

Аналогичные зависимости  $\Delta_{0.7}^{\circ}(\Omega)$ ,  $J^w(w)$  были сняты также для полупроводникового GaAs : Сг на длине волны  $\lambda = 0.63$  мкм (рис. 4). Наблюдаемые практически линейные зависимости указывают на то, что в данном образце при используемом уровне интенсивности света  $I_0 = 3$  мВт·мм<sup>-2</sup> частота среза лежала за пределами исследованного частотного диапазона ( $f_0 > 1$  кГц).

### Список литературы

- [1] Петров М. П., Степанов С. И., Трофимов Г. С. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. Вып. 15. С. 916—921.  
[2] Трофимов Г. С., Степанов С. И. // ФТТ. 1986. Т. 22. Вып. 9. С. 2785—2789.  
[3] Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 270 с.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
3 ноября 1987 г.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОПОЛЕВОЙ ИОННОЙ ЭМИССИИ СИСТЕМ МЕТАЛЛ—ПОЛУПРОВОДНИК

Н. В. Егоров, А. Е. Корольков

### Введение

За последние годы выполнено и опубликовано значительное количество работ по термополевой ионной эмиссии (ТПИЭ) (см., например, обзоры [1, 2], а также работы [3-9]). Тем не менее количество вопросов, на которые предстоит ответить, не уменьшается, а растет, что связано как со сложностью и многообразием явлений, обуславливающих и сопровождающих ТПИЭ, так и с необходимостью учитывать в процессе лабораторных исследований потребности практики.

В абсолютном большинстве выполненных к настоящему времени работ исследовались свойства термополевых ионных источников<sup>1</sup> (ТПИИ), структурно представляющих собой системы М—М: легкоплавкий металл—подложка из тугоплавкого металла (обычно это вольфрамовое острие или капилляр). Однако подобные системы наряду с очевидными достоинствами обладают и существенными недостатками [1, 2].

Настоящая работа посвящена изучению эмиссионных характеристик перспективного, на наш взгляд, ТПИИ на основе системы легкоплавкий металл—полупроводник (М—П) (одноэмиттерных и многоэмиттерных структур Au—Si).

### Методика эксперимента

Одноэмиттерные системы Au—Si получались вакуумным напылением золота на кремниевые острия на установке ВУП-4 или непосредственно в экспериментальном приборе. Технология изготовления острий из Si для ТПИИ не отличалась от применяемой в экспериментах при полевой электронной эмиссии (ПЭЭ) кремния [10]. Но в отличие от исследований ПЭЭ, в которых обычно предпринимаются значительные усилия по предотвращению образования толстой пленки SiO<sub>2</sub>, в данной работе после изготовления кремниевые острия обрабатывались специальным образом [11] с целью получения на поверхности кремния стабильной инертной к окружающей среде окисной пленки.

Многоэмиттерные структуры Au—Si были изготовлены в институте кристаллографии АН СССР по методике, разработанной Е. И. Гиваргизовым [12].

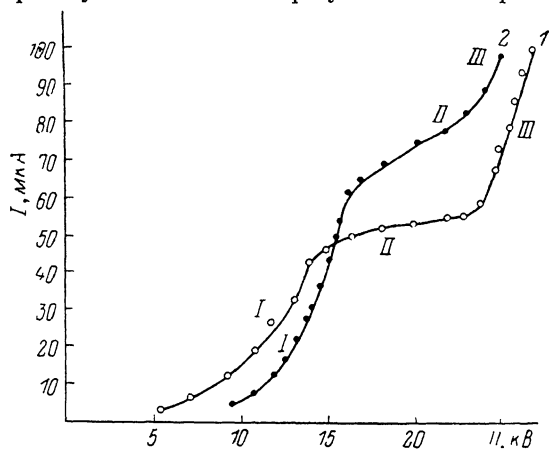
Использованные в работе экспериментальные приборы, за исключением эмиттерного узла, были сконструированы так же, как и приборы, применявшиеся нами при исследова-

<sup>1</sup> Такие ионные источники называют также жидкометаллическими (ЖМИИ) [1, 2] или электрогидродинамическими (ЭГД) [9].

