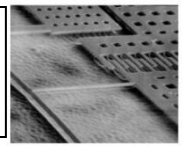
Санк -Петербургский Государственный
т Политехнический Университет

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

где R0 – сопротивление при 0 ºС, R1 – сопротивление при температуре Т1, α – температурный коэффициент

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

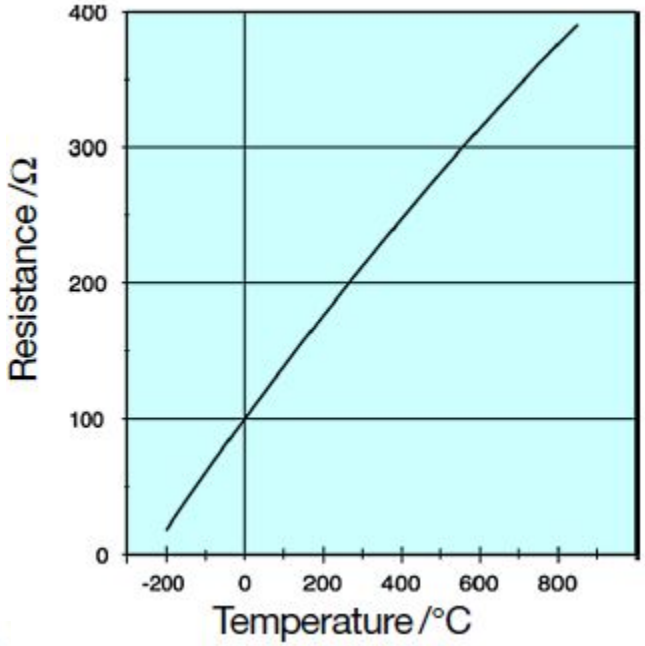
Ni $\alpha = 5{,}39 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$

полупроводники

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

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

$\alpha = 0{,}78 \cdot 10^{-2}\ ^{o}C$ $\beta = 1{,}84 \cdot 10^{-5}\ ^{o}C^{-2}$

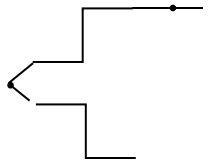


Характеристика Pt100

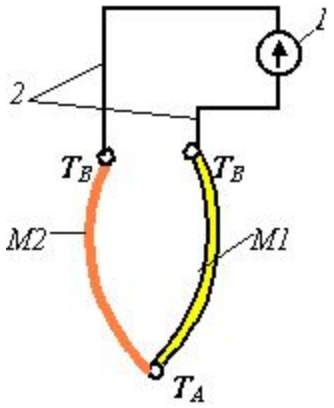
Термоэлектрические преобразователи.

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.



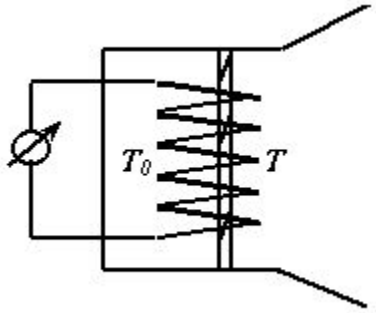
$$E_T = \pm \gamma \, \Delta T \,,$$



ΔT – разность температур межу контактами

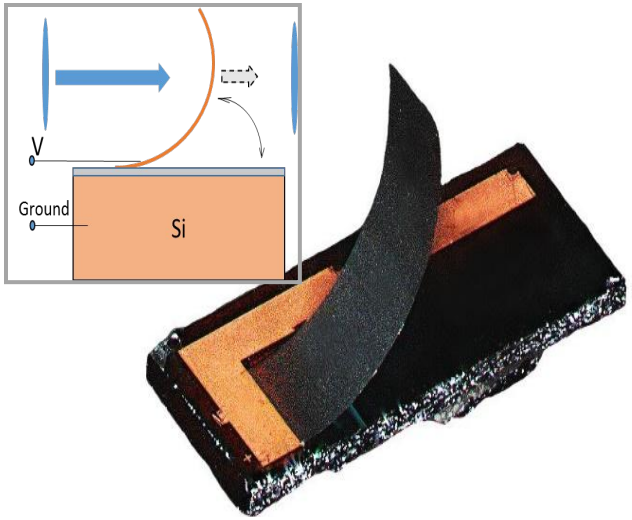
γ – коэффициент Зеебека

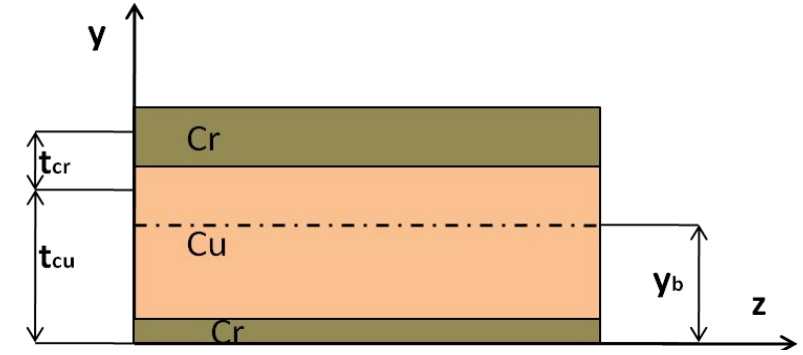
Металл	α, мкВ/К
Платина	-4.4
Олово	-0.2
Свинец	0.0
Серебро	+2.7
Медь	+3.2
Сурьма	+4.3



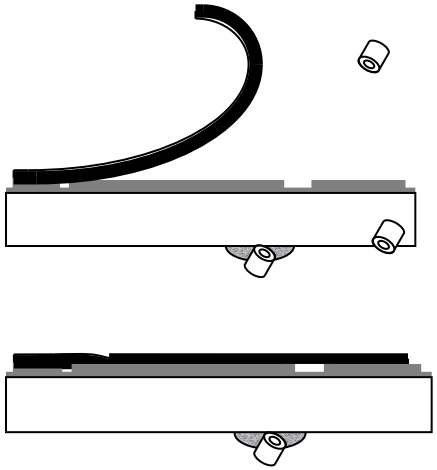
Для полупроводников превышает 1000 мкВ/К

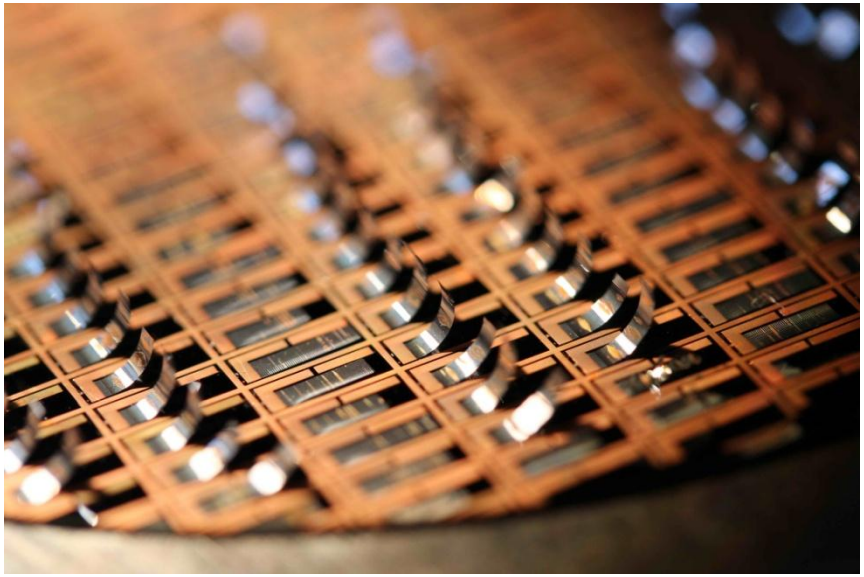
Термомеханические преобразователи





Abbildung





Термомеханические преобразователи

Технологический маршрут изготовления "хвостиков".

