

03;11;12

©1993

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАТОДА

А.В.Батраков, С.А.Попов, Д.И.Проскуровский

При возникновении на поверхности жидкого металла, сильного электрического поля происходит развитие электрогидродинамической неустойчивости, приводящее через некоторое время τ к формированию конического выступа и иницированию эмиссии заряженных частиц. В случае формирования выступа на поверхности тонкой жидкометаллической пленки, что реализуется в игольчатых жидкометаллических эмиттерах, в приближении вязкостного течения жидкости время запаздывания эмиссии τ зависит от амплитуды импульса напряжения U следующим образом [1]:

$$\tau \simeq \frac{3\eta V}{h^2 \sin \alpha} \left(\frac{U^2}{U_0^2} - 1 \right)^{-1}, \quad (1)$$

где η — коэффициент вязкости, V — финальный объем конического выступа, γ — коэффициент поверхностного натяжения, h — толщина пленки, α — полуугол конической части острья, U_0 — пороговое напряжение иницирования эмиссии. В [1] показано, что это выражение корректно описывает экспериментальные результаты, полученные при малых перенапряжениях U/U_0 . Однако, как утверждается в [2], экспериментальные данные, в том числе и полученные в [1], лучше описываются выражением типа

$$\tau \simeq \tau_0 \left(\frac{U^2}{U_0^2} - 1 \right)^{-2}, \quad (2)$$

где τ_0 — некоторая константа.

Проведенные в настоящей работе эксперименты по исследованию инерционности игольчатого жидкометаллического источника электронов в диапазоне $U/U_0 = 1-3$ дали зависимости τ от U/U_0 , неудовлетворительно описываемые как выражением (1), так и выражением (2). Причем аппроксимация экспериментальных данных выражением типа

$$\tau \simeq \tau_0 \left(\frac{U^2}{U_0^2} - 1 \right)^{-n} \quad (3)$$

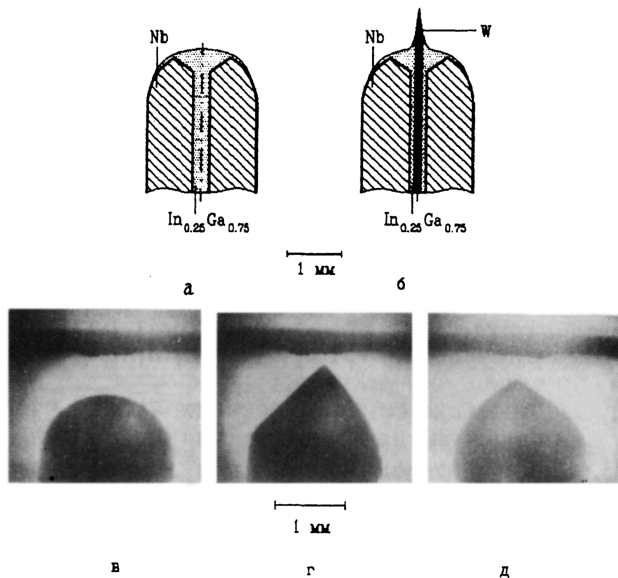


Рис. 1. а, б — конструкции катодов; в-д — фотографии профилей катода: без приложения напряжения (в) и при перенапряжениях 1 (г) и 2.1 (д).

давала значения показателя степени n , лежащие в пределах от 1 до 2. Мы предположили, что такая неопределенность связана с тем, что при выводе выражения (1) финальный объем сформированного конического выступа считался независимым от напряжения. Предпосылкой для такого предположения послужили работы [3,4], в которых в модели развития гравитационно-капиллярных волн рассматривается процесс формирования неустойчивости на поверхности жидкого металла, находящейся в сильно электрическом поле. При напряжениях $U \geq U_0$ возбуждается наиболее длинноволновая мода колебаний поверхности с максимальными геометрическими размерами формируемого выступа, при $U \geq 1.4U_0$ происходит развитие следующей моды колебаний с меньшей длиной волны, и так далее. Можно ожидать, что и в случае формирования конического выступа на пленке жидкого металла финальный объем также будет зависеть от напряжения.

