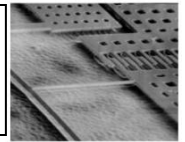




Санкт-Петербургский Государственный  
Технический Университет

Лаборатория нано- и  
микросистемной техники



# «Типы и конструкции микроэлектромеханических систем»

## Сенсоры

Ю.Д.Акульшин

Вед.инженер НИЛ «НМСТ»

Санкт-Петербург - 2018

Лекция 3

## 2.Сенсоры. Классификация сенсоров.

### Лекция 2

- Классификация сенсоров: назначение, вид преобразования, условия эксплуатации.
- Характеристики сенсоров: диапазон измерения, чувствительность, точность, линейность, селективность.
- Стандартизация и сертификация сенсоров.

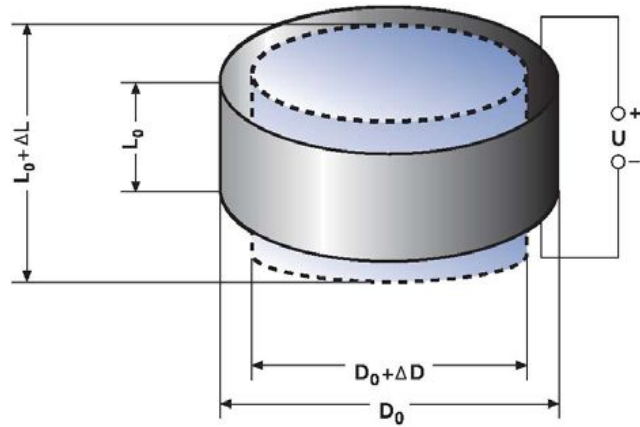
**Сенсоры** – преобразователи внешнего физического воздействия в удобный для измерения сигнал;

- Стандартизация и сертификация сенсоров.

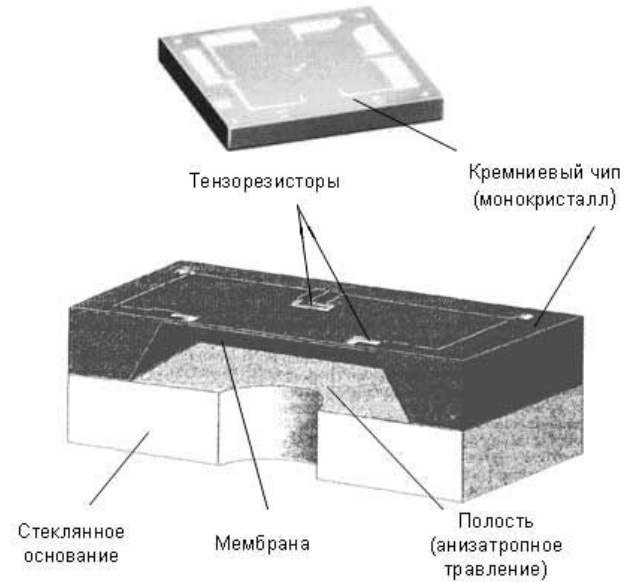
## 2.Сенсоры. Классификация сенсоров.

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

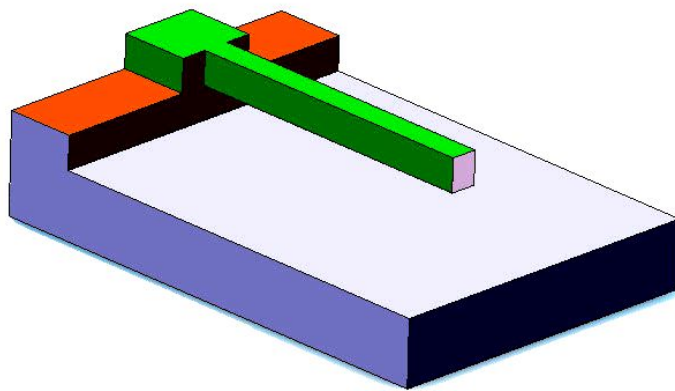
# Механические конструкции



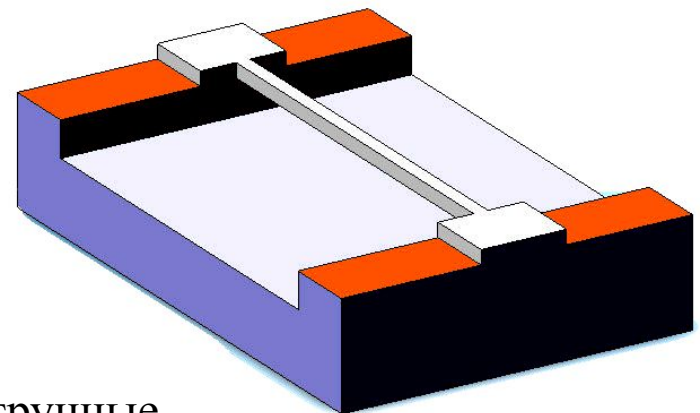
объемные



мембранные



балочные



струнные.

## Пьезоэлектрические преобразователи.

Виды преобразователей.

