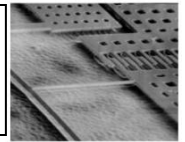




Санкт-Петербургский Государственный
Технический Университет

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.

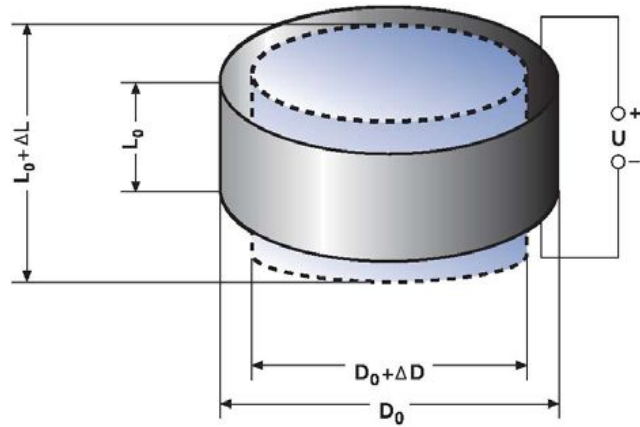
Сенсоры – преобразователи внешнего физического воздействия в удобный для измерения сигнал;

- Стандартизация и сертификация сенсоров.

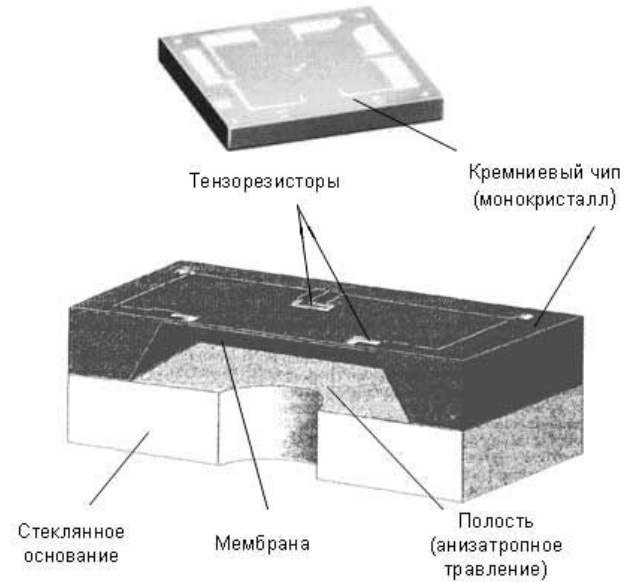
2.Сенсоры. Классификация сенсоров.

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

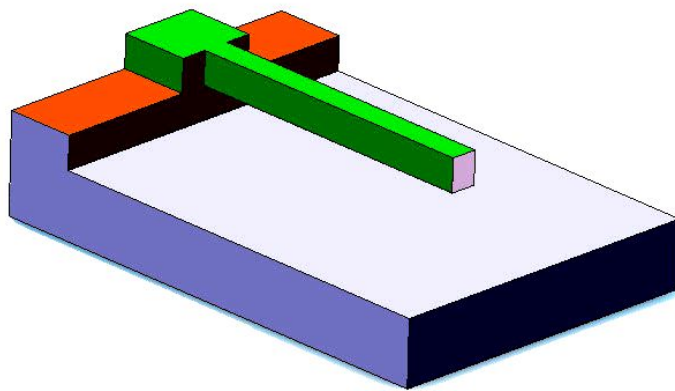
Механические конструкции



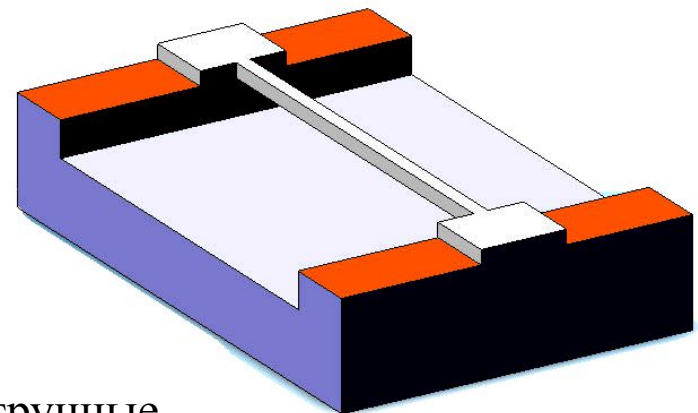
объемные



мембранные



балочные



струнные.

Пьезоэлектрические преобразователи.

Виды преобразователей.