1. Подготовка партии кремниевых (Si) пластин. Хим. обработка.
2. Термическое окисление. SiO_2 h=0,8 мкм.

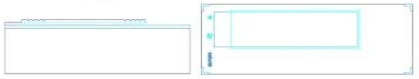
3. Напыление Al (жертвенный слой). h=0,8 мкм.

4. ФЛГ по Al.

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

6. Напыление Cr/Cu/Cr = 0,05/0,5/0,4 мкм.

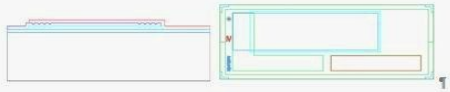
7. ФЛГ по Cr/Cu/Cr (нанесение фоторезиста, экспонирование, травление).



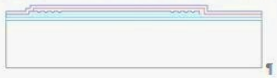
8. ФЛГ окна в SiO_2 (травление окисла под защитой фоторезиста).

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

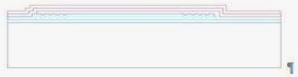
10. ФЛГ контакты.

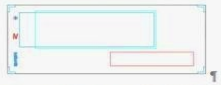


11. Длительное задубливание ФР. 115-120 °C от 5 часов.
12. Напыление Cr/Cu = 0,03/0,2 мкм. Без ионной очистки.



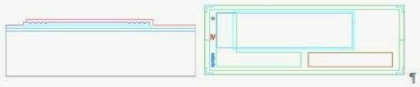
13. Нанесение толстого ФР MCPR. 10 сек. на 6 скорости, на 5 скорости до 2 мин. Сушка 95 °C 3-4 мин на "hot plate"



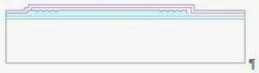


9. Нанесение толстого ФР MCPR. 10 сек. на 6 скорости, на 5 скорости до 2 мин. Сушка 95 °C 3-4 мин на "hot plate".

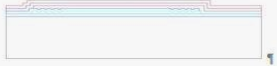
10. ФЛГ контакты.



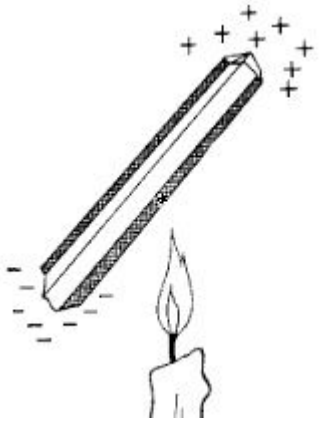
11. Длительное задубливание ФР. 115-120 °C от 5 часов.
12. Напыление Cr/Cu = 0,03/0,2 мкм. Без ионной очистки.

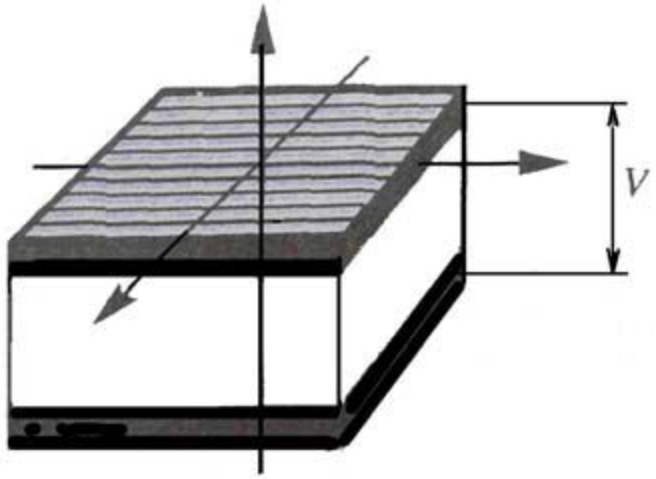


13. Нанесение толстого ФР MCPR. 10 сек. на 6 скорости, на 5 скорости до 2 мин. Сушка 95 °C 3-4 мин на "hot plate"



Пироэлектрические преобразователи





PbZrO3 PZT

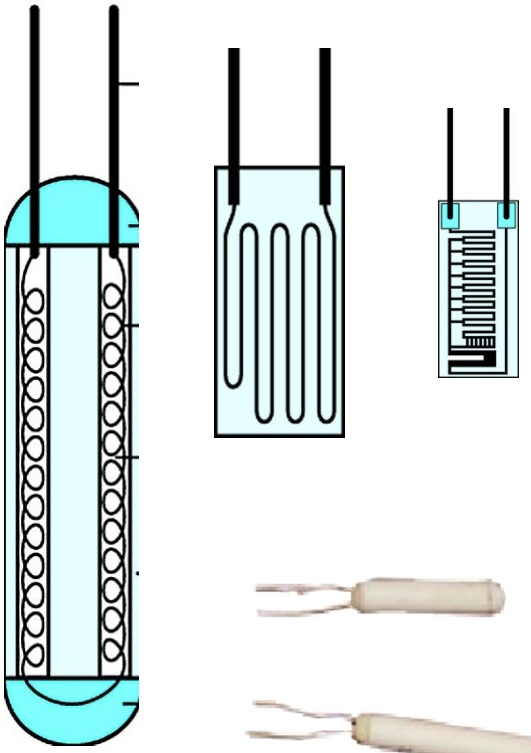
PbTiO3

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

триглицин сульфат
(TGS) и танталат линия (LiTaO3)

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

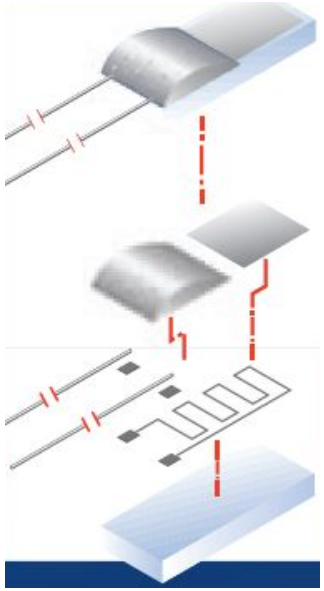
Термометры сопротивления

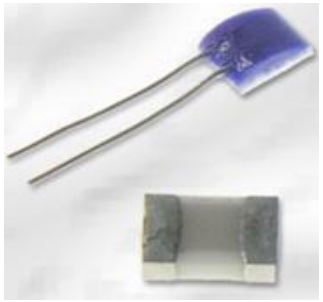


Pt 50

Pt100

Pt1000





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

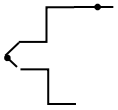
Ni $\alpha = 5{,}39 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$

