УДК 537.525

Ал. Ф. Гайсин, И. Ш. Абдуллин

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА (ВЧЕР) ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДОМ, ПОГРУЖЕННЫМ В ЭЛЕКТРОЛИТ

Ключевые слова: высокочастотный емкостной разряд, погруженный электрод, электролит, отрицательное тлеющее свечение, турбулентное перемешивание.

В работе исследуется высокочастотный емкостной разряд при пониженных давлениях с медным электродом, погруженным в насыщенный электролит из кипящего раствора NaCl в технической воде. Выявлены особенности горения ВЧЕР с медным электродом в кипящем электролите. При напряжении источника питания $U < 1600$ В происходит распространение отрицательного тлеющего свечения (ОТС) как на поверхности медной пластины, так и на поверхности электролита. При $U > 1600$ В наблюдается интенсивное турбулентное перемешивание плазмы и электролита с образованием капель и неоднородных струй.

Keywords: high-frequency capacitor the category, the shipped electrode, electrolyte, a negative smoldering luminescence, turbulent hashing.

The high frequency capacitance discharge with a copper plate electrode immersed in boiling electrolyte is investigated. The electrolyte is a solution of NaCl in technical water. As the applied discharge voltage U is less than 1600 V the negative glow discharge propagates both on the electrolyte surface and copper plate. At $U > 1600$ V there occurs an intensive turbulent mixing of the discharge plasma and electrolyte forming sputters and jets of electrolyte.

Физика электрических разрядов в газе между металлическими электродами развивается уже более 100 лет [1-8]. Наиболее интенсивные периоды развития физики и техники разрядов в газах связаны с актуальными научно-техническими проблемами. Так, 30-40 лет назад наиболее интенсивно развивалось направление, связанное с дуговыми разрядами и плазмотронами, а в последние годы внимание исследователей направлено к неравновесным средам и методам их создания. Интенсивное исследование низкотемпературной плазмы тлеющего разряда связано с его применением в электроразрядных лазерах [6-8], плазмохимии [9].

Наряду с изучением электрических разрядов в газе между металлическими электродами большой интерес представляют разряды с электролитическими электродами. В связи с этим большое внимание уделено исследованию и применению электрических разрядов между твердым и жидким электродами в работах [10-14].

Одним из способов получения неравновесной низкотемпературной плазмы является высокочастотный емкостной разряд при пониженных давлениях. Особенности физических процессов и их характеристик, протекающих в ВЧЕР с металлическим электродом, погруженным в электролит, практически не изучены. Все это задерживает разработку и создание плазменных устройств для практического применения в плазменной технике и технологии.

Целью данной работы является изучение формы и структуры ВЧЕР с медным электродом, погруженным в насыщенный раствор NaCl в технической воде при пониженном давлении ($P = 3 \cdot 10^3$ Па).

Экспериментальные исследования ВЧЕР с медным электродом, входящим в электролит проводились с использованием источника питания ВЧГ8-60/13 настроенного на частоту 13,58 МГц. Вакуумная система установки состоит из вакуумной камеры и вакуумного насоса типа 2НВР-5ДМ.

Разрядная камера состоит из основания и колпака. Основание и колпак разрядной камеры изготовлены из нержавеющей стали. В колпаке имеется стандартное окно с диаметром 100 мм, закрываемое оптическим стеклом, которое служит для наблюдения ВЧЕР с медным электродом марки М1, погруженным в электролит из насыщенного раствора NaCl в технической воде. Медная пластина имеет прямоугольную форму с толщиной 2 мм и погружена на глубину 15 мм. Медной пластине подводится потенциал. Внутри камеры находятся электролитическая ванна. Другая медная пластина, которая находится внизу электролитической ванны, заземлена.

Рабочее давление в камере регулируется изменением скорости откачки, а давление измеряется вакуумметром модель 1227 класса точности 0,25. Видеосъемка разряда осуществлялась на видеокамеру «Sony HDR – SR72E». Время экспозиции одного кадра 0,04с. Исследования особенности ВЧЕР с медным электродом, погруженным в электролит проводились при $P = 3 \cdot 10^3$ Па и в интервале напряжения источника питания $U = 1000 \div 2000$ В.

