



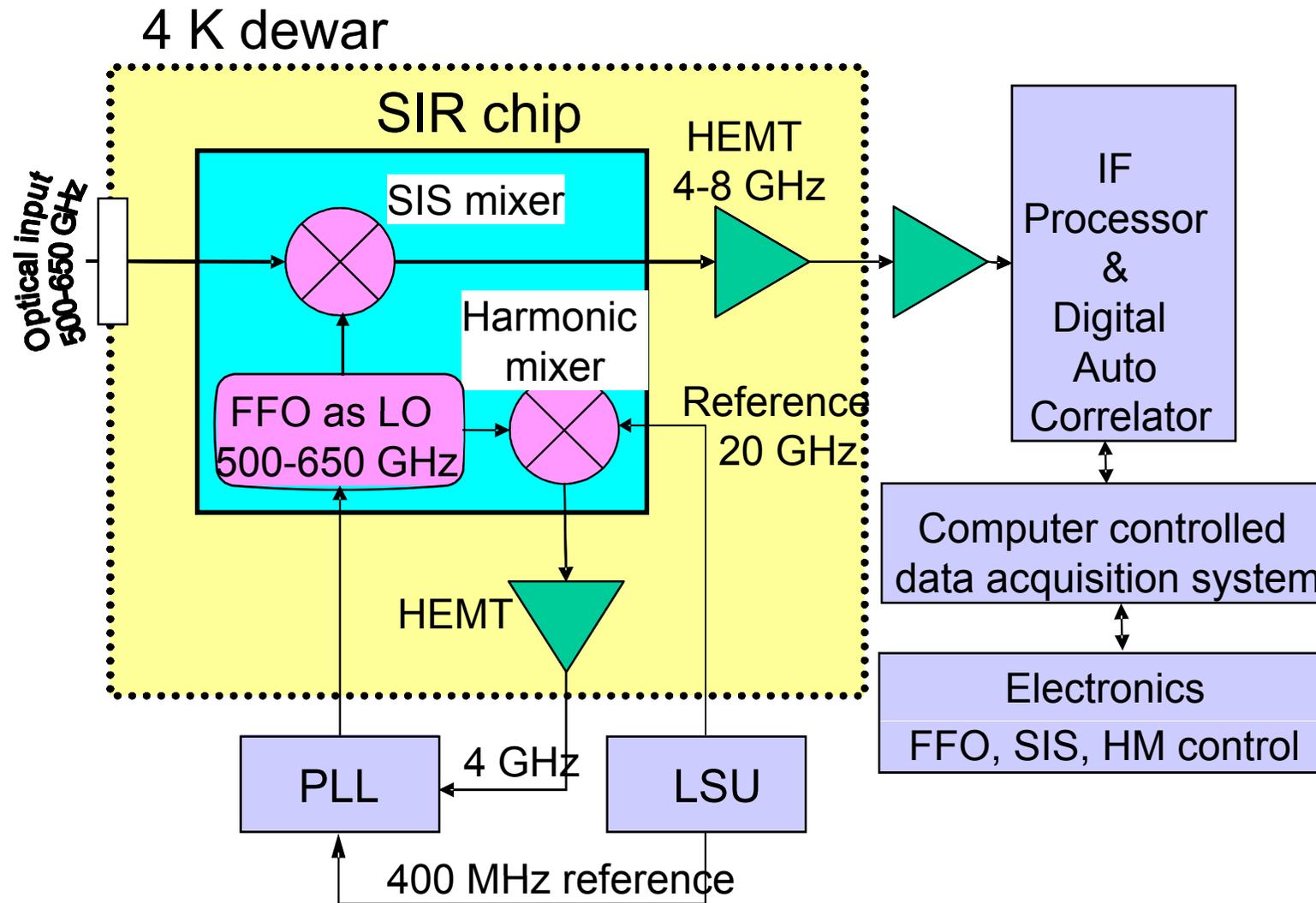
Интегральный сверхпроводниковый спектрометр субмм диапазона волн для атмосферных исследований и радиоастрономии

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

*Институт радиотехники и электроники
им В.А. Котельникова РАН, Москва*



Блок-схема сверхпроводникового интегрального приемника





Микросхема интегрального спектрометра

Технология: наноструктура Nb–AlO_x–Nb
или Nb–AlN–NbN на кремниевой подложке.

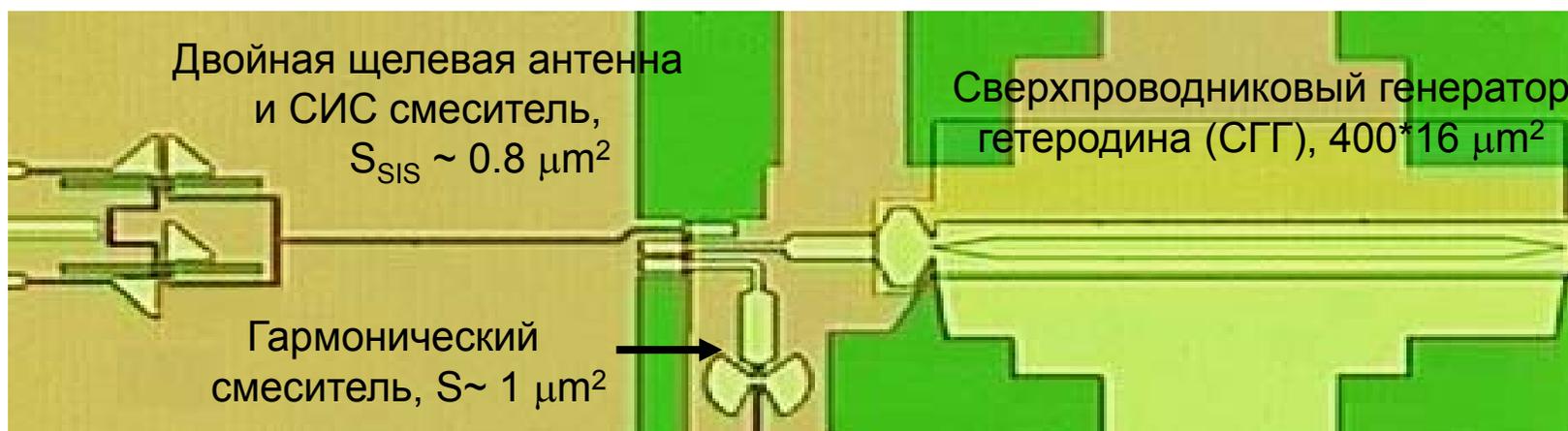
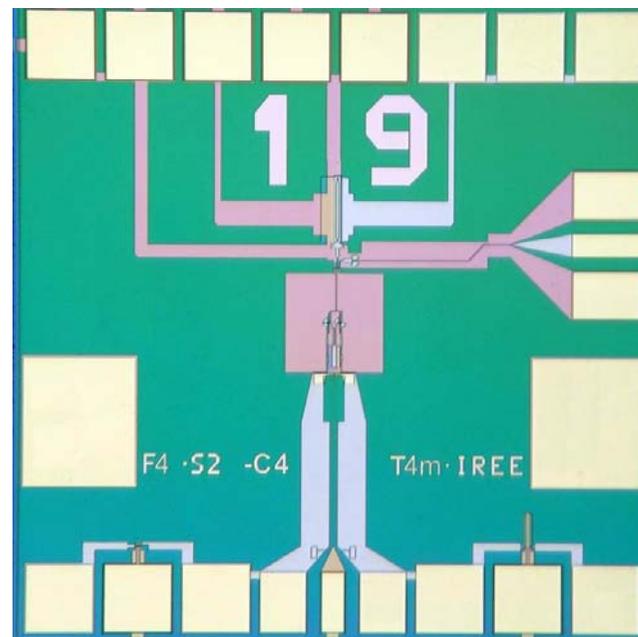
Плотность критического тока:

$$J_c = 3 - 8 \text{ кА/см}^2;$$

Толщина туннельного барьера : ~ 1 nm;