Величина заряда, генерируемого на поверхности пьезоэлектрического кристалла, пропорциональна силе, приложенной, например, в направлении оси  $x$ :

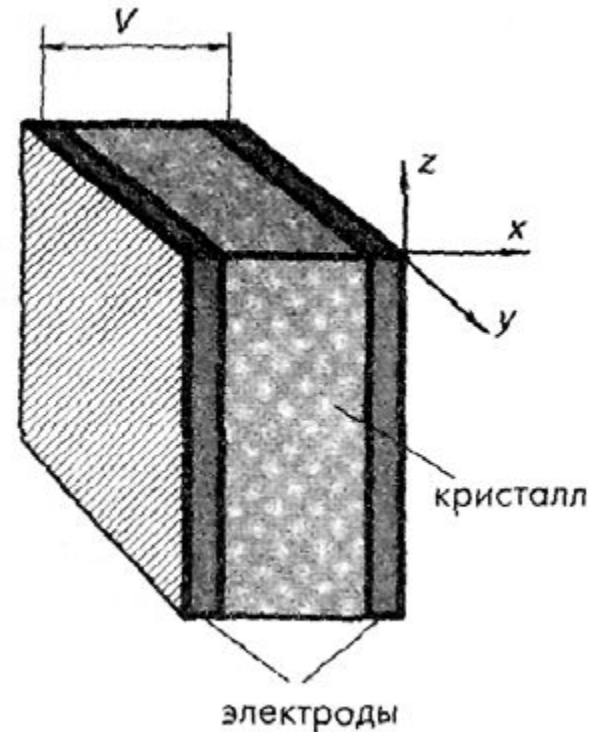
$$Q_x = d_{11} F_x.$$

$d_{11}$  пьезоэлектрический коэффициент вдоль оси

При емкости преобразователя  $C$ ,  
*напряжение определяется*  
выражением:

$$V = \frac{Q_x}{C} = \frac{d_{11}}{C} F_x.$$

Пьезоэлектрики являются прямыми преобразователями механической энергии в электрическую.



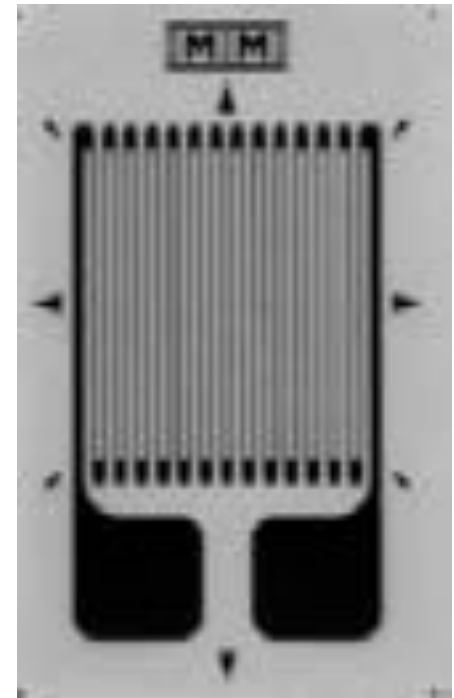
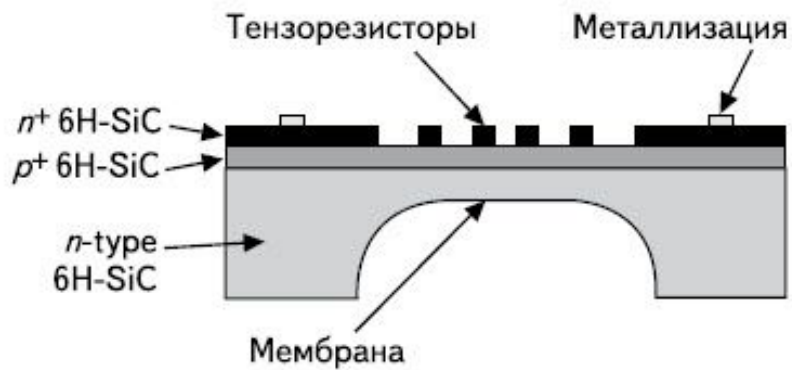
## Тензорезистивные преобразователи

$$\sigma = \frac{F}{a} = E \frac{dl}{l}, \quad R = \rho l^2 / v. \quad \frac{dR}{dl} = 2 \frac{\rho}{v} l$$

Относительное изменение сопротивления проводника является линейной функцией от деформации  $\epsilon$

$S_e$  – коэффициент тензочувствительности для металлических проводников в пределах **2...6**, для полупроводников – **40...200**.

