

Р. Ш. Садриев, Ал. Ф. Гайсин, Аз. Ф. Гайсин,
Р. Ш. Басыров, Ф. М. Гайсин

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА МЕЖДУ ТВЕРДЫМ И ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОДАМИ

Ключевые слова: плазма, разряд, электролит, импульс, частота.

Представлены результаты экспериментального исследования высокочастотного разряда (ВЧ) между твердым и электролитическим электродами в диапазоне импульса с частотой $f_u = 13,8-100$ МГц при межэлектродном расстоянии $2 \leq l \leq 20$ мм и атмосферном давлении в воздухе.

Keywords: plasma, discharge, electrolyte, impulse, frequency.

Presented are the results of experimental investigation of HF discharge between solid and electrolyte electrodes in the range of frequencies 13,8-100 MHz, inter-electrode distances 2-20 mm at atmospheric pressure.

Большое количество статей и трудов конференций, опубликованных в течение последних двух десятилетий о неравновесной низкотемпературной плазме электрических разрядов с жидкими электродами, подчеркивает растущий интерес к этому особому разделу физики и химии плазмы [1]. Электрические разряды в жидкостях между металлическими электродами, а также между металлическим и жидким электродами проводят к новым научным проблемам для исследователей плазмы и дают новые технологические возможности. Несколько применений уже разработано, которые близки к широкому практическому распространению, включая плазменный скальпель для хирургии [2], литотрансию (разрушение камней с помощью специальных волн, которые приводят к раздроблению имеющих в мочевом пузыре камней) [3] и миниатюризованный химический анализатор жидкости [4, 5]. Разряды в жидкостях и вне жидкости создают мощное УФ излучение, ударные волны и интенсивные радикалы (ОН, атомарный кислород, пероксид водорода и т.д.). Это основная причина того, что указанные плазмы широко изучались в последние десятилетия. Однако существенная сложность плазмы электрических разрядов с жидкими электродами означает, что полное понимание их фундаментальной физики и химии остается пока не достигнутым. В настоящее время в основном проведены экспериментальные исследования зажигания разряда, а также характеристики разряда постоянного тока между твердым и жидким электродами [5-7].

Высокочастотные разряды с жидкими электродами используются для дезинфекции воздуха и обеззараживания воды, а также могут быть использованы в других областях промышленности. Несмотря на это исследование ВЧ разрядов с жидкими электродами только начинается. ВЧ (13,56 МГц) и СВЧ в жидкости [1] и высокочастотный емкостной разряд между твердым и жидким электродами [8-11].

Экспериментальные исследования проводились на установке, предназначенной для изучения электрического разряда рис. 1. В качестве электролита использовали очищенную воду. Установка для исследования высокочастотного разряда между твердым и электролитическим электродами состоит из электролитической ванны 1, электролитического

электрода 2, твердого электрода 3, металлической пластины 4 для подвода потенциала в электролит, генератора высокой частоты 5 ($f_u = 13,8-100$ МГц). Между твердым электродом и технической водой горит электрический разряд 6. Для измерения напряжения применяли киловольтметр КВЦ-120, предназначенный для измерения напряжений постоянного и переменного тока до 120 кВ. На дисплее киловольтметра одновременно отображаются уровни действующего, амплитудного и среднего напряжений, что позволяет оценить форму и искажения измеряемого напряжения. Измерение тока проводили с помощью универсального цифрового мультиметра АВМ-4307.

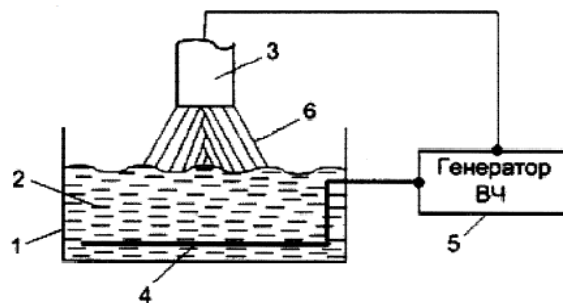


Рис. 1 - Экспериментальная установка для получения ВЧ электрического разряда между твердым и жидким электродами

На рис. 2 показано горение ВЧ разряда 6 между твердым электродом цилиндрической формы и технической водой 2. Как видно из рис. 2, между твердым электродом и технической водой горят искровые разряды с разветвленной корневой структурой на поверхности технической воды.

На рис. 3 приведена зависимость напряжения ВЧ разряда от межэлектродного расстояния при $f_u = 40$ МГц. Как видно из рис. 3, если в интервале межэлектродного расстояния $l \leq 2-14$ мм возрастает почти линейно, то в интервале от 14 до 20 мм характер зависимости $U = f(l)$ становится нелинейным. Это объясняется тем, что стримерный разряд переходит в искровую форму с корневой структурой.

На рис. 4 представлена зависимость напряжения ВЧ разряда от межэлектродного расстояния

при $f = 100$ МГц. Из сравнения кривых рис. 3 и рис. 4 следует, что с ростом частоты импульсов от 40 до 100 МГц линейный участок роста зависимости уменьшается еще больше и составляет от 2 до 4,5 мм. Сравнение кривых рис. 3 и 4 показывает, что величина U с ростом частоты импульсов от 40 до 100 МГц в исследованном диапазоне межэлектродного расстояния снижается. Установлено существенное влияние частоты импульсов и межэлектродного расстояния на развитие, формы и структуры ВЧ разряда между твердым и электролитическим электродами.