Площадь СИС перехода: $S_{\text{SIS}} \sim 1 \mu\text{m}^2$

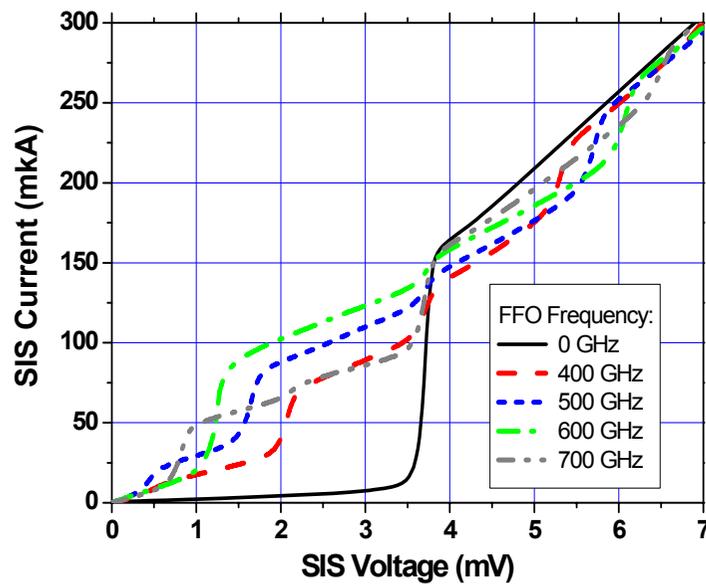
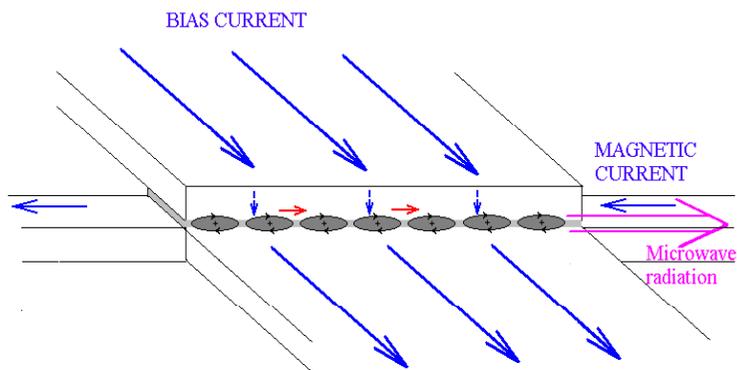
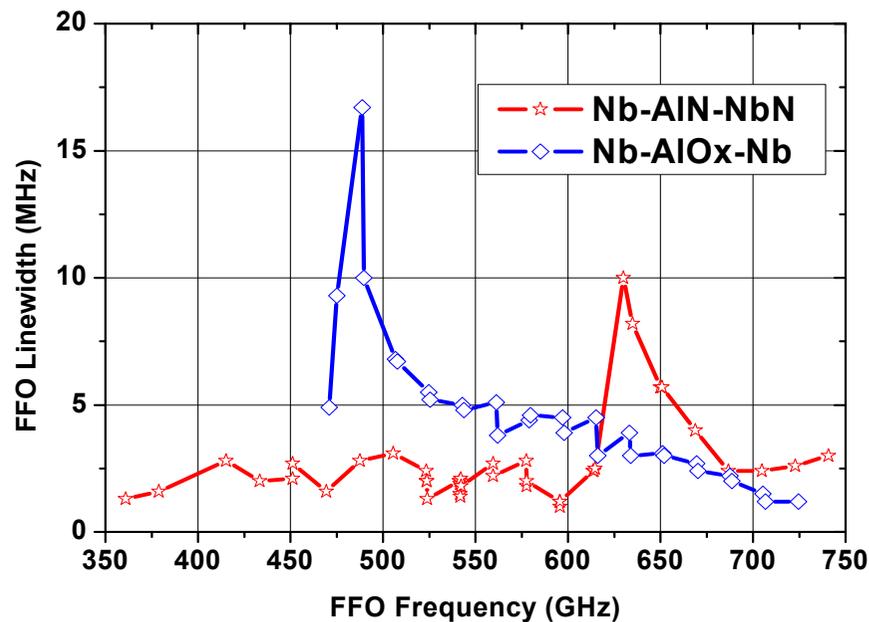
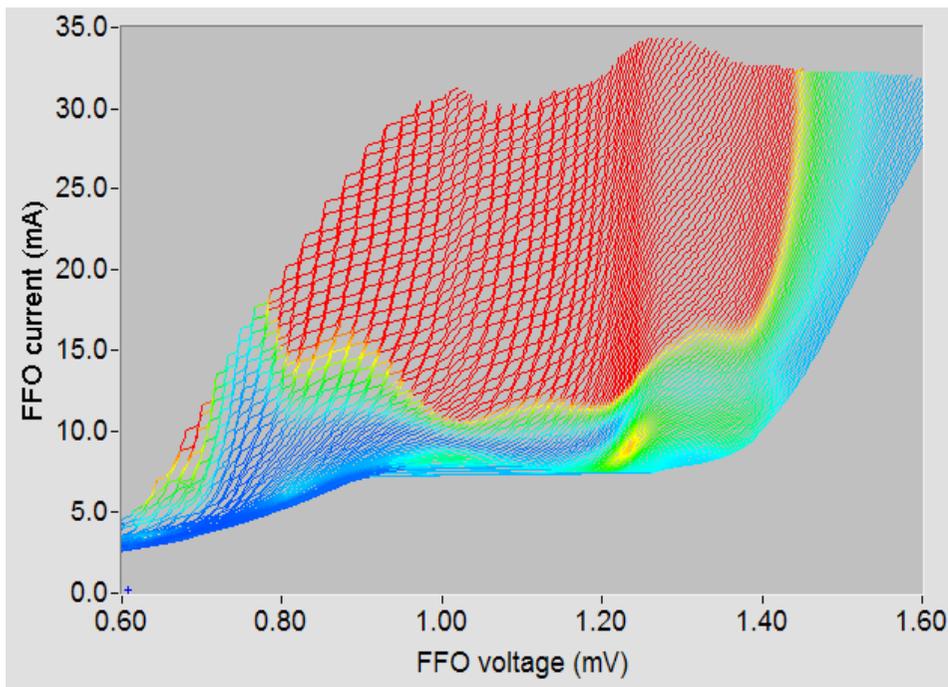
Размер микросхемы: 4 x 4 x 0.5 мм³