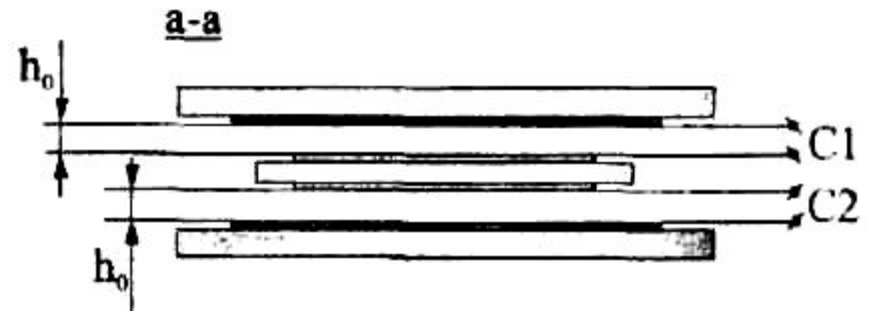
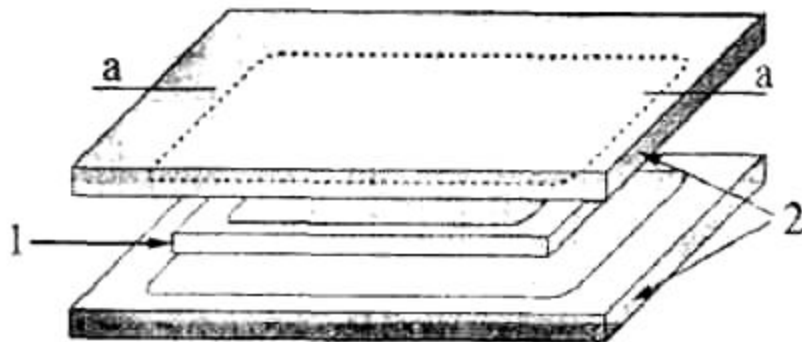
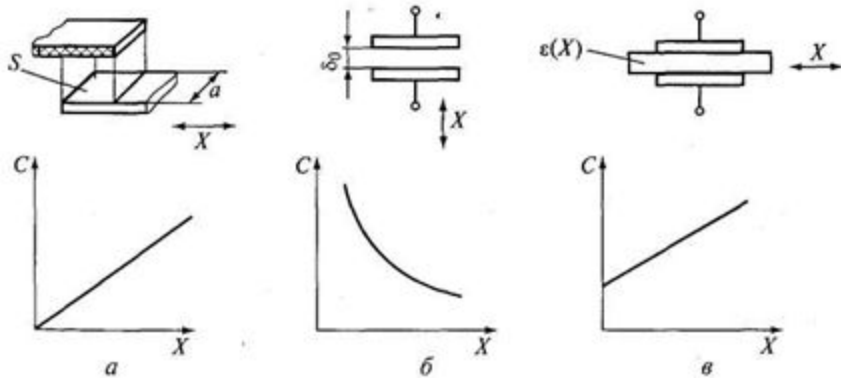
$$\frac{dR}{R} = S_e \epsilon$$



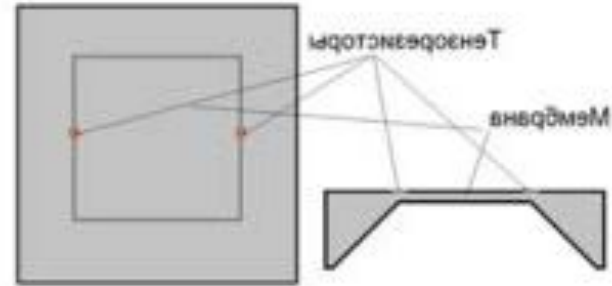
## Емкостные преобразователи.

емкость  $C$  изменяется прямо пропорционально площади электродов  $S_y$  и обратно пропорционально расстоянию между ними  $d$ :

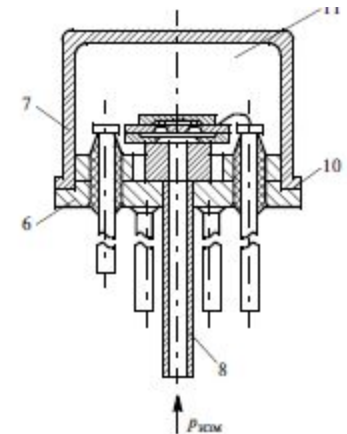
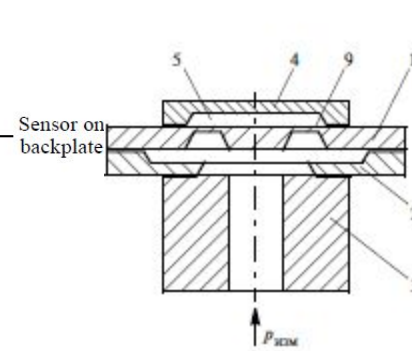
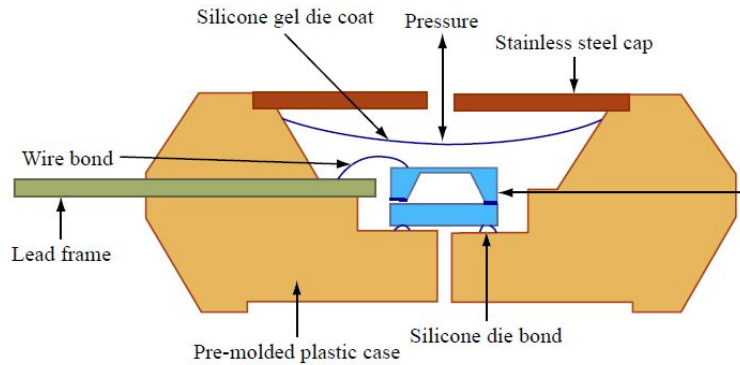
$$C = \epsilon_0 \frac{S_y}{d},$$



