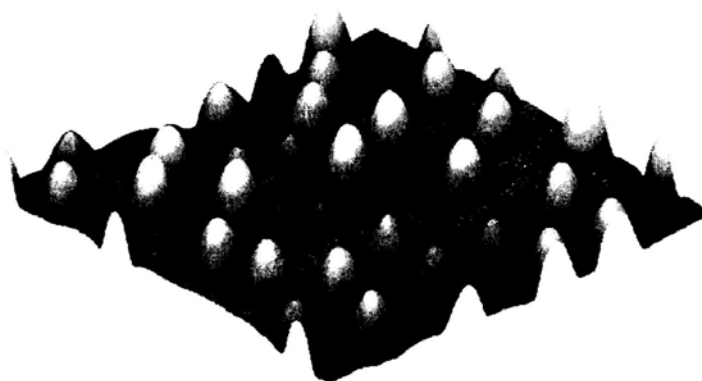


Второй российско-украинский семинар

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА



**22 - 24 ноября 2000
Киев, Украина**

СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ДИЗАЙНА СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ.

К. Ю. Платов¹, М. Ю. Куприянов¹, А. М. Клущин², Р. К. Стародубровский², С. И. Боровицкий²
¹Научно-исследовательский институт ядерной физики, МГУ им. М.В.Ломоносова 117899, Москва, Воробьевы горы

²Государственное унитарное предприятие Нижегородский Научно-Исследовательский Приборостроительный Институт КВАРЦ, 603009, Нижний Новгород, проспект Гагарина, 176

Развитие современной электроники ориентирует технологию на дальнейшую миниатюризацию базовых элементов с целью перехода к активным элементам субмикронных размеров. Несложные оценки показывают, что в сверхпроводниковой электронике этот процесс должен сопровождаться развитием новых технологий, концептуально отличающихся от хорошо известной Nb/Al технологии изготовления туннельных переходов. Переход к двухбарьерным джозефсоновским SIS'IS структурам является естественным выходом, дающим возможность успешно решать актуальные задачи сверхпроводниковой низкотемпературной электроники.

В рамках данной работы показано, что среди имеющихся вариантов (НТСП туннельные и SNS переходы, ВТСП контакты, двухбарьерные структуры) лишь SIS'IS переходы позволяют уже сейчас перейти к изготовлению устройств высокой степени интеграции. Последние данные наглядно продемонстрировали возможность изготовления 70000 SIS'IS переходов с разбросом параметров на чипе менее 10%. В устройствах на туннельных НТСП SIS переходах эта цифра, как правило, не превышала 10000. Показано, что в отличие от остальных типов переходов, в двухбарьерных структурах имеется два самоусредняющихся процесса, приводящих к высокой степени воспроизводимости их параметров. Рассчитаны стационарные характеристики SIS'IS переходов в грязном и чистом пределах. Показано, что в двухбарьерных переходах возможно достижение характерного напряжения порядка одного милливольт, и что их вольт-амперные характеристики (ВАХ) весьма близки к следующим из RSJ модели ВАХ джозефсоновских переходов. Проводится обсуждение влияния несимметрии структур на амплитуду ступенек Шапиро и форму зависимости критического поля от внешнего магнитного поля. Показано, что в этих структурах имеется весьма широкий круг фундаментальных проблем, связанных с исследованием неравновесных и нестационарных процессов, который еще требует своего разрешения.

По меньшей мере в одном классе сверхпроводниковых устройств преимущества технологии SIS'IS переходов могут быть немедленно реализованы. Современная концепция программируемого стандарта вольта базируется на использовании безгистерезисных джозефсоновских переходов с большими плотностями тока. В настоящее время предложен новый вариант такого устройства, позволяющий решить проблему неравномерного распределения внешнего высокочастотного сигнала внутри структуры джозефсоновских переходов. Микросхема состоит из цепочки джозефсоновских переходов и микрополосковой линии, связанной индуктивно с контурами связи, располагающимися параллельно цепочке джозефсоновских переходов и образующими с переходами кольцевые структуры. В рамках RSJ модели проведен теоретический анализ нескольких вариантов дизайна индуктивной связи и цепочек обратной связи микросхемы стандарта вольта. Исследованы процессы синхронизации при наличии двух конкурирующих механизмов образования синхронного состояния, внутреннего и внешнего. Проведено численное моделирование динамических процессов в структурах и определены предельные значения разброса параметров (критических токов и нормальных сопротивлений переходов), позволяющих достигнуть устойчивой синхронизации системы внешним сигналом в случае реализации синфазной моды колебаний. Параметры структуры, использованные при моделировании были получены путем прямого вычисления значения емкостей и индуктивностей образующих структуру элементов. При этом были использованы новые специализированные программы, позволяющие рассчитывать импедансы многослойных структур.

