

ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОБАРЬЕРНЫХ ДЕТЕКТОРНЫХ ДИОДОВ ШОТКИ В ШИРОКОПОЛОСНОМ РАДИОМЕТРЕ 3 ММ ДИАПАЗОНА

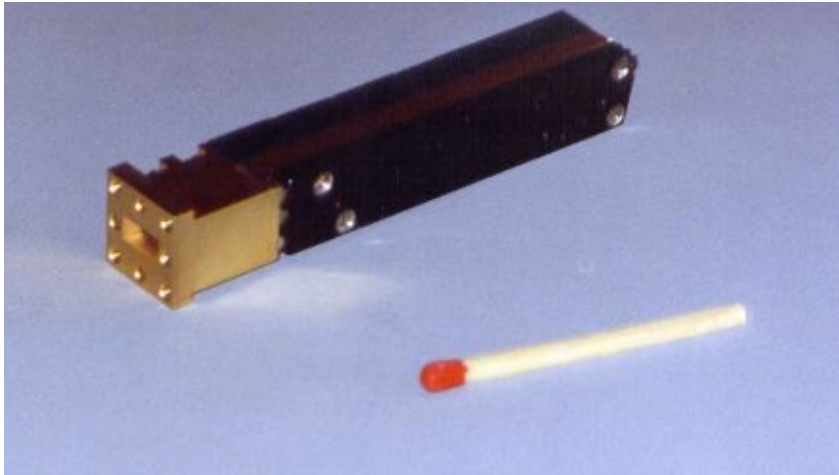
В.Н.Радзиховский¹, С.Е.Кузьмин¹, В.Б.Хайкин², С.В.Шлензин³,
В.Р.Закамов⁴, В.И.Шашкин⁴

