

ТЯЖЕЛЫЕ ФЕРМИОНЫ В КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

Цель работы — исследование возможностей холловских измерений для изучения формирования тяжелых фермионов в двумерных системах на примере одиночной кремниевой квантовой ямы, ограниченной дельта-барьерами, сильнолегированными бором.

Наибольший интерес к изучению биполярнонов возник после работы Фила Андерсона, в которой было показано, что в твердых телах существует возможность сверхкомпенсации кулоновского отталкивания на дефектах низкосимметричными искажениями решетки в рамках динамического эффекта Яна-Теллера [1]. Результатом этого процесса является распад одноэлектронных состояний, сопровождающийся образованием их двухэлектронных и пустых аналогов: $2D^0 \Rightarrow D^- + D^+$. Подобная самокомпенсация позволила, в частности, объяснить отсутствие ЭПР в халькогенидных стеклах [1]. Важным этапом в исследованиях биполярнонов стала демонстрация важной роли в их формировании локальной фононной моды, наличие которой приводит к изменению позиции центра в решетке в зависимости от его зарядового состояния, что гораздо чаще является причиной самокомпенсации, чем эффект Яна-Теллера [2]. Однако, несмотря на то, что биполярноны являются прямыми аналогами пары Купера, сверхпроводимость в их системе становится возможной только в условиях туннелирования между ними как одиночных носителей тока [3], так и их пар [4]. Причем в рамках предложенных механизмов биполярнонной сверхпроводимости находят объяснение многие характеристики высокотемпературных сверхпроводников.

Практически параллельно с исследованиями роли биполярнонов в сверхпроводимости различных соединений проводится изучение их влияния на процессы локализации носителей тока и спин-зависимого рассеяния, которое привело к открытию тяжелых фермионов — квазичастиц с большой эффективной массой, образующихся на основе биполярнонов при большой концентрации носителей тока [5]. Причем сверхпроводимость не всегда исчезает при возникновении условий для формирования тяжелых фермионов. Более того, было обнаружено возникновение сверхпроводимости в системе тяжелых фермионов [6]. Все эти факты стимулируют исследование поведения биполярнонов в зависимости от концентрации одиночных носителей тока. Поэтому наиболее перспективным является использование «сэндвич»-структур, таких как одиночная квантовая яма, ограниченная дельта-барьерами, внутри которых формируются биполярноны. В этом случае, варьируя концентрацию носителей тока в квантовой яме, например с помощью специального затвора, можно изменять состояние дельта-барьеров, переходя от двумерного антиферромагнетика, двумерного сверхпроводника к двумерной системе, содержащей тяжелые фермионы.

Решение этой задачи стало возможным благодаря планарной кремниевой нанотехнологии, использование которой позволило получить сверхузкие кремниевые квантовые ямы (СККЯ) шириной 2 нм, ограниченные дельта-барьерами шириной 3 нм на поверхности монокристаллического кремния (100) (рис. 1а). Дельта-барьеры были сильно легированы бором, $5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$, и, как показали исследования магнитной восприимчивости, демонстрировали свойства двумерного антиферромагнетика при плотности дырок ниже 10^{11} см^{-2} и двумерного сверхпроводника при $p_{2D} > 10^{11} \text{ см}^{-2}$, а также наличие тяжелых фермионов при $p_{2D} > 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. На рис. 1 и 2 показаны данные холловских измерений, которые наглядно подтверждают формирование тяжелых фермионов в дельта-барьерах. Видно, что тяжелые фермионы, сформированные при $p_{2D} > 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, разрушаются в магнитном поле (кривая 4, рис. 1). Кроме того, увеличение проводимости двумерного газа дырок вопреки уменьшению их плотности в условиях прямого напряжения, приложенного к затвору, также

свидетельствует о разрушении тяжелых фермионов, сформированных при высоких значениях p_{2D} .

