

жутка жидкостью. Повышенный разброс уровня восстановления связан с большими флуктуациями формы и объема парогазовых образований, на которые распадается ПГП в этом временном интервале. На финишном участке зависимостей $U_2/U_1=f(t_2)$ скорость восстановления электрической прочности уменьшается и пробивное напряжение достигает первоначального уровня через несколько секунд. Разброс пробивного напряжения U_2 на этом участке не превышает разброса пробивного напряжения U_1 невозмущенной жидкости.

При повышенных значениях энергии W , выделяющейся в искровом канале при пробое на первом импульсе напряжения, характер зависимостей $U_2/U_1=f(t_2)$ имеет некоторые особенности, одной из которых является то, что начальный участок характеризуется более быстрым восстановлением электрической прочности, что, по-видимому, связано с повышением давления в парогазовой полости на всем протяжении стадии ее пульсации. Об этом, в частности, свидетельствует незначительное увеличение максимального размера ПГП при существенном (на порядок и более) повышении величины W , что объясняется наличием жестких стенок (исследования проводились в разрядной камере закрытого типа), препятствующих расширению ПГП. Другой особенностью восстановления электрической прочности при повышенных значениях W является то, что скорость восстановления на участке быстрого восстановления электрической прочности заметно уменьшается. Это обусловлено увеличением продолжительности стадии распада парогазовой полости. Кроме того, существенно не возрастает длительность финишного участка зависимости $U_2/U_1=f(t_2)$. Тем менее время восстановления электрической прочности до уровня $(0.7-0.8) U_1$ и в этих условиях не превышает нескольких десятков мс.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что динамика восстановления электрической прочности очищенной воды в основном определяется процессами на стадии пульсации и распада парогазовой полости, в которую преобразуется искровой канал после окончания энерговыделения в нем.

Список литературы

- [1] Капишников Н. К., Летахов В. И. // ПТЭ. 1985. № 5. С. 242.
- [2] Rohwein G. J. // Proc. of 5th IEEE Pulsed Power Conf. Arlington, 1985. P. 339—344.
- [3] Капишников Н. К. // ЭОМ. 1985. № 1. С. 78—80.
- [4] Бельков Е. П. // ЖТФ. 1974. Т. 44. Вып. 9. С. 1946—1951.
- [5] Капишников Н. К., Липов Г. В., Муратов В. М. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 11. С. 2126—2134.
- [6] Наугольный К. А., Рой Н. А. Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971. 155 с.

Научно-исследовательский институт
высоких напряжений при Томском
политехническом институте
им. С. М. Кирова

Поступило в Редакцию
26 июля 1989 г.

В окончательной редакции
28 апреля 1990 г.

09; 11

Журнал технической физики, т. 61, в. 9, 1991

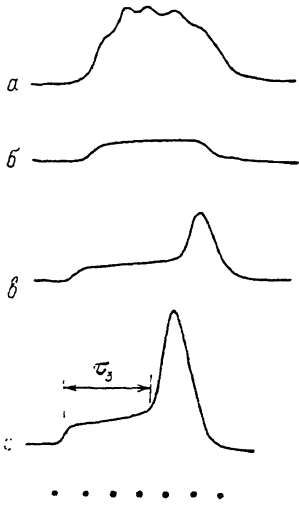
© 1991 г.

САМОПРОИЗВОЛЬНЫЙ РОСТ ТОКА АВТОЭМИССИИ В СВЧ ПОЛЕ

Ю. В. Андриянов, В. Н. Баздырев, Д. А. Борисов, В. М. Жуков

Пионерские эксперименты по исследованию автоэлектронной эмиссии в поле СВЧ выполнены группой Дайка [1, 2], использовавшей методику автоэлектронной микроскопии. При этом показано, что СВЧ автоэмиссионное изображение ($\lambda=3$ см) полностью идентично изображению, получаемому в условиях стационарных полей. Усредненные за импульс значения тока составили $2 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-4}$ А. Максимальная достигнутая плотность тока в пичке $\sim 10^7$ А/см² [2].