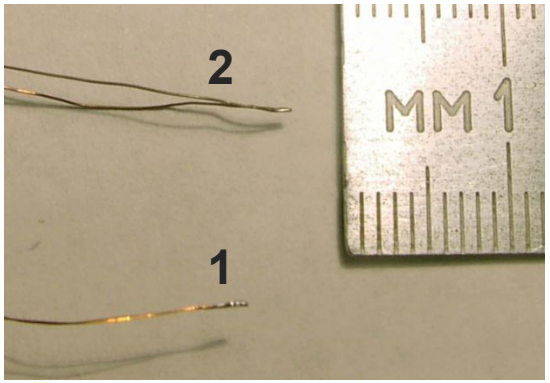
Макс диапазон от -196 °C до +1000 °C

Датчики температуры
Термопары

Датчики на основе термоэлектрических преобразователей

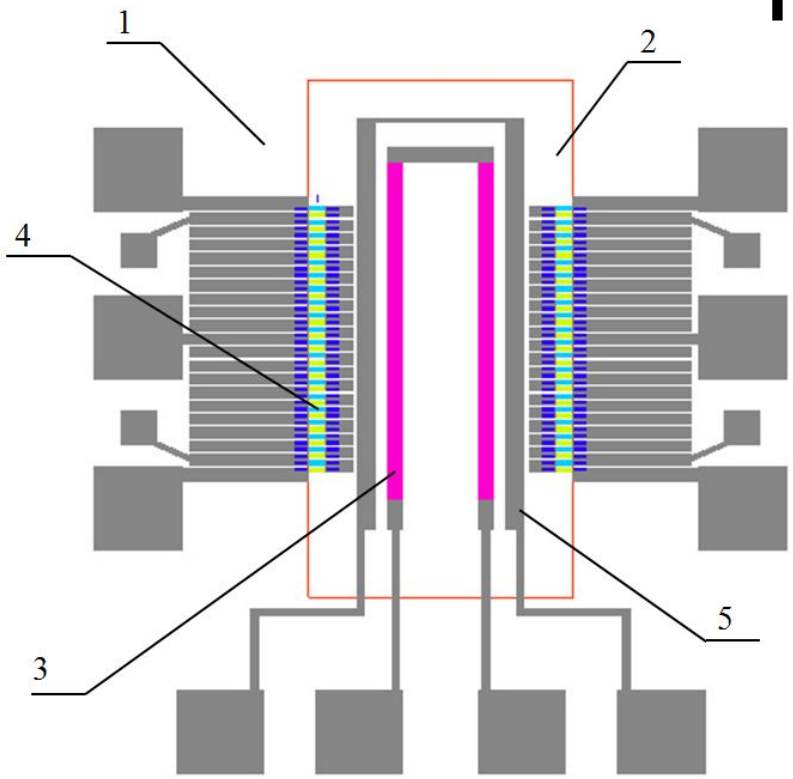
Металлы и сплавы
в зависимости от типа от -200 °С до +1800 °С

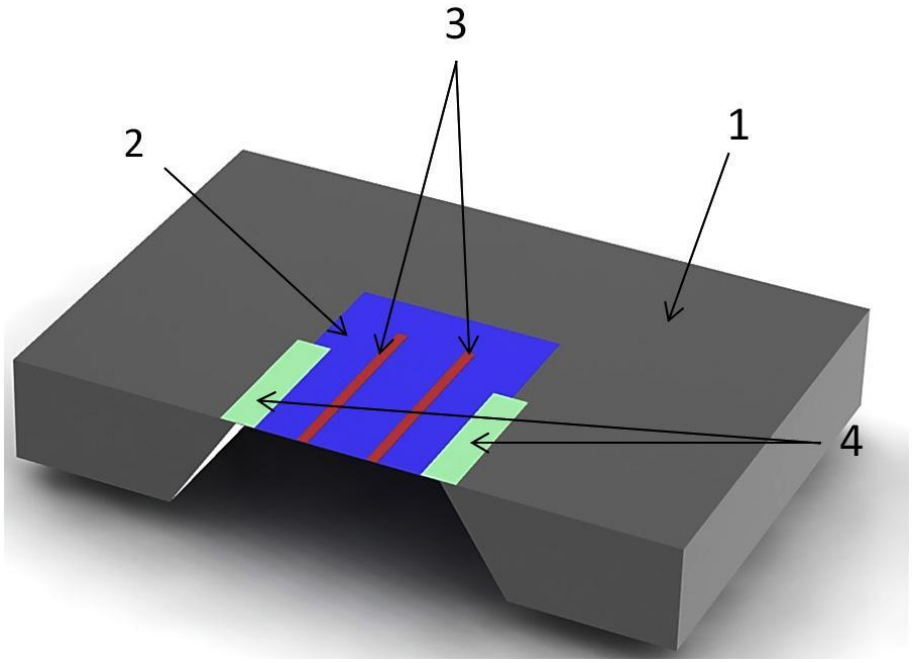




Полупроводники
кремний
-20 °С до +85 °С

Тепловой преобразователь

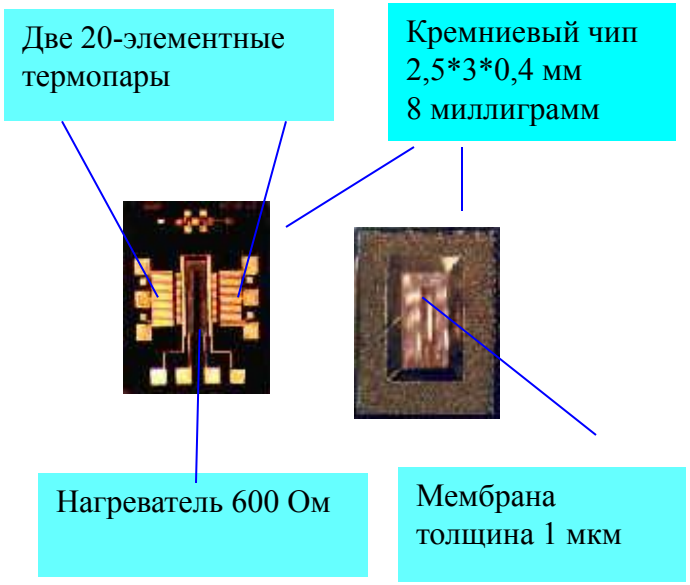




1) основание 2) мембрана 3) нагреватель 4) батарея термопар 5) алюминиевый экран

ТЕПЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Тепловой микропреобразователь



Мембрана из чередующихся слоев SiO_2 и Si_3N_4 → **Механическая прочность**

Поликремниевые термопары → **Высокая термоЭДС и стабильность**

Нагреватель с низким ТКС → **Линейность преобразования**

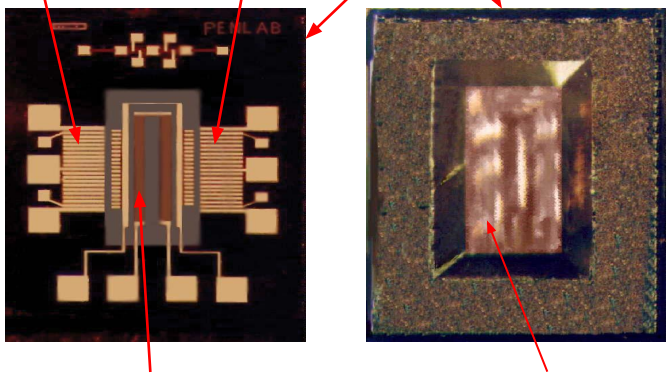
Датчик – прототип для

- **микрорасходомера**
- **вакуумметра**
- **инклинометра**
- **акселерометра**
- **термоанемометра**

