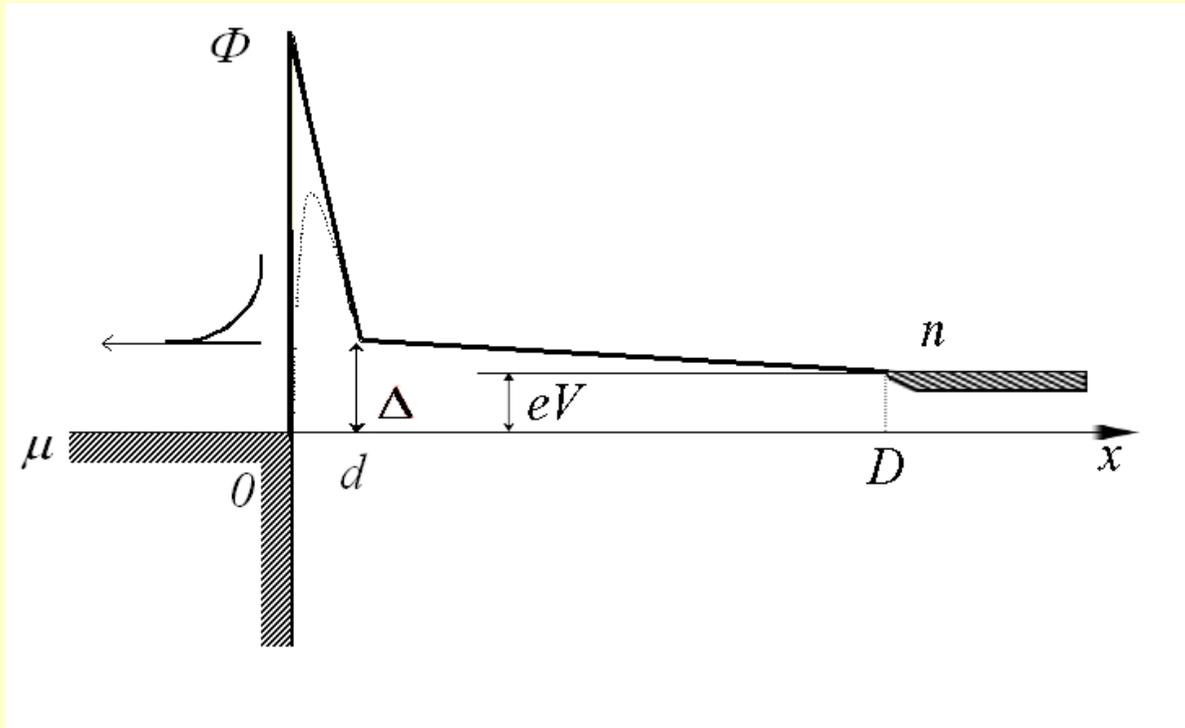


Исследования диодов с пониженной  
высотой барьера Al/GaAs в  
трехмиллиметровом диапазоне частот

*Авторы*

*В. Р. Закамов, В. И. Шашкин*

# Снижение эффективной высоты барьера



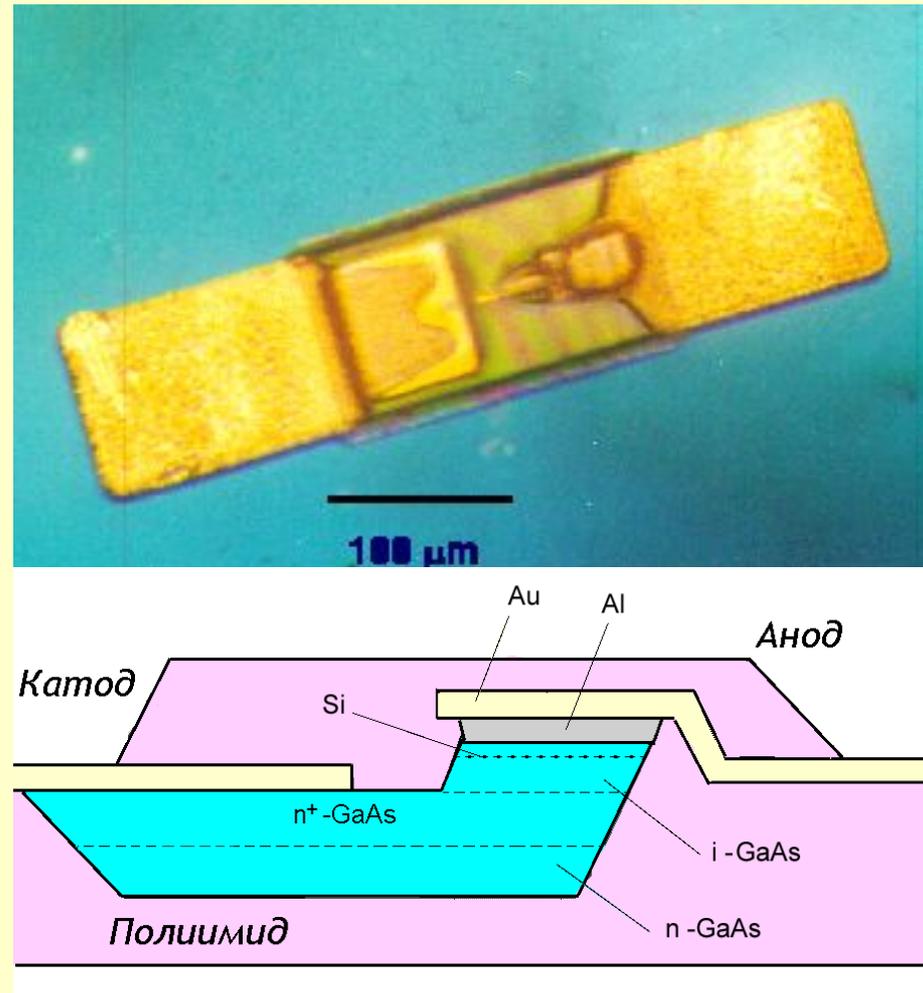
Эффективная высота барьера  $\Delta \approx 0,1 \dots 0,22$  эВ

$$j(V) = A^* T^2 \cdot \frac{\exp(-b_\Delta)}{1 - kT \cdot c_\Delta} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta(V)}{kT}\right) \cdot \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right]$$

## Гетероструктура и конструкция диода

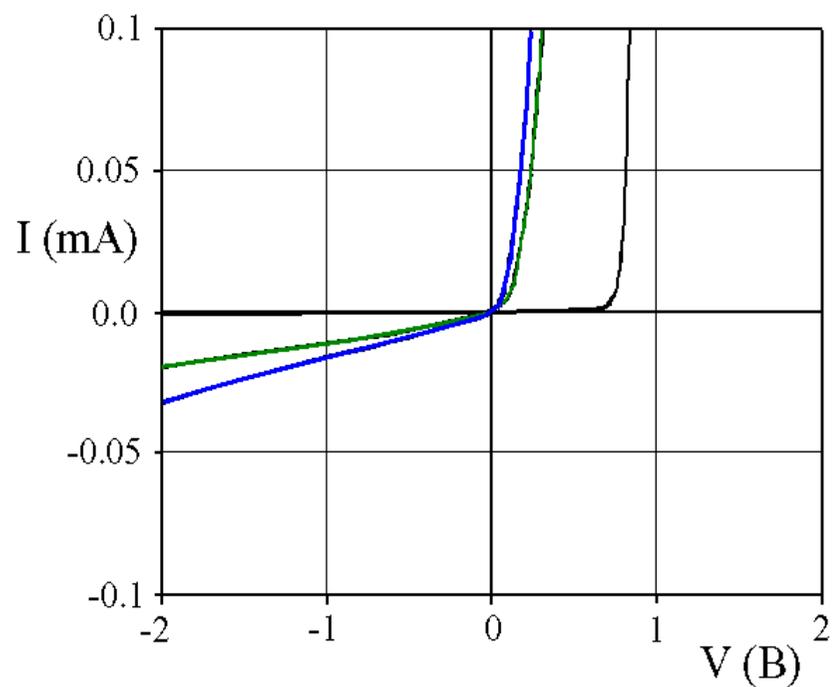
|   |
|---|
| Al  |
| InGaAs, 2÷8 нм                                      |
| $\delta$ – слой N(Si) $\geq 10^{13} \text{см}^{-2}$ |
| i – GaAs, 60÷150 нм                                 |
| буфер $n^+$ - GaAs                                  |
| подложка $n^+$ -GaAs                                |

