

ТРАНСПОРТ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ: ПЕРЕХОД ОТ ПОРЯДКА К БЕСПОРЯДКУ

*Г.М.Гусев, З.Д.Квон, Л.В.Литвин, Ю.В.Настаушев, А.К.Калагин,
А.И.Торопов*

*Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН
630090, Новосибирск*

Поступила в редакцию 9 июля 1992 г.

Экспериментально исследованы проводимость и отрицательное магнетосопротивление двумерных электронов в периодической и разупорядоченной решетке антиточек. Определены длина свободного пробега l и длина фазовой когерентности L_ϕ . Обнаружена немонотонная зависимость длин l и L_ϕ от степени беспорядка.

Периодическая решетка рассеивателей, получаемая вытравливанием в высокоподвижном двумерном электронном газе отверстий субмикронного диаметра (антиточек), привлекает большое внимание, так как позволяет моделировать вид рассеивающего потенциала ¹⁻³. В частности, это дает возможность проследить изменение электронных свойств при переходе от периодически расположенных рассеивателей к разупорядоченному потенциалу, который имеет место в обычной электрон-примесной системе.

Данная статья посвящена изучению подвижности и отрицательного магнетосопротивления, обусловленного интерференционными поправками к проводимости в системе с искусственными рассеивателями.

Экспериментальные образцы представляли собой холловские мостики на основе гетероструктур GaAs/AlGaAs с двумерным электронным газом. Параметры исходных слоев и метод приготовления периодических решеток описаны ранее ⁴. Исследовались образцы с периодом решетки $d = 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,3$ мкм. Кроме того, в работе были созданы образцы у которых решетка антиточек была разупорядоченна с различной степенью беспорядка (кривые 2, 3 рис.1). Решетка была разупорядоченна следующим образом. Генератором случайных чисел задавался сдвиг положения антиточек в направлении соседних антиточек. Отклонение антиточек от периодического расположения в решетке с периодом $d = 0,7$ мкм в максимуме было равно $\Delta = 0,1; 0,25; 0,35$ мкм. Таким образом, в системе был нарушен ближний, но сохранился дальний порядок.

Измерялось магнетосопротивление по четырехточечной схеме с помощью активного моста переменного тока в магнитных полях до 100 Гс и температурах 1,3-4,2 К. В образцах с периодической решеткой антиточек подвижность падала линейно с уменьшением периода, примерно, по закону $\mu = 1,3e(d - c)/m\nu_F$ ⁴, где $c = 0,35$ мкм. Это означает, что длина свободного пробега электронов определяется расстоянием между антиточками. Эффективный диаметр c есть сумма геометрического размера антиточки и области обеднения вокруг нее $c = 2a + 2t$, где $t = 0,07$ мкм. Таким образом, рассеяние электронов в данной системе определяется рассеянием на антиточках. Для простой модели рассеяния двумерных электронов на дисках длина пробега равна $l = d \cdot d/c$, что примерно в три раза больше наблюдаемого значения. Электроны в периодической решетке рассеивателей являются системой с динамическим хаосом,