Фрагмент фотографии центральной части микросхемы: СГГ, щелевая антенна, двойной СИС смеситель для приема сигнала, гармонический смеситель для системы ФАПЧ

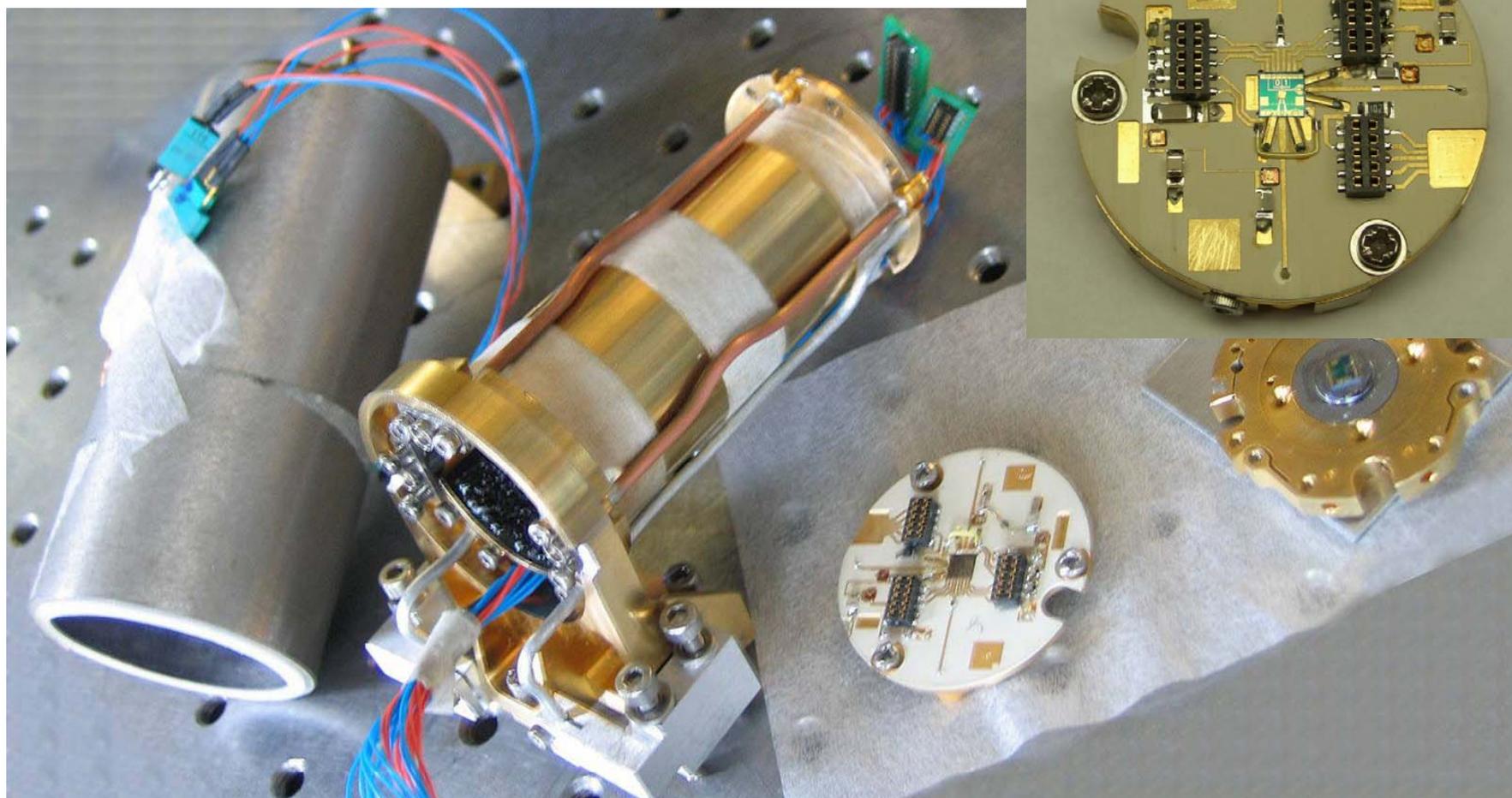


Свойства Nb-AIN-NbN FFO





Криогенный модуль спектрометра для TELIS (Terahertz Limb Sounder)



