

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВЫХ ПОПРАВОК К ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫМ КОЭФФИЦИЕНТАМ КВАЗИДВУМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР InSb/GaAs

Д.А.Кичигин, В.Т.Игуменов, О.А.Миронов, С.В.Чистяков

Впервые экспериментально обнаружены логарифмические поправки к температурным зависимостям проводимости и коэффициента Холла квазидвумерных электронов в гетеропереходе p -InSb/ i -GaAs. Наблюдаемые аномалии объяснены существенным влиянием спин-орбитальных эффектов на кинетические явления при гелиевых температурах.

В теоретических работах ¹⁻³ было предсказано существование квантовых поправок к компонентам тензора проводимости в магнитном поле в условиях слабой локализации. В случае двумерного электронного газа поправки имеют логарифмическую зависимость от температуры, и вклад от межэлектронных взаимодействий в условиях примесного рассеяния дает следующие соотношения для проводимости на квадрат¹:

$$\Delta\sigma_{xx}^A = A \frac{e^2}{2\pi^2\hbar} \ln T\tau, \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_{xy} = 0. \quad (2)$$

Аналогичные соотношения для вклада от локализации электронов имеют вид ^{2,3}:

$$\Delta\sigma_{xx}^B = B \frac{e^2}{2\pi^2\hbar} \ln T\tau, \quad (3)$$

$$\frac{\Delta\sigma_{xy}}{\sigma_{xy}} = \frac{2\Delta\sigma_{xx}}{\sigma_{xx}}. \quad (4)$$

Используя известное выражение для коэффициента Холла в классически слабых магнитных полях $R_H \sim \sigma_{xy} / \sigma_{xx}^2$ и соотношения (1), (2), (3) и (4), можно показать, что

$$\frac{\Delta R_H}{R_H} \bigg/ \frac{\Delta\sigma_{xx}}{\sigma_{xx}} = -2 \frac{\Delta\sigma_{xx}^A}{\Delta\sigma_{xx}^A + \Delta\sigma_{xx}^B} = -2 \frac{A}{A+B}, \quad (5)$$

где $B = ap$ (p — показатель степени в зависимости времени релаксации фазы волновой функции электрона от температуры $\tau_\varphi \sim T^{-p}$).

Согласно⁴ коэффициент $a = 1$ для простой энергетической зоны без спин-орбитальных (СО) эффектов, а при наличии сильной спин-орбитальной релаксации в квазидвумерном случае $a = -1/2$.

Таким образом, из (5) видно, что эффекты спин-орбитального взаимодействия должны приводить к выполнению следующего неравенства:

$$\gamma = \left| \frac{\Delta R_H}{R_H} \bigg/ \frac{\Delta\sigma_{xx}}{\sigma_{xx}} \right| > 2, \quad (\text{так как } A > 0; 1 \leq p \leq 3).$$

В отсутствие СО эффектов $0 \leq \gamma \leq 2$, что и наблюдалось экспериментально в инверсионных каналах p -Si⁵ и в гетеропереходах GaAs/GaAlAs⁶.

В настоящем сообщении приводятся первые результаты исследований аномалий гальваномангнитных коэффициентов квазидвумерных электронов гетероэпитаксиальных структур InSb/ i -GaAs, получены методами вакуумной эпитаксии на подложках из полупроводящих

этого GaAs. Образцы были изготовлены по стандартной геометрии для холловских измерений на постоянном токе: имелось две пары потенциальных контактов, выполненных сплавлением чистого In, отношение длины к ширине равнялось четырем.

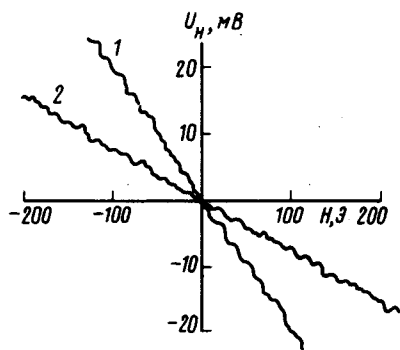


Рис. 1. Зависимость напряжения Холла от магнитного поля при температурах 1,5 К (1) и 4,2 К (2). Ток через образец 10^{-6} А

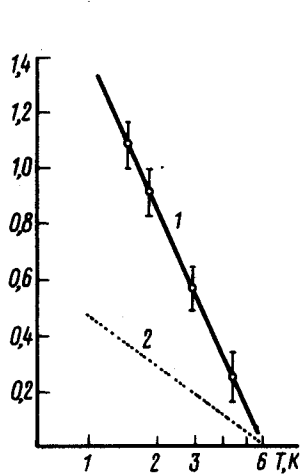


Рис. 2

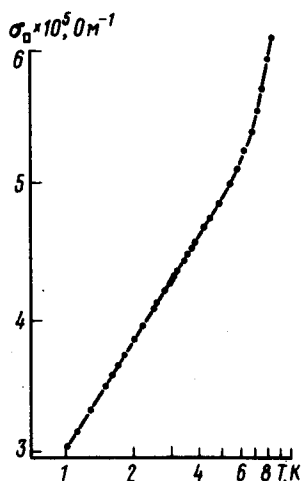


Рис. 3

Рис. 2. Температурные зависимости относительных измерений коэффициента Холла $\Delta R_H / R_H$ (1) и сопротивления на квадрат $\Delta \rho / \rho$ (2)