ниях ПЭЭ [13]. Эмиттерный же узел изготовлялся по традиционной для экспериментов по ТПИЭ схеме: ТПИИ<sup>2</sup> — вытягивающий электрод [1, 2]. Все эксперименты проводились в сверхвысоком вакууме при  $p \leq 1 \cdot 10^{-9}$  мм рт. ст.

### Результаты эксперимента

Типичные вольт-амперные характеристики (ВАХ) для одноэмиттерного ТПИИ золота приведены на рис. 1. Как видно, ВАХ одноэмиттерного ТПИИ (кривые 1, 2) имеют три характерных участка: I — ток при увеличении напряжения растет по экспоненциальному закону,



II — насыщения, III — линейный. Количественные характеристики ТПИИ следующие: величина критического напряжения  $U_{кр}$ , при которой начинается ионная эмиссия; крутизна и протяженность отдельных участков ВАХ определяются совокупностью факторов (радиусом кривизны  $r$  вершины острия — подложки, формой экстрактора, расстоянием от вершины

Рис. 1. ВАХ одноэмиттерных систем Au—Si с различными радиусами кривизны вершины подложки (Si).

1 —  $r_1$ , 2 —  $r_2$ ;  $r_2 > r_1$ ; подложка из n-Si,  $\rho = 50$  Ом·см.

острия до экстрактора). Так,  $U_{кр} \sim \sqrt{d}$ , где  $d$  — расстояние от острия до экстрактора, и падает с уменьшением  $r$ . Качественно же форма ВАХ одноэмиттерных ТПИИ повторяется независимо от численных значений радиуса кривизны, расстояний и т. д. От температуры ТПИЭ, если только рабочая температура ионного источника была не меньше точки плавления золота, практически не зависела. Слабо зависела ТПИЭ также и от давления остаточных газов. Флуктуации тока при этом не превышали 10—15 %, причем для всех трех участков

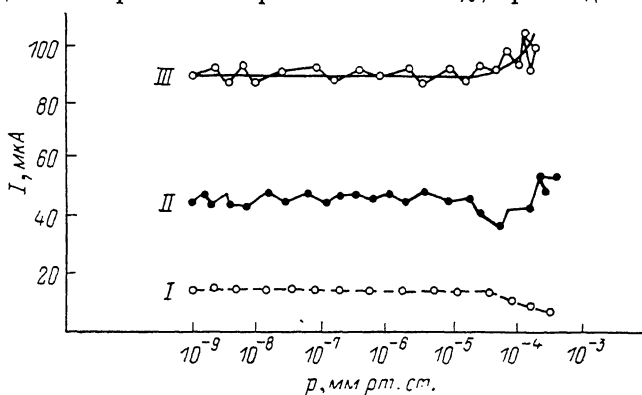


Рис. 2. Влияние давления остаточных газов на стабильность ТПИЭ для трех участков ВАХ (см. рис. 1, кривая I).

ВАХ (рис. 2). Масс-спектрометрический анализ ионного пучка одноэмиттерных ТПИИ показал, что он содержит: 60 %  $Au^+$ , 35 %  $Au^{++}$ , 5 % —  $Si^+$  и  $Si^{++}$ . Максимальный ионный ток, который удалось получить с одноэмиттерного источника, 100 мкА. При отборе тока 100 мкА температура вблизи эмиттера, была, по-видимому, близка к температуре плавления кремния. Этот вывод следует из того, что при переключении эмиттера на работу в режиме ПЭЭ удавалось наблюдать элементы симметричного изображения кремния.

ВАХ для двух из 20 исследованных многоэмиттерных ТПИИ золота представлены на рис. 3. При анализе этих и других ВАХ, полученных нами для всех имевшихся у нас многоэмиттерных источников, ярко выраженных, повторяющихся закономерностей обнаружить

<sup>2</sup> Нагрев золота до температуры, соответствующей его точке плавления, осуществлялся пропусканием тока через «ножки» кремниевой заготовки [10].