¹ ГНИЦ “Айсберг”, Киев

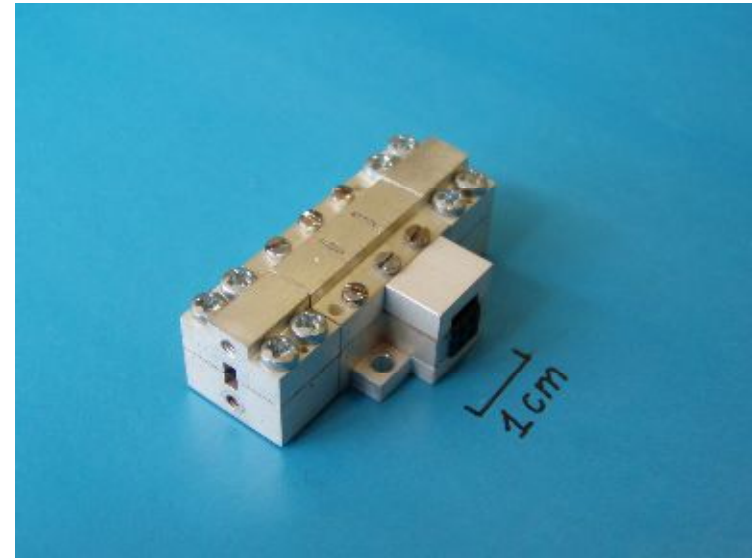
² СПбФ САО РАН, Санкт-Петербург

³ СПГПУ

⁴ Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород



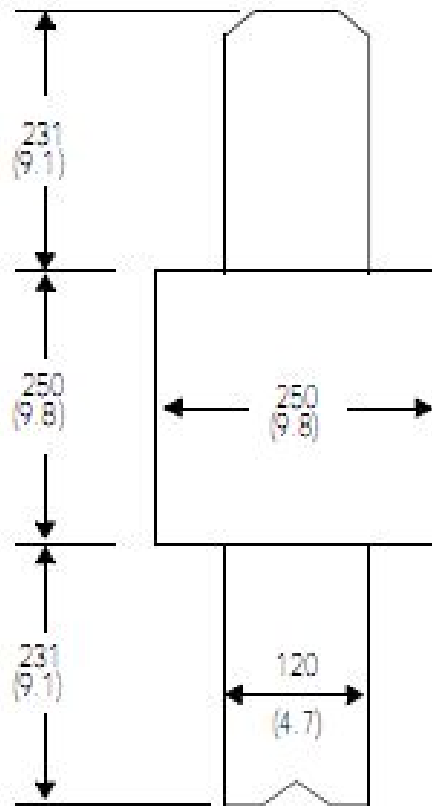
8 мм модуль



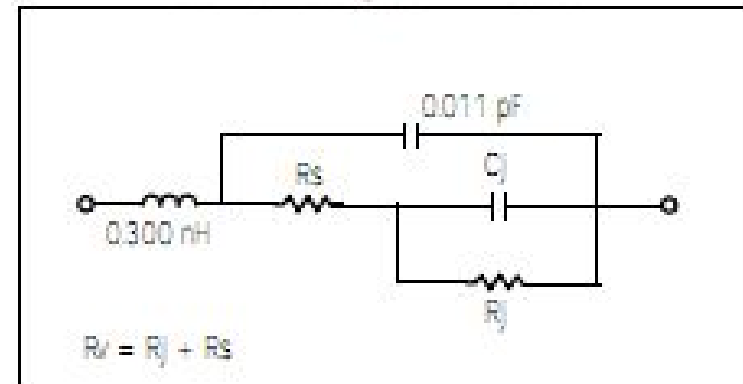
5 мм модуль



3 мм модуль



Small Signal Model



Typical Small Signal Parameters as a Function of Bias

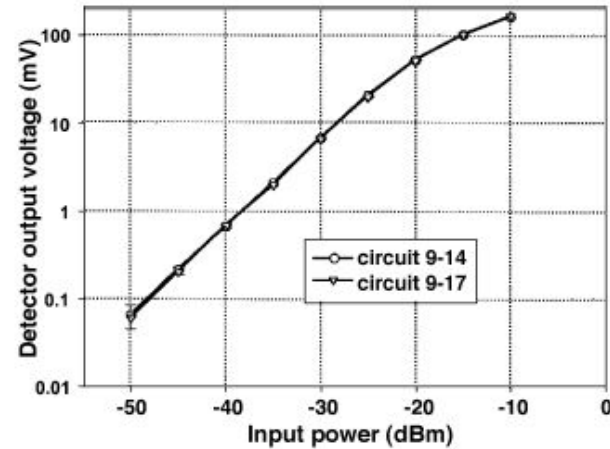
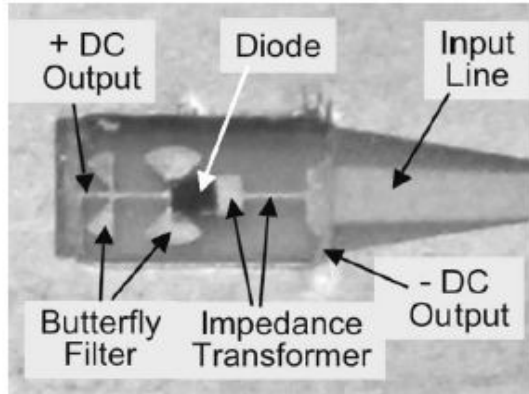
Parameter	Bias Voltage			
	-4.0V	Zero Bias	+0.1V	+0.5V
$R_s(\Omega)$	20	20	20	20
$R_j(\Omega)$	440	3000	277	34
$C_j(\text{pF})$	0.019	0.035	0.027	0.034

Note: Parameter values extracted from 26-40 GHz s-parameter data @ -20 dBm.

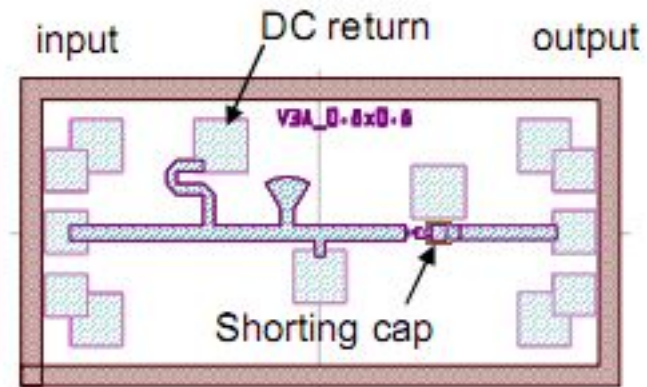
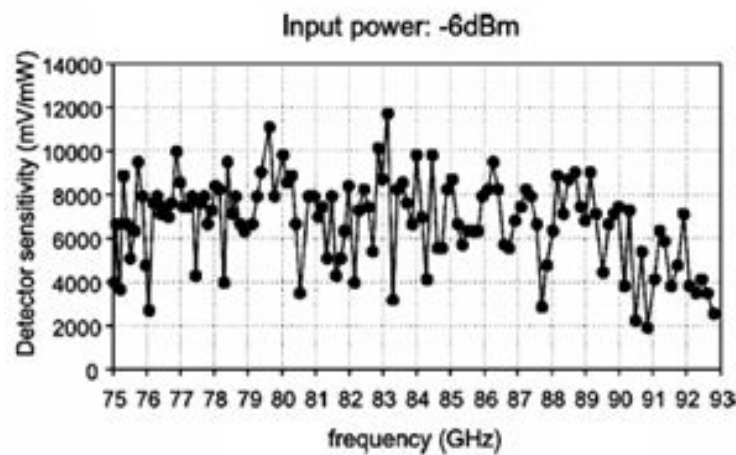
HSCN-9161 GaAs детекторный диод Шоттки с нулевым смещением
 Вольт-ваттная чувствительность 0.5-1 mV/uW

Для снижения вклада шумов детектора в результирующую температуру шума радиометрического приемника требуется обеспечить достаточно высокое усиление входного сигнала (50...55 дБ), что создает ряд проблем, как то: опасность самовозбуждения, сужение полосы при каскадировании усилителей, усложнение настройки, высокая стоимость особенно в коротковолновой части мм диапазона. Поэтому усилия разработчиков были направлены на создание более чувствительного детектора, что должно существенно облегчить требования к высокочастотным МШУ и улучшить параметры радиометра.

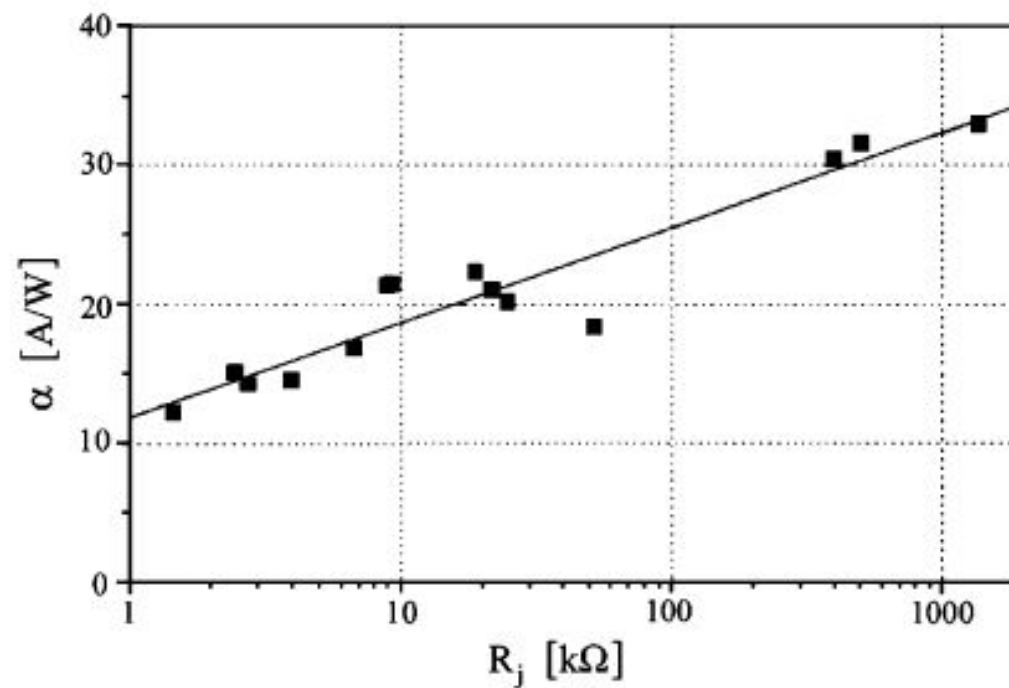
Тунельный диод обращенного типа с Sb слоем в гетероструктуре