# Датчики давления



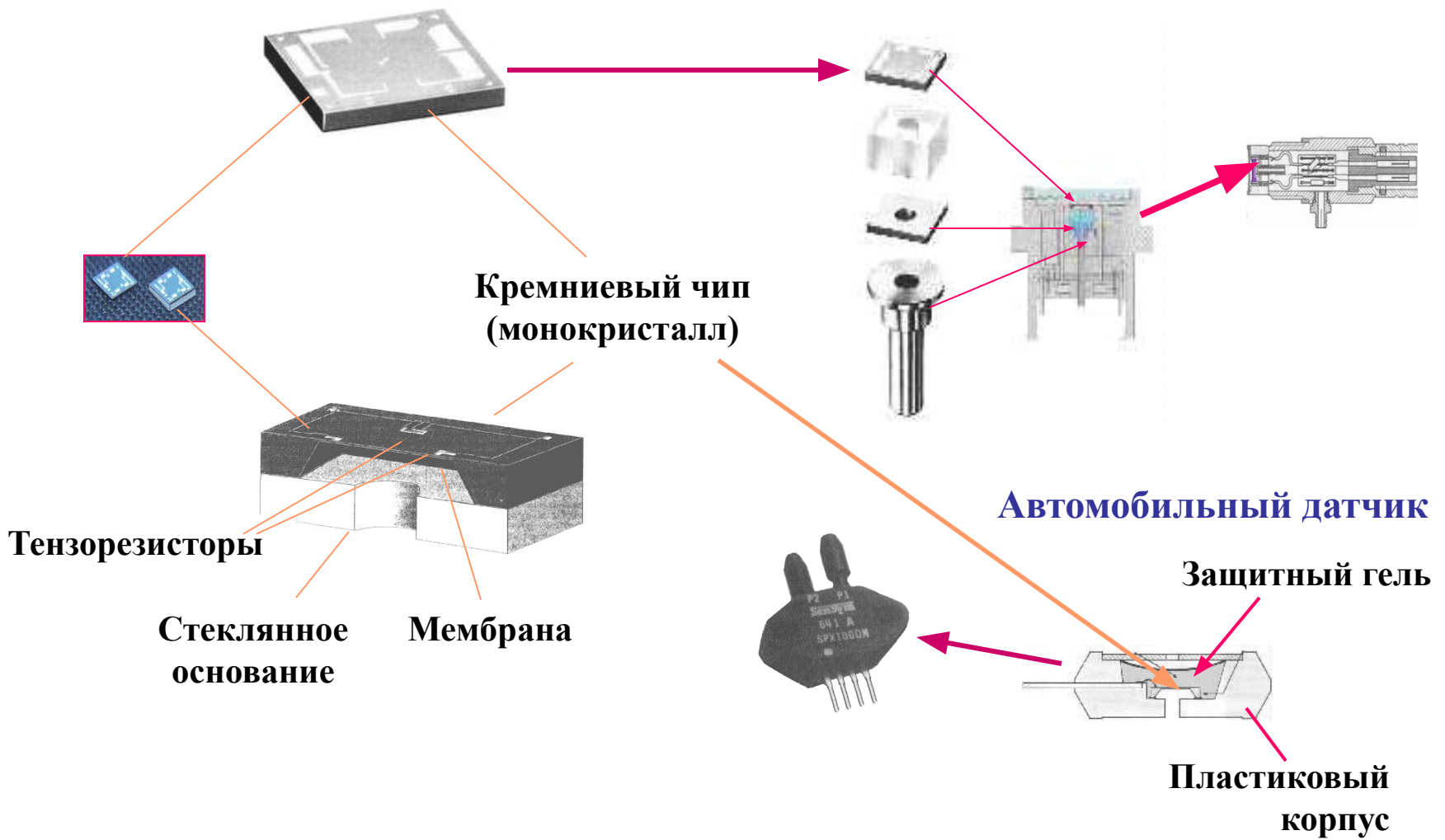
## Тензорезистивные





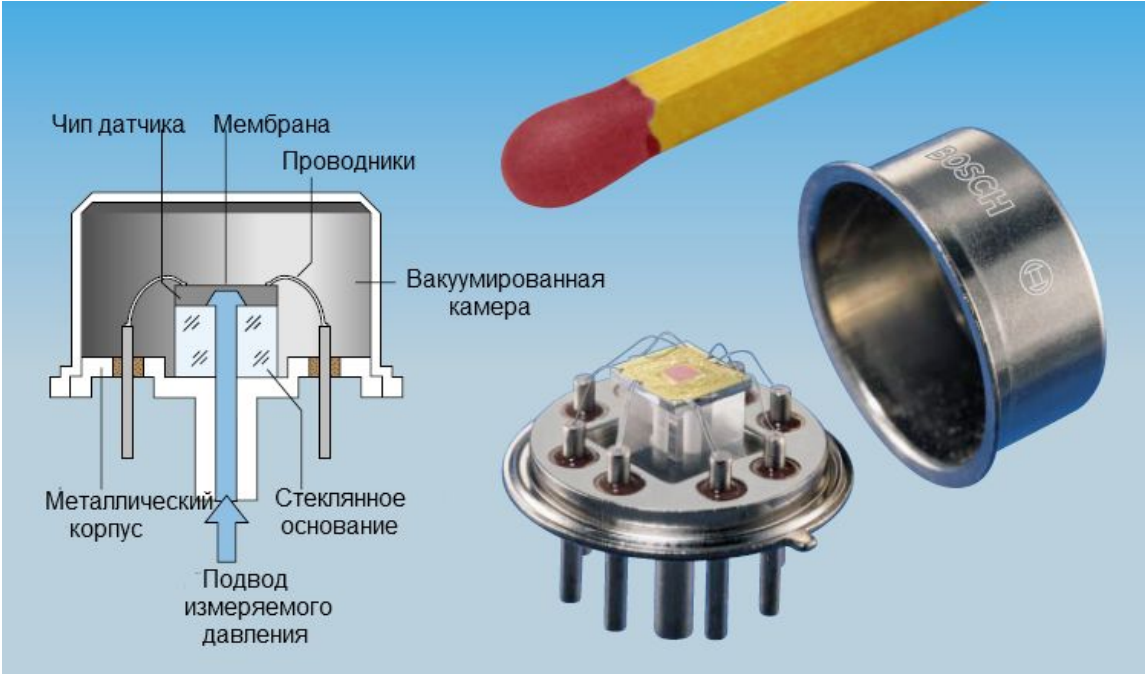
# МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

