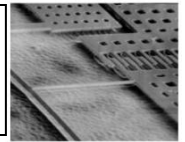




Санкт-Петербургский Государственный
Технический Университет

Лаборатория нано- и
микросистемной техники



«Типы и конструкции микроэлектромеханических систем»

Сенсоры

Ю.Д.Акульшин

Вед.инженер НИЛ «НМСТ»

Санкт-Петербург - 2018

Лекция 4

2.Сенсоры. Классификация сенсоров.

Лекция 3

- Микромеханические сенсоры. Механические конструкции: объемные, мембранные, балочные, струнные. Виды преобразователей. Датчики на основе микромеханических преобразователей.

2.Сенсоры. Классификация сенсоров.

Терморезистивные, термоэлектрические, термомеханические, пироэлектрические преобразователи.

Тепловые сенсоры.

Датчики: температуры, потока, вакуума; термопары, анемометры, болометры.

Оптические сенсоры.

Датчики: светового потока, оптического поглощения, смещения, положения.

Терморезистивные преобразователи.

$$TKC = \frac{1}{R_0} \frac{\Delta R}{\Delta T},$$



металлы $R_1 = R_0 [1 + \alpha(T_1 - T_0)]$,

где R_0 – сопротивление при 0°C , R_1 – сопротивление при температуре T_1 , α – температурный коэффициент

Pt $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Ni $\alpha = 5,39 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

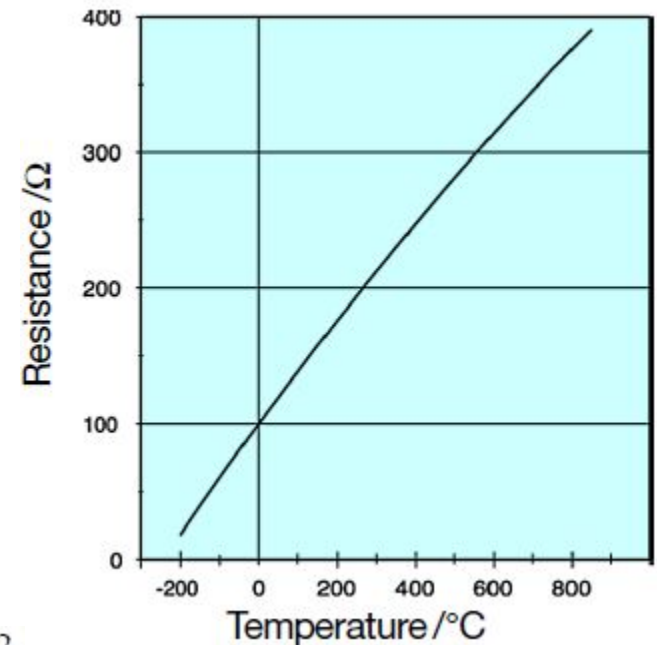
полупроводники

Моно и поликристаллический кремний p-тип отрицательный ТКС, n-тип положительный ТКС

$$R_T = R_{25} [1 + \alpha\Delta T + \beta\Delta T^2],$$

$$\alpha = 0,78 \cdot 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\beta = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$$



Характеристика Pt100

Термоэлектрические преобразователи.

Эффект Зеебека (1821 г.)

В электрической цепи, составленной из разнородных проводников ($M1$ и $M2$), возникает термоэдс, если места контактов (A , B) поддерживаются при разных температурах.

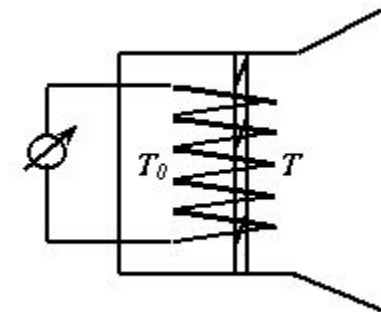
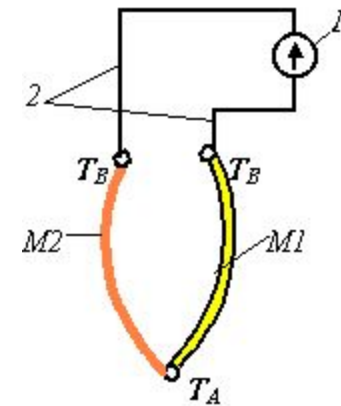
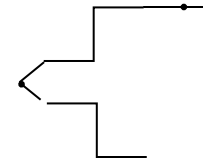
$$E_T = \pm \gamma \Delta T,$$

ΔT – разность температур между контактами

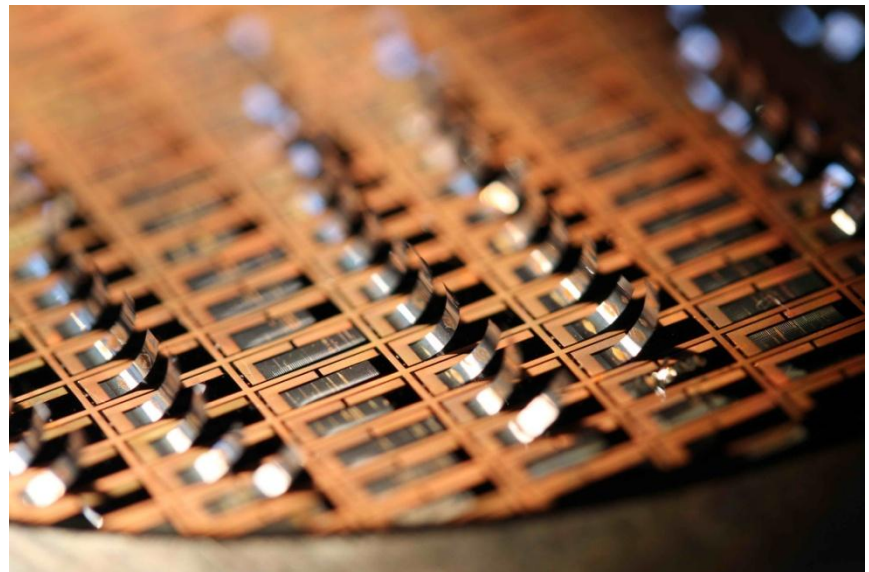
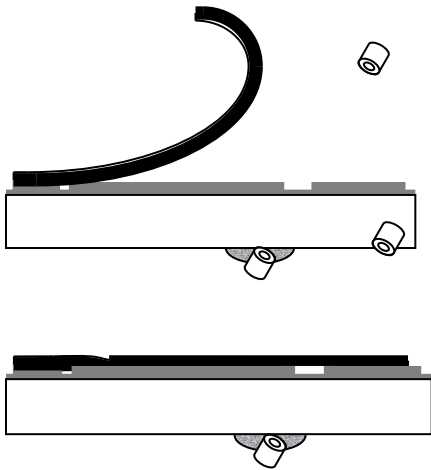
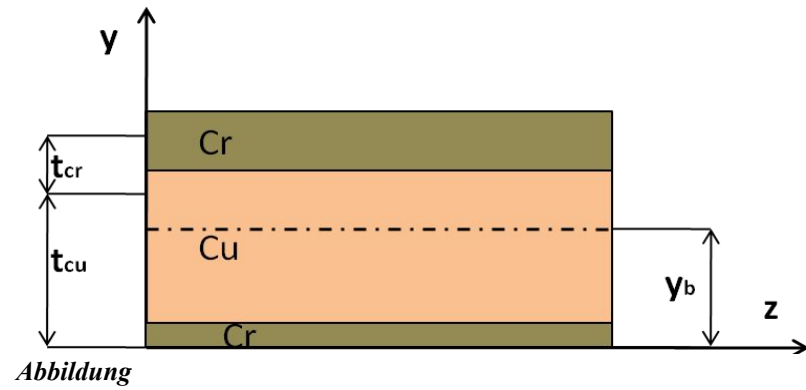
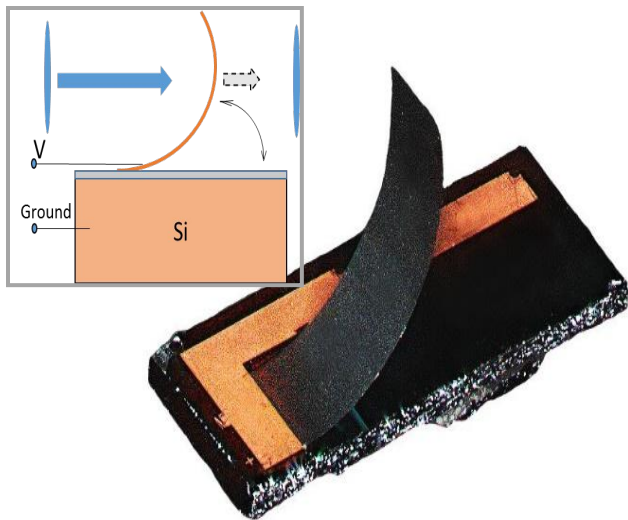
γ – коэффициент Зеебека