02 марта 2009

Нижний Новгород

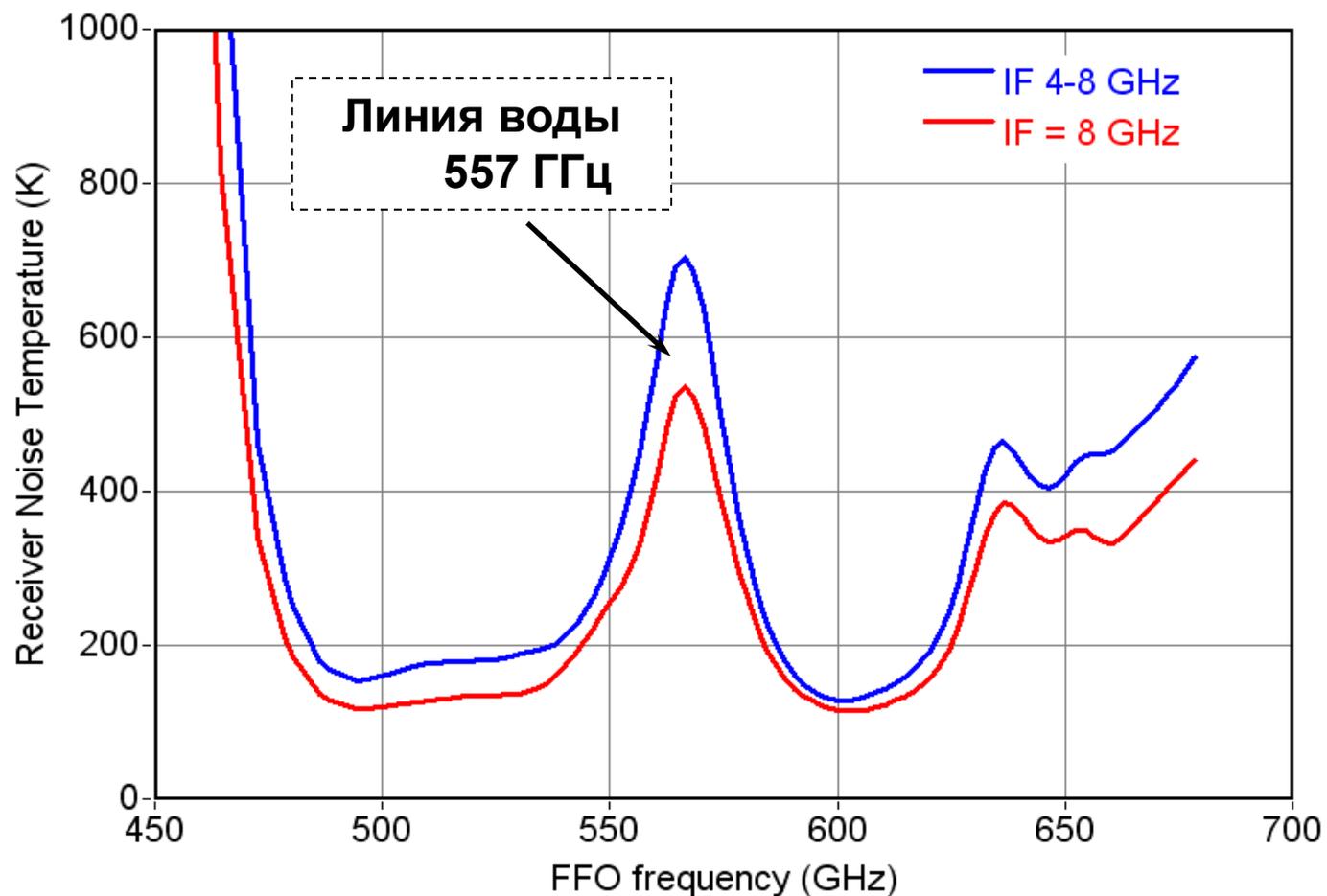
5



Шумовая температура спектрометра



(T4m-093-05f, 17-Dec-2007)



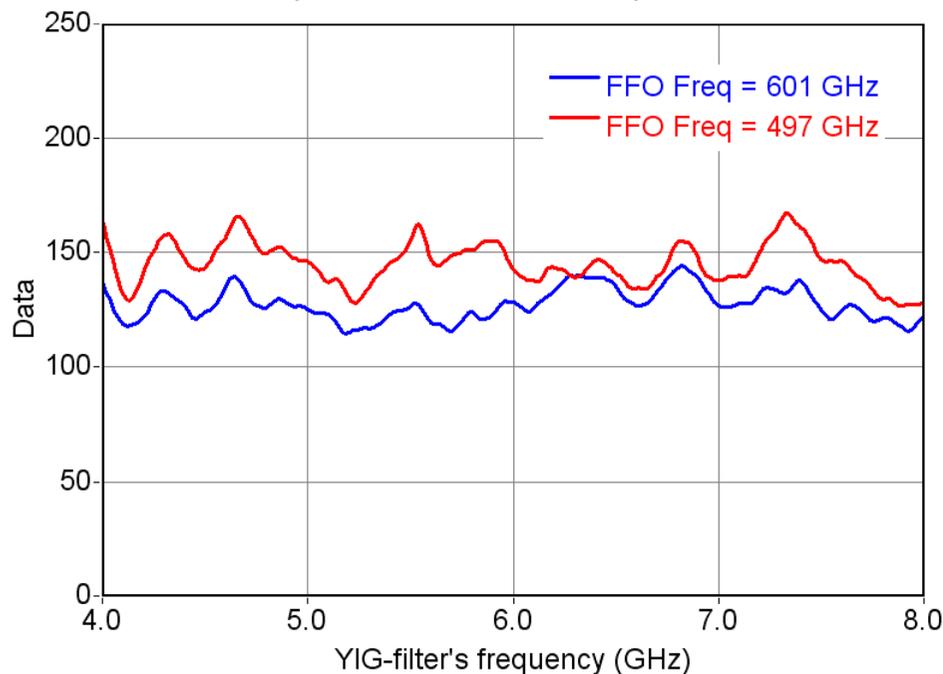
Шумовая температура полетного варианта приемника (DSB), измеренная на частоте ПЧ 8 ГГц (красная кривая) и во всей полосе ПЧ 4-8 ГГц (синяя кривая)



Шумовая температура спектрометра

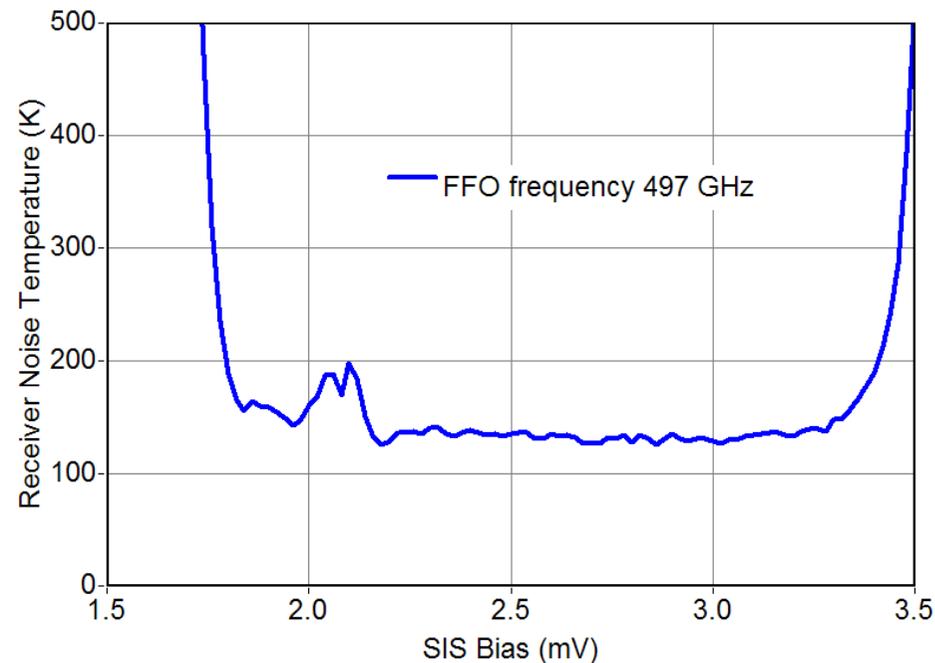


(T4m-093-05f, 14-Dec-2007)



Шумовая температура приемника от частоты ПЧ, измеренная для двух частот гетеродина: 497 и 601 ГГц

