



Интегральный сверхпроводниковый спектрометр субмм волн для мониторинга атмосферы

Кошелец В.П., Филиппенко Л.В., Ермаков А.Б.,
Дмитриев П.Н., Лапицкая И.Л., Соболев А.С.,
Торгашин М.Ю., Худченко А.В. и Вакс В.Л.*

Институт радиотехники и электроники РАН, г. Москва

**Институт физики микроструктур РАН, г. Нижний Новгород*

In collaboration with



Pavel Yagoubov, Ruud Hoogeveen, and Wolfgang Wild

SRON Netherlands Institute for Space Research, the Netherlands

Интегральный сверхпроводниковый спектрометр для мониторинга атмосферы

Содержание

- **Сверхпроводниковый интегральный приемник (СИП)**
- **Проект TeraHertz Limb Sounder (TELIS)**
- **Конструкция интегрального спектрометра с ФАПЧ**
- **Микросхема интегрального спектрометра**
- **Результаты измерения спектрометра:**
 - шумовая температура; диаграмма направленности;
 - полоса ПЧ; спектральное разрешение
- **Дистанционное управление и настройка**
- **Заключение**



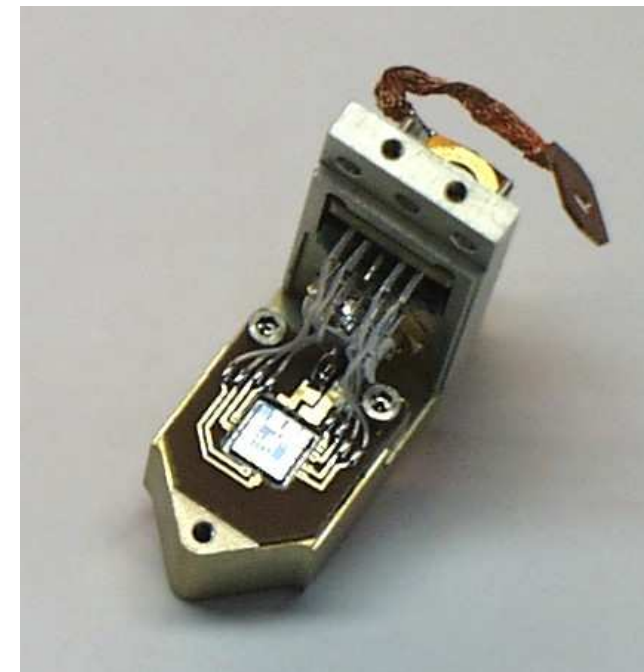
Интегральный Приемник Субмм Волн – State of Art



- Интегральные СИС приемники со сверхпроводниковым генератором гетеродина (ФФО) были успешно испытаны в диапазоне **100 - 700 ГГц**
- Шумовая температура приемника на частоте **500 ГГц** составила **90 К ($<4hf/k$)**
- **9- элементный** матричный приемник был создан и успешно испытан
- Режим ФАПЧ для сверхпроводникового ФФО был реализован вплоть до **700 ГГц**

Возможные применения

- Бортовые системы для мониторинга атмосферы и радиоастрономии
- Большие матричные приемники для наземной радиоастрономии





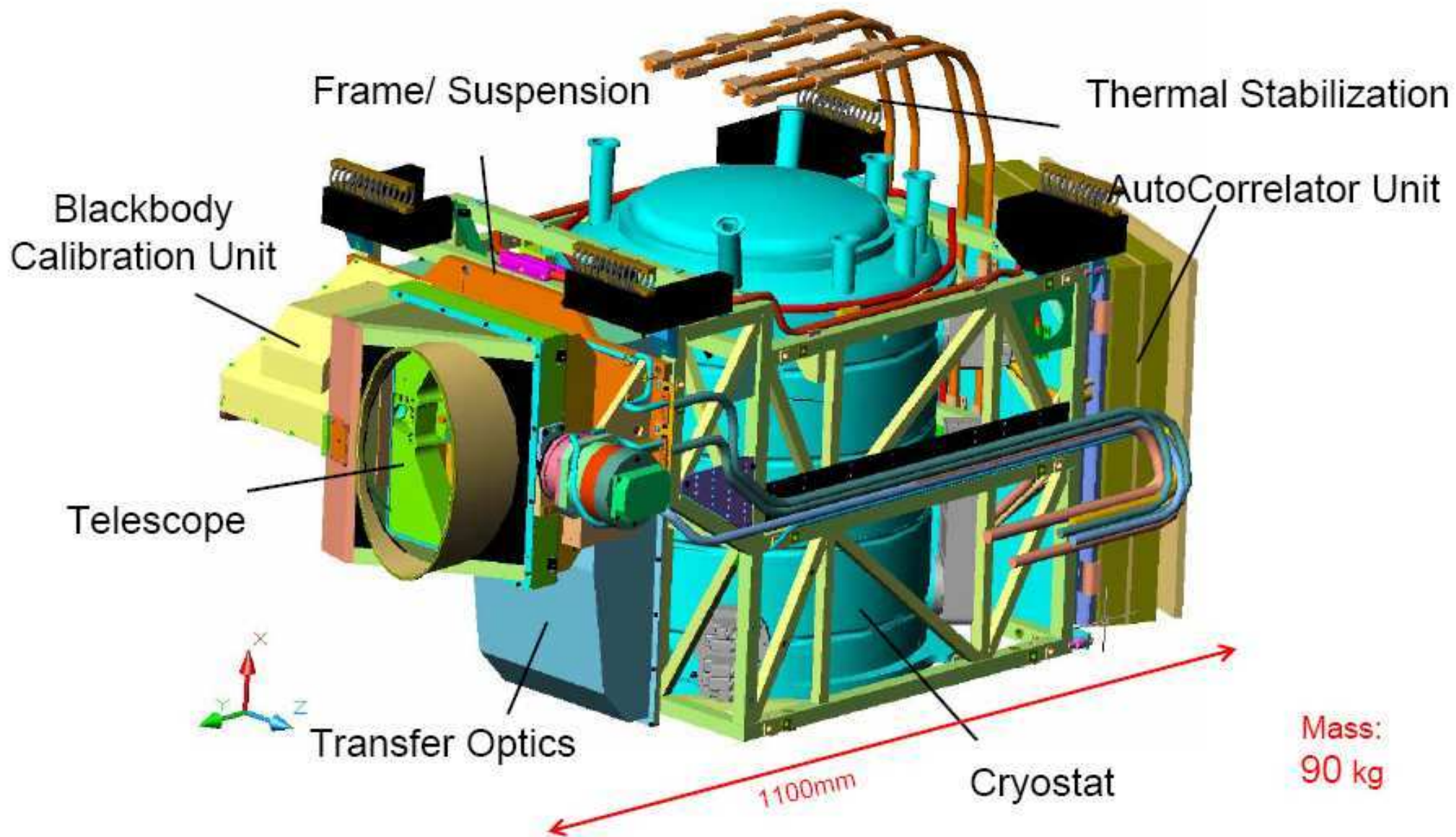
TELIS



- Acronym: **TE**rahertz **LI**mb **S**ounder
- Высотный аэростат; совместно с MIPAS interferometer, IMK Karlsruhe
- Три независимых криогенных гетеродинных приемника:
 - 500 GHz by RAL
 - **500-650 GHz by SRON-IREE**
 - 1.8 THz by DLR (PI)
- Первый испытательный полет намечен на апрель 2006 г.



