

Выделение джоулева тепла при прохождении тока в наноструктурах (Обзор)

© В.Л. Гуревич, М.И. Мурадов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, Россия

E-mail: mag.muradov@mail.ioffe.ru

(Поступил в Редакцию 11 августа 2011 г.)

Обсуждается генерация джоулева тепла при бесстолкновительном прохождении постоянного и переменного тока в полупроводниковых квантовых проволоках, соединяющих два классических резервуара. Поперечный размер квантовой проволоки порядка длины волны де Бройля электронов проводимости.

Рассмотрено пространственное распределение тепла. Тепло выделяется в резервуарах на расстоянии порядка длины свободного пробега электронов. Полное джоулево тепловыделение в резервуарах оказывается одинаковым.

Авторы благодарны Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку работы (грант № 95-02-04109-а).

Содержание

1. Введение
2. Кинетическое уравнение для электронов в полупроводниках: трехмерный случай
3. Сохранение энергии
4. Производство энтропии
5. Диссипация механической энергии
6. Роль столкновений при производстве энтропии
 - 6.1. Столкновения электронов с примесями
 - 6.2. Электрон-электронные столкновения
 - 6.3. Электрон-фононные столкновения
 - 6.4. Фонон-фононные столкновения
 - 6.5. Столкновения фононов с дефектами решетки
7. Закон Ома
8. Примеры вычисления производства тепла
 - 8.1. Остаточное сопротивление
 - 8.2. Электрон-фононное рассеяние
 - 8.3. Взаимное электрон-фононное увлечение
9. Явления переноса в квантовой наноструктуре
10. Производство энтропии в наноструктуре
11. Генерация джоулева тепла током в наноструктуре: бесстолкновительный случай
12. Учет столкновений с фононами в нанопроволоке
13. Электрон-дырочная симметрия вырожденных проводников
14. Случай резкого контакта между нанопроволокой и резервуарами
15. Высокочастотная проводимость
16. Заключение

1. Введение

В течение последних десятилетий исследовались теоретически и экспериментально различные явления в квантовых проволоках, т. е. проводниках, у которых

поперечные размеры порядка длины волны де Бройля электронов проводимости. Сюда относятся ступенчатое изменение контактного, дробовой шум, термоэлектрические свойства, кулоновское увлечение и целый ряд других кинетических явлений. Полное джоулево тепловыделение при прохождении тока через квантовую проволоку определяется из простых энергетических соображений, роль скоро известен контактный G проводника. Такие соображения, однако, ничего не говорят о пространственном распределении джоулева тепла. Между тем знать соответствующие закономерности необходимо при конструировании устройств, использующих наноструктуры, равно как и больших интегральных схем, с тем, чтобы уменьшить их перегрев. Обычно именно большое тепловыделение и его нелокальность затрудняют работу подобных устройств.

Расчет джоулева тепловыделения — альтернативный способ определения проводимости квантовой проволоки. В настоящем обзоре рассмотрено тепловыделение при баллистическом прохождении тока в квантовых проволоках [1]. Следует подчеркнуть, что речь пойдет именно о необратимом выделении тепла. Кроме него может иметь место также и эффект Пельтье, т. е. выделение тепла на контактах двух проводников при прохождении тока, пропорциональное этому току. Оно положительно вблизи одного из контактов и отрицательно вблизи другого, знак эффекта меняется при изменении направления постоянного тока на противоположное. Этот эффект мы не будем рассматривать.

Сопротивление классического баллистического точечного контакта между двумя металлами рассмотрено в пионерской работе Шарвина [2]. Характерные размеры контакта считались гораздо большими, чем длина волны де Бройля электронов. Кулик, Омелянчук и Шехтер [3] указали, что процессы, приводящие к сопротивлению контакта, и генерация тепла пространственно разделены.