*Все слои  
выращиваются в  
едином процессе  
МОГФЭ*

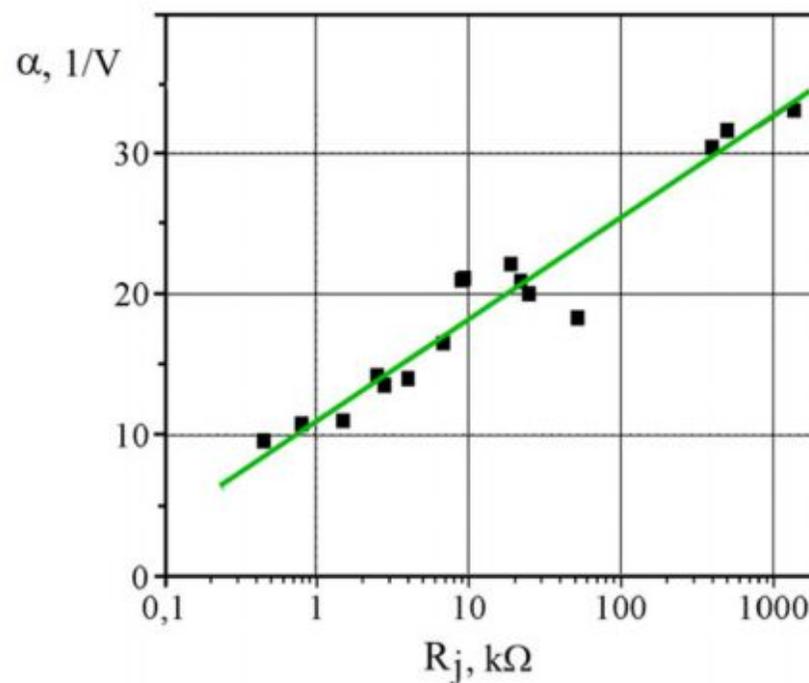


Площадь анода около 8 мкм<sup>2</sup>

## Статические характеристики диодов с пониженной высотой барьера

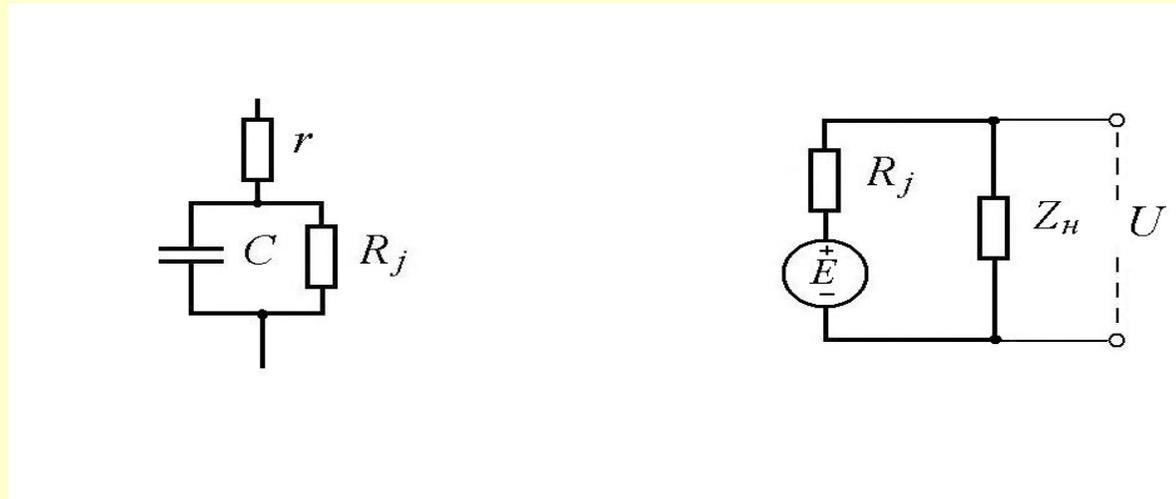


Вольт-амперные  
характеристики



Зависимость коэффициента  
нелинейности диода  $\alpha$  от  
дифференциального сопротивления  
диода ( $R_j$ )

## Эквивалентная схема детекторного диода



$C = 12-15$  фФ - емкость барьера,

$R_j = 0.4 - 100$  кОм - дифференциальное сопротивление,

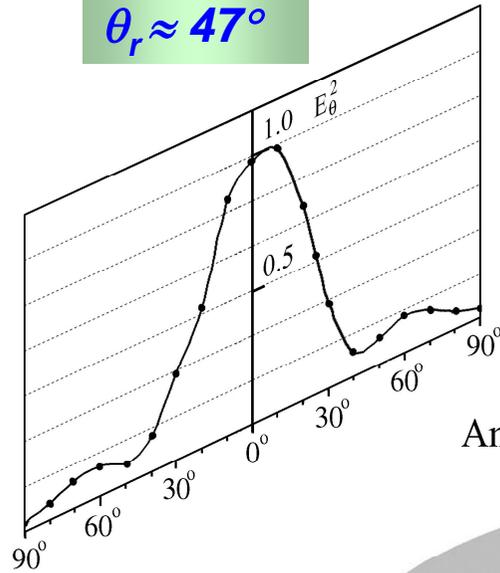
$r = 20-50$  Ом - сопротивление растекания.

### Проводимость на высокой частоте

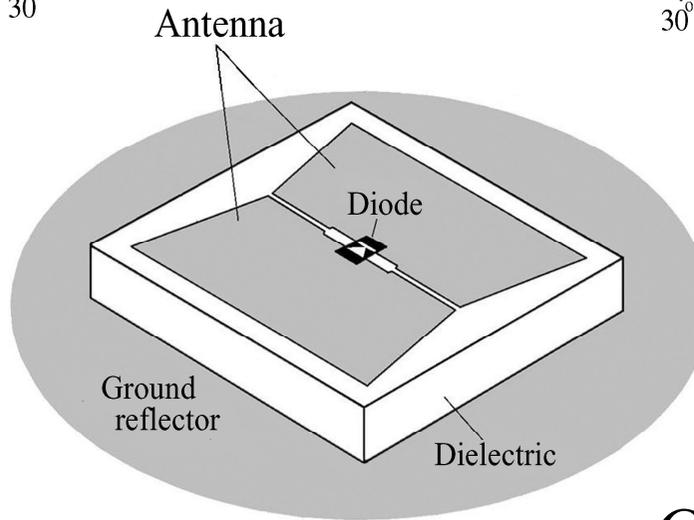
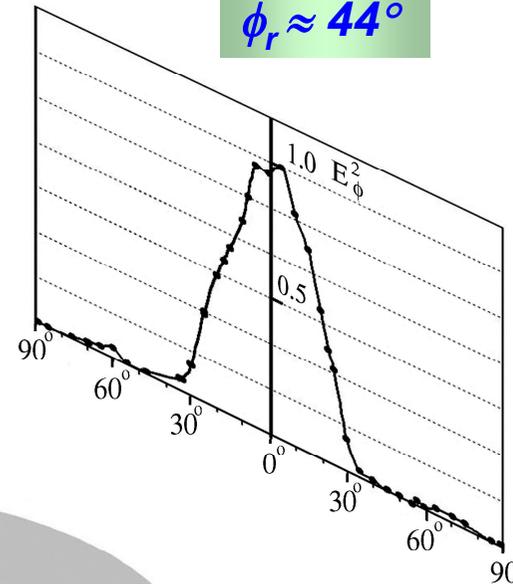
$$Y \approx \frac{1}{R_j} + r \cdot (\omega C)^2 + i \cdot \omega C$$