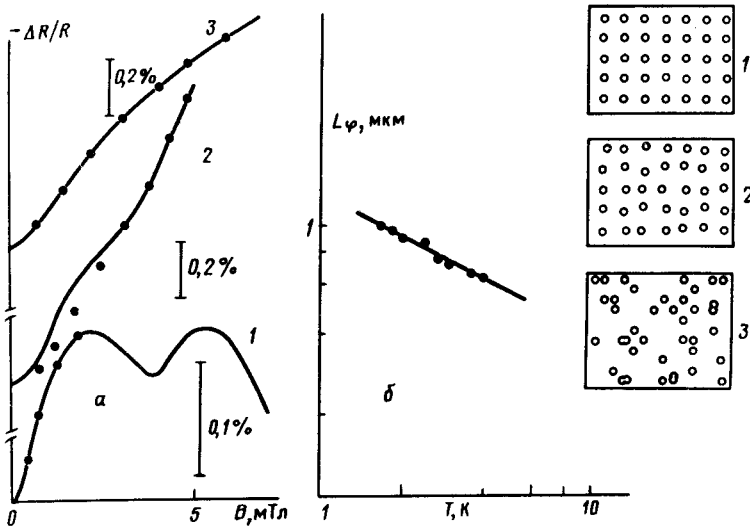


Рис.1. *a* – Зависимость магнетосопротивления от B для образцов с различной степенью разупорядочения положения антиоточек и для периодической решетки; $d = 0,7$ мкм, 1 – $\Delta = 0,0$, 2 – $\Delta = 0,1$, 3 – $\Delta = 0,35$ мкм, $T = 1,7$ К. Сплошная линия – эксперимент, точки – теория ⁷ с параметрами: 1 – $L_\varphi = 0,75$, 2 – $L_\varphi = 0,42$, 3 – $L_\varphi = 0,95$ мкм. *б* – Зависимость длины L_φ от температуры для образца с $\Delta = 0,35$ мкм

в которой хаотизация движения электронов происходит в процессе самого движения после нескольких соударений с антиоточками ^{5,6}. В этом случае, по-видимому, простая оценка длины свободного пробега не годится и требуется дальнейшее теоретическое рассмотрение рассеяния в периодической решетке.

Обратимся к измерениям длины свободного пробега в образцах с беспорядочным расположением антиоточек. На рис.2 показана зависимость длины l от степени беспорядка. Видно, что с увеличением Δ длина l сначала падает, а затем растет, оставаясь в то же время несколько меньше, чем в образце с периодической решеткой. Таким образом, поведение подвижности или длины свободного пробега с изменением степени беспорядка оказывается весьма необычным, в особенности, когда подвижность растет с увеличением Δ . Это ставит целый ряд вопросов перед теорией переноса в системах, в которых одновременно существует статический и динамический хаос.

На всех образцах с искусственной решеткой рассеивателей в слабых магнитных полях наблюдается отрицательное магнетосопротивление (ОМС), обусловленное подавлением эффектов слабой локализации ⁷. Поскольку в данной системе доминирующим является рассеяние на антиоточках, а не на остаточных примесях, следует предположить, что и эффекты локализации обусловлены интерференцией электронов при рассеянии на антиоточках. В работе ⁸ сообщалось, что в системе с периодической решеткой на фоне ОМС наблюдаются особенности связанные с эффектом Ааронова–Бома на устойчивых замкнутых траекториях. В данной статье изучается монотонная часть ОМС, обусловленная интерференцией на всех траекториях как в периодической, так и в неупорядоченной решетке. На рис.1 показаны зависимости ОМС от B для трех образцов со средним периодом $0,7$ мкм и различной степенью разупорядочения

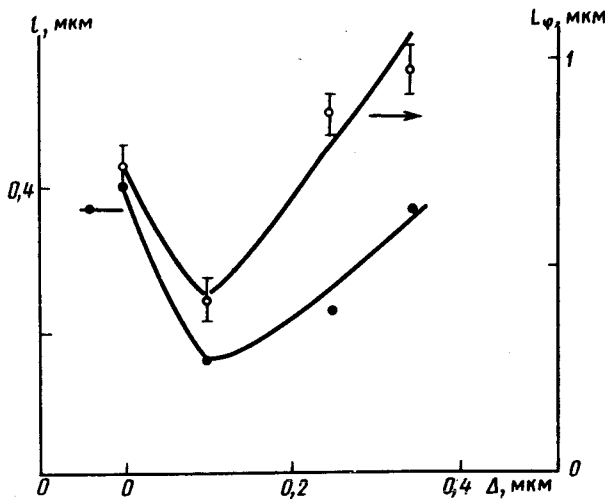


Рис.2. Зависимость длины свободного пробега l и длины фазовой когерентности L_φ от степени разупорядочения положения антиточек Δ

