

Проект на конкурс РФФИ – ГФЕН КИТАЯ 2004 ГОДА (ГФЕН2004_a)

Разработка и исследование сверхпроводниковых приемников на основе интегральных структур ФФО/СИС на частоту 230 ГГц.

Study on the Superconducting FFO/SIS Integrated Receiver Technology for 230GHz

Руководитель проекта: профессор В.П. Кошелец, г.н.с. ИРЭ РАН

Проект направлен на разработку и исследование интегрального спектрометра на частоту 230 ГГц с предельной (квантовой) чувствительностью. В результате выполнения проекта будет разработана и экспериментально апробирована микросхема сверхпроводникового интегрального спектрометра высокого разрешения для радиотелескопа в Китае - Purple Mountain Observatory (PMO). Целью предлагаемого совместного цикла работ является разработка прибора с шумовой температурой менее 100 К в частотном диапазоне 210 – 275 ГГц и разрешением лучше 1 МГц. На основе интегральной сверхпроводниковой микросхемы, разработанной российскими учеными, китайскими коллегами будет создан приемник для радиоастрономических наблюдений в Китае. При этом будет исследована возможность использования в качестве нелинейного смесителя многоэлементной сверхпроводниковой структуры, предложенной китайскими учеными из PMO.

Концепция сверхпроводникового интегрального приемника (СИП) субмм волн была разработана и апробирована учеными ИРЭ. СИП представляет собой однокристалльную СВЧ микросхему, которая включает в себя СИС-смеситель с планарной сверхпроводниковой приемной антенной и сверхпроводниковый генератор гетеродина. Легкие и компактные сверхчувствительные интегральные субмм приемники с малым энергопотреблением очень привлекательны как для радиоастрономии, так и для дистанционного мониторинга земной атмосферы. Основной научной задачей проекта является достижение сочетания предельной чувствительности СИС-смесителя с высоким разрешением, обеспечиваемым сверхпроводниковым флакс-флоу осциллятором (ФФО), синхронизированным к опорному синтезатору. Другой важнейшей задачей проекта является изучение фундаментальных ограничений на перестройку частоты и ширину линии излучения ФФО, работающего в резонансном режиме на ступенях Фиске. Будет изучена возможность использования ФФО с электродом из нитрида ниобия (NbN) и возможность реализации плавной перестройки частоты в таких структурах.

Содержание инициативного проекта

«Разработка и исследование сверхпроводниковых приемников на основе интегральных структур ФФО/СИС на частоту 230 ГГц»

Проект направлен на решение фундаментальной проблемы СВЧ электроники - разработку новых СВЧ сверхпроводниковых элементов, исследование физических принципов их работы, и объединение новых элементов в единое устройство для реализации квантовых интегральных приемников субмм волн с уникальными параметрами. Проект естественным образом объединяет работы по двум приоритетным направлениям развития науки и техники: на базе принципиально новых подходов будут созданы практические основы сверхпроводниковой СВЧ электроники и разработаны уникальные устройства для сверхчувствительного приема сигналов, предназначенные для работы на радиотелескопе в Китае.

Конкретной задачей данного проекта является разработка и исследование интегрального спектрометра на частоту 230 ГГц с предельной (квантовой) чувствительностью. В результате выполнения проекта будет разработана и экспериментально апробирована микросхема сверхпроводникового интегрального спектрометра высокого разрешения для радиотелескопа в Китае - Purple Mountain Observatory (PMO). Целью предлагаемого совместного цикла работ является разработка

прибора с шумовой температурой менее 100 К в частотном диапазоне 210 – 275 ГГц и разрешением лучше 1 МГц. На основе интегральной сверхпроводниковой микросхемы, разработанной российскими учеными, китайскими коллегами будет создан приемник для радиоастрономических наблюдений в Китае. При этом будет исследована возможность использования в качестве нелинейного смесителя многоэлементной сверхпроводниковой структуры, предложенной китайскими учеными из РМО.

Концепция сверхпроводникового интегрального приемника (СИП) субмм волн была разработана и апробирована учеными ИРЭ РАН. СИП представляет собой однокристалльную СВЧ микросхему, которая включает в себя СИС-смеситель с планарной сверхпроводниковой приемной антенной и сверхпроводниковый генератор гетеродина. Легкие и компактные сверхчувствительные интегральные субмм приемники с малым энергопотреблением очень привлекательны как для радиоастрономии, так и для дистанционного мониторинга земной атмосферы. Основной научной задачей проекта является достижение сочетания предельной чувствительности СИС-смесителя с высоким разрешением, обеспечиваемым сверхпроводниковым флакс-флоу осциллятором (ФФО), синхронизированным к опорному синтезатору. Другой важнейшей задачей проекта является изучение фундаментальных ограничений на перестройку частоты и ширину линии излучения ФФО, работающего в резонансном режиме на ступенях Фиске. Будет измерена ширина линии излучения для ФФО с электродом из нитрида ниобия (NbN) и исследована возможность реализации плавной перестройки частоты в таких структурах.

Одним из ключевых моментов данного проекта является принципиально новый подход, основанный на интеграции отдельных сверхпроводниковых элементов с предельными параметрами в единое устройство. В ходе выполнения проекта будет разработана надежная технология изготовления сверхпроводниковых СВЧ микросхем средней степени интеграции. Будут созданы новые элементы сверхпроводниковой СВЧ электроники и проведено исследование физических принципов их работы. В частности, будет разработан и реализован полностью сверхпроводниковый приемник субмм волн с уникальными параметрами, это станет возможным благодаря интеграции всех основных элементов субмм приемника на одной микросхеме. При этом будет реализована синхронизация сверхпроводникового генератора гетеродина к внешнему опорному сигналу, что является принципиальным для большинства практических применений. Целью предлагаемого совместного цикла работ является разработка прибора с шумовой температурой менее 100 К в частотном диапазоне 210 – 275 ГГц и разрешением лучше 1 МГц. В результате выполнения проекта на основе интегральной сверхпроводниковой микросхемы, разработанной российскими учеными, будет разработан и экспериментально апробирован сверхпроводниковый интегральный приемник с уникальными параметрами для радиотелескопа в Китае.

Для реализации интегральных СВЧ устройств в ИРЭ РАН создана технология изготовления сверхпроводниковых микросхем. Успешно функционирует технологический комплекс по изготовлению сверхпроводниковых структур на основе высококачественных туннельных переходов Nb-AlO_x-Nb микронных размеров. Эта технология оптимизирована для изготовления схем интегрального приемника с числом тонкопленочных слоев до 12. Для исследования и тестирования сверхпроводниковых СВЧ микросхем будет использована автоматизированная система измерения и специально разработанный пакет программ управления микросхемой интегрального приемника. Следует отметить, что в ходе предыдущих исследований в ИРЭ РАН отработана методика исследования СВЧ свойств элементов интегральной микросхемы путем измерения характеристик этих элементов на постоянном токе с помощью автоматизированной системы. Эта методика основана на измерении вольт-амперных характеристик нелинейного СИС-детектора при воздействии СВЧ сигнала, генерируемого интегральным источником гетеродина – ФФО. Коллективом проекта была разработана и апробирована методика расчета и создан пакет прикладных программ для анализа и конструирования СВЧ сверхпроводниковых устройств на основе квазичастичной нелинейности СИС-переходов в диапазоне частот от 100 до 1000 ГГц. С их помощью будет разработан целый ряд настроечных структур для волноводных СИС-смесителей. Подобные структуры необходимы для компенсации собственной емкости туннельных СИС-переходов, которая в противном случае полностью

шунтирует высокочастотный сигнал. Экспериментальное исследование таких структур будет проводиться как путем снятия детекторного отклика квазиоптических СВЧ детекторов с помощью метода Фурье спектроскопии, так и путем гетеродинных экспериментов.

Авторами проекта предложена принципиально новая методика измерения ширины линии излучения сверхпроводниковых генераторов мм и субмм диапазонов длин волн. Ее суть состоит в использовании СИС-смесителя в качестве гармонического умножителя сигнала от высокостабильного синтезатора. С помощью такого подхода и имеющихся измерительных стендов будет проведено исследование СВЧ свойств новых криогенных осцилляторов для интегрального приемника в резонансном режиме на ступенях Фиске. Будет измерена ширина линии излучения для ФФО с электродом из нитрида ниобия (NbN), апробирована возможность плавной перестройки частоты в таких структурах.