## Датчик промышленного стандарта

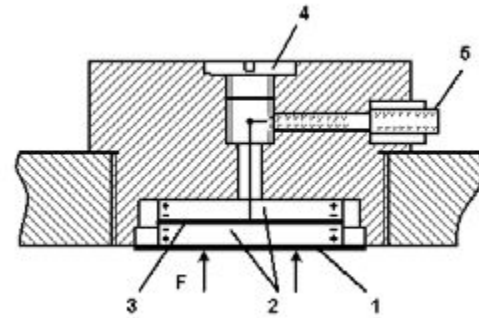


# МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

## Автомобиль

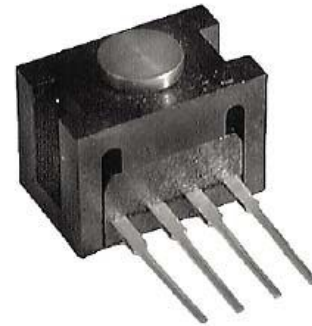


# Датчики давления

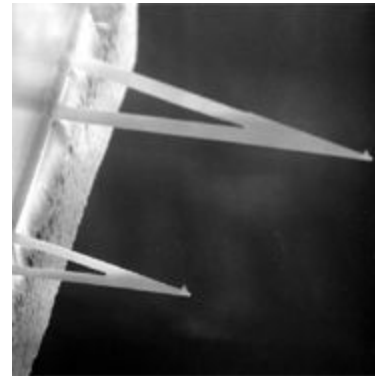
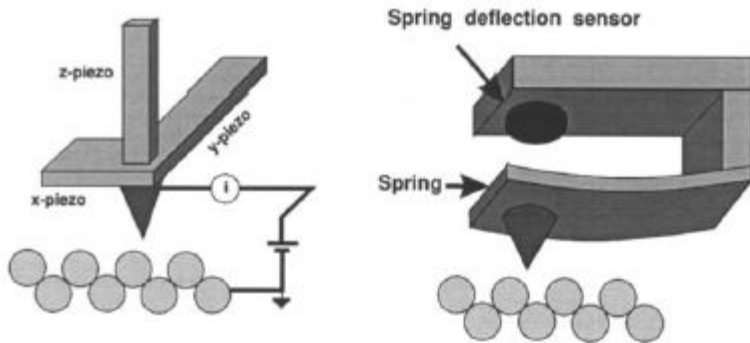


**Пьезоэлектрические**

# Датчики силы



**Тензорезистивные**

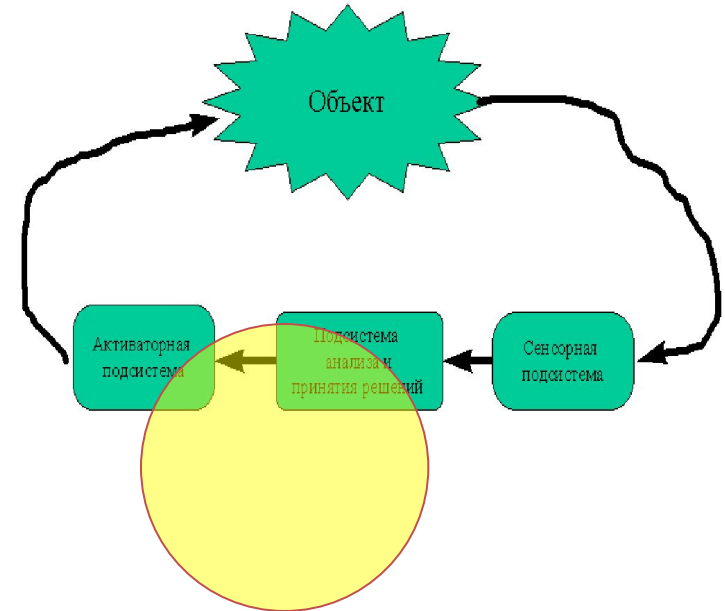


АСМ – атомно силовой микроскоп

# Микротехнологии



# Микроэлектроника



**Параллельное (“групповое”)  
изготовление большего  
количества одинаковых  
устройств**

**Однотипное и одновременное создание  
сложных комплексных структур**

Усложнение геометрической конфигурации не является ограничением и не ведет к удорожанию устройства