Имеются также сообщения о достижениях в СВЧ полях более высоких плотностей тока АЭЭ [3, 4]. Однако не указывается, о какой плотности тока идет речь — средней за импульс или пиковой. В частности, в работе [3] для достигнутой напряженности СВЧ поля 10^8 В/см приводятся значения плотности тока $j=10^8$ и 10^9 А/см² (длительность импульса $\tau_n=10$ мкс). В более поздней работе [4] этих же авторов указывается значение $j \sim 10^8$ А/см². При этом не сообщается об абсолютных значениях токов, достигаемых в эксперименте, методах вычисления эмиттирующей поверхности. В этой же работе [4] приводится осциллограмма, отображающая самопроизвольный рост (СП) тока АЭЭ при прямоугольной форме импульса СВЧ мощности. Однако данные о токе АЭЭ и его



плотности, при которых наблюдался этот эффект, а также сведения о его воспроизводимости отсутствуют. Характер роста [4] существенно иной по сравнению с видеоимпульсами в аналогичном диапазоне длительностей [3, 5] и данными, приведенными в работе [6], в которой также зарегистрирован СП рост в СВЧ полях ($\tau_n=2.5$ мкс). При этом средний за импульс ток АЭЭ составляет не менее 0.5 А, а максимальная плотность $\sim 1.5 \cdot 10^8$ А/см² [6]. Все вышесказанное свидетельствует о необходимости проведения дополнительных исследований с целью более детального изучения эффекта СП роста тока АЭЭ и максимально достижимых его плотностей в СВЧ диапазоне.

Эксперименты проводились с вольфрамовыми остриями на установке, описанной в работе [7]. Острия предварительно подвергались высокотемпературному нагреву в отдельном вакуумированном объеме, анализировались в теновом электронном микроскопе с целью определения радиуса r_k и затем помещались в резонатор. Для исследований отбирались эмиттеры с $r_k \approx 0.3$ мкм, что позволяло непосредственно сравнивать получаемые результаты

Осциллограммы среднего тока АЭЭ в СВЧ поле. Масштаб времени 0.5 мкс.

с данными работы [6]. Длительность импульсов составляла 2.5 мкс, длина волны $\lambda=10$ см, давление остаточных газов в резонаторе $\sim 10^{-7}$ мм рт. ст.

При вводимой СВЧ мощности $P \approx 12$ кВт регистрировался ток АЭЭ $I \approx 10$ мА. На рисунке, а приведена осциллограмма среднего тока АЭЭ амплитудой $I \approx 80$ мА. Отметим, что колебания на плато отображают осцилляции СВЧ мощности, возникающие из-за схемных особенностей формирования этого импульса.

При $P \approx 130$ кВт наблюдается отчетливый СП рост тока АЭЭ (см. рисунок, б), что согласуется с данными работы [6]. Если снижать вводимую мощность, то вид осциллограмм и значения тока воспроизводятся. Обращает на себя внимание, что характер замеченного СП роста тока в СВЧ режиме хорошо коррелирует с наблюдаемым ранее СП ростом в микросекундном диапазоне видеоимпульсов, который обусловлен в первую очередь нагревом вершины острия эмиссионным током [5]. Это дает основания связать подобный СП рост тока АЭЭ в СВЧ полях, как это и отмечено ранее в работе [6], также с началом нагрева эмиттера.

Самопроизвольное возрастание тока АЭЭ для видеоимпульсов может быть обусловлено и изменением состояния поверхности острия как для микросекундного [8], так и для наносекундного диапазонов [9]. По-видимому, в СВЧ полях при определенных условиях также происходит интенсификация процессов на поверхности эмиттера — самопроизвольная перестройка. Это приводит к изменению крутизны СП роста и более резкому увеличению тока в конце импульса (см. рисунок, в). При повышении уровня вводимой мощности время запаздывания τ , (см. рисунок, в) уменьшается, что находится в соответствии с данными для видеоимпульсов наносекундного диапазона [10].