На фотографиях рис. 1-6 представлены ВЧЕР с медным электродом, погруженным в электролит. При $U = 1000$ В высокочастотный емкостной разряд с медной пластиной, погруженнjq в электролит не горит. С ростом напряжения источника питания от 1000 и 1150 В наблюдается ВЧЕР с тлеющим свечением вдоль электролита, где погружена медная пластинка (фотография рис.1). На поверхности медной пластины появляется неоднородное пятно с слабым свечением синего цвета (фотография рис. 1). С дальнейшим ростом напряжения источника питания от 1150 до 1340 В

характер ОТС меняется (фотография рис. 2). Здесь наблюдается интенсивное ОТС с двух сторон медной пластины. Свечение меняется от синего до фиолетового цвета на поверхности пластины. Испарение поверхности электролита происходит из-за кипения. Вокруг пластины появляются точечные пятна. Их можно заметить и на поверхности электролита. Как видно из рис. 3, при напряжении источника питания U = 1340 В отрицательное тлеющее свечение распространяется на поверхности электролита, а по краям медной пластины, где погружается в электролит, наблюдается интенсивная граница излучения белого цвета. Это белое пятно на поверхности электролита переходит в ОТС. С ростом напряжения источника питания от 1340 до 1500 В интенсивность излучения пятна меняется как на поверхности медной пластины, так и электролита (фотография рис. 3).

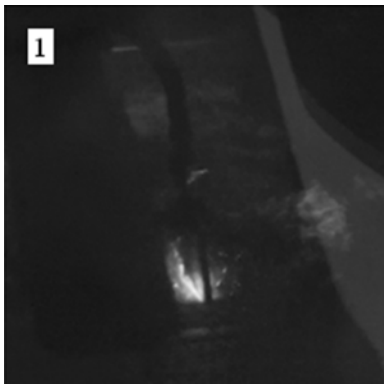

Рис. 1

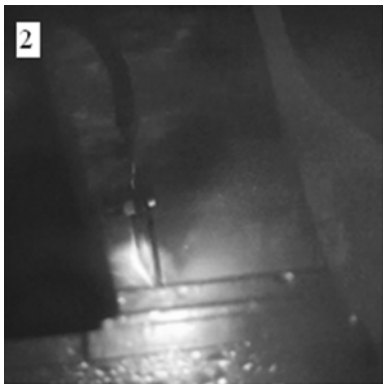

Рис. 2

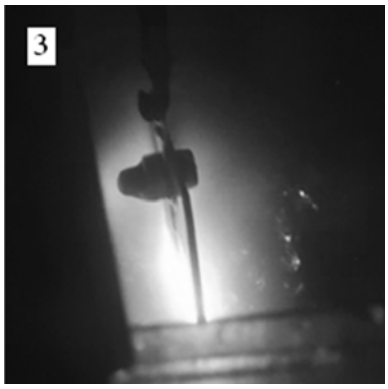

Рис. 3

Интенсивное белое пятно охватывает половину медной пластины. Пластина охвачена также диффузным разрядом коричневого цвета. Вверх вдоль медной пластины белое пятно переходит интенсивное свечение фиолетового цвета, а на поверхности электролита наблюдается также фиолетовый цвет.

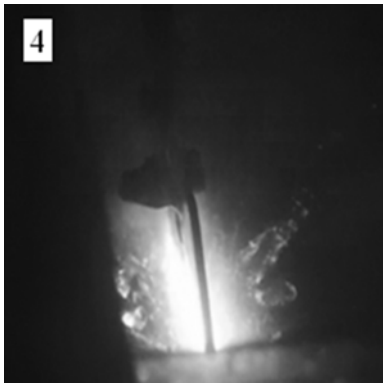

Рис. 4

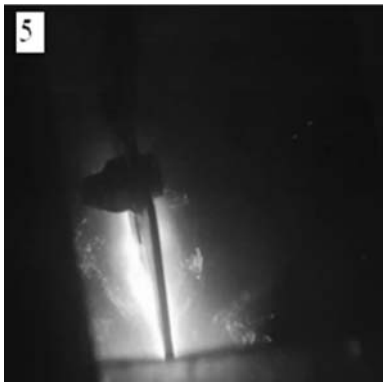

Рис. 5

Рис. 6

При напряжении источника питания ~1600В процесс горения ВЧЕР с медным электродом, погруженным в электролит меняется (фотография рис. 4). Это объясняется тем, что под действием ВЧЕР с увеличением напряжения источника питания происходит бурное перемешивание плазмы и электролита. Как видно из фотографии рис. 4, как с левой, так и с правой стороны образуются неоднородные струи электролита. Из фотографий рис. 5 и 6 также видно, что с ростом напряжения источника питания от 1600 до 1700В, вокруг медной пластинки образуются расщепленные струи

(фотография рис. 5) и капельные струи различных диаметров и длин (фотография рис. 6).