Рис. 3. Зависимость проводимости на квадрат σ_0 от температуры для квазидвумерного инверсионного слоя гетероперехода p -InSb/ i -GaAs

В диапазоне температур $12 \text{ К} < T < 300 \text{ К}$ образцы имели зависимости $R_H(T)$, $\sigma(T)$, характерные для обычного массивного p -InSb с примесной концентрацией дырок $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Однако при $T < 10 \text{ К}$ знак коэффициента Холла становился отрицательным, появлялось резко анизотропное аномальное магнитосопротивление, а эффективная холловская подвижность электронов $\mu_H = \sigma R_H$ не превышала $500 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{сек}$ при $T = 1 \text{ К}$.

Измерения были выполнены в установке типа криостат в криостате, в котором глубокая откачка паров He^4 из внутреннего гелиевого дьюара адсорбционным насосом позволяла получать $T \approx 0,99 \text{ К}$. Магнитное поле создавалось сверхпроводящим соленоидом и контролировалось тонкопленочным холловским датчиком из n -InSb, расположенным рядом с образцом. Все измерения выполнялись в линейном по электрическому полю режиме (ток через образец не превышал 10^{-6} А) в магнитных полях менее 200 Э (рис.1).

На рис.2 представлены температурные зависимости относительного изменения величин коэффициента Холла $\Delta R_H / R_H$ (прямая 1) и сопротивления на квадрат $\Delta \rho / \rho$ (прямая 2) в полулогарифмическом масштабе. Видно, что для данных величин характерен логарифмический вид температурной зависимости в диапазоне $1 \text{ К} < T < 6 \text{ К}$ и что $\gamma = 3,2 \pm 0,5$.

Величина $\gamma > 2$ согласуется с наблюдаемым положительным аномальным поперечным магнитосопротивлением в полях менее 10 кЭ при $T = 4,2 \text{ К}$ и доказывает превалирующую роль СО эффектов в кинетических явлениях квазидвумерных инверсионных слоев, расположенных на границе гетероструктуры InSb/GaAs (со стороны InSb, так как для GaAs удельное сопротивление $\rho > 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$).

Таким образом, наблюдаемые особенности объясняются учетом спин-орбитального расщепления зонных состояний при рассмотрении обычного рассеяния, что и должно иметь место в кубических полупроводниках $A^{III}B^V$ (InSb) без центра инверсии⁴.

Из экспериментально измеренной зависимости проводимости на квадрат от температуры (рис.3) с помощью выражения для суммарной квантовой поправки $\Delta \sigma = (A+B) (e^2 / 2\pi^2 \hbar) \ln T$ с учетом соотношения (5) можно отдельно вычислить коэффициенты, характеризующие вклад

от эффектов локализации и взаимодействия, используя следующие соотношения:

$$A = \frac{b\gamma}{2} \quad B = b \left(1 - \frac{\gamma}{2} \right), \quad (6)$$

где $b = A + B = 0,85 \pm 0,005$; $A = 1,36 \pm 0,2$; $B = -0,5 \pm 0,2$.

Полученное значение B хорошо согласуется с величиной $p = 1$, определенной из температурной зависимости поперечного МС согласно ⁴, и указывает на существенность электрон-электронных столкновений, выполняющих роль неупругого механизма релаксации.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Б.Л.Альтшулеру, А.Г.Аронову, Т.А.Полянской за плодотворные обсуждения экспериментальных результатов.

Литература

1. Altshuler B.L., Aronov A.G., Lee P.A. Phys. Rev. Lett., 1980, 44, 1288.
2. Altshuler B.L., Khmel'nitzkii D.E., Larkin A.I., Lee P.A. Phys. Rev., 1980, B22, 5142.
3. Fukuyama H. J.Phys. Soc., Japan, 1980, 48, 2169.
4. Альтшулер Б.Л., Аронов А.Г., Ларкин П.И., Хмельницкий Д.Е. ЖЭТФ, 1981, 81, 768.
5. Uren M.J., Davis R.A., Pepper M. J. Phys. C: Solid State Phys., 1980, 13, L995.
6. Poole D.A., Pepper M., Glew R.W. J. Phys. C: Polid State Phys., 1981, 14, L995.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию

2 июля 1982 г.