$$S = \frac{10^6}{N}$$

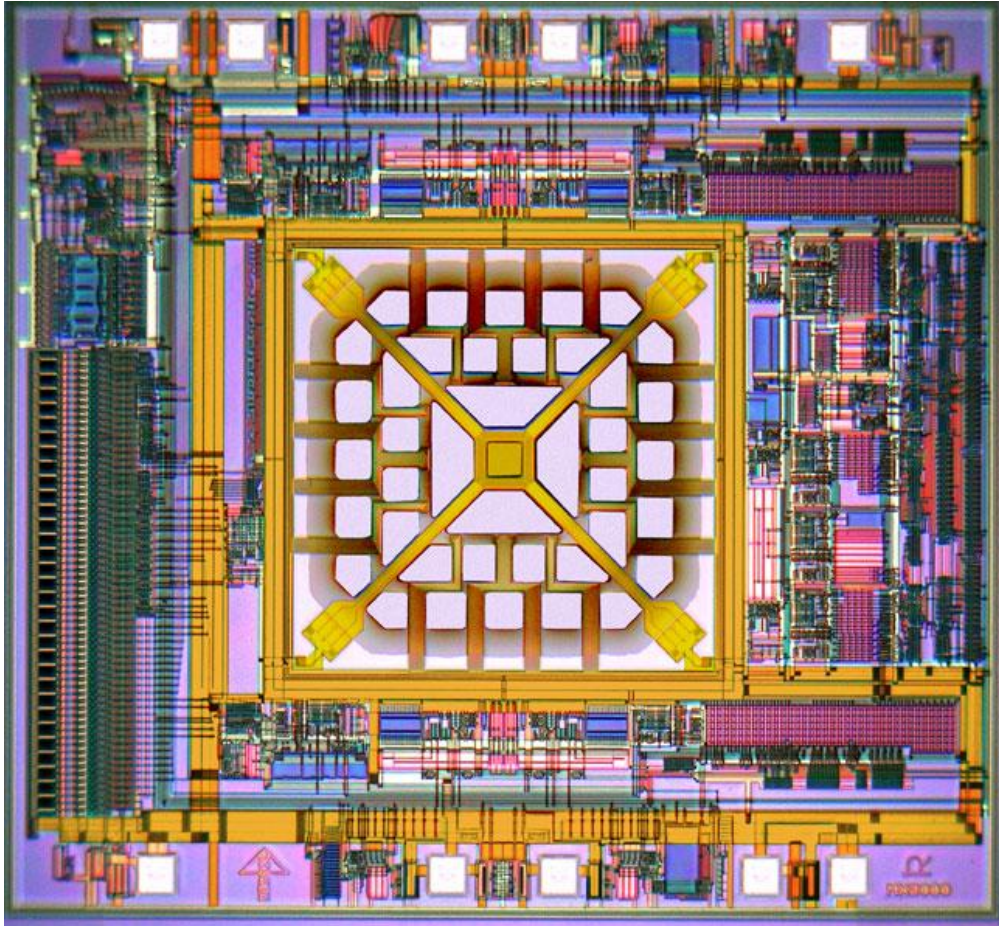
Снижение сроков разработки и стоимости производства

**Низкая стоимость  
единичного изделия**

## A Microfabricated Inertial Sensor

MEMSIC  
(Andover, Mass.)  
Two-axis thermal-bubble  
accelerometer

Technology: standard  
CMOS electronics with  
post processing to form  
thermally isolated sensor  
structures



*Твердотельное 3D моделирование*

*Добавление электрических, механических, кинематических аэродинамических и др. расчетов и моделирования*



*Толще пленки  
глубже травление  
больше этапов*

Многочисленные циклы обработки

*Удаление промежуточных слоев материала  
для отделения механических частей*



*Специализированное тестирование, разделение на части и методики по защите разделенных частей*

