



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Г. А. Месяц, О цикличности катодных процессов во взрывной электронной эмиссии, *Письма в ЖТФ*, 1983, том 9, выпуск 14, 891–893

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.172

21 января 2025 г., 14:44:46



равенство сечений поглощения ионизирующего излучения в воздухе и в чистом кислороде.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.Я. Бродскому за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- [1] Г. Р е т е р. Электронные лавины и пробой газов, М., „Мир“ (1968).
- [2] G.R. B a i n b r i d g e, W.A. P r o w s e. Can. J. Phys., 34, 1038 (1956).
- [3] М.Б. Ж е л е з н я к, А.Х. М н а ц а к а н я н, С.В. С и з ы х. Теплофизика высоких температур, 3, 423 (1982).
- [4] Yu.Yu. B r o d s k y, S.V. G o l u b e v, V.G. Z o r i n, A.G. L u c h i n i n, V.E. S e m y o n o v, G.M. F r a i m a n. Proc. XVth Int. Conf. on Phenomena in ionized gases, 121 (1981).
- [5] R.E. H u f f m a n, J.C. L a r r a b e e, Y. T a n a k a. J. Chem. Phys., 40, 356 (1964).
- [6] P.M. D e h m e r, W.A. C h u p ' k a. J. Chem. Phys., 62, 4525 (1975).

Институт прикладной
физики АН СССР,
Горький

Поступило в Редакцию
3 апреля 1983 г.

Письма в ЖТФ, том 9, вып. 14

26 июля 1983 г.

О ЦИКЛИЧНОСТИ КАТОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ВО ВЗРЫВНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

Г.А. М е с я ц

Проведенный нами анализ имеющихся экспериментов позволяет сделать вывод, что процессы, происходящие в эмиссионном центре (ЭЦ) при взрывной эмиссии (ВЭЭ [1, 2]), носят циклический характер, если размер ЭЦ много меньше размера катода. Это проявляется в том, что эмиссия возникает, существует некоторое время, затем исчезает, возникает вновь и т.д. Например, электронно-оптическая съемка в режиме хронографии свидетельствует о прерывистом характере свечения в ЭЦ. Из [3] следует, что в течение 15 нс свечение не менее пяти раз появляется и исчезает. В [4] наблюдалась длительность свечения на медном катоде с периодом 5 нс.

К этому же выводу можно прийти из исследования катодных кратеров. Из фотографий кратеров, полученных на медном катоде

в растровом электронном микроскопе [5], следует, что при длительности импульса 20 нс и токе 20 А в кратере существует три слоя металла и несколько кратеров на бруствере, т.е. этот кратер был образован в результате 4-5 последовательных взрывов. На вольфрамовом катоде за 100 нс при токе 30 А было образовано более 10 кратеров [6], т.е. эмиссионный центр находился на одном месте менее 10 нс. О периодическом появлении и исчезновении электронной эмиссии говорят, в частности, колебания тока с периодом $\tau \leq 10$ нс при токе ВЭЭ, близком к минимальному критическому [7]. Можно полагать, что для меди при скорости роста тока порядка 10^{10} А/с время жизни ЭЦ $\tau = 3 \pm 5$ нс.

Каждый цикл в процессе ВЭЭ включает инициирование взрыва, образование катодной плазмы, микроострий, микрокапель и т.д. Если длительность импульса $t_u < \tau$, то в процессе эрозии катода должны наблюдаться аномалии. Действительно, при $t_u \leq 2$ нс начинает нарушаться эффект регенерации микроострий. Это явление было обнаружено в [5, 8] и получило название „эффекта полировки“. При $t_u < \tau$ перестают появляться также микрокапли, которые обычно выбрасываются из кратера [6].

Если создать кратер при одном цикле взрыва, то по характеристикам микроострий можно оценить скорость их роста и давление в ЭЦ [9]. Например, при $t_u = 5$ нс по характеристикам Фаулера-Нордгейма для молибденового катода были получены коэффициент усиления поля $\beta = 30$, а радиус вершины острия $r = 5 \cdot 10^{-6}$ см. Так как высота острия $h \approx \beta r$, то скорость его роста равна $v = \beta r / t_u = 3 \cdot 10^4$ см/с. Этой скорости соответствует давление в ЭЦ 10^9 Па. Давление в ЭЦ графитового катода было оценено по наличию жидкой фазы графита в кратерах [10] и составило также 10^9 Па.