TELIS - макет инструмента

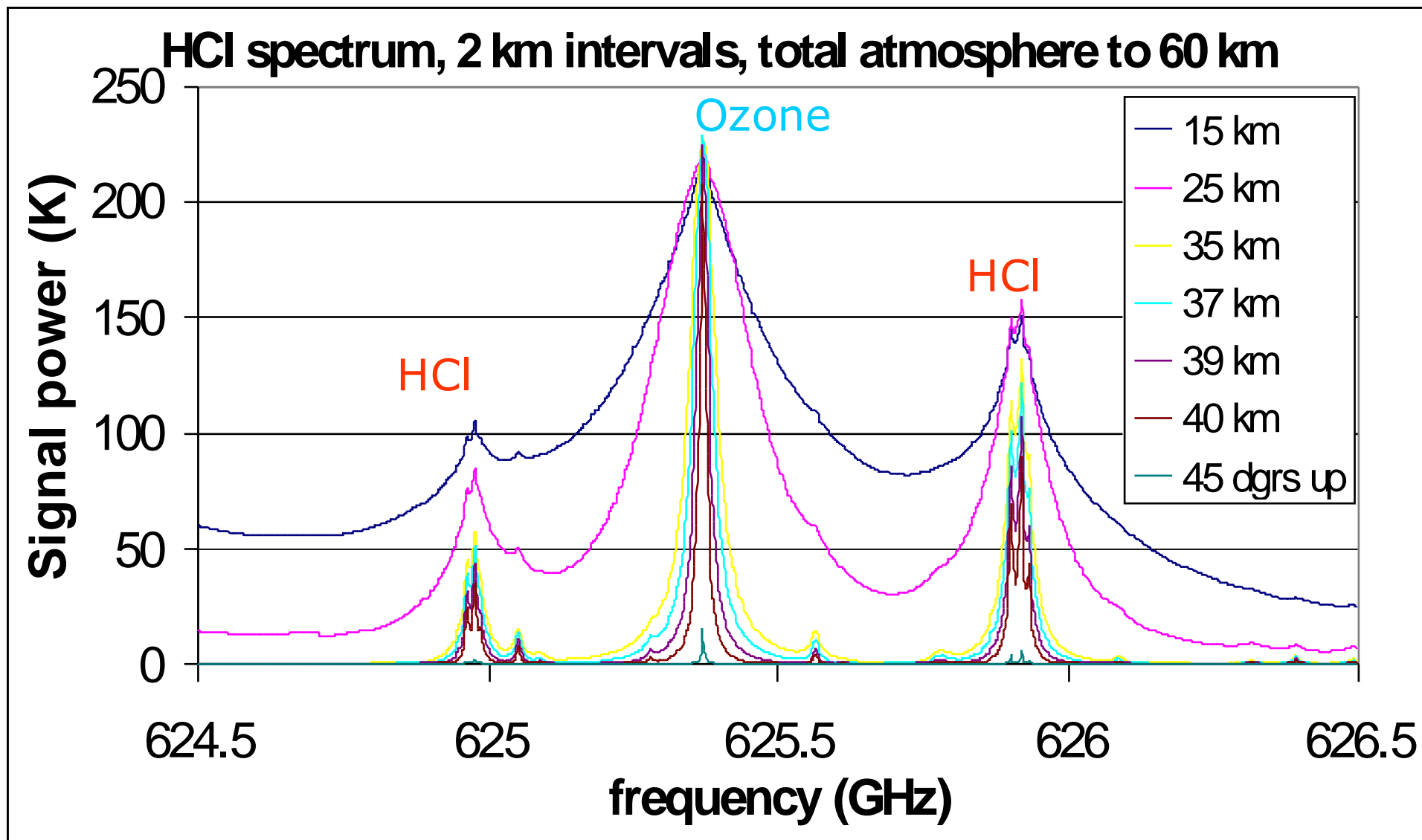




Задачи проекта СИП-TELIS

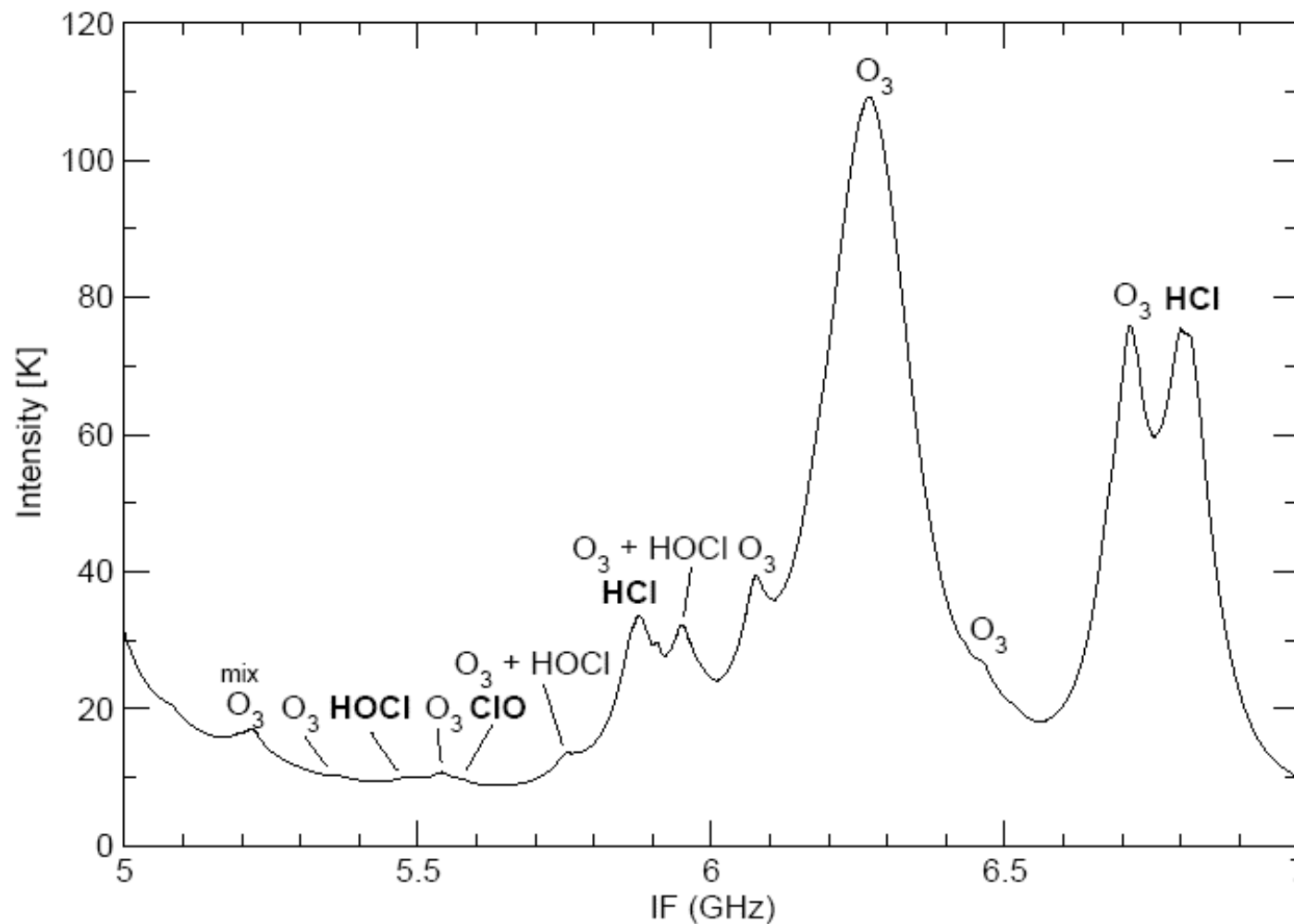
- Измерение множества линий для атмосферных исследований (химия, транспорт, климат) :
ClO, BrO, O₃, HCl, HOCl, H₂O и 3 ее изотопа,
NO₂, NO, N₂O, HNO₃, CH₃Cl, and HCN
- Испытательный полигон для проверки принципиально новых приборов следующего поколения.
- Тестирование новых методик и апробация оборудования для будущих космических программ.
Serve as validation tool for future satellite missions
- Первый (тестовый) полет: апрель 2007

Расчетные спектры Озона и HCl на 625 ГГц



Расчетный спектр атмосферы (DSB): 619 GHz

Orbit = 40 km / tangent = 27 km / FFO width = 9 MHz

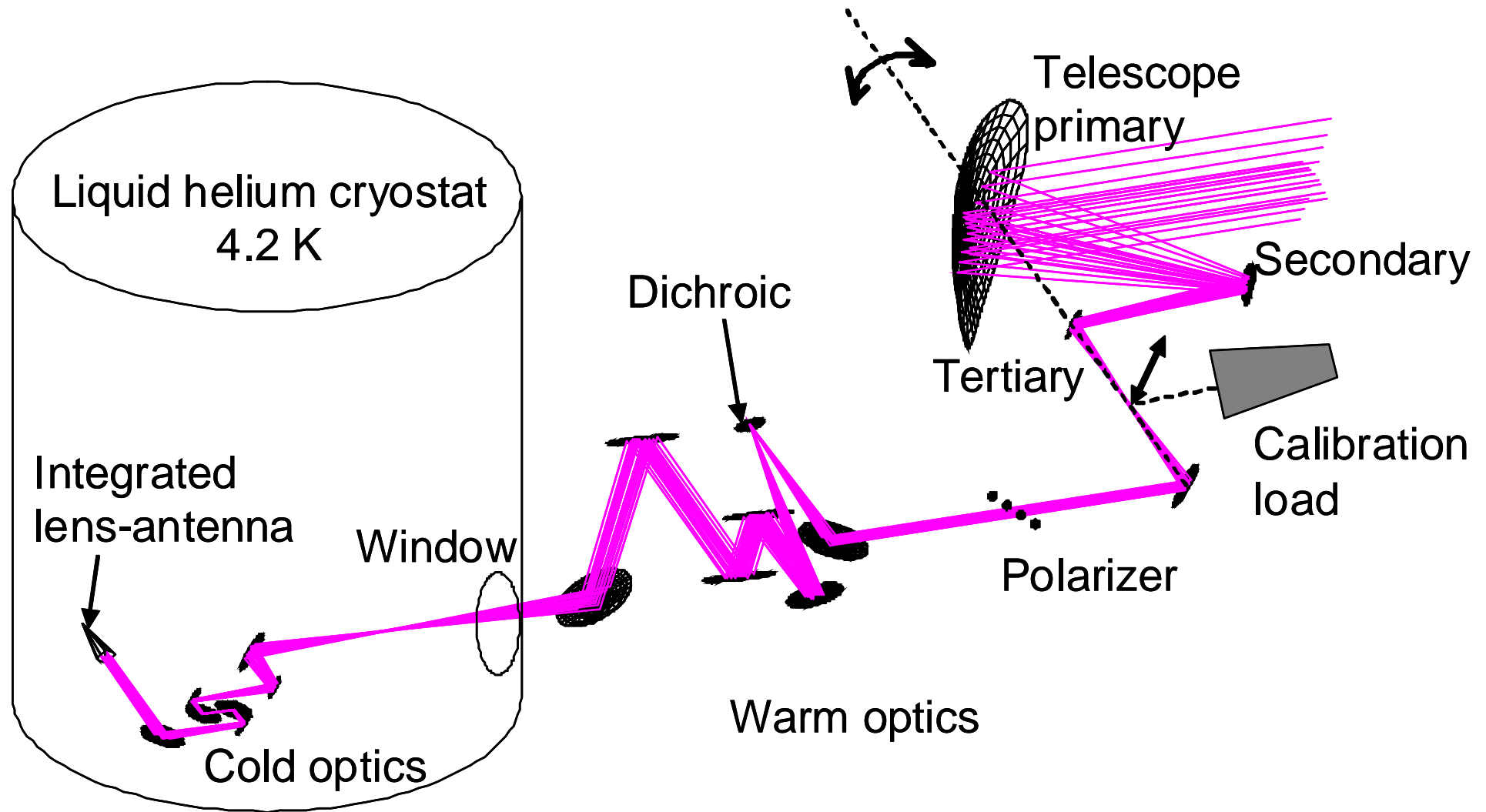




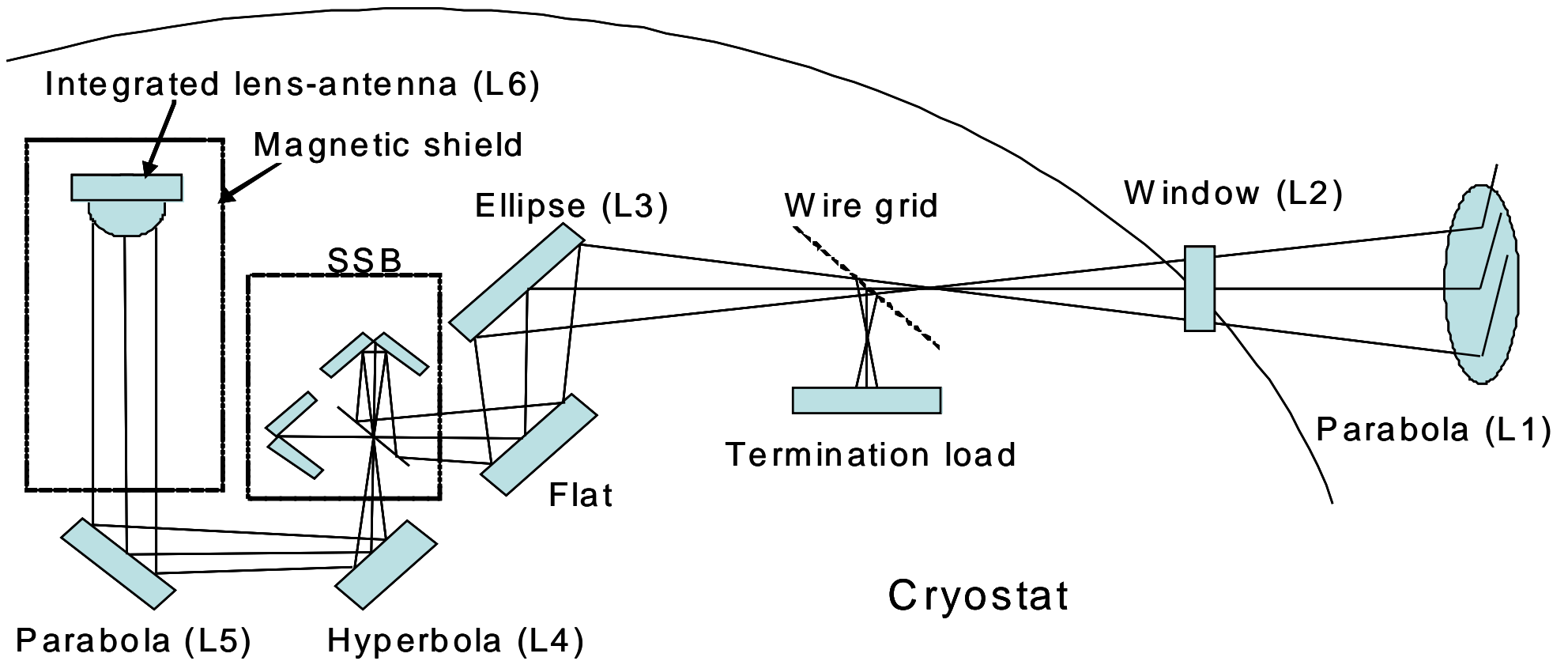
Параметры интегрального спектрометра для проекта TELIS