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

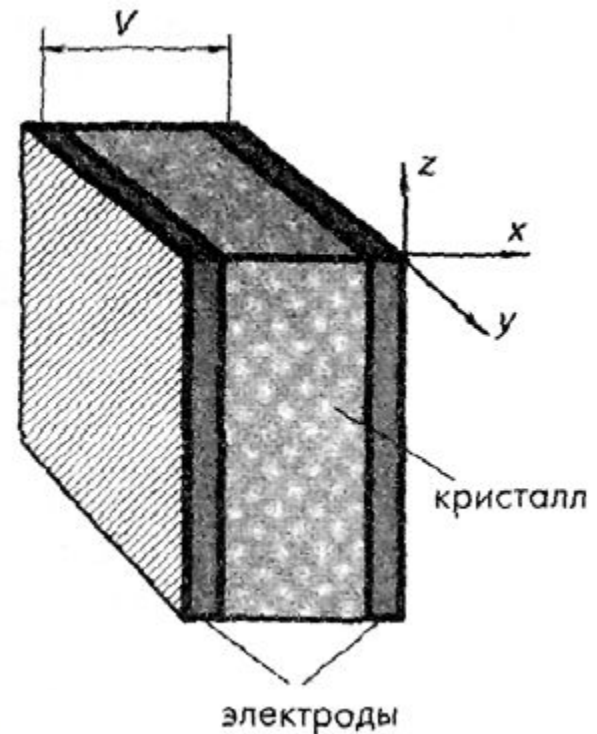
$$Q_x = d_{11} F_x.$$

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.



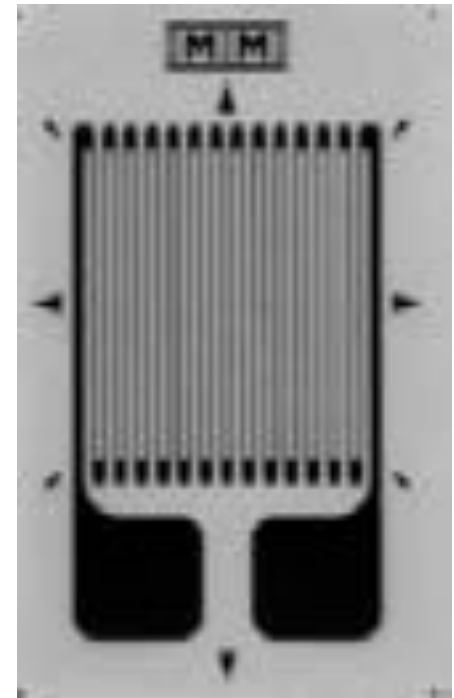
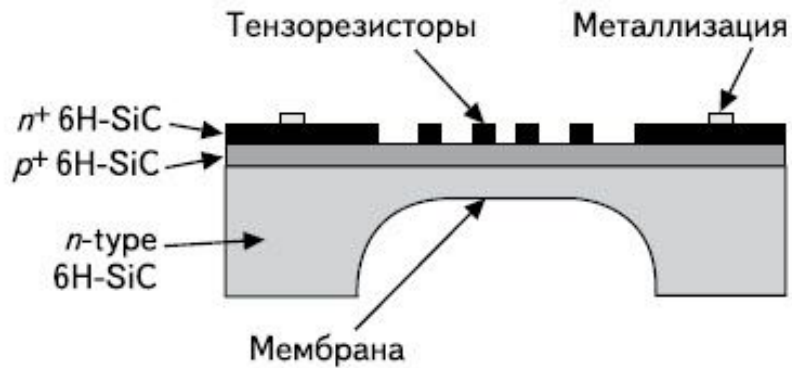
Тензорезистивные преобразователи

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

Относительное изменение сопротивления проводника является линейной функцией от деформации ϵ

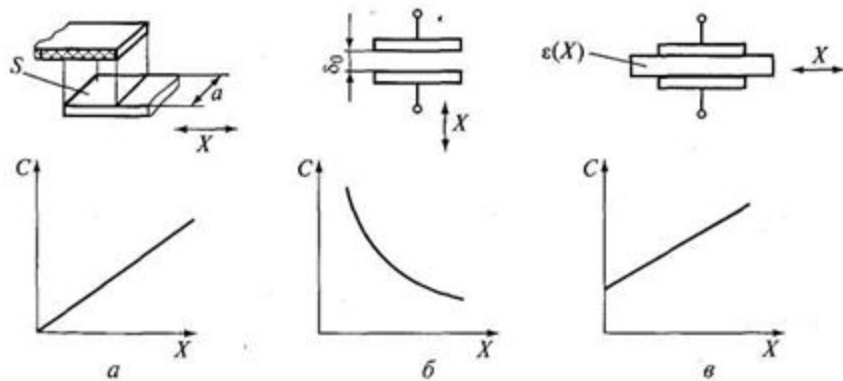
S_e – коэффициент тензочувствительности для металлических проводников в пределах **2...6**, для полупроводников – **40...200**.

