

05;11;12

Туннелирование скоррелированных электронов при полевой электронной эмиссии

© В.И. Маслов

С.-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. М.А. Бонч-Бруевича*Поступило в Редакцию 28 сентября 2000 г.*

Зарегистрированы элементарные акты скоррелированного туннелирования электронов из сверхмалых областей полевого металлического эмиттера. Рассмотрены наиболее значимые микро- и макропараметры, способные приводить к появлению многочастичного эффекта.

В ранее выполненном цикле работ были проведены систематические корректные исследования полевой электронной эмиссии (ПЭЭ) с целью изучения распределения элементарных эмиссионных актов по их численности, т.е. статистики ПЭЭ [1,2]. С высокой степенью точности (99.9%) было показано, что в температурном интервале 4.2–300 К ПЭЭ с вольфрама и ниобия носит одноэлектронный характер.

В последние годы в эмиссионной электронике и в физике туннельных явлений особо выделяются проблемы и задачи "точечных" эмиссионных источников [3,4]. Получение новых данных о корреляционных эффектах при ПЭЭ прямым экспериментальным методом — актуальная тема современных работ. В связи с этим целенаправленно был поставлен ряд экспериментов по исследованию статистики ПЭЭ с учетом размерных эффектов.

В наших экспериментах проводилось изучение статистики ПЭЭ с отдельных участков диаметром до 25 Å, тогда как ранее минимальный размер исследуемого участка составлял величину 100 Å. Увеличение автоэмиссионного проектора и вычисление размера исследуемого участка поверхности эмиттера определялось с помощью измерения расстояния на аноде между гранями (112) и (121), которое соответствует на острие радиусу острия.

Измерения проводились по методике, описанной в работах [2,5]. В качестве эмиттера использовались острия, полученные путем электрохимического травления, из вольфрама и ниобия.

Обработка полученных данных показала наличие групп скоррелированных во времени и в пространстве электронов, туннелирующих в вакуум с поверхности металлов. Многочастичные акты эмиссии наблюдались с атомарно чистой поверхности катода, состояние которой контролировалось с помощью катодно-люминесцентного стекла, расположенного на аноде. В зондовое отверстие выводился электронный пучок с граней (110), (122) и их окружений. Величина электронного потока, регистрируемого полупроводниковым детектором, варьировалась в интервале (100–3000) e/s. Измерения проводились в температурном интервале (4.2–300) К, давление остаточных газов не превышало величины $5 \cdot 10^{-7}$ Па. Чувствительность метода регистрации позволила выявить группы из двух, трех и четырех электронов.

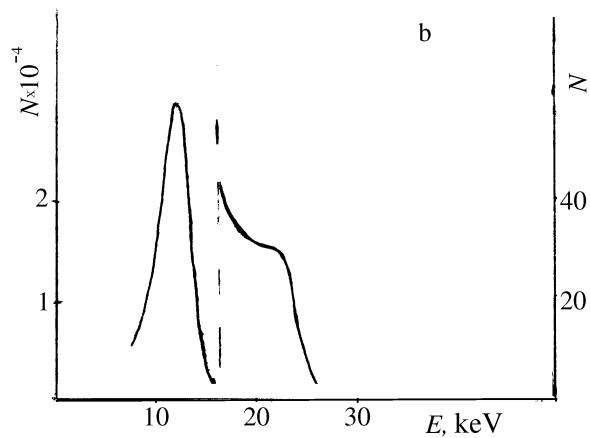
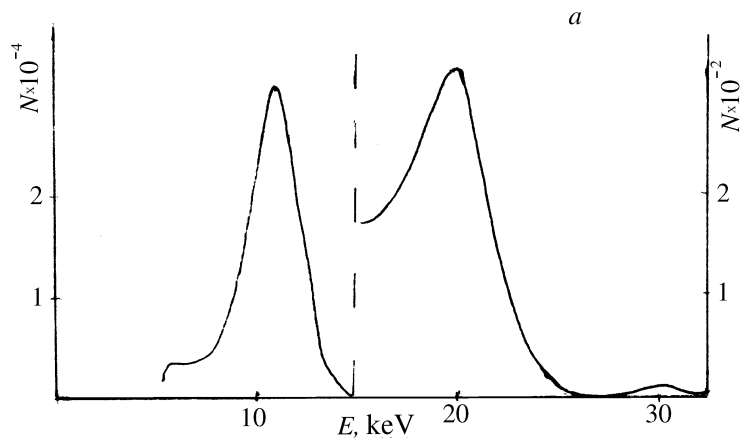
Характерный спектр статистики многоэлектронной эмиссии показан на рисунке, *a*. В данном случае эмиттер — ниобиевый, $T = 300$ К, зондовый поток 1400 e/s, диаметр диафрагмы 25 μm .