Металл	α , мкВ/К
Платина	-4.4
Олово	-0.2
Свинец	0.0
Серебро	+2.7
Медь	+3.2
Сурьма	+4.3

Для полупроводников превышает 1000 мкВ/К



Термомеханические преобразователи



Термомеханические преобразователи

Технологический маршрут изготовления "хвостиков"-¶

1. Подготовка партии кремневых (Si) пластин. Хим. обработка. ¶
2. Термическое окисление. SiO_2 $n=0,8$ мкм. ¶



3. Нанесение Al (жертвенный слой). $n=0,8$ мкм. ¶



4. ФЛГ по Al. ¶



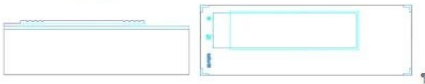
5. Создание рельефа в Al слое. Нанесение фоторезиста, ФЛГ, травление. ¶



6. Нанесение Cu/Cu $n=0,05/0,5/0,4$ мкм. ¶



7. ФЛГ по Cu/Cu (нанесение фоторезиста, экспонирование, травление). ¶



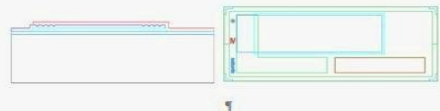
8. ФЛГ окна в SiO_2 (травление окисла под защитой фоторезиста). ¶



9. Нанесение толстого ФР МСРР. 10 сек. на 6 скорости, на 5 скорости до 2 мин. Сушка 95 °C 3-4 мин на "hot plate". ¶

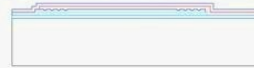


10. ФЛГ контакты. ¶

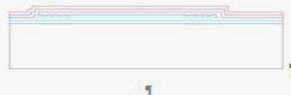


11. Длительное задубливание ФР. 115-120 °C от 5 часов. ¶

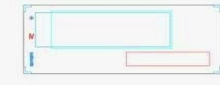
12. Нанесение Cu/Cu = 0,03/0,2 мкм. Без ионной очистки. ¶



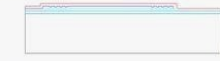
13. Нанесение толстого ФР МСРР. 10 сек. на 6 скорости, на 5 скорости до 2 мин. Сушка 95 °C 3-4 мин на "hot plate". ¶



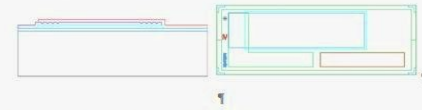
8. ФЛГ окна в SiO_2 (травление окисла под защитой фоторезиста). ¶



9. Нанесение толстого ФР МСРР. 10 сек. на 6 скорости, на 5 скорости до 2 мин. Сушка 95 °C 3-4 мин на "hot plate". ¶

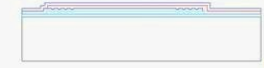


10. ФЛГ контакты. ¶

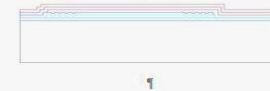


11. Длительное задубливание ФР. 115-120 °C от 5 часов. ¶

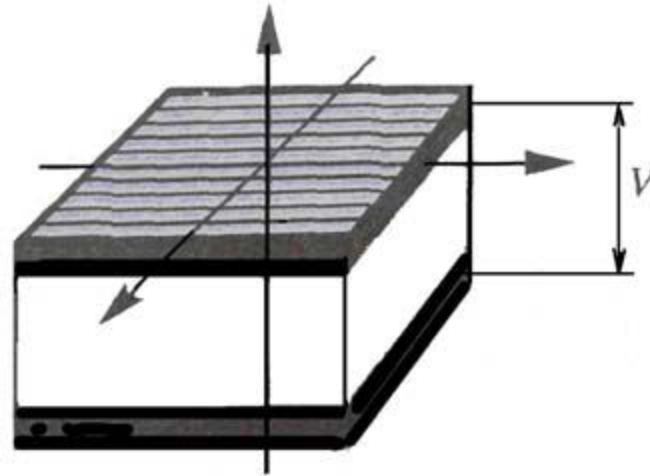
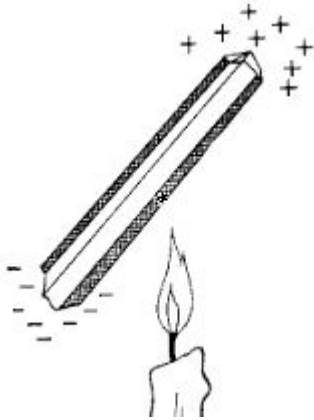
12. Нанесение Cu/Cu = 0,03/0,2 мкм. Без ионной очистки. ¶



13. Нанесение толстого ФР МСРР. 10 сек. на 6 скорости, на 5 скорости до 2 мин. Сушка 95 °C 3-4 мин на "hot plate". ¶



