

04; 07

© 1992

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТОМНОЙ КОМПОНЕНТЫ ПЛАЗМЫ СИЛЬНОТОЧНОГО ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

А.А. Л о г а ч е в, С.М. Ш к о л ь н и к

1. Одним из важнейших для физики сильноточного вакуумного дугового разряда (СВДР) является вопрос об энергетических характеристиках поступательного движения тяжелой компоненты плазмы в межэлектродном промежутке (МЭП). Ранее [1] нами были опубликованы результаты измерений энергетических характеристик ионов. В настоящей работе проведены измерения атомной компоненты

В МЭП вакуумной дуги могут присутствовать атомы различного происхождения. Быстрые атомы с энергиями направленного движения в десятки эВ могут выноситься в МЭП катодными струями. Источников низкоэнергетичных атомов может быть несколько. Испарение атомов происходит с поверхности пронизывающих МЭП капель катодного материала, генерируемых функционирующими катодными пятнами. Еще один источник атомов — поверхность отмирающих катодных пятен. Атомы могут поступать в МЭП с поверхности распыляемого быстрыми катодными ионами анода. Принято считать, что последние два источника не слишком эффективны [2, 3]. По мнению автора [3], основное поступление атомов происходит за счет испарения с поверхности катодных капель.

2. Эксперименты проводились с разрядом, горевшим между горцевыми электродами из бескислородной меди (диаметр 20 мм, межэлектродное расстояние 8 мм). Разряд питался одиночными прямоугольными импульсами тока $I \approx 1.2$ кА; длительность импульса $\tau \approx 1.2$ мс, длительность переднего фронта ≤ 100 мкс. Подробно устройство разрядного узла и способы измерения электрических характеристик разряда описаны в [4].

В настоящей работе измерялись контуры спектральной линии CuI $\lambda = 8092.6$ Å при наблюдении вдоль (в дальнейшем — „продольный” контур) и поперек („поперечный”) оси разряда. Эта линия была выбрана для измерений, т. к. среди уединенных линий CuI в спектре дуги она имеет наименьшее сверхтонкое расщепление.

Оптическая система состояла из интерферометра Фабри-Перо, скрещенного с монохроматором МДР-23. Регистрация фотоэлектрическая в режиме счета фотонов. Временное разрешение (длительность стробирования частотометра) — 100 мкс. Измерения проводились через 500 мкс после поджига разряда. Контуры измерялись по точкам при сканировании наклоном интерферометра. Значения в каждой точке получалось усреднением по десяти импульсам. Каждое

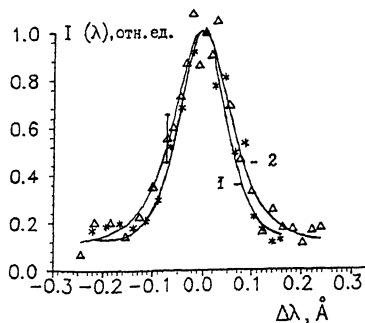


Рис. 1. Контуры спектральной линии CuI ($\lambda = 8092,6 \text{ \AA}$). 1 - при наблюдении вдоль оси разряда; 2 - поперек оси на расстоянии 4 мм от анода.

измерение спектральной интенсивности по контуру нормировалось на интегральную интенсивность линии в данном импульсе (перед интерферометром была установлена светоделительная пластинка, и часть света направлялась на щель монохроматора МДР-3 с фотоэлектрической регистрацией). Юстировка установки и контроль несмещенного положения исследуемой линии осуществлялись с помощью спектральной лампы ЛТ-2 с полым катодом из меди. Вдоль оси разряда излучение выводилось с помощью кварцевого моноволокна $\varnothing 0,8$ мм, вводимого сквозь отверстие в аноде. Пространственное разрешение $\leq 1,5$ мм. В поперечном направлении излучение собиралось по диаметру разряда из цилиндрической области, отстоящей от анода на 1 мм, либо на 4 мм (середина МЭП). Пространственное разрешение ≈ 1 мм. Более детально методика оптических измерений описана в [5].

3. Результаты измерений приведены на рис. 1 и 2. На рис. 2 (кривая 1) также приведен контур исследуемой спектральной линии, излучаемый спектральной лампой ЛТ-2. Видно, что „продольный” контур симметричен и не смещен (рис. 1, кривая 1). „Поперечный” контур, измеренный в центре МЭП (рис. 1, кривая 2), по форме и полуширине практически совпадает с „продольным” контуром, в то время как „поперечный” контур, измеренный вблизи анода (рис. 2, кривая 2) оказался значительно шире.