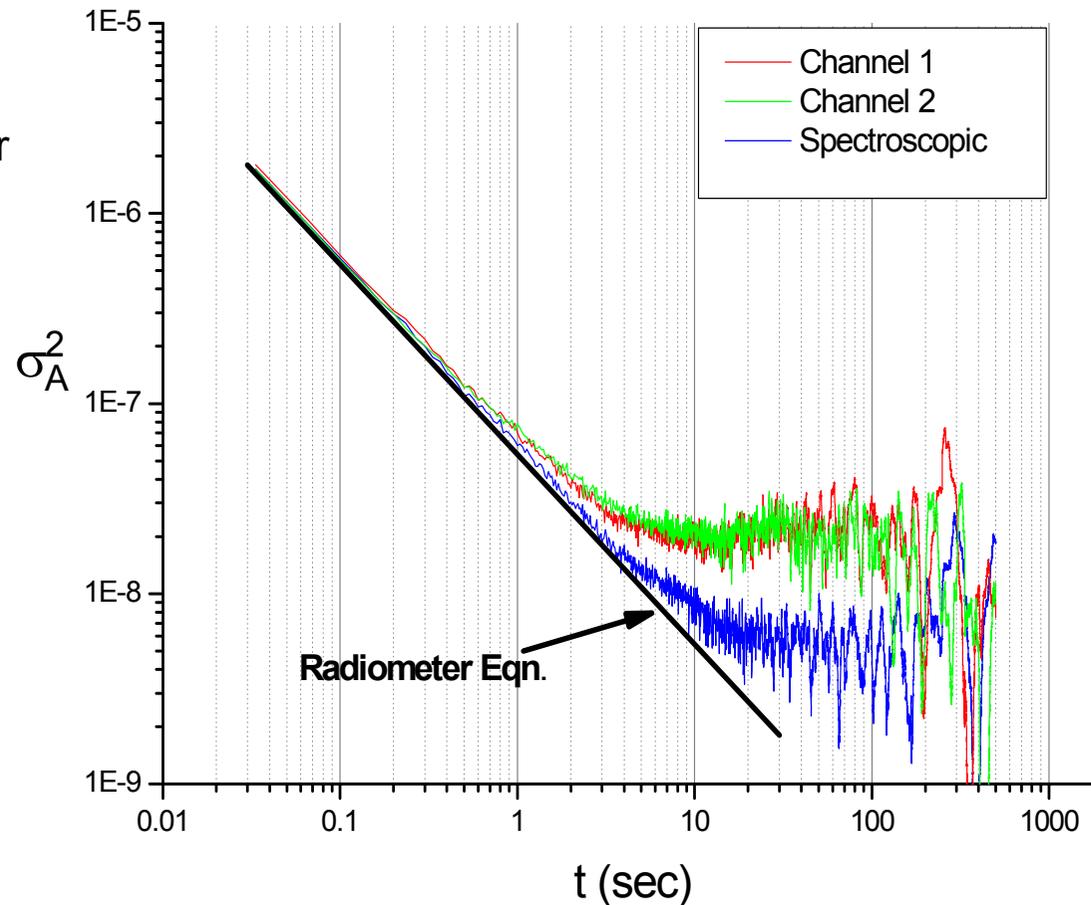
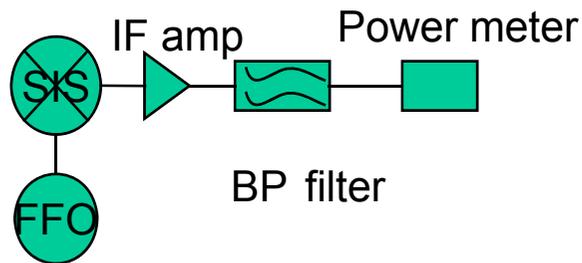
(T4m-093-05f, 30-Mar-2008)



Шумовая температура приемника от напряжения на СИС-смесителе, измеренная на частоте 497 ГГц



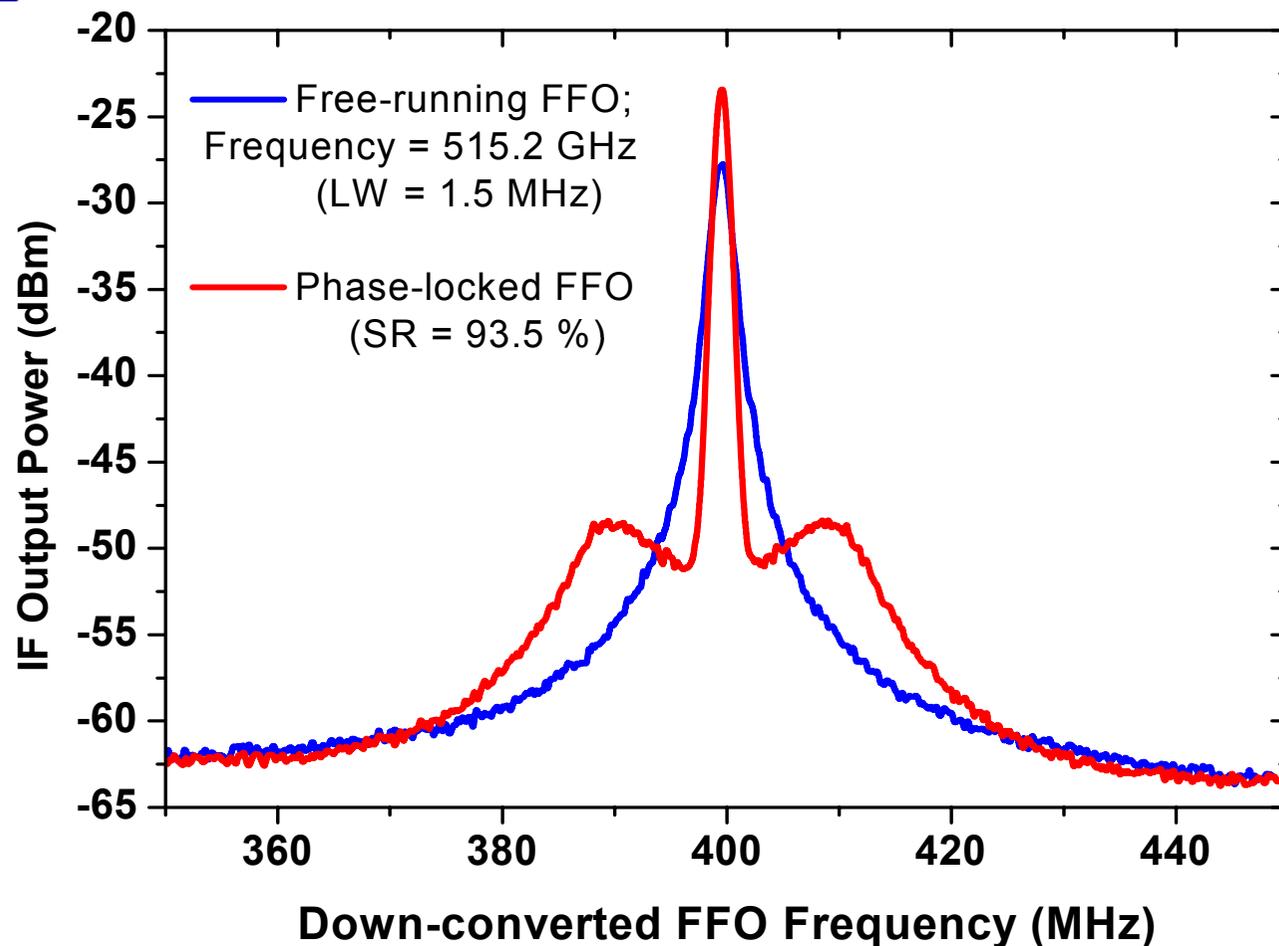
Стабильность интегрального спектрометра



Стабильность СИСП (Allan Variance), СГГ синхронизирован системой ФАПЧ на частоте 600 ГГц. Красная и зеленые кривые показывают стабильность индивидуальных каналов, синяя – спектроскопическую стабильность