# Планарный детектор на 94 ГГц

$\theta_r \approx 47^\circ$



$\phi_r \approx 44^\circ$



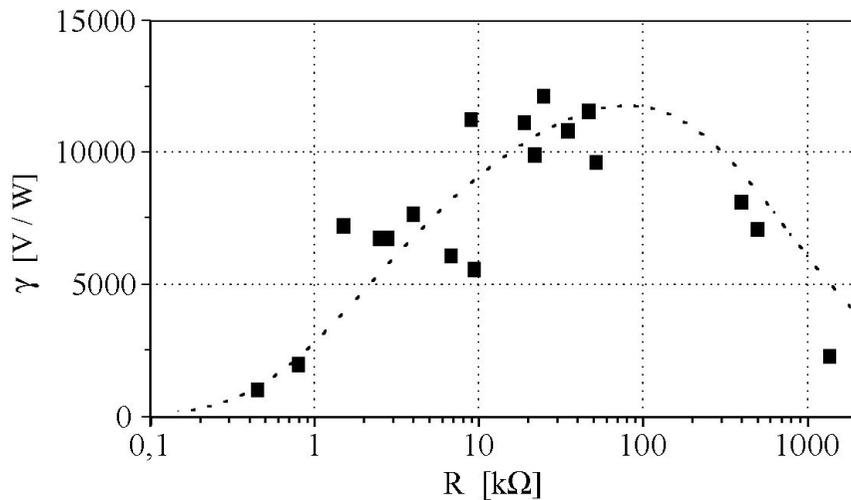
$f = 94 \text{ GHz}$

$\Delta f_{3db} = 8 \text{ GHz}$

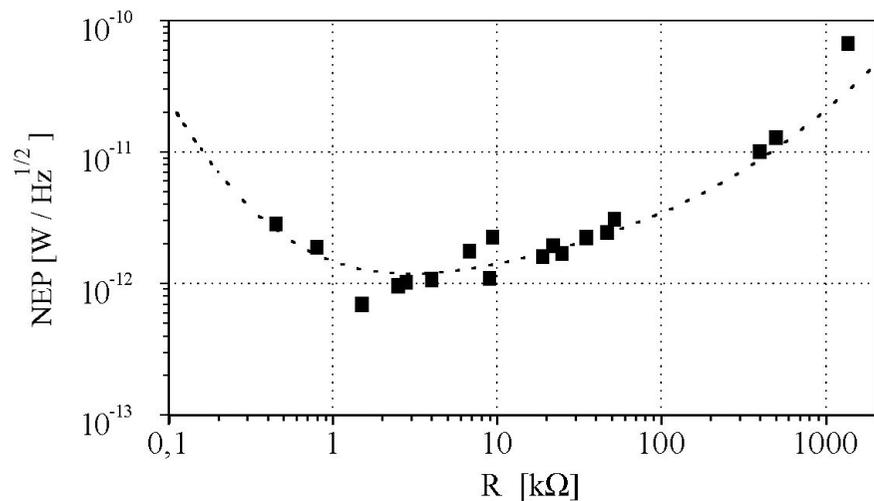
$R_a \approx 800 \Omega$

$$G_r \approx \frac{30000}{\theta_r \cdot \phi_r} \approx 14.5$$

# Чувствительные характеристики планарных детекторов



(a)

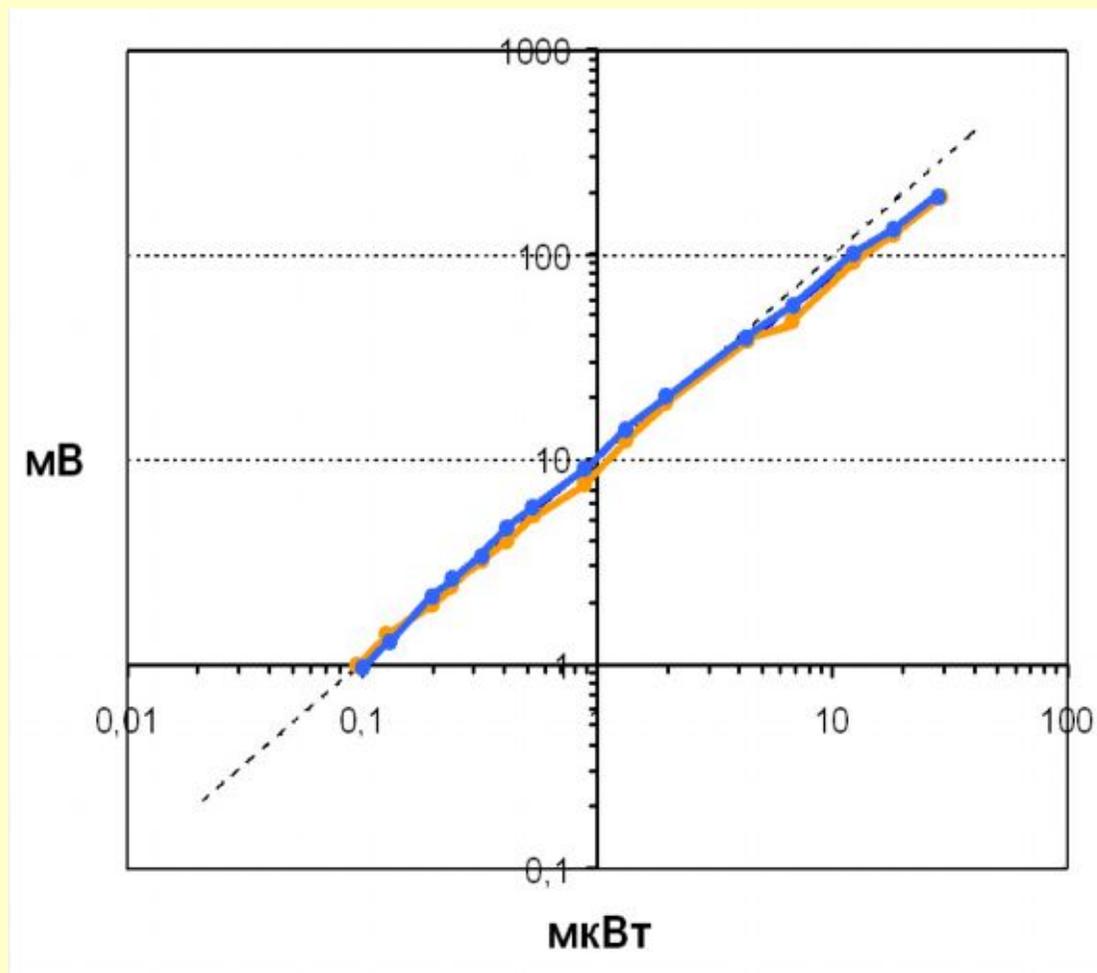


(b)

а) - экспериментальные зависимости вольт-ваттной чувствительности детекторов от дифференциального сопротивления низкобарьерных диодов Шоттки.

б) - расчетные значения NEP

## Динамический диапазон работы детекторов



Дифференциальное  
сопротивление  
диодов

$$R_j = 15-20 \text{ кОм}$$

Зависимость напряжения на детекторах  
от принимаемой мощности

## Линейка планарных детекторов (8x1)



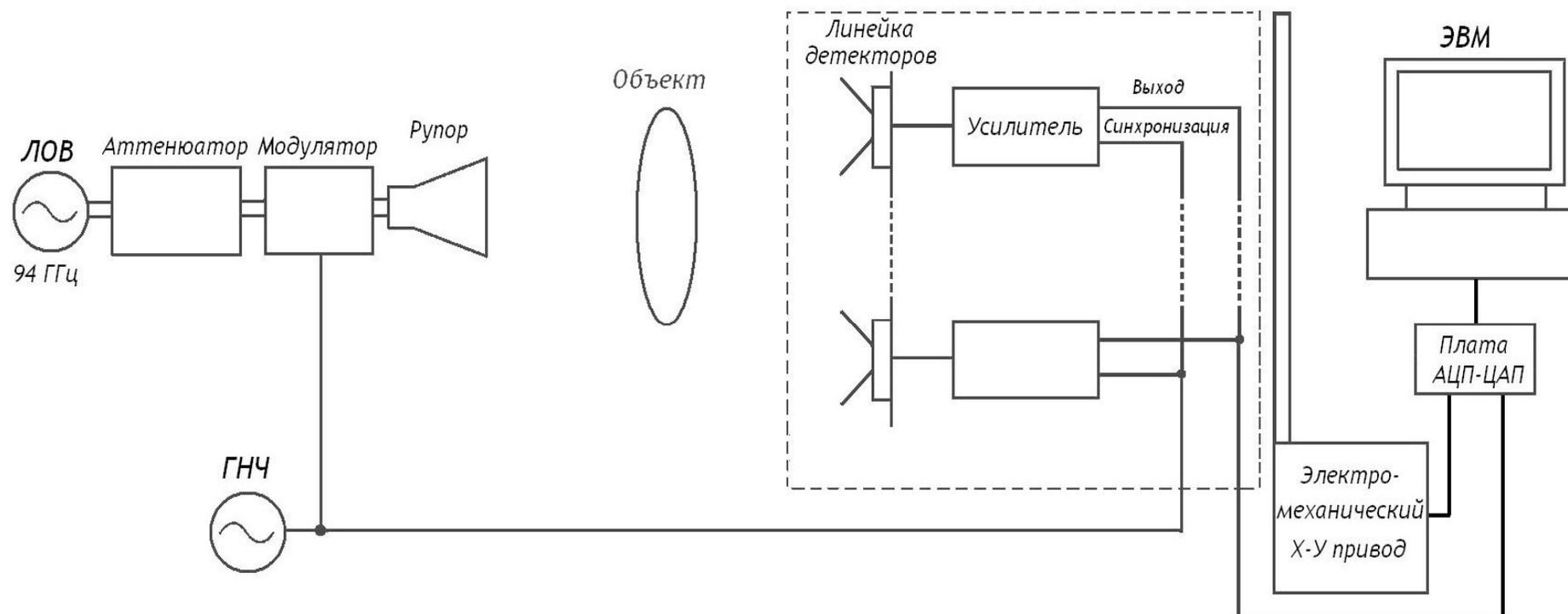
Период – 4,5 мм.

Диаграммы направленности антенн имеют один основной лепесток.

8-канальная гибридная схема усиления и фильтрации – под экраном.

ПК с АЦП – сбор, обработка и отображение информации.

