. 3. Зависимость ВАХ в разряде гелия от материала электродов при глянцевой поверхности (а) матовой поверхности (б) из кварца (1) и алюминия, (2).

Давление гелия 5 ГПа, частота 10 МГц.

($\xi_{\text{SiO}_2} = 3.7$), что сказывается и на меньшем токе смещения (начальный участок ВАХ). Вариации давления гелия от 10 до 20 гПа приводят к изменению общей тенденции в эмиссионной характеристике катодов, а только сказывается на напряжении зажигания разряда (рис. 2, а и б) и общем наклоне ВАХ.

Если учесть, что в области низких энергий ионов, бомбардирующих катод, алюминий обладает наибольшим значением коэффициента ион-электронной эмиссии [12], то значительная эмиссия в керамическом катоде может обуславливаться за счет усиления других процессов. Одним из таких процессов, по-видимому, является автоэлектронная эмиссия, так как пористая структура керамики должна приводить к локальному увеличению напряженности поля на микровыступах.

Для проверки этого предположения были проведены исследования кварцевых электродов с глянцевой и матовой поверхностями. Результаты этих исследований приведены на рис. 3. В случае глянцевой поверхности эмиссионная способность кварца невысока по сравнению с алюминием (рис. 3, а).

Шлифовка поверхности приводит к образованию на ней микровыступов, что способствует увеличению напряженности поля на них и, как следствие, увеличению автоэмиссии электронов из такого катода (рис. 3, б). ВАХ алюминиевого и кварцевого электродов становятся практически одинаковыми, что позволяет судить о существенной роли автоэмиссии на матовой поверхности.

Другим фактором, подтверждающим важную роль автоэмиссии в генерации первичных электронов является уменьшение наклона ВАХ после длительной бомбардировки ионами гелия.

На рис. 4 приведены результаты для алюминиевого катода, кварцевого катода с глянцевой поверхностью и кварцевого катода с матовой поверхностью, причем последний подвергался ионной бомбардировке в течение 50 ч. Как видно, в этом случае эмиссионная способность кварцевой поверхности возрастала. Объяснением такой зависимости

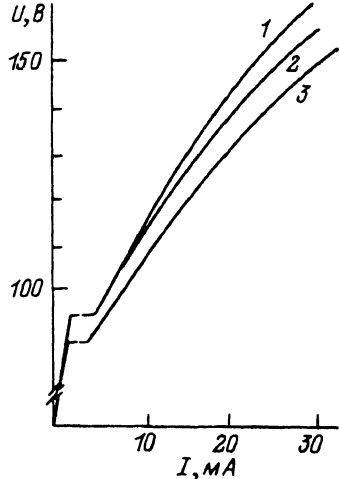


Рис. 4. Зависимость ВАХ от материала катода.

1 — глянцевая кварцевая поверхность, 2 — алюминиевая поверхность, 3 — матовая кварцевая поверхность. Давление гелия 12 ГПа, частота 10 МГц.

может служить то, что в результате катодного распыления поверхность электрода подвергается эрозии, следовательно, образуются дополнительные микровыступы, на которых происходит локальное усиление напряженности поля. Другой причиной, влияющей на эмиссионную способность катода, является изменение химического состава приповерхностного слоя материала электрода в результате катодного распыления. Одним из таких изменений может быть удаление атомов кислорода из приповерхностного слоя в процессе катодного распыления, что при электроотрицательной валентности кислорода облегчает выход электронов. Кислородные вакансии создают в приповерхностном слое электронные уровни вблизи зоны проводимости с энергией 0.04–4 эВ [13], что приводит к уменьшению работы выхода электронов из сегнетокерамики.

Заключение

В результате исследований вольт-амперных характеристик ВЧ разряда (10 МГц) в гелии при средних давлениях и различных электродах в диапазоне плотностей тока до 60 мА/см^2 было установлено, что керамические (BaTiO_3) катоды обладают высокой эмиссионной способностью, превышающей эмиссионную способность алюминия в таких же условиях. Причиной, приводящей к столь высокой эмиссионной способности керамики, является реализация условий для автоэлектронной эмиссии, чему способствует наличие у последней микровыступов (в силу пористой структуры), которые должны приводить к локальному усилению напряженности поля на поверхности катода.

Исследования, проведенные с глянцевой и матовой поверхностями, показали, что образование на поверхности кварца шероховатостей и микровыступов приводят к усилению эмиссионных свойств за счет автоэлектронных процессов. К такому же результату приводит длительная ионная бомбардировка кварцевой поверхности, в результате такой обработки эмиссионная способность кварцевого катода превышает эмиссионную способность алюминиевого катода. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и изготовлении катодных узлов газоразрядных лазеров и аналогичных им приборам.

- [1] Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Т. 1. М.; Л.: Гостехиздат, 1952. 432 с.
 - [2] Френсис Г. Ионизационные явления в газах и вакууме. М.: Атомиздат, 1964. 302 с.
 - [3] Бродский А.М., Гуревич Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. М.: Наука, 1973. 256 с.
 - [4] Райзер Ю.П. // ТВТ. 1986. Т. 21. № 5. С. 984-994.
 - [5] Karube N., Yahisa N., Fuaya K. // Appl. Phys. Lett. 1987. Vol. 43. N 12. P. 1086-1088.
 - [6] Зыбина Н., Липатов Н.И., Пашинин П.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. С. 622-627.
 - [7] Козырев А.Р., Королев Ю.Д., Месяц Г.А. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 1. С. 58-64.
 - [8] Галай Н.Я., Дашук П.Н., Ротенберг Б.А. и др. // ЖТФ. 1984. Т. 54. Вып. 4. С. 783-789.
 - [9] Левицкий С.М. // ЖТФ. 1957. Т. 27. Вып. 5. С. 970-975.
 - [10] Кузовников А.А., Савинов В.П. // ЖПС. 1980. Т. 32. С. 591-593.
 - [11] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
 - [12] Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.
 - [13] Прокопало О.И., Раевский И.П. Электрофизические свойства оксидов семейства перовскита. Ростов-на-Дону, 1985. 110 с.
-