

КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА НА ДЫРКАХ В НАПРЯЖЕННЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ Ge - Ge_{1-x}Si_x

О.А. Кузнецова¹⁾, Л.К. Оплов, Р.А. Рубцова, А.Л. Челнов¹⁾,
Ю.Г. Аранда²⁾, Н.А. Городилса²⁾, Г.Л. Штраленци²⁾

*Институт прикладной физики АН СССР
603600, Нижний Новгород*

¹⁾ *Научно-исследовательский физико-технический институт при Нижегородском
университете
603003, Нижний Новгород*

²⁾ *Институт физики металлов АН СССР
620019, Свердловск*

Поступила в редакцию 19 июля 1991 г.

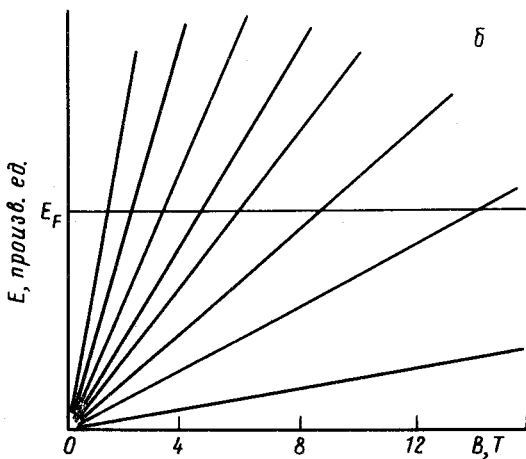
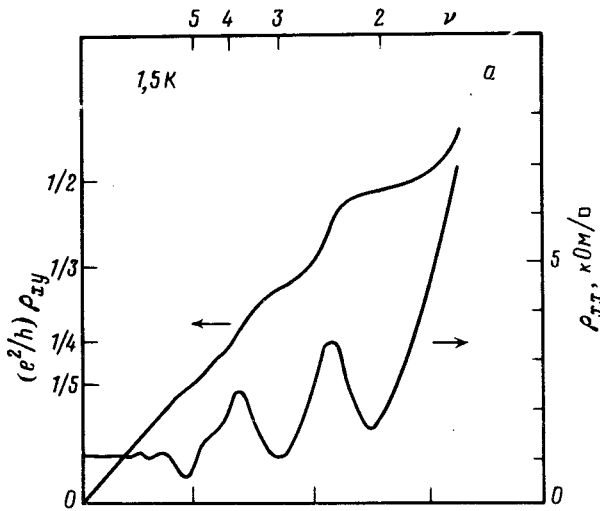
В настоящей работе представлены результаты измерений квантового эффекта Холла на дырках в напряженной многослойной гетероструктуре Ge - Ge_{1-x}Si_x.

Квантовый эффект Холла - новое уникальное физическое явление, к изучению которого проявляется повышенный интерес ¹. До последнего времени основными объектами, которым отдавалось предпочтение при исследовании квантового эффекта Холла, были в основном гетероструктуры на основе соединений A^{III}B^V. При этом структурам дырочного типа проводимости уделялось существенно меньшее внимание, чем гетероструктурам с 2D-электронным газом, хотя сложный характер закона дисперсии валентной зоны может обусловить особенности квантового эффекта Холла ².

Первое указание на возможность проявления данного эффекта в рассматриваемых структурах дано в ³. Исследуемые структуры представляли собой селективно-легированные сверхрешетки (СР), полученные гидридным методом, с периодически чередующимися слоями нелегированного Ge толщиной $d_{Ge} \approx 5-25$ нм, и легированного бором слоя твердого раствора Ge_{1-x}Si_x с $x \sim 0,05-0,15$, толщиной $d_{GeSi} \sim 20-30$ нм со спейсерами ~ 5 нм. Подвижности дырков в них имеют наилучшие на сегодняшний день в системе Ge - Si значения, достигающие $15000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ при $T = 4$ К и при средней концентрации по объему $\sim (1-3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Более детально структура исследуемых образцов, характер легирования, а также их электрофизические характеристики в слабом магнитном поле описаны в ^{4,5}.