##	Описание	Ожидаемые параметры
1	Входной диапазон частот,	500 - 650
2	Минимальная шумовая температура в двухполосном режиме (DSB), К	250
3	Диапазон промежуточных частот, ГГц	4 - 8 (5 - 7)
4	Спектральное разрешение (ширина спектрального канала), МГц	< 1 (2)
5	Шаг гетеродина по частоте, МГц	< 300
6	Выделяемая мощность на ступени 4.2 К (включая усилители ПЧ), мВт	100
7	Рабочая температура, К	< 4.5

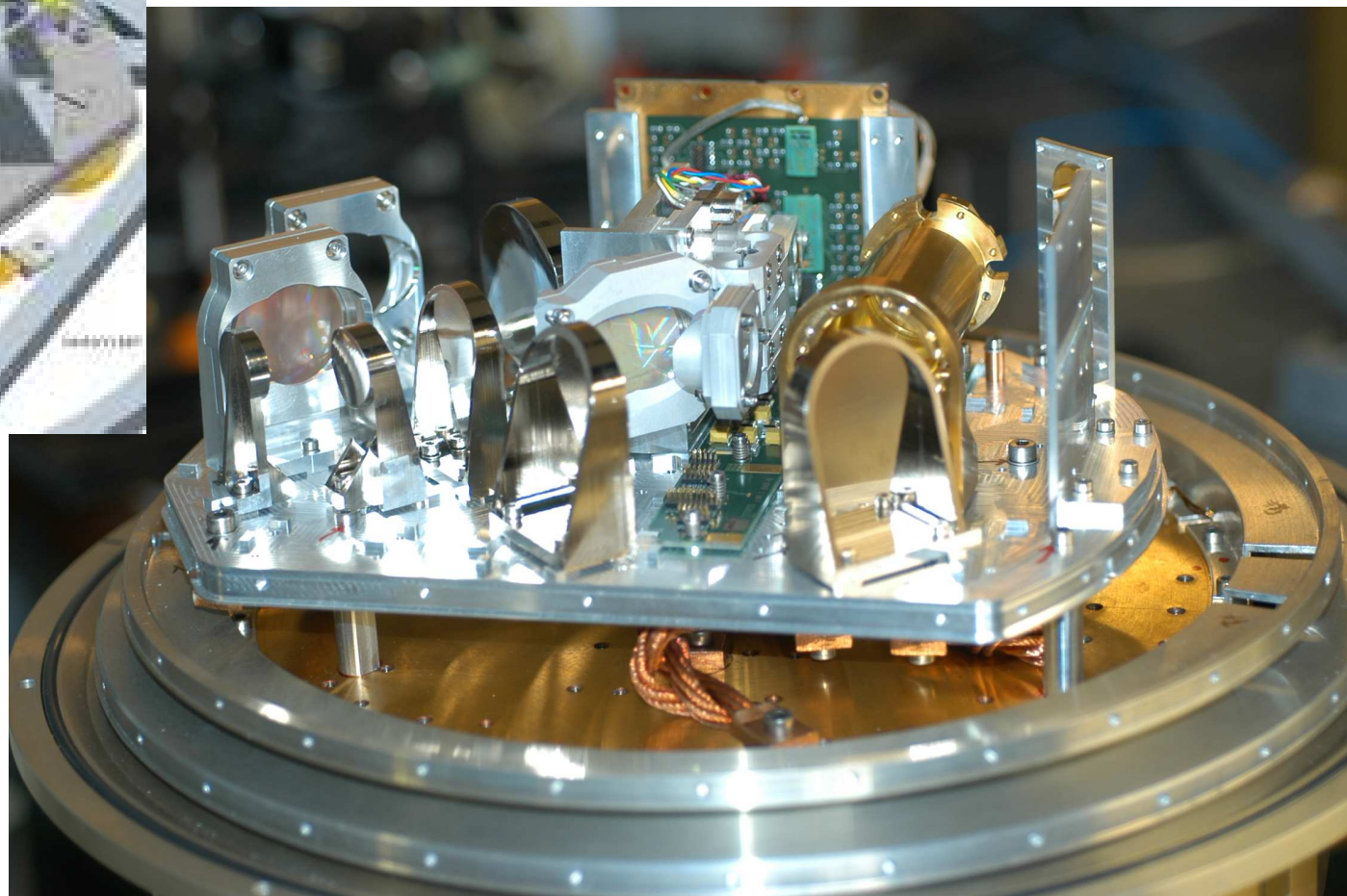
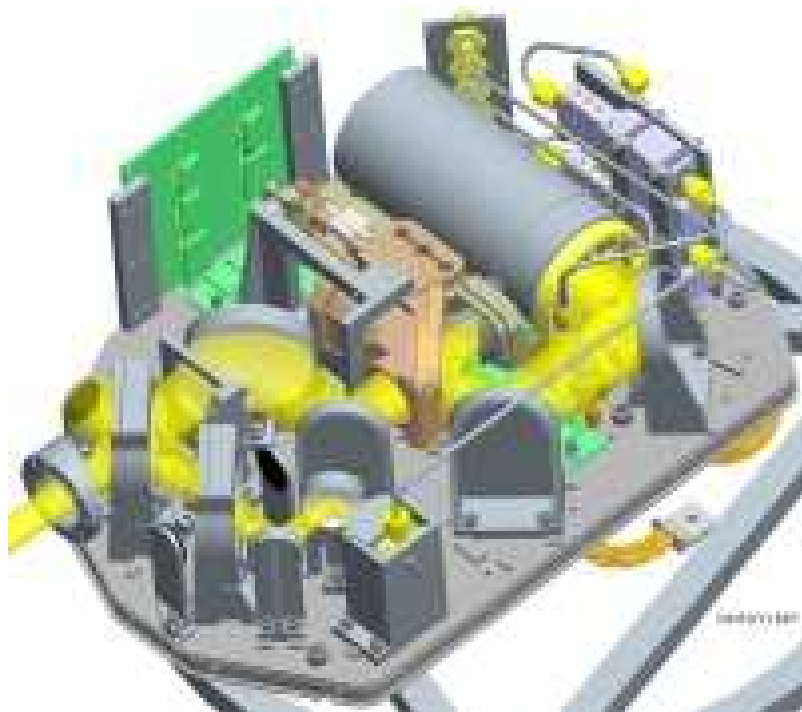
Оптическая схема канала 500-650 ГГц (СИП)



