Управление электронной локализацией за счет деформационных полей в группах Ge/Si квантовых точек

Зиновьева А.Ф.¹, Зиновьев В.А.¹, Ненашев А.В.¹, Кулик Л.В.², Двуреченский А.В.¹

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

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

DOI 10.34077/Semicond2019-290

Новые тенденции в электронике требуют создания полупроводниковых наноструктур с контролируемыми оптическими и спиновыми свойствами. Одной из перспективных систем для манипулирования электронной структурой является система с Ge/Si квантовыми точками (КТ), создаваемыми за счет самоорганизации в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии. Здесь электроны локализируются за счет деформаций в потенциальных ямах в Si вблизи КТ. Меняя пространственную конфигурацию КТ, их размер, форму, взаимное расположение, можно контролировать распределение деформаций, и соответственно энергетический спектр электронов.

В данной работе были разработаны и созданы специальные структуры с Ge/Si КТ, позволяющие реализовать одновременную локализацию электронов в разных Δ долинах в упорядоченной группе КТ [1]. Электроны имеют разную пространственную локализацию (один локализован на вершине КТ, а другой на одном из ребер основания КТ), характеризуются разными g -факторами и могут рассматриваться как пара кубитов, связанных постоянным обменным взаимодействием. Структуры представляют собой комбинацию (~ 200 нм) больших дискообразных КТ (нанодисков) и групп КТ меньшего размера (~ 30 нм), выращенных на расстоянии 35 нм от слоя нанодисков.

Для увеличения деформаций и, соответственно, энергии связи электронов на КТ, были выращены 4-слойные стеки упорядоченных групп КТ с различным расстоянием между слоями КТ в стеке d . Для локализации электронов в боковых Δ_{xy} долинах было использовано расстояние $d=3$ нм. Для одновременной локализации электронов в разных Δ долинах была создана структура с варьируемым расстоянием d в стеке: между 2-м и 3-м слоем КТ $d=5$ нм, остальные прослойки имели толщину $d=3$ нм. Локализация электронов была исследована методом ЭПР. Интерпретация результатов ЭПР была проведена на основе анализа значений g -факторов и их ориентационных зависимостей и сопоставления с результатами вычислений энергетического спектра и волновых функций электронов. Расчеты проводились с учетом элементного состава КТ и реальной геометрии нанобъектов. Получено, что деформационное поле нанодиска играет ключевую роль в реализации одновременной локализации электронов в разных Δ долинах, позволяя регулировать положение энергетических уровней электронов. Полученные результаты могут лечь в основу создания базовых элементов для квантовых вычислений на основе структур с Ge/Si КТ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 16-29-14031).

[1]. A.F. Zinovieva et al., Phys. Rev. B **99** (2019) 115314.

Рис.1. – ЭПР спектр от структуры с 4-слойным стеком упорядоченных групп GeSi КТ с варьируемым межслоевым расстоянием, выращенным на подложке со встроенными нанодисками.