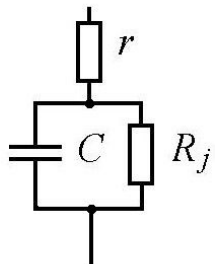
Трансформатор импеданса (слева) и отклик детектора (справа), чувствительность детекторов в полосе(внизу)



- диоды с барьером Шоттки Al/GaAs и δ -легированным слоем кремния вблизи контакта. При правильно подобранной глубине залегания δ -слоя и величине легирования вершина потенциального барьера становится туннельно-прозрачной, что приводит к снижению эффективной высоты барьера Шоттки от 0,7 до 0,1 эВ.
- Дифференциальное сопротивление диода при нулевом смещении составляет $0,4 \div 1000$ кОм. Ширина области обеднения может быть порядка 0,1 мкм, что обеспечивает более низкие значения удельной ёмкости перехода (порядка 1 фФ/мкм²) по сравнению с низкобарьерными диодами на эффекте межзонного туннелирования.
- Низкобарьерные детекторные диоды работают без постоянного смещения, что ведет к снижению уровня шумов ($1/f$ -шума и др.).



Измеренная A/W чувствительность низкобарьерного диода Шоттки от его дифференциального сопротивления



Эквивалентная схема диода.

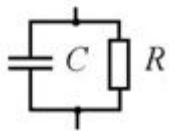
C – емкость барьера.

R_j – дифференциальное сопротивление барьера.

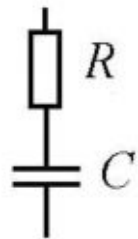
r – сопротивление растекания. C - емкость барьера берется равной 14-15 fF.

$r=36-50$ Ом.

В платы были вставлены диоды с дифференциальным сопротивлением 7-9 кОм и около 20 кОм.

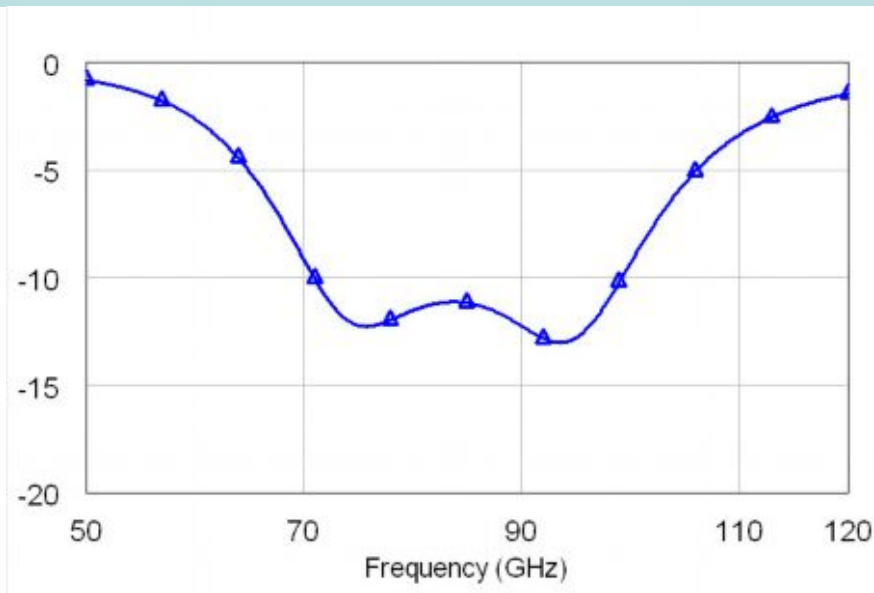


Для согласования в платах эквивалентная схема диода была представлена нагрузкой из сопротивления и емкости, для параллельной эквивалентной нагрузки были взяты значения. $C=11$ fF и $R=450$ Ом..

