

MAGNETOTHERMOELECTRICAL PROPERTIES OF CHARACTERISTIC COMMUTATIONAL CONTACTS OF THERMOELEMENTS ON THE BASE OF $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$

M. M. Tagiyev

Institute of Photoelectronics of the Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

In present work study of dependencies of transional contact r_k of extruded samples $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ solid solution with the alloy mas. %, 57Bi + 43Sn with melting temperature $T_m \approx 412$ K on the intensity of magnetic field and temperature. This contact alloy is broadly use at commutation of thermoelements on the base Bi-Sb system solid solution. At the fixing of contact on torahs of extruded samples $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ occurs a mutual diffusion of components of solid solution and contact alloy each to other. So as result of diffusions of atoms Sn from the contact alloy in $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ solid solution near the contact appears near-contact layer of given solid solution, doped by atoms of tin. By doping near contact layer of branches of thermoelements on the base of $\text{Bi}_{85}\text{Sb}_{15}$ solid solution with donor impurities, compensating action of acceptor atoms, diffusing from the contact alloy in this layer, possible vastly lower r_k and raise efficiency of thermoelements.

УДК 536.971

ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ И МИКРОКАПЕЛЬ

И. С. Гасанов

Институт фотоэлектроники АН Азербайджана, Баку, Азербайджанская Республика

Исследовались условия генерации мелкодисперсной фазы в источнике ионов индия и олова тигельного типа. Эмиссия микрокапель пороговым образом вызывает неустойчивость тока ионного пучка. Спектр размеров заряженных частиц является сплошным в диапазоне от 20 до 400 Å, а частотный спектр колебаний — дискретным в диапазоне 2—30 МГц. Наблюдаемые характеристики жидкометаллических источников интерпретируются в рамках модели полевой ионизации пара и теплового диспергирования жидкости в сильном электрическом поле.

Острийные источники на основе проводящих жидкостей являются привлекательным объектом для исследований и технологических применений [1]. Такие источники используются в микроэлектронике для прецизионной модификации поверхности материалов, исправления дефектов масок, получения высококачественных пленок осаждением микрокапельной фазы. Разработка многоострийного источника также перспективна для создания космических двигателей малой тяги и термоядерных исследований [2].

Несмотря на достаточно длительный период комплексного изучения источников данного типа, общепринятой интерпретации процессов в них еще не достигнуто. Это касается, в частности, механизмов генерации заряженных микрокапель и возбуждения колебаний ионного тока. Затруднительность трактовки наблюдаемых явлений связана с практической невозможностью их диагностики, так как процессы ионообразования происходят в области субмикронного масштаба.

Многими исследователями предполагается, что в источниках на жидких металлах ионы образуются в результате полевого испарения из-за снижения потенциального барьера в сильном электрическом поле порядка 10^8 В/см [3, 4]. Соот-

ветствующий расчет предсказывает весьма малый размер зоны эмиссии в десятки ангстрем и, как следствие, огромную начальную плотность ионного тока около 10^8 A/cm^2 .

В экспериментах регистрировалось несоответствие состава пучка стехиометрическому составу исходного рабочего вещества. Такое различие не объясняется теорией полевого испарения [5]. Эта теория также совершенно не касается механизма генерации микрокапель в рассматриваемых источниках. В качестве такого механизма была рассмотрена неустойчивость Релея вытянутой микроструи жидкого металла [6].

Существует также мнение о том, что острые источники являются газоразрядными, и генерация ионов в них происходит в плазме газового разряда вблизи острия [7], которое обосновывается наличием здесь светящейся точки и зарегистрированной высокой плотностью возбужденных нейтралов с концентрацией порядка 10^{16} cm^{-3} [8, 9].

В последние годы развиваются представления об аномальном испарении жидкости в электрическом поле в результате возбуждения электронной подсистемы металла, что может иметь место в катодном пятне вакуумной дуги и жидкометаллических источниках [10].

В настоящей работе на основе изучения характеристик мелкодисперсной фазы жидкометаллического источника анализируются механизмы образования ионов и заряженных микрокапель при воздействии сильного электрического поля на поверхность проводящей жидкости.

В экспериментах использовался источник ионов индия и олова тигельного типа с током до 150 мкА и энергией до 20 кэВ [11]. Спектры колебаний ионного тока регистрировались посредством анализаторов с полосой пропускания до 50 МГц и 10 ГГц. Масс-спектры получались с помощью анализатора со скрещенными \vec{E} , \vec{H} полями типа фильтра скоростей Вина (рис. 1). Усилитель постоянного тока позволял фиксировать токи величиной от 10^{-12} A .