Объяснение причины цикличности процесса в ЭЦ можно дать в рамках модели, предложенной в [11, 12]. При численном анализе этой модели были учтены теплопроводность, конвективный перенос тепла, джоулево энерговыделение, затраты энергии на испарение и плавление. Баланс энергии на поверхности катода учитывал процессы электронной эмиссии и бомбардировки ионов из прикатодной плазмы. Предполагалось, что зона испарения совпадает с зоной ЭЦ. Ток через ЭЦ вычислялся по формулам термоэлектронной эмиссии с учетом электрического поля на поверхности, которое рассчитывалось по формуле Маккоуна.

Расчеты показали, что процесс энерговыделения в ЭЦ определяется объемным джоулевым источником тепла, а вклад в энергобаланс ионной бомбардировки невелик. За время, меньшее чем 10^{-10} с, эмиссионный центр на плоской поверхности разогревается до температуры $T_k \approx 10^4$ К, а напряженность электрического поля в катодном слое составляет порядка $E_k \approx 5 \cdot 10^7$ В/см. В этих условиях плотность тока $j > 10^8$ А/см² может быть объяснена термоэлектронной эмиссией и эффектом Шоттки. Одновременно с нагревом ЭЦ происходит его интенсивное охлаждение за счет теплопроводности, испарения атомов и электронного охлаждения, а также

уменьшения плотности тока из-за роста радиуса кратера. Это приводит к снижению T_K и E_K и прекращению эмиссии электронов. Время жизни ЭЦ зависит от тока, протекающего через ЭЦ. Например, для молибдена при увеличении тока от 5 до 20 А время τ растёт от 3 до 14 нс [11]. Следовательно, время τ будет определяться остыванием поверхности катода в зоне ЭЦ до температуры, которая уже не способна обеспечить эмиссию электронов.

Следующая проблема, которая возникает в связи с рассматриваемым вопросом, состоит в том, чтобы объяснить, почему возникает последующий ЭЦ после гибели предыдущего. Бесспорно, что его появление обусловлено взрывом микрообъёма катода за счет большой концентрации энергии в нем. Из-за большого давления плазмы на жидкий металл происходит его разбрызгивание с образованием микроострий. По нашему мнению, причину такого взрыва необходимо искать во взаимодействии плазмы катодного факела с жидким металлом.

Л и т е р а т у р а

- [1] G.A. M e s y a t s. Proc. X Intern. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, Inv. Pap. Oxford, 333 (1971).
- [2] Г.А. М е с я ц, Д.И. П р о с к у р о в с к и й. Письма в ЖТФ, 13, 7 (1971).
- [3] Ya.Ya. U r i k e. Proc. V Intern. Symp. on Disch. and Electr. Insul. in Vacuum (ISDEV), Poznan, 111 (1972).
- [4] J.D. C r o s s, B. M a z u r e k, K.D. S r i v a s t a v a. Proc. X ISDEV, Columbia (USA), 58 (1982).
- [5] G.A. M e s y a t s, D.T. P r o s k o u r o v s k y, E.B. Y a n k e l e v i t c h. Proc. VII ISDEV, Novosibirsk, 230 (1976).
- [6] Е.А. Л и т в и н о в, Г.А. М е с я ц, Д.И. П р о с к у р о в с к и й. УФН, 139, 2, 265 (1983).
- [7] Г.П. Б а ж е н о в, С.М. Ч е с н о к о в. Известия вузов, Физика, 11, 133 (1976).
- [8] В. J ü t t n e r, V.F. P u c h k a r e v, W. R o h r b e s k. Proc. VII ISDEV, Novosibirsk, 189 (1976).
- [9] В.Ф. П у ч к а р е в. Канд. дис., Томск (1980).
- [10] Б.А. К о в а л ь, Д.И. П р о с к у р о в с к и й, Е.Б. Я н к е л е в и ч, В.Ф. Т р е г у б о в. Письма в ЖТФ, 5, 10 603 (1979).
- [11] Е.А. Л и т в и н о в, Г.А. М е с я ц, А.Г. П а р ф е н о в. ДАН СССР, 269, 2 (1983).
- [12] Е.А. L i t v i n o v, A.G. P a r f y o n o v. Proc. X ISDEV, Columbia (USA), 138 (1982).