Холловские измерения проводились в геометрии ван дер Пау на прямоугольном образце СР, содержащей 90 периодов, с $x = 0,11$, $d_{Ge} \approx 26$ нм, $d_{GeSi} \approx 18$ нм. Оценка разрыва зон на гетерограницах этой структуры дает величину ~ 50 мэВ. Изгиб дна валентной зоны в квантовой яме слоя Ge за счет накопления свободных дырок порядка 5 мэВ. Дырочные подзоны в слоях Ge в нулевом магнитном поле вследствие упругой деформации ($\epsilon_{xy} \sim 5 \cdot 10^{-6}$) и размерного квантования расщеплены. Энергия расщепления составляет около 20 мэВ.

Магнетотранспортные исследования проводились в интервале температур 4,2 - 1,5 К в магнитном поле до 13 Тл, ориентированном перпендикулярно плоскости слоев СР. Зависимость сопротивлений ρ_{xx} , ρ_{xy} от магнитной индукции B при $T = 1,5$ К представлена на рис.1а. На приведенных кривых присутствуют все особенности, присущие квантовому эффекту Холла и указывающие на наличие двумерного дырочного газа в системе. Верхнее



плато на зависимости ρ_{xy} , отнесенное с точностью $\sim 3\%$ к одному квантовому слою Ge, соответствует фактору заполнения $\nu = 2$. Это отвечает поверхностной концентрации дырок ($n_s = \nu eB/h$), равной $5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. На зависимости $\rho_{xx}(B)$ отчетливо проявляются шубниковские осцилляции, положения минимумов которых соответствуют положениям плато на зависимости $\rho_{xy}(B)$. Значение поверхностной концентрации, определенное из периода шубниковских осцилляций $n_s = eB_1 B_2 / h(B_2 - B_1) = 5 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2}$, хорошо согласуется с приведенным выше значением. Для подвижности дырок, определяемой соотношением $\sigma = en\mu$, в данном образце имеем $\mu = 14000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Нужно заметить, что ρ_{xx} в минимумах шубниковских осцилляций в рассматриваемых структурах не обращается в ноль (при факторе заполнения $\nu = 2$ $\rho_{xx} = 870 \text{ Ом}$), что указывает на существование параллельной металлической проводимости. Оценка для σ^{\parallel} в точке ρ_{xx}^{min} дает значение $\sim 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$. Эта величина ниже предельной для металлической проводимости, что указывает на возможность наблюдения фазового перехода металл - изолятор с ростом магнитного поля и с понижением температуры.

Существование плато и осцилляций на зависимостях $\rho_{xy}(B)$ и $\rho_{xx}(B)$ связано с квантованием дырочного газа в слоях Ge CP. Положение уровней энергии определяется соотношением

$$E_{nj} = E_n + (j + \frac{1}{2})\hbar\omega_c \pm \frac{1}{2}g\mu_B B,$$

где n - номер уровня размерного квантования, j - уровень подзоны Ландау, g - фактор-Ланде, μ_B - магнетон Бора, $\omega_c = eB/m$ - циклотронная частота. Расчеты положения уровней энергии относительно энергии Ферми E_F (рис.1в) указывают на то, что в данном образце заполнена только одна верхняя дырочная подзона размерного квантования ($E_1 < E_F < E_2$).

Таким образом, гетеросистемы на основе Ge и $Ge_{1-x}Si_x$, включая СР, являются весьма перспективными объектами для исследования физических процессов в двумерных системах. С другой стороны, исследование квантового эффекта Холла позволяет получить богатую информацию о характеристиках образцов с $2D$ -газом свободных носителей заряда.

В заключение авторы выражают благодарность Усковой Е.А. и Кирилловой Е.В. за изготовление контактов к структурам, Аронзону Б.А. и Миронову О.А. за плодотворное сотрудничество, Дроздову Ю.Н. за проведение рентгенодифракционных исследований структур, Цидильковскому И.М. и Волкову В.А. за обсуждение результатов работы и поддержку.

-
1. Рашба Э.И., Тимофеев В.Б. УФН, 1986, 20, 977.
 2. Stormer H.L., Schlesinger Z., Chang A. et al. Phys. Rev. Lett., 1983, 51, 126.
 3. Mironov O.A., Chistyakov S.V., Skrylev I.Yu. et al. Proceed. V Int. Conf. on superlattices and microstructures. Berlin. 1990. P.Tu-Po-56.
 4. Орлов Л.К., Кузнецов О.А., Дроздов Ю.Н. и др. ФТТ, 1990, 32, 1933.
 5. Орлов Л.К., Кузнецов О.А., Рубцова Р.А. и др. ЖЭТФ, 1990, 98, 1028.