

Электронные и ионные пучки

УДК 621.384

О размерах эмиттеров ионов и наночастиц в острых источниках

И. С. Гасанов, И. И. Гурбанов

В остром источнике In и Sn наблюдалось немонотонное распределение плотности ионного тока по радиусу. Уменьшение плотности тока в центре пучка связано с генерацией заряженных наночастиц с размерами 2—20 нм, которые распространяются вдоль оси системы. Наблюдаемый низкий уровень модуляции тока возможен в том случае, если размер области эмиссии ионов значительно превосходит размер области наночастиц. Из жидкого эмиттера диаметром 100 нм извлекается ионный пучок с начальной плотностью тока $\sim 10^6$ А/см².

PACS: 29.25.Ni; 52.25.Tx; 81.16.Rf

Ключевые слова: острый источник ионов, область эмиссии, капиллярная неустойчивость, наночастица.

Введение

Жидкометаллические (острые) источники ионов обладают наиболее высокой яркостью формируемых пучков [1]. В определенных режимах действия в этих источниках также генерируются заряженные наночастицы [2, 3]. Остро сфокусированные пучки, получаемые посредством жидкометаллических эмиттеров, находят применение в безмасочной ионной имплантации, при исправлении дефектов масок, могут быть использованы для создания поверхностных квантовых наноструктур [4].

Определение размера эмиссионной зоны в рассматриваемых источниках длительное время было предметом экспериментальных и теоретических исследований. По сложившимся представлениям электрическое поле между иглой и экстрактором вытягивает выступ проводящей жидкости, и с вершины этого выступа происходит полевая эмиссия ионов.

Теоретические оценки для диаметра зоны дают величину 3—4 нм [5, 6]. Исходя из этого размера получается высокое значение начальной плотности тока порядка 10^8 А/см².

В настоящей работе анализируются экспериментальные данные по оценке минимальных раз-

меров областей эмиссии в жидкометаллических источниках, в которых генерируются ионы и наночастицы.

Методика эксперимента

Эксперименты проводились с компактным источником ионов индия и олова с током до 150 мкА и энергией до 10 кэВ [7]. Распределение плотности ионного тока по радиусу пучка определяли с помощью многоканального коллектора, диаметр каждой ячейки которого равен 5 мм, коллектор располагался на расстоянии 70 мм от экстрактора. Спектры колебаний ионного тока регистрировались с помощью анализатора спектра С4-25, компонентный состав ионного пучка анализировался посредством масс-анализатора со скрещенными электромагнитными полями типа фильтра скоростей Вина и двухкоординатного самописца.

Размеры наночастиц после их осаждения на полированные металлические подложки определялись с помощью просвечивающего электронного микроскопа Тесла и атомного силового микроскопа AFM NE. Источник монтировался на базе вакуумной установки ВУП-4 с предельным вакуумом $5 \cdot 10^{-6}$ Торр.

Экспериментальные результаты

Действие источника происходит в двух основных режимах: стабильном и нестабильном. Для использовавшихся рабочих веществ In и Sn стабильный режим наблюдался до значения тока пучка около 40 мкА [8]. В этом режиме в составе пучка имеются только легкие ионы, например In^+ , In^{2+} , In_2^+ и т. п. При значении тока пучка более

Гасанов Ильхам Салтан оглы, ведущий научный сотрудник.

Гурбанов Ильгар Исфандияр оглы, научный сотрудник.

Институт физики НАН Азербайджана.

Азербайджан, AZ1143, г. Баку, пр. Г. Джавида, 33.

Тел. (994 12) 438-76-46. Факс (994 12) 447-04-56.

E-mail: director@physics.ab.az

Статья поступила в редакцию 29 сентября 2009 г.

© Гасанов И. С., Гурбанов И. И., 2010

40 мкА возбуждаются колебания тока с частотой в десятки мегагерц, одновременно с этим генерируются заряженные наночастицы с размерами 2—20 нм (Sn) и удельным зарядом $5 \cdot 10^4$ К/кг.

Наибольшее количество наночастиц имеет минимальный размер 2 нм, колебания тока обусловлены возбуждением капиллярной неустойчивости на поверхности проводящей жидкости. Угол расходимости ионного пучка составляет $\sim 90^\circ$, а угол расходимости наночастиц — около 3° .