Оптическая схема «холодной» части СИП



Макет и фото «холодной» части СИП



Смесительный блок СИП с экранами

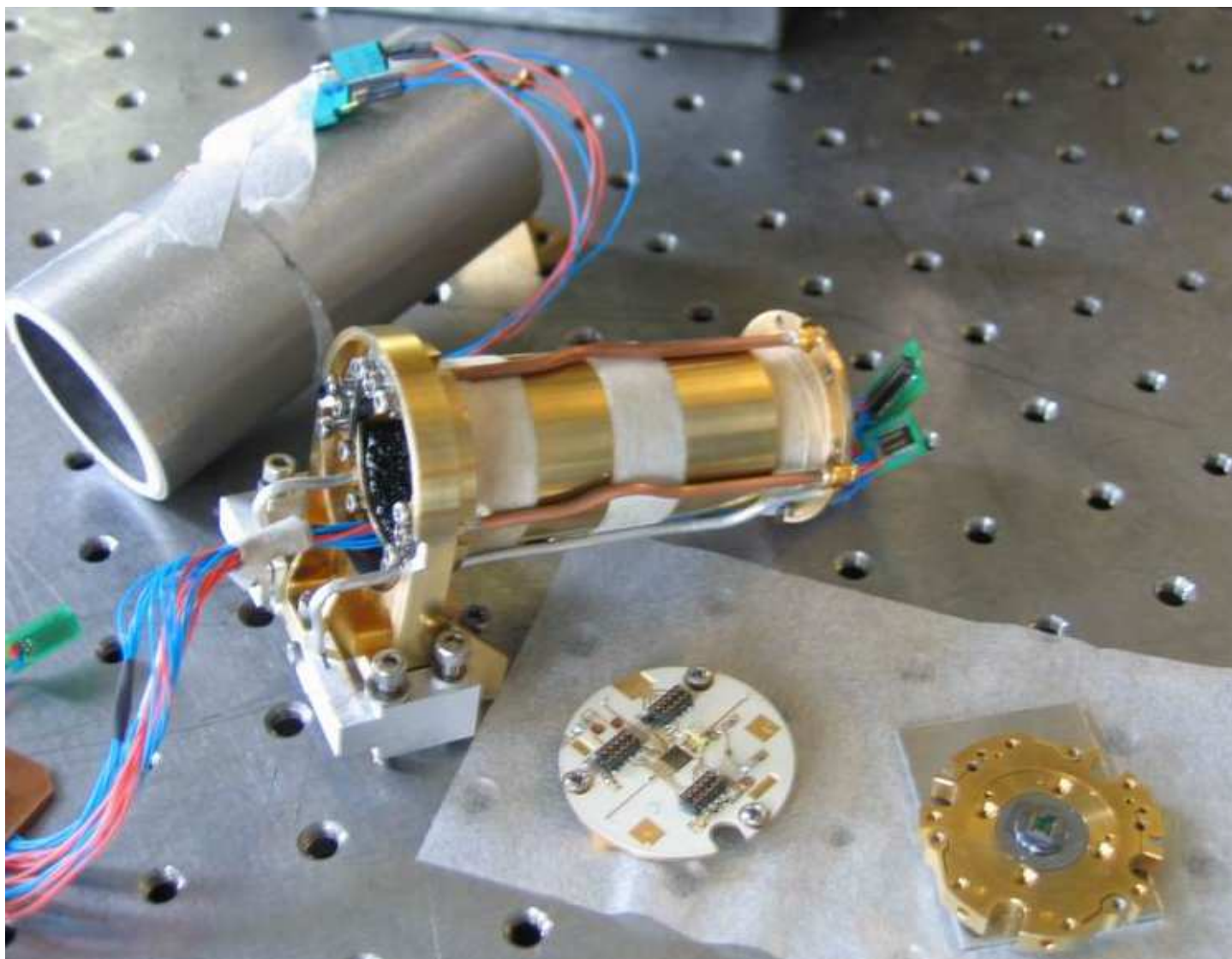




Схема СИП с возможностью ФАПЧ

4 K dewar

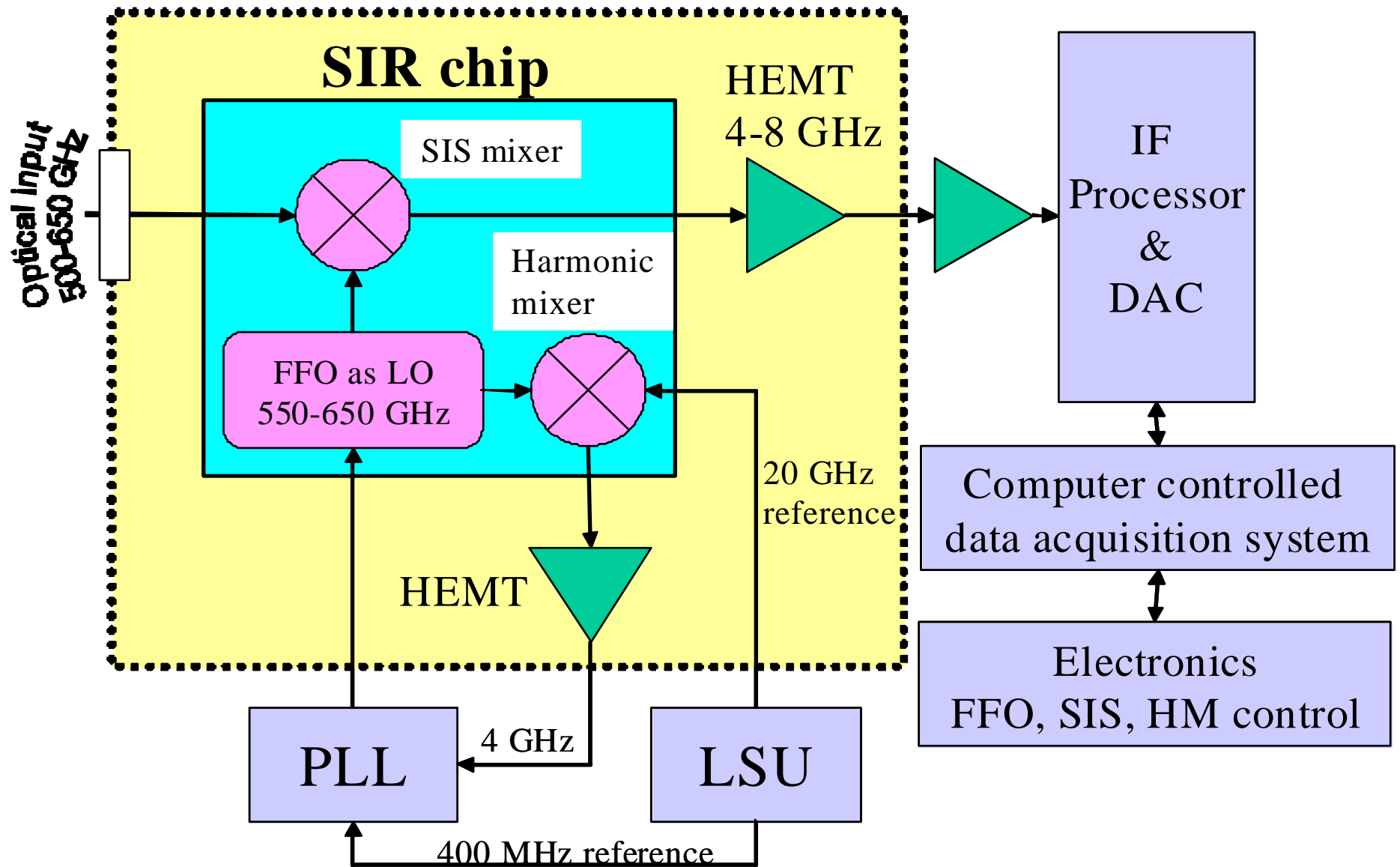
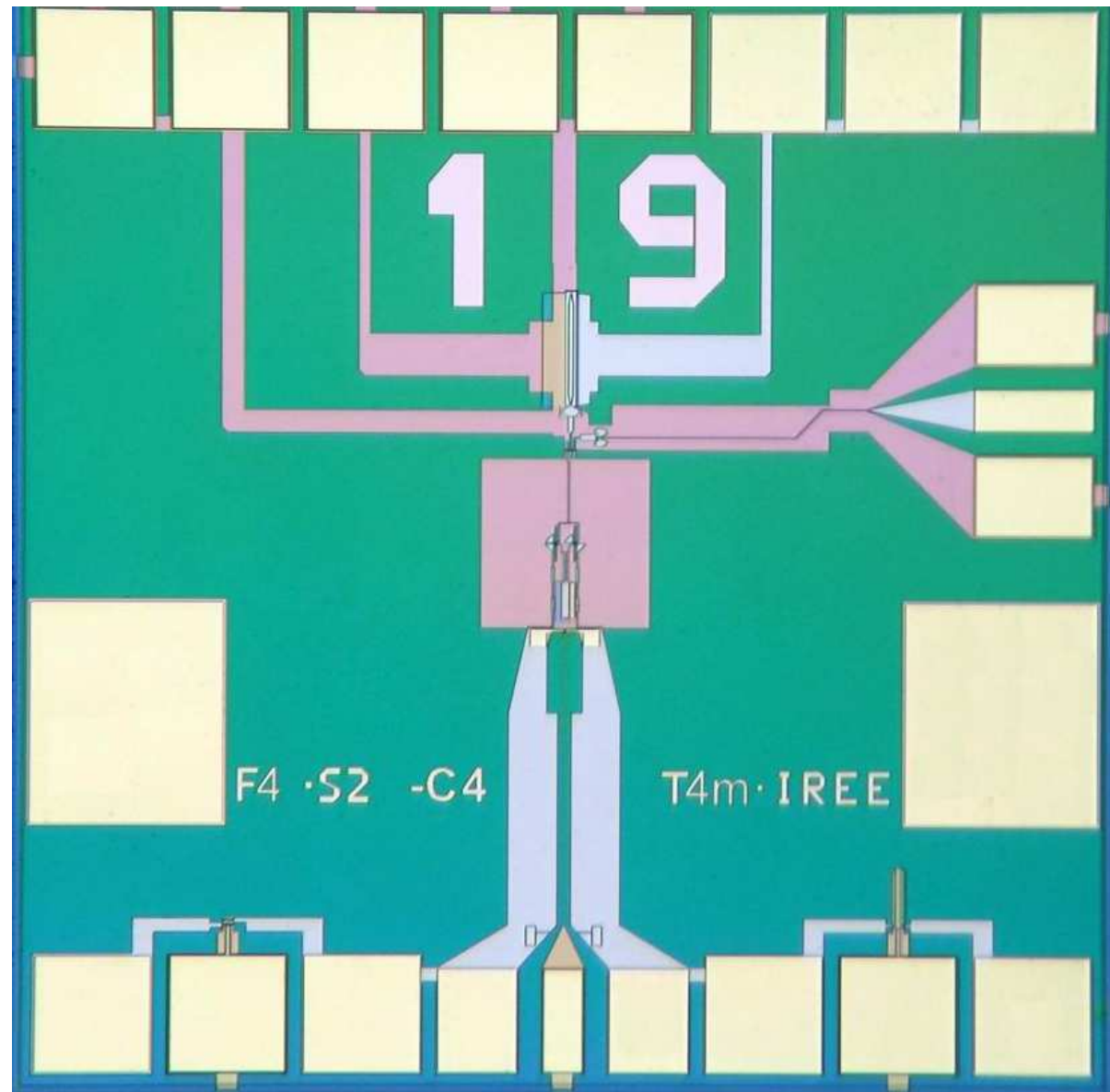




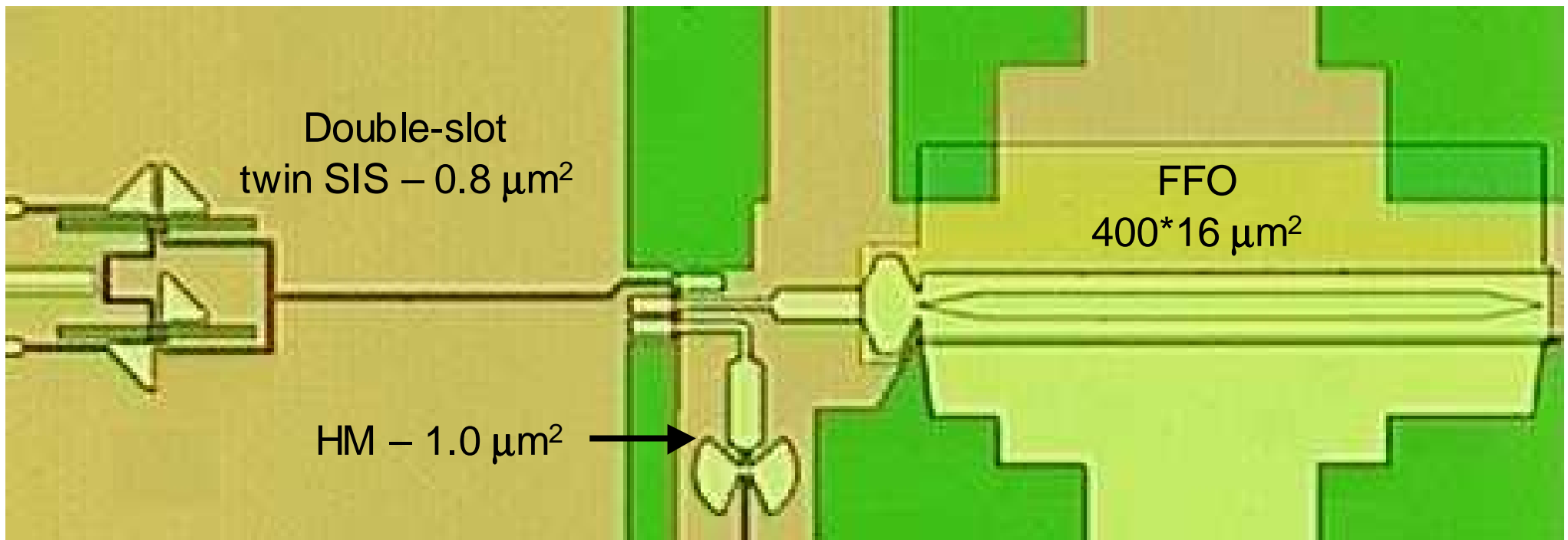
Фото микросхемы СИП для TELIS

Кремний (Si);
4 x 4 x 0.5 mm³
Nb-AlOx-Nb;
Nb-AlN-NbN;





