

АНОМАЛИИ ГРАНИЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДВУМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ В РЕЖИМЕ ХОЛЛОВСКОГО КВАНТОВАНИЯ

В.Г.Веселаго, В.Н.Заварицкий, М.С.Нунупаров, А.Б.Беркут

В отсутствие стационарного тока в измерительной цепи в режиме квантования холловского сопротивления обнаружено нарушение эквипотенциальности внутреннего и внешнего контактов МДП-структуры, выполненной в геометрии Корбино. В стационарных условиях эта "топологическая" разность потенциалов не изменяется после снятия закоротки контактов.

Развитие представлений о природе квантового эффекта Холла выявляет существенную роль электронных состояний, расположенных у границ системы. Перезарядка этих состояний, в частности, обеспечивает холловскую разность потенциалов при протекании тока по бездиссипативным траекториям¹. В случае неодносвязной двумерной электронной системы, обладающей внутренними границами, возникает вопрос о перераспределении зарядов между ними. Как известно, в условиях, когда уровень Ферми в "объеме" $2D$ -системы, находится в щели между разрешенными состояниями на уровнях Ландау, продольная проводимость системы стремится к нулю, что может приводить к "замораживанию" заряда и, соответственно, потенциала на внутренних пограничных состояниях.

Нами была предпринята попытка обнаружить этот эффект. В настоящей работе проводились электрометрические, а также потенциометрические измерения разности потенциалов U между внутренним и внешним контактами МДП-структуры, выполненной в геометрии Корбино.

Структуры были изготовлены на поверхности (100) кремния p -типа с удельным сопротивлением $\cong 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Толщина диэлектрика составляла $d \cong 40 \text{ нм}$. Подвижность электронов в инверсионном слое определялась из измерений на холловской структуре и для $N_s \cong 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ составляла $(3 \div 15) \cdot 10^3 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при $T = 4,2 \text{ К}$. Основная часть опытов была проведена в водоохлаждаемом биттеровском магните при $T = 1,6 \div 1,5 \text{ К}$. Для электрометрических измерений использовался прибор TR-2501 с входным сопротивлением 10^{12} Ом .

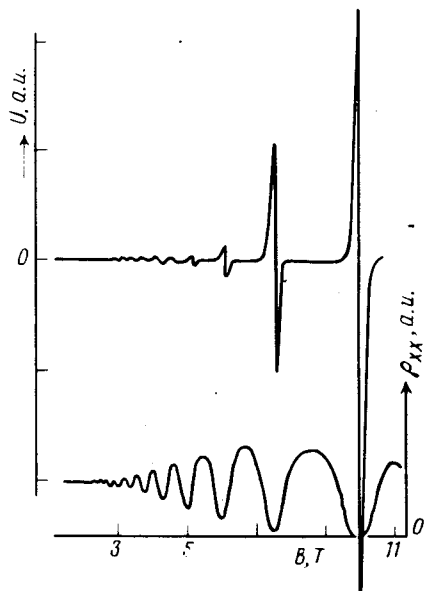


Рис. 1. Зависимости от магнитного поля ($V_G = \text{const}$): разности потенциалов между внутренним и внешним контактами диска Корбино в условиях отсутствия стационарного тока между ними; продольного сопротивления двумерной системы (нижняя кривая)

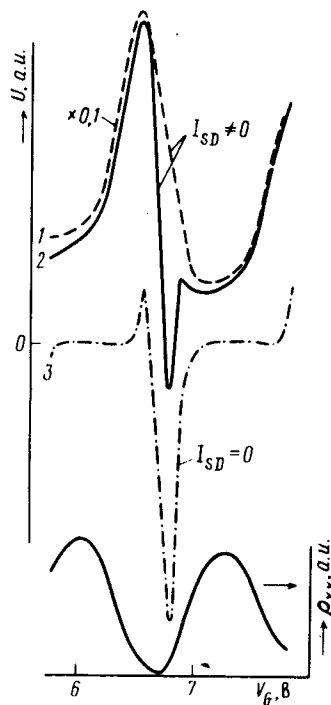


Рис. 2. Снятые по точкам зависимости от величины управляющего напряжения ($B = \text{const}$): напряжения между внешним и внутренним контактами диска Корбино в условиях протекания между ними постоянного тока (кривые 1 и 2) при двух токах, отличающихся на порядок, и в отсутствие тянущего тока (кривая 3); и продольного сопротивления двумерной системы

В условиях отсутствия стационарного тока в измерительной цепи исследовалась зависимость U от напряженности магнитного поля B (вплоть до 15 Т) при температурах $1,1 \div 1,5 \text{ К}$.