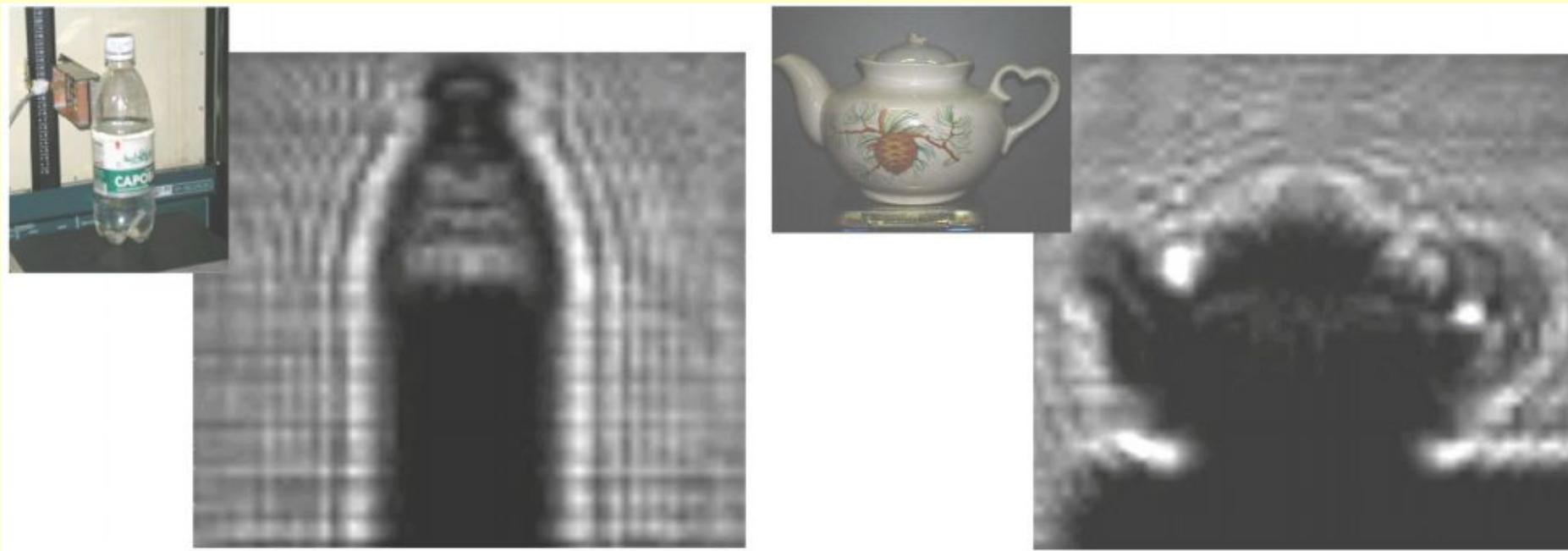
# Блок-схема проведения эксперимента



## Задачи

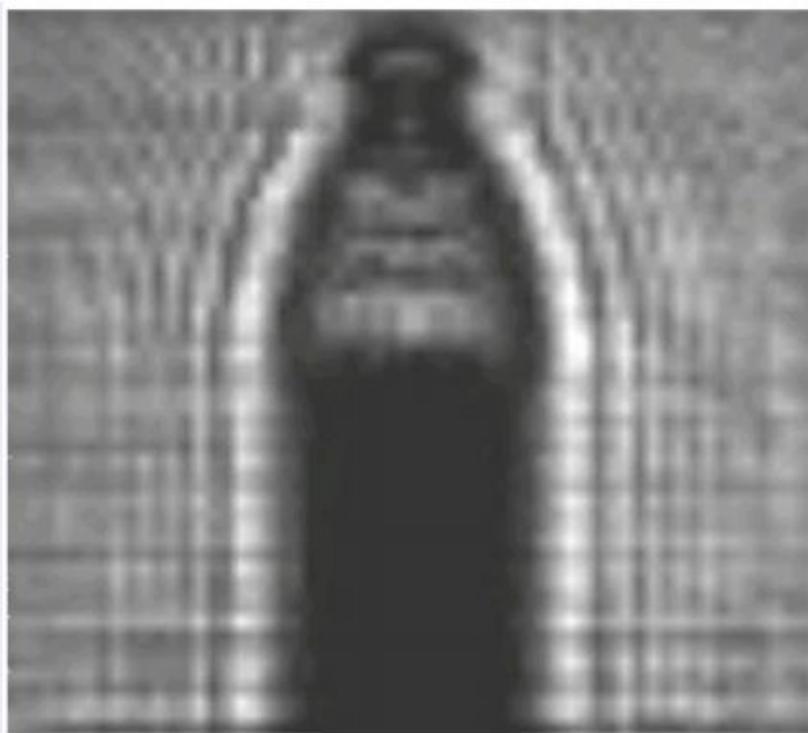
- Получить изображения предметов.
- Зарегистрировать поля дифракции и интерференции.