Микросхема интегрального приемника для TELIS



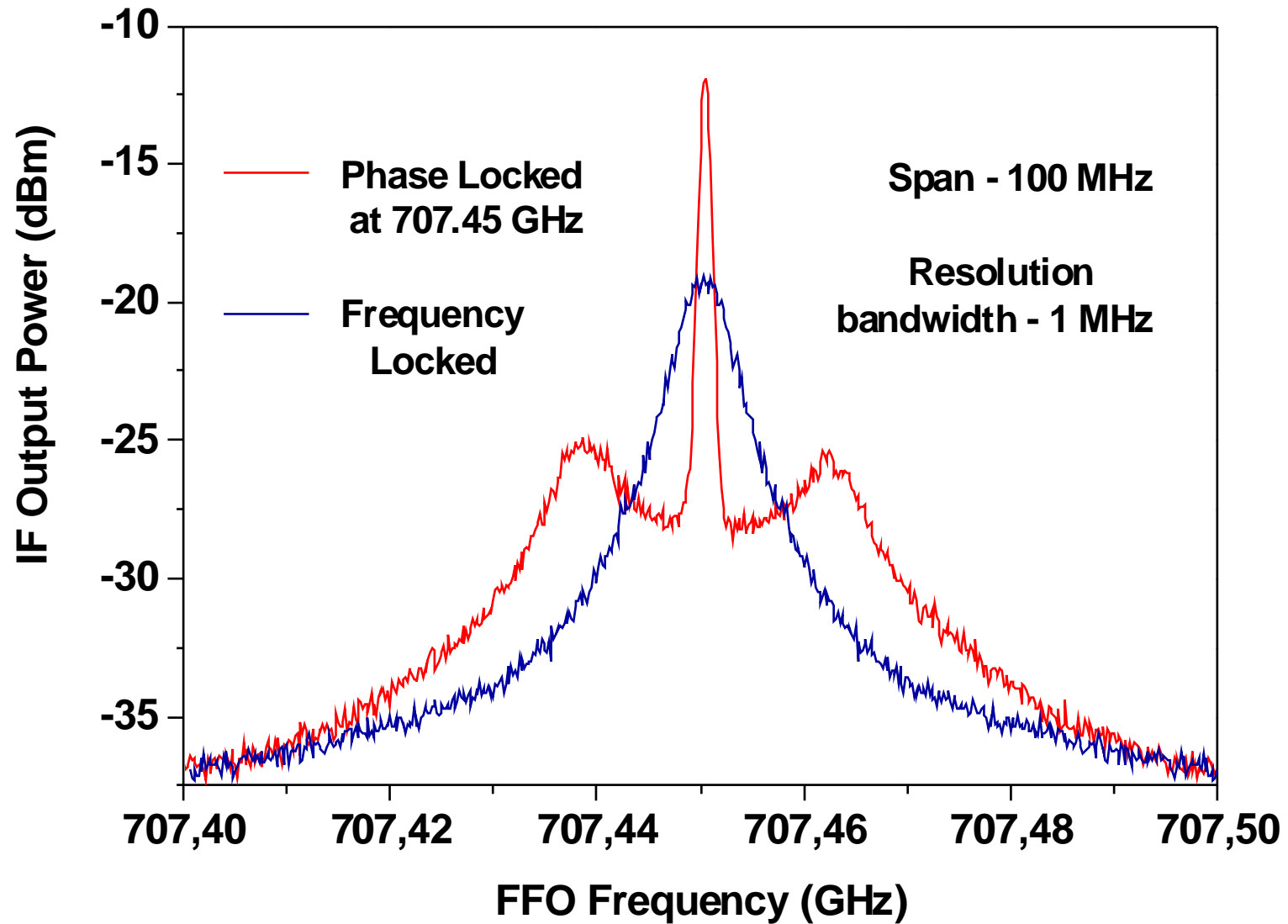
Nb-AlO_x-Nb; Nb-AlN-NbN; $J_c = 5 - 8 \text{ kA/cm}^2$

Optionally: SIS – $J_c = 8 \text{ kA/cm}^2$; FFO + HM = 4 kA/cm^2



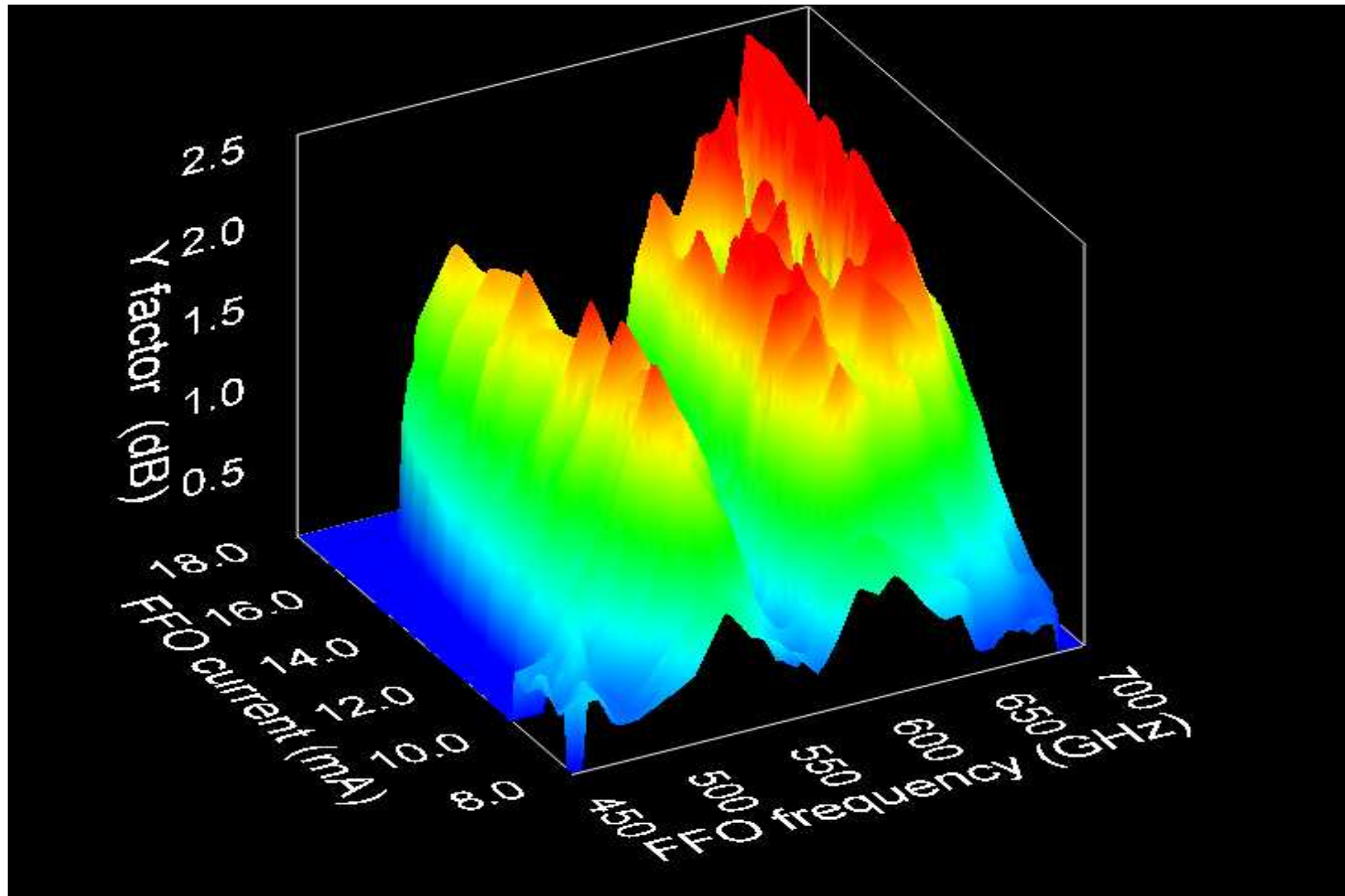
Спектр ФФО в режиме ФАПЧ

(частота 707 ГГц; LW = 6.3 МГц; SR = 50 %)