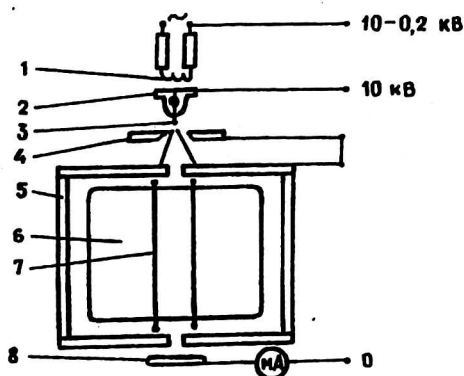


Рис. 1. Схема жидкометаллического источника ионов с масс-анализатором:
 1 — катод; 2 — контейнер; 3 — игла; 4 — экстрактор; 5 — магнитопровод;
 6 — плоский магнит; 7 — отклоняющая пластина; 8 — коллектор

При зазоре между острием и экстрактором около 0,5 мм эмиссия ионов наступала начиная с напряжения 4 – 6 кВ. До 30–40 мкА тока ионов эмиссия высокостабильна, а далее в пучке возбуждаются колебания тока с частотой около 25 МГц. При непрерывном увеличении тока в спектре пороговым образом

появляются все более интенсивные и низкочастотные моды, а ранее возбужденные моды сохраняются. Обращает на себя внимание дискретная форма спектра, т. е. в системе раскачиваются не любые, а выделенные моды. Максимальному току ионов олова 150 мкА соответствует минимальная частота колебаний около 2 МГц.

Масс-анализ состава пучка, проведенный в широкой области токов, обнаруживает в целом неизменную форму спектра. Три наибольших по величине пика соответствуют ионам Sn^{++} и Sn^+ и группе легких частиц Sn_2^+ и Sn_3^+ . В экспериментах четко зафиксировано, что колебания тока пучка возникают одновременно с эмиссией микрокапель [12], которым соответствует область малых удельных зарядов в масс-спектре (рис. 2). Оценки показывают, что при удельном заряде микрокапель $q/m = 5 \cdot 10^4$ Кл/кг на 15 атомов олова приходится один элементарный заряд, а скорость микрокапель при ускоряющем напряжении $U = 6$ кВ составляет $v = \sqrt{2qU/m} = 2,5 \cdot 10^6$ см/с.

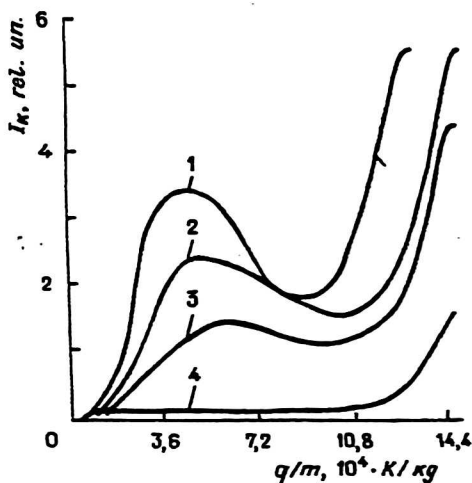


Рис. 2. Область масс-спектра ионного пучка, соответствующая группе микрокапель:

- 1 — $I_b = 28$ мкА; 2 — 40 мкА;
3 — 68 мкА; 4 — 95 мкА

Для определения размеров микрокапель после их осаждения на графитовые пленки производилось фотографирование пленок под электронным микроскопом. Оказалось, что с увеличением тока пучка в нем появляются более крупные микрокапли, размеры микрокапель составляют сплошной спектр в широкой области от 20 до 400 Å, количество самых мелких частиц превышает число самых крупных на три порядка, имеются отдельные частицы с диаметром микронного масштаба.

Следует отметить, что генерация микрокапель не приводит к излому вольт-амперной характеристики источника, в то время как масс-перенос при этом резко возрастает. Ток, переносимый микрокаплями, составляет малую долю ионного тока. Эти данные свидетельствуют о том, что генерация микрокапель не нарушает процесса эмиссии ионов.

Приведенные выше характеристики микрокапельной фазы [13] могут быть интерпретированы в рамках теплового механизма диспергирования жидкости. Значительный перегрев вершины эмиттера острых источников отмечался в ряде работ. В частности, для источника галлия температура острия достигала 1000 °С [14].

Источником нагрева является остророфокусированный пучок электронов, рождающихся при полевой ионизации паров металла и бомбардировке ионами электродов. Естественно, что порог генерации микрокапель по току ионного пучка определяется уровнем мощности, вводимой в жидкость вторичными электронами.