Общий план работ на весь срок выполнения проекта:

1. Разработка технологии сверхпроводниковых интегральных схем
 - 1.1. Оптимизация методов получения джозефсоновских переходов Nb-AlO_x-Nb и Nb-AlN-Nb(NbN) микронных размеров с высокой плотностью критического тока (вплоть до 10 kA/cm²).
 - 1.2. Разработка и оптимизация технологии изготовления многослойных сверхпроводниковых интегральных схем для исследования ФФО и микросхем интегрального спектрометра, включая многоэлементные смесительные элементы.
 - 1.3. Разработка автоматизированной системы измерения для тестирования джозефсоновских переходов и интегральных микросхем.
2. Изготовление интегральных сверхпроводниковых структур и СВЧ микросхем на их основе.
 - 2.1. Изготовление сверхпроводниковых микросхем на основе переходов Nb-AlO_x-Nb и Nb-AlN-Nb(NbN) для измерения ширины линии генерации ФФО в различных режимах.
 - 2.2. Изготовление тестовых сверхпроводниковых микросхем интегрального приемника диапазона 210-275 ГГц.
3. Исследование линии генерации ФФО
 - 3.1. Измерение экспериментальных зависимостей ширины автономной спектральной линии от рабочих параметров и сравнение с теорией.
 - 3.2. Оптимизация геометрии ФФО для работы на частотах 200-300 ГГц, выработка требований к системе ФАПЧ для фазовой синхронизации ФФО.
 - 3.3. Экспериментальное изучение фазового шума ФФО. Исследование факторов, определяющих абсолютный фазовый шум ФФО. Модификация конструкции ФФО и оптимизация экспериментальной установки для уменьшения фазового шума ФФО до значений не более – 70 dBc/Hz.
4. Разработка микросхемы интегрального спектрометра
 - 4.1. Согласование технических параметров интегрального приемника для радиотелескопа РМО. Определение основных характеристик интегральной микросхемы.
 - 4.2. Разработка численной модели и пакета компьютерных программ для расчета параметров элементов сверхпроводникового приемника в частотном диапазоне 200-300 ГГц. Численное моделирование, расчет и оптимизация основных элементов интегрального приемника с возможностью фазовой синхронизации генератора гетеродина.
 - 4.3. Численное моделирование процессов в многоэлементной распределенной структуре, исследование возможности применения ее в качестве смесителя для интегрального приемника.
 - 4.4. Детальный расчет (включая проектирование фотомасок) прототипа микросхемы интегрального приемника для радиотелескопа РМО с дополнительным СИС смесителем для контроля частоты сверхпроводникового генератора гетеродина с использованием ФАПЧ.

4.5. Изготовление микросхемы интегрального спектрометра в соответствии с конструкцией, разработанной на предыдущих стадиях. Тестирование изготовленного чипа на постоянном токе.

5. Экспериментальное тестирование интегрального спектрометра

5.1. Расчет и проектирование смесительного блока для измерения сверхпроводникового интегрального спектрометра и необходимых криогенных компонентов. Сборка и тестирование экспериментальной установки (совместно с РМО).

5.2. Предварительное тестирование и отбор микросхем интегрального приемника с ФАПЧ в соответствии с требованиями для радиотелескопа РМО. Детальные измерения выбранных чипов для создания базы данных для автоматического функционирования интегрального приемника. Отбор 5 микросхем с наилучшими параметрами для передачи китайским ученым из РМО.

5.3. Измерения микросхемы интегрального спектрометра с использованием Фурье спектрометра. Совместный анализ параметров спектрометра, полученных из измерений в РМО (Китай). Ожидаемые параметры спектрометра: частотный интервал 210-275 ГГц, шумовая температура ниже 100 К, спектральное разрешение лучше 1 МГц.

Ожидаемые в конце 2004 года научные результаты

1. Оптимизация методов получения джозефсоновских переходов Nb-AlO_x-Nb и Nb-AlN-Nb(NbN) микронных размеров с высокой плотностью критического тока (вплоть до 10 kA/cm²).

2. Разработка и оптимизация технологии изготовления многослойных сверхпроводниковых интегральных схем для исследования ФФО и микросхем интегрального спектрометра, включая многоэлементные смесительные элементы. Изготовление сверхпроводниковых микросхем на основе переходов Nb-AlO_x-Nb и Nb-AlN-Nb(NbN) для измерения ширины линии генерации ФФО в различных режимах.

3. Экспериментальное измерение ширины линии излучения сверхпроводникового генератора гетеродина для ФФО различных конструкций и формы. Сравнение с теорией экспериментальных зависимостей ширины автономной спектральной линии ФФО от рабочих параметров. Оптимизация геометрии ФФО для работы на частотах 200-300 ГГц, выработка требований к системе ФАПЧ для фазовой синхронизации ФФО.

4. Согласование технических параметров интегрального приемника для радиотелескопа РМО. Определение основных характеристик интегральной микросхемы.

5. Разработка численной модели и пакета компьютерных программ для расчета параметров элементов сверхпроводникового приемника в частотном диапазоне 200-300 ГГц. Численное моделирование, расчет и оптимизация основных элементов интегрального приемника с возможностью фазовой синхронизации генератора гетеродина.

6. Численное моделирование процессов в многоэлементной распределенной структуре, исследование возможности применения ее в качестве смесителя для интегрального приемника.

7. Расчет и проектирование смесительного блока для измерения сверхпроводникового интегрального спектрометра и необходимых криогенных компонентов. Сборка и тестирование экспериментальной установки (совместно с РМО).

Современное состояние исследований в данной области науки, сравнение ожидаемых результатов с мировым уровнем

Сверхпроводниковая электроника является одной из наиболее бурно развивающихся областей современной науки и техники. При этом исследования в данной области ведутся в мире широким фронтом: здесь имеются как работы, направленные на создание единичных приборов с уникальными параметрами для специальных применений, так и работы по широкому коммерческому использованию достижений сверхпроводниковой электроники. Повышенный интерес к сверхпроводниковой электронике обусловлен как интересной физикой процессов, так и возможностью создания целого ряда приборов с рекордными параметрами. Это объясняется как

чрезвычайно высокой нелинейностью сверхпроводниковых элементов, так и их предельно низкими собственными шумами, обусловленными природой элементов и криогенной рабочей температурой. Кроме того, предельно низкое энерговыделение и сверхвысокая предельная частота позволяют создавать на основе сверхпроводниковых элементов цифровые системы для обработки информации. Одним из наиболее успешно развиваемых направлений является разработка сверхчувствительных приемных устройств субмм диапазона длин волн.

Смесители на основе туннельных СИС-переходов, безусловно, являются наилучшим входным устройством в мм и субмм диапазонах длин волн, их шумовая температура ограничена только квантовым пределом. В настоящее время гетеродинные СИС-приемники используются в качестве штатных устройств на большинстве радиотелескопов во всем мире. Однако при повышении частоты принимаемого излучения более 300 ГГц наблюдается существенное поглощение сигнала парами воды в атмосфере. Именно поэтому все субмм радиотелескопы располагаются на значительной высоте или устанавливаются на борту специальных самолетов и спутников. При этом большие габариты, вес и высокая стоимость генераторов гетеродина в субмм диапазоне длин волн являются основными факторами, ограничивающими широкое использование субмм приемников. Отсутствие компактных и легко перестраиваемых источников гетеродина в субмм диапазоне длин волн является серьезной проблемой, которая обуславливает необходимость разработки интегральных сверхпроводниковых генераторов для работы совместно с СИС-смесителями. Интегральные системы особенно перспективны при создании многоэлементных матричных приемников субмм волн.

В ходе предыдущих проектов РФФИ авторами данного проекта было показано, что наиболее перспективным криогенным генератором гетеродина представляется Flux-Flow Oscillator (ФФО), основанный на вязком однонаправленном движении магнитных вихрей в длинном джозефсоновском переходе. ФФО был детально исследован в ИРЭ РАН в диапазоне частот 100 - 750 ГГц. Была продемонстрирована возможность перестройки частоты и мощности ФФО, экспериментально зарегистрирована мощность более 1 мкВт, что достаточно для накачки СИС-смесителя.

Впервые в мире в ИРЭ РАН был разработан и испытан тестовый вариант интегрального приемника диапазона 500 ГГц. На одном чипе были интегрированы двойная дипольная антенна, СИС-смеситель с системой подавления джозефсоновских шумов и генератор гетеродина на основе ФФО с элементами регулирования частоты и мощности. В экспериментах, проведенных совместно с Лабораторией космических исследований, SRON-Groningen, Голландия, на частоте 500 ГГц была получена двухполосная шумовая температура менее 100 К, что лишь в несколько раз превышает квантовый предел.

Отметим, что работы по созданию интегральных приемных структур являются пионерскими, только в настоящее время в ряде исследовательских центров США, Японии, Европы начаты аналогичные исследования. Интегральные приемники незаменимы для радиоастрономии, пассивной и активной радиолокации, систем спецсвязи, а также мониторинга окружающей среды, осуществляемого с борта спутников или специальных самолетов. Они особенно перспективны для бортовых применений, где вес, габариты и энергопотребление источников гетеродина существенно ограничиваются грузоподъемностью носителя.

Частотное разрешение приемника (наряду с шумовой температурой и диаграммой направленности) является одним из основных параметров для радиоастрономии и мониторинга атмосферы. Разрешение, определяемое мгновенной шириной линии генератора и его долговременной стабильностью, должно быть значительно лучше 10^{-6} от центральной частоты. Для измерения ширины линии ФФО участниками проекта была разработана новая методика. Для измерений на частотах до 710 ГГц использовались специально спроектированные интегральные схемы, включающие ФФО, СИС-смеситель и СВЧ элементы для их согласования. Оказалось, что ширина линии распределенного ФФО в определенных режимах почти на порядок больше, чем предсказывает теория для сосредоточенного джозефсоновского туннельного перехода. Поэтому для создания

реального спектрометра необходимо провести целый ряд фундаментальных и прикладных исследований (см. разделы 4.3., 4.4).

При развитии работ в данном направлении станет возможным создание различных сверхпроводниковых устройств с рекордными параметрами. Интегральный приемник смог бы служить прототипом для планируемых миссий по исследованию субмм излучения с помощью радиотелескопа космического базирования, где вес, габариты и энергопотребление источников гетеродина чрезвычайно ограничены. Проекты "Herschel" (ESA), "SOFIA" (NASA), "Субмиллиметр" (PKA) смогли бы существенно расширить программы наблюдений в случае создания сверхчувствительного спектрометра субмиллиметровых волн. Интегральные приемники рассматриваются как наиболее перспективные при разработке следующего поколения устройств для гигантского интерферометра на основе 64-х субмиллиметровых 12-м радиотелескопов в Чили (совместный проект NRAO и ESO под названием ALMA).