# Изображение различных предметов на просвет

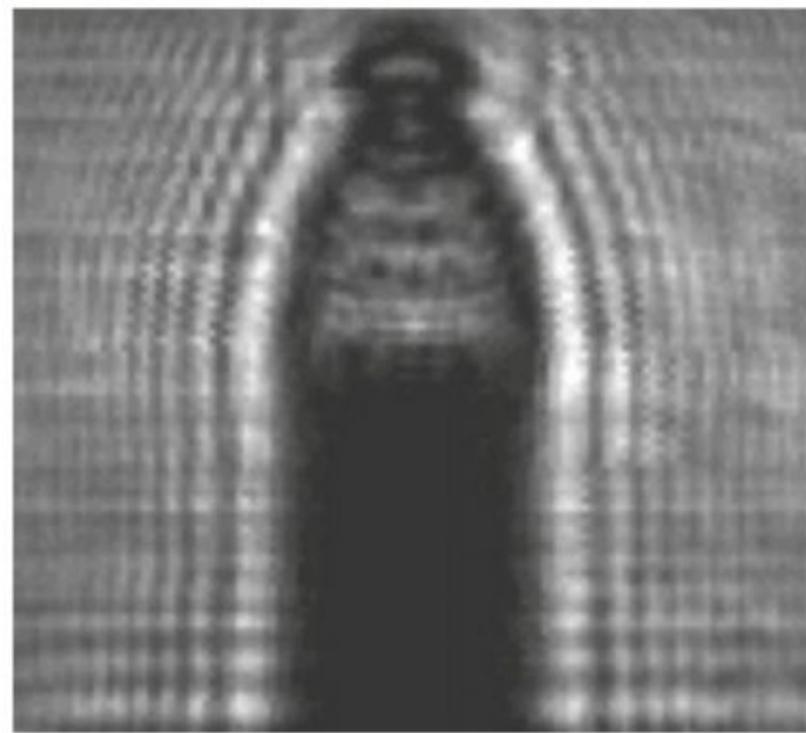


Шаг -  $3\lambda/2$  (4,5 мм),  
3 360 точек

## Сканирование плоскости с шагом $3\lambda/2$ и $3\lambda/4$



Шаг -  $3\lambda/2$  (4,5 мм),  
3 360 точек



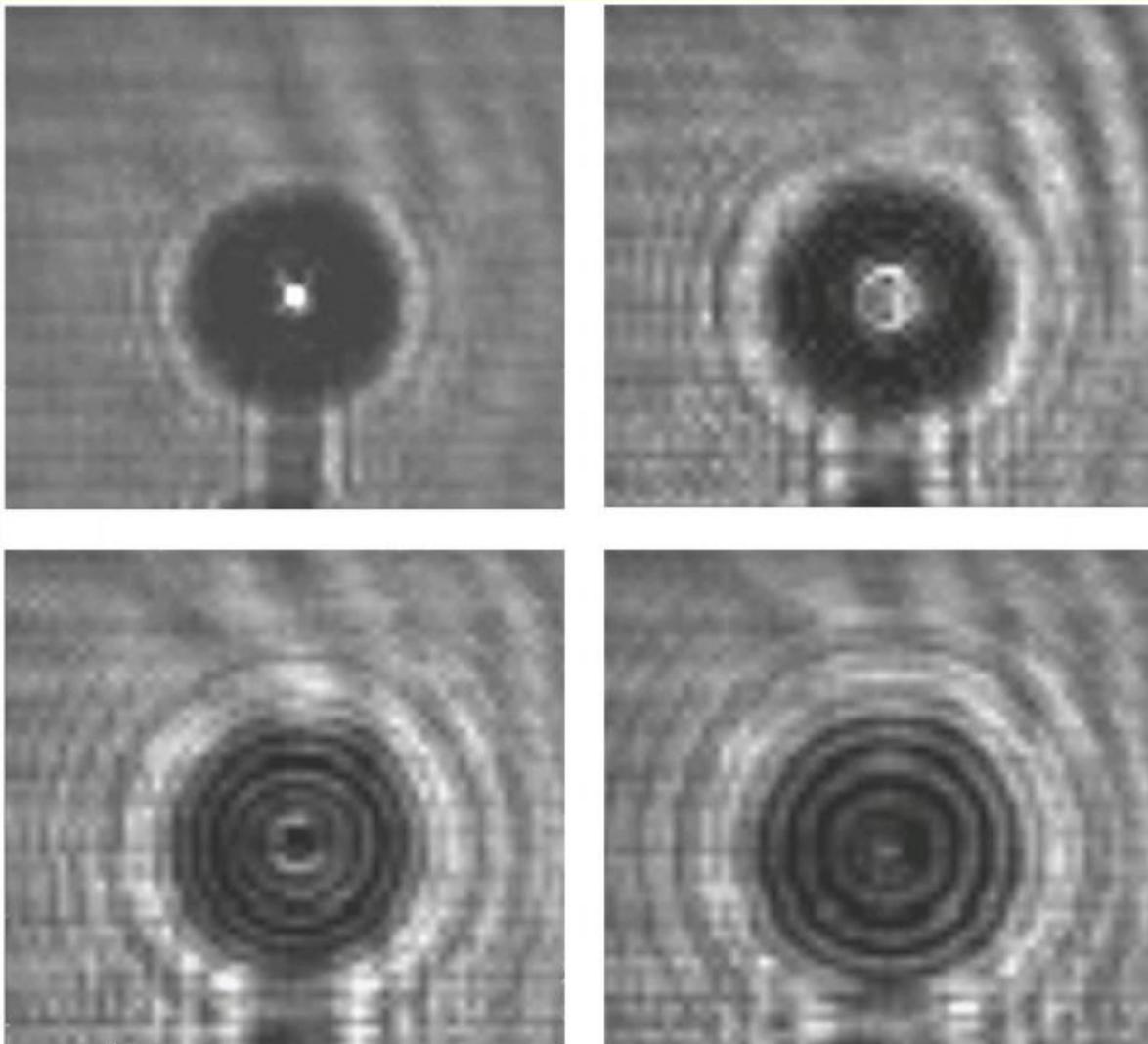
Шаг -  $3\lambda/4$  (2,25 мм),  
13 440 точек

# Линза для определения параметров матрицы

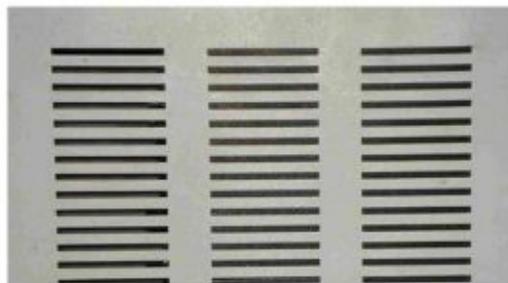


Стеклянная линза в  
металлическом  
держателе

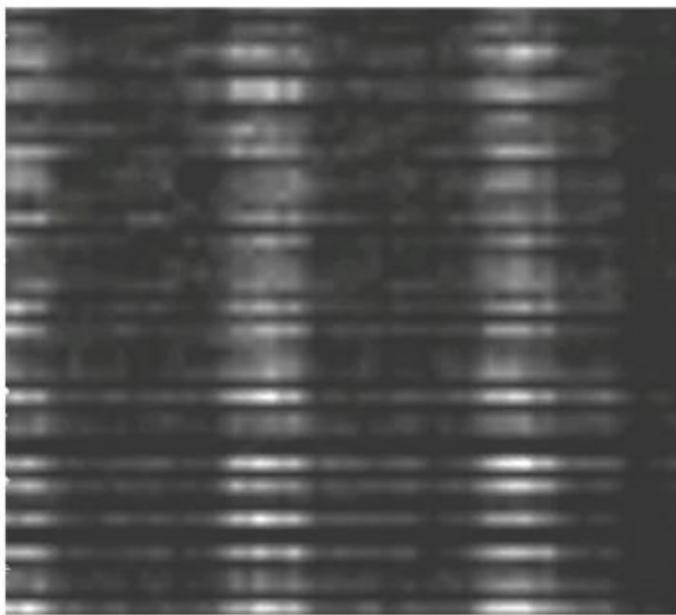
Шаг -  $3\lambda/2$  (4,5 мм),  
3360 точек



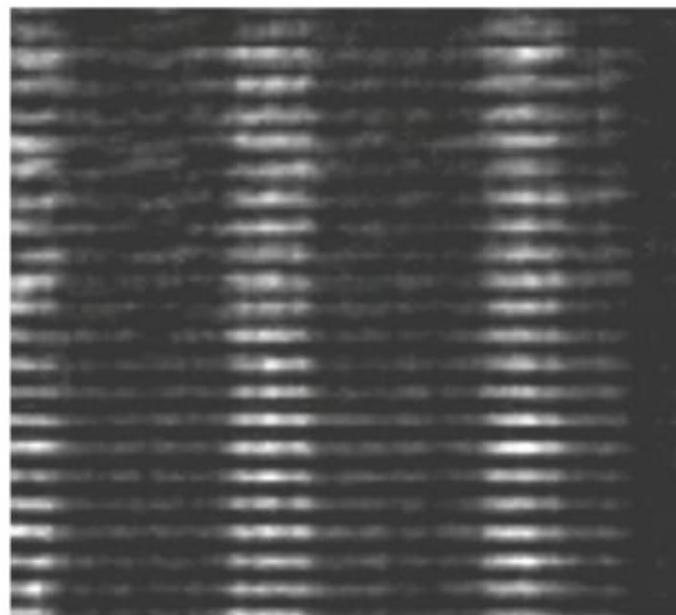
# Интерференция щелей



Щели в металлическом экране:  
ширина щели – 3 мм,  
длина щели – 50 мм,  
расстояние между щелями – 4 мм