Качественный вид экспериментальной зависимости $U(B)$ приведен на рис. 1 (верхняя кривая). Нижняя кривая отвечает зависимости $\rho_{xx}(B)$, полученной при пропускании тока (при том же напряжении на затворе) через холловский образец, расположенный на том же кристалле. Амплитуда сигнала в полях $B \cong 10 \text{ Т}$, в зависимости от качества образца, составляла $80 \div 600 \text{ мкВ}$; на образцах с высокой подвижностью носителей в канале наблюдались сигналы большей амплитуды. На рис. 1 приведена копия записи наиболее часто встречающейся формы сигнала. В отдельных опытах наблюдались сигналы несколько деформированной формы.

Из сравнения приведенных на рис. 1 зависимостей видно, что нарушения эквипотенциальности внутреннего и внешнего контактов происходят в областях минимумов продольного сопротивления и, соответственно, минимумов продольной проводимости между внутренним и внешним контактами диска Корбино. Подобные результаты были получены в постоянном магнитном поле, когда изучались зависимости величины эффекта от напряжения на затворе V_G , определяющего исходную концентрацию двумерных электронов (рис. 2, штрих-пунктир).

Амплитуда сигнала (U) в первом приближении не зависит от скорости изменения параметра (V_G, B); она не изменяется в течение длительного (до 30 мин) времени в постоянных полях (V_G и B), соответствующих максимуму сигнала U . Наблюдаемый сигнал четен по отношению к направлению магнитного поля B и его полярность не зависит от направления развертки параметра B (или V_G).

Отметим важные на наш взгляд особенности наблюдаемого эффекта:

- если в стационарных условиях (B и $V_G = \text{const}$) закоротить контакты к образцу внешним электродом или шунтирующим сопротивлением, то после удаления закоротки величина сигнала и его полярность восстанавливаются;
- зависимость величины эффекта от тянущего тока не имеет четкого порогового характера. Это иллюстрируется рис. 2, где приведены результаты измерений напряжения U между внешним и внутренним контактами диска Корбино в условиях протекания постоянного тока I_{sd} между ними. При достаточно большом токе зависимость $U(V_G)$ (пунктир на рис. 2) имеет качественно иной вид, чем в случае $I_{sd} = 0$ (штрих-пунктир). По мере уменьшения измерительного тока (посредством увеличения балластного сопротивления в токовой цепи) на зависимостях $U(V_G)$ проявляются особенности, связанные с аномалиями граничного потенциала, которые, по-видимому, входят в результирующую разность потенциалов аддитивным образом.

Для устранения возможного влияния низкочастотных колебаний магнитного поля (присущих биттеровским магнитам) на изучаемый эффект была проведена серия контрольных опытов с использованием NbTi – соленоида в магнитных полях до 5 Т при $T = 1,2 \div 1,0$ К, которая подтвердила результаты, полученные нами в резистивном магните.

В полевом транзисторе потенциал одного из контактов относительно затвора всегда фиксирован источником управляющего напряжения и равен $-V_G$. Закорачивающее действие "канала" МДП-структуры приводит к тому, что в условиях нулевого магнитного поля и отсутствия тока через структуру, потенциалы остальных омических контактов также оказываются равными $-V_G$. В сильных магнитных полях энергетический спектр двумерной системы становится дискретным. В этих условиях можно ожидать изменения характера взаимодействия двумерной проводящей системы с 3D-контактами. Эффект нарушения эквивалентности внутреннего и внешнего контактов МДП-структуры кольцевой геометрии, в которой отсутствуют закоротки по краевым состояниям, указывает на важную роль взаимодействия 3D-контактов с двумерной системой, которое может приводить к изменению зарядового состояния 2D-системы в режиме квантового эффекта Холла.

В ряде теоретических работ² указывается на возможность развития доменной неустойчивости однородного состояния двумерной системы в режиме квантового эффекта Холла. В доменных стенках, разделяющих области с различными числами заполнения уровней Ландау, согласно этим представлениям, будут локализованы электрические поля. Симметрия диска Корбино допускает образование доменной стенки, окружающей внутренний контакт и в этом случае система приобретет "встроенный" топологический потенциал. Весьма вероятно, что полученный в работе результат связан с образованием такого рода доменной структуры.

В заключение авторы выражают благодарность А.М.Прохорову за поддержку работы и Е.Г.Астрахарчику за содействие в проведении измерений в полях до 5 Т.

Литература

1. Halperin B.J. Phys. Rev. B, 1982, 25, 2185; Апенко С.М., Лозовик Ю.Е. ЖЭТФ, 1985, 89, 573.
2. Kivelson S., Trugman S.A. Phys. Rev. B, 1986, 33, 3629.