Письма в ЖЭТФ, том 88, вып. 11, с. 860 – 861 © 2008 г. 10 декабря

Сопротивление двумерных систем в магнитном поле при факторе заполнения $\nu = 1/2$

С. С. Мурзин[1)]

Институт физики твердого тела РАН, 142432 Черноголовка, Московская обл., Россия

Поступила в редакцию 10 октября 2008 г.

После переработки 27 октября 2008 г.

Произведено сравнение с предсказанием теорий [1, 2] имеющихся в литературе экспериментальных данных для диагонального удельного сопротивления (ρ_{xx}) гетероструктур GaAs/AlGaAs в магнитном поле при факторе заполнения $\nu = 1/2$. Обнаружено, что экспериментальные результаты не согласуются с этим предсказанием. Найдено, что $\rho_{xx}(1/2) \propto n^{-2}d^{-1.64}$.

PACS: 71.30.1+h, 73.43.–f

Выражение для диагонального удельного сопротивления двумерных систем в магнитном поле (ρ_{xx}) при факторе заполнения $\nu = nh/eB = 1/2$ было получено в работе [1] на основе теории композитных фермионов. Композитные фермионы рассеиваются на случайном магнитном поле, индуцированном примесями. Для идеального селективно-легированного двумерного образца концентрация примесей (n_i) равна концентрации электронов (n) и при $\nu = 1/2$:

$$\rho_{xx}(1/2) \sim \frac{1}{k_F d}\frac{h}{e^2}. \qquad (1)$$

Здесь $k_F = \sqrt{4\pi n}$ – волновое число композитных фермионов на уровне Ферми, d – толщина спейсера. В работе [2] был проведен более общий и детальный анализ $\rho_{xx}(1/2)$ с тем же, но более точным результатом, для случая $n_i = n$:

$$\rho_{xx}(1/2) = 1.0\frac{1}{k_F d}\frac{h}{e^2}. \qquad (2)$$

В настоящей работе проведена проверка соответствия выражения (2) экспериментальным данным, найденным в литературе, для $\rho_{xx}(1/2)$ одиночных гетеропереходов GaAs/AlGaAs с одним легированным слоем.

Мы извлекали $\rho_{xx}(1/2)$ для образцов без затвора с подвижностью $\mu > 40\,\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, электронной плотностью $6\cdot 10^{14} \leq n < 5\cdot 10^{15}\,\text{м}^{-2}$ и толщиной спейсера $20 \leq d \leq 240\,$нм. Часть образцов [3 – 8] подвергалась облучению светом, другая часть [9 – 16] не облучалась. Не использованы данные только для двух образцов. Дробный квантовый эффект Холла в этих образцах был развит значительно слабее, чем в других образцах с близкими параметрами. Для образца из работы [16], сопротивление которого зависело от его предыстории, мы использовали данные для случая минимального беспорядка.

На рис.1 экспериментальные данные сравниваются с выражением (2). Для этого построены экспериментальная и теоретическая зависимости $\rho_{xx}(1/2)k_F$ от d (напомним, что $k_F = \sqrt{4\pi n}$). Экспериментальные точки имеют большой разброс не очень далеко от теоретической линии. Затем мы попробовали построить экспериментальные зависимости величин $\rho_{xx}(1/2)n^p$ от d с разными целыми и полуцелыми p и подогнать их линейными функциями в двойном логарифмическом масштабе. Наилучший результат по-

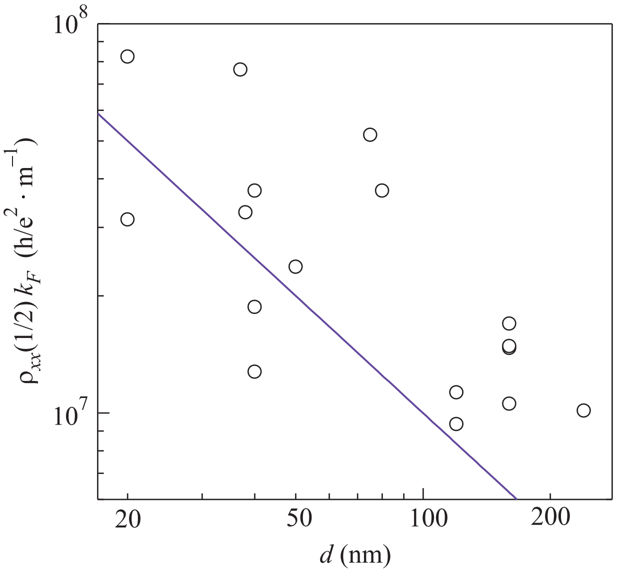

Рис.1. Зависимость $\rho_{xx}(1/2)k_F$ от толщины спейсера d. Кружки – экспериментальные данные, прямая соответствует выражению (2)

[1)]e-mail: murzin@issp.ac.ru

лучился для $p = 2$ и показателя степени d, равного -1.64 (см. рис.2). Это соответствует зависимости

$$\rho_{xx}(1/2) = \alpha n^{-2} d^{-1.64}, \qquad (3)$$

где множитель $\alpha = 1.6 \cdot 10^{17}$ м$^{-2.36}$. На рис.2 приведены также прямые, соответствующие зависимостям $d^{-1.5}$ и d^{-2}. Они описывают экспериментальные данные несколько хуже. Множитель α не зависит от магнитного поля. При заданном факторе заполнения $\nu = nh/eB = 1/2$ величина магнитного поля однозначно связана с плотность электронов n. Длина соответствующая α, равна $l = \alpha^{-1/2.36} = 5.2 \cdot 10^{-8}$ м.