антиточек. Видно, что в образце с периодической решеткой наблюдается особенность обусловленная эффектом Ааронова–Бома, которая с увеличением Δ постепенно исчезает. Точками показаны теоретические зависимости ОМС для двумерного случая в электрон-примесной системе ⁷. Подгоночным параметром служила длина фазовой когерентности L_φ . На рис.2б показана зависимость L_φ от температуры для образца с $\Delta = 0,35$ мкм. Видно, что $L_\varphi \sim T^{-0,5}$, как и в случае электрон-примесной системы. Подобная зависимость наблюдается на всех образцах. Зависимость длины L_φ от степени беспорядка показана на рис.2. Видно, что она коррелирует с зависимостью длины свободного пробега, а значит, с проводимостью. Подобное поведение соответствует электрон-электронному рассеянию в системе с примесями ⁹. Однако величина L_φ оказалась значительно меньше расчетного значения, а также измеренного в гетероструктурах GaAs/AlGaAs с той же подвижностью и концентрацией электронов, в которых доминировало обычное электрон-примесное рассеяние ¹⁰. В частности, для периодической решетки с $d = 0,7$ мкм $L_\varphi^{theor} = 2,5$ мкм, что в три раза выше экспериментально измеренного значения. Отметим, что для более корректного сравнения теории ОМС с экспериментом выбирались также образцы с менее выраженными особенностями обусловленными эффектом Ааронова–Бома, в частности с меньшим периодом ($d = 0,6$ мкм) и меньшей подвижностью исходных образцов. Однако во всех случаях экспериментальное значение L_φ было значительно меньше расчетного. Подобное расхождение существует и в случае беспорядка для образца с $\Delta = 0,1$ мкм. В системе с сильным беспорядком, как видно из рисунка, наблюдался рост L_φ и разногласие с теорией уменьшалось ($L_\varphi^{theor} = 2,4$ мкм, $L_\varphi^{exper} = 0,95$ мкм). Отметим, что значение L_φ , определенное из сравнения монотонной части ОМС с теорией, не соответствует условию наблюдения эффекта Ааронова–Бома, для которого периметр траекторий для интерферирующих электронов $L = 2,5$ мкм должен быть порядка L_φ . Таким образом, в системе с динамическим хаосом возникает ряд особенностей в классическом транспорте и эффектах слабой локализации,

отличающих ее от обычных систем с примесным рассеянием, которые требуют дальнейшего теоретического и экспериментального исследования.

В заключение авторы благодарят Э.М.Баскина и М.В.Энтина за обсуждение, В.Г.Плюхина за проведение плазмо-химического травления.

-
1. K.Ensslin, and P.M.Petroff, *Phys. Rev. B* **41**, 12307 (1990).
 2. D.Weiss, M.L.Roukes, A.Menshig et al., *Phys. Rev. Lett.* **66**, 2790 (1991).
 3. Г.М.Гусев, В.Т.Долгополов, З.Д.Квон и др., *Письма в ЖЭТФ* **54**, 369 (1991).
 4. G.M.Gusev, Z.D.Kvon, L.V.Litvin et al., *J. Phys.: Cond. Matt.* **4**, L269 (1992).
 5. Г.М.Заславский, *Стохастичность динамических систем*, М.: Наука, 1984.
 6. Э.М.Баскин, Г.М.Гусев, З.Д.Квон и др., *Письма в ЖЭТФ* **55**, 649 (1992).
 7. Б.Л.Альтшулер, А.Г.Аронов, А.И.Ларкин, Д.Е.Хмельницкий, *ЖЭТФ* **81**, 768 (1981).
 8. Г.М.Гусев, З.Д.Квон, и др., *Письма в ЖЭТФ* **55**, 129 (1992).
 9. B.L.Altshuler, A.G.Aronov, and D.E.Khmelnitskii, *J. Phys.: Sol. St. Phys.* **15**, 7367 (1982).
 10. B.J.F.Lin, M.A.Paalenen, A.C.Gossard, and D.C.Tsui, *Phys. Rev. B* **29**, 927 (1984).