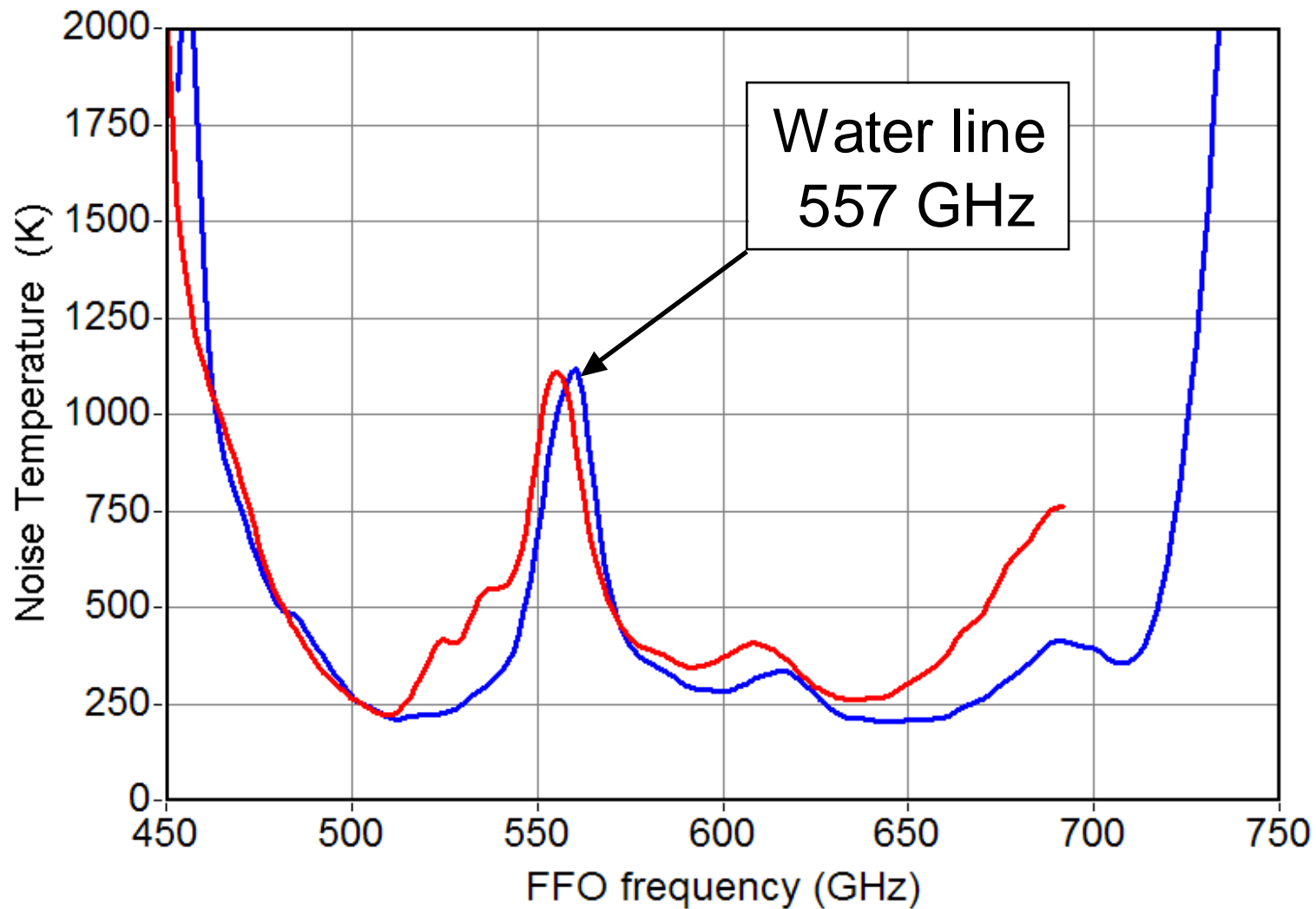


Υ -фактор СИП (300/78 К), $T = 2.1$ К, $V_{SIS} = 2.2$ мВ, $IF = 4.3$ GHz

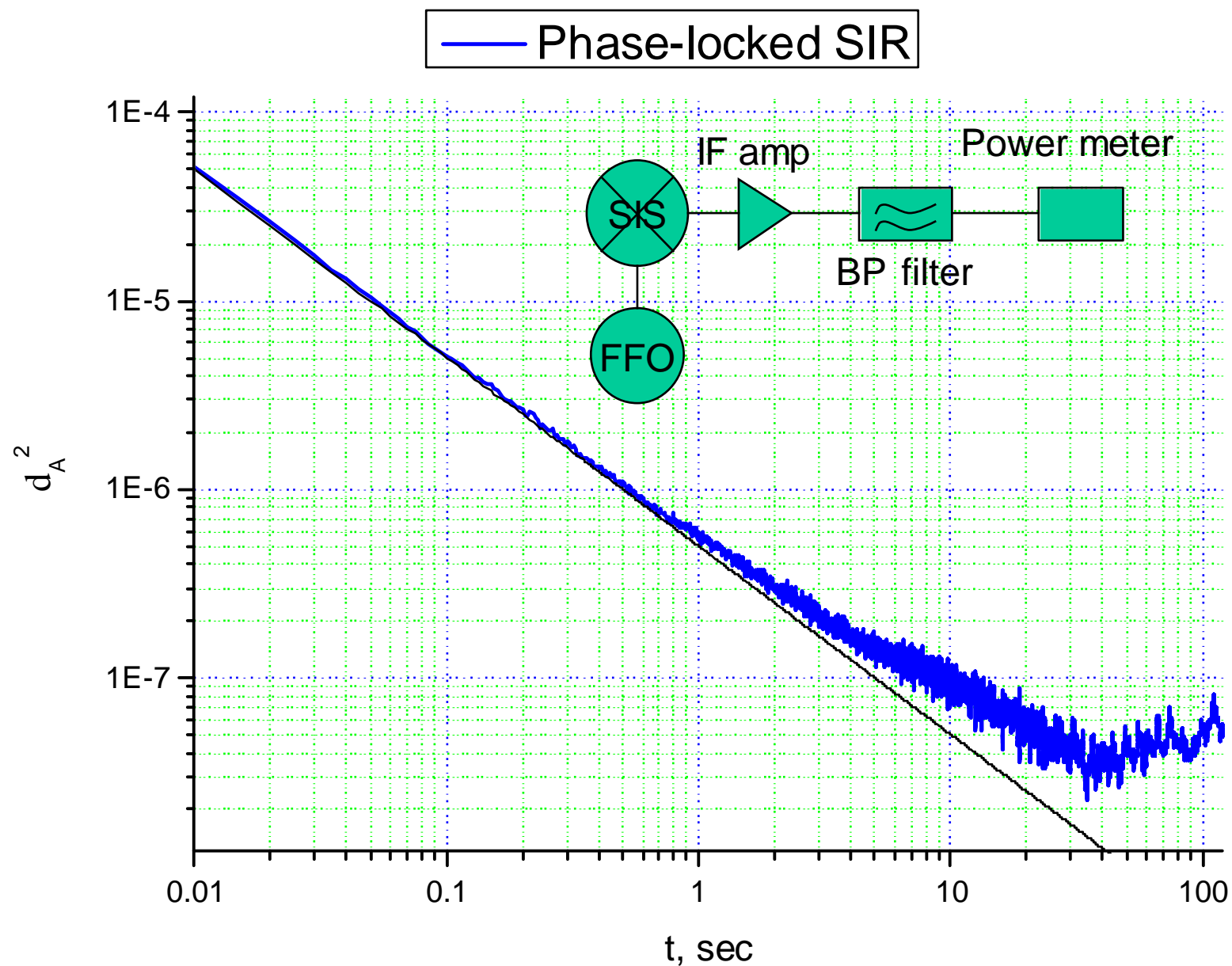


Шумовая температура СИП (DSB) :

Red - T bath = 4.2 K; Blue – T bath = 2 K



Стабильность СИП: Allan variance test



Характеристика тракта ПЧ СИП

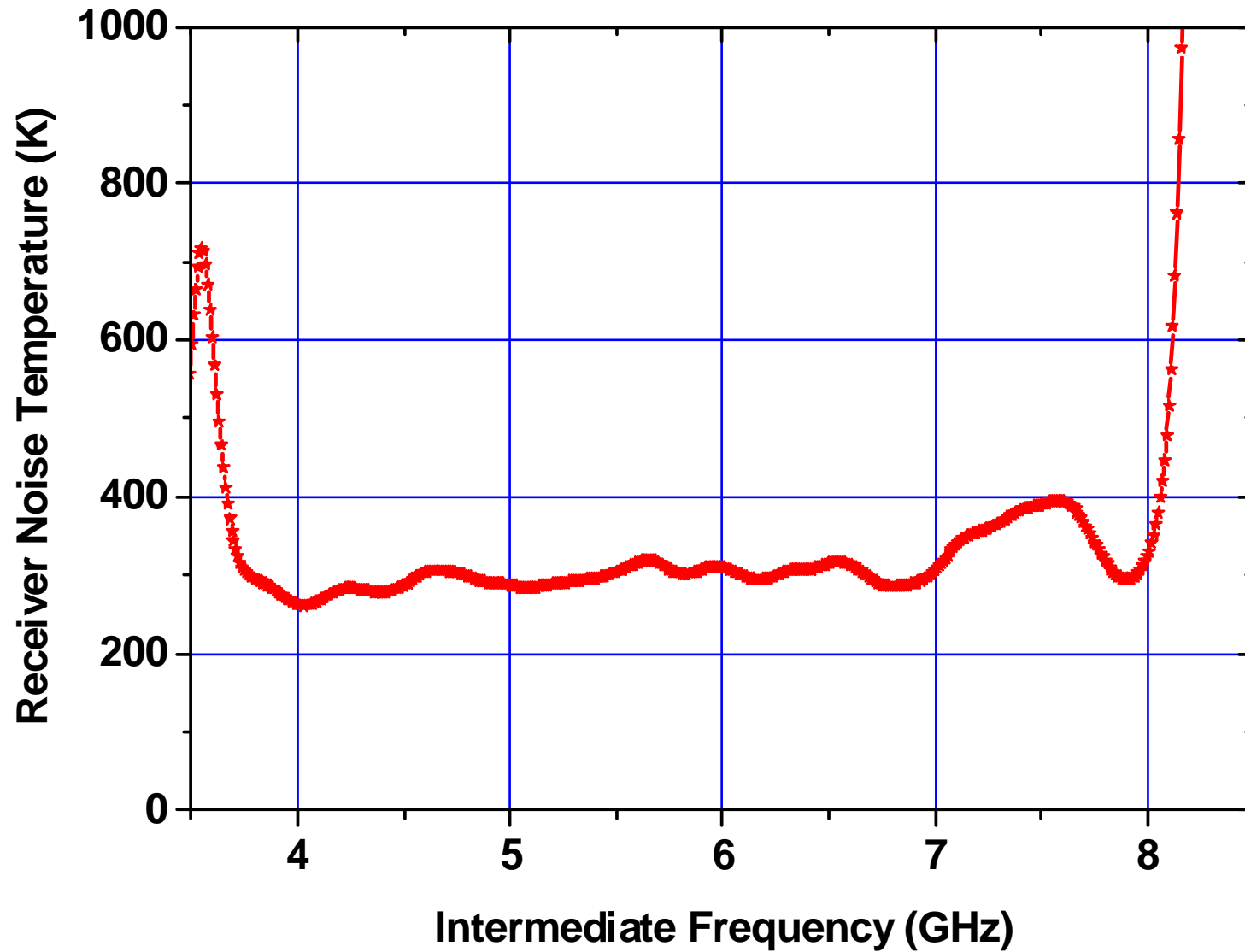
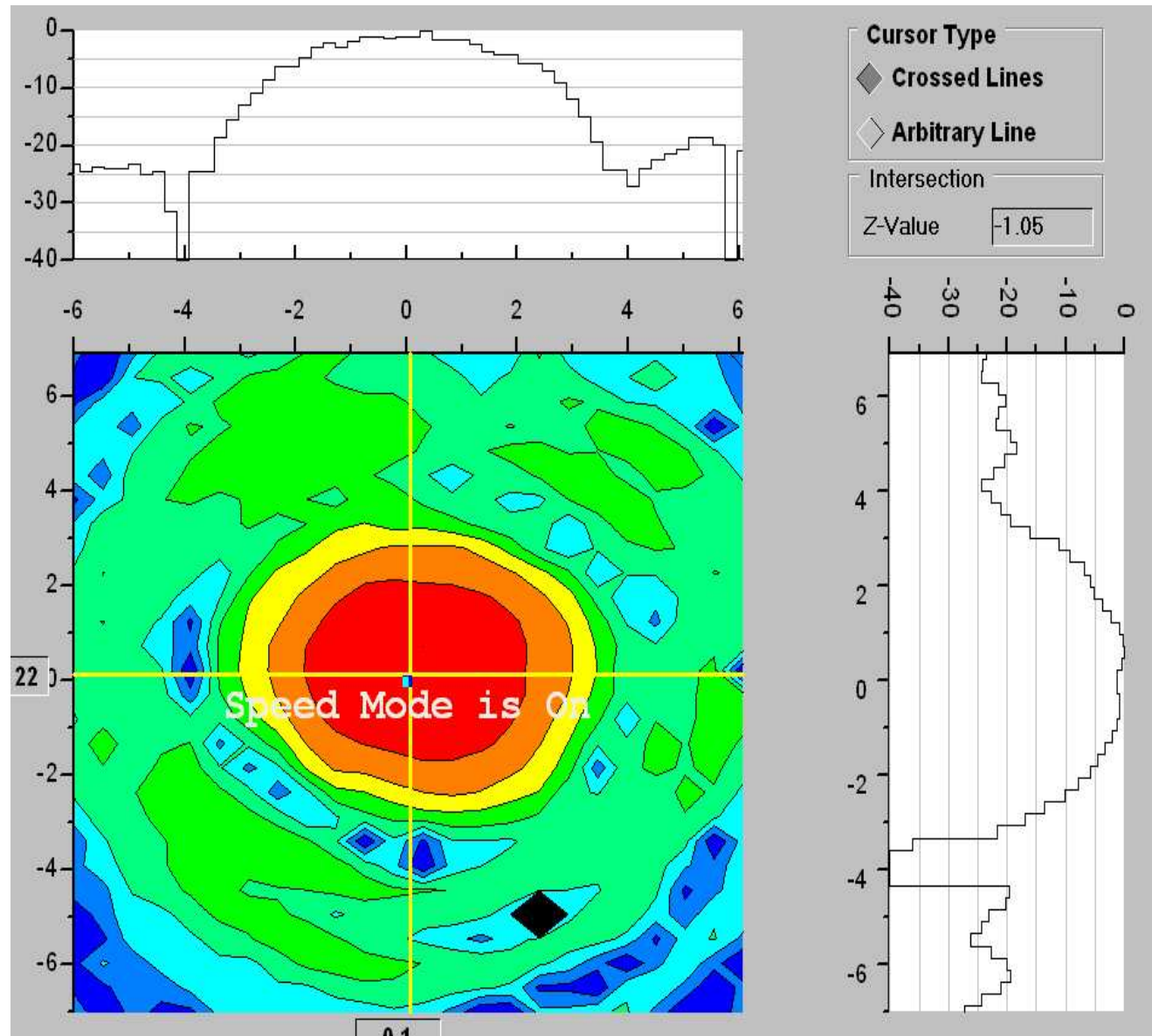
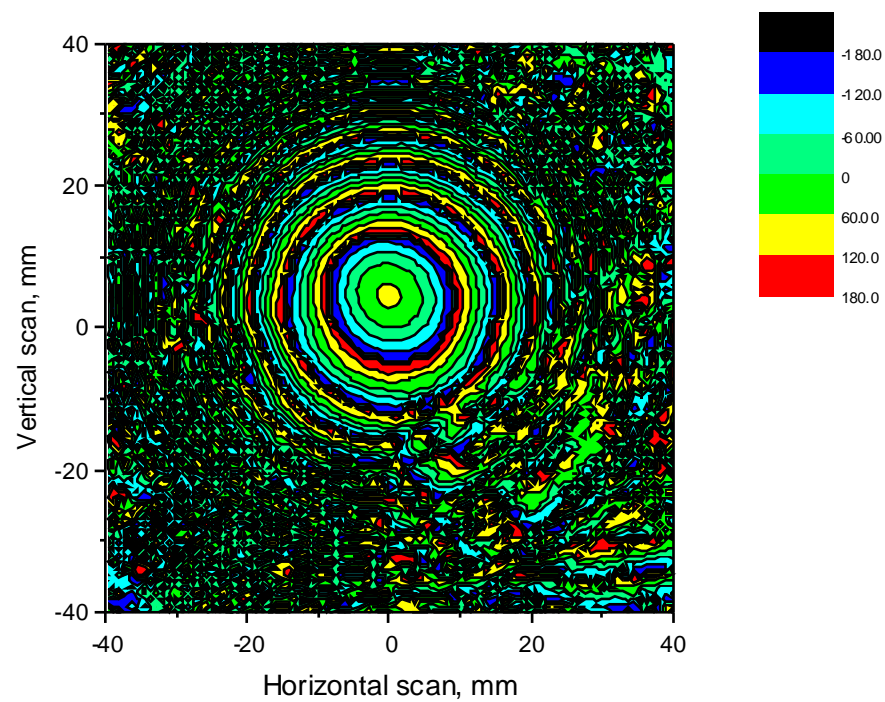
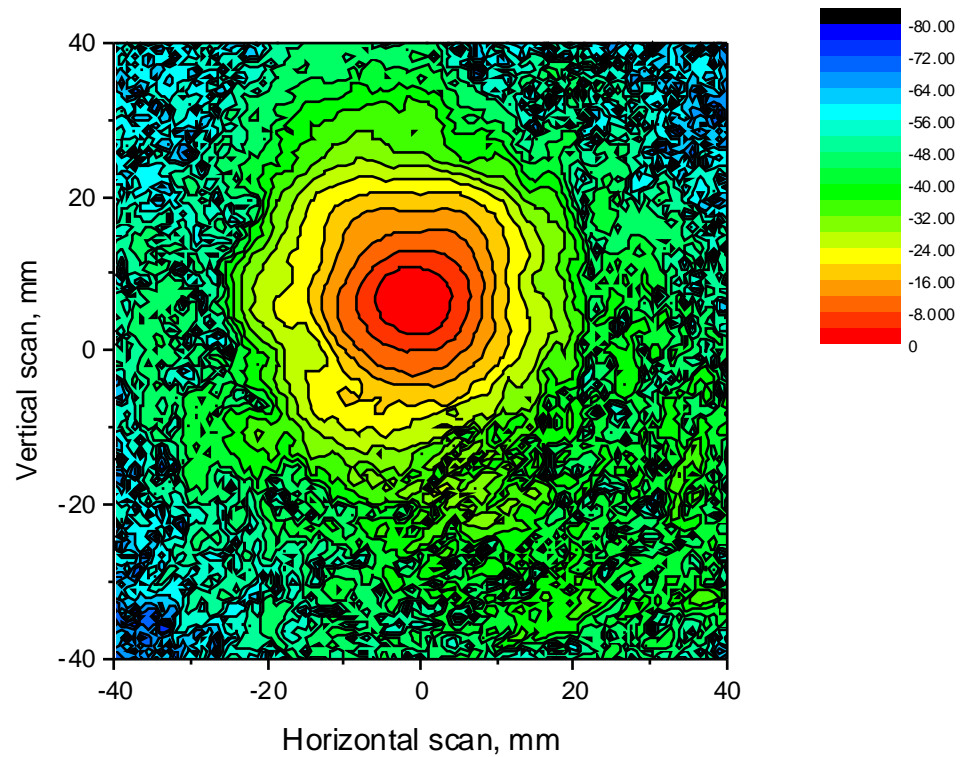
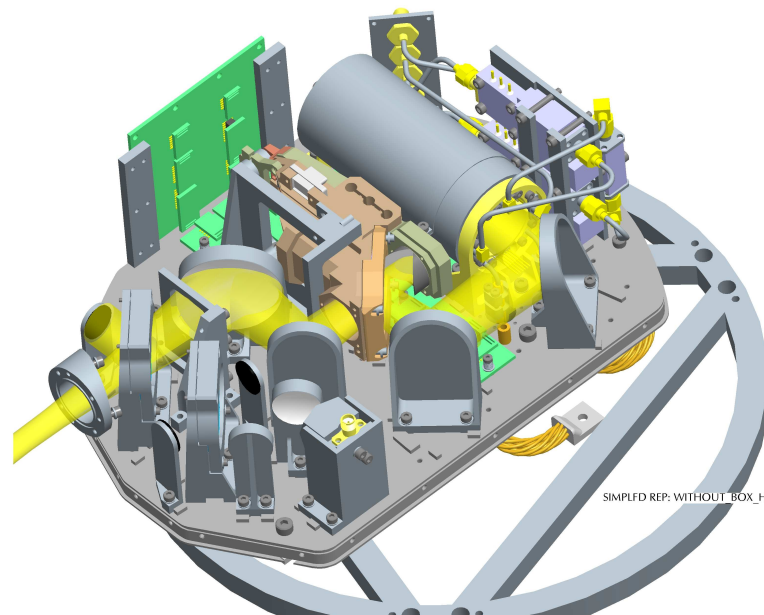


