Электрон-электронное рассеяние и проводимость длинных многомодовых каналов

Нагаев К.Э.

ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 125009, Москва, Моховая ул., 7-11

DOI 10.34077/Semicond2019-147

Хотя электрон-электронное рассеяние не даёт непосредственного вклада в электрическое сопротивление в отсутствие процессов переброса, оно влияет на ток в проводниках малого размера. В частности, оно приводит к минимуму в температурной зависимости сопротивления провода с диффузным рассеянием на границах благодаря электронным аналогам эффектов Кнудсена и Пуазеля [1]. Последний из них представляет собой уменьшение сопротивления с увеличением температуры вследствие уменьшения вязкости электронной жидкости и известно также как эффект Гуржи [2]. В этом случае электрон-электронное рассеяние играет роль смазки для шероховатых границ провода.

Избыточный импульс электронов может поглощаться не только явно на шероховатых границах проводника, но и неявно в электронных резервуарах (электродах) на его концах. Таким образом, в случае его конечных размеров электрон-электронное рассеяние может давать вклад в сопротивление даже для зеркального отражения от границ. Отрицательной поправке к проводимости создаётся таким парными столкновениями, которые изменяют число электронов,двигающихся вправо или влево.

Если длина проводника мала, функция распределения электронов практически постоянна внутри него, и поправка к току пропорциональна этой длине и скорости релаксации антисимметричной по импульсам части функции распределения. Однако если длина проводника много больше характерной длины электрон-электронного рассеяния, то в его средней части электроны имеют квазиравновесное фермиевское распределение со смещённым центром масс, которое обеспечивает сохранение тока. Такое распределение тождественно обращает в ноль интеграл столкновений, и поэтому на сопротивление проводника влияют только столкновения электронов вблизи его концов. В результате поправка к току достигает насыщения в пределе большой длины проводника и оказывается пропорциональна произведению антисимметричной скорости релаксации и характерной длины релаксации распределения электронов

В случае трёхмерного канала как симметричная, так и антисимметричная часть распределения релаксируют с одной и той же скоростью, в то время как характерная длина релаксации обратно пропорциональна ей. Поэтому с увеличением длины поправка к проводимости стремится к предельному значению $\delta G/G_0 \approx -0.07$, которое не зависит ни от параметра электрон-электронного рассеяния, ни от температуры.

Для двумерного проводника релаксация симметричной и антисимметричной части распределения электронов описываются двумя разными скоростями τ_s^{-1} и τ_a^{-1} , первая из которых пропорциональна квадрату температуры, а вторая — её четвёртой степени [3]. Поскольку в пространственно-неоднородной системе чётные и нечётные гармоники функции распределения перемешиваются между собой благодаря дрейфовому члену в кинетическом уравнении, характерная длина релаксации из-за их перемешивания оказывается пропорциональна $(\tau_s \tau_a)^{1/2}$. Поэтому в итоге относительная поправка к проводимости имеет вид $\delta G/G_0 \approx -0.1(\tau_s/\tau_a)^{1/2}$, то есть пропорциональна температуре [4]. Измерения температурной зависимости этой поправки к проводимости позволили бы проверить теорию электрон-электронного рассеяния в двумерных системах.

[1] J.E Black, *Phys. Rev. B.*, **21**, 3279 (1980).

[2] Р.Н. Гуржи, *УФН*, **94**, 689 (1968).

[3] R.N. Gurzhi, A.N. Kalinenko, A.I. Kopeliovich, *Phys. Rev. Lett.*, **74**, 3872 (1995).

[4] K.E. Nagaev, *Physica E*, **101**, 144 (2018).