Влияние двухподзонного энергетического спектра на проводимость n-GaAs/AlGaAs с широкой квантовой ямой

Дричко И.Л.¹, Смирнов И.Ю.¹, Нестоклон М.О.¹, Суслов А.В.², Kamburov D.,³
Baldwin K.W.,³ Pfeiffer L.N.,³ West K.W.,³ Голуб Л.Е.¹

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

² National High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, FL 32310, USA

³ Department of Electrical Engineering, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA

DOI 10.34077/Semicond2019-223

Объектами исследования в настоящей работе являются многослойные структуры n-GaAlAs/GaAs/GaAlAs с широкой (75 нм) квантовой ямой (КЯ) GaAs и подвижностью электронов $\mu = 2.2 \times 10^7$ см²/Вс и концентрацией $n = 1.4 \times 10^{11}$ см⁻² (при T=0.3 К). Измерения проводились бесконтактными акустическими методами в области частот поверхностных акустических волн (ПАВ) 30-307 МГц, температур 20-500 мК и магнитных полей B до 18 Тл.

В структурах с широкой КЯ электроны под влиянием электростатического отталкивания прижимаются к границам ямы, образуя двухслойную структуру. Наличие 2-х взаимодействующих слоев приводит к электронному спектру, состоящему из 2-х подзон с симметричной (S) и антисимметричной (AS) волновыми функциями. Энергетическая щель между этими подзонами Δ_{SAS} определяется взаимодействием между слоями: чем меньше взаимодействие, тем меньше Δ_{SAS} . Наличие 2-х подзон приводит к возникновению резонансного рассеяния в малых магнитных полях, связанного с межподзонными переходами, которые возникают при выполнении условия $\Delta_{SAS}/\hbar\omega_c = k$, где k -целое число. Этот эффект проявляется в возникновении осцилляций проводимости, эквидистантных по $1/B$. Эти осцилляции и наблюдались в нашем эксперименте в полях $B_{\perp} < 0.3$ Тл, причем анализ положения их минимумов от $1/B$ дал возможность определить $\Delta_{SAS} = 0.42$ мэВ [1].

В структурах с одной зоной при изменении магнитного поля наблюдаются обычно 2 серии осцилляций Шубникова-де Гааза (Ш-дГ), связанных с орбитальным и спиновым расщеплением уровней Ландау. Однако, в исследуемой структуре в области магнитных полей $0.5 \text{ Тл} < B_{\perp} < 1.5 \text{ Тл}$ наблюдается 4 серии осцилляций Ш-дГ. Этот факт можно объяснить двухподзонной энергетической схемой, характерной для электронов в широкой КЯ в области активационной проводимости: 1-ая серия осцилляций связана с переходами электронов с уровней Ландау AS подзоны на уровни S подзоны с разными номерами, 2-ая с переходами с уровней S подзоны на уровни AS подзоны с одинаковыми номерами, а 3 и 4 серия – со спиновым расщеплением S и AS подзон. Для проверки были исследованы зависимости амплитуд осцилляций проводимости от угла наклона магнитного поля относительно нормали к поверхности структуры θ при $T = 310$ мК. Оказалось, что при некоторых θ минимумы в проводимости для некоторых серий осцилляций сменяются максимумами. Обычно этот эффект возникает при пересечении уровней Ландау на уровне Ферми.

Была развита теория, которая показала, что пересечения уровней Ландау из разных подзон могут быть связаны не только с изменением щели Δ_{SAS} [2] от $B_{\parallel}$, которая очень мало меняется в изучаемой структуре, но и с различной зависимостью циклотронных энергий в S и AS подзонах от $B_{\parallel}$ в области $B_{\parallel} = 0 \dots 2$ Тл, причем циклотронная энергия в S подзоне уменьшается, а в AS подзоне увеличивается с ростом $B_{\parallel}$. Была определена величина g-фактора, которая являлась подгоночным параметром при сопоставлении теории и эксперимента. Работа подтверждает влияние двухподзонной энергетической схемы на картину осцилляций Ш-дГ даже при малой энергии $\Delta_{SAS} = 0.42$ мэВ.

[1] I.L. Drichko et al., *Phys Rev. B*, **97**, 075427(2018).

[2] A.A. Bykov et al., *Phys Rev. B*, **93**, 115309 (2016).