

Исследование тонкой структуры A^+ центров в квантовых ямах GaAs/AlGaAs

П. В. Петров

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия

Возможность захвата свободной дырки нейтральным акцептором, с образованием так называемого A^+ центра, была теоретически предсказана по аналогии с отрицательно заряженным атомом водорода H^- [1]. Интерес к A^+ центрам в объемных полупроводниках был вызван тем, что такие дефекты играли принципиальную роль в процессах прыжковой проводимости по примесным зонам. Одним из главных вопросов при этом был вопрос о самом существовании таких центров, о величине энергии связи и размере волновой функции. Подобные вопросы возникли и при исследовании оптических и кинетических эффектов в низкоразмерных системах. Было установлено [2], что в квантовых ямах с селективным легированием возникают A^+ центры, а в [3] было показано, что рекомбинация возбужденных электронов с A^+ центрами происходит путем излучательного перехода электронов на уровень A^+ центра, который определяется его энергией связи с валентной зоной. Это дало возможность измерить энергию связи A^+ центров, которая в квантовых ямах GaAs/AlGaAs оказывается существенно больше, чем в объеме, методом спектрального анализа фотолюминесценции (ФЛ) и определить ее зависимость от ширины квантовых ям в диапазоне 7–18 нм [4]. В работе [4] также было установлено, что характерный размер волновой функции дополнительной дырки превосходит размер волновой функции нейтрального акцептора и при анализе свойств A^+ центра можно пренебрегать обменным взаимодействием дырок. Расчеты в модели потенциала нулевого радиуса позволили установить, что основному состоянию дырок отвечает проекция полного момента на ось роста равная $+3/2$, и энергия первого возбужденного состояния отличается от основного на величину 1–2 мэВ для исследуемых квантовых ям AlGaAs.

В настоящей работе приводятся результаты исследования тонкой, спиновой, энергетической структуры A^+ центров методом анализа индуцированной магнитным полем циркулярной поляризации ФЛ. Основные эксперименты были выполнены на образцах с ширинами квантовых ям W , равными 16 и 18 нм, в которых наблюдается достаточно хорошее разрешение близких пиков ФЛ связанного экситона и рекомбинационного излучения A^+ центра. Для определения степени поляризации и величины расщепления пиков записывались спектры положительно и отрицательно циркулярно поляризованной ФЛ в конфигурации Фарадея. В слабых магнитных полях циркулярная

поляризация излучения, связанная с A^+ центрами, возникает за счет спинового расщепления уровней связанной дырки и электрона и их температурного переселения. В более сильных полях становятся существенными диамагнитные эффекты для локализованных дырок, поскольку радиус основного состояния A^+ центра весьма велик, а первое возбужденное состояние отстоит от основного на величину порядка 1 мэВ [4]. Таким образом в полях около 3 Тл возникает «взаимодействие» основного и возбужденного состояния. Экспериментально наблюдалось уменьшение степени поляризации и падение интенсивности ФЛ в полях более 3 Тл. Согласно правилам отбора это можно связать с возрастанием роли переходов в возбужденные состояния дырки $+1/2$ и $-1/2$. Был произведен расчет зависимости степени циркулярной поляризации ФЛ, связанной с A^+ центрами с использованием теоретической модели, описанной в работе [4]. Сравнение с экспериментальными данными подтвердило адекватность данной модели и позволило определить параметры, определяющие поведение дефекта в магнитном поле.

Литература

- [1] М. А. Lampert, Phys. Rev. Lett, **1**, 450, (1958).
- [2] Н. В. Агринская, Ю. Л. Иванов, В. М. Устинов, Д. В. Полоскин. ФТП, **35**, 571 (2001).
- [3] Ю. Л. Иванов, Н. В. Агринская, П. В. Петров, В. М. Устинов, Г. Э. Цырлин. ФТП, **36**, 993 (2002).
- [4] Н. С. Аверкиев, А. Е. Жуков, Ю. Л. Иванов, П. В. Петров, К. С. Романов, А. А. Тонких, В. М. Устинов, Г. Э. Цырлин. ФТП, **38**, 222 (2004).