*Уплотнение одних частей при обеспечении свободного доступа к другим*

*Тестирование не только электрических параметров*





# Технологии поверхностной микромеханики

Si-пластина



Защитный слой-  
нитрид кремния



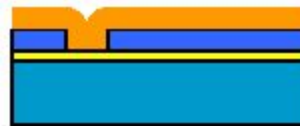
Жертвенный слой -ФСС



ФЛГ –окна для якорей



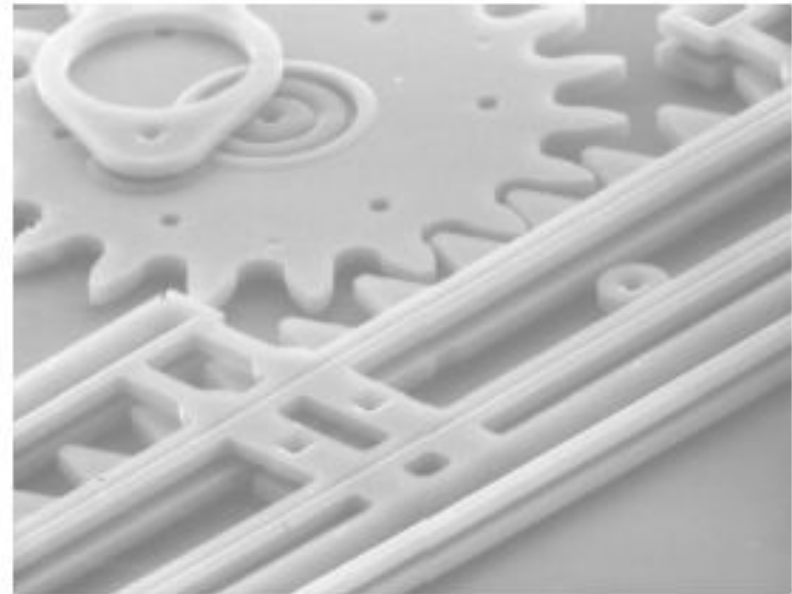
Нанесение Si-пк



ФЛГ по Si-пк



Удаление жертвенного слоя

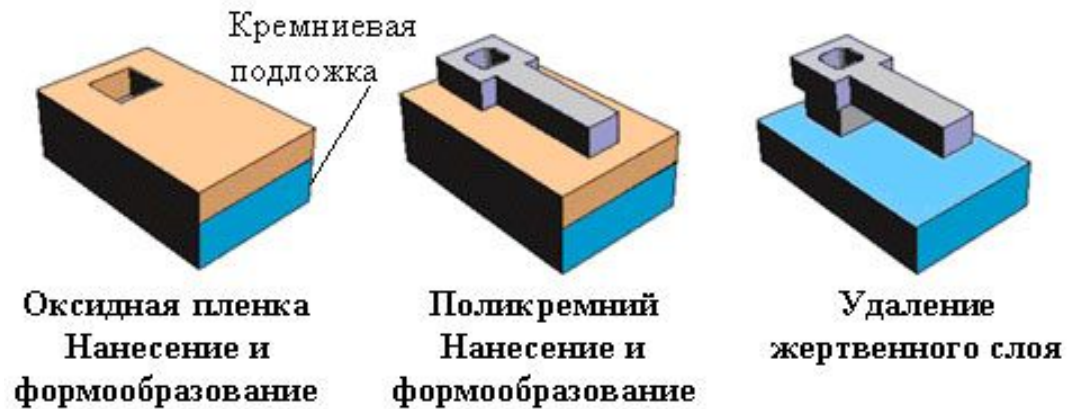


*Sandia National Labs*

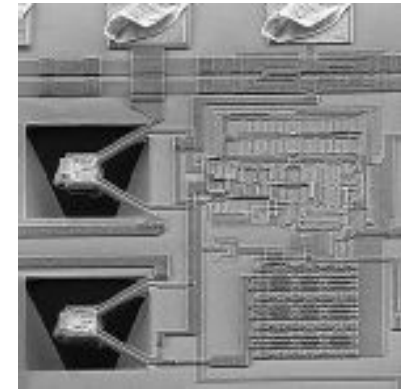
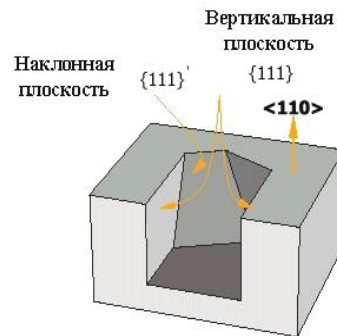
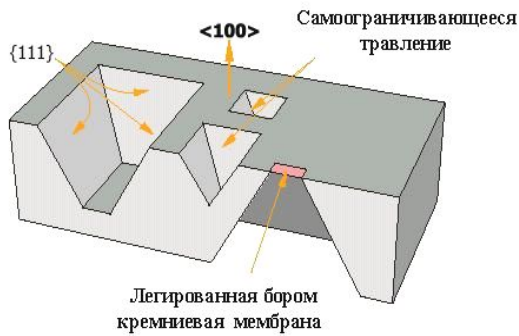
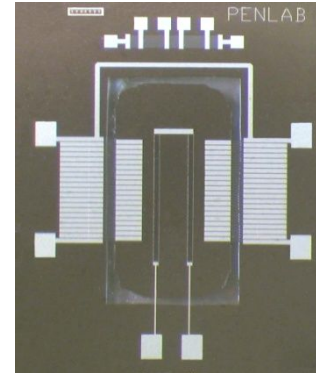
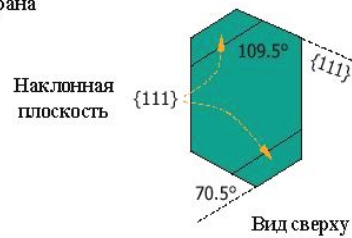
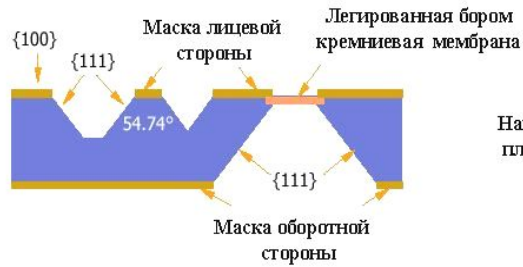
Осушка



# Технологии поверхностной микромеханики

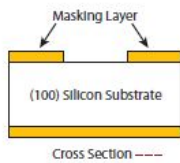
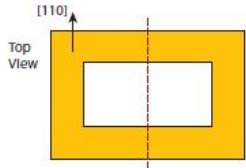


# Технологии объемной микромеханики



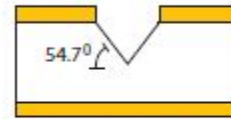
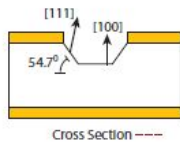
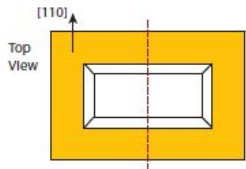


Before Etching

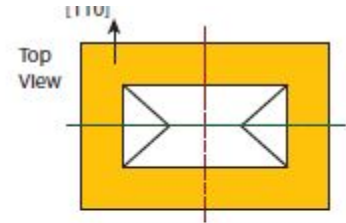


> A rectangular pattern is aligned to a [110] direction on a <100> silicon wafer

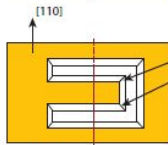
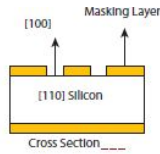
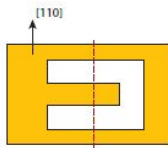
After Etching



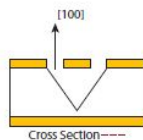
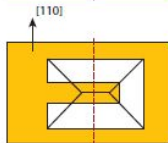
Cross Section ----