Явное преобладание в масс-спектрах наночастиц минимального размера связано, по-видимому, с тем, что из острых эмиттеров извлекаются структурные элементы жидкой фазы — заряженные фазоны. По теоретическим оценкам, для олова размер фазонов должен составлять 3,2 нм [9].

Измерения постоянной и переменной компонент ионного тока показали, что уровень модуляции тока невелик: в экспериментах он не превышал 7 % (рис. 1). При возбуждении колебаний вольт-амперная характеристика (ВАХ) источника не обнаруживает каких-либо резких изломов.

В указанных выше двух режимах источника (рис. 2, б) были измерены радиальные распределе-

лений (см. рис. 2, а, кривая 2). Несмотря на небольшую величину уменьшения плотности тока, подобная форма радиального распределения воспроизводилась стабильно и наблюдалась также другими авторами [10].

Обсуждение результатов

Приведенные экспериментальные факты свидетельствуют о том, что в острых источниках эмиссия ионов и наночастиц происходит независимо, т. е. генерация дисперсной фазы не оказывает заметного влияния на эмиссию ионов. Если исходить из существующей модели полевой эмиссии, согласно которой ионы и наночастицы извлекаются из одной и той же области, то трудно объяснить регистрируемый низкий уровень модуляции ионного тока (см. рис. 1). При отрыве наночапли деформация зоны эмиссии должна была бы существенно модулировать ионный ток, что не подтверждается экспериментом. Поэтому следует предположить, что размер области эмиссии ионов значительно превышает размер области эмиссии наночастиц. В центре зоны эмиссии, где реализу-

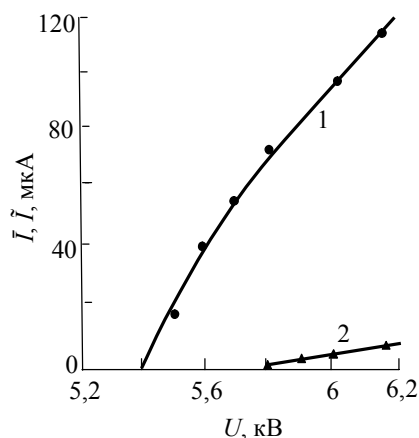


Рис. 1. Зависимость компонент ионного тока от извлекающего напряжения (I_n):
1 — постоянная составляющая; 2 — переменная составляющая

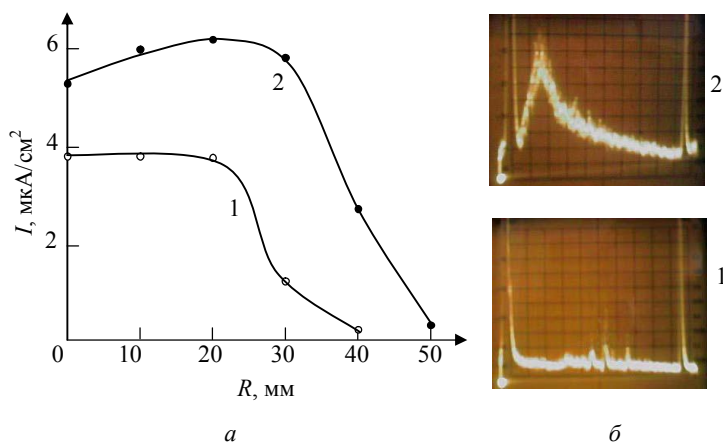


Рис. 2. Радиальное распределение плотности ионного тока (а) и осциллограммы колебаний тока пучка (б):

1 — ток пучка $I_i = 38$ мкА; 2 — $I_i = 65$ мкА

ния плотности ионного тока. Обращает на себя внимание небольшое снижение плотности тока в центральной области пучка при возбуждении ко-

лебаний. Возбуждается наибольшая величина напряженности поля, формируется выступ жидкости, из которого извлекаются заряженные наночастицы (рис. 3). В таком

случае эмиссия мелкодисперсной фазы не будет приводить к заметной модуляции ионного тока. Наночастицы распространяются вдоль оси пучка, и в определенной степени экранируют центральную область эмиттера. В результате в центре пучка плотность ионного тока уменьшается (см. рис. 2, а).