Пирозлектрические преобразователи



PbZrO₃ PZT

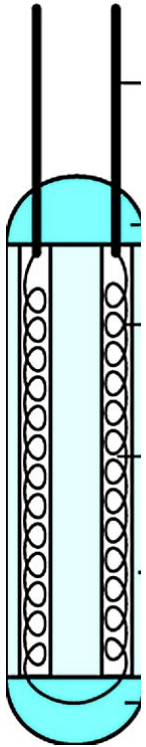
PbTiO₃

$$i = i_0 e^{-t/\tau_T}$$

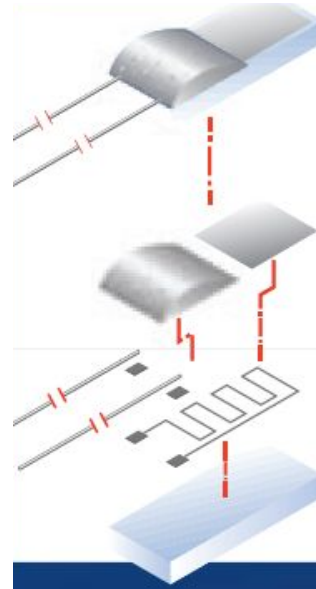
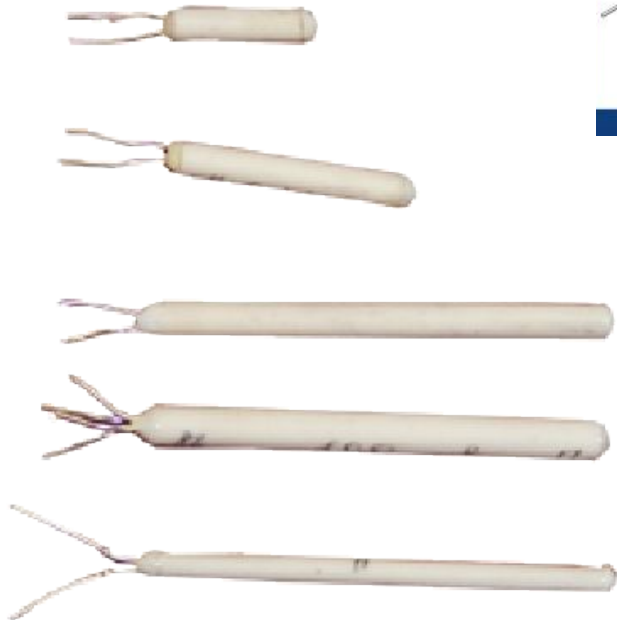
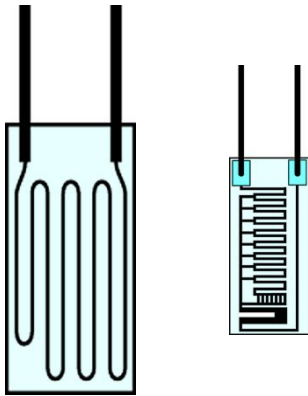
триглицин сульфат (TGS) и танталат линия (LiTaO₃)

i_0 – пиковое значение тока, t – время, τ_T – постоянная времени

Термометры сопротивления



Pt 50

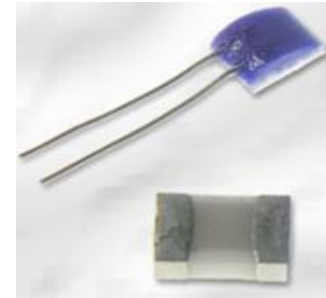


$$\text{Pt} \quad \alpha = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Ni} \quad \alpha = 5,39 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Pt100

Pt1000



Макс диапазон от -196 °C до +1000 °C

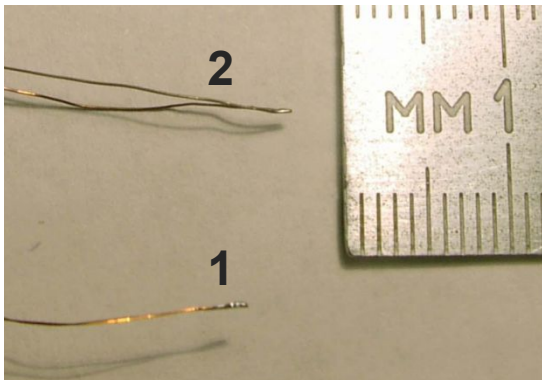
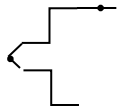
Датчики температуры

Термопары

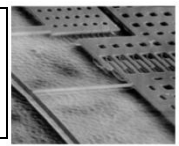
Датчики на основе термоэлектрических преобразователей

Металлы и сплавы

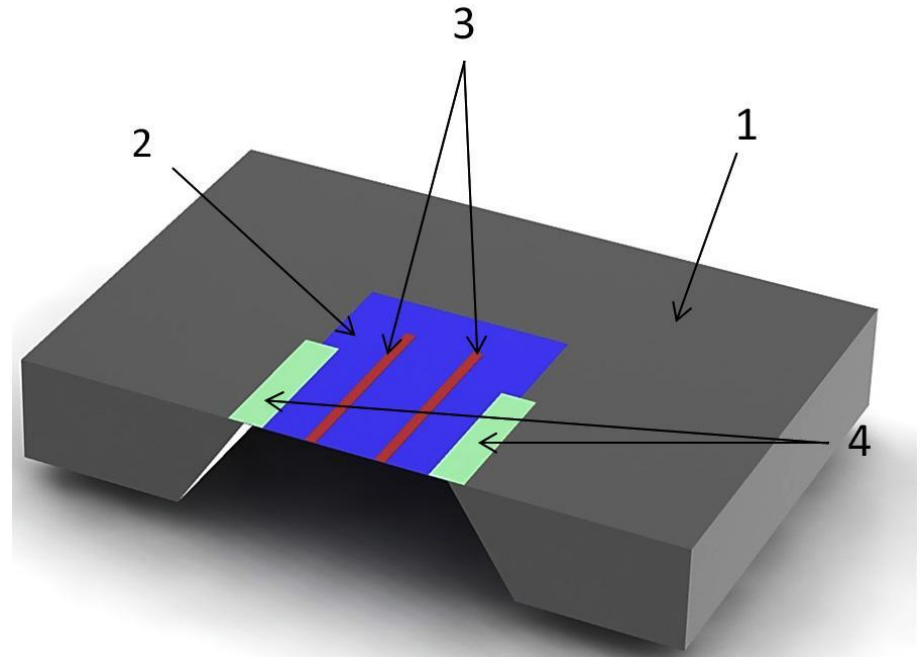
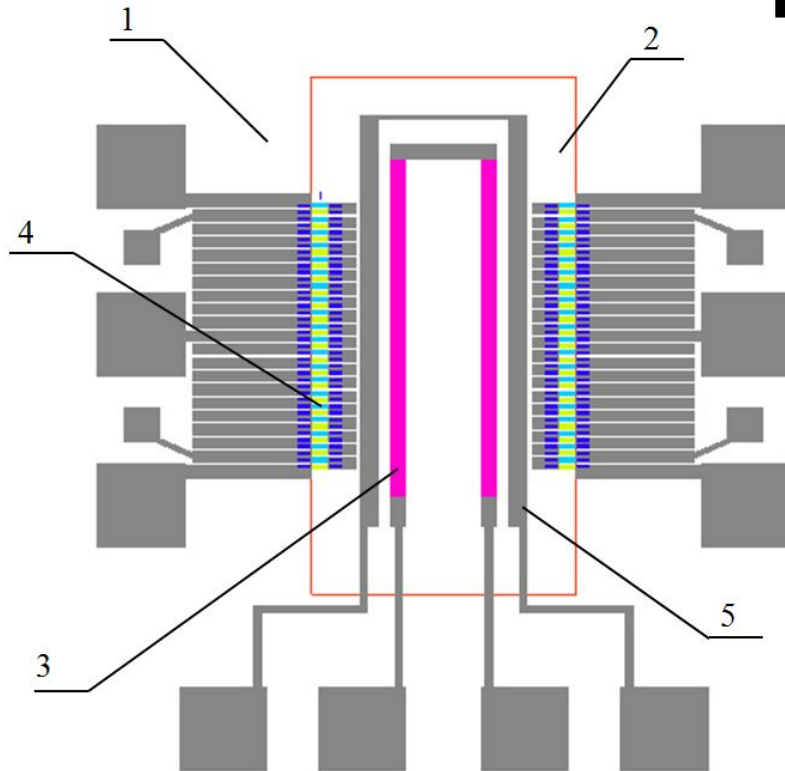
в зависимости от типа от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1800\text{ }^{\circ}\text{C}$