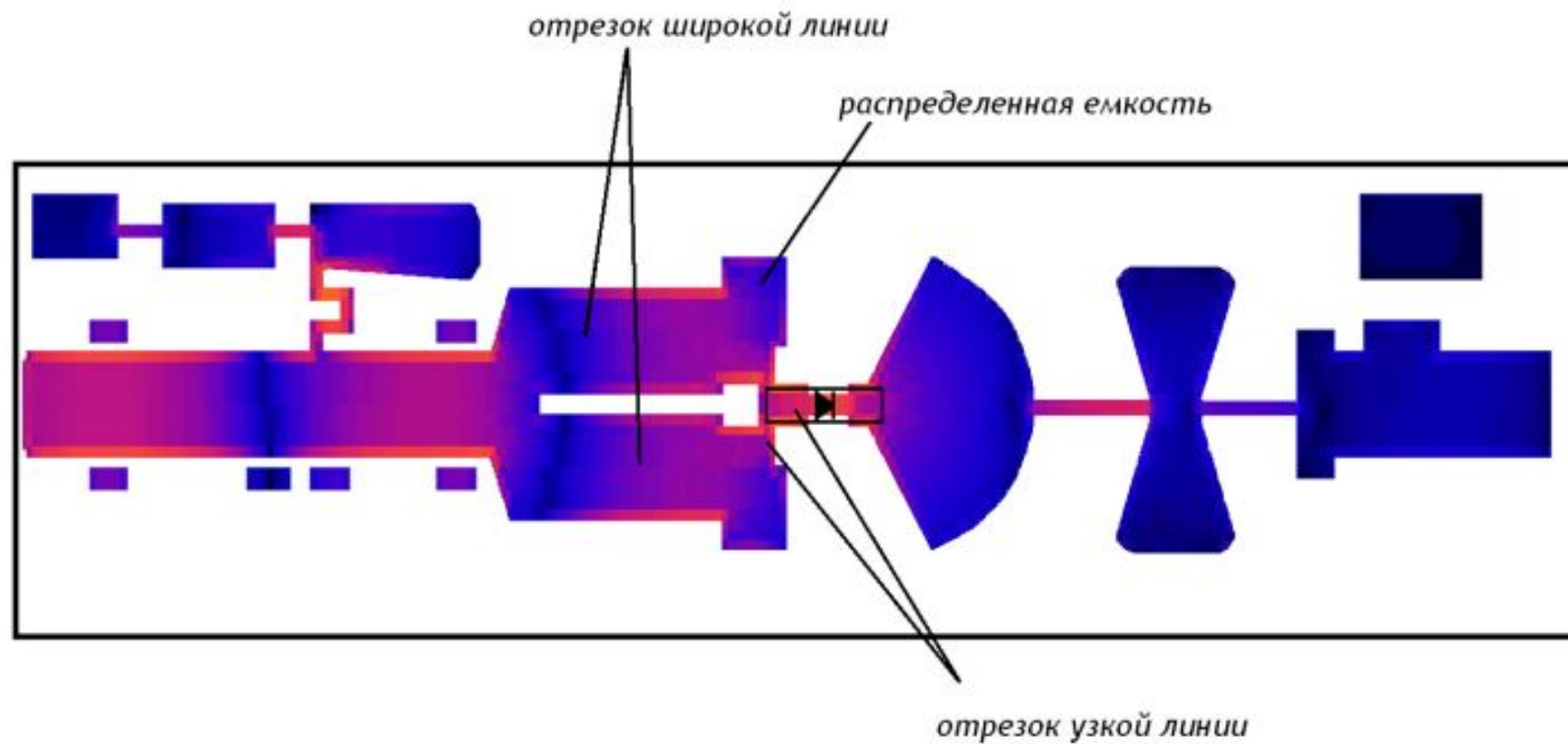


Более правильной нагрузкой для широкой полосы может являться последовательная схема включения сопротивления и емкости. Эквивалентная нагрузка соответствует расчетной параллельной нагрузке $C=14$ fF $R=51$ Ом

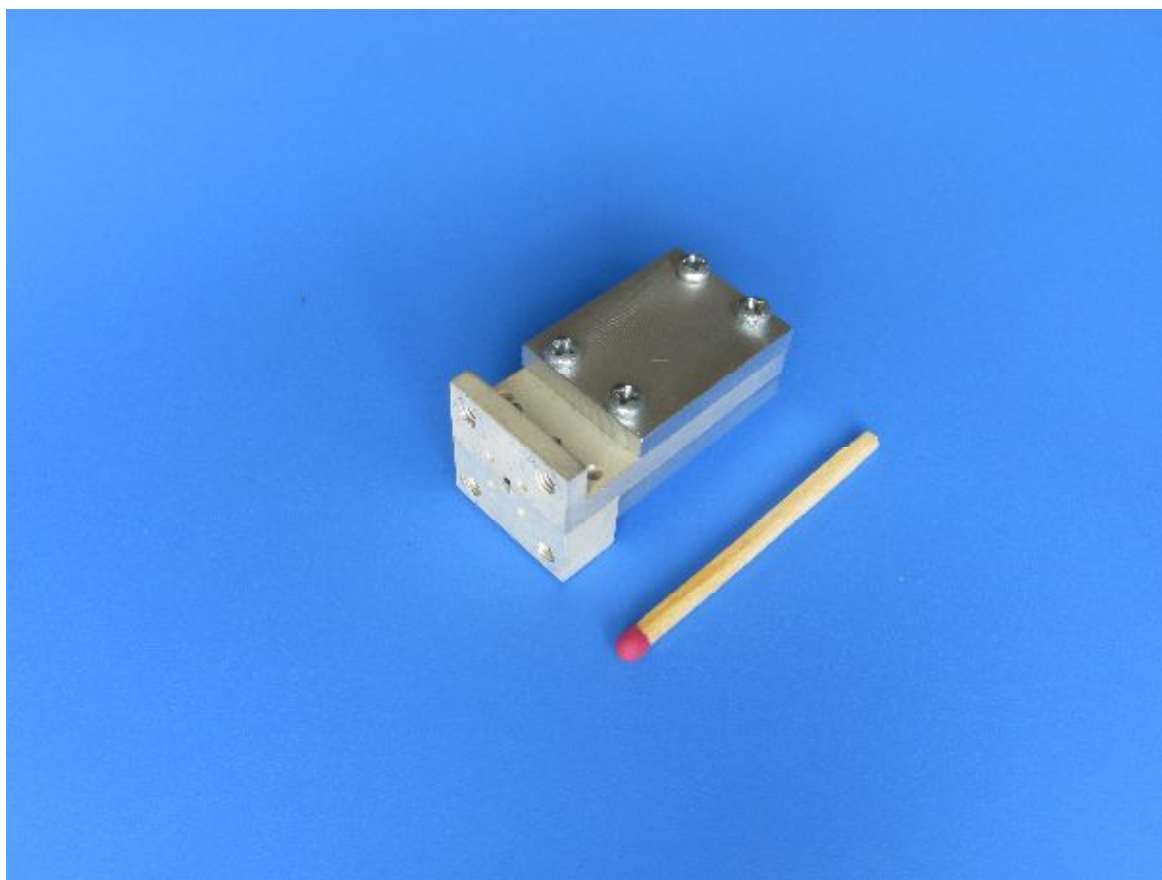
- В качестве импедансно трансформирующего устройства (ИТУ) использовалась двухзвенная линия разной электрической длины и различного волнового сопротивления. Идеальная цепь в нашем случае состояла из широкой и узкой МПЛ.
- Трудность реализации вызвана шириной узкой линии в несколько микрон
-
- Для ее уширения и возможности вставить диод шириной 100 мкм между линиями был вставлена распределенная емкость.



