Экспериментальное обнаружение Γ — X перехода в заполнении долин в узких ямах AlAs

Хисамеева А.Р.^{1,2}, Щепетильников А.В.¹, Муравьев В.М.¹, Губарев С.И.¹, Кукушкин И.В.¹

¹ ИФТТ РАН, 142432, Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 2

² МФТИ (НИУ), 141701, МО, Долгопрудный, Институтский пер., 9

DOI 10.34077/Semicond2019-248

Изучение плазменных возбуждений играет все более важную роль в современных исследованиях электродинамики двумерных электронных систем (ДЭС). В отличие от хорошо изученных плазменных возбуждений в гетероструктурах GaAs/AlGaAs с однодолинной изотропной ДЭС, квантовые ямы (КЯ) AlAs представляют собой уникальную систему, сочетающую сильную анизотропию эффективных масс электрона с возможностью контролируемого заполнения долин [1]. Несмотря на эти свойства, плазменные явления в таких ДЭС остаются в значительной степени неизученными.

В работе исследовались гетероструктуры AlAs/AlGaAs с ширинами КЯ $W = 4.0 - 7.0$ нм и 15 нм [2]. Образцы представляли собой стандартные Холловские мостики с ширинами $L = 100$ мкм вдоль направления [110] и 20 мкм вдоль [100] и [010]. Магнетоплазменные возбуждения исследовались посредством стандартной схемы двойного синхронного детектирования. В эксперименте измерялась добавка к продольному сопротивлению образца δR , обусловленная поглощением микроволнового излучения. Измерения показали, что, несмотря на близкие значения концентраций, происходит резкое изменение положения резонансного магнитного поля, соответствующего возбуждению плазмона в системе, что указывает на качественные изменения при переходе от КЯ с $W = 5.5$ до 6.5 нм. Так как циклотронная масса m_c сильно зависит от заполнения долин в ДЭС, из анализа данных экспериментов были получены следующие значения масс: $m_c(W = 5.5 \text{ нм}) = (0.27 \pm 0.01) m_0$ и $m_c(W = 6.5 \text{ нм}) = (0.51 \pm 0.01) m_0$. Для КЯ с $W = 6.5$ нм, масса практически равна значению $0.47 m_0$, что соответствует случаю заполнения внутриплоскостных анизотропных X_x — X_y долины. В свою очередь, для КЯ $W = 5.5$ нм, значение близко к значению $m_{tr} = 0.2 m_0$, что указывает на заполнение внеплоскостной изотропной X_z долины. Полученный результат наглядно демонстрирует Γ — X переход в заполнении от анизотропных X_x — X_y долин к изотропной в плоскости КЯ X_z долине. Также в эксперименте наблюдалась уникальная ситуация - суперпозицию двух резонансов для КЯ с $W = 6.0$ нм - один соответствует электронам из долин X_x — X_y , а второй - долине X_z .

Другой интересной особенностью являлось значительное увеличение циклотронной массы $m_c = 0.27 m_0$ при заполнении изотропной X_z долины по сравнению с известным в литературе значением зонной массы $m_{tr} = 0.2 m_0$. Для исследования этого вопроса был проведен ряд дополнительных измерений. Была подробно измерена экспериментальная зависимость эффективной массы двумерных электронов от ширины квантовой ямы W . Данные показали, что значение массы не зависит от ширины W , что исключает влияние AlGaAs барьера и электрон-электронного взаимодействия. Также было получено, что масса практически не зависит от электронной плотности в системе, что исключает влияние непараболичности спектра и эффекта запаздывания. Далее, чтобы доказать, что электроны в узких КЯ AlAs шириной $W < 6$ нм заполняют только одну X_z долину и не происходит подмешивания с сильно анизотропными внутриплоскостными X_x — X_y долинами, была исследована изотропность Ферми контура. Для этого были измерены значения эффективных масс для Холловских мостиков, ориентированных вдоль основных кристаллографических направлений [100], [010] и [110]. В результате экспериментально была проверена изотропность Ферми контура X_z долины в плоскости КЯ.

Работа выполнена в рамках госзадания ИФТТ РАН при частичном финансировании РФФИ (грант № 17-02-01140).

[1] M. Shayegan et al., *Phys. Status Solidi B* **243**, 3629 (2006).

[2] A. R. Khisameeva et al., *Phys. Rev. B*, **97**, 115308 (2018).