Вклад от обменного электрон-электронного взаимодействия в проводимость структур InGaAs/GaAs с одиночными и двойными квантовыми ямами

Гудина С.В., Арапов Ю.Г., Неверов В.Н., Савельев А.П., Подгорных С.М.,
Шелушинина Н.Г., Якунин М.В.

ИФМ УрО РАН, 620990, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

DOI 10.34077/Semicond2019-219

В работе представлены результаты исследования 2D структур с одиночной (SQW) и двойной (DQW) квантовыми ямами InGaAs, которые проявляют ярко выраженный диэлектрический $d\rho/dT < 0$ тип проводимости в широком диапазоне температур $T = (10 \div 60)$ К в условиях промежуточного и баллистического $k_B T \tau / \hbar \gg 1$ (τ - время свободного пробега) режимов. Показано, что такое поведение связано с температурной зависимостью подвижности μ носителей заряда (рис.1).

Рис.1. $-\mu(T)$, $\mu_{\text{eff}} \approx n_1 \mu_1 / n + n_2 \mu_2 / n$, $n = n_1 + n_2$

Существует хорошее качественное и количественное согласие экспериментально наблюдаемого поведения вклада $\delta\sigma(T)$ в проводимость 2D системы с рассчитанным в [1] квантовыми поправками от электрон-электронного (e-e) взаимодействия. Выражения [1] однозначно определяют знак производной $d(\delta\sigma^{ee}(T))/dT$ в широком температурном интервале от (10-20) К до (45-65) К для исследуемых образцов. Вклад имеет противоположные знаки: «металлический» характер, $d(\delta\sigma^{ee}(T))/dT < 0$, при преобладании вклада Хартри и «диэлектрический», $d(\delta\sigma^{ee}(T))/dT > 0$, при преобладании обменной части. Мы обнаружили, что конкретный тип поведения $\delta\sigma(T)$ для данного вещества зависит только от значения концентрации носителей заряда.

Кроме того, ряд факторов позволил четко наблюдать диэлектрическое поведение сопротивления в соответствующей области квантовых поправок от e-e взаимодействия в баллистическом режиме, с преобладающей ролью обменного вклада: (1) выбор вещества InGaAs, подходящего по микроскопическим параметрам (эффективная масса m , диэлектрическая постоянная κ), так что концентрация перехода от металлического поведения $\delta\sigma(T)$ к диэлектрическому, $N_{\text{cross}} = 1.1 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, находится во вполне достижимой экспериментальной области значений; (2) удачный набор концентраций электронов в исследуемых системах позволил наблюдать переход от диэлектрического типа зависимости к металлической в двух подзонах размерного квантования в двойных туннельно-связанных квантовых ямах: $n > N_{\text{cross}}$ для подзоны симметричных (S) состояний и $n < N_{\text{cross}}$ для подзоны асимметричных; (3) в отличие от GaAs, преимущественно короткодействующий потенциал рассеяния – сплавное рассеяние электронов на атомах In как примесях замещения.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Электрон» (Г.р. № АААА-А18-118020190098-5), при поддержке РФФИ: проекты №18-02-00172 и №18-32-00382 (эксперимент).

[1] Zala G., Narozhny B.N., and Aleiner I.L. Phys. Rev. B 64 214204 (2001).