

©1994 г.

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПЕРЕНОС ГОРЯЧИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КВАНТОВЫХ ПРОВОЛОКАХ С РАССЕЯНИЕМ НА ПОЛЯРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ФОНОНАХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.М.Осадчий

Институт физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, Новосибирск, Россия
(Получена 6 декабря 1993 г. Принята к печати 11 января 1994 г.)

Процессы переноса электронов в квантовых проволоках отличаются от объемных вследствие наличия сингулярностей в плотности состояний [1]. В последнее время стационарный перенос в проволоках из GaAs изучался теоретически в ряде работ (см. [2-5]). Работы по исследованию установления стационарного состояния практически отсутствуют, исключая [5-7]. В [5,6] рассматривалась динамика дрейфовой скорости, в [7] — условия для удержания или убегания электронов в проволоке. В данной работе мы исследуем эволюцию электронной функции распределения в квантовых проволоках из GaAs и InAs, отличающихся величиной интенсивности электрон-фононного взаимодействия. Для исследования применяется многочастичный метод Монте-Карло. Используется модель, включающая одну энергетическую подзону и рассеяние только на полярных оптических фононах с вероятностью рассеяния из работы [1]. Температура берется настолько низкая, что рассеяние на акустических фононах и поглощение оптических фононов пренебрежимо малы.

Результаты расчета показали, что динамика функции распределения различна в проволоках из GaAs и InAs и существенно отличается от объемной [8]. На рис. 1 показана временная эволюция функции распределения электронов в импульсном пространстве в проволоке из InAs. Начальная функция дельтообразная и на рисунке не показана. Вначале электроны движутся баллистически, а при достижении энергии оптического фонона включаются процессы испускания. В проволоках включение испускания фононов происходит резко и отсутствует угловая разориентация импульса, поэтому после первого рассеяния появляются два хорошо разделяющихся пика (рис. 1,а), что не происходит в объемном материале [8]. Левый (правый) пик соответствует

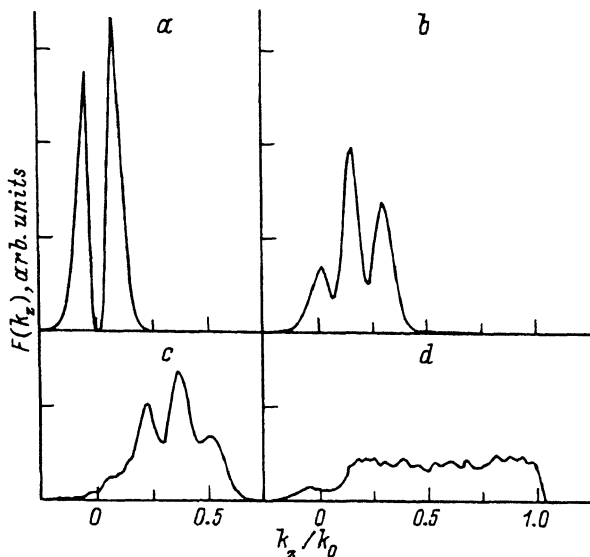


Рис. 1. Функция распределения электронов в квантовой проволоке из InAs размером $10 \times 10 \text{ нм}^2$ при температуре 4.2 К в моменты времени, пс: *a* — 9, *b* — 19, *c* — 29, *d* — 600 после включения электрического поля 100 В/см. k_0 — импульс электрона с энергией оптического фонона.

электронам, рассеявшимся «назад» («вперед»). После второго рассеяния каждый из пиков производит еще два, но два из образовавшихся четырех пиков сливаются (рис. 1, *b*). Эти пики могут выжить после нескольких рассеяний, рис. 1, *c* представляет функцию распределения после третьего рассеяния. После пятого рассеяния максимумы полностью сливаются. Таким образом, функция распределения в проволоке из InAs может иметь несколько пиков в течение времени около 40 пс. Стационарная функция распределения имеет форму в виде плато (рис. 1, *d*), тогда как в объеме эта функция острая [8]. Электронный