Легкие и компактные сверхчувствительные интегральные субмм приемники незаменимы не только для спецприменений и радиоастрономии, но и при изучении загрязнения атмосферы путем дистанционного мониторинга атмосферы и измерения малых газовых компонент (озона, хлора и других примесей в атмосфере). Многие из этих компонент, возникающих, в частности, в результате химических производств, могут быть обнаружены дистанционно только по их излучению в субмм диапазоне. Сверхчувствительные измерения на уровне предельно допустимых концентраций (ПДК) возможны только при использовании криогенных приемников с квантовой чувствительностью.

Отметим, что при массовом производстве микросхема интегрального приемника будет стоить менее 1000 долларов, в то время как один традиционный генератор того же диапазона на лампе обратной волны с магнитом и высоковольтным блоком питания или полупроводниковый умножитель стоят 30 -35 тысяч долларов. Еще большую стоимость имеют современные твердотельные системы на основе мощных усилителей InP диапазона 100 ГГц с последующим умножением частоты.

Имеющийся у коллектива научный задел по предлагаемому проекту: полученные ранее результаты

Учеными ИРЭ РАН была предложена и экспериментально апробирована принципиально новая концепция построения полностью сверхпроводникового интегрального приемника субмиллиметровых волн для космической и наземной радиоастрономии, радиолокации и систем спецсвязи, а также мониторинга окружающей среды. Интегральный приемник состоит из одной сверхпроводниковой микросхемы и включает в себя СИС-смеситель на квазичастичной нелинейности с приемной планарной квазиоптической антенной и сверхпроводниковый генератор гетеродина на основе Flux-Flow Oscillator (ФФО) (см. рис. 1-3). Совместно с Лабораторией космических исследований (Голландия) эта концепция была экспериментально апробирована. Отметим только несколько последних достижений в области разработки интегрального приемника: i) в диапазоне 480 - 520 ГГц была получена двухполосная шумовая температура порядка 100 К, что близко к квантовому пределу. ii) Диаграмма направленности $f/9$ с боковыми лепестками менее - 16 dB делает возможным согласование с реальным телескопом. iii) Был испытан 9-ти элементный матричный интегральный приемник (рис. 4 - 7).

С помощью принципиально новой методики (см фото на рис 8) была измерена ширина линии излучения сверхпроводникового генератора гетеродина (ФФО) на частотах вплоть до 700 ГГц (рис. 9). В диапазоне частот 250 – 700 ГГц продемонстрирована возможность фазовой синхронизации сверхпроводникового ФФО на основе распределенного туннельного перехода к внешнему опорному синтезатору (рис. 10). При этом для ФФО с системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) зарегистрирована ширина линии излучения 1 Гц (относительно опорного источника). Измеренная ширина линии излучения существенно меньше фундаментального уровня, определяемого дробовыми и тепловыми шумами автономного ФФО, и соответствует частотной стабилизации лучше, чем $2 \cdot 10^{-12}$.

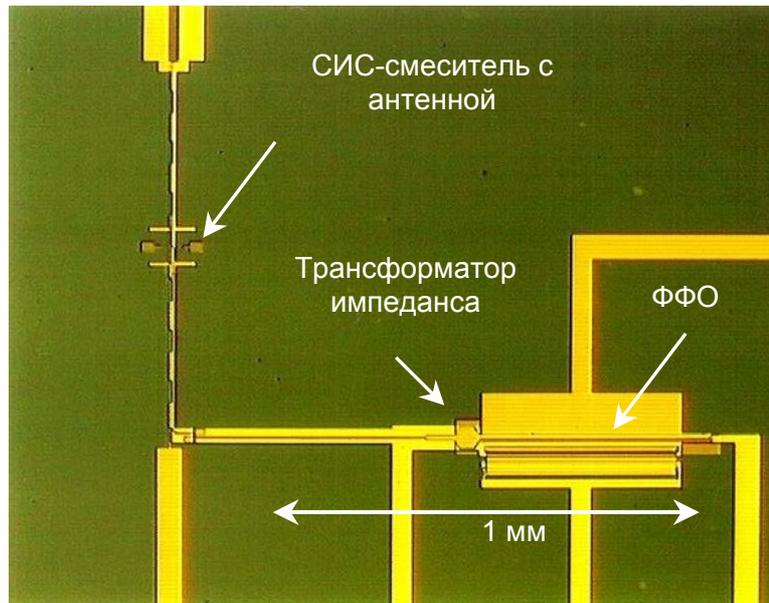
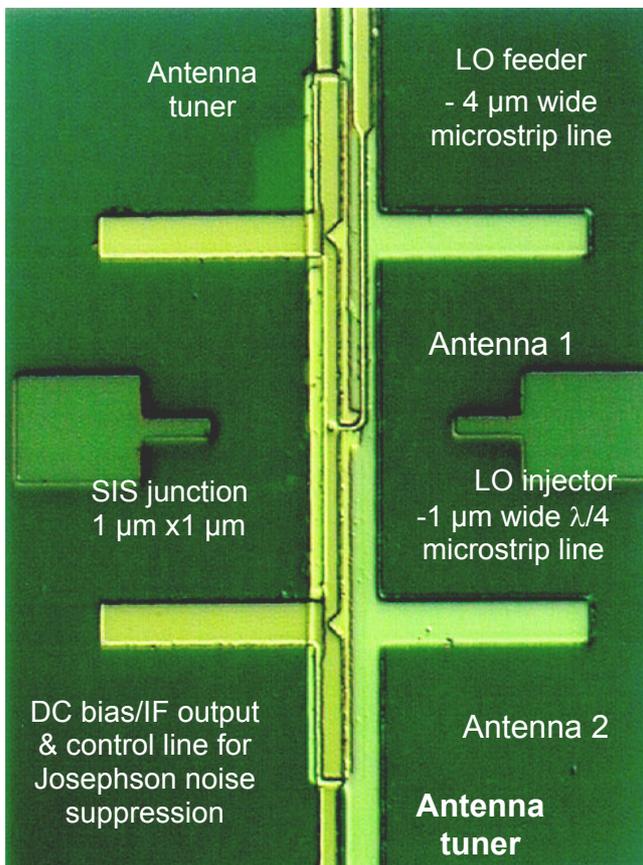
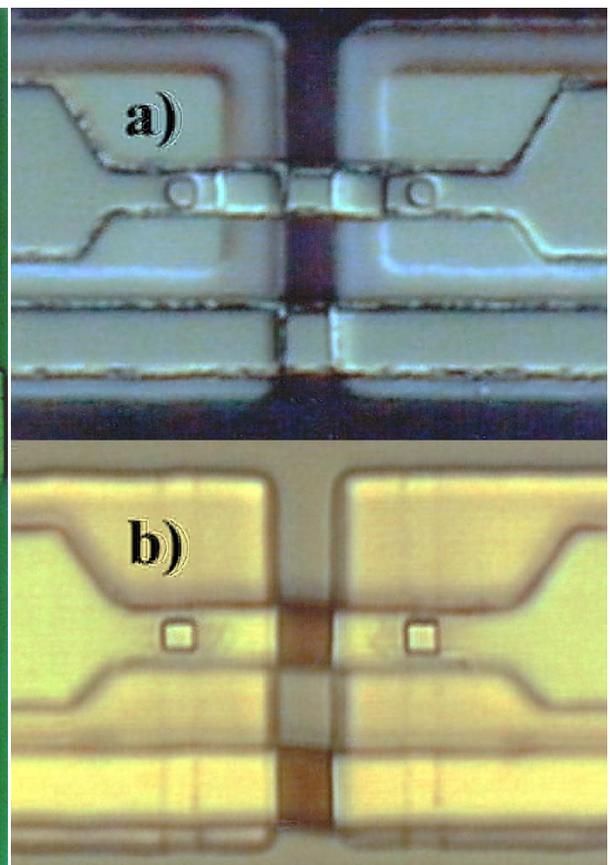


Рис. 1. Фотография центральной части микросхемы интегрального приемника.



20 μm



5 μm

Рис. 2. Микрофотография двойной дипольной антенны интегрального приемника. На фотографии показаны СВЧ настроечные микрополосковые структуры и линия подвода мощности от генератора гетеродина .

Рис. 3. Примеры формирования СИС-переходов балансного смесителя для интегрального приемника: а) однократная засветка; в) экспонирование в 2 этапа (cross-bar technique). Размер переходов около 2 мкм^2 .