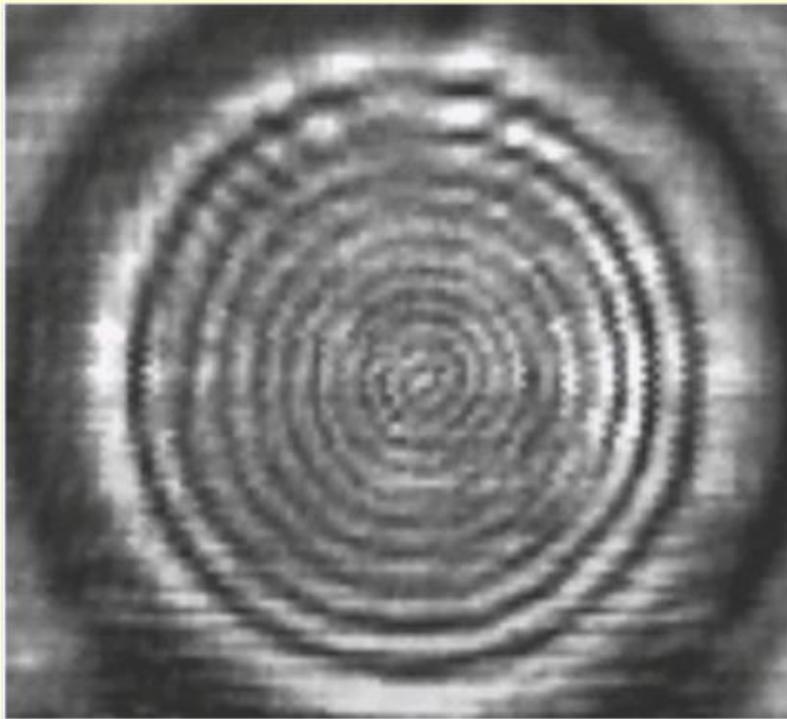


Шаг -  $3\lambda/2$  (4,5 мм),  
3 360 точек

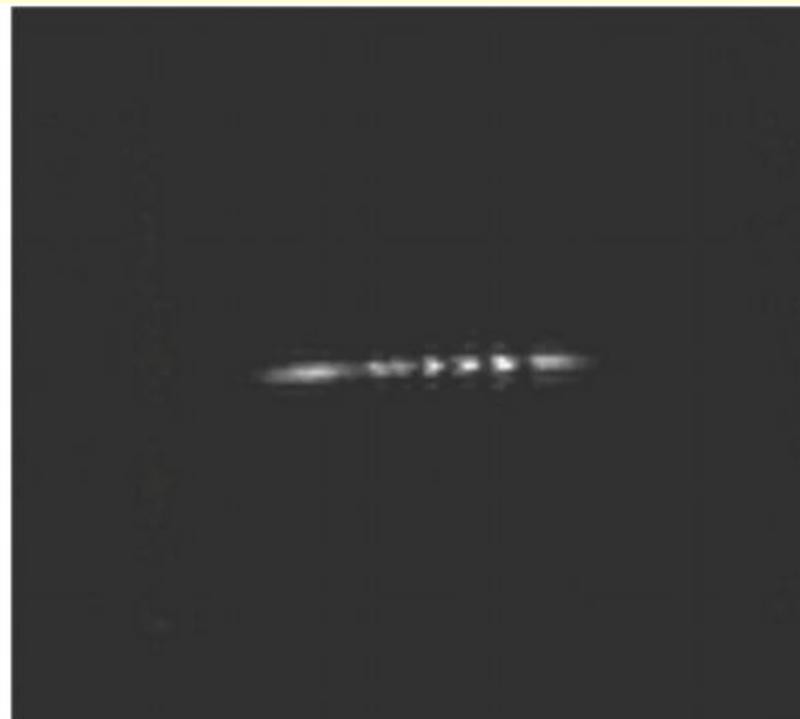


Шаг -  $3\lambda/4$  (2,25 мм),  
13 440 точек

## Цилиндр фторопласта – заготовка для линзы

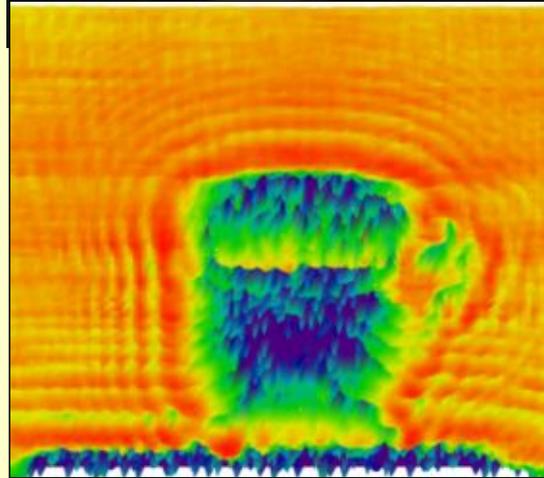


Шаг -  $3\lambda/4$  (2.25 мм),  
13 440 точек,

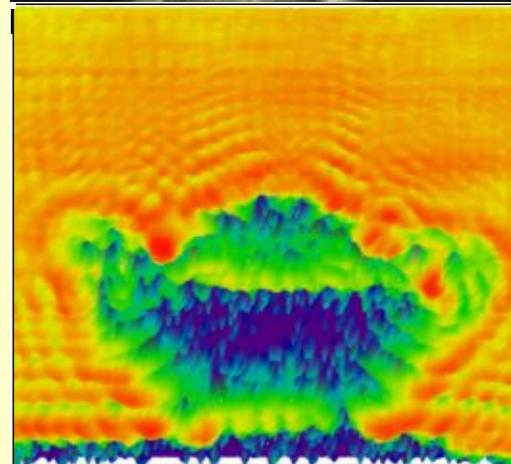


Для бокового положения цилиндра  
интенсивность излучения ослаблена  
~ 20 дБ

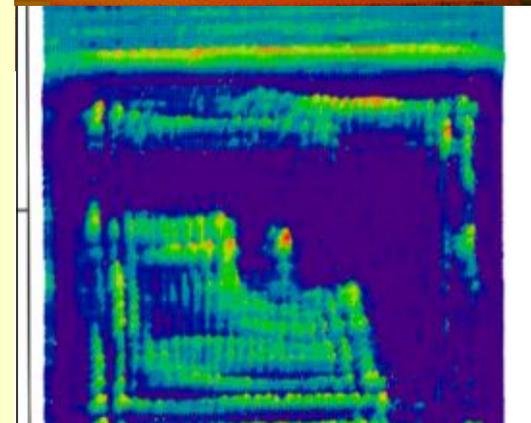
# Натюрморт: кружка, чайник и не конфеты ...



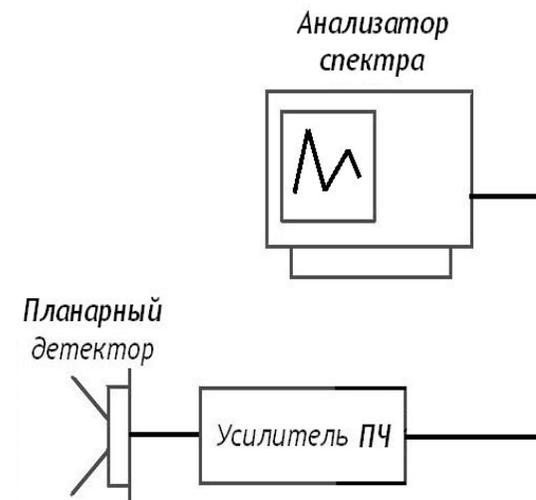
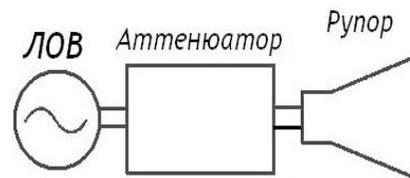
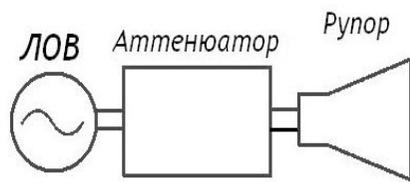
Mat



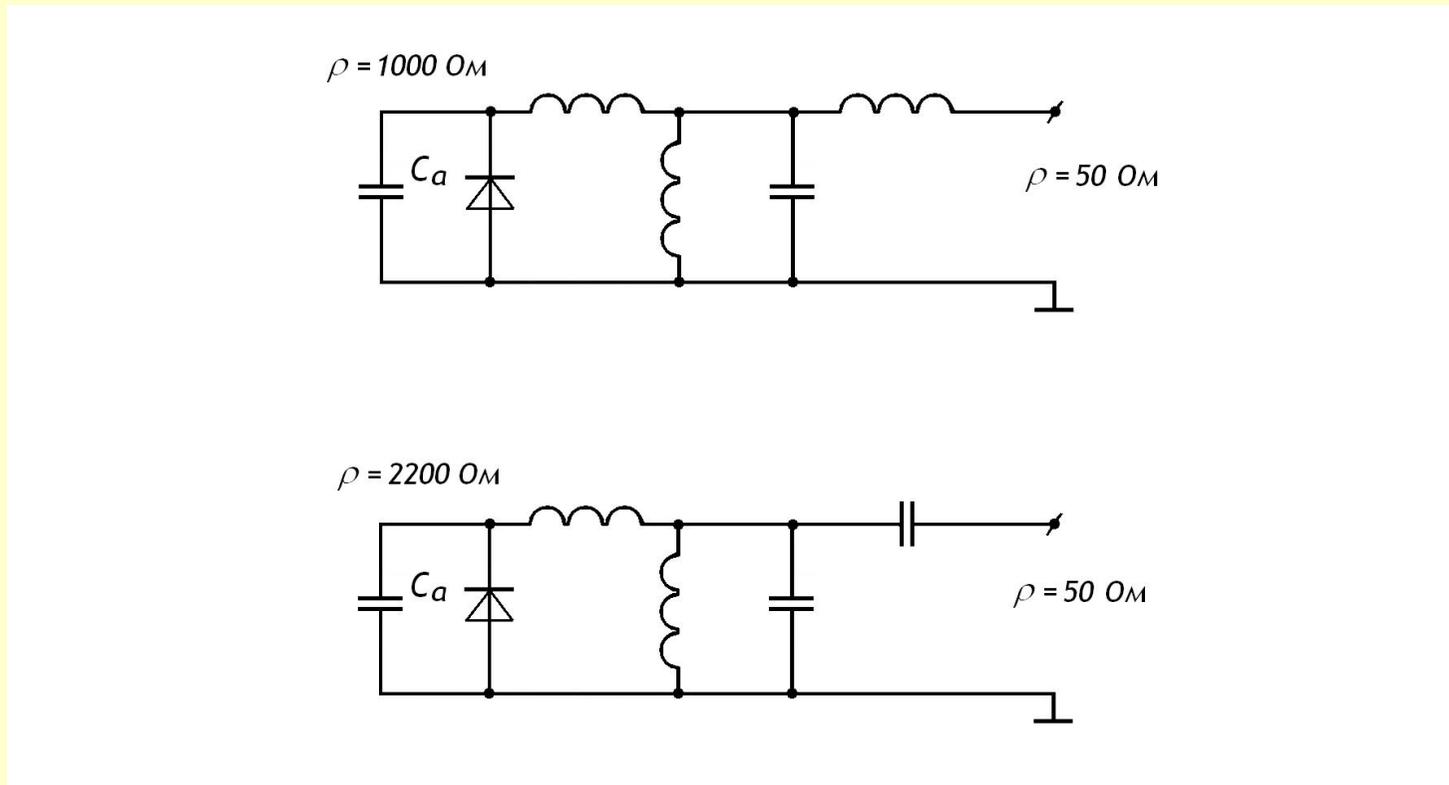
Mat



# Блок-схема проведения эксперимента по исследованию преобразовательных свойств диодов Al/GaAs с пониженной высотой барьера