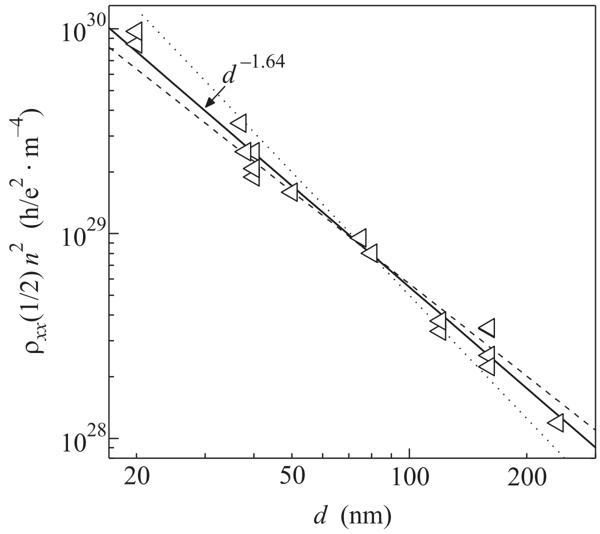

Рис.2. Зависимость $\rho_{xx}(1/2)n^2$ от толщины спейсера d. Треугольники – показывают экспериментальные данные, прямая сплошная линия – линейная подгонка экспериментальных данных в двойном логарифмическом масштабе. Для сравнения проведены линии, соответствующие зависимостям $d^{1.5}$ (штриховая линия), d^2 (пунктирная линия)

Рис.2 свидетельствует о том, что большой разброс точек на рис.1 не является результатом наличия случайных примесей или дефектов в образцах. Закономерное положение точек на рис.2 означает, что требуется новое объяснение электронного транспорта в магнитном поле при $\nu = 1/2$.

Отметим, что для необлученных образцов, в среднем, чем больше d, тем меньше n (см. рис.3), но относительный разброс точек на рис.3 во много раз больше, чем на рис.2.

Автор благодарен Российскому фонду фундаментальных исследований и ИНТАС за поддержку этой работы.

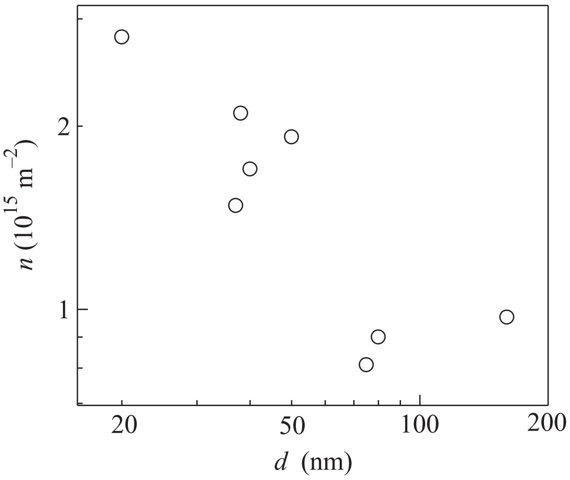

Рис.3. Зависимость электронной плотности n от толщины спейсера d для необлученных образцов

1. B. I. Halperin, P. A. Lee, and N. Read, Phys. Rev. B **47**, 7312 (1993).
2. F. Evers, A. D. Mirlin, D. G. Polyakov, and P. Wolfle, Phys. Rev.B **60**, 8951 (1999).
3. J. R. Mallett, R. G. Clark, R. J. Nicholas et al., Phys. Rev. B **38**, 2200 (1988), Fig.1.
4. D. R. Leadley, R. J. Nicholas, C. T. Foxon, and J. J. Harris, Phys. Rev. Lett. **72**, 1906 (1994), Fig.1.
5. S. Holmes, D. K. Maude, M. L. Williams et al., Semicond. Sci. Technol. **9**, 1549 (1994), Fig.1.
6. L. P. Rokhinson, B. Su, and V. J. Goldman, Phys. Rev. B **52**, 11 588 (1995), Fig.3, Sample A, in maximum of the curve.
7. P. T. Coleridge, Z. W. Wasilewski, P. P. Zawadzki et al., Phys. Rev.B **51**, 11603 (1995), Fig.1.
8. D. R. Leadley, M. van der Burgt, R. J. Nicholas et al., Phys. Rev. B **53**, 2057 (1996), Figs.1a, 1b, 2.
9. D. C. Tsui, H. L. Stormer, J. C. M. Hwang et al., Phys. Rev. B **28**, 2274 (1983), Fig.1.
10. E. E. Mendez, M. Heiblum, L. L. Chang, and Esaki, Phys. Rev. B **28**, 4886 (1983), Fig.1a.
11. R. J. Haug, K. v. Klitzing, R. J. Nicholas and , Phys. Rev. B **36**, 4528 (1987), Fig.4.
12. R. G. Clark, J. R. Mallett, A. Usher et al., Surf. Sci. **196**, 219 (1988), Figs.1c.
13. R. G. Clark, J. R. Mallett, S. R. Haynes et al., Phys. Rev. Lett. **60**, 1747 (1988). Fig.1(a).
14. A. J. Turberfield, S. R. Haynes, P. A. Wright et al., Phys. Rev. Lett. **65**, 637 (1990), Fig.3b.
15. S. Koch, R. J. Haug, K. von Klitzing, and K. Ploog, Physica B **184** 72 (1993), Fig.1.
16. I. V. Kukushkin, R. J. Haug, K. von Klitzing, and K. Eberl, Phys. Rev. B **52**, 18045 (1995), Fig.2.