КВАНТОВЫЙ ТРАНСПОРТ В МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУРАХ

М.А.Белоголовский¹, М.Ю.Куприянов², В.Е.Шатерник³, Э.М.Руденко³

¹Донецкий физико-технический институт НАНУ, 83114 Донецк, Украина

²Институт ядерной физики, Московский госуниверситет, 119899 Москва, Россия

³Институт металлофизики НАНУ, 02142 Киев, Украина

Представлен обзор выполненных авторами теоретических и экспериментальных исследований транспортных характеристик двухбарьерных структур с мезоскопически тонкой нормальной прослойкой, в которых одна из обкладок является сверхпроводящей. Разработана методика расчета проводимости контакта как функции приложенного напряжения, которая представляет собой обобщение формализма Ландауэра-Буттикера на случай неоднородных сверхпроводящих систем с анизотропным параметром порядка и обладает большей наглядностью по сравнению со стандартным подходом теории рассеяния. Численные расчеты для s -волновых сверхпроводников демонстрируют наличие локальных максимумов в дифференциальной проводимости контакта, положение которых по напряжению определяется соотношением прозрачностей двух барьеров.

Для случая сверхпроводников с d -волновой симметрией параметра порядка предложен новый подход к нахождению вольт-амперных кривых для баллистических переходов с произвольными барьерами. Он заключается в точном квантовомеханическом решении задачи электронного транспорта в нормальной части контакта и использовании коэффициентов андреевского отражения от границы со сверхпроводником, найденных самосогласованным образом из квазиклассических уравнений Эйленберга для полубесконечного сверхпроводящего металла, ограниченного с одной стороны свободной полностью отражающей поверхностью. Учет диффузного поверхностного рассеяния выполнен в рамках подхода Овчинникова, который предполагает наличие на сверхпроводнике тонкого нормального слоя с конечным отношением толщины к длине свободного пробега квазичастиц. Полученные численные результаты подтверждают предложенные Куколо экспериментальные критерии аномального спаривания в металлооксидных соединениях: а) наличие большого пика проводимости при нулевом напряжении (результат конструктивной интерференции электронных и дырочных состояний при андреевском отражении от поверхности сверхпроводника); б) минимумы по обеим сторонам от центрального пика (деструктивная интерференция квазичастичных возбуждений); и) небольшие максимумы в районе энергетической щели сверхпроводника (связанные состояния в приповерхностном слое с подавленной сверхпроводимостью).

Созданы и экспериментально изучены асимметричные двухбарьерные гетероструктуры с ниобиевыми обкладками, тонкой (4-6 нм) промежуточной прослойкой алюминия и двумя диэлектрическими слоями, образованными окислами алюминия и ниобия. При 4,2 К обнаружен джозефсоновский критический ток с фраунгоферовой зависимостью от магнитного поля и характерными напряжениями 0,3 - 0,4 мВ. При конечных напряжениях смещения вольт-амперные кривые проявляют так называемое "колени" в области энергетических щелей и дополнительный (разного знака) ток в области высоких напряжений. Обнаруженные особенности могут быть интерпретированы в рамках развитых теоретических представлений о баллистическом транспорте в резко асимметричных двухбарьерных системах. С этой точки зрения "колени" - это отражение особенности электронной плотности состояний из-за возникновения в очень тонкой нормальной прослойке при напряжении несколько ниже энергетической щели ниобия андреевского уровня. Выполненные эксперименты качественно подтверждают идею использования подобных структур для защиты от неджозефсоновских токов через небольшие участки в барьерах повышенной прозрачности. Обсуждаются перспективы использования двухбарьерных джозефсоновских структур в качестве базовых элементов сверхпроводниковых электронных устройств и их преимущества по сравнению с однобарьерными аналогами.