

КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И МАГНИТНЫЙ БЕСПОРЯДОК В ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКИ ЗАЩИЩЕННЫХ КРАЕВЫХ СОСТОЯНИЙ

Непрерывная миниатюризация устройств традиционной полупроводниковой электроники, основанной на полевых транзисторах, к настоящему времени близка к насыщению. В связи с этим актуальной является разработка и исследование полупроводниковых и гибридных устройств нового поколения, способных в будущем заменить традиционные полевые транзисторы. Перспективными кандидатами на эту роль в настоящее время считаются материалы, в которых реализуются топологически защищенные краевые состояния, в частности, майорановские моды (ММ). Последние часто рассматриваются как возможная элементная база для создания устройств квантовых вычислений [1]. Кандидатами для экспериментального обнаружения топологических состояний и майорановских мод являются полупроводниковые нанопроволоки с наведенной сверхпроводимостью во внешнем магнитном поле – сверхпроводящие нанопроволоки (СН) [2]. Их популярность связана с развитой технологией молекулярно-лучевой эпитаксии. Обычно исследуются проволоки InAs или InSb с сильным спин-орбитальным взаимодействием и большими значениями g -факторов ($g_{\text{InAs}} \sim 10-25$ и $g_{\text{InSb}} \sim 20-70$), а также стандартные БКШ сверхпроводники, типа Al, тонкие слои которых (5-10 нм) напыляются на поверхность нанопроволоки.

Прогресс в создании таких гибридных структур позволил поставить эксперименты по баллистическому транспорту [2]. Был обнаружен пик дифференциальной проводимости при нулевом напряжении, высота которого в широком интервале магнитных полей равнялась двум квантам проводимости $2G_0$. Это трактовалось на основе реализации ТНФ с майорановскими модами. Однако, такой резонанс может возникать из-за неоднородностей электростатического потенциала и андреевского отражения (АО) на них [3]. Неоднозначность интерпретации результатов таких экспериментов делает актуальной разработку альтернативных методов экспериментальной идентификации ТНФ в СН.

Целью настоящей работы являлось изучение фундаментальных свойств и возможностей экспериментальной идентификации топологически защищенных краевых состояний в полупроводниковых нанопроволоках, находящихся в контакте с сверхпроводящими материалами. С этой целью необходимо было решить следующие задачи;

1. определение экспериментальных характеристик, позволяющих идентифицировать топологические области параметров в полупроводниковых нанопроволоках, устойчивых по отношению к наличию в системе электронных корреляций и структурного беспорядка;
2. фундаментальное исследование особенностей и возможностей реализации краевых (как топологических, так и тривиальных) состояний в нанопроволоках;
3. развитие теории спектральных и кинетических свойств высокотемпературных сверхпроводников, с целью дальнейшего рассмотрения контактных явлений в таких материалах с полупроводниковыми нанопроволоками, в которых возможна реализация майорановских мод.

В рамках данных направлений были получены следующие результаты:

1. обнаружена серия калорических аномалий в короткой сверхпроводящей нанопроволоке с сильным спин-орбитальным взаимодействием Рашбы. Указано, что данное поведение может служить указателем для идентификации условия реализации

майорановских мод в более длинных нанопроволоках [4,5];

2. показано, что в случае коротких цепочек, внутри областей параметров с нетривиальным топологическим индексом возникают области, где краевые возбуждения не реализуются. И напротив, в областях с тривиальным топологическим индексом могут возникать краевые возбуждения [6];

3. в рамках спин-фермионной модели на реальной кристаллической решетке медь-кислородной плоскости методом диаграммной техники при учете сильной спин-фермионной связи и двухузельных спин-флуктуационных процессов рассеяния рассчитана энергетическая структура купратных сверхпроводников. Вычисления показали, что спин-поляронная зона имеет локальный минимум в точке $(\pi/2, \pi/2)$ зоны Бриллюэна, что хорошо согласуется с экспериментальными данными по купратным сверхпроводникам [7,8].

Список литературы

1. Kitaev A.Yu. Unpaired Majorana fermions in quantum wires // *Phys. Usp.* 2001. V. 44, P. 131 (2001).

2. Lutchyn R.M., Bakkers E. P. A. M., Kouwenhoven L. P., Krogstrup P., Marcus C.M., Oreg Y. Majorana zero modes in superconductor–semiconductor heterostructures // *Nat. Rev. Mat.* 2018. V. 3. P. 52-68.

3. Moore C., Zeng C., Stanescu T.D., Tewari S. Quantized zero-bias conductance plateau in semiconductor-superconductor heterostructures without topological Majorana zero modes // *Phys. Rev. B.* 2018. V. 98, P. 155314.

4. Вальков В.В., Мицкан В.А., © Шустин М.С. Фермионная четность основного состояния и калорические свойства сверхпроводящей нанопроволоки // *ЖЭТФ.* 2019. Т.156. С.1-14.

5. Вальков В.В., Мицкан В.А., Злотников А.О., © Шустин М.С., Аксенов С.В. Реализация топологически нетривиальных фаз, каскад квантовых переходов и идентификация майорановских мод в киральных сверхпроводниках и нанопроволоках // *Письма в ЖЭТФ.* 2019. Т.110. С. 126-139.

6. Федосеев А.Д. Влияние размеров на условия возникновения краевых состояний в одномерных система // *ЖЭТФ.* 2019. Т.155. С.138-146.

7. Val'kov V.V., Korovushkin M.M., Barabanov A.F. Influence of the Coulomb Repulsions on the Formation of the Superconducting Gap of the Spin-Polaron Quasiparticles in Cuprates // *J. Low Temp. Phys.* 2019. V.196 (1-2), pp. 242-252.

8. Val'kov V.V., Mitskan V.A., Korovushkin M.M., Dzebisashvili D.M., Barabanov A.F. Diagram Approach to the Problem of the Normal Phase Properties of the Spin-Polaron Ensemble in Cuprate Superconductors // *J. Low Temp. Phys.* 2019. V. 197 (1-2). pp. 34-43 (2019).