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**

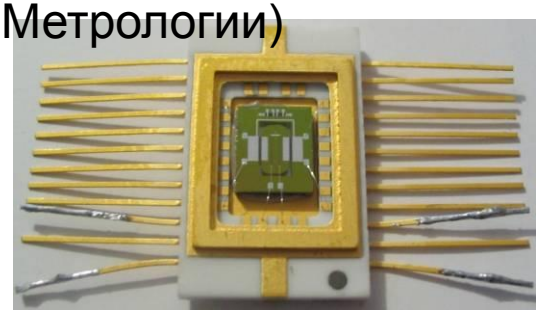
Нагреватель с низким ТКС → **Линейность преобразования**

Датчик – прототип для

- **микрорасходомера**
- **вакуумметра**
- **инклинометра**
- **акселерометра**
- **анемометра**
- **болометра**

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ (AC-DC converter)

Вторичный эталон напряжения (совместно с ВНИИ Метрологии)



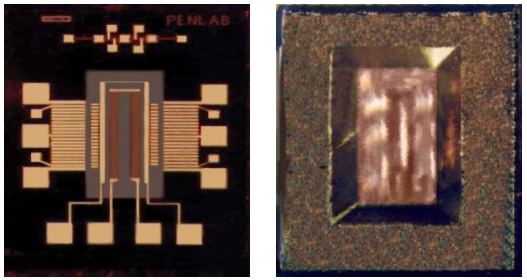
Частотный диапазон: 10 Гц …1 МГц

Входное напряжение: 1В
Выходное напряжение: 100 мВ

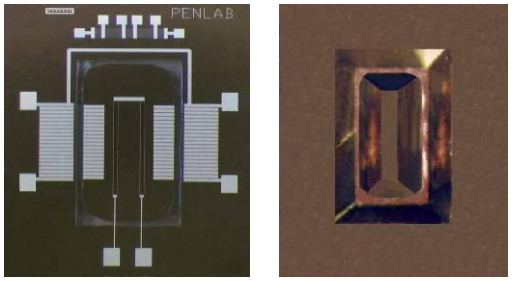
Точность измерения: 10^{-5} %

Долговременная стабильность: > 10 лет

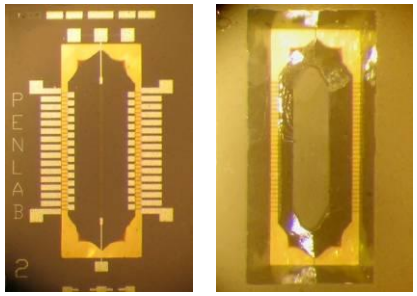
1-е поколение



2-е поколение



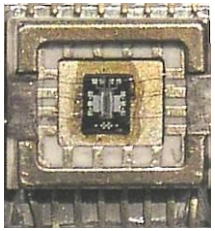
3-е поколение



ТЕПЛОВОЙ РАСХОДОМЕР

Принцип действия:

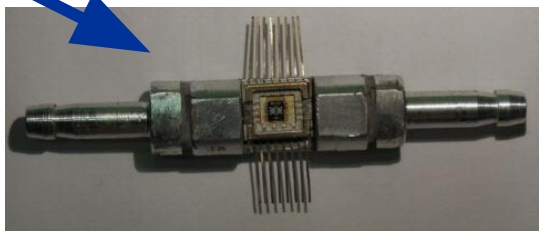
термоанемометр с косвенным подогревом



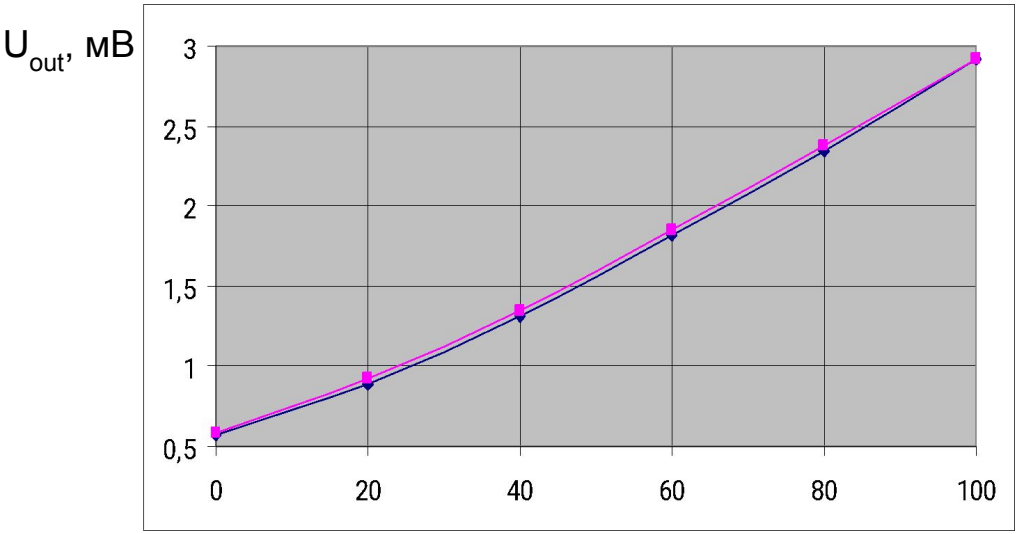
Объемный расход газа

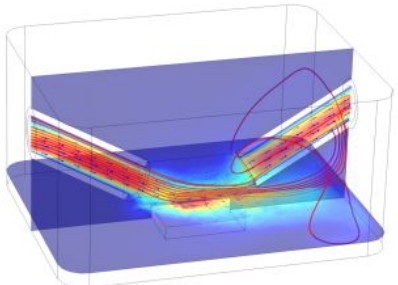
Диапазон измерения: 0…250 мл / мин

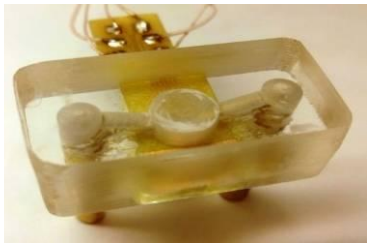
Погрешность измерения: не более 2%



Замена ротаметров в технологических установках







Расходомер в корпусе из профилированного оргстекла

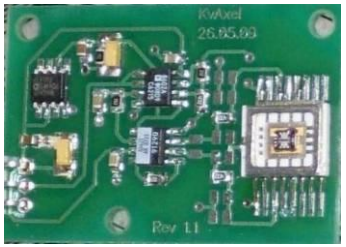
ИНКЛИНОМЕТР и АКСЕЛЕРОМЕТР

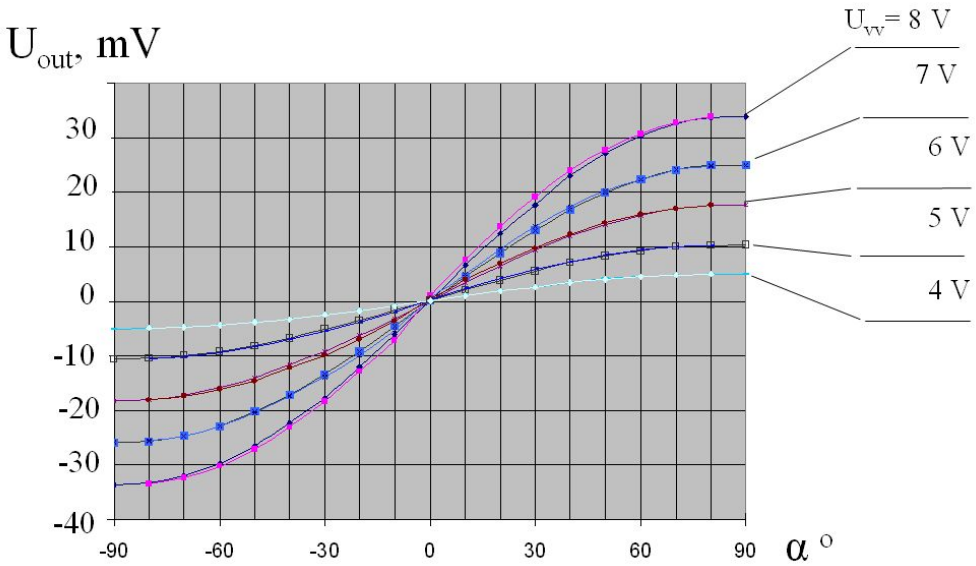
Принцип действия: конвекция в замкнутом объеме