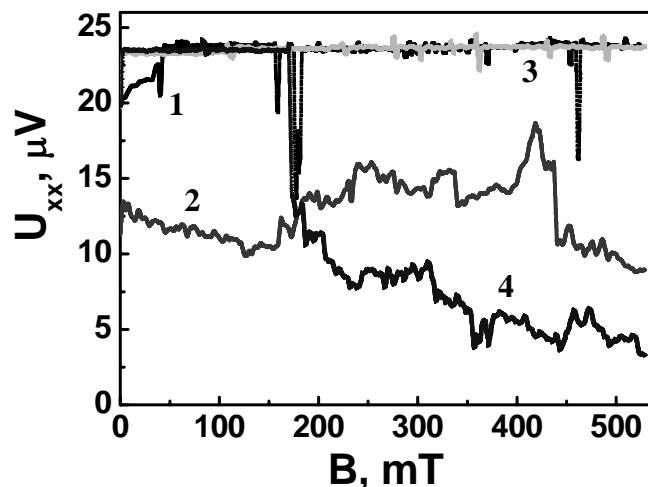


Рис. 1. Зависимость продольной эдс в холловском мостике на основе СККЯ р-типа проводимости, ограниченной дельта-барьерами на поверхности монокристаллического кремния n-типа, от величины магнитного поля, перпендикулярного плоскости СККЯ. Напряжение затвора, эквивалентное обратному напряжению в p^+-n переходе, индуцирует увеличение плотности двумерных дырок в СККЯ от $1.6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ (кривая 1) до $3.6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ (кривая 4). 1 — $U_g=0$; 2 — -30mV ; 3 — -60mV ; 4 — -150mV

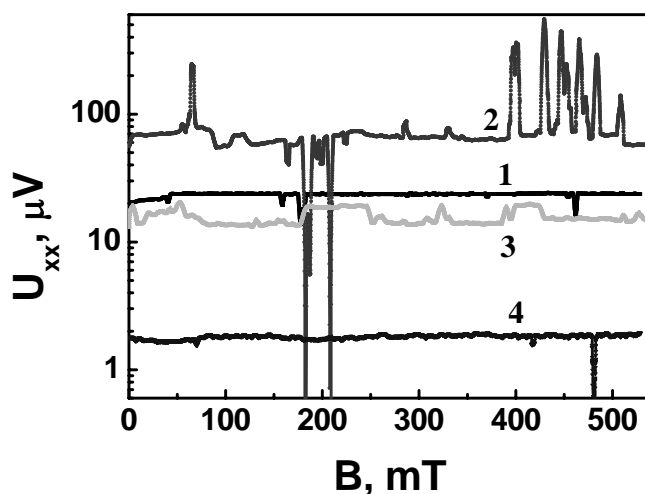


Рис. 2. Зависимость продольной эдс в холловском мостике на основе СККЯ р-типа проводимости, ограниченной дельта-барьерами на поверхности монокристаллического кремния n-типа, от величины магнитного поля, перпендикулярного плоскости СККЯ. Напряжение затвора, эквивалентное прямому напряжению в p^+-n переходе, индуцирует уменьшение плотности двумерных дырок в СККЯ от $1.6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ (кривая 1) до $4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ (кривая 4). 1 — $U_g=0$; 2 — $+30\text{mV}$; 3 — $+60\text{mV}$; 4 — $+150\text{mV}$

ЛИТЕРАТУРА:

1. P.W.Anderson. Phys. Rev. Lett., v. 34, p.p.953-957, (1975).
2. N.T.Bagraev, V.A.Mashkov. Solid State Communications, v. 51, p.p.515-520, (1984).
3. C.S.Ting, D.N.Talwar, and K.L.Ngai. Phys. Rev. Lett., v.45, p.p.1213-1216, (1980).
4. A.Alexandrov, J.Ranninger. Phys. Rev. B, v.24, p.p.1164-1169, (1981).
5. K.Andres, J.E.Graebner and H.R.Ott. Phys. Rev. Lett., v.35, p.p.1779-1883, (1975).
6. F.Steglich. Physica B, v.378-380, p.p.7-12, (2006).