Релаксация двумерного электронного газа по энергии и импульсу в гетероструктурах AlGaAs/InGaAs/GaAs с донорно-акцепторным легированием при взаимодействии с акустическими фононами

Протасов Д.Ю.^{1,2}, Бакаров А.К.¹, Торопов А.И.¹, Журавлев К.С.¹

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20

DOI 10.34077/Semicond2019-238

Донорно-акцепторное легирование гетероструктур AlGaAs/InGaAs/GaAs позволяет получать двумерный электронный газ (ДЭГ) высокой плотности (до $(4\div5)\times 10^{12} \text{ см}^{-2}$) без появления паразитной параллельной проводимости по области дельта-слоев [1]. В таких гетероструктурах заполнены первые два уровня размерного квантования, что приводит к появлению особенностей релаксации электронов по энергии и импульсу при взаимодействии с акустическими фононами [2]. В данной работе исследуется взаимодействие ДЭГ с акустическими фононами в гетероструктурах AlGaAs/InGaAs/GaAs с донорно-акцепторным легированием, концентрация электронов на верхнем и нижнем уровнях отличается менее, чем в два раза, и энергетический зазор между уровнями достаточно велик и составляет 30÷40 мэВ. Для увеличения роли рассеяния на акустических фононах влияние рассеяния на ионизированных донорах было уменьшено разделением каждого из дельта-слоев на два и использованием сверхрешетки AlAs/GaAs в качестве спейсера. Для разделения вкладов рассеяний на деформационной моде акустических фононов и на неоднородностях сплава была выращена серия гетероструктур AlGaAs/InGaAs/AlGaAs с разным содержанием индия y_{in} в КЯ (от 18% до 0%) и одинаковым уровнем легирования. Вклад рассеяния на деформационной моде акустических фононов определялся из анализа температурных зависимостей подвижности ДЭГ, измеренных в диапазоне 4.2 К – 77 К.

Увеличение y_{in} привело к возрастанию концентрации ДЭГ от $2.2\times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ до $3.9\times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и к уменьшению подвижности от $7900 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ до $7500 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ при комнатной температуре. Анализ температурной зависимости подвижности показал, что рассеяние на деформационном потенциале усиливается при увеличении y_{in} . Константа деформационного потенциала при этом приблизительно в два раза меньше используемого в литературе значения и её величина возрастает при увеличении y_{in} .

Для исследования процессов энергетической релаксации величины электронной температуры определялись методом осцилляций Шубникова-де Газа (ШдГ). Осцилляции ШдГ измерялись с помощью сверхпроводящего соленоида, погруженного в жидкий гелий. Электронная температура T_e ДЭГ регулировалась силой постоянного тока, пропускаемого через холловские структуры.

Осцилляции ШдГ в исследуемых гетероструктурах содержат несколько частот: частоты f_1 и f_2 связаны с первой и второй подзонами; комбинационные частоты $f_1\pm f_2$, обусловлены переходами между уровнями Ландау соседних подзон; также наблюдаются частоты, кратные f_1 . Нагрев электрическим током приводит к быстрому подавлению частоты f_1+f_2 и кратных частот. Частоты f_1 и f_2 затухают более медленно, а частота f_1-f_2 уменьшается весьма незначительно при увеличении T_e . Из анализа зависимости амплитуды Фурье-преобразования осцилляций ШдГ с частотами f_1 и f_2 было найдено, что при приложении электрического поля с напряженностью от $\sim 0.1 \text{ В/см}$ до $\sim 3 \text{ В/см}$, электронная температура возрастает от 4.2 К до 20÷30 К.

[1] D.Yu. Protasov and K.S. Zhuravlev, *Solid State Electronics*, **129**, 66 (2017).

[2] E. Tiras et al, *Phys. Rev. B*, **64**, P. 085301 (2001).