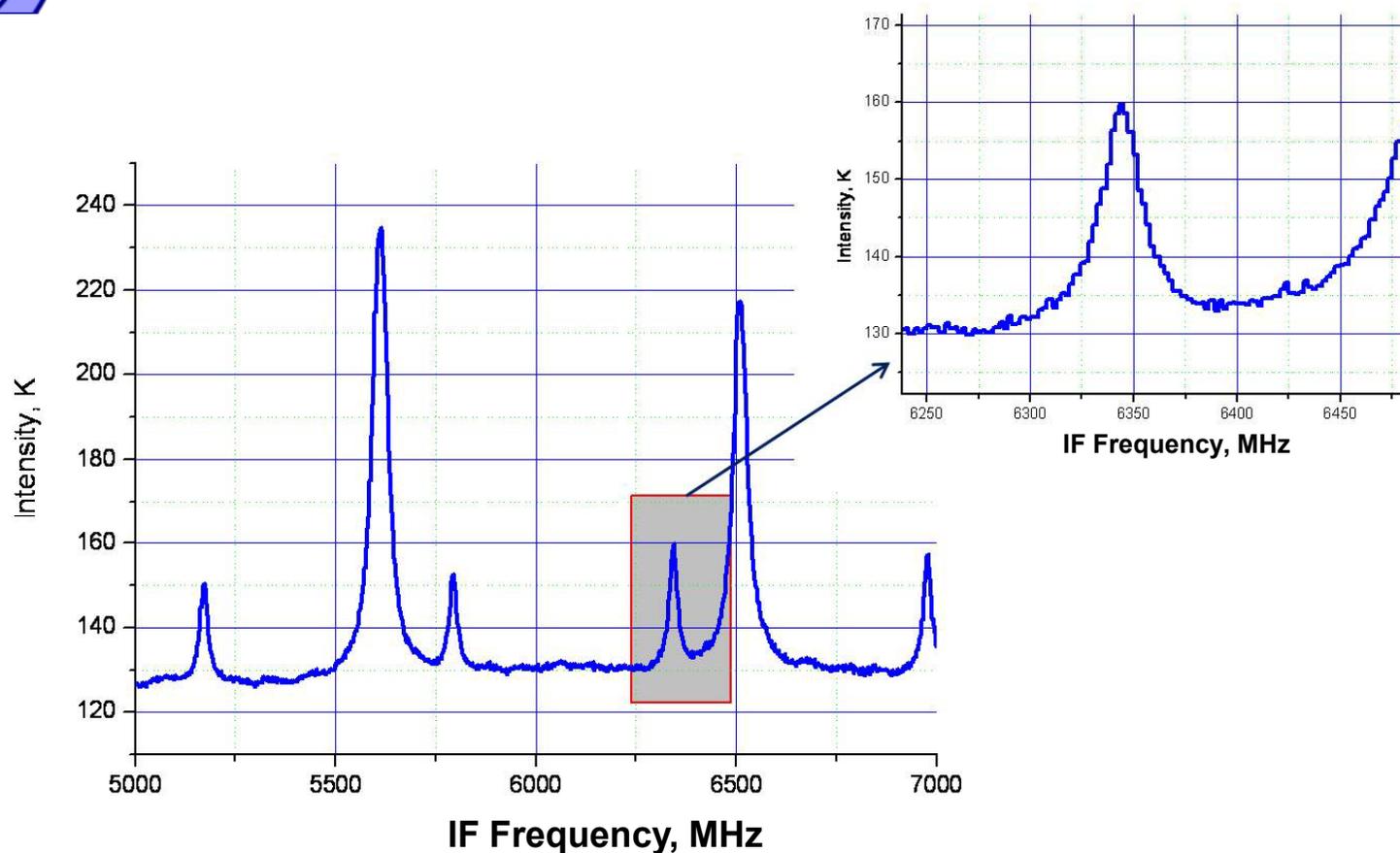
Спектральное разрешение



Спектры СГГ на частоте 515.2 ГГц (синяя кривая – частотная стабилизация; красная - фазовая). Ширина линии (LW) = 1.5 МГц; Отношение сигнал/шум (SNR) = 36 dB; Спектральное качество (SR) = 93.5 %. Спектры измерены с разрешением (RBW) = 1 MHz



Восстановление спектра



Восстановленный спектр излучения OCS при давлении газа 2.6 mBar.
Частота СГГ = 601 ГГц. Две сильные линии находятся в насыщении;
более слабые (ненасыщенные) соответствуют изотопам



Основные параметры спектрометра

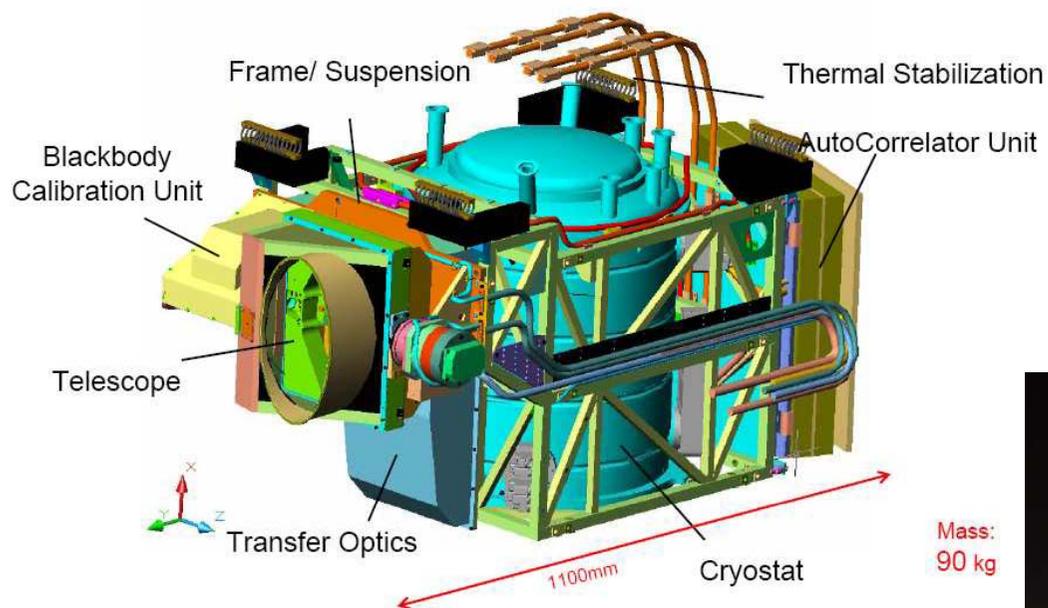
(в скобках значения, определяемые цифровым коррелятором)

Входной диапазон частот	500 – 650 ГГц
Минимальная шумовая температура	120 К
Диапазон промежуточных частот	4-8 (5-7) ГГц
Шаг гетеродина по частоте	< 300 МГц
Спектральное разрешение	< 1 (2) МГц
Выделяемая мощность	< 30 мВт
Рабочая температура	< 4.5 К



TELIS (Terahertz Limb Sounder)

Международный проект по разработке трехканального аэростатного спектрометра наклонного зондирования