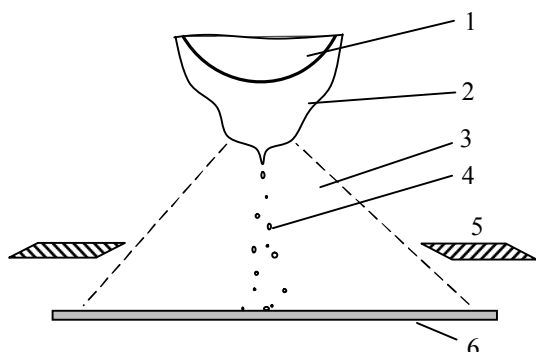


Рис. 3. Схема генерации ионов и наночастиц в остром источнике:

- 1 — игла; 2 — проводящая жидкость; 3 — ионный пучок; 4 — наночастицы; 5 — экстрактор; 6 — коллектор

Исходя из данной модели можно оценить нижнюю границу диаметра эмиссионной области в предположении, что $d_i \gg d_n$, где d_i и d_n — размеры области эмиссии ионов и наночастиц, соответственно.

Если d_n принять равным среднему размеру наночастиц 10 нм (Sn) [11], то для d_i получим величину $d_i = 10d_n = 100$ нм. В таком случае при $I_i = 10\text{—}100$ мкА для начальной плотности ионного тока получим значение $j_i = 1,25 \cdot 10^5\text{—}1,25 \cdot 10^6$ А/см², которое на два порядка ниже значения, получаемого в существующих моделях.

Заключение

Экспериментальные наблюдения свидетельствуют о том, что в жидкометаллических источниках генерация ионов и заряженных наночастиц происходит независимо. Это позволяет заключить, что размеры области ионной эмиссии (диаметром более 100 нм) значительно превосходят размеры области эмиссии наночастиц.

По всей видимости, теоретические расчеты размеров жидких эмиттеров, подверженных действию сильных электрических полей (порядка 10^8 В/см), требуют дальнейшего уточнения. В частности, необходимо учитывать зависимость коэффициента поверхностного натяжения от напряженности поля, воздействующего на проводящую жидкость [5, 6].

Литература

1. Габович М. Д. // УФН. 1983. Т. 140. № 1. С. 137.
2. Cruz C., Pourezzaei K., Wagner A. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. No. 7. P. 2724.
3. Бадан В. Е., Гасанов И. С. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 17. С. 49.
4. Гасанов И. С., Салаев Э. Ю., Гурбанов И. И. // Прикладная физика. 2005. № 5. С. 46.
5. Kingham D. R., Swanson L. W. // Vacuum. 1984. V. 43. No. 10/11. P. 941.
6. Шабалин А. Л. // ДАН СССР. 1988. Т. 303. № 2. С. 357.
7. Gasanov I. S., Gurbanov I. I. // JJAP. 2008. V. 47. No. 10. P. 8226.
8. Гасанов И. С., Гурбанов И. И. // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. В. 12. С. 42.
9. Стафеев В. И. // Сб. ст. Междунар. конф. “Физика-2005”. — Баку, 2005. С. 115.
10. Swanson L., Schwind G., Bell A., Brady J. // J. Vacuum Sci. Technol. 1979. V. 16. No. 8. P. 95.
11. Wilkans B., Venkatesan T. // J. Vac. Sci. Technol., B. 1983. V. 1. P. 1132.

About the sizes of emitters of ions and nanoparticles in point sources

I. S. Gasanov, I. I. Gurbanov

Institute of Physics of Azerbaijan NAS, 33 Javid av., AZ1143, Baku, Azerbaijan

E-mail: director@physics.ab.az

Nonmonotonic distribution of an ion current density on radius was observed in point source of In and Sn. Reduction of a current density in the center of a beam is connected with generation charged nanoparticles with the sizes of 2—20 nm, and these nanoparticles extend along an axis of system. The observable low level of a current modulation is possible in the event that the size of area of ion emission considerably surpasses the size of area of nanoparticles. The ion beam with initial current density of $\sim 10^6$ A/cm² is extracted from the liquid emitter in diameter of 100 nm.

PACS: 29.25.Ni; 52.25.Tx; 81.16.Rf

Keywords: point source of ions, area of emission, capillary instability, nanoparticle.

Bibliography — 11 references.

Received 29 September 2009

* * *