Расчетный коэффициент возвратных потерь (S11) ИТУ в дБ

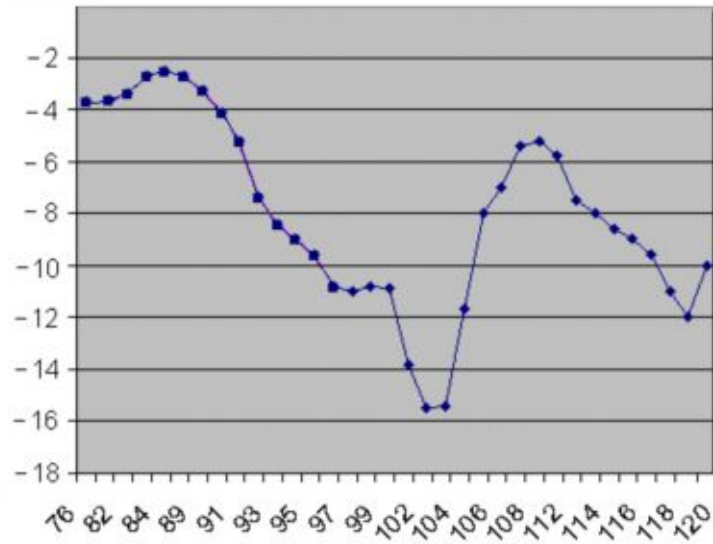


Топология согласующей цепи (ИТУ)

