

[9] П л ю т т о А.А - ЖЭТФ, 1960, т. 39, № 12, с. 1589-1594.

[10] Б е р ц е в В.В., Д а ш у к П.Н., Л ы с а к о в - с к и й Г.Г. - Научно-тех. инф. бюл. ЛПИ им. Калинина, 1962, № 1, с. 71-78.

Поступило в Редакцию
22 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 12

26 июня 1988 г.

ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ТОКА ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭМИТТЕРА ИОНОВ И РАЗМЕРЫ ЭМИТТИРУЮЩЕГО ОСТРИЯ

М.Д. Г а б о в и ч, Ю.Н. К о з ы р е в,
М.Б. Ф е н и к

Несмотря на достигнутые успехи в разработке модели жидкометаллических источников ионов и в определении их параметров как расчетным [1], так и экспериментальным [2] путем, в настоящее время нет достаточных оснований для окончательного решения вопроса о форме и размерах указанных эмиттеров, имеющего принципиальное научное и практическое значение.

Задачей настоящей работы является не дискуссионный анализ этого вопроса, а постановка конкретных экспериментов, которые при учете ранее не использованных соображений позволяют оценить нижнюю границу размеров эмиттирующего острия, точнее его объема.

В эксперименте, схема которого приведена на рис. 1,а, исследовалось влияние модуляции вытягивающего напряжения на ток пучка жидкометаллического источника ионов олова 1, причем модулирующее напряжение амплитудой 50 В от генератора 5 можно было подавать не только на экстрактор 2, заземленный через активное сопротивление 8 (~ 10 кОм), но и непосредственно на находящийся под высоким потенциалом (~ 4 кВ) источник 1, при этом экстрактор 2 заземлялся непосредственно. В результате модуляции естественным образом появлялась переменная составляющая тока ионов J_{\sim} , как это видно из рис. 1,б, где представлена характерная для всех жидкометаллических источников статическая вольт-амперная характеристика исследуемого источника с четко выраженной областью гистерезиса. Отметим, что вид этой характеристики практически не изменяется, если наряду с постоянной разностью потенциалов U к промежутку игла-экстрактор приложено переменное напряжение с частотой в пределах 100 Гц - 4МГц и амплитудой до 100 В. С экранированного коллектора 3, заземленного через активное сопротивление $R_H(7)$, сигнал напряжения, возникающего вслед-

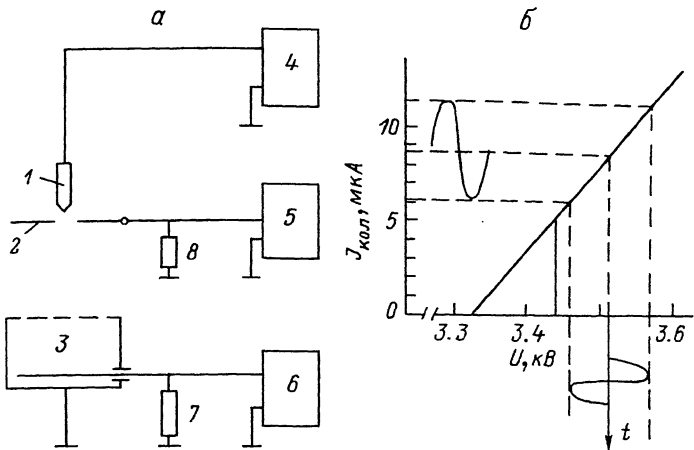


Рис. 1. а) Схема эксперимента: 1 – жидкометаллический источник ионов, 2 – экстрактор, 3 – экранированный коллектор, 4 – источник высокого напряжения, 5 – генератор синусоидального напряжения, 6 – анализатор, 7 – сопротивление нагрузки коллектора, 8 – сопротивление нагрузки генератора. б) Вольт-амперная характеристика ионного источника и модулирующее напряжение. $J_{кол}$ – ионный ток на коллектор.

ствии протекания через нагрузку 7 тока пучка, подавался экранированным кабелем РК-50 длиной 0.3 м на анализатор 6. В области низких частот модуляции ($f \leq 100$ кГц) в качестве анализатора использовался осциллограф с входным сопротивлением 1 МОм и входной емкостью 35 пФ, при этом $R_H = 1$ кОм; при более высоких частотах (100 кГц – 4 МГц) во избежание шунтирования переменной составляющей исследуемого сигнала паразитными емкостями измерительной цепи использовался анализатор спектра СК4-59 с входным сопротивлением 50 Ом, R_H также было 50 Ом при той же длине соединительного кабеля.