Для проверки этого предположения нами проделаны эксперименты по исследованию зависимости объема формируемого конического выступа от напряжения. Жидкометаллический катод, изображенный на рис. 1, а, помещался в без-

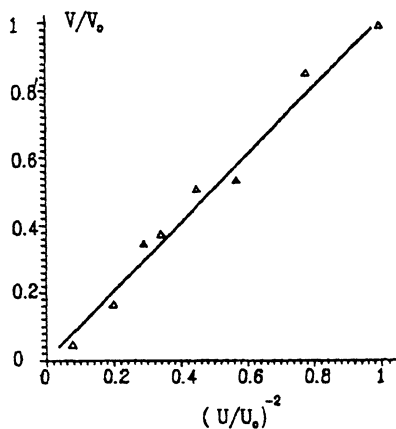


Рис. 2. Зависимость относительного изменения финального объема жидкометаллического выступа от перенапряжения.

масляный вакуум не хуже 10^{-5} Па на расстоянии ~ 0.7 мм от плоского анода. На катод подавались прямоугольные импульсы напряжения с частотой 20–50 Гц, приводящие к формированию конического выступа и инициированию взрывной электронной эмиссии. Амплитуда взрывоэмиссионного тока составляла 20–40 А, длительность ~ 100 нс. В момент возникновения эмиссионного тока катод подсвечивался лампой-вспышкой с длительностью импульса света ~ 5 мкс, что позволяло фиксировать конечную стадию развития конического выступа на фотопленку (рис. 1, в–д) и по фотографиям вычислять объем сформированного выступа. Погрешность измерения объема выступа не превышала 10%.

На рис. 2 представлена зависимость объема сформированного жидкометаллического выступа от перенапряжения U/U_0 . Эта зависимость наиболее хорошо описывается выражением:

$$V = V_0 \left(\frac{U^2}{U_0^2} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где V_0 — финальный объем выступа, формирующегося при $U = U_0$. Учет данной зависимости в (1) дает выражение для времени запаздывания:

$$\tau \simeq \frac{3\eta V_0}{h^2 \sin \alpha} \left(\frac{U^2}{U_0^2} \right)^{-1} \left(\frac{U^2}{U_0^2} - 1 \right)^{-1}. \quad (5)$$

Оказалось, что для подавляющего большинства игольчатых жидкометаллических катодов, исследованных в на-

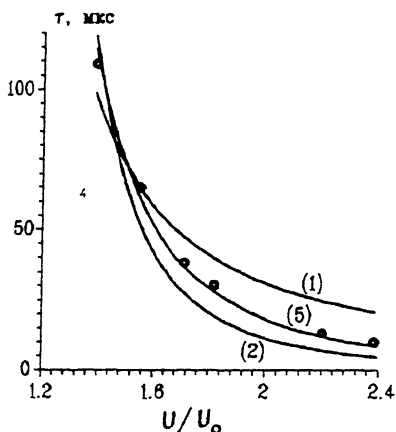


Рис. 3. Зависимость времени запаздывания взрывной эмиссии на игольчатом жидкометаллическом катоде от перенапряжения; сплошные кривые получены путем аппроксимации экспериментальных данных выражениями, указанными цифрами в скобках.

стоящей работе, выражение (5) точнее описывает экспериментальные зависимости времени запаздывания эмиссии от напряжения, чем (1) и (2). На рис. 3 приведена типичная зависимость $\tau(U/U_0)$ для игольчатого катода, изображенного на рис. 1,б. Радиус кривизны вершины иглы $r_0 \approx 10$ мкм. Оцененная из (5) толщина пленки h составляет ~ 0.5 мкм, что согласуется с данными [1].

Таким образом, учет зависимости финального объема формируемого выступа жидкого металла от перенапряжения дает более точное описание зависимости времени запаздывания эмиссии жидкометаллического эмиттера от напряжения.

Список литературы

- [1] *Thompson S.P., Prewett P.D.* // J. Phys. D: Appl. Phys. 1984. V. 17. P. 2305–2321.
- [2] *Дудников В.Г., Шабалин А.Л.* // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 1. С. 185–187.
- [3] *Баскин Л.М., Фурсей Г.Н.* // Тез. докл. VI Всес. симп. по сильноточной электронике. Томск, 1986. Ч. II. С. 67–69.
- [4] *Baskin L.M.* // IEEE Trans. Electr. Insul. 1989. V. 24. P. 929–931.

Институт сильноточной электроники
Томск

Поступило в Редакцию
21 июня 1993 г.