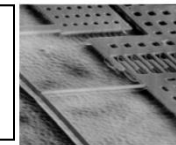
Полупроводники
кремний
 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$



Тепловой преобразователь



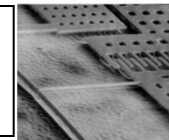
- 1) основание 2) мембрана 3) нагреватель 4) батарея термопар
5) алюминиевый экран



ТЕПЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Тепловой микропреобразователь

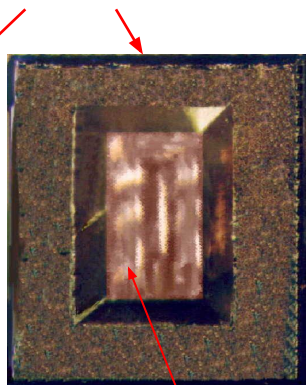
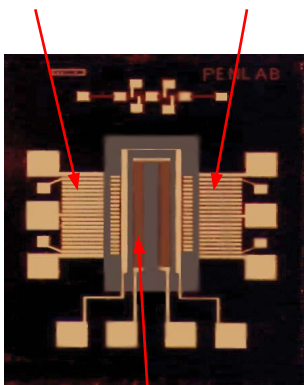




ТЕПЛОВЫЕ ДАТЧИКИ

две 20-элементные
термопары (p-Si/n-Si)

кремниевый чип
2,5 x 3 x 0,4 мм
8 миллиграмм



нагреватель (NiCr)
R=100 Ohm

диэлектрическая
мембрана (h=1 мкм)

Мембрана
из чередующихся
слоев SiO_2 и Si_3N_4

Согласование с
кремнием по ТКР

Поликремниевые
термопары

Высокая
термоЭДС и
стабильность

Нагреватель
с низким ТКС

Линейность
преобразования

Датчик – прототип
для

микрорасходомера

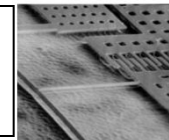
вакуумметра

инклинометра

акселерометра

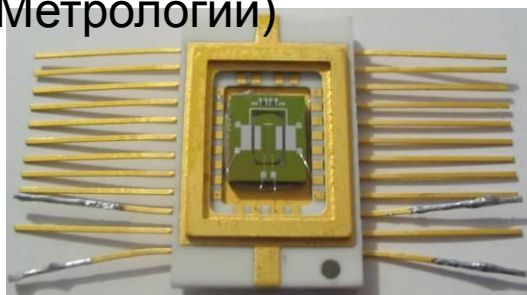
анемометра

болометра



ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ (AC-DC converter)

Вторичный эталон
напряжения
(совместно с ВНИИ
Метрологии)



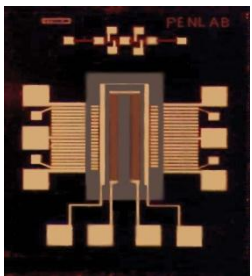
Частотный диапазон: 10 Гц ... 1 МГц

Входное напряжение: 1В
Выходное напряжение: 100 мВ

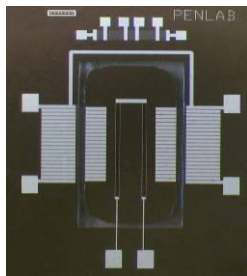
Точность измерения: 10^{-5} %

Долговременная стабильность: > 10 лет

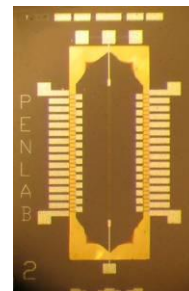
1^е поколение

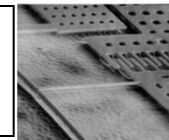


2^е поколение



3^е поколение

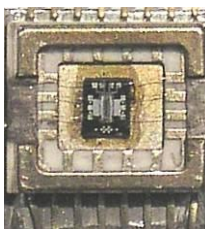




ТЕПЛОВОЙ РАСХОДОМЕР

Принцип действия:

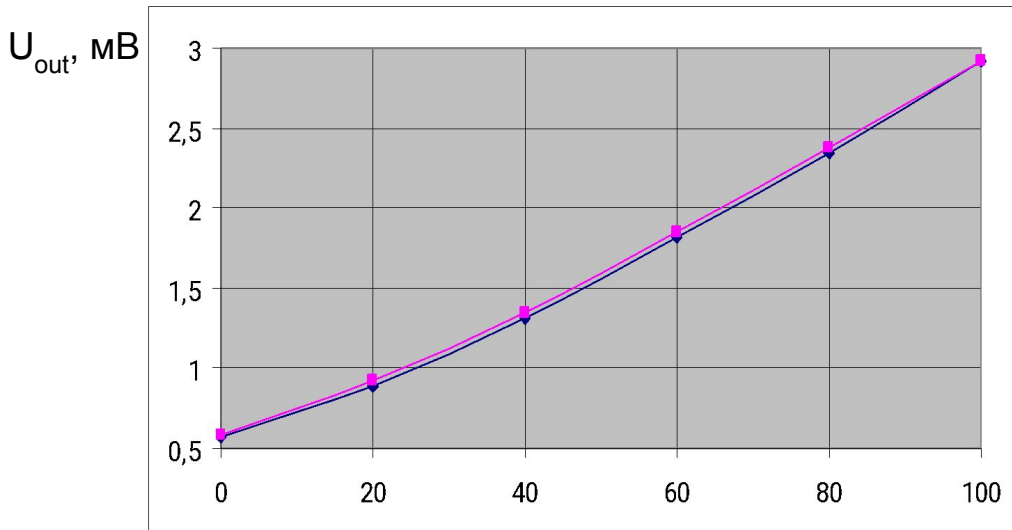
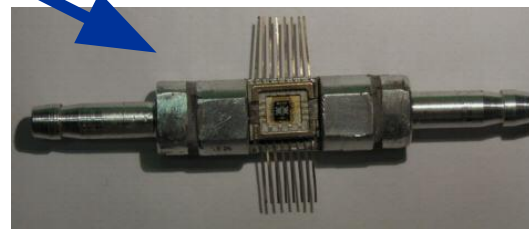
термоанемометр с косвенным
подогревом