Отклонение от вертикали:

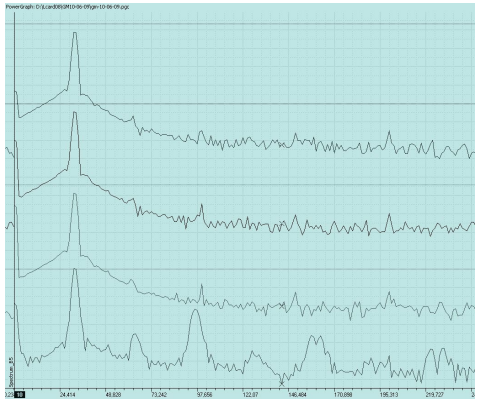
Диапазон углов: +/- 90°

Точность: не менее 0,1%





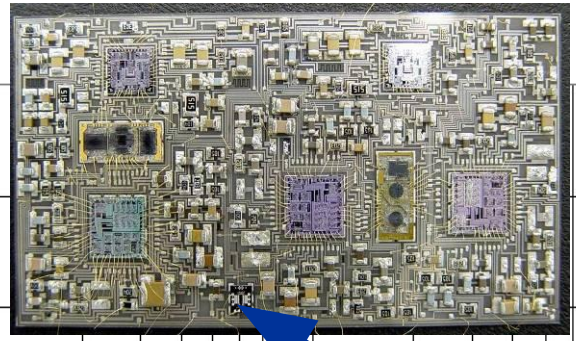
Зависимость выходного сигнала от угла наклона

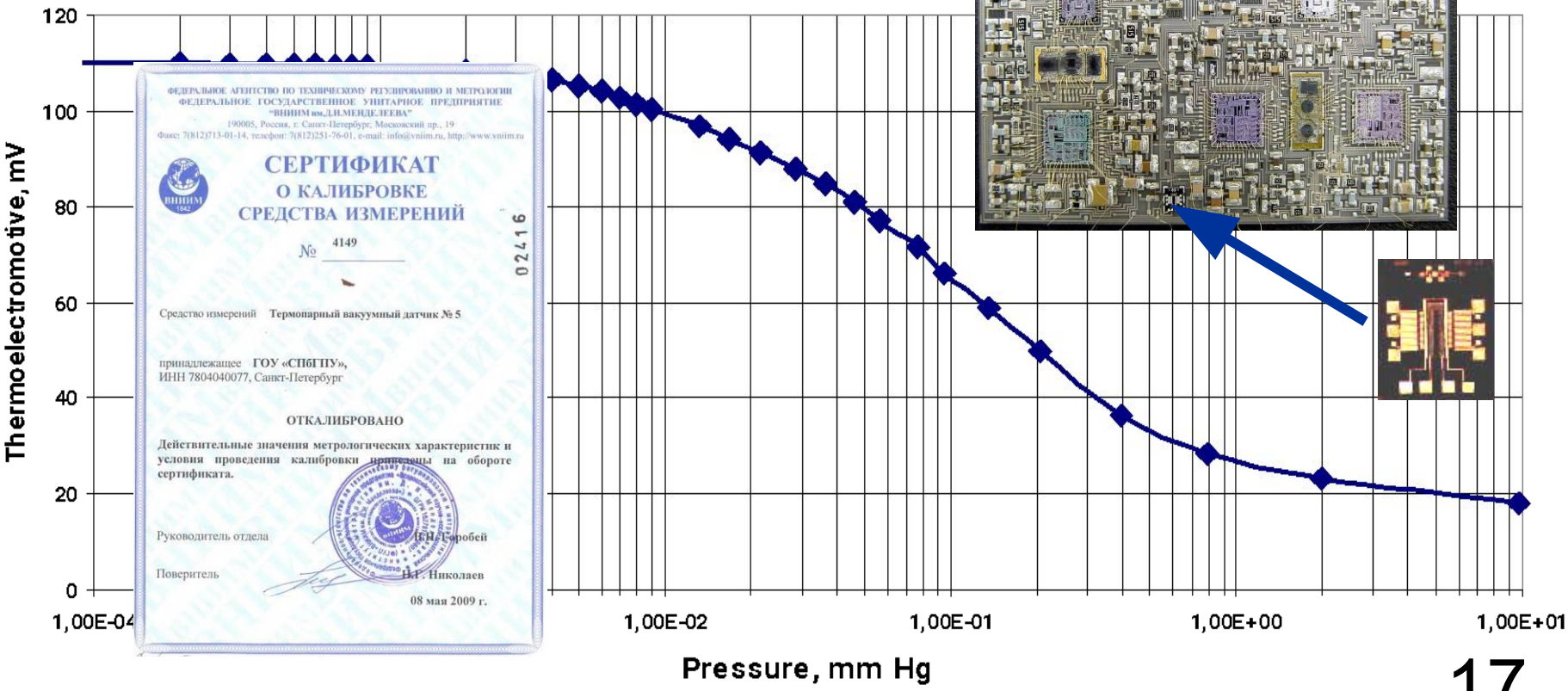


Сравнение частотных откликов трех тепловых акселерометров и одного микромеханического акселерометра фирмы Analog Device

ТЕПЛОВОЙ ДАТЧИК ВАКУУМЕТРА

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





ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ВНИИМ им.Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА"
190005, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 19
Факс: 7(812)713-01-14, телефон: 7(812)251-76-01, e-mail: info@vniim.ru, http://www.vniim.ru

СЕРТИФИКАТ
О КАЛИБРОВКЕ
СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

№ 4149

02416

Средство измерений Термопарный вакуумный датчик № 5

принадлежащее ГОУ «СПбГПУ»,
ИНН 7804040077, Санкт-Петербург

ОТКАЛИБРОВАНО

Действительные значения метрологических характеристик и условия проведения калибровки приведены на обороте сертификата.

Руководитель отдела Г.Н. Горобей

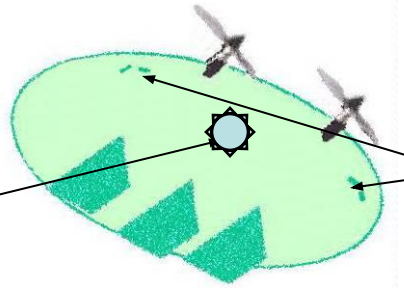
Поверитель Н.Г. Николаев

08 мая 2009 г.