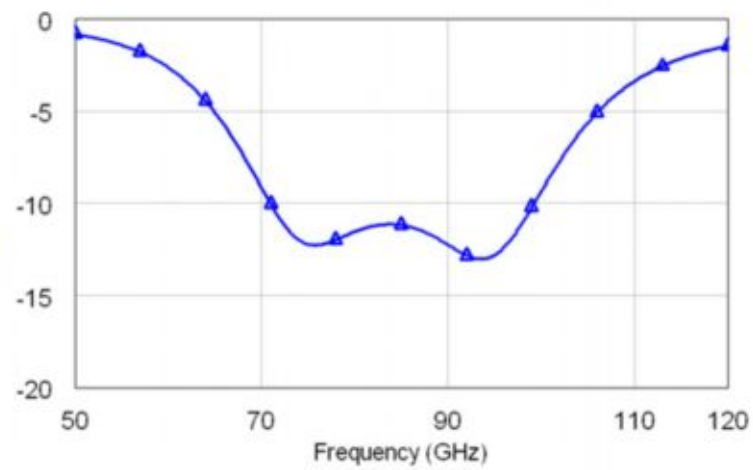


Внешний вид детекторной секции

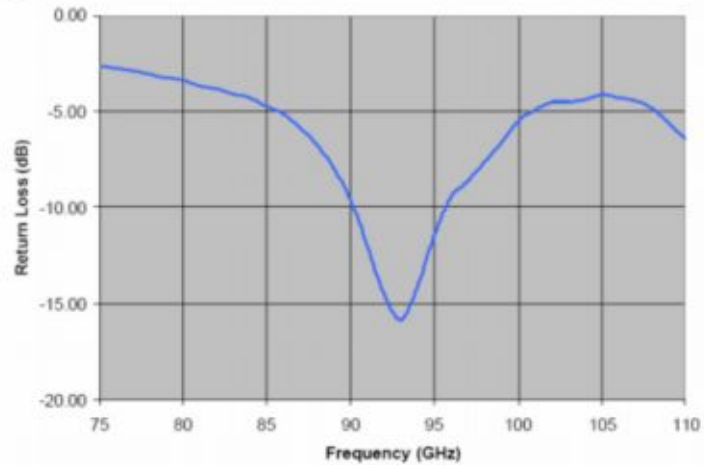
S11 meas



S11 sim



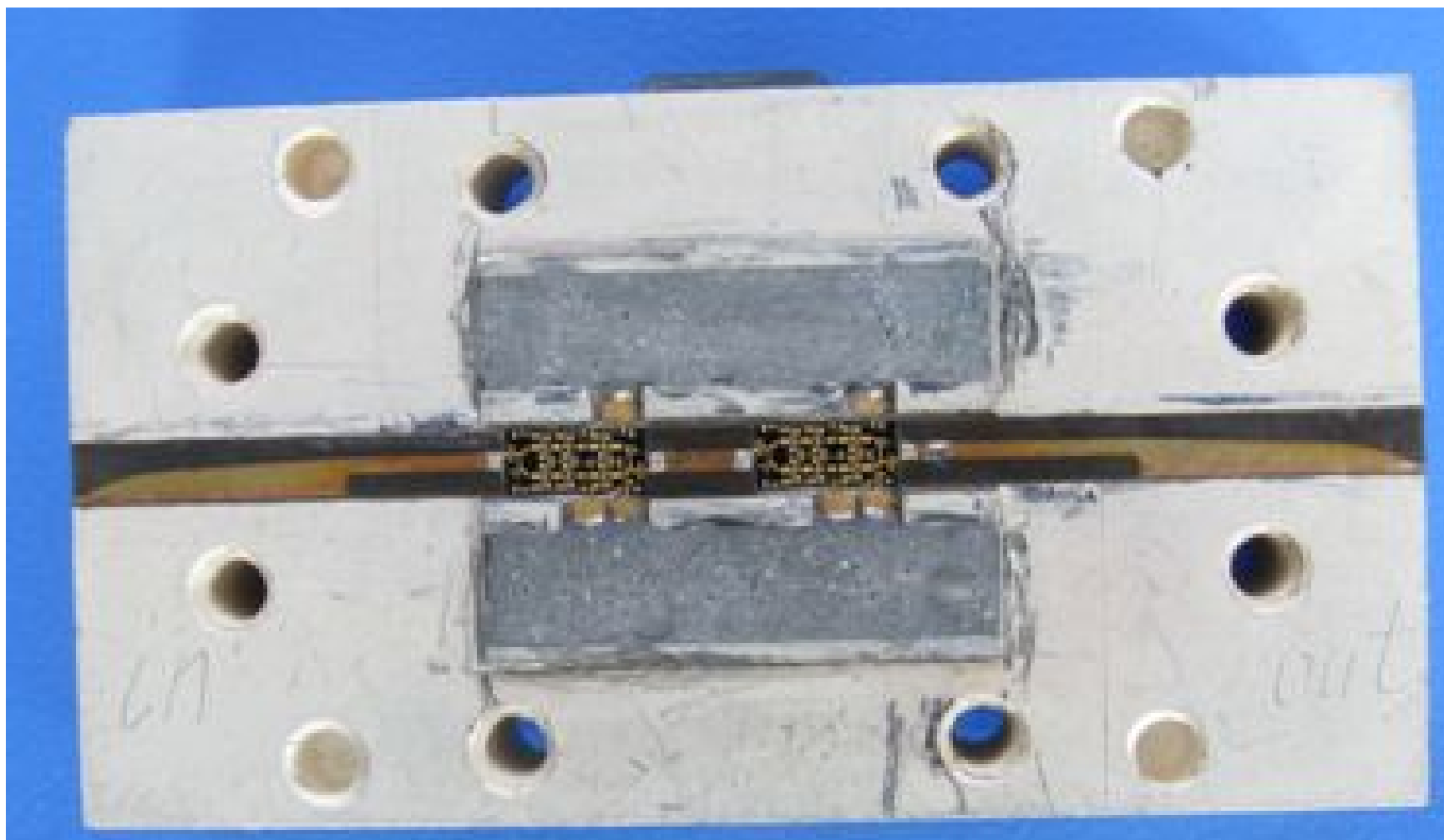
Typical Return Loss Performance

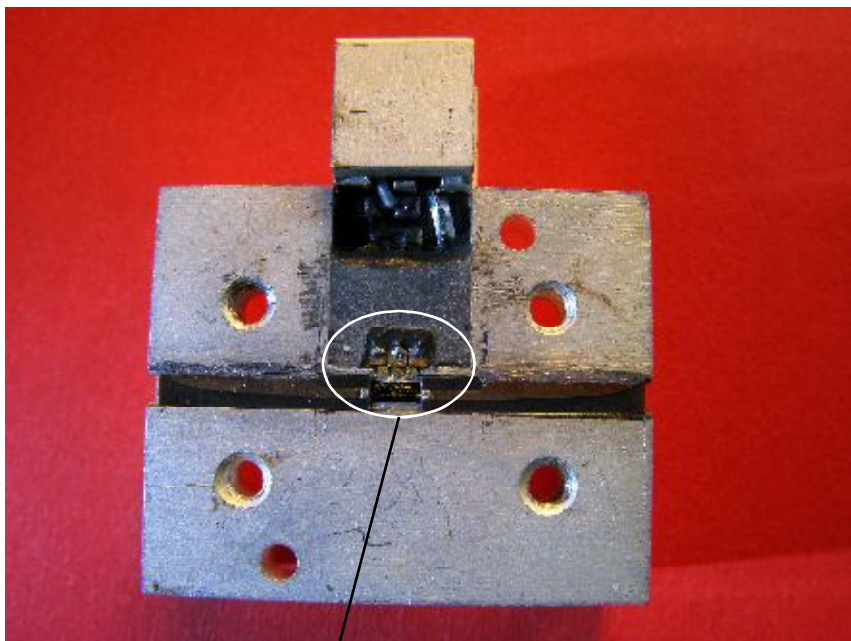


Измеренный и расчетный S11 детекторной секции в сравнении с HRL детекторным чипом

МШУ на GaAs чипах

$f = 86 - 92$ ГГц $G = 27$ дБ $NF = 5,5$ дБ



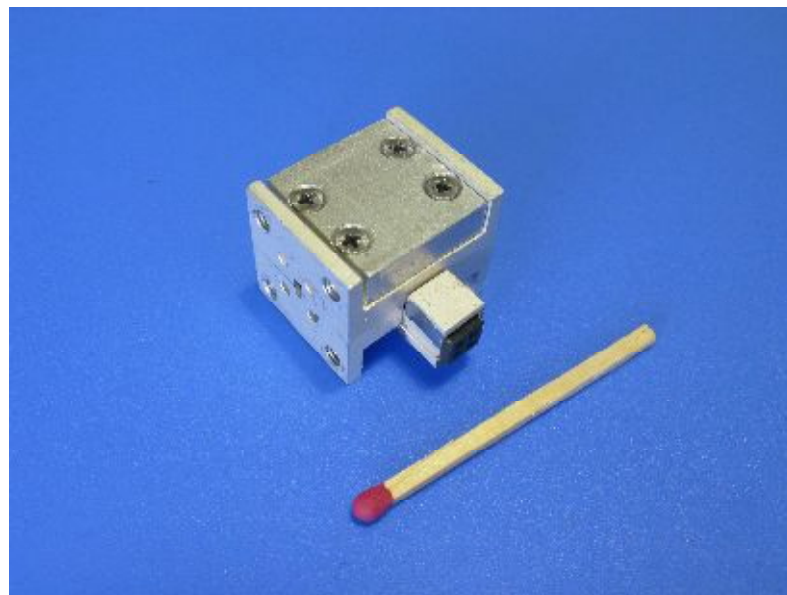
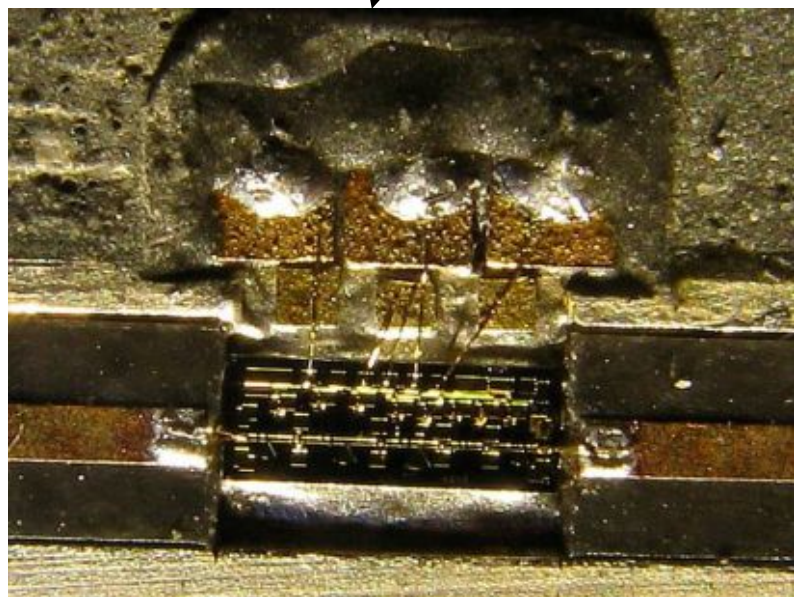