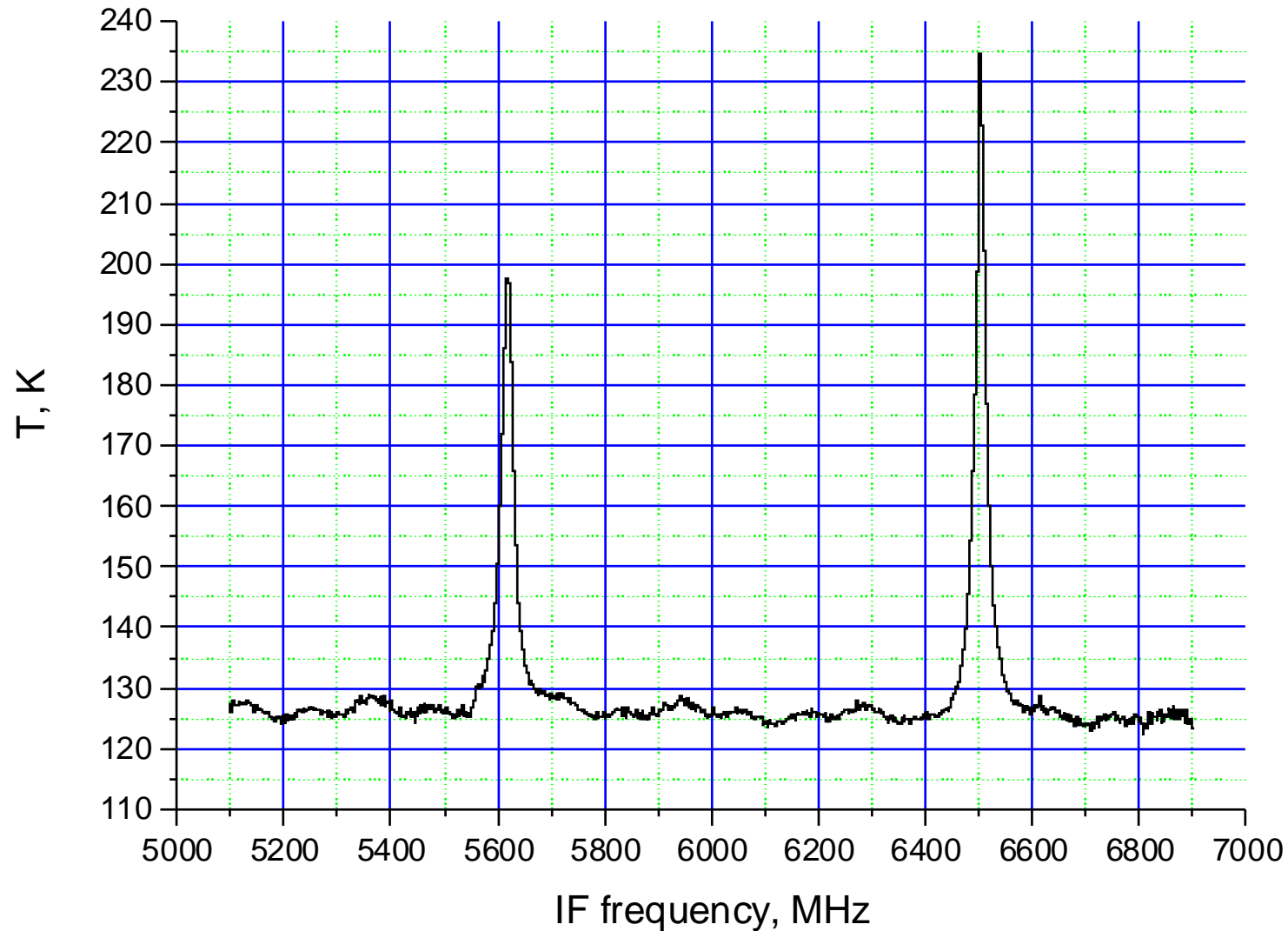
Диаграмма направленности (антенна-линза) СИП в режиме ФАПЧ на частоте 625 ГГц