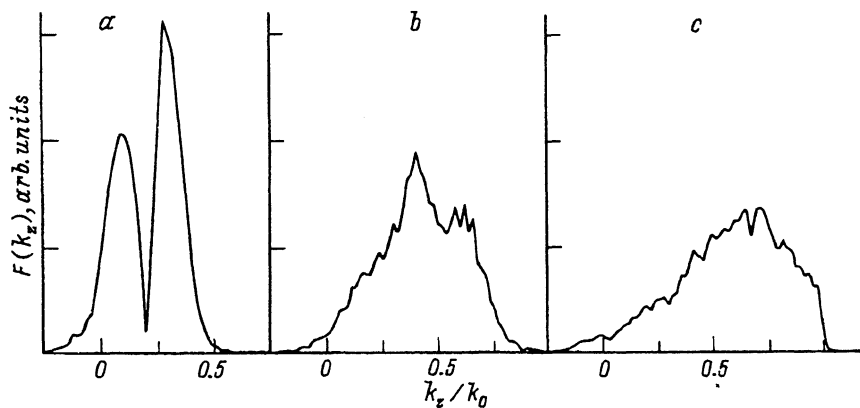


Рис. 2. Функция распределения электронов в квантовой проволоке из GaAs размером $10 \times 10 \text{ нм}^2$ при температуре 4.2 К в моменты времени, пс: *a* — 4, *b* — 8, *c* — 12 после включения электрического поля 500 В/см.

ансамбль в объемном InAs достигает стационарного состояния примерно за 50 пс, а в проволоке за 500 ÷ 600 пс.

Такая эволюция функции распределения проявляется в том, что отклик дрейфовой скорости в проволоке, так же как и в объеме, имеет характер затухающих колебаний, возникающих вследствие чередования баллистического движения электронов и испускания фононов. В проволоке эти осцилляции выражены лучше и существуют гораздо дольше, чем в объеме, вследствие упомянутых особенностей процессов рассеяния [5,9].

Характер нестационарного переноса зависит от интенсивности рассеяния. В GaAs интенсивность рассеяния выше, чем в InAs, и эволюция функции менее интересна. После первого рассеяния два пика разделены меньше, так как электроны проникают на меньшую глубину в область энергии выше энергии фонона (рис. 2,а). Эти пики плохо различаются уже после второго рассеяния (рис. 2,б). Электроны в объемном GaAs достигают стационарного состояния за время около 10 пс, а в проволоке за 40 ÷ 50 пс.

Качественно вид эволюции функции распределения сохраняется и при температуре 77 К для узкого начального распределения. Такая ситуация может быть реализована как при фотоинжекции в проволоку электронов, так и для наблюдения абсолютной отрицательной проводимости [6].

Таким образом, мы продемонстрировали, что в проволоках из InAs неравновесная функция распределения электронов в импульсном пространстве имеет хорошо разделенные пики, которые могут выжить после нескольких рассеяний. В проволоках из GaAs таких особенностей функции распределения нет из-за более интенсивного электрон-фононного взаимодействия.

Автор признателен А.В. Ефанову за обсуждение полученных результатов. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Список литературы

- [1] J.P. Leburton. *J. Appl. Phys.*, **56**, 2850 (1984).
- [2] D. Chattopadhyay, A. Bhattacharyay. *Phys. Rev. B*, **37**, 7105 (1988).
- [3] S. Briggs, J.P. Leburton. *Phys. Rev. B*, **38**, 8163 (1988).
- [4] J.P. Leburton. *Phys. Rev. B*, **45**, 11022 (1992).
- [5] J.P. Leburton, D. Jovanovic. *Sem. Sci. Techn.*, **7**, B202 (1992).
- [6] R. Mickevicius, V. Mitin, M.A. Stroscio, M. Dutta. *J. Phys.: Condens. Matter.*, **5**, 2233 (1993).
- [7] T. Yamada, J. Sone. *Phys. Rev. B*, **40**, 6265 (1989).
- [8] A. Matulionis, J. Pozela, A. Reklaitis. *Phys. St. Sol. (a)*, **31**, 83 (1975).
- [9] V.M. Osadchy. In: *Nanostructures: Physics and Technology. Int. Symp. Abstracts. St. Petersburg* (1993).

Редактор Т.А. Полянская