Характер сплошного спектра размеров микрокапель напоминает распределение пузырьков пара по размерам в кипящей жидкости, выражаемое формулой [15]

$$f(x) = \frac{1}{2} \sqrt{x} e^{-\frac{1}{3}x^{\frac{3}{2}}},$$

где $x = \frac{R}{R_0}$, R_0 — наиболее вероятный радиус пузырьков.

Генерация микрокапель сопровождается возрастанием испарения атомов и легких частиц, которое и отмечается в виде колебаний ионного тока. Частота этих колебаний обусловлена временем эмиссии микрокапель с разогретого участка жидкости. Дискретная форма спектра колебаний связана с тем, что при увеличении тока пучка новый, более низкочастотный пик в спектре появится тогда, когда мощность электронного пучка будет достаточной для разогрева более широкой концентрической зоны эмиттера. Возбужденные при меньшем токе пучка моды колебаний неизбежно будут сохраняться, так как процессы разогрева жидкости и ее диспергирования происходят за конечное время.

Имеющиеся данные подтверждают гипотезу о едином механизме образования микрокапель и ионов в жидкометаллических источниках.

Несоответствие состава ионного пучка стехиометрическому составу рабочей жидкости, наличие пара с высокой плотностью и ярко светящейся области у вершины острия свидетельствуют в пользу механизма ионизации паров в сильном электрическом поле.

Регистрируемые величины ионных токов не могут быть обеспечены обычным тепловым испарением жидкости даже при температуре 1000 °С и большом коэффициенте ионизации пара. Однако снижение энергии связи атома в результате возбуждения электронной подсистемы эмиттера при уровне вводимой мощности более 10⁶ Вт/см² обеспечивает высокую скорость аномального испарения жидкости в таких явлениях, как пробой вакуумной изоляции и эмиссия ионов с поверхности жидкости [10]. В условиях электрогидродинамического источника коэффициент полевой ионизации пара [16] близок к единице.

Литература

- Swanson L. W., Bell A. E. Liquid metal ion sources: The physics and technology of ion source. / Edited by Ian Brown, Copyright, 1989, John Wiley & Sons. P. 313—330.
- Габович М. Д., Плешивцев Н. В., Семашко Н. Н. Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 248 с.
- Gomer R. // Appl. Phys. V. 19. P. 365—375.
- Kingham D. R., Swanson L. W. // Ibid. A, 34, 1984. P. 123.
- Swanson L. W., Bell A. B., Schwind G. A. // J. Vac. Sci. Technology. 1988. B. 6(1). P. 491—495.
- Бадан В. Е., Владимиров В. В., Горшков В. Н., Солошенко И. А. // ЖТФ. 1993. Т. 63. № 6. С. 47—65.
- Сихарулидзе Г. Г. // Там же. 1997. Т. 67. № 11. С. 82—87.
- Дудников В. Г., Шабалин А. Л. Электрогидродинамические эмиттеры ионных пучков: Препринт 90-31 ИЯФ. — Новосибирск, 1990. — 30 с.
- Venkatesan T., Wagner A., Nash D. I. et al. // Appl. Phys. Lett. 1981. V. 39. № 1. P. 9—11.

10. Ptitsin V. E. // Rev. Sci. Instrum, 65(4). 1994. P. 1354. 1476—1478.
11. Габович М. Д., Гасанов И. С., Проценко И. М. // ЖТФ. 1988. Т. 58. № 12. С. 2367.
12. Бадан В. Е., Гасанов И. С.: Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 18. С. 49.
13. Gasanov I. S. Tr. // J. of Physics. 1996. Т. 20. P. 1098—1108.
14. Hornsey R. I., Marriot P. // J. Phys. D.: Appl. Phys. 1989. V. 22. № 5. P. 699—704.
15. Завойский В. К. // Атомная энергия. 1964. Т. 16. № 1. С. 64—65.
16. Мюллер Э. В., Цонг Т. Т. Полевая ионная микроскопия, полевая ионизация и полевое испарение. — М.: Наука, 1980. — 220 с.

ELECTROHYDRODYNAMIC SOURCE OF IONS AND MICRODROPLETS

I. S. Gasanov

Institute of Photoelectronics of the Azerbaijan Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

The conditions of small dispersive phase generation in the fusible type source of indium and of tin ions are investigated. The microdroplet emission cause by threshold means the instability of ion beam current. The charge particle dimension spectrum is continuous in the diapazon up 20 to 400 Å but the frequency spectrum of oscillations is discrete the diapazon up 2 to 30 MHz. The observed characteristics of liquid metal ion sources are interpreted in the frame of model of field steam ionization and of thermal liquid dispersion in the strong electrical field.