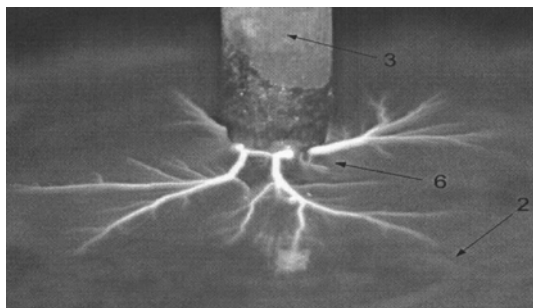


Рис. 2 - Искровой разряд между твердым и жидким электродами

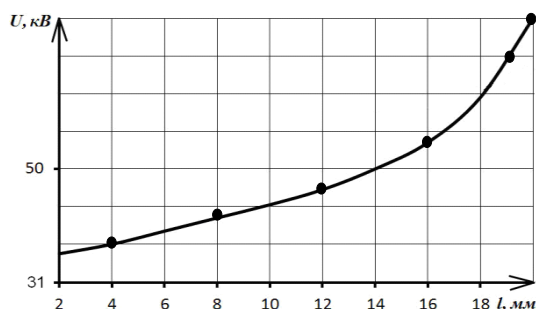


Рис. 3 - Зависимость величины напряжения разряда от межэлектродного расстояния при $f_u = 40$ МГц

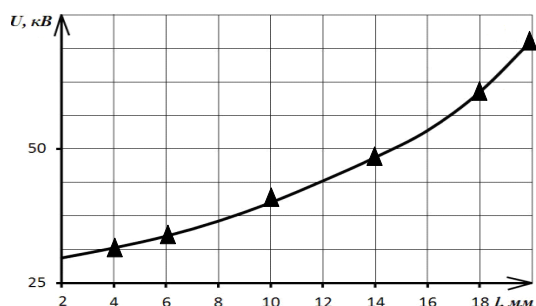


Рис. 4 - Зависимость от величины напряжения ВЧ разряда от межэлектродного расстояния при $f_u = 100$ МГц

Литература

1. Peter Bruggtman and Cristophe Leys. *Нетермические плазмы в жидкостях и контрагирующие с жидкостями* (тематический обзор) / P. Bruggtman, Cr. Leys // J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 053001 (28 pp).
2. Stalder K.R., Mcmillen D.F. and Woloszko J. *Electrosurgical plasmas* / K.R. Stalder, D.F. Mcmillen and J. Woloszko // J. Phys. D: Appl. Phys. 38 (2005) 1728 (38 pp).
3. Sunka P. *Pulse electrical discharges in water and their applications* / P. Sunka // Phys. Plasmas 8 (2001) 2587 (94 pp).
4. Jo K.W., Kim M.G., Shin S.M. and Lee J.H. *Microplasma generation in a sealed microfluidic glass chip using a water electrode* / K.W. Jo, M.G. Kim, S.M. Shin and J.H. Lee // Appl. Phys. Lett. 92 (2008) 011503.
5. Mitra B., Levey B. and Gianchandani Y.B. *Hybrid arc/glow microdischarges at atmospheric pressure and their use in portable systems for liquid and gas sensing* / B. Mitra, B. Levey and Y.B. Gianchandani // IEEE Trans. Plasma Sci. 36 (2008) 1913 (24 pp).
6. Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. *Паровоздушные разряды между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при пониженных давлениях* / Ал.Ф. Гайсин, Э.Е. Сон // Теплофизика высоких температур. – 2010. – Т. 48, № 3. – С. 1-4.
7. Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е. *Электрический пробой вдоль струйного электролитического катода при пониженных давлениях* / Ал.Ф. Гайсин, Э.Е. Сон // Теплофизика высоких температур. – 2010. – Т. 48, № 5. – С. 785-800.
8. Гайсин Ал.Ф., Абдуллин И.Ш. *Особенности высокочастотного емкостного разряда (ВЧЕР) при пониженных давлениях с металлическим электродом, погруженным в электролит* / Ал.Ф. Гайсин, И.Ш. Абдуллин // Вестник Каз. технологич. ун-та. – 2013. – № 19. – С. 301-304.
9. Гайсин Ал.Ф., Абдуллин И.Ш., Галлеев А.Х., Гришанова И.А., Мигачева О.С. *Высокочастотный емкостной разряд (ВЧЕР) с капельно-струйным электролитом и проточной электролитической ячейкой* / Ал.Ф. Гайсин, И.Ш. Абдуллин, А.Х. Галлеев, И.А. Гришанова, О.С. Мигачева // Вестник Каз. технологич. ун-та. – 2013. – № 19. – С. 304-307.
10. Гайсин Ал.Ф. *Некоторые особенности развития высокочастотного емкостного разряда (ВЧЕР) между капельно-струйным электролитическим электродом и проточной электролитической ячейкой* / Ал.Ф. Гайсин // Теплофизика высоких температур. – 2013. – Т. 51, № 6.
11. Хазиев Р.М. *Характеристики паровоздушного разряда переменного и постоянного тока с электролитическими электродами при пониженном и атмосферном давлениях*. дис. канд. техн. наук. Казан. гос. техн. ун-т, Казань, 2004. – 120 с.