

ЭФФЕКТ ШУБНИКОВА–ДЕ ГААЗА В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Цель работы — наблюдение осцилляций проводимости Аронова–Альтшулера–Спивака и эффекта Шубникова–де Гааза при ориентации внешнего магнитного поля параллельно плоскости кремниевой квантовой ямы.

В процессе исследований была использована приборная структура, состоящая из узкой кремниевой квантовой ямы, ограниченной дельта-барьерами, сильно легированными бором, которые проявляют сверхпроводящие свойства при высоких температурах. Ток исток-сток стабилизировался на уровне 10 нА. Магнитное поле было ориентировано параллельно или антипараллельно току исток-сток.

1. Осцилляции проводимости Аронова–Альтшулера–Спивака.

Осцилляции наблюдались во всем диапазоне величин использованного магнитного поля, при обеих ориентациях. Период осцилляций, $\Delta B = 5 \times 10^{-3} \text{ T}$, определен с помощью соотношений

$\Delta B \cdot S = \frac{\Phi_0}{2}$, где $\Phi_0 = \frac{h}{e} \approx 4 \times 10^{-15} \text{ Вб}$ — квант магнитного потока,

$S = Wd = 4 \times 10^{-13} \text{ м}^2$, согласуется с экспериментальными данными и показывает, что они действительно обусловлены кольцевым током, индуцированным магнитным полем.

2. Эффект Шубникова–де Гааза при продольном магнитном поле.

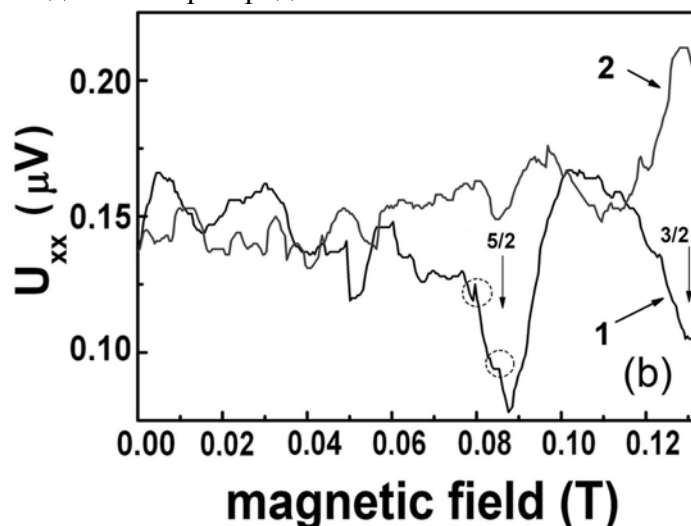


Рис. 1. Полевая зависимость продольной эдс, которая демонстрирует осцилляции Шубникова–де Гааза при ориентации внешнего магнитного поля параллельно плоскости СККЯ *p*-типа на поверхности Si (100) *n*-типа. $T=77\text{K}$. Знак эдс свидетельствует об антипараллельной ориентации индуцированного магнитным полем тока, что идентифицирует диамагнитный отклик сверхпроводящих дельта-барьеров. Пунктиром отмечены периодические осцилляции проводимости Аронова–Альтшулера–Спивака

В рамках классического эффекта Шубникова–де Гааза в магнитном поле возникают уровни Ландау, расстояния между которыми равны $\hbar\omega_c = \frac{\hbar eB}{m^*}$. Сопротивление осциллирует при изменении магнитного поля и проходит максимум каждый раз, когда очередной уровень Ландау совпадает с уровнем Ферми, что соответствует полуцелому заполнению уровней Ландау [1]: $\nu = \frac{E}{\hbar\omega_c}$. Энергия Ферми E_F при регистрации продольного напряжения

удовлетворяет следующему соотношению: $E = eNU_{xx}$. Следовательно, $m^* = \frac{\hbar B \nu}{NU_{xx}}$. Число

частиц в яме $N_{p2D} = p_{2D}WL$, где $p_{2D} = 2.2 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$ — плотность двумерных дырок и

$W = 2 \times 10^{-4} \text{ м}$, $L = 2 \times 10^{-3} \text{ м}$. Это число частиц соответствует стабилизированному току $I_{ds} = 10 \text{ нА}$, тогда как число частиц, ответственных за ток, индуцированный магнитным

полем можно оценить следующим образом: $N = \frac{N_{p2D} I_b}{I_{ds}}$, где $\frac{I_b}{I_{ds}} = \frac{R_{xx}}{R_0}$, $R_0 = \frac{\hbar}{4e^2}$. Тогда

$$m^* = \frac{\hbar R_0 \nu B}{N_{p2D} R_{xx} U_{xx}} = \frac{\pi \hbar^2 \nu B I_{ds}}{2 p_{2D} W L U_{xx}^2 e^2}.$$

Нас интересует явный пик эдс, индуцированной магнитным полем (рис. 1), знак которой свидетельствует об антипараллельной ориентации индуцированного тока относительно его направления: $\nu = 3.5$, $B = 0.128 \text{ Т}$, $U_{xx} = 0.212 \text{ мВ}$.

Отсюда следует значение эффективной массы двумерных дырок: $m^* = 7.73 \times 10^{-34} \text{ кг} = 8.49 \times 10^{-4} m_0$, что находится в хорошем согласии с данными исследований циклотронного резонанса и осцилляций проводимости Аронова–Кашера.

Таким образом, впервые обнаружен эффект Шубникова–де Гааза при ориентации магнитного поля параллельно плоскости квантовой ямы. Данный эффект обусловлен диамагнитным откликом сверхпроводящих дельта-барьеров, ограничивающих квантовую яму, на внесение внешнего магнитного поля. В отличие от классического эффекта Шубникова–де Гааза, данный эффект может быть использован для определения эффективной массы двумерных носителей тока (дырок) без измерений температурных зависимостей осцилляций сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weisbuch C., Winter B., Quantum semiconductor structures, New York: Academic Press, (1991).