Магнитные свойства $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x/\text{Si}$ квантовых точек: ЭПР

Зиновьева А.Ф.¹, Зиновьев В.А.¹, Степина Н.П.¹, Кацюба А.В.¹, Двуреченский А.В.¹,
Гутаковский А.К.¹, Кулик Л.В.², Богомяков А.С.³, Эренбург С.Б.⁴, Трубина С.В.⁴,
Фёльсков М.⁵

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

² ИХХГ СО РАН, 630090, Новосибирск, ул. Институтская 3

³ Международный Томографический центр СО РАН, 630090, Новосибирск, ул. Институтская 3а

⁴ ИНХ СО РАН, 630090, Новосибирск, ул. Лаврентьева 3,

⁵ Institute of Ion Beam Physics and Materials Research, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

DOI 10.34077/Semicond2019-278

В последние годы большое внимание уделяется созданию магнитных квантовых точек (КТ) в системе на основе Ge/Si гетеросистемы с использованием метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Ожидается, что квантование, обеспечиваемое квантовыми точками, усилит обменное взаимодействие дырок с ионами Mn и облегчит формирование магнитной фазы внутри КТ. Дополнительным преимуществом таких КТ является совместимость с кремниевой технологией. Результаты, полученные на сегодня различными

исследовательскими группами, находятся в некотором противоречии. Одни исследователи сообщают об успешном создании магнитных КТ при одних условиях роста, а другие - при других. Чтобы разобраться в существующих на сегодня результатах по формированию магнитных КТ в системе Ge/Si нами было предпринято систематическое исследование структур с Ge/Si КТ, легированными Mn , созданными в условиях, описанных в литературе. Исследована зависимость как структурных, так и магнитных свойств таких КТ от температуры формирования и потока Mn . Для исследования магнитных свойств использовались методы магнетометрии и ЭПР спектроскопии. В исследованиях методом ЭПР в

качестве маркеров изменения состояния системы (микроструктуры, состава КТ и деформаций) использованы электронные состояния, локализованные на КТ. Были исследованы две серии образцов: 1) серия А с КТ, выращенными при $T_{\text{QD}}=450^\circ\text{C}$ и варьируемой концентрации Mn , 2) серия В с КТ, выращенными при различных температурах и одной и той же концентрации Mn $x = 0.02$. Все образцы продемонстрировали ЭПР сигналы от электронов, локализованных на КТ. Обнаружено, что присутствие Mn приводит к существенным изменениям спектров ЭПР. С увеличением концентрации Mn наблюдается подавление ЭПР сигнала от КТ. При этом меняются угловые зависимости g -фактора, что свидетельствует о смене пространственной локализации электронов. Для образца В2 ($T_{\text{QD}}=400^\circ\text{C}$, $x=0.02$) наблюдается необычный сдвиг ЭПР сигнала в сторону меньших магнитных полей. Наблюдаемые изменения связаны с (i) уменьшением деформации из-за Ge-Si перемешивания, (ii) увеличением характерного размера КТ и изменением их формы, (iii) появлением дополнительного магнитного поля, связанного с атомами Mn в КТ. Последнее согласуется с измерениями методом магнетометрии. Полученные данные позволяют разобраться в причинах невоспроизводимости имеющихся в литературе результатов по созданию магнитных $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x$ КТ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-02-00397).

[1]. А.Ф. Зиновьева и др., Письма в ЖЭТФ **109** (2019) 258.

Рис.1. – ЭПР спектры от образцов серии В: образца В1 ($T_{\text{QD}}=450^\circ\text{C}$, $x \leq 0.02$) и образца В2 ($T_{\text{QD}}=400^\circ\text{C}$, $x=0.02$). θ - угол между магнитным полем и направлением $[001]$.