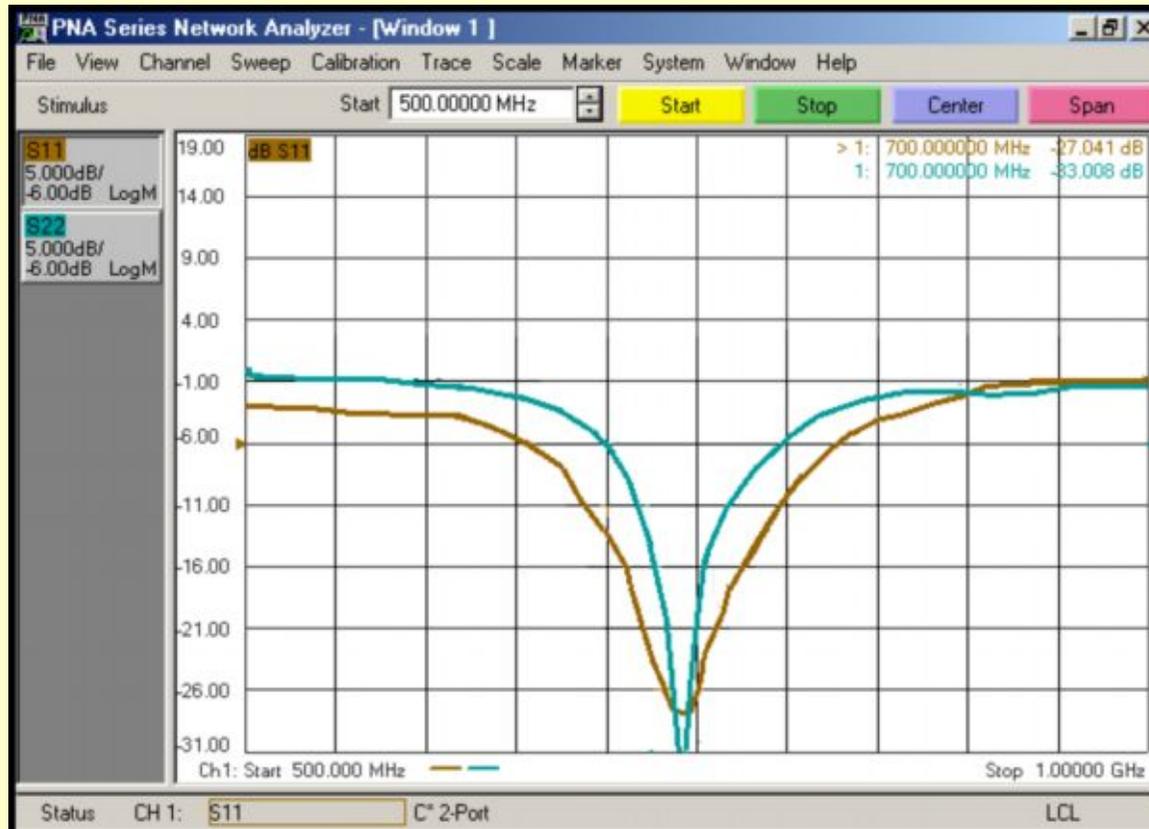


## Схемы согласования диодов с линией 50 Ом на промежуточной частоте



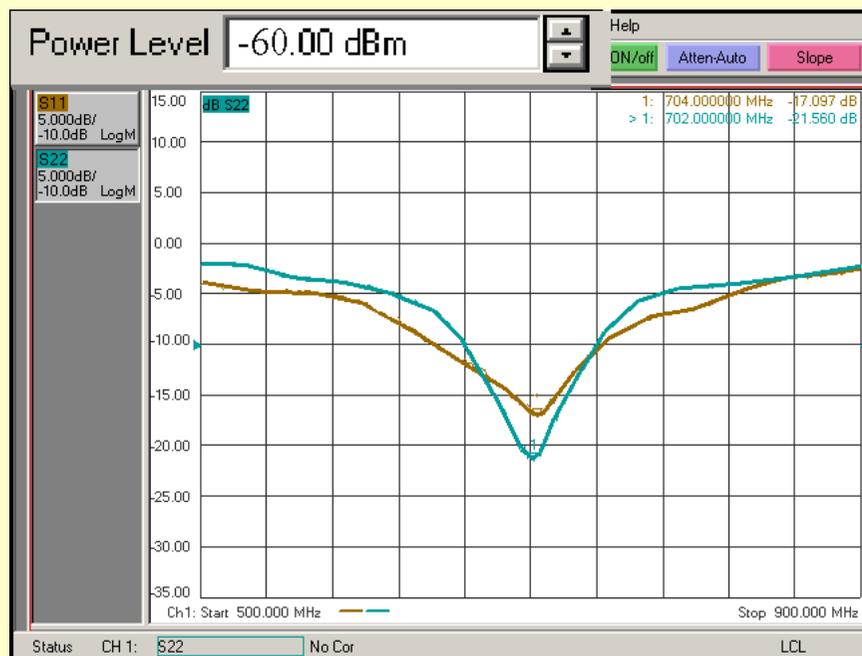
$C_a$  – емкость антенны

## Проверка схемы согласования выхода ПЧ

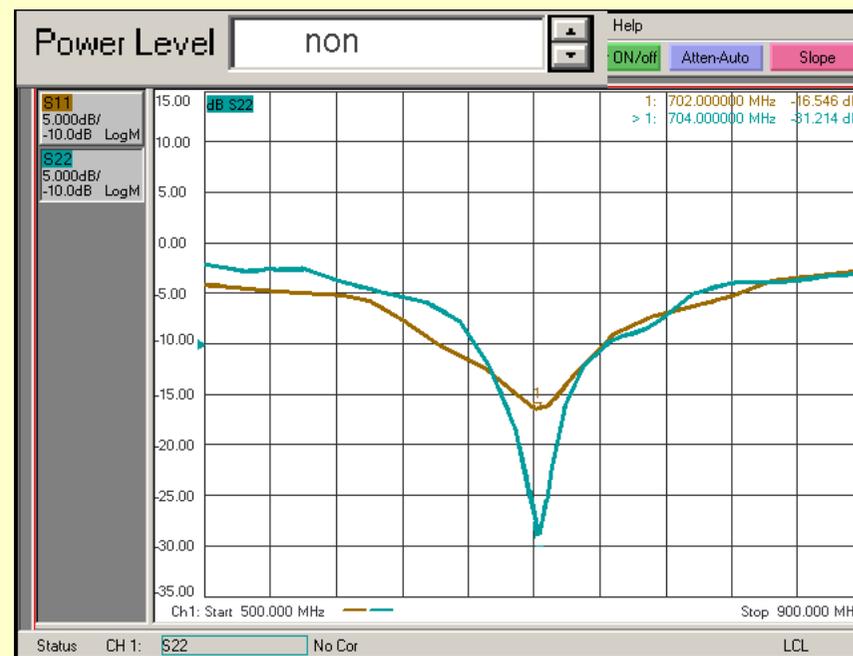


Вместо диодов были вставлены резисторы  
сопротивлением 1 кОм и 2.2 кОм

## Согласование диодов ( $R_j=1.5-2.5$ кОм) по выходу ПЧ



В зависимости от уровня мощности сканирования

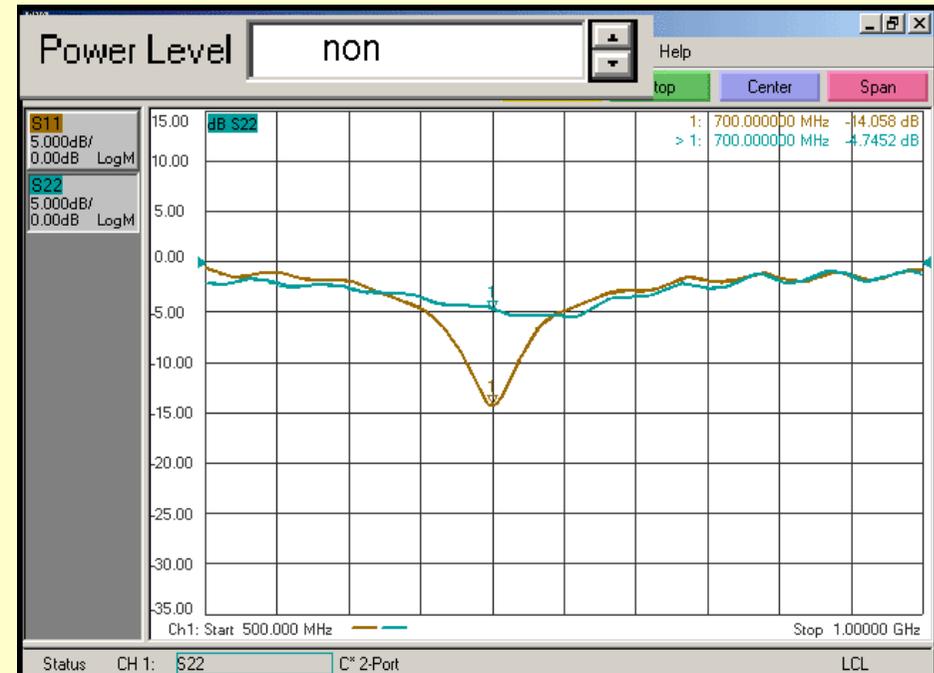


В зависимости от мощности гетеродина

## Согласование диодов ( $R_j=3-4$ кОм) по выходу ПЧ



В зависимости от уровня  
мощности сканирования

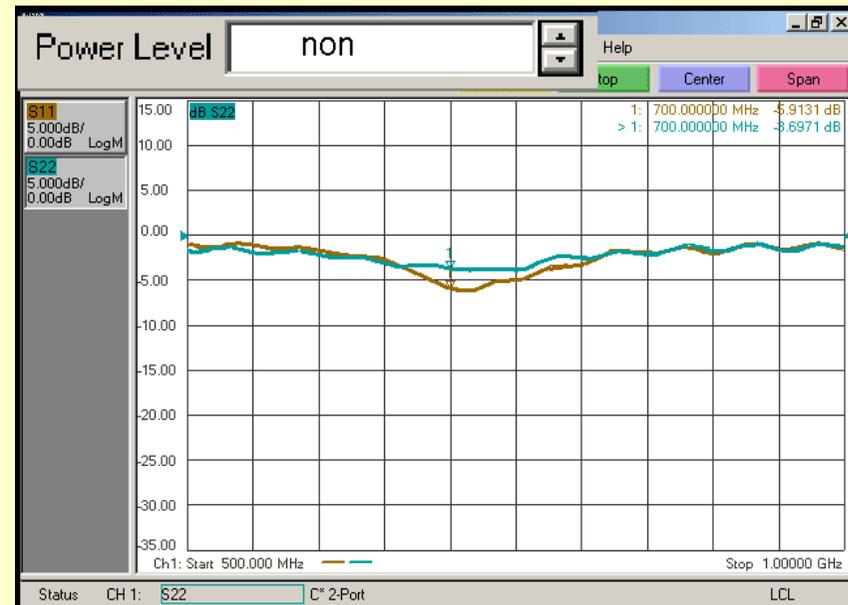


В зависимости от мощности  
гетеродина

## Согласование диодов ( $R_j=7-9$ кОм) по выходу ПЧ

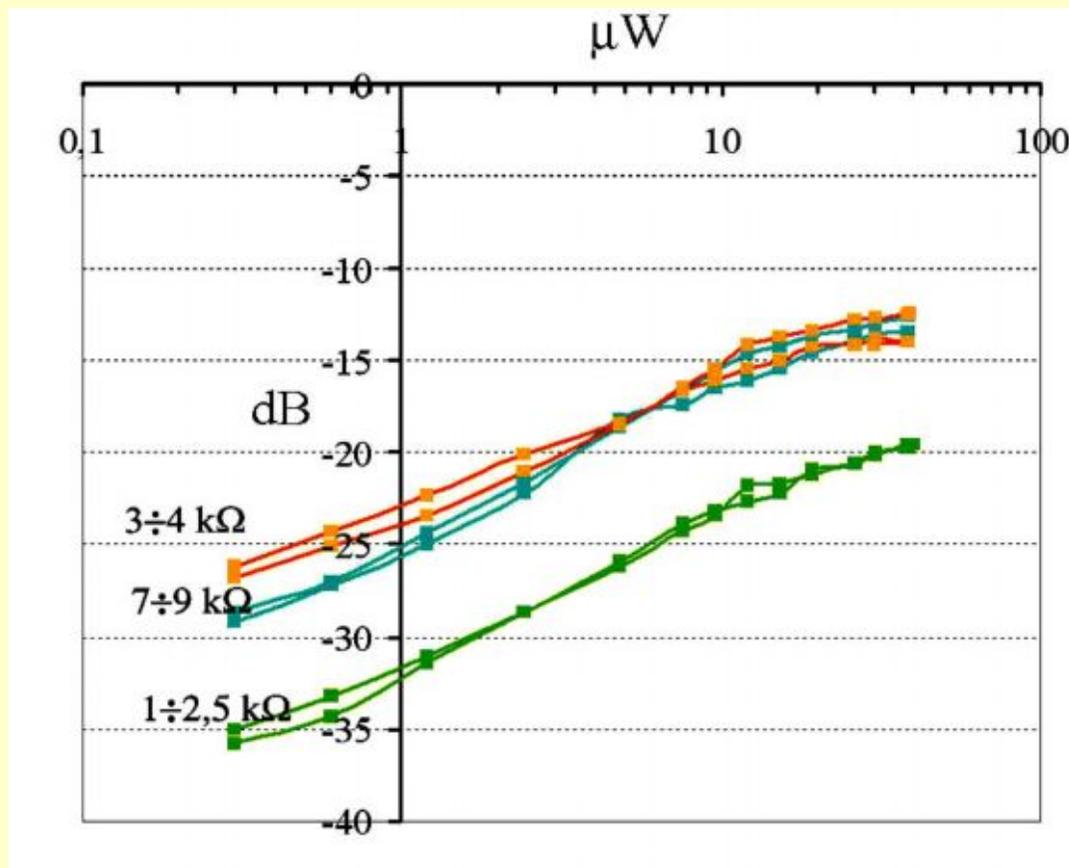


В зависимости от уровня мощности сканирования



В зависимости от мощности гетеродина

## Графики зависимостей коэффициентов преобразования частоты от мощности гетеродина



Представлены графики для диодов с сопротивлением барьера Шоттки  $R_j=1-2.5$  кОм,  $R_j=3-4$  кОм и  $R_j=7-9$  кОм.

Частота ПЧ = 700 МГц.

- Разработаны детекторные диоды миллиметрового диапазона с пониженной высотой барьера Шоттки Al/GaAs, которые работают без смещения.
- Измерены характеристики детекторных детекторов при оптимальном согласовании на частоте около 94 ГГц: максимум вольт-ваттной чувствительности  $\sim 10^4$  В/Вт, минимум пороговой мощности  $\sim 10^{-12}$  Вт Гц<sup>-1/2</sup>.
- Измерены преобразовательные характеристики диодов при пониженной мощности гетеродина: коэффициент преобразования соответствует  $-16 \div -12,5$  дБ при мощности гетеродина  $10 \div 35$  мкВт для диодов с сопротивлением барьера  $3 \div 10$  кОм.