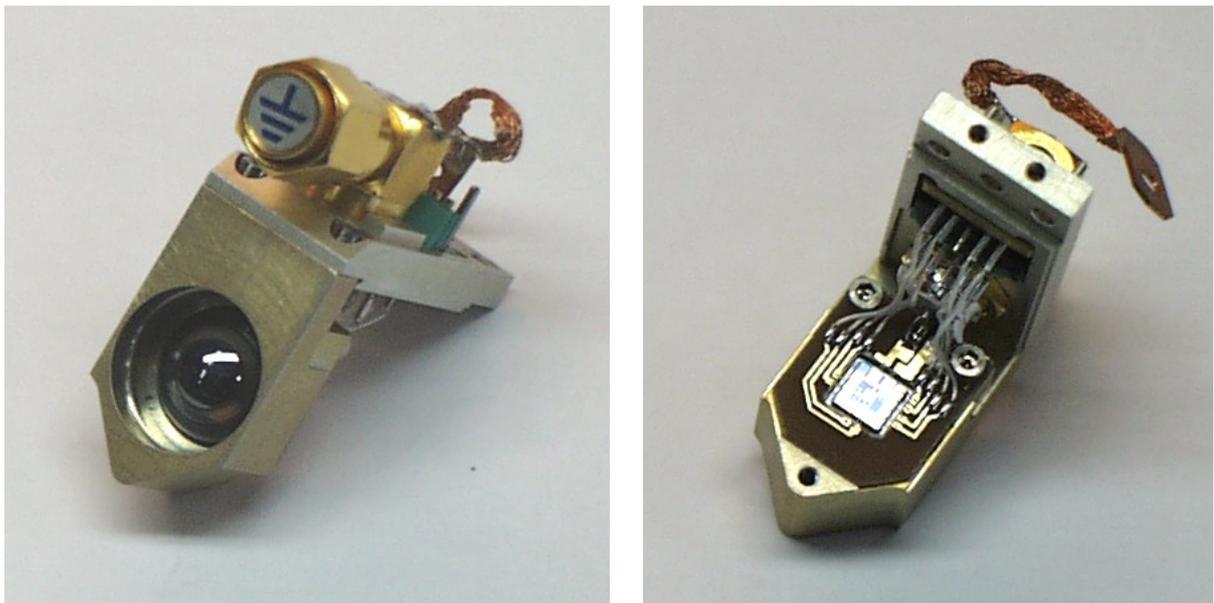


Рис. 4. Модуль интегрального приемника с кремниевой линзой.

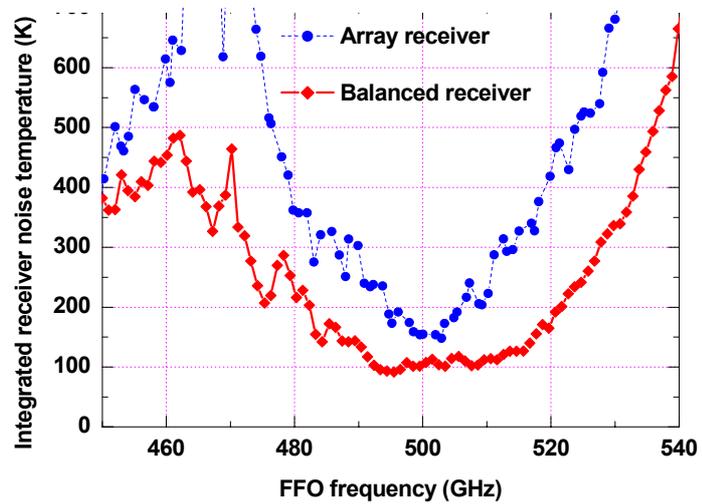


Рис. 5 Шумовая температура интегрального приемника в двухполосном режиме.

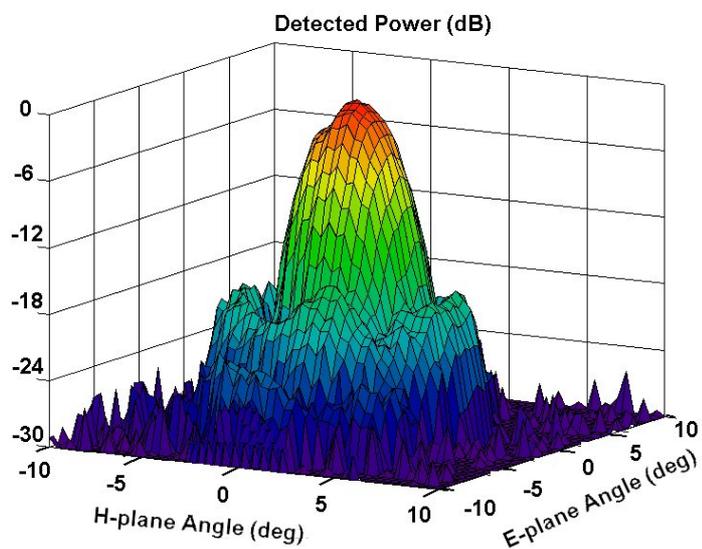


Рис. 6. Трехмерная диаграмма направленности интегрального приемника.



Рис. 7. Многоэлементный матричный приемник (число отдельных элементов $n = 9$) диапазона 500 ГГц с интегральным сверхпроводниковым генератором гетеродина.

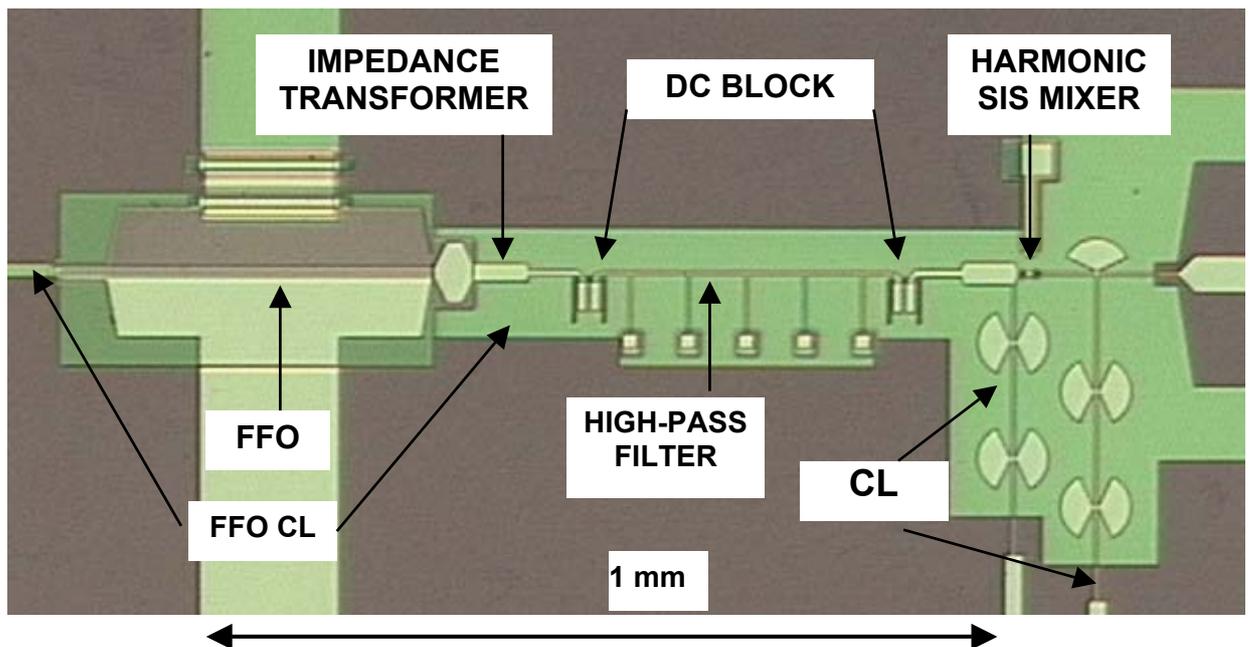


Рис. 8. Микрофотография центральной части микросхемы для измерения ширины линии излучения ФФО.

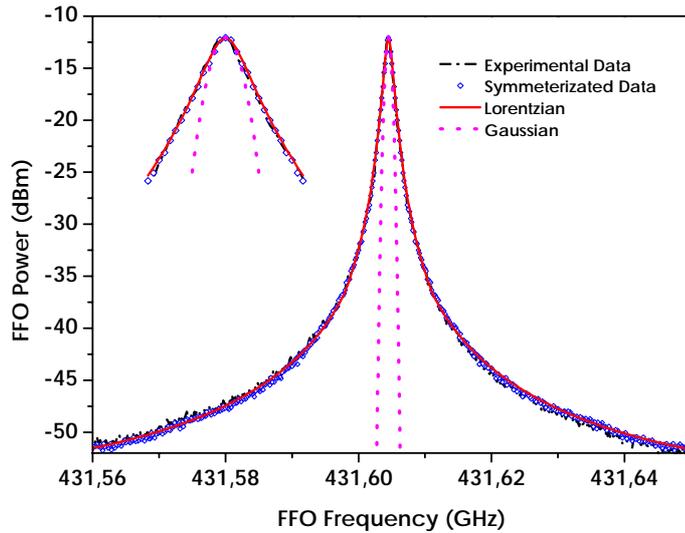


Рис. 9. Спектр излучения ФФО при частотной стабилизации излучения. Теоретические кривые, обеспечивающие наилучшее совпадение, показаны сплошной и пунктирной линиями для Лоренциана и Гауссиана соответственно. На вставке представлено увеличенное в 5 раз по частоте изображение центрального пика.