Таким образом, в результате экспериментальных исследований ВЧЕР медным электродом, погруженным в насыщенный электролит из кипящего раствора NaCl в технической воде, выявлены следующие особенности. Установлено, что при напряжении источника питания U < 1600В распространяется ОТС как на поверхности медной пластины, так и поверхности электролита, это объясняется тем, что в ВЧЕР происходит смена полярности электродов. На границе погружения медного электрода в электролит наблюдаются пятна синего, фиолетового и белого цвета. Обнаружено, что при U > 1600В происходит турбулентное перемешивание плазмы и электролита. В связи с этим вокруг медной пластины формируются неоднородные струи электролита капельного и расщепленного характера.

Литература

1. Капцов Н.А. *Электрические явления в газах и вакууме*. Изд. 2-е.-М.:-Л.: Гостехиздат, 1950. – 836 с.
2. Энгель А. *Ионизированные газы*. –М.:Физматгиз, 1959. -332с.
3. Грановский В.Л. *Электрический ток в газе /Установившийся ток*/. –М.: Наука, 1971. -544с.
4. Смирнов Б.М. *Физика слабоинонизированного газа*. – М.: Наука,1972.
5. Райзер Ю.П. *Основы современной физики газоразрядных процессов.* -М.: Наука, 1980. -416с.
6. Велихов Е.П. *Импульсные CO_2 – лазеры и их применение для разделения изотопов* / Е.П. Велихов, В.Ю. Баранов, Е.А. Рябов, В.С. Летохов, А.Н Старостин // М.: Наука, 1983. -304с.
7. Баранов В.Ю. *Тлеющий разряд в газах повышенного давления*. *–В кн.: Итоги науки и техники* / В.Ю. Баранов, А.П. Напартович, А.И. Старостин // Физика плазмы. -М.: ВИНИТИ. Т.5. 1984. -с. 90-171.
8. Велихов Е.П. *Физические явления в газоразрядной плазме* / Е.П. Велихов, А.С. Ковалев, А.Т. Рахимов –М.: Наука, 1987. -с.160.
9. Словецкий Д.И. *Механизмы химических реакций в неравновесной плазме*. –М.: Наука, 1980. –с. 310.
10. Фортов В.Е. *Плазменные технологии* / В.Е. Фортов, Э.Е. Сон, Ф.М. Гайсин, К.Э. Сон, Б. Лесли, О.Дж. Хи, Их И Енг. Янг.изд-во МФТИ г. Долгопрудный.2006. 134с.
11. Гайсин Ф.М. *Возникновение и развитие объемного разряда между твердыми и жидкими электродами* / Ф.М. Гайсин, Э.Е. Сон // Химия плазмы. Под ред. Смирнова Б.М.-М.: 1990. Т.16. с.120-156.
12. Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. *Электрофизические процессы в разрядах с твердыми и жидкими электродами /* Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. // Свердловск. Изд-во Уральского университета. 1989. –с. 432.
13. Гайсин Ф.М. *Объемный разряд в парогазовой среде между твердыми и жидкими электродами* / Ф.М. Гайсин, Э.Е.Сон, Ю.И. Шакиров // М.:Изд-во ВЗПИ, 1990. –с.90.
14. Жуков М.Ф. *Исследование поверхностных разрядов в электролите* / М.Ф. Жуков, Ж.Ж. Замбалеев, Г.Н. Дандарон //Изв. СО АН СССР. Сер.техн.наук. 1984. №1. с.100-104.

© Ал. Ф. Гайсин - к.т.н., доц. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ; **И. Ш. Абдуллин -** д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, abdullin_i@kstu.ru;