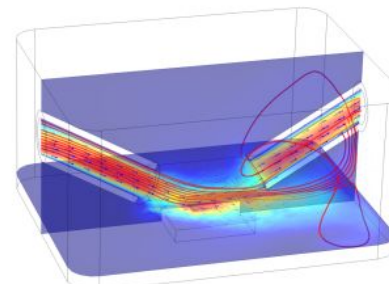
Объемный расход газа

Диапазон измерения: 0...250 мл / мин

Погрешность измерения: не более 2%

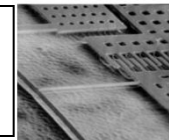


Замена ротаметров в технологических
установках



Расходомер в корпусе из профилированного
оргстекла

Скорость потока газа, мл /
МИН



ИНКЛИНОМЕТР и АКСЕЛЕРОМЕТР

Принцип действия: конвекция в замкнутом объеме

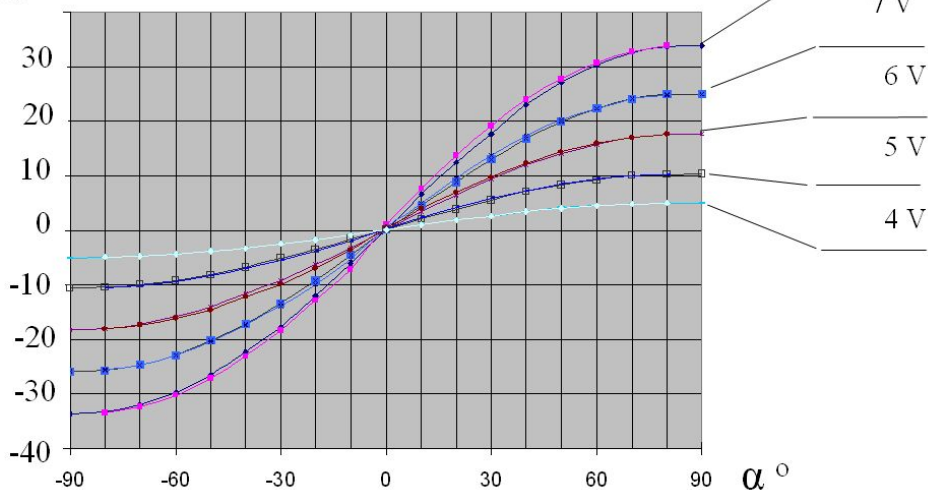


Отклонение от вертикали:

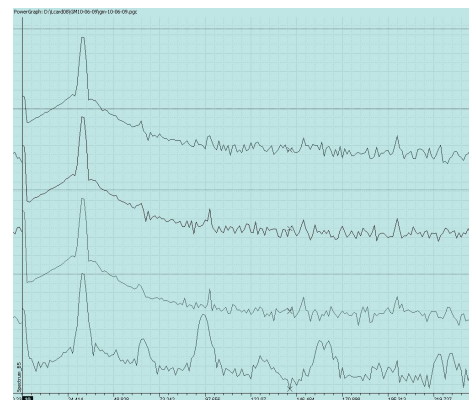
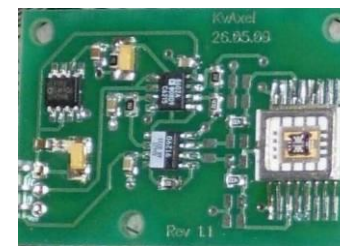
Диапазон углов: +/- 90°

Точность: не менее 0,1%

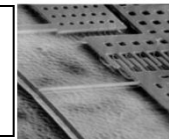
U_{out} , mV



Зависимость выходного сигнала от угла наклона



Сравнение частотных откликов трех тепловых акселерометров и одного микромеханического акселерометра фирмы Analog Device

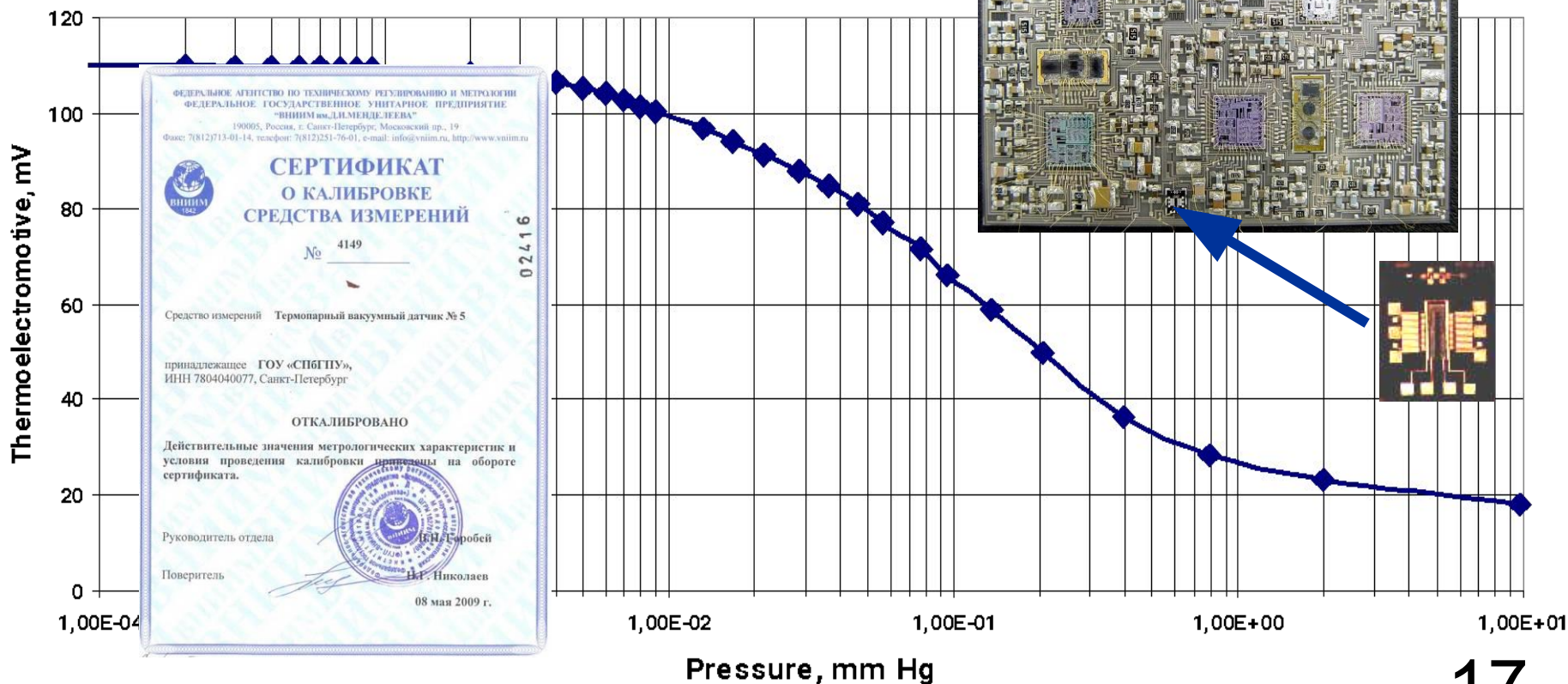


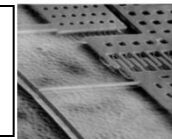
ТЕПЛОВОЙ ДАТЧИК ВАКУУМЕТРА



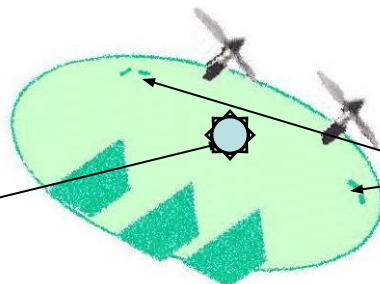
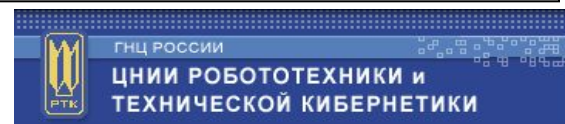
Сферы применения:

- измерение уровня вакуума в микрообъемах;
- замена крупногабаритных ламп Пирани в вакуумной технике