Относительная величина двухчастичного потока составила 0.04, а потока из трех электронов $0.7 \cdot 10^{-3}$, что более чем на порядок превышает величину пуассоновских наложений.

Заметных температурных зависимостей статистики ПЭЭ не наблюдалось. При переходе ниобия в сверхпроводящее состояние (при $T = 4.2$ К) характер статистики не менялся. Последнее наблюдение объясняется, скорее всего, большой длиной когерентности у ниобия ($4 \cdot 10^{-6}$ см) в сравнении с размером зондируемого участка.

Реперные эксперименты с зондирующей диафрагмой 200 μm показали результаты, аналогичные ранее полученным [1,2]. На рисунке, *b* приведен один из спектров статистики ПЭЭ для последнего случая: величина второго пика в пределах ошибки измерений соответствует коэффициенту наложений.

Формы кривых в спектрах, изображенных на рисунке, *a* и *b*, существенно отличаются: на рисунке, *b* второй пик имеет типичную для наложений в стационарном режиме форму "ступеньки", в то время как в спектре на рисунке, *a* форма второго пика близка к гауссовой. Это различие можно объяснить тем, что время корреляции в группе из двух электронов меньше длительности рабочего импульса в спектрометрическом тракте.



Спектры статистики ПЭЭ из ниобия: *a* — с диафрагмой $25 \mu\text{m}$; *b* — с диафрагмой $200 \mu\text{m}$.

Интенсивность многочастичной эмиссии при увеличении численности элементарного акта уменьшается, как правило, по закону, близкому к геометрическому.

Для интерпретации полученных результатов необходимо отметить, что при уменьшении диаметра зондирующей диафрагмы в 4 раза исследуемая площадь уменьшается в 16 раз, и при этом во столько же

раз увеличивается плотность тока ПЭЭ при тех же макроскопических параметрах регистрации. Поэтому следует рассматривать не только процессы, имеющие размерный характер, но и явления, имеющие зависимость от плотности тока ПЭЭ [5,6]. Так, например, для кооперативных процессов с квадратичной зависимостью от тока вероятность наблюдения корреляционных эффектов возрастает на два порядка при уменьшении диафрагмы в 4 раза. Однако в наших экспериментах явной зависимости не наблюдалось. Уместно здесь отметить, что последние замечания не входят в противоречие с результатами работы [7], когда изучалась статистика ПЭЭ при значительно больших плотностях тока, так как в указанной работе при увеличении плотности тока пропорционально уменьшалось время разрешения.

При рассмотрении размерных эффектов необходимо учитывать, что в потоке, проходящем через столь малое зондовое отверстие, значительно уменьшается доля электронов, имеющих большую начальную тангенциальную скорость и эмитированных с данного участка. И наоборот, относительная доля "соседних" электронов с большой тангенциальной скоростью увеличивается, что может приводить к оптимальному соотношению размера участка и длины корреляции. Это заключение имеет особое значение для наших экспериментов, так как размер зондируемого участка 25 Å примерно равен диаметру круга рассеяния [8].

Рабочей остается также гипотеза о проявлении когерентных свойств ПЭЭ. Более последовательная интерпретация полученных результатов требует проведения серии дополнительных экспериментов.

Список литературы

- [1] Фурсей Г.Н., Егоров Н.В., Кочерыженков А.В. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. В. 13. С. 798–801.
- [2] Fursey G.N., Kocheryzhenkov A.V., Maslov V.I. // Surf. Sci. 1991. V. 246. P. 365–372.
- [3] Fink Hans-Werner et al. // Phys. Rev. Lett. 1990. V. 65. N 10. P. 1204.
- [4] Васичев Б.И., Рыбаков Ю.Л. // ЖТФ. Т. 59. В. 5. С. 56.
- [5] Маслов В.И., Фурсей Г.Н., Кочерыженков А.В., Афанасьева Н.П. // ПТЭ. 1987. С. 133–135.
- [6] Cadzuk J.W., Plummer E.W. // Phys. Rev. Lett. 1971. V. 26. N 2. P. 92–95.
- [7] Маслов В.И., Фурсей Г.Н., Кочерыженков А.В. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 10. С. 164–167.
- [8] Елинсон М.И., Васильев Г.Ф. Автоэлектронная эмиссия. М., 1958. С. 272.