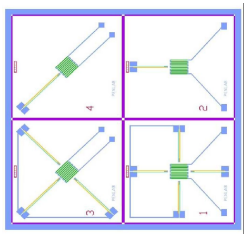
Тепловые датчики для управления миниатюрными беспилотниками

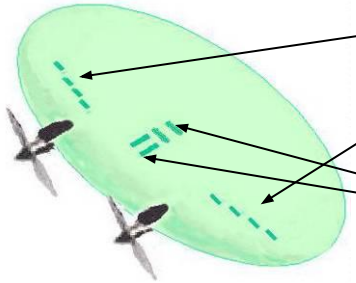
ГНЦ РОССИИ
ЦНИИ РОБОТОТЕХНИКИ и ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

инерциальная навигационная система (акселерометры)



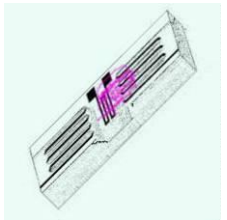
датчики истинной воздушной скорости (термоанемометры)





датчики отрыва потока (термоанемометры)

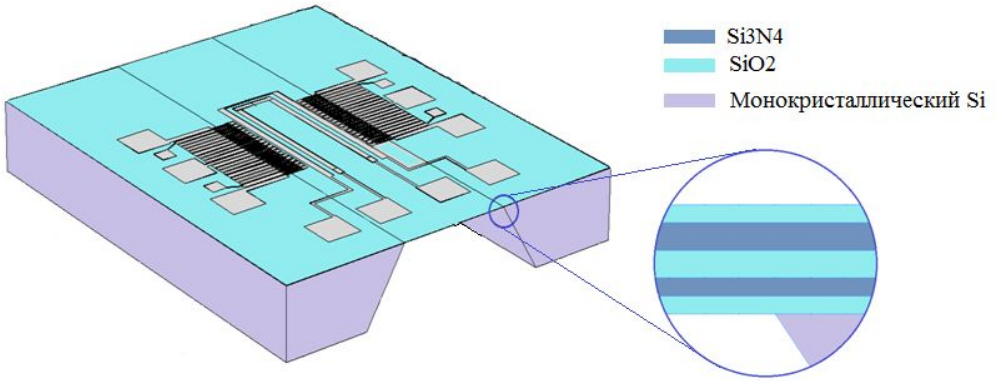
датчики крена и тангажа (инклинометры)

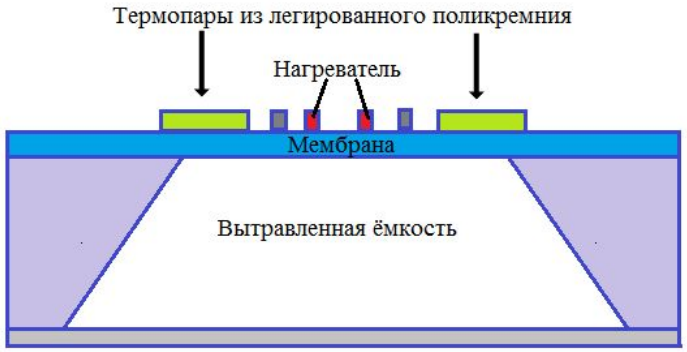


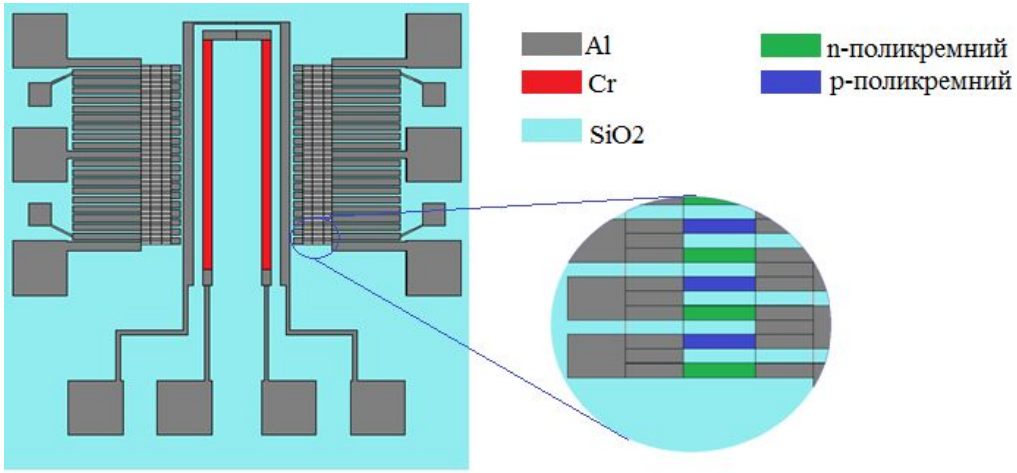
Преимущества тепловых сенсоров:

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

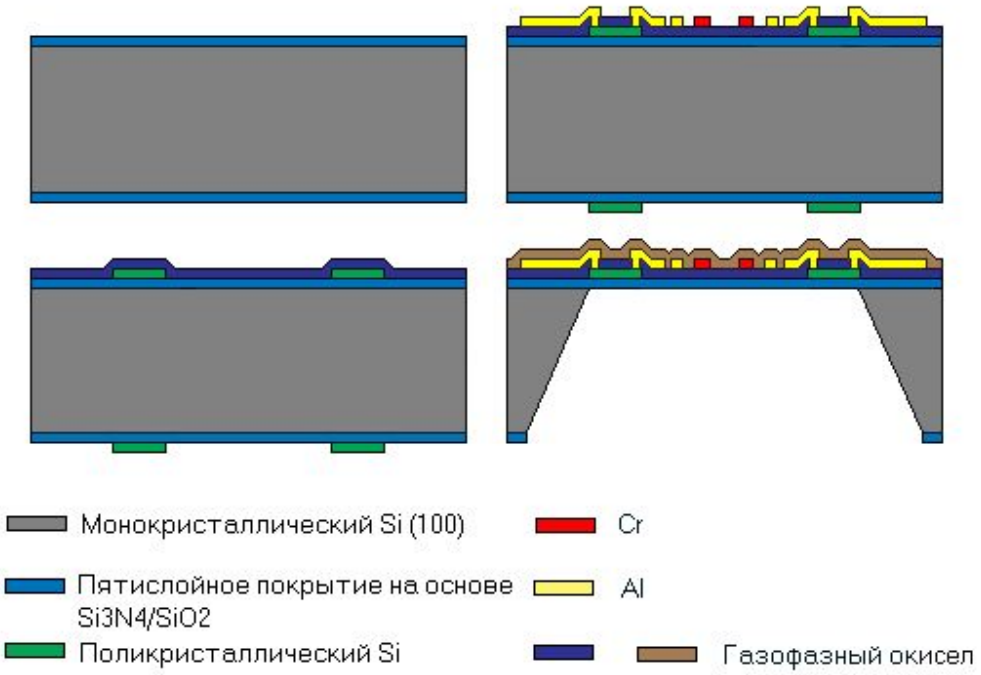
Конструкция микродатчика.

