Отрицательная поляризуемость двумерных электронов в квантовых ямах HgTe

Алёшкин В.Я.^{1,2}, Германенко А.В.³, Миньков Г.М.^{3,4}, Шерстобитов А.А.^{3,4}

¹ИФМ РАН, 603087, Афонинo, ул. Академическая, 7

²Нижегородский государственный университет, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

³Уральский федеральный университет, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

⁴ИФМ УрО РАН, 620990, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 19

DOI 10.34077/Semicond2019-218

Известно, что электроны, занимающие нижнюю подзону размерного квантования в квантовых ямах полупроводников с нормальной зонной структурой обладают положительной поляризуемостью по отношению к электрическому полю $\mathbf{E}$, направленному по нормали к квантовой яме. Это определяется тем, что электрон в квантовой яме GaAs/AlAs под воздействием электрического поля смещается в сторону действующей со стороны электрического поля силы $\mathbf{F} = -e\mathbf{E}$ (рис. 1a).

В данной работе исследована поляризуемость электронов в квантовых ямах HgTe/CdTe. Расчеты проводились в четырехзонной модели Кейна с учетом деформационных эффектов и понижения симметрии на гетеро границах. Показано, что электроны, находящиеся в нижней подзоне размерного квантования в квантовых ямах HgTe/CdTe под действием электрического поля смещаются в направлении противоположном действующей силе (рис. 1b). Такое поведение приводит к тому, что электронный газ в квантовых ямах HgTe/CdTe обладает отрицательной поляризуемостью в широком диапазоне концентраций электронов.

Аномальный знак поляризуемости наблюдается и в тех случаях, когда квантовая яма формируется твердым раствором HgCdTe. Однако по мере увеличения доли кадмия в квантовой яме поляризуемость увеличивается и становится положительной при доле кадмия более 16.8%. Это значение соответствует концентрации, при которой спектр объемного материала трансформируется из бесщелевого в щелевой, а зоной проводимости становится зона Γ_6 . Поскольку с увеличением доли кадмия в квантовой яме уменьшается вклад состояний зоны Γ_8 в волновые функции электронов зоны проводимости, то можно сделать вывод об определяющей роли состояний зоны Γ_8 в аномальном поведении поляризуемости электронного газа в квантовой яме HgTe/CdTe.

В работе сделана оценка влияния поляризуемости электронного газа на диэлектрическую проницаемость квантовой ямы. Показано, что отрицательная поляризуемость двумерных электронов может уменьшить диэлектрическую проницаемость на величину до 15 процентов. Отрицательная поляризуемость может быть обнаружена при исследованиях эффекта Керра и/или Поккельса, а также она может проявляться в емкостных экспериментах, выполненных на гетероструктурах HgTe/CdTe с полевым электродом.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме «Электрон» (№ АААА-А18-118020190098-5) при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-02-00050), Минобрнауки (проект № 3.9534.2017/8.9) и Программы повышения конкурентоспособности УрФУ (соглашение № 02. А03.21.0006).

Рис.1. – Распределение электронной плотности в z -направлении вблизи дна зоны проводимости в квантовых ямах GaAs/AlAs и HgTe/CdTe при наличии и в отсутствие электрического поля.