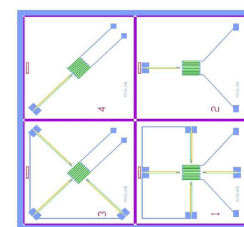


Тепловые датчики для управления миниатюрными беспилотниками

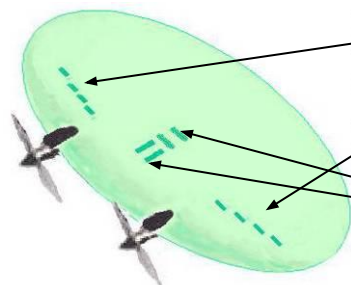


инерциальная навигационная система (акселерометры)

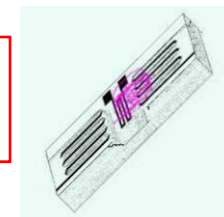
датчики истинной воздушной скорости (термоанемометры)



датчики отрыва потока (термоанемометры)



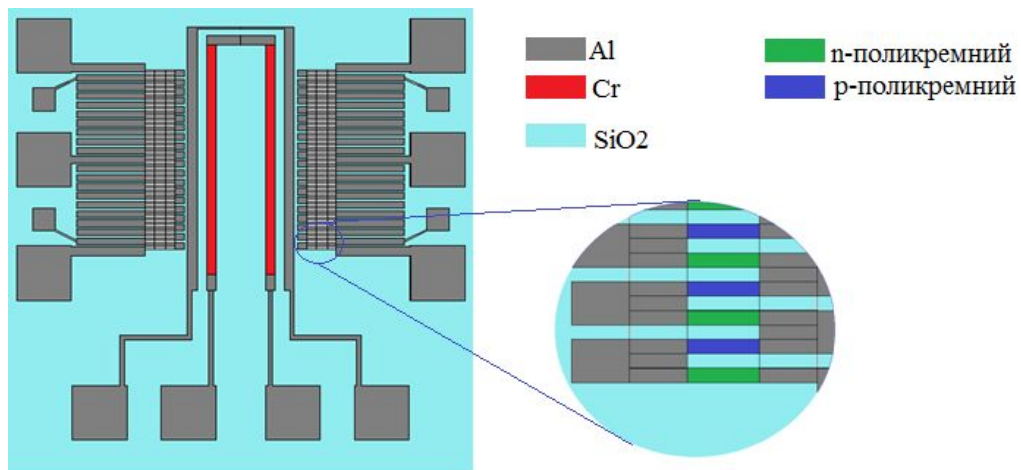
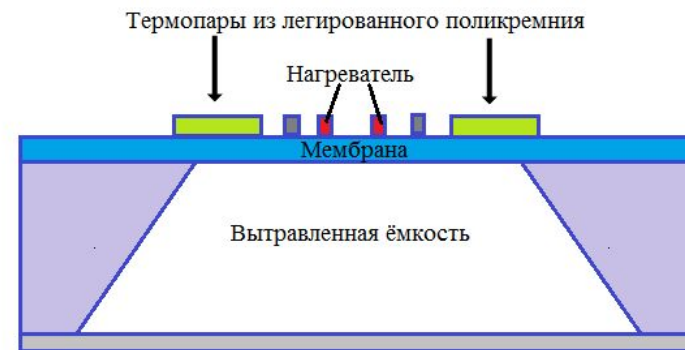
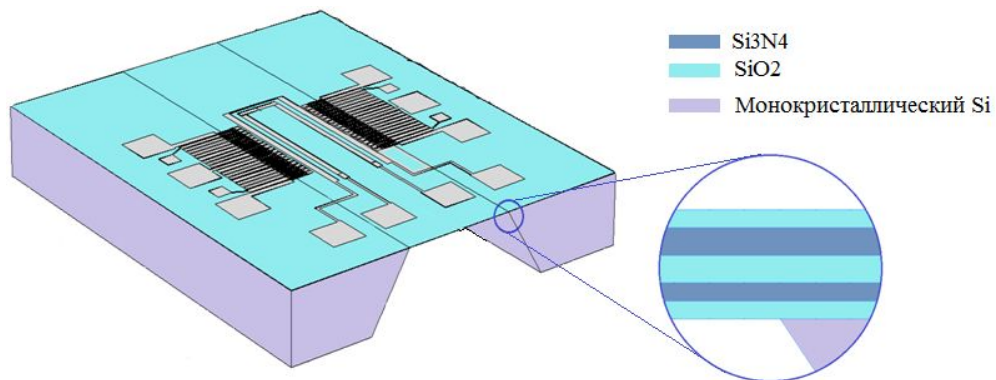
датчики крена и тангажа (инклинометры)



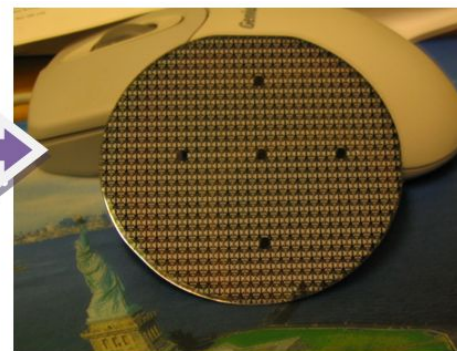
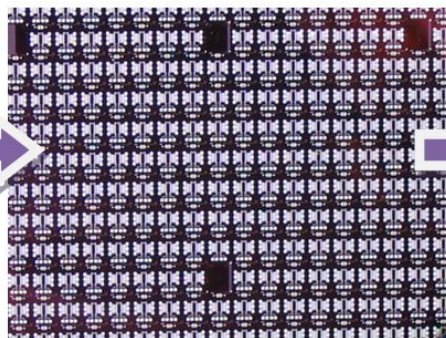
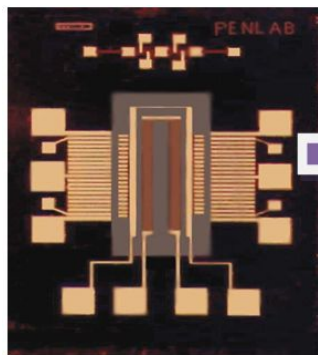
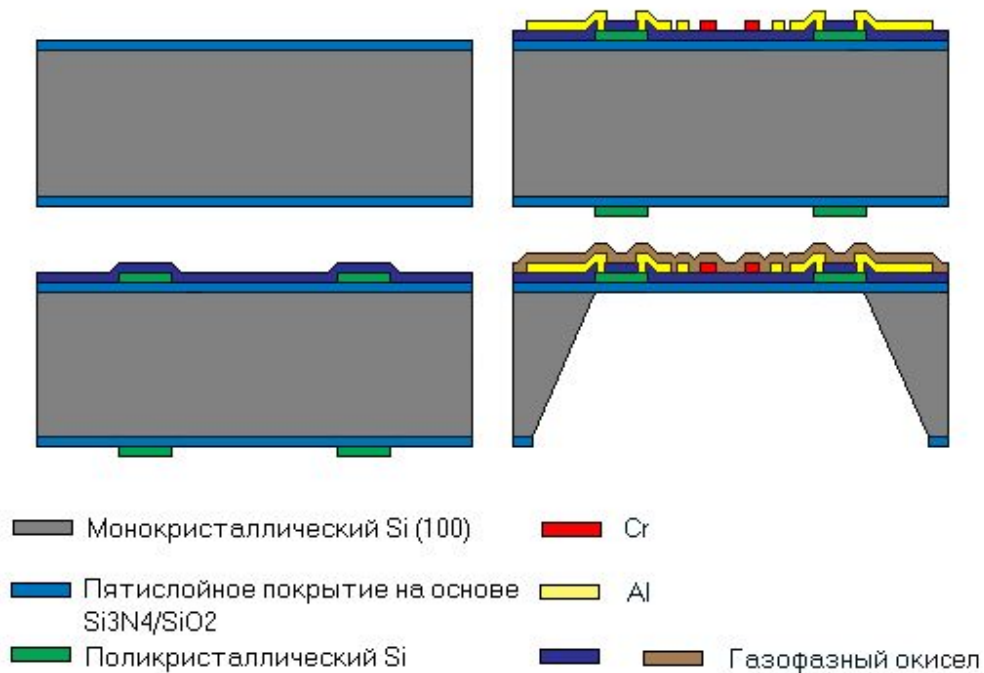
Преимущества тепловых сенсоров:

