

в предположении равноускоренного движения шарика и для вакуума  $\chi_0 \approx 3 \cdot 10^{-3}$  см при соударении медных электродов.

Явление ССЭЭ в постоянных электрических полях, по-видимому, не сопровождается взрывом эмиттирующих частей подвижного электрода, возникает в первую очередь в тех его активных центрах, для которых характерна пониженная работа выхода, предшествует возникновению искровых разрядов при малых величинах расстояний между электродами. При этом плотность тока импульсов ССЭЭ, рассчитанная по методике, изложенной в книге [5], превышает  $10^9$  А/см<sup>2</sup>.

### Л и т е р а т у р а

- [1] А в и л о в А.М., В о л о в и к В.Д. - ЖТФ, 1983, т. 53, в. 11, с. 2226-2228.
- [2] А б р а м я н Е.А., А л ь т е р к о п Б.А., К у л е ш о в Г.Д. Интенсивные электронные пучки. М.: Энергоатомиздат, 1984. 229 с.
- [3] Р а й з е р Ю.П. Физика газового заряда. М.: Наука, 1987. 591 с.
- [4] Б р о д с к и й А.М., Г у р е в и ч Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. М.: Наука, 1973. 255 с.
- [5] М е с я ц Г.А., П р о с к у р о в с к и й Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме. Новосибирск, Наука, 1984. 256 с.
- [6] К а г а н о в М.И., Л и ф ш и ц И.М., Т а н а г а - р о в Л.В. - ЖЭТФ, 1956, т. 37, № 2(8), с. 232.
- [7] М а р т ы н о в Е.П., И в а н о в В.А. - Радиотехника и электроника, 1969, т. 14, № 11, с. 2005.

Харьковский государственный  
университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию  
31 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 18

26 сентября 1988 г.

### О ПРОИСХОЖДЕНИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ КАПЕЛЬ В ИОННЫХ ПУЧКАХ ОТ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ

А.И. Г р и г о р ь е в, А.А. З е м с к о в,  
С.О. Ш и р я е в а

В экспериментах по жидкометаллическим источникам ионов (ЖМИИ) неоднократно отмечалось [1, 2], что получаемый ионный пучок состоит из собственно ионов металла, кластеризованных ионов и микрокапелек металла. Причем основной вклад в создание ионного тока (до 99%) вносят ионы и кластеризованные ионы малой массы (с большим значением отношения заряда к массе). Массовый же

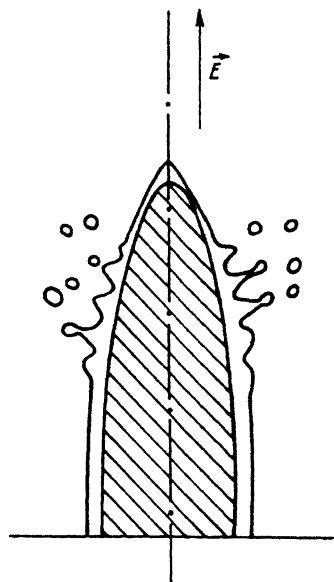
расход жидкого металла (на 90%) обусловлен эмиттируемыми микрокапельками диаметрами до 1 мкм, несущими заряды порядка предельного в смысле устойчивости по Рэлею, но имеющими отношения заряда к массе на два-три порядка меньшие, чем у ионов и обеспечивающими лишь ~1% ионного тока, поэтому эмиттированные капельки и называют „нейтральными“. Появление капельной компоненты в ионных пучках ЖМИИ представляет интерес для порошковой металлургии [3] и технологии получения тонких металлических покрытий [2], но в проблеме получения интенсивных ионных пучков это явление является паразитным. Несмотря на очевидную важность изучения механизма появления капельной фазы в ЖМИИ, теория этого процесса до сих пор не разработана, лишь в некоторых статьях [1, 4-6] содержатся полуфеноменологические обсуждения этого вопроса.

В типичной конструкции ЖМИИ эмиттером служит заостренная вольфрамовая игла, средний радиус кривизны вершины которой порядка нескольких мкм, покрытая тонким слоем жидкого смачивающего иглу металла  $Ga, Al, Au$  и т.п. В сильном электрическом поле (при разности потенциалов между иглой и противоэлектродом  $\Delta\varphi \sim 10$  кВ) жидкий металл на вершине иглы принимает приблизительно коническую форму, образуя эмиттирующий выступ, с которого начинается эмиссия ионов. Одновременно в результате развития неустойчивости Тонкса-Френкеля (НТФ) в пленке жидкости, покрывающей боковую поверхность иглы, формируются микропики, эмиттирующие заряженные капельки [2]. Критическое условие проявления НТФ на плоской поверхности жидкости с коэффициентом поверхностного натяжения  $\sigma$  и плотностью  $\rho$  выражается известным соотношением [7]:

