

## ДВА ТИПА ПРОБОВ В КАТОДНОЕ ПЯТНО, ИНИЦИИРУЕМЫХ ПЛАЗМОЙ

В.Б. Кап л а н, А.М. М а р ц и н о в с к и й,  
И.И. С т о л я р о в

Выяснение закономерностей инициирующего влияния плазмы на пробой в дуговой разряд с катодным пятном представляет принципиальный интерес и имеет важное практическое значение для повышения надежности плазменных устройств и приборов (электропрочность, униполярные дуги и т.д.). Однако экспериментальные работы в этом направлении немногочисленны [1-3]. Они указывают на большой разброс результатов, с чем и связана трудность получения количественных данных по такому пробую (хотя качественно уменьшение в той или иной степени пробойных напряжений при наличии плазмы отмечают практически все авторы).

Нами была предпринята попытка количественно исследовать данный пробой, используя в качестве отрицательного электрода молибденовый штырь, погруженный в жидкий цезий и выступавший над поверхностью на 5-8 мм. Интенсивный обмен атомами с газовой фазой (поток -  $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ) и смачивание молибдена цезием обеспечивало равномерное обновление поверхности и стабилизацию условий на ней. Кроме того, пленка цезия закрывала возможные диэлектрические вкрапления и препятствовала их зарядке [3]. Возле электрода создавалась плазма вспомогательного термоэмиссионного разряда в парах цезия, стабильность которого обеспечивала постоянство условий в пространстве над электродом [4].

Цепи питания термоэмиссионного разряда и разряда с пятном были изолированы друг от друга. Концентрация плазмы импульсного термоэмиссионного разряда измерялась цилиндрическим зондом диаметром 0.1 мм и длиной 3 мм по всей длительности разряда ( $\sim 350$  мкс) с временным разрешением 0.1 мкс [5].

Прямоугольный импульс высокого напряжения для пробоя в пятно, синхронизованный с термоэмиссионным разрядом, подавался после установления квазистационарного состояния по параметрам плазмы термоэмиссионного разряда. Схема измерений позволяла определять задержку каждого пробоя в разряд с пятном относительно начала импульса высокого напряжения (фронт импульса составлял  $\sim 0.5$  мкс). Для уменьшения эрозии молибдена время разряда с пятном ограничивалось 60 мкс, а ток - уровнем 1.5 А.

Оказалось, что в рассматриваемых условиях имеет место очень хорошая воспроизводимость зависимости пробойных напряжений от концентрации плазмы (рис. 1). При этом неожиданно обнаружилось, что, несмотря на сходство кривых  $U(n_e)$  для разных давлений, пробой при низких и высоких давлениях протекает различным образом. При  $P_{Cs} < 2.7 \cdot 10^{-2}$  Торр разряд с пятном развивается

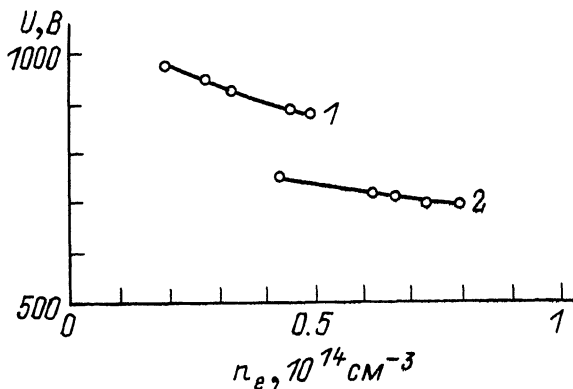


Рис. 1. Зависимости напряжений пробоя от концентрации плазмы при  $P_{CS} = 1,0 \cdot 10^{-2}$  Торр (кривая 1) и  $2,7 \cdot 10^{-2}$  Торр (кривая 2).

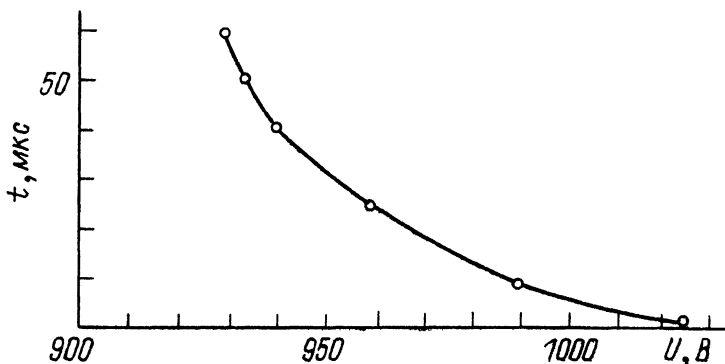


Рис. 2. Зависимость задержки пробоя от напряжения для  $n_e = 1,3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ,  $P_{CS} = 1,5 \cdot 10^{-2}$  Торр.

с задержкой, которая сильно зависит от напряжения и может достигать 60 мкс (это составляет полную длительность импульса высокого напряжения), рис. 2. При больших давлениях задержка составляет  $\sim 1$  мкс и не зависит от напряжения.

В узком интервале давлений около  $2,7 \cdot 10^{-2}$  Торр и концентраций плазмы  $(6,5-8) \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  при напряжениях 710-720 В наблюдалось чередование пробоев с малой и большой задержками, причем разброс времен в каждой группе не превышал 10%, а интервал между группами составлял 50 мкс. Такое чередование связано с небольшой нестабильностью амплитуды импульсов высокого напряжения. Полное же отсутствие пробоев с задержками в интервале между двумя группами указывает на то, что имеют место

два различных механизма развития пробоя в этих условиях. Качественно такие результаты наблюдались в течение десятков часов работы прибора, однако с течением времени диапазон одновременного существования обоих типов пробоя смещался в область больших давлений паров и концентраций плазмы.

Наличие двух типов пробоя, инициированного плазмой, насколько нам известно, ранее не наблюдалось. Возможно, что это — общее явление при инициировании пробоев в катодное пятно плазмой, и оно является одной из причин наблюдаемого в [1] разброса результатов. Не исключено, однако, что пробой с большой задержкой специфичен для реализованных в нашем эксперименте условий, в частности — наличия жидкометаллической поверхности.

В заключение авторы выражают благодарность Г.А. Дюжеву и С.М. Школьнику за полезные обсуждения.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ehrich H., Karlau J., Muller K.G. // Plasma Sci. 1986. V. ps-14. N 5. P. 603-608.
- [2] Кесаев И.Г. Катодное пятно вакуумной дуги. М.: Наука. 1968. 244 с.
- [3] Hansох R. // В. J. Appl. Phys. 1960. V. 11. N 10. P. 468-471.
- [4] Бакшт Ф.Г., Дюжев Г.А., Марциновский А.М., Мойжес Б.Я., Пикус Г.Е., Соинин Э.Б., Юрьев В.Г. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма. М.: Наука. 1973. 480 с.
- [5] Циркель Б.И., Вайнберг Л.И., Дюжев Г.А., Марциновский А.М., Старцев Е.А. // ПТЭ. 1981. № 6. С. 141-144.

Поступило в Редакцию

7 февраля 1989 г.