Влияние самоорганизации поверхностных зарядов на квантовый микроконтакт в двумерных затворно-индуцированных системах**Ткаченко О.А.¹, Бакшеев Д.Г.², Ткаченко В.А.^{1,2}, Сушков О.П.³**¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2³ School of Physics, University of New South Wales, Sydney, 2052, Australia

DOI 10.34077/Semicond2019-245

В настоящее время исследуются микроконтакты, создаваемые в конфигурациях металл-диэлектрик-расщепленный затвор Шоттки-нелегированная гетероструктура GaAs/AlGaAs [1]. Для изучения роли поверхностных зарядов интересен случай близкого расположения затворно-индуцированного двумерного газа электронов, либо дырок к поверхности полупроводника и к верхнему затвору (~40;70 нм). Была выбрана структура с достаточно высокой по оценкам концентрацией отрицательных зарядов $n \approx 7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ локализованных на границе полупроводника с диэлектриком Al_2O_3 и нейтрализованных зарядами изображения в верхнем затворе. В моделируемых образцах длина расщепленного затвора Шоттки менялась от 100 до 600 нм, а дистанция между его половинами равна 400 нм. Методом Метрополиса вычислялись равновесные состояния системы поверхностных зарядов для разных температур на прямоугольнике длины 3 мкм и ширины 2.6 мкм. В расчете предполагались периодические граничные условия на плоскости, отсутствие поверхностных зарядов на поверхности GaAs под затвором Шоттки (полное экранирование), сохранение числа взаимодействующих частиц (~10000) и непрерывность возможных перемещений точечных зарядов на плоскости при поиске минимума внутренней энергии системы. Считалось, что найденное распределение поверхностных зарядов замораживается при погружении образца в криостат при нулевых затворных напряжениях. С этим распределением решались задачи 3D электростатики и 2D квантового транспорта для микроконтакта при затворных напряжениях, отвечающих формированию двумерного газа носителей нужной плотности и микроконтакта с заданным числом мод. Особенности в расположении поверхностных зарядов порождают на глубине двумерного газа максимумы или минимумы потенциала характерного размера 150 нм. Эти флуктуации передаются одномерным подзонам. В длинных микроконтактах ($L=400 \div 600$ нм) на вершине подзоны могут возникать потенциальные ямки, которые на кривых кондактанса дают резонансы (пики или провалы). При совершенно случайном распределении поверхностных зарядов лестница кондактанса оказывается практически разрушена резонансами. Но в коротких каналах сохраняется только одно узкое место, и ступени кондактанса получаются гладкими. Самоорганизация поверхностных зарядов существенно подавляет флуктуации потенциала на глубине двумерного газа даже при большой эффективной температуре замораживания беспорядка (500 К), при этом резонансные особенности на ступенях квантования кондактанса становятся менее выраженными или исчезают.

Значения эффективной температуры беспорядка $1000 \div 500 \text{ К}$ мы нашли сравнением теоретических и экспериментальных значений транспортного и квантового времен рассеяния в разных структурах с двумерным электронным и дырочным газом. Мы считаем, что в реальных образцах имеется примерно такой же беспорядок, как в расчете, но фактическая температура замораживания беспорядка заведомо ниже, чем эффективная. В нашей упрощенной модели самоорганизации принято во внимание лишь кулоновское взаимодействие зарядов, их положения не ограничены реальной сеткой поверхностных дефектов, и не учитывался разброс энергий связи зарядов с дефектами. Эти неучтенные факторы могут только понижать реальную температуру замораживания по сравнению с эффективной.

[1] J.C.H. Chen, D.Q. Wang, O. Klochan et al., *Appl. Phys. Lett.* 106, 052101 (2015).