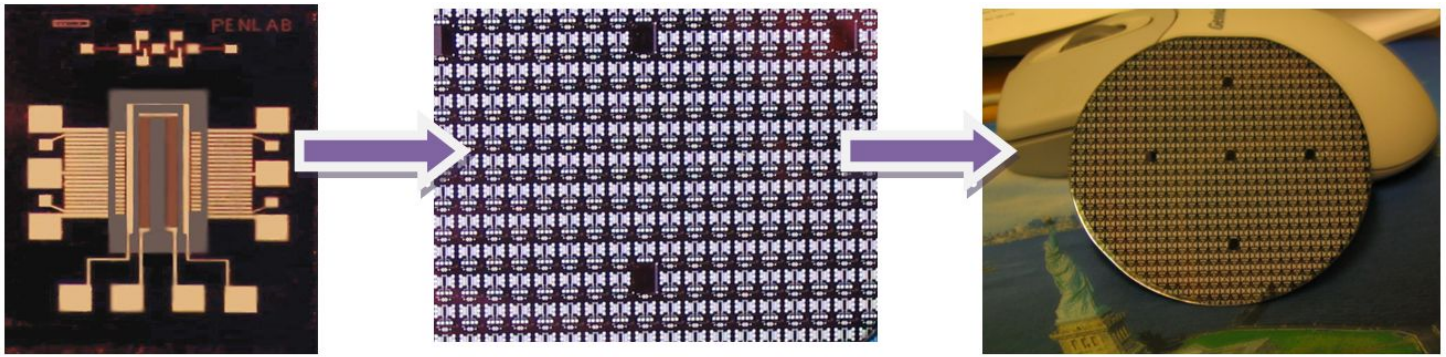


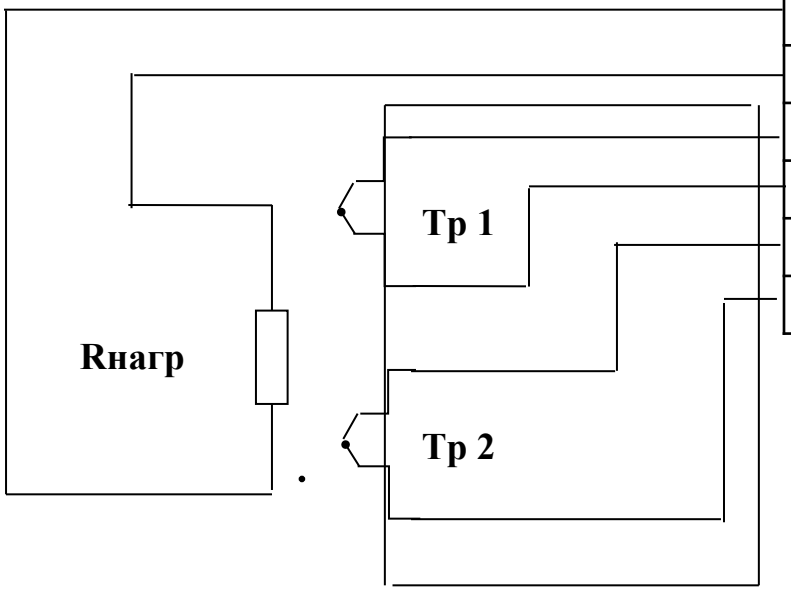




Технология изготовления теплового микродатчика.



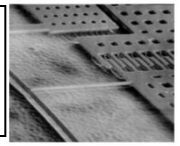


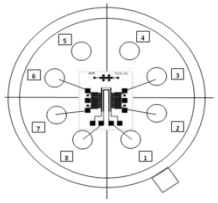


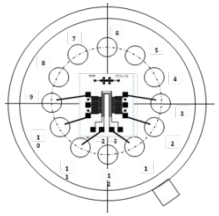
Конт.	Цепь
4	Uпит«Rнагр»
6	Uпит «Rнагр»
13	Uвых «Тр 1»
15	Uвых «Тр 1»
22	Uвых «Тр 2»
24	Uвых «Тр 2»

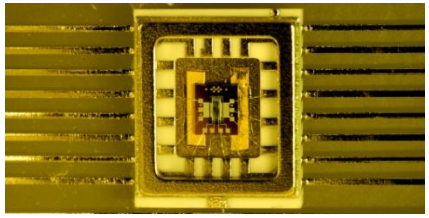
Санк -Петербургский Государственный т Политехнический Университет

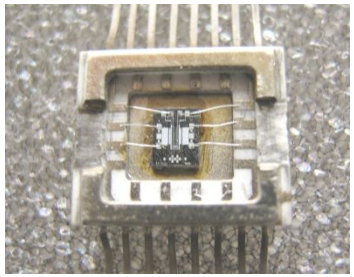
Лаборатория нано- и микросистемной техники