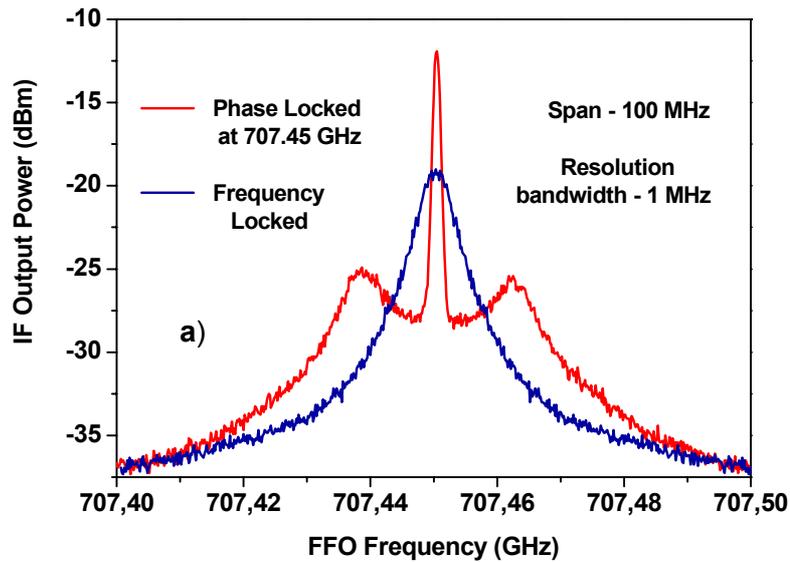


Рис. 10. Спектры ФФО на частоте 707.45 ГГц, измеренные относительно опорного синтезатора, ширина автономной линии ФФО $\delta f_{AUT} = 6.3$ МГц (частотная и фазовая синхронизация)

Основываясь на приведенных выше результатах участниками проекта была разработана концепция интегрального сверхпроводникового спектрометра для мониторинга атмосферы с генератором гетеродина на основе ФФО. Согласно этой концепции сигнал ФФО распределяется между двумя СИС-смесителями, один из них используется как приемный квазичастичный элемент, в то время как второй работает в режиме гармонического смесителя (рис. 11). Главным научным достижением является реализация квантовой чувствительности СИС смесителя и высокой разрешающей способности приемника со сверхпроводниковым генератором на основе ФФО, работающего в режиме фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Для демонстрации спектрального разрешения интегрального приемника с системой ФАПЧ гетеродина было

проведено измерение спектра стабильного источника сигнала на частоте 365 ГГц. В качестве источника сигнала был использован гармонический умножитель, питаемый синтезатором (рис. 12). Полученные данные доказывают, что разрешение приемника с системой ФАПЧ лучше 10 кГц, что удовлетворяет всем известным практическим применениям. С помощью этого приемника были измерены спектры поглощения SO_2 при различных давлениях газа в кювете (рис. 13, 14). В настоящее время совместно с Институтом космических исследований Голландии (г. Гронинген) ведутся работы по созданию бортового спектрометра для мониторинга атмосферы с рабочей частотой 550 – 650 ГГц. Исследования будут проводиться с борта высотного аэростата, первый запуск которого намечен на 2005 год (проект TELIS), см рис. 15.

Для изготовления интегральных СВЧ схем, СКВИДов, а также цифровых сверхпроводниковых устройств в ИПЭ РАН создана технология изготовления сверхпроводниковых интегральных микросхем. Уже несколько лет успешно функционирует технологический комплекс по изготовлению сверхпроводниковых структур на основе высококачественных туннельных переходов $\text{Nb-AlO}_x\text{-Nb}$ микронных размеров с плотностью тока до 5 кА/см^2 . К настоящему времени проведены работы по оптимизации этой технологии для изготовления интегральных схем с числом тонкопленочных слоев до 12 средней степени интеграции. Для исследования и тестирования сверхпроводниковых СВЧ микросхем используется автоматизированная система измерения. Разработана методика расчета и создан пакет прикладных программ для анализа и конструирования СВЧ сверхпроводниковых устройств в диапазоне частот от 100 до 1000 ГГц.

Все перечисленные выше результаты являются оригинальными, большинство из них получено впервые в мире. Многие из проведенных исследований уникальны, они до сих пор не имеют аналогов ни в нашей стране, ни за рубежом. Результаты этих исследований за последние 5 лет были представлены более чем в 100 статьях в ведущих научных журналах и тезисах докладов на международных научных конференциях.

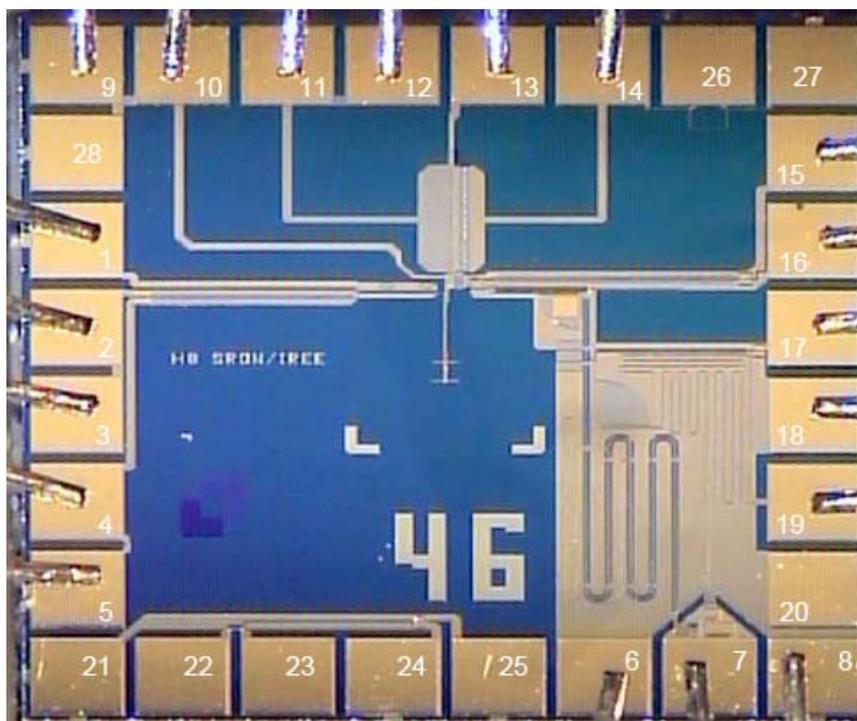


Рис. 11. Фотография микросхемы интегрального спектрометра с элементами стабилизации частоты ФФО (размер чипа $4 \times 4 \text{ мм}^2$). Цифрами на фотографии показаны контактные площадки: (1), (2) смещение СИС-смесителя и выход ПЧ; (3), (4) линия управления для подавления джоозефсоновских шумов в СИС-смесителе; (6)-(8) вход опорного сигнала синтезатора и смещения для гармонического СИС-смесителя; (9), (11), (12), (14) задание тока и измерение напряжения ФФО; (10), (13) линия управления магнитным полем ФФО; (15)-(16) линия управления магнитным полем гармонического смесителя;

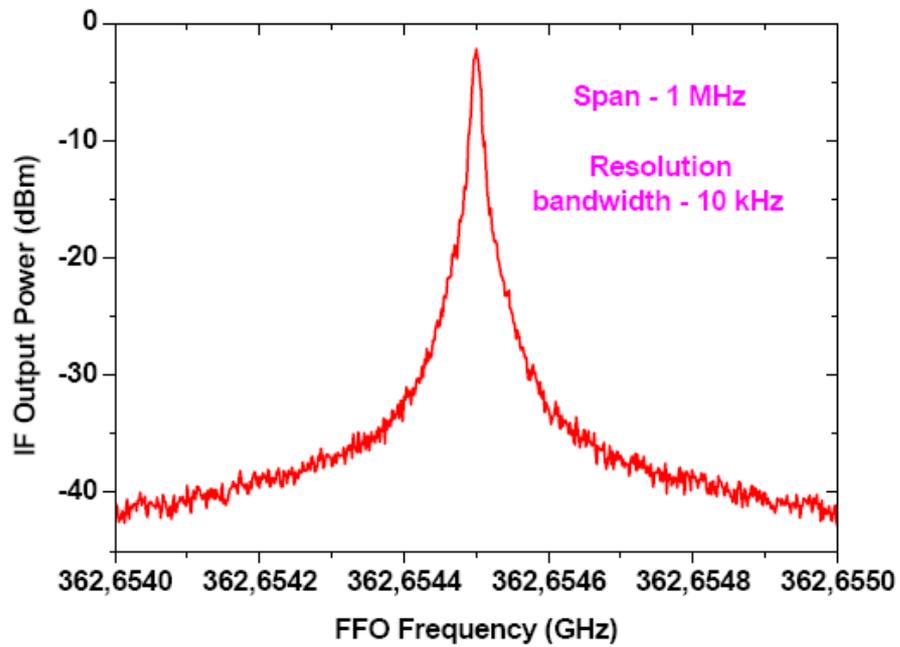


Рис. 12. Сигнал от синтезатора, умноженный по частоте с помощью полупроводникового гармонического умножителя и зарегистрированный интегральным спектрометром с ФФО в режиме ФАПЧ, работающим на частоте 364.0545 ГГц (ПЧ = 1.4 ГГц, нижняя боковая полоса).