$$\lambda_*^2 \geq \sigma / \sqrt{2} \pi \alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha = (2\sigma/g\rho)^{1/2}$  - капиллярная постоянная,  $\lambda$  - поверхностная плотность заряда. Поскольку толщина слоя жидкого металла предполагается много меньшей характерного радиуса кривизны боковой поверхности иглы эмиттера, то условие (1) может быть использовано для оценок порядка величины критических значений параметров и в рассматриваемом случае. Оценка, произведенная при характерных для жидких металлов значениях параметров  $\sigma \sim 10^3$  дин-см,  $\rho \sim 10$  г/см<sup>3</sup>, показывает, что для неустойчивости слоя жидкого металла на боковой поверхности иглы эмиттера критической является величина плотности заряда  $\lambda = 5 \cdot 10^2$  ед. СГСЕ/см<sup>2</sup>, если в качестве характерного линейного размера  $\alpha$  выбрать средний радиус кривизны боковой поверхности эмиттирующей иглы  $\sim 10$  мкм [2]. Поверхностная же плотность заряда на игле эмиттера при  $\Delta\varphi \sim 10$  кВ равна  $\lambda \approx 2.5 \cdot 10^3$  ед. СГСЕ/см<sup>2</sup> [1, 2, 4], что почти на порядок превышает критическое для развития НТФ значение. Учитывая, что условие (1) выполняется с большим запасом, можно предположить, что на некотором участке поверхности жидкой пленки оно выполнится сразу для  $n$  первых мод. В итоге, в соответствии с изложенным в работе [5], на боковой поверхности иглы выра-

тут  $n^2$  микропиков, с вершин которых будет осуществляться регистрируемая в экспериментах эмиссия заряженных капелек [1-2] (в [2] приведены отличные фотографии этого явления). Из простых физических рассуждений очевидно, что область формирования микропиков ограничена, см. рис.1. Нижний предел обусловлен тем, что напряженность поля у поверхности иглы уменьшается по мере удаления от вершины эмиттирующего выступа и на некотором расстоянии от него станет ниже критического значения для основной моды. Что касается положения верхней границы области развития НТФ на боковой поверхности иглы, то ее существование (см. [2]) связано с утоньшением жидкой пленки у вершины иглы до величины  $\lesssim 100$  нм, при которой, согласно [8], устойчивость пленки резко повышается в связи с проявлением действия короткодействующих сил флуктуационной природы.



В соответствии с вышесказанным для уменьшения концентрации жидкокапельной компоненты ионного пучка необходимо уменьшить площадь поверхности, на которой развивается НТФ. Для этого представляется целесообразным увеличивать радиус кривизны боковой поверхности иглы-эмиттера (что приведет к повышению положения нижней границы области развития НТФ) при одновременном уменьшении радиуса кривизны вершины иглы (что приведет к понижению верхней границы области развития НТФ). К такому же результату приведет создание эмиттирующей иглы, имеющей всюду отрицательную среднюю кривизну, типа половинки псевдосферы.

Что касается параметров эмиттированных капелек, то, согласно [9], они несут заряд чуть больший предельного в смысле устойчивости по Релею. За время порядка периода колебаний основной моды капельки распадаются, теряя примерно треть своего заряда, 0.005 массы и выбрасывая кластеризованные однозарядные ионы, которые в сильном поле у поверхности эмиттера могут освободиться от оболочки из нейтральных атомов (энергия связи которых с ионом  $\lesssim 1$  эВ) и принять участие в формировании ионного пучка.

Следует отметить, что догадка о связи капельной фазы ионного пучка в ЖМИИ с НТФ была высказана еще в [6]. Однако об особенностях работы ЖМИИ в то время было известно весьма мало и предложенный в [6] метод уменьшения концентрации капельной фазы свелся к ограничению используемых в ЖМИИ напряженностей полей, чтобы предотвратить развитие в эмиттере НТФ. Такой метод вряд

ли можно считать целесообразным, т.к. на одно из главных достоинств ЖМИИ - высокие плотности ионного тока тем самым накладывалось искусственное ограничение.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Thompson S.P., Engel A. - J. Phys. D: Appl. Phys., 1983, v. 16, p. 1137-1144.
- [2] Wagner A., Uenkatesan J., Petroff P.M., Barr D. - J. Vac. Sci Technol., 1981, v. 19, N 4, p. 1186-1189.
- [3] Mahoney J.F., Taylor S., Peral J. - IEEE Trans. Ind. Appl. 1987, v. IA-23, N 2, p. 197-204.
- [4] Castilho C.M.C., Kingham D.R. - J. Phys. D: Appl. Phys., 1986, v. 19, p. 147-156.
- [5] Григорьев А.И., Ширяева С.О. - ЖТФ, 1987, т. 57, № 1, с. 196-198.
- [6] Gomer R. - Appl. Phys., 1979, v. 19, p. 365-375.
- [7] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 620 с.
- [8] Григорьев А.И., Дорошенко Д.Н. Тезисы докладов 8 конференции по поверхностным силам, 3-5 декабря 1985 г., М.: Наука.
- [9] Григорьев А.И., Ширяева С.О. - Изв. АН СССР, МЖГ, 1988, № 2, с. 5-13.

Поступило в Редакцию  
26 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 18

26 сентября 1988 г.

### ПОДАВЛЕНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ (СЛАБАЯ СВЯЗЬ) ДОМЕННОЙ СТЕНКОЙ В ДВУХСЛОЙНОЙ ПЛЕНКЕ СВЕРХПРОВОДНИК-ФЕРРОМАГНЕТИК

Э.Б. С о н и н

В двухслойной пленке сверхпроводник-ферромагнетик поля рассеяния от доменной стенки в ферромагнитном слое могут разрушить сверхпроводимость в области с размером порядка толщины ферромагнитной пленки, либо создать в сверхпроводящей пленке слабую связь, которая, как и джозефсоновский контакт, будет мес-