Запуск аэростата TELIS-MIPAS на полигоне Teresina, Бразилия

Макет инструмента для проекта TELIS

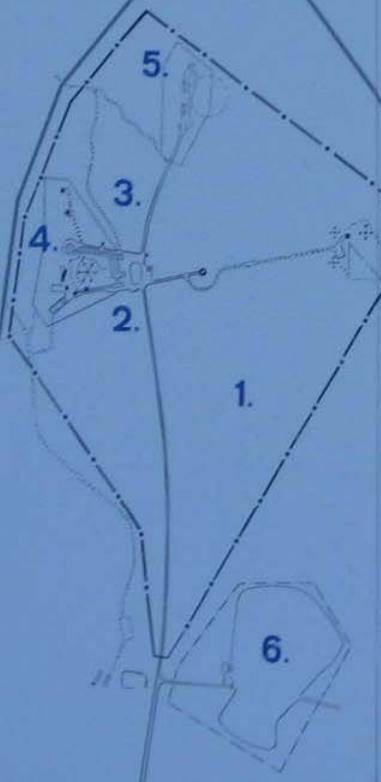






**Esrange,
Kiruna,
Sweden
January 2009**

DANGER AREAS



1. Rocket Launch Area
2. The Centaure Hall
3. The Skylark Hall
4. Rocket Launch Pads including Skylark tunnel inside inner fence and bars
5. Rocket and Igniter Storages
6. Balloon Launch Area











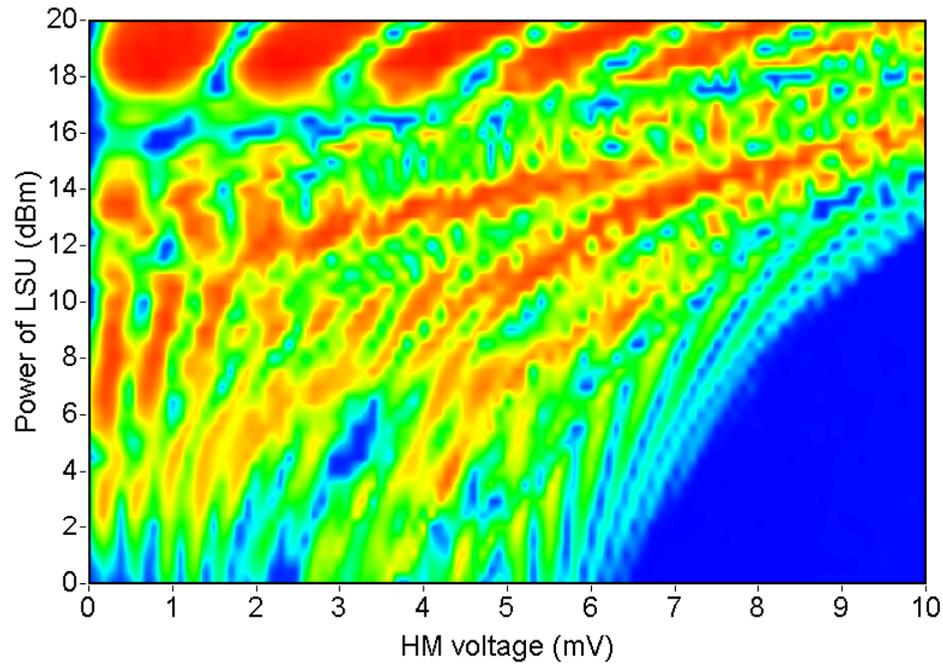
Результат предполетной оптимизации

FFO Freq., GHz	SIS bias, mV	SIS CL, mA	HM bias, mV	FFO bias, mA	FFO CL, mA	PLL gain, mV	PLL att, V	LSU Pow., dB	LSU Freq, GHz	Harm ##
495.04	2.3-3	32.4	5.6	32.7	42.36	298	4.6	14.51	20.46	24
496.88	2.3-3	32.4	0.15	33.8	41.82	-253	4.63	18.04	20.87	24
505.6	2.2-3	32.4	0.05	30.3	44.55	331	4.68	19.14	20.9	24
507.28	2.5-3	32.4	0	31.2	44.17	275	4.58	16	20.97	24
515.25	2.8	32.4	0.96	31.8	44.27	-255	4.5	15.53	20.77	25
519.25	2.98	32.4	0.72	30.4	45.31	-266	4.5	18.35	20.93	25
607.78	3	30.5	0.927	30	59.95	298	4.5	15.69	20.82	29
619.1	2.98	30.5	0.05	27	65.14	-170	4.5	16	20.77	30

Результат предполетной оптимизации (2)

PreView of printing page

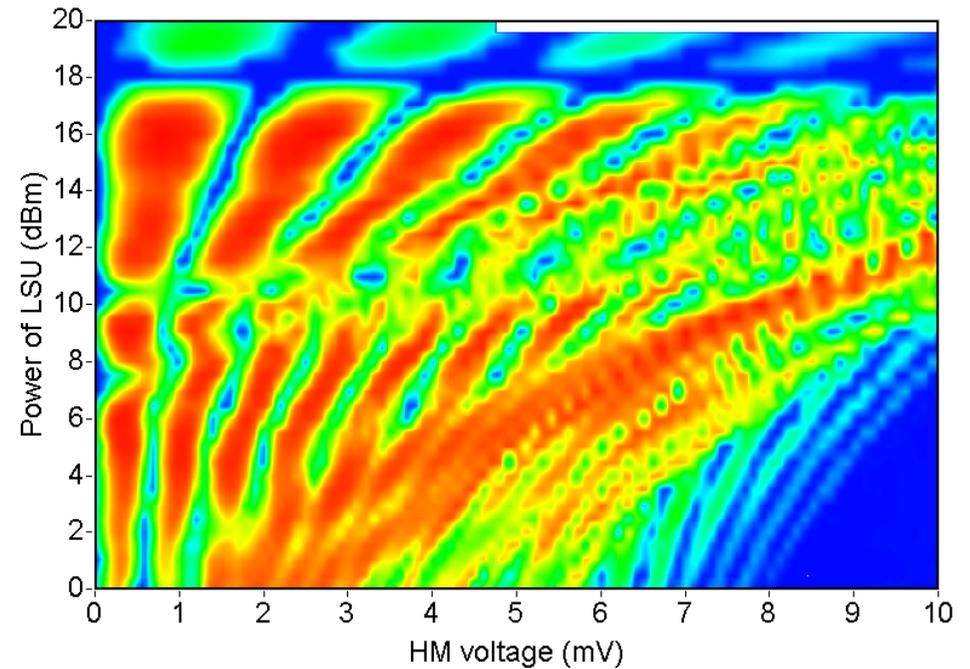
(T4m-093#05p-flight, 19-Jan-2009) Color scale: 0.629 V



519.25 GHz

PreView of printing page

(T4m-093#05p-flight, 19-Jan-2009) Color scale: 0.629 V



607.78 GHz



Заключение: Интегральный спектрометр для атмосферных исследований

- 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 **120 К (мин)**, полоса ПЧ **4 - 8 ГГц**, спектральное разрешение лучше **1 МГц**; АВР: **FWHM = 3 градуса** с боковыми лепестками **< - 17 dB**.
- Создана и апробирована концепция дистанционного управления интегральным приемником.
- Первый тестовый полет проведен в **июне 2008 г в Бразилии**, следующий намечен на **март 2009 (Кируна, Швеция)**.