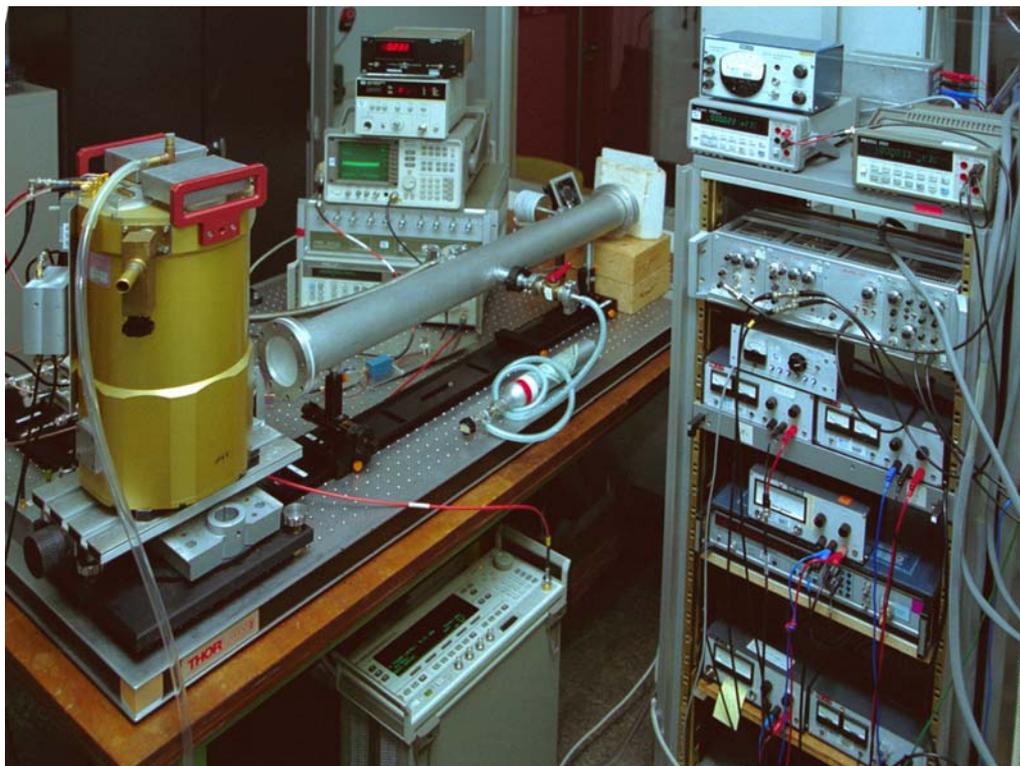


Рис. 13. Экспериментальная установка для измерения спектральных линий поглощения газов с помощью сверхпроводящего интегрального приемника с ФФО в режиме ФАПЧ. На переднем плане криостат с интегральным приемником.

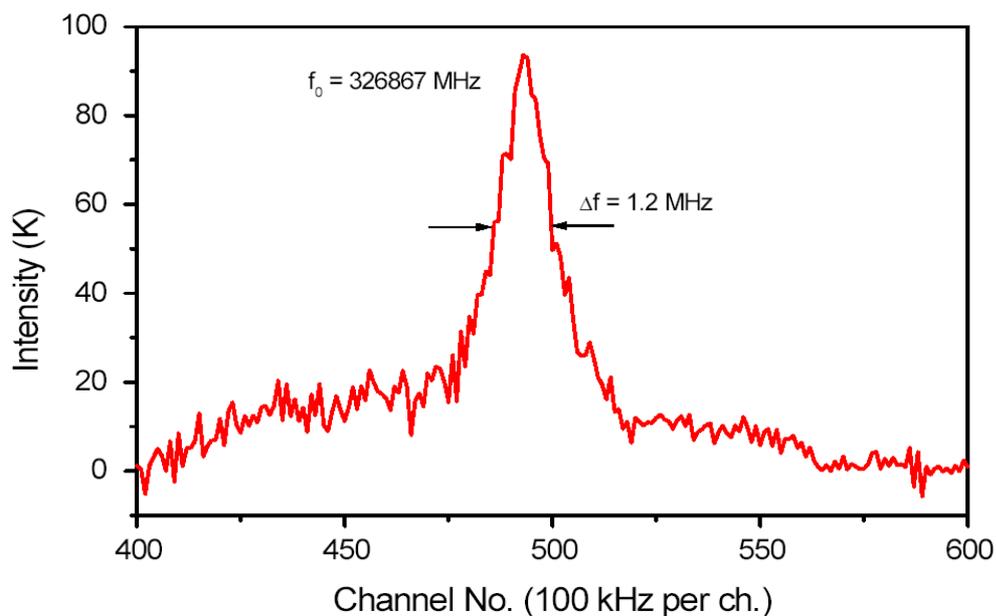
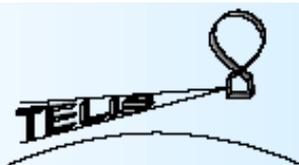


Рис. 14. Спектральная линия газа SO₂ при давлении 0.03 мБар, измеренная с помощью сверхпроводникового интегрального приемника с ФФО в режиме ФАПЧ. Данные обработаны с помощью акусто-оптического спектрометра (AOS).

TELIS



- Acronym: **TE**rahertz **LI**mb **S**ounder
- **Balloon instrument** on board the MIPAS gondola, IMK Karlsruhe
- **Three independent frequency channels**, cryogenic heterodyne receivers:
 - 500 GHz by RAL
 - **500-650 GHz SIR** by **SRON-IREE**
 - 1.8 THz by DLR (PI)



Рис. 14. Проект по созданию бортового спектрометра для мониторинга атмосферы с рабочей частотой 550 – 650 ГГц. Исследования будут проводиться с борта высотного аэростата, первый запуск которого намечен на 2005 год (проект TELIS)

Список основных публикаций коллектива, наиболее близко относящихся к предлагаемому проекту за последние 5 лет.

1. S.V. Shitov, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, V.P. Koshelets, A.B. Baryshev, W. Luinge, Jian-Rong Gao, "Superconducting Chip Receiver for Imaging Applications", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.9, No 2, pp. 3773-3776, (1999).
2. A.B. Baryshev, A.V. Yulin, V.V. Kurin, V.P. Koshelets, S.V. Shitov, A.V. Shchukin, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, "Cherenkov Flux-Flow Oscillators: Output Power and Linewidth", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.9, No 2, pp. 3737-3740, (1999).
3. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, A.V. Shchukin, L.V. Filippenko, P.N. Dmitriev, V.L. Vaks, J. Mygind, A.B. Baryshev, W. Luinge, H. Golstein, "Flux Flow Oscillators for Sub-mm Wave Integrated Receivers", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.9, No 2, pp. 4133-4136, (1999).
4. P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, A.G. Kovalenko, V.P. Koshelets, N.N. Iosad, A.A. Golubov, M.Yu. Kupriyanov, "Niobium Tunnel Junctions with Multi-Layered Electrodes", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.9, No 2, pp. 3970-3973, (1999)
5. A. Karpov, J. Blondel, P. Dmitriev, V. Koshelets, "A broad band low noise SIS radiometer", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.9, No 2, pp. 4225-4228, (1999)
6. S.V. Shitov, V.P. Koshelets, L.V. Filippenko, P.N. Dmitriev, A.M. Baryshev, W. Luinge, J-R. Gao, " Concept Of A Superconducting Integrated Receiver With Phase-Lock Loop ", Proc. 10-th Int. Symp. on Space Terahertz Tech., Charlottesville, Virginia, USA, March (1999).
7. A.M. Baryshev, A.V. Julin, V.V. Kurin, V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, "Forward and Backward Wave in Cherenkov Flux-Flow Oscillators", Extended Abstracts of ISEC'99, Berkeley, CA, USA, June, pp. 418-420, (1999).
8. J. Mygind, V.P. Koshelets, S.V. Shitov, L.V. Filippenko, V.L. Vaks, A.M. Baryshev, W. Luinge, N. Whyborn, "External Phase Locking of 270-440 GHz Josephson Flux Flow Oscillator", Extended Abstracts of ISEC'99, Berkeley, CA, USA, June, pp. 83-85, (1999).
9. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, V.L. Vaks, A.M. Baryshev, W. Luinge, and J. Mygind, "Superconducting Integrated Submm Wave Receivers", Proceedings of 24th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, IR&MMW'99, Report TU-B1, September 5-10, Monterey, CA, USA, (1999).
10. G.V. Prokopenko, S.V. Shitov, D.V. Balashov, V.P. Koshelets, and J. Mygind, "Low-noise S-band DC SQUID Amplifier", presented at EUCAS'99, report 6-80, Sitges, Spain, September (1999), Proceeding of the Fourth European Conference of Applied Superconductivity. Inst. Phys. Conf. Ser. No 167, vol 2, pp. 489-492, (2000).
11. A. Karpov, J. Blondel, P. Dmitriev, V. Koshelets, "Heterodyne response in SIS direct detector", presented at EUCAS'99, report 6-95, Sitges, Spain, September (1999), Proceeding of the Fourth European Conference of Applied Superconductivity. Inst. Phys. Conf. Ser. No 167, vol 2, pp. 631-634, (2000).
12. S.V. Shitov, V.P. Koshelets, L.V. Filippenko, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, V.L. Vaks, A.M. Baryshev, W. Luinge, N.D. Whyborn, J.-R. Gao, "A Superconducting Integrated Receiver With Phase-Lock Loop", presented at EUCAS'99, report 6-100, Sitges, Spain, September (1999), Proceeding of the Fourth European Conference of Applied Superconductivity. Inst. Phys. Conf. Ser. No 167, vol 2, pp. 647-650, (2000).
13. V.P. Koshelets, A.M. Baryshev, J. Mygind, V.L. Vaks, S.V. Shitov, L.V. Filippenko, P.N. Dmitriev, W. Luinge, N. Whyborn, "Externally Phase Locked Sub-MM Flux Flow Oscillator for Integrated Receiver", presented at EUCAS'99, report 8D-2, Sitges, Spain, September (1999), Proceeding of the Fourth European Conference of Applied Superconductivity. Inst. Phys. Conf. Ser. No 167, vol 2, pp. 713-716, (2000).
14. J. Mygind, V.P. Koshelets, S. V. Shitov, L.V. Filippenko and V.L. Vaks, A.B. Baryshev and W. Luinge and N. Whyborn, "Josephson flux flow oscillators; 1 Hz phase locking at 270-440 GHz", Proceedings Danish Physical Society Annual Meeting, Nyborg Strand, Denmark, p.41, (1999).
15. J. Mygind, V.P. Koshelets, S. V. Shitov, L.V. Filippenko, V.L. Vaks and A.B. Baryshev, "Linewidth and Phase Locking of Josephson Flux Flow Oscillators", Proceedings of "Vortex Matter in Superconductors at Extreme Scales and Conditions, Vortex'99", Crete, Greece, (1999)
16. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, "A submm SIS receiver with an integrated superconducting LO", <http://www.mma.nrao.edu/memos/index.html>, Millimeter Array (MMA) Antenna Memos #279, November (1999).
17. J. Mygind, V.P. Koshelets, S.V. Shitov, L.V. Filippenko, V.L. Vaks, A.M. Baryshev, W. Luinge, N. Whyborn, "Phase Locking of 270-440 GHz Josephson Flux Flow Oscillators", *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 12, pp. 720-722, (1999).
18. A.M. Baryshev, A.V. Julin, V.V. Kurin, V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, "Forward and Backward Wave in Cherenkov Flux-Flow Oscillators", *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 12, pp. 967-969, (1999).

19. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, L.V. Filippenko, V.L. Vaks, J. Mygind, A.B. Baryshev, W. Luinge, N. Whyborn, "Phase Locking of 270-440 GHz Josephson Flux Flow Oscillator", *Rev. of Sci. Instr.*, v. 71, No 1, pp. 289-293, (2000).
20. V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, A.M. Baryshev, W. Luinge, J. Mygind, V.L. Vaks, D.G. Pavel'ev, "Externally Phase Locked Sub-MM Flux Flow Oscillator for Integrated Receiver", Proceedings of the 11th International Symposium on Space Terahertz Technology, University of Michigan, Ann Arbor. May 1-3, (2000), pp 532-541.
21. S. V. Shitov, A. M. Shtanyuk, V. P. Koshelets, G. V. Prokopenko, L. V. Filippenko, An. B. Ermakov, M. Levitchev, S. V. Veretennikov, H. Kohlstedt and A. V. Ustinov, "Integrated Superconducting Receiver as a Tester for Sub-Millimeter Devices at 400-600 GHz", Proceedings of the 11th International Symposium on Space Terahertz Technology, University of Michigan, Ann Arbor. May 1-3, (2000), pp. 359-367.
22. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, "Integrated Superconducting Receivers", *Superconductor Science and Technology*, vol 13, pp. R53-R69, (2000)
23. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, P.N. Dmitriev, A.M. Baryshev, W. Luinge, and J. Mygind, "Integrated Fully Superconducting Submm Receivers", Italy, EURESCO Conference "Future Perspectives of Superconducting Josephson Devices", July (2000).
24. L.V. Filippenko, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, V.P. Koshelets, and J.R. Gao, "Integrated Superconducting Receiver: fabrication and yield", Applied Superconductivity Conference ASC'2000, September (2000), Report 4EA01, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.11, No 1, pp. 816-819, (2001).
25. S.V. Shitov, M. Levitchev, A.V. Veretennikov, V.P. Koshelets, G.V. Prokopenko, L.V. Filippenko, A.B. Ermakov, A.M. Shtanyuk, H. Kohlstedt, A.V. Ustinov, "Integrated Superconducting Receiver as 400 - 600 GHz Tester for Coolable Devices", Applied Superconductivity Conference ASC'2000, September (2000), Report 4EA08, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.11, No 1, pp. 832-835, (2001).
26. A.B. Ermakov, S.V. Shitov, A.M. Baryshev, V.P. Koshelets, W. Luinge, "A data acquisition system for test and control of superconducting integrated receivers", Applied Superconductivity Conference ASC'2000, September (2000), Report 4EA10, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.11, No 1, pp. 840-843, (2001).
27. A.M. Baryshev, A.V. Yulin, V.V. Kurin, V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, "Cherenkov Flux-Flow Oscillator Linewidth Measurements", Applied Superconductivity Conference ASC'2000, September (2000), Report 5EF05.
28. V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, A.M. Baryshev, W. Luinge, J. Mygind, V.L. Vaks, D.G. Pavel'ev, "Superfine Resonant Structure on IVC of Long Josephson Junctions and its Influence on Flux Flow Oscillator Linewidth", Applied Superconductivity Conference ASC'2000, September (2000), Report 5EG06, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.11, No 1, pp. 1211-1214, (2001).
29. V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, P.N. Dmitriev, A.S. Sobolev, A.M. Baryshev, P.R. Wesselius, J. Mygind, "Radiation linewidth of flux flow oscillators", Extended Abstracts of the 8-th International Superconductive Conference ISEC'2001, pp. 207-208, Osaka, Japan, June 2001, *Superconductor Science and Technology*, v. 14, pp. 1040 - 1043, (2001).
30. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, V.V. Khodos, V.L. Vaks, A.M. Baryshev, P.R. Wesselius, J. Mygind, "Towards a Phase-Locked Superconducting Integrated Receiver: Prospects and Limitations", report ND-2 presented at SDP'2001, Tokyo, Japan, June 2001, *Physica C*, 367, pp. 249 - 255, (2002).
31. V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, A.N. Mashentsev, A.S. Sobolev, V.V. Khodos, A.L. Pankratov, V.L. Vaks, A.M. Baryshev, P.R. Wesselius, and J. Mygind, "Linewidth of Josephson flux flow oscillators", presented at EUCAS-2001, Denmark, August 2001, *Physica C* 372-376, pp. 316-321 (2002)
32. V.P. Koshelets and J. Mygind, "Flux Flow Oscillators For Superconducting Integrated Submm Wave Receivers", *Studies of High Temperature Superconductors*, edited by A.V. Narlikar, NOVA Science Publishers, New York, vol. 39, pp. 213-244, (2001).
33. V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, V.V. Khodos, V.L. Vaks, P.R. Wesselius, C. Mahaini J. Mygind, "Superconducting Phase-Locked Local Oscillator For Submm Integrated Receiver", Presented at 13-th International Symposium on Space Terahertz Technology, Harvard University, March 26-28, (2002).
34. S.V. Shitov, V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, An.B. Ermakov V.V. Khodos, V.L. Vaks, "A Superconducting Spectrometer with Phase-Locked Josephson Oscillator", Presented at 13-th International Symposium on Space Terahertz Technology, Harvard University, March 26-28, (2002).
35. U. Mair, M. Krocka, G. Wagner, M. Birk. H.-W. Hübers, H. Richter, A. Semenov, P. Yagoubov, R. Hoogeveen, T. de Graauw, H. van de Stadt, A. Selig. V. Koshelets, S. Shitov, B. Ellison, D. Matheson, B. Alderman, M. Harman, B. Kerridge, R. Siddans, J. Reburn, "TELIS – development of a new balloon borne THz/submm heterodyne limb sounder", Presented at 13-th International Symposium on Space Terahertz Technology, Harvard University, March 26-28, (2002).

36. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, V.V. Khodos, V.L. Vaks, T. de Graauw P.R. Wesselius, C. Mahaini, J. Mygind, "Superconducting Submm Integrated Receiver with Phase-Locked Local Oscillator", presented at *the 3rd International School/Workshop for Young Scientists "From Andreev Reflection to the International Space Station"*, Björkliden, Kiruna, Sweden, April 4-11, (2002)
37. J. Mygind, C. Mahaini, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, V.P. Koshelets, S.V. Shitov, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, V.V. Khodos, V.L. Vaks, P.R. Wesselius, "Phase-locked Josephson Flux Flow Local Oscillator for Submm Integrated Receivers", The 8-th International Conference on Electronic Materials (ICEM'2002), June 2002, China; *Superconductor Science and Technology*, v. 15, pp. 1701-1705, (2002)
38. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.R. Wesselius, P.A. Yagoubov, C. Mahaini, J. Mygind, "Externally Phase-Locked Local Oscillator for Submm Integrated Receivers: Achievements and Limitations", Applied Superconductivity Conference ASC'2002, Houston, USA, August 2002, Report 4EF07, "*IEEE Trans. on Appl. Supercond.*", vol. 13, No 2, pp.1035-1038, June 2003.
39. P.N. Dmitriev, I.L. Lapitskaya, L.V. Filippenko, A.B. Ermakov, S.V. Shitov, G.V. Prokopenko, S.A. Kovtonyuk, and V.P. Koshelets. "High Quality Nb-based Integrated Circuits for High Frequency and Digital Applications", Applied Superconductivity Conference ASC'2002, Houston, USA, August 2002, Report 1EH02, "*IEEE Trans. on Appl. Supercond.*", vol. 13, No 2, pp. 107-110, June 2003.
40. S.V. Shitov, V.P. Koshelets, An.B. Ermakov, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, P.A. Yagoubov, W.-J. Vreeling, P.R. Wesselius, V.V. Khodos, V.L. Vaks, "An Integrated Receiver with Phase-Locked Superconducting Oscillator", Applied Superconductivity Conference ASC'2002, Houston, USA, August 2002, Report 2ED03, "*IEEE Trans. on Appl. Supercond.*", vol. 13, No 2, pp. 684-687, June 2003.
41. J. Mygind, C. Mahaini, M.R. Samuelsen, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, and V.P. Koshelets. "Influence of Geometry and Bias on Linewidth of Josephson Flux Flow Oscillators", Abstracts for the 9-th International Superconducting Electronics Conference ISEC'2003, Sydney, Australia, July 7-11, 2003.
42. S.V. Shitov, V.P. Koshelets, P.A. Yagoubov, L.V. Filippenko, P.N. Dmitriev, O.V. Koryukin, An.B. Ermakov, and R.W.M. Hoogeveen. "SIR Chip for TELIS", Abstract for the Fourteenth International Symposium Space TeraHertz Technology, Tucson, Arizona, USA, April 22-24, 2003
43. P.A. Yagoubov, R.W.M. Hoogeveen, A.N. Maurellis, U. Mair, M. Krocka, G. Wagner, M. Birk, H.-W. Hübers, H. Richter, A. Semenov, G. Gol'tsman, B. Voronov, V. Koshelets, S. Shitov, B. Ellison, B. Kerridge, D. Matheson, B. Alderman, M. Harman, R. Siddans, J. Reburn.. "TELIS – a balloon borne TeraHertz and submm Llmb Sounder", Abstract for the Fourteenth International Symposium Space TeraHertz Technology, Tucson, Arizona, USA, April 22-24, 2003.
44. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, P. Yagoubov, R. Hoogeveen, T. de Graauw, P.R. Wesselius, S. Kohjiro, Z. Wang. "Integrated Submillimeter and Terahertz Receivers with Superconducting Oscillator", Abstract for the Workshop "Cryogenic Receiver Technology for Submillimeter Waves" in the scope of the International Microwave Symposium (IMS-2003), Philadelphia, USA, June 8-13, 2003.
45. J. Mygind, C. Mahaini, M.R. Samuelsen, A.V. Sobolev, M.Y. Torgashin, and V.P. Koshelets. "Spectral Linewidth of Josephson Flux Flow Oscillators; influence from bias and geometry", Abstract for the European Applied Superconductivity Conference EUCAS'2003, Sorrento, Italy, p. 14, September 2003.
46. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, L.V. Filippenko, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, A.L. Pankratov, V.V. Kurin, P. Yagoubov, R. Hoogeveen. "Superconducting Phase-Locked Local Oscillator for Submm Integrated Receiver", Abstract for the European Applied Superconductivity Conference EUCAS'2003, Sorrento, Italy, p. 55, September 2003; submitted to *Superconducting Science and Technology*, 2003.
47. P. Yagoubov, S.V. Shitov, V.P. Koshelets, R. Hoogeveen. "Implementation of the Superconducting Integrated Receiver on TELIS", Abstract for the European Applied Superconductivity Conference EUCAS'2003, Sorrento, Italy, p. 186, September 2003.
48. V.P. Koshelets, C. Mahaini, J. Mygind, M.R. Samuelsen, and A.S. Sobolev. "Linewidth of Josephson Flux Flow Oscillators", submitted to PRB, Decedmber 2003.
49. В.П. Кошелец, С.В. Шитов, Л.В. Филиппенко, П.Н. Дмитриев, А.Б. Ермаков, А.С. Соболев, М.Ю. Торгашин. «Сверхпроводниковые интегральные приемники субмм волн», Известия ВУЗов «Радиофизика», том XLVI, № 8-9, стр. 687-701, (2003).
50. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, O.V. Koryukin, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P. Yagoubov, R. Hoogeveen, «Integrated Submillimeter and Terahertz Receivers with Superconducting Local Oscillator», presented at the 8th International Workshop "From Andreev Reflection to the International Space Station" Björkliden, Kiruna, Sweden, March 20-27, 2004

Список основных (не более 5) публикаций руководителя проекта в рецензируемых журналах за последние 3 года

1. V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, A.M. Baryshev, W. Luinge, J. Mygind, V.L. Vaks, D.G. Pavel'ev, "Superfine Resonant Structure on IVC of Long Josephson Junctions and its Influence on Flux Flow Oscillator Linewidth", Applied Superconductivity Conference ASC'2000, September (2000), Report 5EG06, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, v.11, No 1, pp. 1211-1214, (2001).
2. V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, P.N. Dmitriev, A.S. Sobolev, A.M. Baryshev, P.R. Wesselius, J. Mygind, "Radiation linewidth of flux flow oscillators", Extended Abstracts of the 8-th International Superconductive Conference ISEC'2001, pp. 207-208, Osaka, Japan, June 2001, *Superconductor Science and Technology*, v. 14, pp. 1040 - 1043, (2001).
3. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, V.V. Khodos, V.L. Vaks, A.M. Baryshev, P.R. Wesselius, J. Mygind, "Towards a Phase-Locked Superconducting Integrated Receiver: Prospects and Limitations", report ND-2 presented at SDP'2001, Tokyo, Japan, June 2001, *Physica C*, 367, pp. 249 - 255, (2002).
4. V.P. Koshelets, S.V. Shitov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.R. Wesselius, P.A. Yagoubov, C. Mahaini, J. Mygind, "Externally Phase-Locked Local Oscillator for Submm Integrated Receivers: Achievements and Limitations", Applied Superconductivity Conference ASC'2002, Houston, USA, August 2002, Report 4EF07, "*IEEE Trans. on Appl. Supercond.*", vol. 13, No 2, pp.1035-1038, June 2003.
5. В.П. Кошелец, С.В. Шитов, Л.В. Филиппенко, П.Н. Дмитриев, А.Б. Ермаков, А.С. Соболев, М.Ю. Торгашин. «Сверхпроводниковые интегральные приемники субмм волн», Известия ВУЗов «Радиофизика», том XLVI, № 8-9, стр. 687-701, (2003).

Перечень оборудования и материалов, имеющих у коллектива для выполнения проекта

В ИРЭ РАН создан и успешно функционирует уникальный комплекс для изготовления и исследования сверхпроводниковых структур на основе переходов Nb-AIO_x-Nb. В его состав входят две "чистые комнаты" класса 1000/10000 с рабочими зонами класса 100, сверхвысоковакуумные напылительные установки фирмы "Лейбольд АГ" L560-UV, A700, Z400, установки совмещения и экспонирования MA150 и MJB3HP фирмы "Karl Zuss" с разрешением до 0.7 мкм, а также установки плазмо-химического и реактивного ионного травления. Все это технологическое оборудование будет использовано при выполнении проекта. Для проведения СВЧ измерений в ИРЭ РАН имеется большой набор оборудования: генераторы на ЛОВ вплоть до частоты 1200 ГГц, а также Fourier Transform Spectrometer (FTS) с предельной частотой более 4 ТГц и разрешением лучше 1 ГГц

Для проведения измерений при температурах жидкого гелия (и ниже, вплоть до 2 К) в распоряжении группы имеется ряд заливных криостатов импортного производства: Leybold-Heraeus (Германия), вакуумный криостат от Infared Lab (США), а также отечественный адаптированный транспортный сосуд Дьюара с широким горлом (50 мм). Часть исследований будет выполнена с использованием технологического и измерительного оборудования зарубежных партнеров, с которыми имеются договора о сотрудничестве. Будут задействованы уникальные СВЧ криогенные измерительные комплексы, имеющиеся в распоряжении Национального института космических исследований (Гронинген, Голландия - SRON), Технического университета Дании (Лингби) и Национального института индустриальной науки и технологии (Цукуба, Япония). Имеются договоренности о использовании технологического оборудования Чалмерского Университета (Швеция) для изготовления фотошаблонов с субмикронными размерами элементов.

Перечень оборудования и материалов, которые необходимо дополнительно приобрести для успешного выполнения проекта.

Для поддержания работоспособности технологического оборудования и приобретения расходных материалов, в том числе подложек для производства экспериментальных структур, потребуется около 90 000 рублей (ежегодно). Изготовление 4-5 комплектов фотошаблонов с микронными размерами (субмикронной точности) будет стоить более 100 000 рублей в год. Планируется закупка двух комплектов охлаждаемых маломощных полупроводниковых СВЧ усилителей диапазонов 0.1-1 и 1-2 ГГц для исследования интегральных приемных структур (всего около 100 000 р). Модернизация вычислительно-измерительного комплекса, намеченная на 2005 год, потребует 90 000 рублей (закупка измерительных карт для системы управления и оптимизации режима интегрального приемника). Для проведения предварительного тестирования образцов, и работы с заливным криостатом ежегодно потребуется около 500 л жидкого гелия стоимостью примерно 240 рублей за 1 литр, что соответствует затратам около 120 000 рублей ежегодно. Суммарные затраты в 2005 году только на расходные материалы и комплектующие оцениваются в 500 000 р.

ФАМИЛИЯ, ИМЯ, ОТЧЕСТВО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА Кошелец Валерий Павлович	ТЕЛЕФОН РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА (095) 203-2784 e-mail : valery@hitech.cplire.ru
ПОЛНОЕ НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ГДЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРОЕКТ Институт Радиотехники и Электроники Российской Академии Наук	
ПОЛНОЕ НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ЧЕРЕЗ КОТОРУЮ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ФИНАНСИРОВАНИЕ Институт Радиотехники и Электроники Российской Академии Наук	
ФАМИЛИЯ, ИМЯ, ОТЧЕСТВО ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ	Дмитриев Павел Николаевич
	Ермаков Андрей Борисович
	Корюкин Олег Валерьевич
	Филиппенко Людмила Викторовна