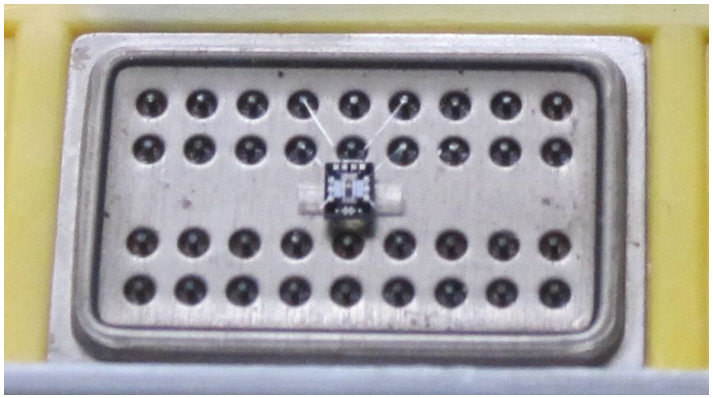




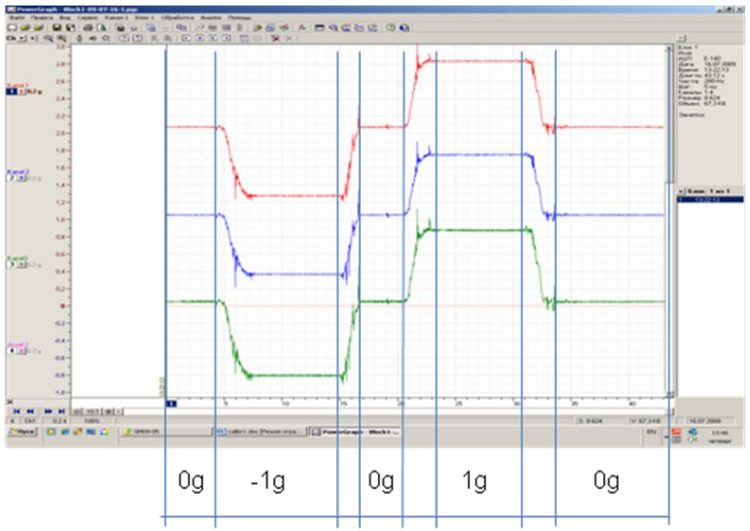


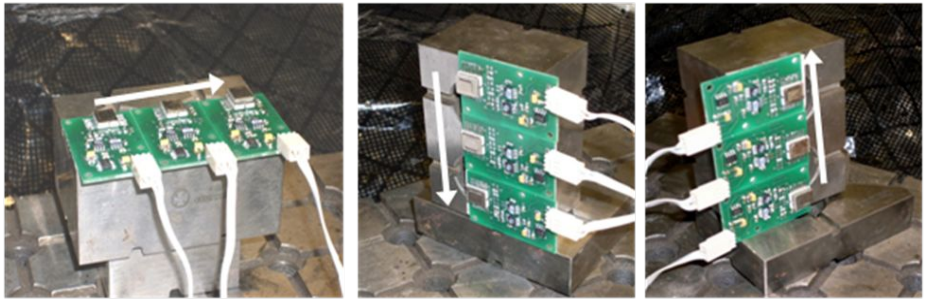






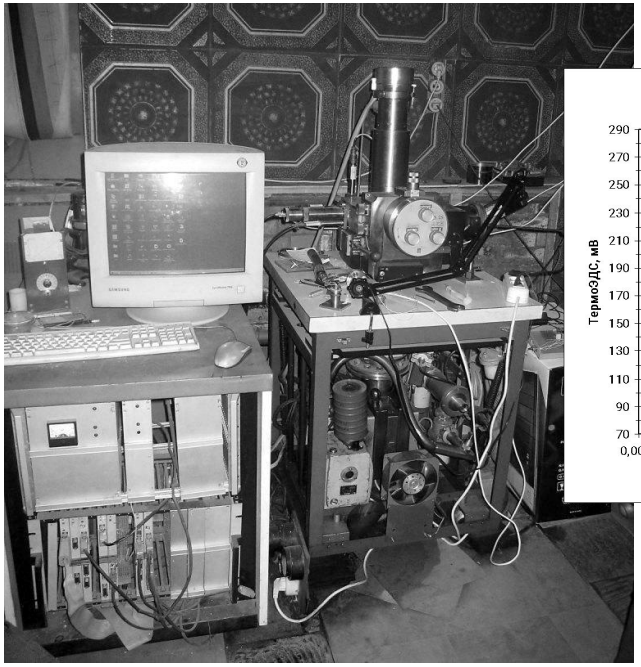
Акселерометр -ТАКС

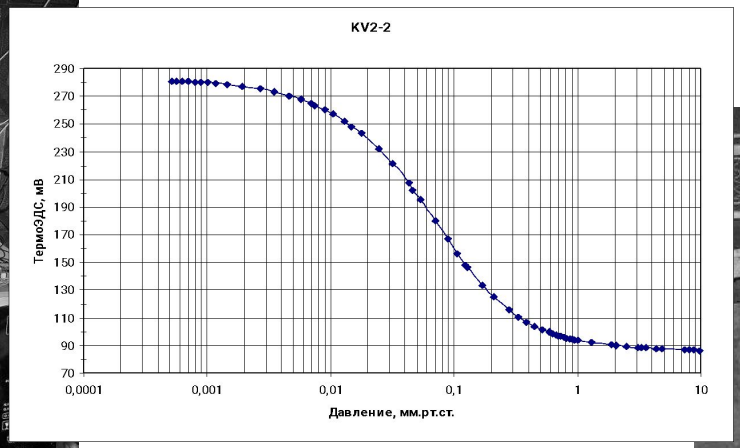


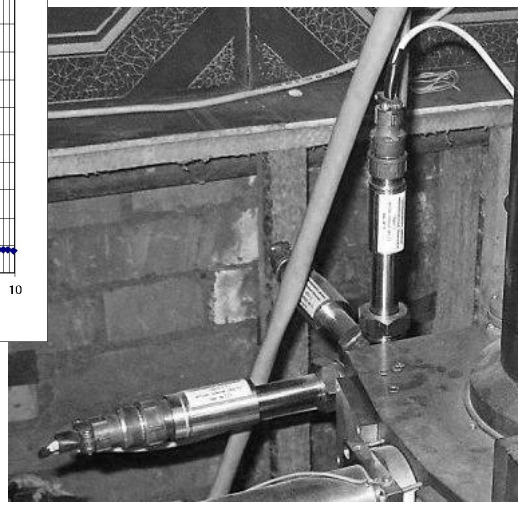


0g(0°) -1g(-90°) 1g (90°)

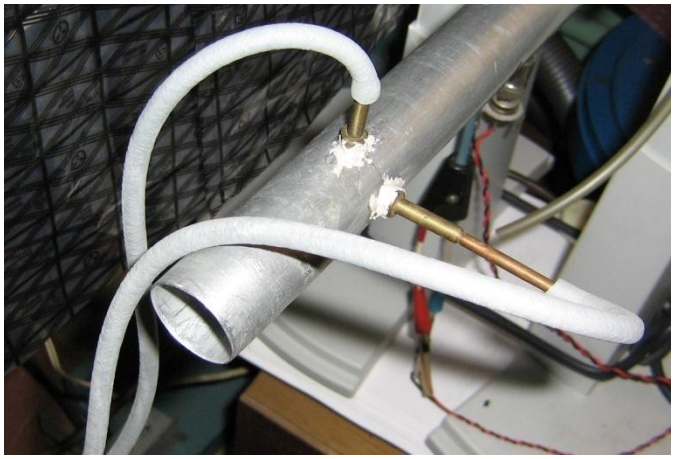
Вакуумметр форвакуумного диапазона ТВАК







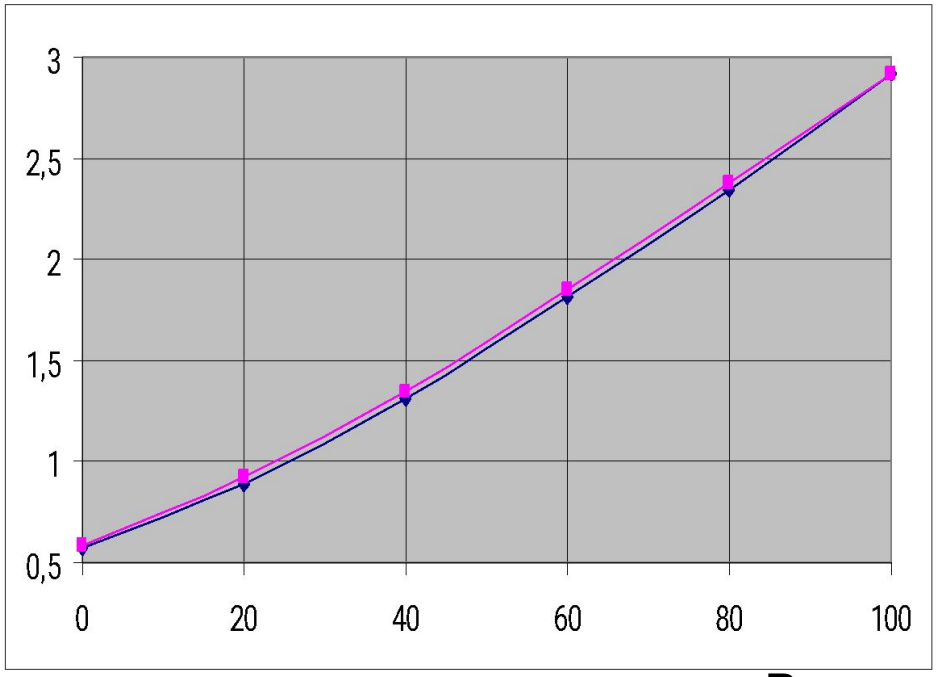
Измеритель скорости потока газов ИСПГ

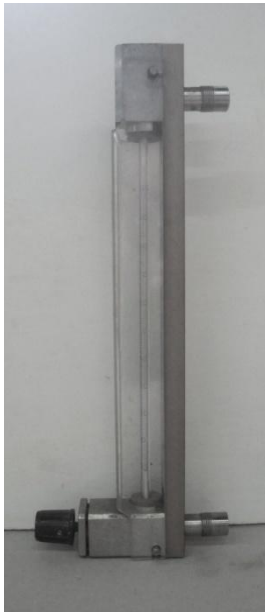


Термоанемометр АКТАКОМ АТТ-1004

расходомер ТИРГ

$U_{вых}$, мВ





Расход, мл / мин