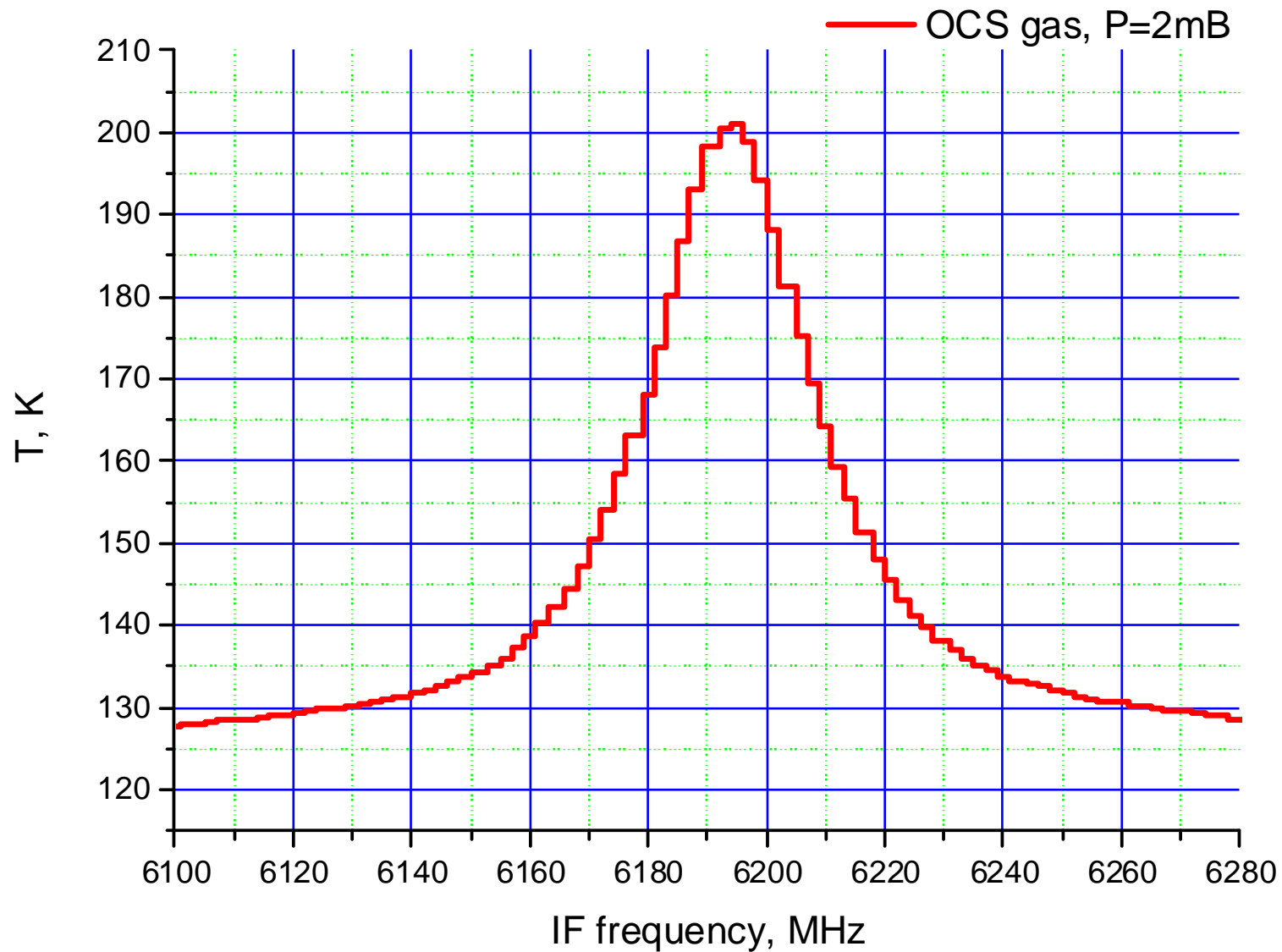
Векторная диаграмма направленности приемника



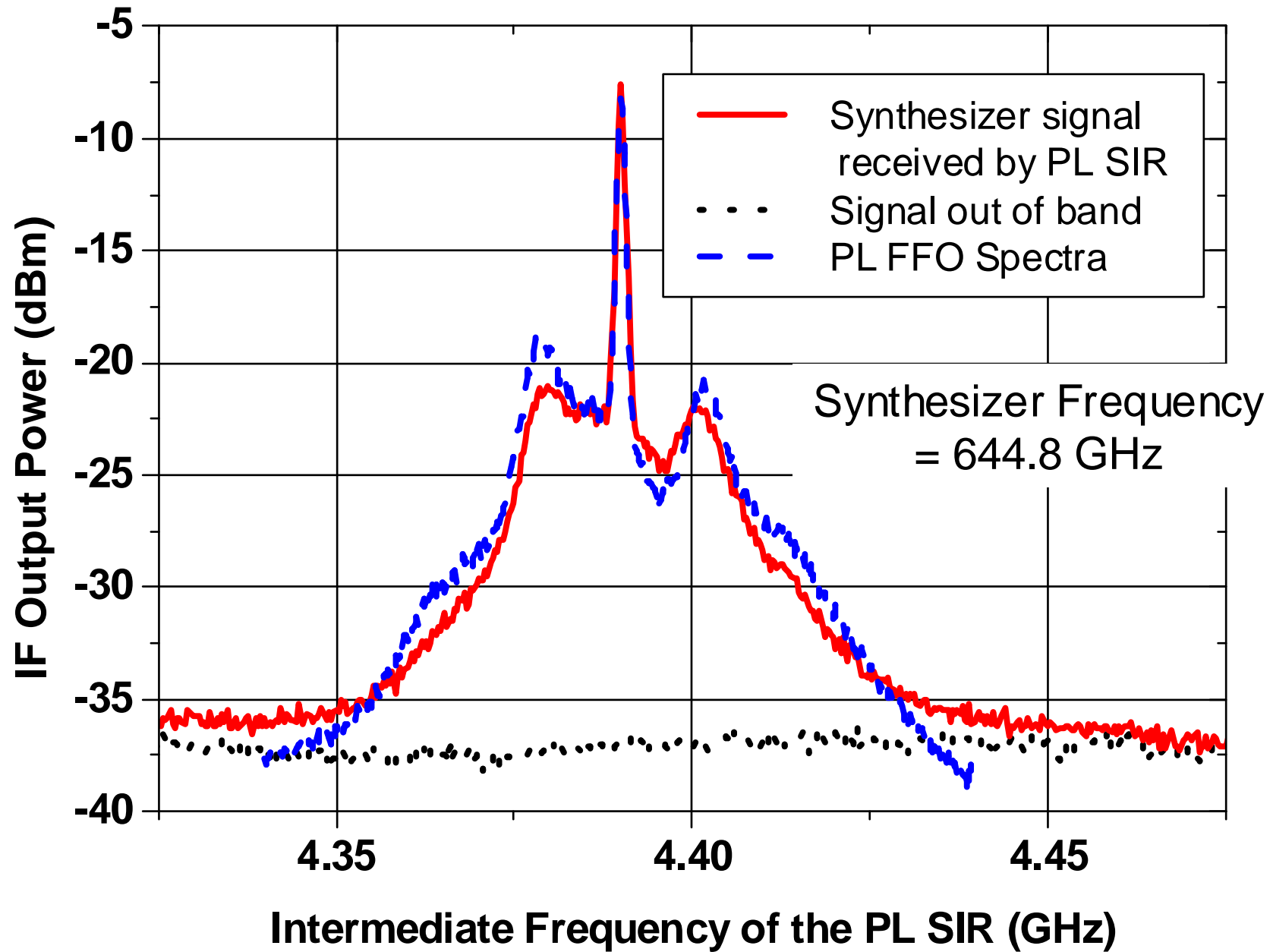
Спектры 2-ух линий OCS (давление 1.2 mBar) после деконволюции; частота ФФО = 625.24 ГГц



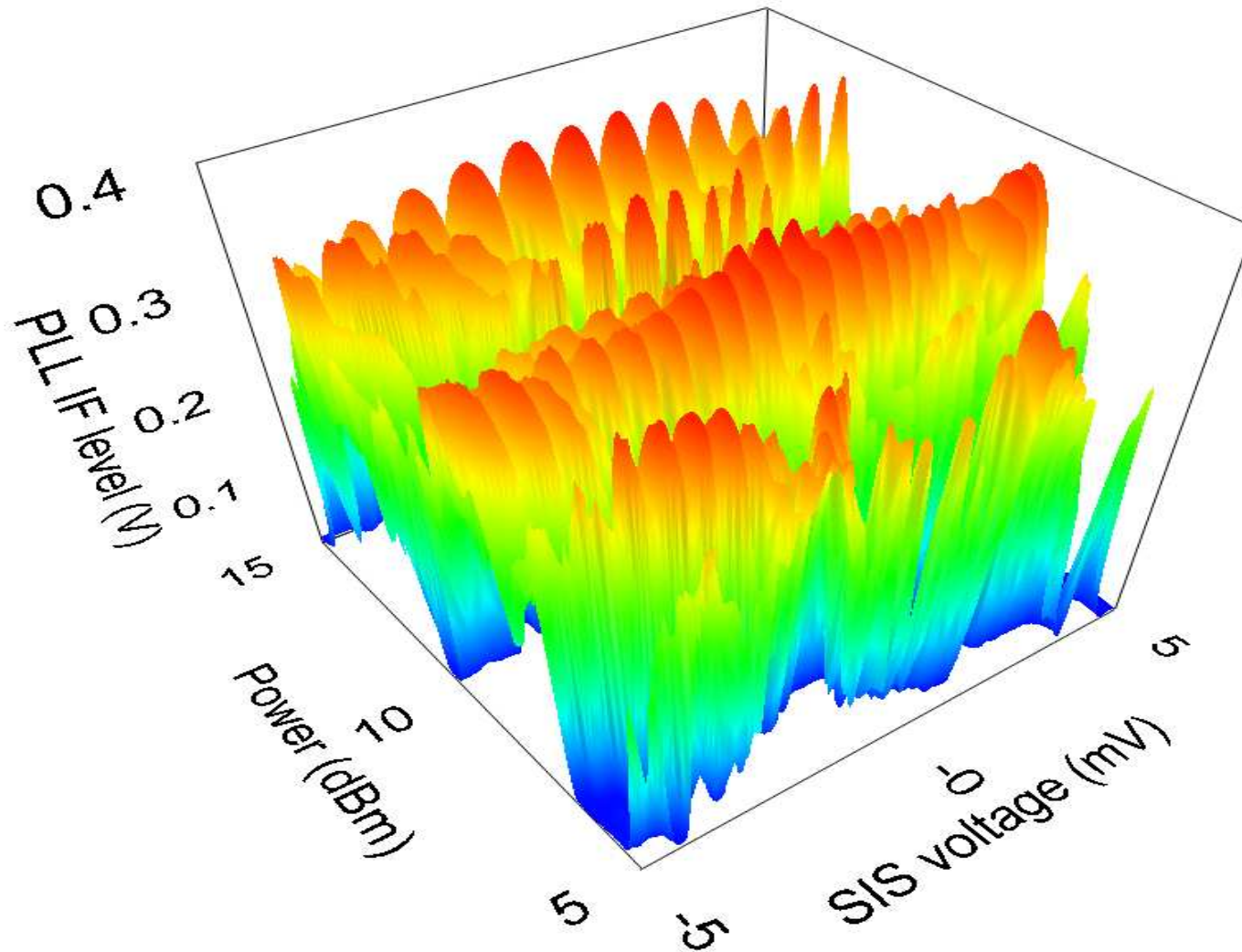
Измерение спектра OCS в газовой ячейке; разрешение определяется автокоррелятором



СИП в режиме ФАПЧ; разрешение < 1 МГц



Оптимизация работы гармонического смесителя в СИП в режиме ФАПЧ (3D)



Заключение

- Предложена и апробирована концепция интегрального приемника субмм волн со сверхпроводниковым генератором гетеродина, частота которого стабилизирована с помощью системы ФАПЧ.
- Разработана технология изготовления интегральных сверхпроводниковых СВЧ микросхем на основе туннельных переходов **Nb-AlO_x-Nb** и **Nb-AlN-NbN**
- Создана и испытана микросхема интегрального приемника, удовлетворяющая всем требованиям проекта **TELIS**.
- Для бортового интегрального приемника реализован частотный диапазон **500 – 650 ГГц**, шумовая температура менее **200 К (DSB)**, полоса ПЧ **5- 7 ГГц**, диаграмма направленности с боковыми лепестками **< - 17 dB**, разрешение лучше **1 МГц**.
- Создана и апробирована концепция дистанционного управления интегральным приемником
- Первый тестовый полет намечен на апрель 2007 г.