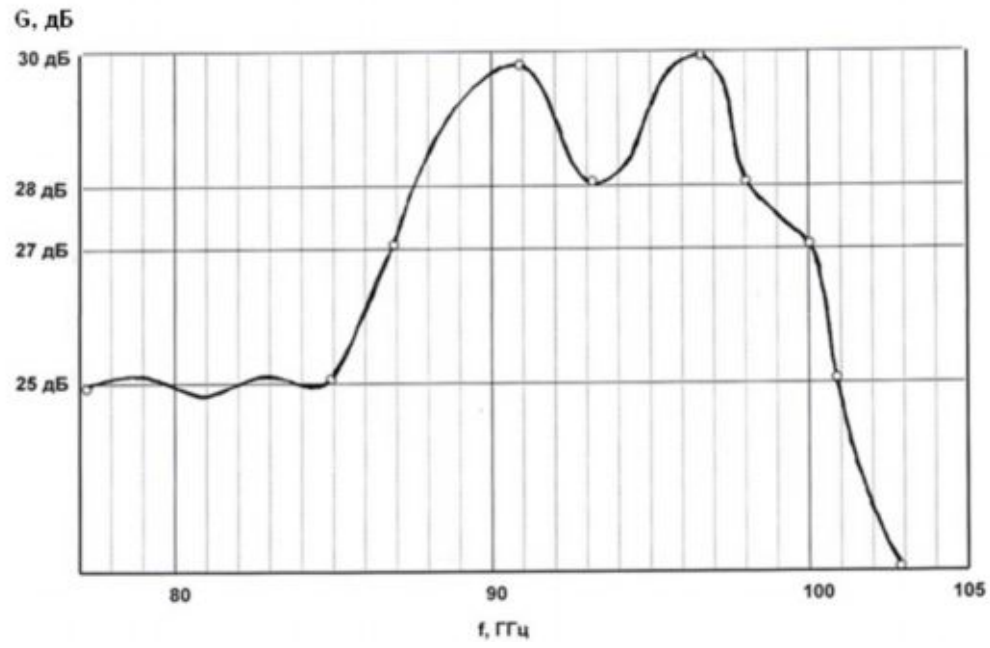
МШУ на InP чипе (HRL)