Полученные результаты позволяют сделать следующие качественные выводы. 1. Катодная струя является слабым источником по сравнению с другими возможными источниками атомов (испарение летящих с катода капель, ион-атомная эмиссия с анода и др.). На это указывает отсутствие сдвига продольного и не столь значительное, как у иона [1], уширение поперечных контуров. 2. Различие в полуширинах поперечных контуров показывает, что основной вклад в излучение из прианодной области и из центра МЭП вносят атомы, имеющие различное происхождение. Атомы, источником которых является анод, должны иметь среднюю энергию несколько эВ (средняя энергия в спектре ион-атомной эмиссии [6]), а атомы, испаренные

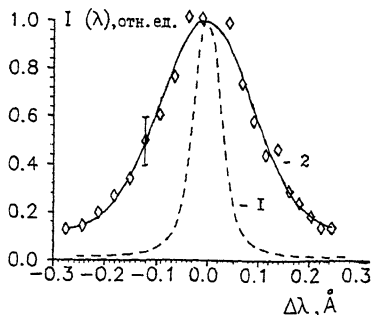


Рис. 2. Контуры спектральной линии CuI ($\lambda = 8092,6 \text{ \AA}$). 1 - в спектральной лампе ЛТ-2; 2 - при наблюдении поперек оси разряда на расстоянии 1 мм от анода.

с каплей - малую энергию направленного движения (скорость каплей $V \approx 10^4 \text{ см/с}$ [7]) и относительно низкую температуру - несколько десятых долей эВ, близкую к температуре поверхности каплей. 3. Близость полуширины „продольного“ и „поперечного“, измеренного в центре МЭП, контуров указывает на то, что вклад более „горячих“ анодных атомов в интенсивность выводимого вдоль оси разряда излучения мал. Это, однако, не позволяет утверждать, что основной механизм поступления в МЭП атомов - испарение с каплей. Нужно учитывать, что капли - объемный, а анод - поверхностный источник атомов. Эмиттируемые анодом атомы быстро „выгорают“ по мере продвижения в глубину плазмы (температура электронов в СВДР $T_e \approx 3 \text{ эВ}$ [4]); атомы эффективно ионизируются на малых расстояниях от анода).

4. При обработке результатов измерений по методу наименьших квадратов форма искомого контура предполагалась фойхтовской. Учитывалось уширение за счет Штрак-эффекта, а вид аппаратной функции принимался лоренцовским. При расчете штраковского уширения значение концентрации плазмы бралось $n \approx 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ [8]. Температура атомов по результатам обработки поперечных контуров составляет: в прианодной области $T_{aa} = (5 \pm 1) \text{ эВ}$, в центре межэлектродного промежутка $T_{ак} = (0,5 \pm 0,6) \text{ эВ}$. Обработка „продольного“ контура дает температуру $T_a = (0,4 \pm 0,2) \text{ эВ}$. Хотя большой разброс измеряемых интенсивностей позволяет только оценить сверху температуру атомов в центре МЭП, отличие ее от температуры у анода установлено вполне надежно.

В заключение отметим, что совпадение с точностью до погрешности наших измерений температуры атомов вблизи анода ($T_{aa} = 5 \text{ эВ}$) и температуры „фоновых“ ионов ($T_{ia} = 4,5 \text{ эВ}$), наличие значительной концентрации которых в МЭП СВДР было доказано ранее [1], является дополнительным подтверждением анодного происхождения последних.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Л о г а ч е в А.А., М и т р о ф а н о в Н.К., Ш и р к е л ь Б.И., Ш к о л ь н и к С.М. // П и с ь м а в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 78-82.
- [2] M i l l e r H.C. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1979. V. 12. N 8. P. 1293-1298.
- [3] В о х м а n R.L., G o l d s m i t h S. // J. Appl. Phys. 1981. V. 51(1). N 1. P. 151-161.
- [4] S h k o l' n i k S.M. // IEEE Trans. Plas. Sci. 1985. V. PS-13. N 5. P. 336-338.
- [5] A f a n a s' e v V.P., L o g a t c h e v A.A., M i t r o f a n o v N.K., S c h k o l' n i k S.M. Proc. XIV ISDEIV. Santa Fe USA. 1990. P. 187-191.
- [6] В е р н е р Г. В кн.: Электронная и ионная спектроскопия твердых тел. / Под ред. Фирменса Л., Вэника Дж., Декейсера В. М.: Мир, 1981.
- [7] U t s u m i T., E n g l i s h J.H. // J. Appl. Phys. 1975. V. 46. N 1. P. 126-131.
- [8] В о х м а n R.L. // J. Appl. 1974. V. 45. N 11. P. 4835-4846.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
12 февраля 1992 г.