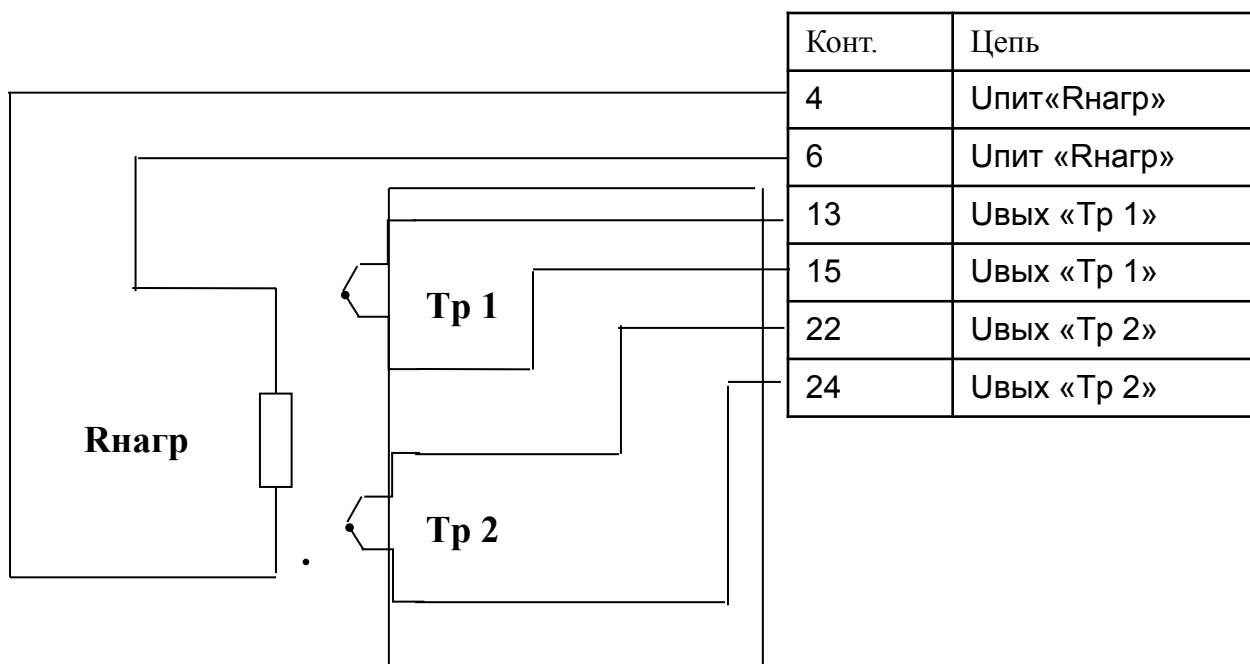
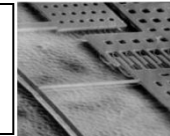
- Простота технологии;
- Высокий уровень выходного сигнала (отсутствует необходимость в сложной обрабатывающей электронике);
- Отсутствует чувствительность к высокочастотным шумам

Конструкция микродатчика.



Технология изготовления теплового микродатчика.



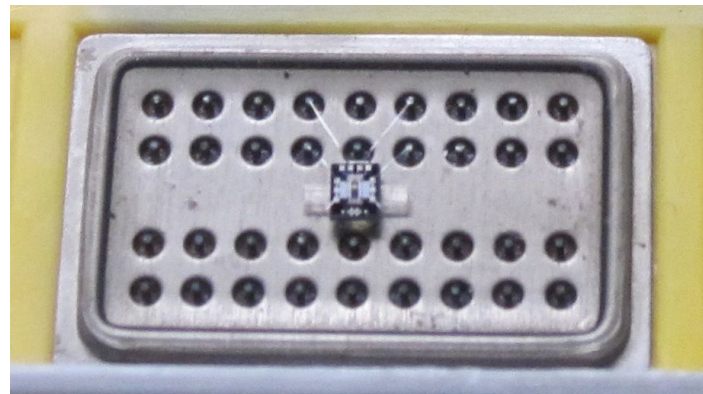
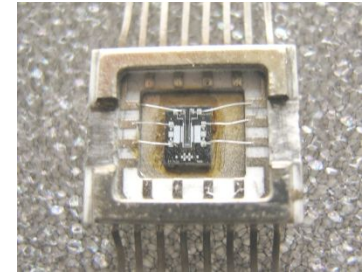
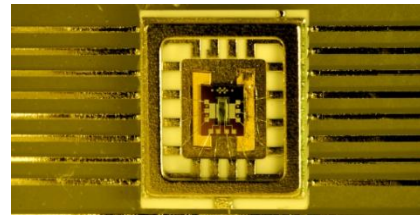
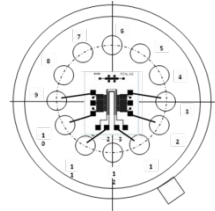
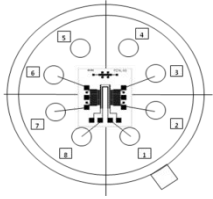
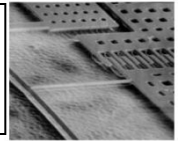


Конт.	Цепь
4	Упит «Рнагр»
6	Упит «Рнагр»
13	Увых «Тр 1»
15	Увых «Тр 1»
22	Увых «Тр 2»
24	Увых «Тр 2»

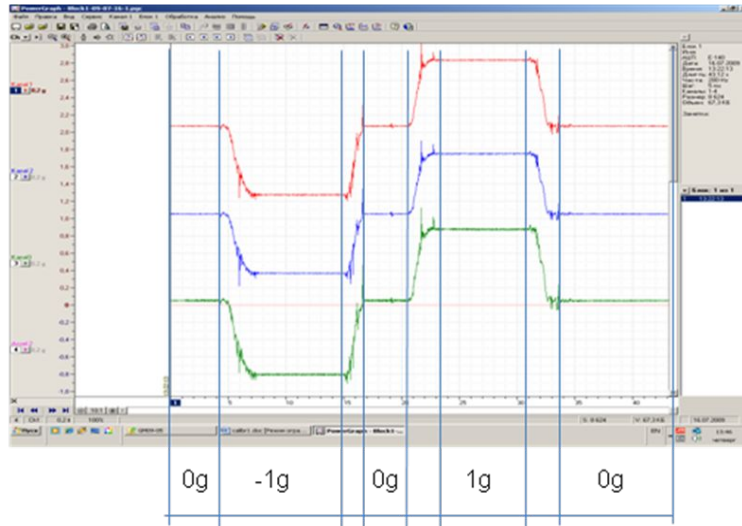


Санкт-Петербургский Государственный
Технический Университет

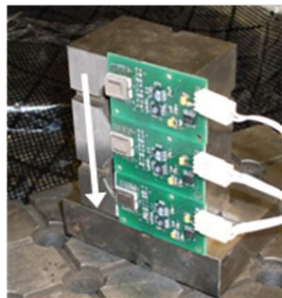
Лаборатория нано- и
микросистемной техники