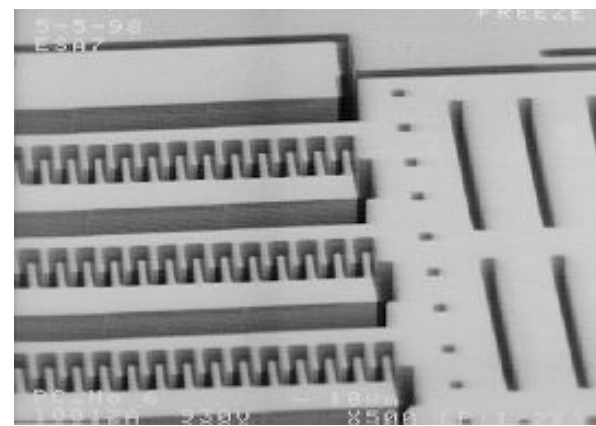
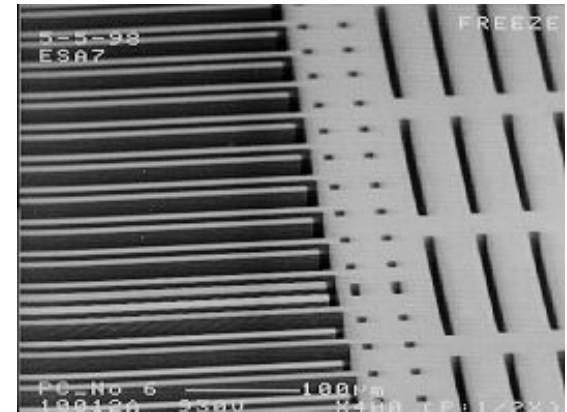
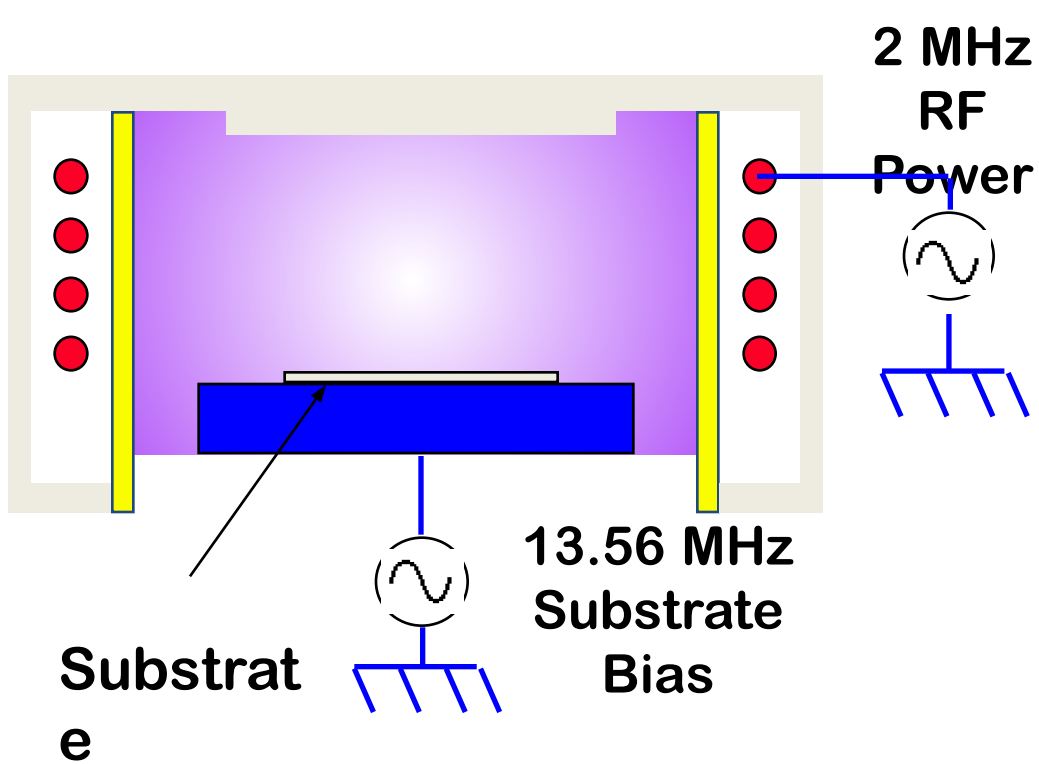
Convex corners become undercut, as there is no single slow-etching (111) plane to stop on



Convex corners are rapidly undercut



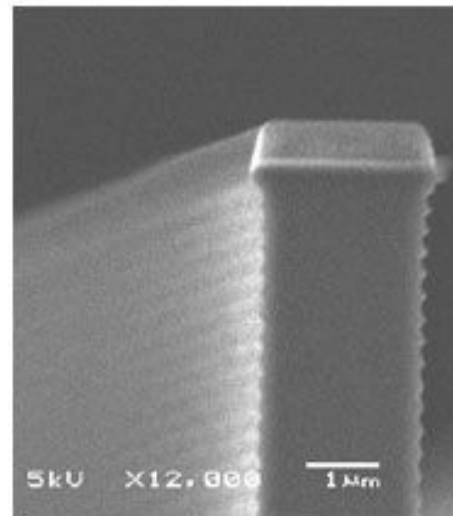
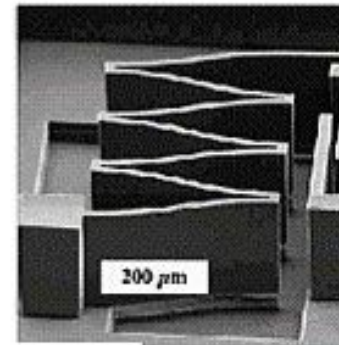
# Технологии объемной микромеханики



# Технологии объемной микромеханики



**ПРУЖИНА**



# LIGA-технология