## Публикации

- В.И. Шашкин, В.Р. Закамов, А.В. Мурель, Ю.И. Чеченин, Ю.А. Дрягин, С.В. Кривов, Л.М. Кукин. Детекторы с низкobarьерными диодами Шоттки для матричных систем видения миллиметрового диапазона. *Материалы 16-ой международной микроволновой конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии"*, Севастополь, 2006г., с.161-162.
- V.I. Shashkin, Y.A. Drjagin, V.R. Zakamov, S.V. Krivov, L.M. Kukin, A.V. Murel, Y.I. Chechenin. Millimeter-Wave Detector on the Basis of Low-Barrier Schottky Diodes and a Planar Slot Antenna. Conf. Digest of the 2006 *Joint 31<sup>st</sup> Int. Conf. On Infrared and Millimeter Waves and 14<sup>th</sup> Int. Conf. On Terahertz Electronics*, Sept. 18-22, 2006, Shanghai, China, p. 400.
- V.I. Shashkin, V.R. Zakamov, A.V. Murel, Y.I. Chechenin. Planar Antenna-coupled Detector for Matrix Systems of Millimeter Wave Imaging. *Proceedings of 6th Int. Conf. On Antenna Theory and Techniques (ICATT'07)*, Sevastopol, Ukraine, September 17-21, 2007, p.351-353.
- V.I. Shashkin, Yu.A. Drjagin, V.R. Zakamov, S.V. Krivov, L.M. Kukin, A.V. Murel, Y.I. Chechenin. Millimeter-wave Detectors Based on Antenna-coupled Low-barrier Schottky Diodes. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 28, 11, p.945-952 (2007).
- В.И. Шашкин, Ю.А. Дрягин, В.Р. Закамов, С.В. Кривов, Л.М. Кукин, А.В. Мурель, Ю.И. Чеченин. Планарные детекторы для многоэлементных систем радиовидения миллиметрового диапазона. *Известия вузов. Радиофизика*, т.50, №12, с. (2007) .