To be continued ...



30-cm POrtable Submillimeter Telescope (POST)

Purple Mountain Observatory; Nanjing.

Site: Delingha of Qinghai province (*altitude ~3200 m*)



Frequency - 345 GHz
Tr (DSB) < 100 K
Spectral resolution < 1 MHz

2-stage GM type;
cooling capacity
– 0.1 W;

compressor – 42 kg;
power consumption
- 1.2 kW



Parameters of the Integrated SIS Receiver for POST

##	Parameters	Specification
1	Input Frequency band, GHz	325 - 365
2	Minimum Noise Temperature in the band (DSB), K	≤ 100
3	Maximum Noise Temperature in the band (DSB), K	≤ 200
4	Initial Intermediate Frequency Range, GHz	3.6 – 4.6
5	Output Frequency, GHz	0.01 - 1
6	Output Power, dBm	> 5
7	Spectral resolution (width of the spectral channel), kHz	≤ 30
8	LO frequency net, MHz	≤ 200
9	Dissipated power at 4.2 K stage (including IF), mW	≤ 100
10	Operation temperature, K	≤ 4.5

Arizona Radio Observatory (ARO) Submillimeter Telescope (SMT)



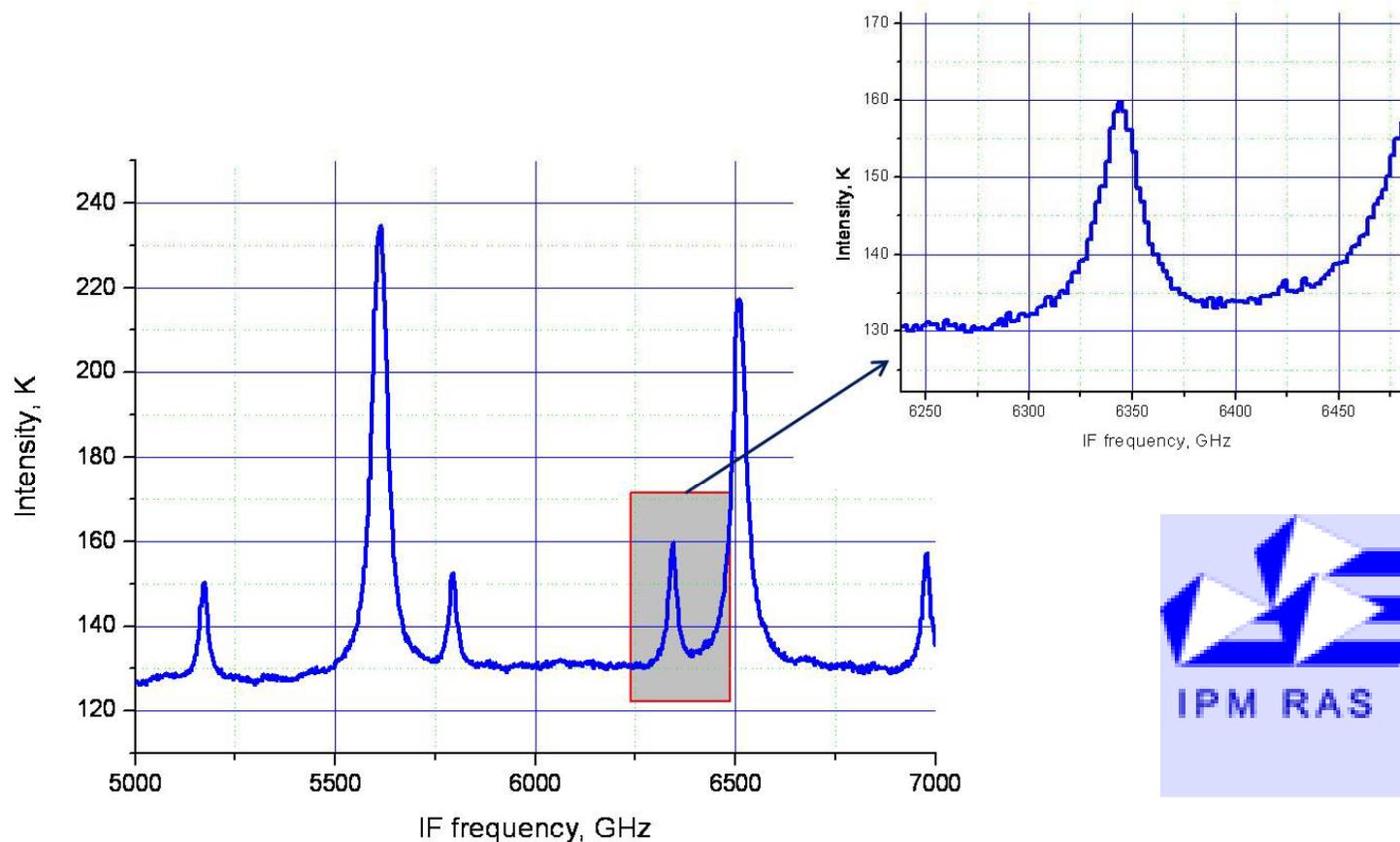
Main reflector: paraboloid $D=10$ m; $F/D=0.35$. Sub-reflector: $d=0.69$ m;

SIS-345: The MPIfR 345 GHz dual-channel receiver; $T_r(\text{DSB}) < 125$ K

SIS-490: The SORAL 490 GHz single-channel receiver was installed at the SMT in early January 1998. The receiver now achieves $T(\text{DSB})$ of 110-150 K across its 425 to 500 GHz tuning range.



Восстановление спектра



Восстановленный спектр излучения OCS при давлении газа 2.6 mBar.
Частота СГГ = 601 ГГц. Две сильные линии находятся в насыщении;
более слабые (ненасыщенные) соответствуют изотопам



Интегральный спектрометр субмм диапазона волн

State of Art

- Разработана и реализована концепция бортового интегрального спектрометра (СИСП);
- Создана технология изготовления интегральных сверхпроводниковых микросхем на основе высококачественных туннельных переходов **Nb-AlOx-Nb** и **Nb-AlN-NbN**;
- Для сверхпроводникового генератора гетеродина (СГГ) реализован режим фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) на частотах **250 - 730 ГГц**;
- Создан и испытан полетный вариант спектрометра для исследования атмосферы (проект TELIS) : диапазон **500–650 ГГц**, шумовая температура **120 К**, частотное разрешение – лучше **1 МГц**.

Возможные применения

- **Атмосфера:** бортовые системы для мониторинга концентраций различных примесей и исследований в области физики и химии земной атмосферы.
- **Радиоастрономия:** бортовые и наземные системы терагерцового и субтерагерцового диапазона, матричные приемники.
- **Медицина:** неинвазивная диагностика различных заболеваний на основе анализа выдыхаемого воздуха, таких как хронический гастрит, пептическая язва желудка, легочные и онкологические заболевания. Контроль эффективности лечения.
- **Безопасность:** обнаружение опасных (отравляющих, взрывчатых) веществ.