На рис. 2,а приведены полученные в данном эксперименте зависимости от частоты степени модуляции ионного тока $M = J_{\sim} / J_{\sim}$, где J_{\sim} – среднее значение тока ионов, практически не изменяющееся во всей области частот f . Естественно, что при малых частотах степень модуляции M не зависит от частоты (квазистатический режим). Лишь при частотах $f \sim 10^4$ Гц, когда начинает сказываться инерционность вязкого течения смачивающего керн жидкого металла [3], степень модуляции начинает уменьшаться. При частоте модуляции 1 МГц переменная составляющая тока пучка (а с нею и степень модуляции тока пучка) становится столь малой, что уже не поддается регистрации. Для объяснения этого факта воспользуемся динамической моделью жидкометаллического источника ионов, положенной в основу [1]. Пусть источник работает в установившемся

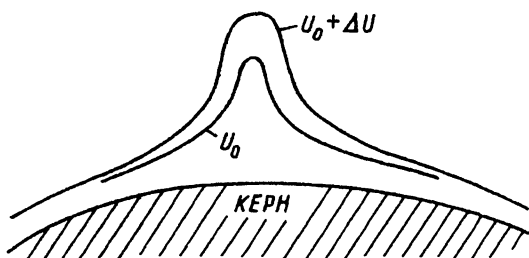
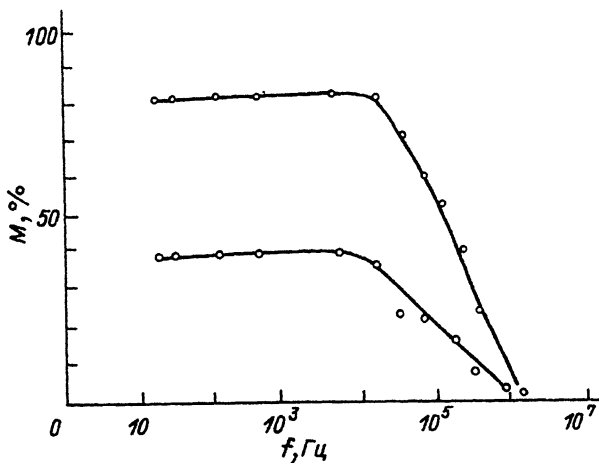


Рис. 2. а) Зависимость степени модуляции тока пучка от частоты модулирующего напряжения. Верхняя кривая - при $U = 3.42$ кВ, $J_{кол} = 2.5$ мкА, нижняя кривая - при $U = 3.54$ кВ, $J_{кол} = 7.5$ мкА. б) Равновесные состояния поверхности эмиттера при различных значениях поля и тока пучка.

режиме при заданной разности потенциалов U_0 , при этом от него отбирается ток J_0 , определяемый количеством подтекающих к области ионизации атомов рабочего вещества. Увеличим мгновенно напряжение на величину ΔU . Тогда ток пучка тоже возрастет, но не мгновенно, а лишь после того, как возрастет количество притекающих к зоне эмиссии атомов. Для этого, как следует из [1], должны измениться форма и размеры эмиттера (рис. 2,б). Если после достижения этого нового равновесного состояния мгновенно снизить напряжение на ту же величину ΔU , то и ионный ток в конечном итоге снизится до значения J_0 , соответствующего равновесному состоянию при U_0 . Однако это, опять же, произойдет не сразу, ибо жидкость инерционна и количество приходящих в зону

ионизации атомов будет некоторое время оставаться таким же, как при $U_0 + \Delta U$, т.е. превышать равновесное. А поскольку в соответствии с принятой моделью атомы уходят только в виде ионов, ионный ток в это время будет превышать равновесное значение. При какой же частоте не должно быть сильной ($J_+ \approx J_-$) модуляции? В рамках принятой модели это произойдет при таких частотах, когда в течение периода колебаний изменение объема эмиттирующей зоны за счет ухода ионов ничтожно по сравнению с объемом этой же зоны, соответствующим постоянной составляющей тока. Соответствующее условие имеет вид

$$\frac{J \cdot T}{e} \ll V \rho \cdot N_A,$$

где J – ток ионов, А; T – период модулирующего напряжения, с; e – заряд электрона, Кл; V – объем эмиттирующего острья, см^3 ; ρ, μ – плотность и молярный вес олова, $\text{г}/\text{см}^3$ и $\text{г}/\text{моль}$ соответственно; N_A – число Авогадро, $1/\text{моль}$.

Приведенное условие означает, что объем эмиттирующего острья много больше, чем объем жидкого металла, уносимого в виде ионов в течение одного периода колебаний модулирующего напряжения. Подставив значения входящих в данное соотношение величин, получим

$$V \gg \frac{J \cdot T \cdot \mu}{e \cdot \rho \cdot N_A} = \frac{10^{-5} \cdot 10^{-6} \cdot 120}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 7.6 \cdot 10^{23}} = 1.8 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3.$$

Полученное значение объема значительно превосходит расчетное значение объема эмиттера по данным [1]. По этим данным при токе $J = 10^{-5}$ А радиус острья $\sim 10^{-7}$ см, его длина $\sim 10^{-5}$ см, объем порядка 10^{-19} см^3 .

Таким образом, из приведенных в настоящей работе данных следует, что истинные размеры жидкометаллического эмиттера ионов превышают обычно принимаемые [1].

Л и т е р а т у р а

- [1] Kingham D.R., Swanson L.W. – Appl. Phys., 1984, v. A34, p. 123–132.
 [2] Gaubi H, Sudraud P., Vande Walle J. – Proc. 29th Intern. Field Emission Symp., Stockholm, 1982, p. 357.
 [3] Thompson S.P., Prewett P.D. – J. Phys. D.: Appl. Phys., 1984, v. 17, p. 2305–2321.