не удалось. Начальный ионный ток и характер роста тока при увеличении напряжения определяются, по-видимому, структурными особенностями каждого конкретного многоэмиттерного источника: высотой и радиусами кривизны вершин отдельных эмиттеров, соотношением между радиусами кривизны, высотами эмиттеров и расстоянием между ними. Максимальный стационарный ток с одного многоэмиттерного ТПИИ составлял 300 мкА. Пучок состоял из ионов  $Au^+$  50 %,  $Au^{++}$  30 %,  $Si^+$  и  $Si^{++}$  20 %.

### Обсуждение результатов

Полученные нами экспериментальные результаты качественно хорошо согласуются с представлениями о ТПИЭ, развитыми для систем М—М [1-9]. Тем не менее пока трудно дать однозначное объяснение физической природы появления участков с различным наклоном ВАХ.

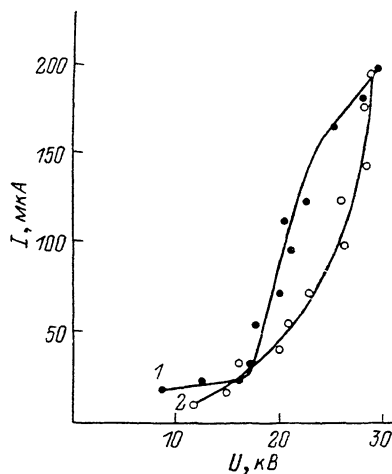


Рис. 3. ВАХ для двух различных многоэмиттерных систем Au—Si (подложки из n-Si).

Что касается количественных характеристик ТПИЭ, несомненно, они зависят от свойств материала подложки, от характера взаимодействия «рабочего» (легкоплавкого) металла и подложки и особенно от качества смачиваемости подложки «рабочим» металлом.

Перспективы применения систем М—П в ТПИИ очевидны. Эти системы весьма технологичны: имеются опробованные методы изготовления как одноэмиттерных, так и многоэмиттерных ТПИИ; величины предельных токов не меньше, чем структур М—М, а стабильность тока выше. Эффективность, эмиссионные характеристики многоэмиттерных ТПИИ могут быть значительно улучшены при применении систем с оптимальной упаковкой эмиттеров [14]. Именно для систем с оптимальной упаковкой нам удалось получить максимальный (для структур Au—Si) ток.

Следует также отметить, что полупроводниковые подложки могут использоваться даже при применении в качестве рабочего материала таких металлов, как Al, для которого применение в качестве подложки W практически невозможно.

### Список литературы

- [1] Габович М. Д. // УФН. 1983. Т. 140. № 1. С. 136—150.
- [2] Габович М. Д., Плевшицев Н. В., Семашко Н. Н. Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей. М.: Энергоатомиздат, 1986. 249 с.
- [3] Gomer R. // Appl. Phys. 1979. Vol. 19. P. 365—375.
- [4] Григорьев А. И., Ширяев С. О. // ЖТФ. 1987. Т. 57. № 1. С. 196—198.
- [5] Mair G. L. R. // J. Phys. D. 1984. Vol. 17. P. 2323—2330.
- [6] Дудников В. Г., Шабалин А. Л. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 13. С. 808—812.
- [7] Forbes R. G., Mair G. L. R. // J. Phys. D. 1982. Vol. 15. P. 153—158.
- [8] Kingham D. R., Swanson L. W. // Appl. Phys. 1984. Vol. A-34. P. 123—132.
- [9] Гелль А. П., Егоров Н. В. // Тез. XX Всесоюз. конф. по эмиссионной электронике. Киев, 1987. Т. 1. С. 206.
- [10] Автоэлектронная эмиссия полупроводников / Под ред. И. Л. Сокольской. М.: Наука, 1971. 216 с.
- [11] Файнштейн С. М. Обработка и защита поверхности полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1970. 296 с.
- [12] Гиварзисов Е. И. Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара. М.: Наука, 1977. 30 с.
- [13] Егоров Н. В., Карпов А. Г., Овсянников Д. А., Прудников А. П. // Вопр. атомной науки и техники. Сер. Техника физического эксперимента. 1987. Вып. 3 (34). С. 58—59.
- [14] Алмазов А. А., Егоров Н. В. // РИЭ. 1986. Т. 31. № 12. С. 2452—2458.

Ленинградский  
государственный университет

Поступило в Редакцию  
30 ноября 1988 г.  
В окончательной редакции  
22 февраля 1989 г.