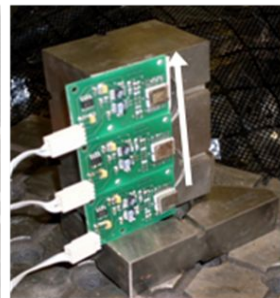
Акселерометр -ТАКС



0g(0°)

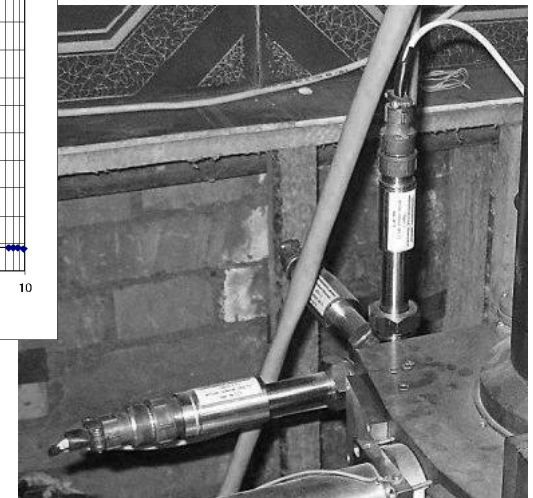
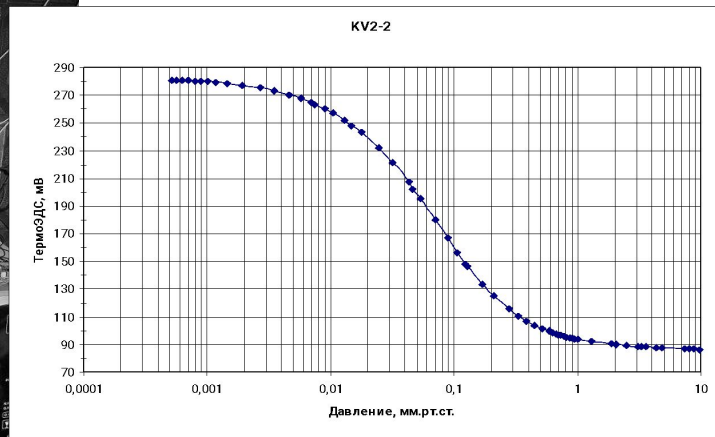
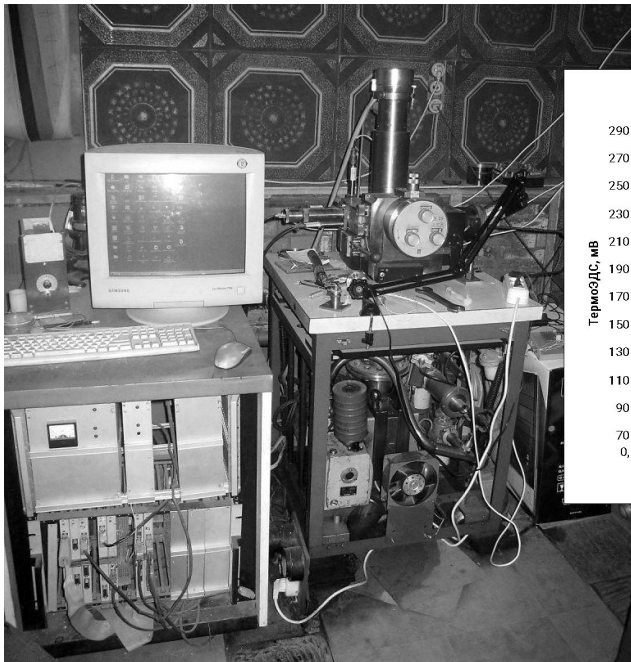


-1g(-90°)

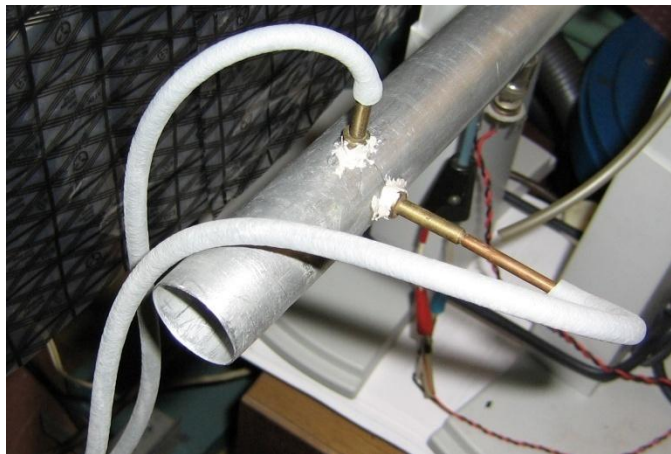


1g(90°)

Вакуумметр форвакуумного диапазона ТВАК



Измеритель скорости потока газов ИСПГ



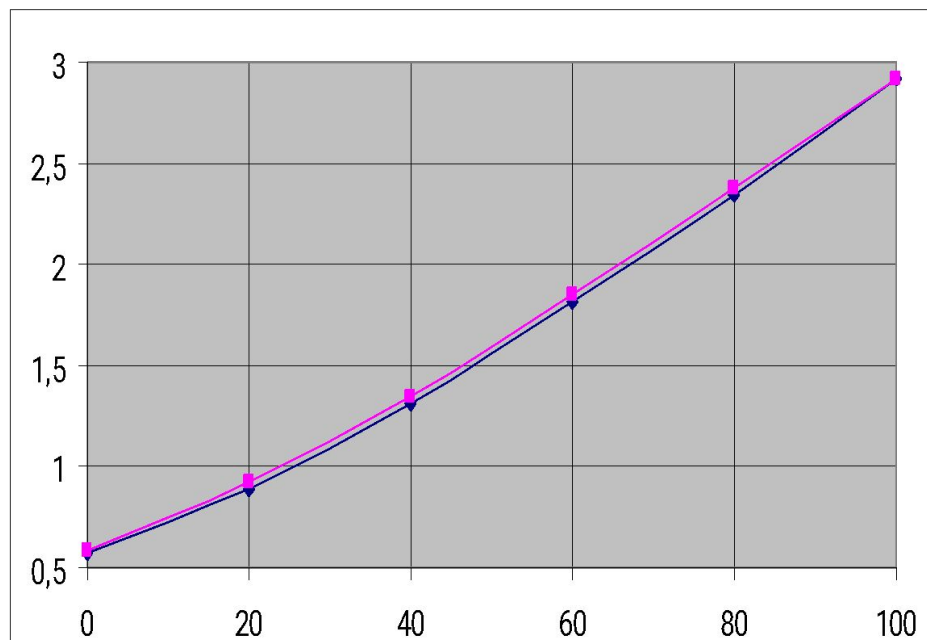
Термоанемометр АКТАКОМ
АТТ-1004



расходомер ТИРГ



$U_{\text{вых}}, \text{ мВ}$



Расход, мл / мин