Следует отметить, что осциллограмма рисунка, в по своему характеру хорошо коррелирует с осциллограммами СП роста тока, приведенными в работах [4] (СВЧ диапазон) и [10] (наносекундный диапазон). Таким образом, имеющиеся и

полученные данные о кинетике изменения тока АЭЭ в СВЧ полях и сравнение их с результатами, характерными для видеоимпульсов, дают основания утверждать, что в СВЧ режимах при определенных условиях поверхность автоэммитера самопроизвольно перестраивается. В пользу такого утверждения свидетельствует также эмиссионное изображение вольфрамового острия в СВЧ поле, приведенное в работе [3], на котором, по нашему мнению, заметна перестройка.

Максимальное значение среднего тока АЭЭ в СВЧ поле при СП росте составило в наших экспериментах 0.8 А (см. рисунок, з), пиковое значение ~ 8 А (если оценку производить аналогично тому, как это сделано в работе [6]), что превышает известные по литературным источникам данные. Расчет по формуле $j = I/4r_k^2$ дает для средней плотности тока $2.2 \cdot 10^8$ А/см², для пиковой плотности тока получается значение $\sim 2.2 \cdot 10^9$ А/см².

Отметим, что перед подачей каждого последующего импульса СВЧ мощности для очистки поверхности эмиттера осуществлялся его нагрев до высокой температуры. Это способствовало также хорошему воспроизведению осциллограмм.

Превышение определенного уровня вводимой в резонатор мощности приводило к возбуждению вторично-эмиссионного разряда, что находится в соответствии с результатами работы [6]. Автоэммитер при этом оставался неразрушенным.

Список литературы

- [1] *Duke W. P.* // IRE Trans. on Military Electronics. 1960. P. 38—45.
- [2] *Шарбонье, Барбур, Гаррет, Дайк.* // ТИИЭР. 1963. Т. 51. № 7. С. 989—1004.
- [3] *Ананьев Л. Л., Борисов Д. А., Кантонистов А. А., Фурсей Г. Н.* // Тез. докл. IV Всесоюзн. симп. по сильноточной электронике. Ч. I. Томск, 1982. С. 26—29.
- [4] *Ананьев Л. Л., Богатский М. М., Борисов Д. А. и др.* // ПТЭ. 1983. № 5. С. 165—168.
- [5] *Сокольская И. Л., Фурсей Г. Н.* // РиЭ. 1962. Т. 7. № 9. С. 1484—1494.
- [6] *Андрянов Ю. В., Баздырев В. Н., Борисов Д. А., Жуков В. М.* // РиЭ. 1986. Т. 31. № 6. С. 1193—1195.
- [7] *Андрянов Ю. В., Баздырев В. Н., Борисов Д. А., Жуков В. М.* // РиЭ. 1987. Т. 32. № 5. С. 1040—1047.
- [8] *Кротевич Д. Н., Птицын В. Э., Фурсей Г. Н.* // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 3. С. 625—627.
- [9] *Жуков В. М., Полежаев С. А.* // РиЭ. 1988. Т. 33. № 11. С. 2360—2365.
- [10] *Жуков В. М., Ахсенов М. С., Фурсей Г. Н.* // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 8. С. 1588—1593.

Поступило в Редакцию
28 мая 1990 г.

04

© 1991 г.

Журнал технической физики, т. 61, в. 9, 1991

ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЯД В СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ ВОЗДУХА

Л. П. Грачев, Н. Н. Грицов, Г. И. Мишин, А. А. Харламов, К. В. Ходатаев

Одним из способов получения колебательно-неравновесного газа для реализации, например, эндоэргических плазмохимических реакций является осуществление тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке [1]. С практической точки зрения важно вложить в разряд достаточно большую энергию, так как плазмохимические константы существенно зависят от колебательной температуры реагирующих молекул. Однако при повышенных энергозатратах разряд может переходить в контрагированное состояние. В целом процесс контрагирования недостаточно изучен, и, как указано в [1], для построения его полной количественной модели важно дальнейшее накопление экспериментальных данных. В на-