$f = 77 \dots 101$ ГГц

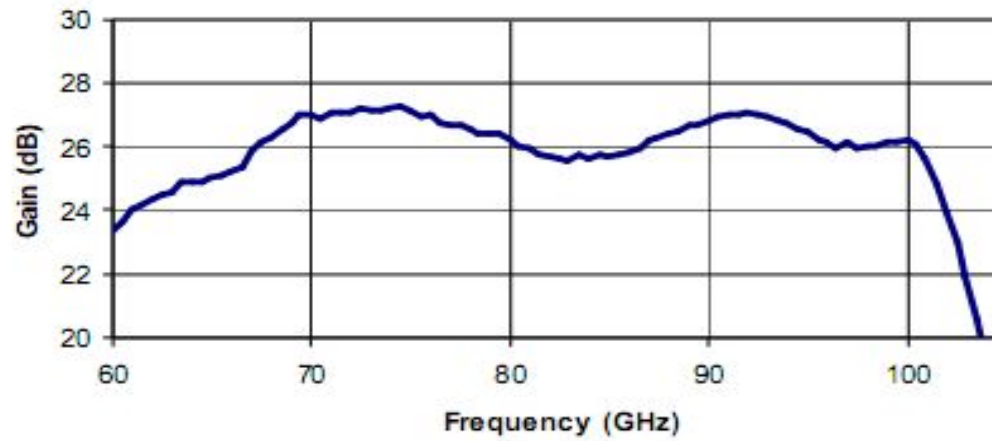
$G = 25 \div 30$ дБ

$T = 350$ К

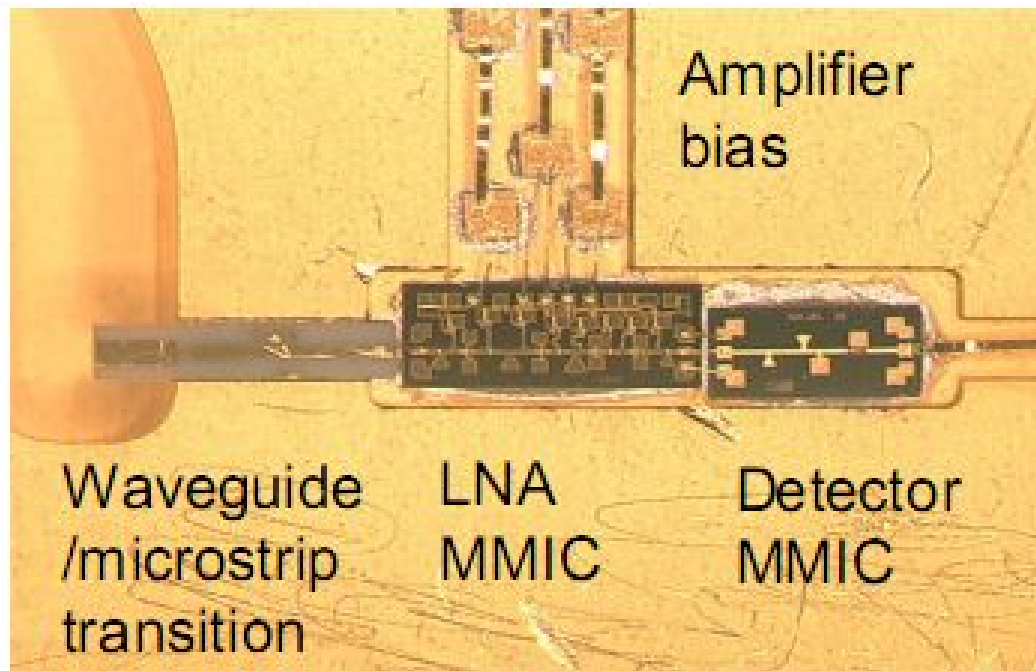




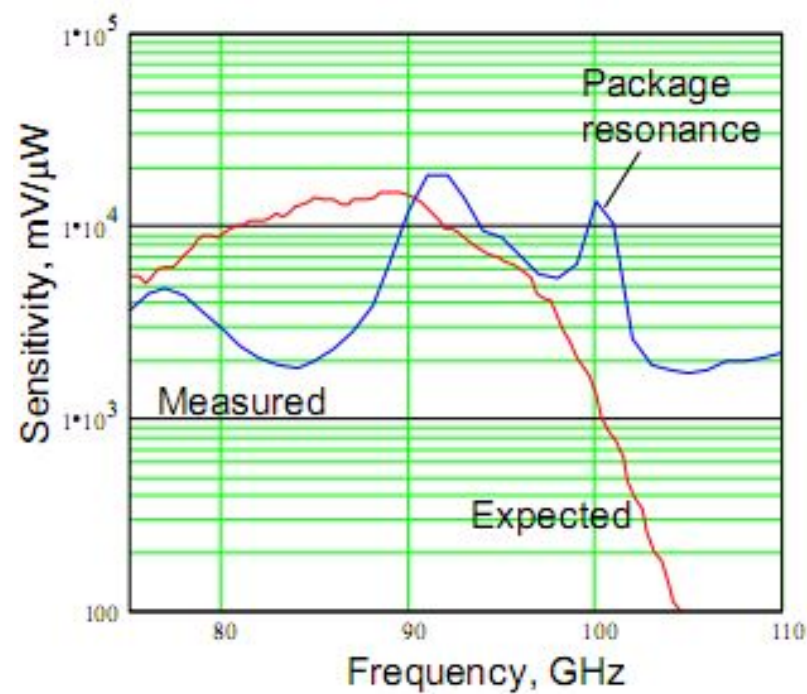
Typical Gain Performance



АЧХ МШУ и InP чипа

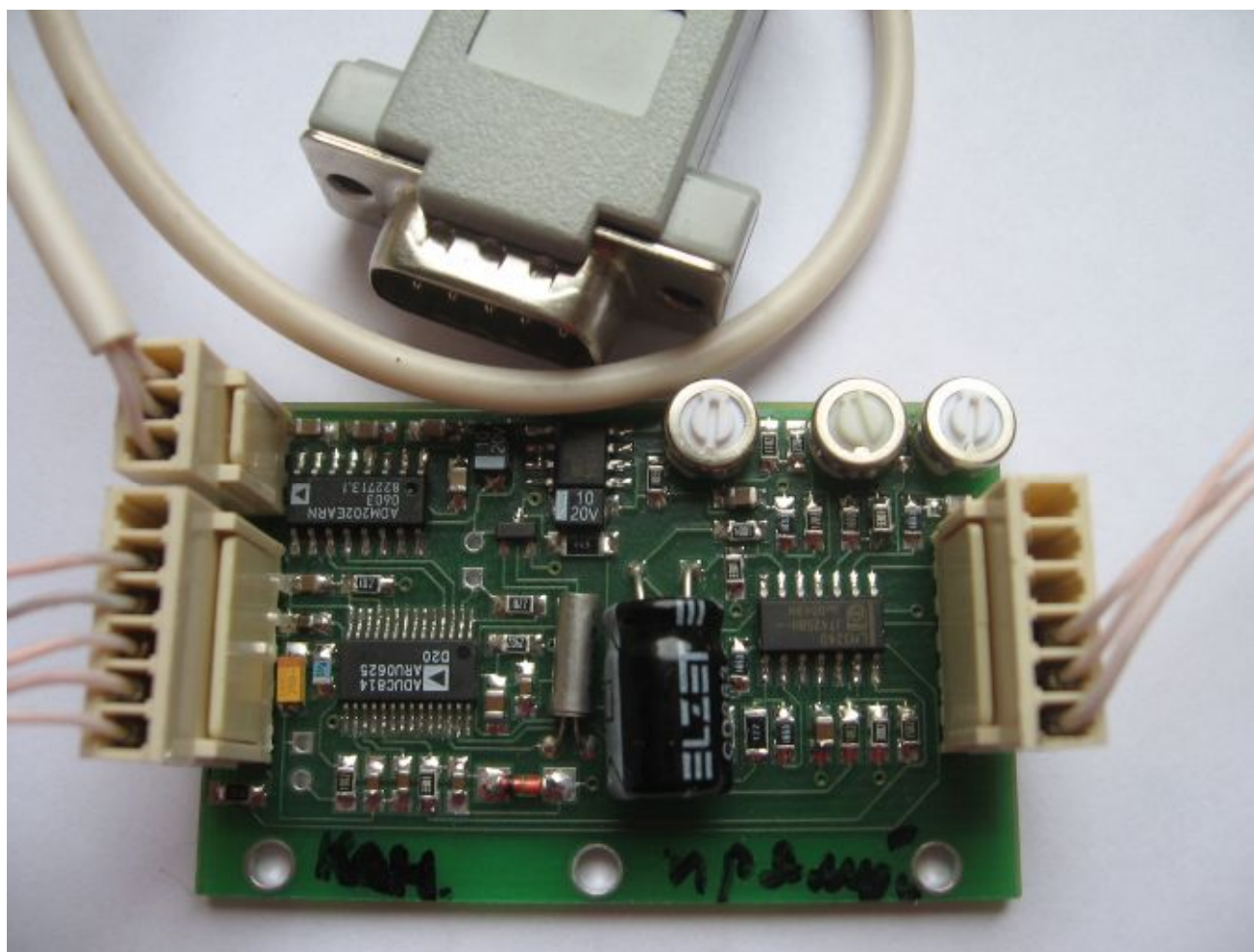


Радиометрический модуль HRL





Высокоточный блок питания и регулятор температуры на микроконтроллерах для 3 мм радиометра



Цифровое выходное устройство радиометра для работы в модуляционном и компенсационном режимах

- Заключение
- В 3 мм диапазоне длин волн на базе низкобарьерного диода Шоттки разработан высокочувствительный детектор с широкополосной микрополосковой схемой согласования со входным высокочастотным трактом
- Разработан однокаскадный МШУ, использующий усилительную микросхему на InP и обеспечивающий усиление 29 ± 1 дБ в диапазоне 87...100 ГГц с шумовой температурой 350 К
- Показана возможность реализации радиометрического модуля на базе разработанных МШУ и детектора. Применение высокочувствительного детектора позволяет требуемый КУ высокочастотной цепи радиометра на 15 – 20 дБ в сравнении с использованием детектора на диоде HSCN9161
- Ожидаемая флуктуационная чувствительность радиометра не хуже $5 \text{ мК с}^{1/2}$