АС и DC проводимость в структуре n-GaAs/AlAs с широкой квантовой ямой в сильных магнитных полях

Дмитриев А.А.¹, Дричко И.Л.², Смирнов И.Ю.², Быков А.А.³, Бакаров А.К.³

¹ Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

² ФТИ им. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

³ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

DOI 10.34077/Semicond2019-220

В широкой квантовой яме кулоновское расталкивание электронов приводит к формированию двухслойной электронной системы. Её энергетический спектр состоит из симметричной (S) и антисимметричной (AS) подзон, разделённых щелью Δ_{SAS} . В таких системах подробно изучены межподзонные переходы, проявляющиеся в виде осцилляций проводимости в малых магнитных полях (до ~ 2 Тл) [1]. Данное исследование сосредоточено на влиянии двухподзонного спектра на проводимость в сильных магнитных полях.

В работе изучается АС и DC проводимость в структуре с широкой (46 нм) квантовой ямой GaAs, с барьерами из сверхрешёток AlAs/GaAs. Измерения DC-проводимости проводились на холловских мостиках в магнитных полях до 14 Тл при $T = (2.2-4.2)$ К. Для исследования АС-проводимости $\sigma_{xx}^{AC} = \sigma_1 - i\sigma_2$ применялись две бесконтактные высокочастотные методики: акустическая, позволяющая определять σ_1 и σ_2 на частотах от 30 до 250 МГц, и микроволновая – с её помощью можно расширить частотный диапазон до 1200 МГц. Измерения обеими методиками проводились в магнитных полях до 8 Тл при $T = (1.7-4.2)$ К.

Измерения на постоянном токе: холловская проводимость σ_{xy} демонстрирует плато целочисленного квантового эффекта Холла, из которых были определены факторы заполнения уровней Ландау ($\nu = 3, 4, 5, 6, 8$) и суммарная концентрация носителей $n = 8.3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. Диагональная проводимость σ_{xx} в зависимости от магнитного поля осциллирует, при этом наблюдается необычная картина: возникают три серии осцилляций σ_{xx} , различающихся амплитудой, тогда как обычно таких серий две. Для объяснения этого факта была построена энергетическая диаграмма двухподзонной схемы с использованием $\Delta_{SAS} = 1.5$ мэВ, определенной нами из межподзонных переходов на этом же образце. Оказалось, что в режиме активационной проводимости существует три типа энергий активации, определяющихся переходами: (1) между уровнем Ландау $(N-1)$ AS-подзоны и уровнем Ландау N S-подзоны, это глубокие осцилляции с $\nu = 4N$; (2) переходы между уровнями Ландау N S-подзоны и N AS-подзоны, это мелкие осцилляции с $\nu = 4N + 2$; и, наконец, (3) переходы между расщеплёнными по спину энергиями S и AS-подзон, это осцилляции с $\nu = 4N + 1$ и $\nu = 4N + 3$, где N – номер уровня Ландау. Энергии активации проводимости, соответствующие разным осцилляциям, их положение в магнитном поле и значение проводимости в их минимумах хорошо качественно объясняются построенной энергетической диаграммой.

Высокочастотные измерения: чтобы определить механизмы проводимости в структуре в сильных магнитных полях, мы исследовали АС-проводимость. В максимумах осцилляций проводимость не зависит от частоты, что характерно для проводимости по делокализованным состояниям. В минимумах осцилляций носители заряда локализованы, механизм АС-проводимости становится прыжковым, характеризующимся частотной зависимостью. Её можно аппроксимировать степенным законом, причем степень оказывается тем больше, чем сильнее локализация. Для этого механизма характерно и соотношение $\sigma_2 > \sigma_1$, наблюдаемое в эксперименте.

Работа поддержана грантом РФФИ №19-02-00124а.

[1] W. Mayer et al, *Phys. Rev. B* **93**, 115309 (2016).