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

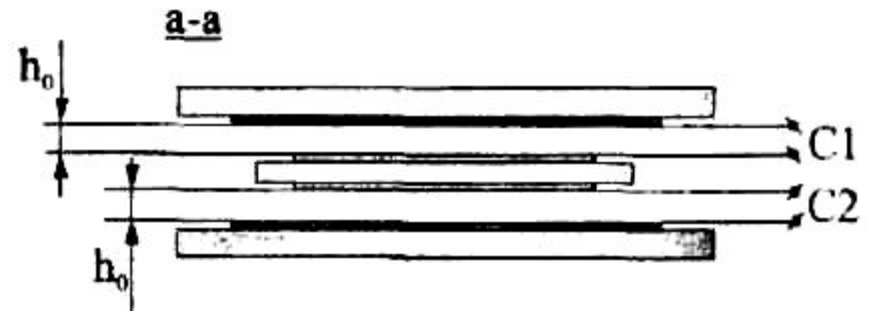
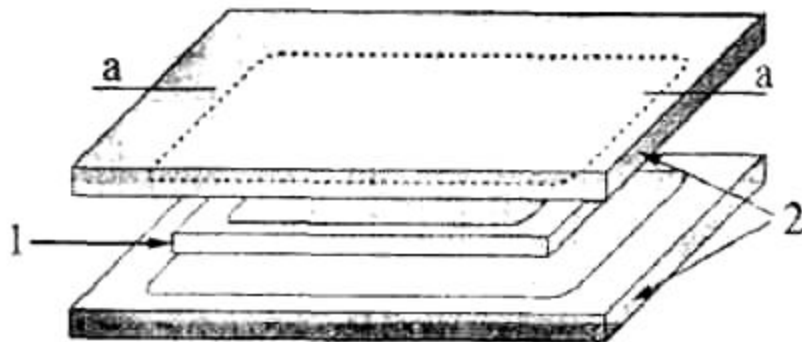


Емкостные преобразователи.

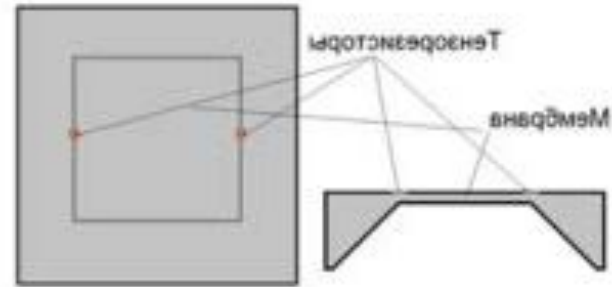
емкость C изменяется прямо пропорционально площади электродов S_y и обратно пропорционально расстоянию между ними d :



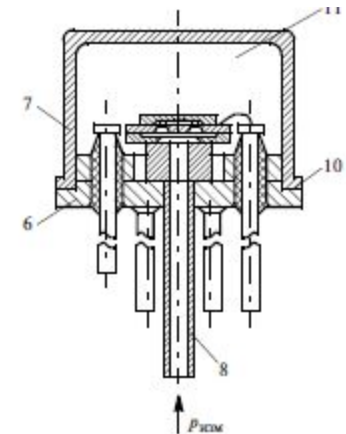
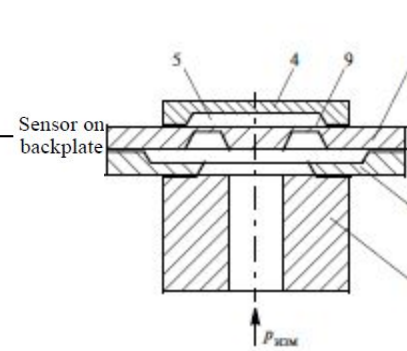
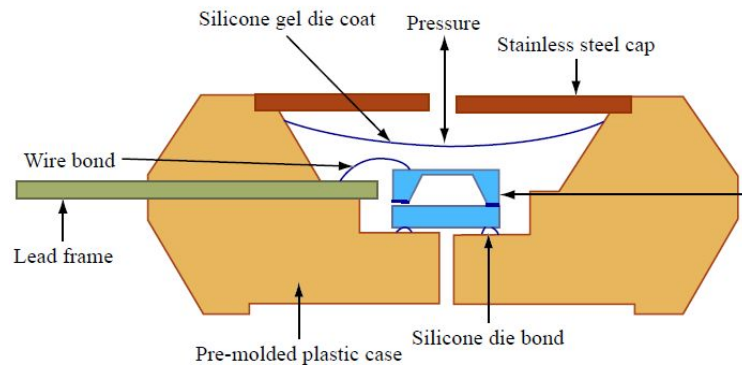
$$C = \epsilon_0 \frac{S_y}{d},$$



Датчики давления

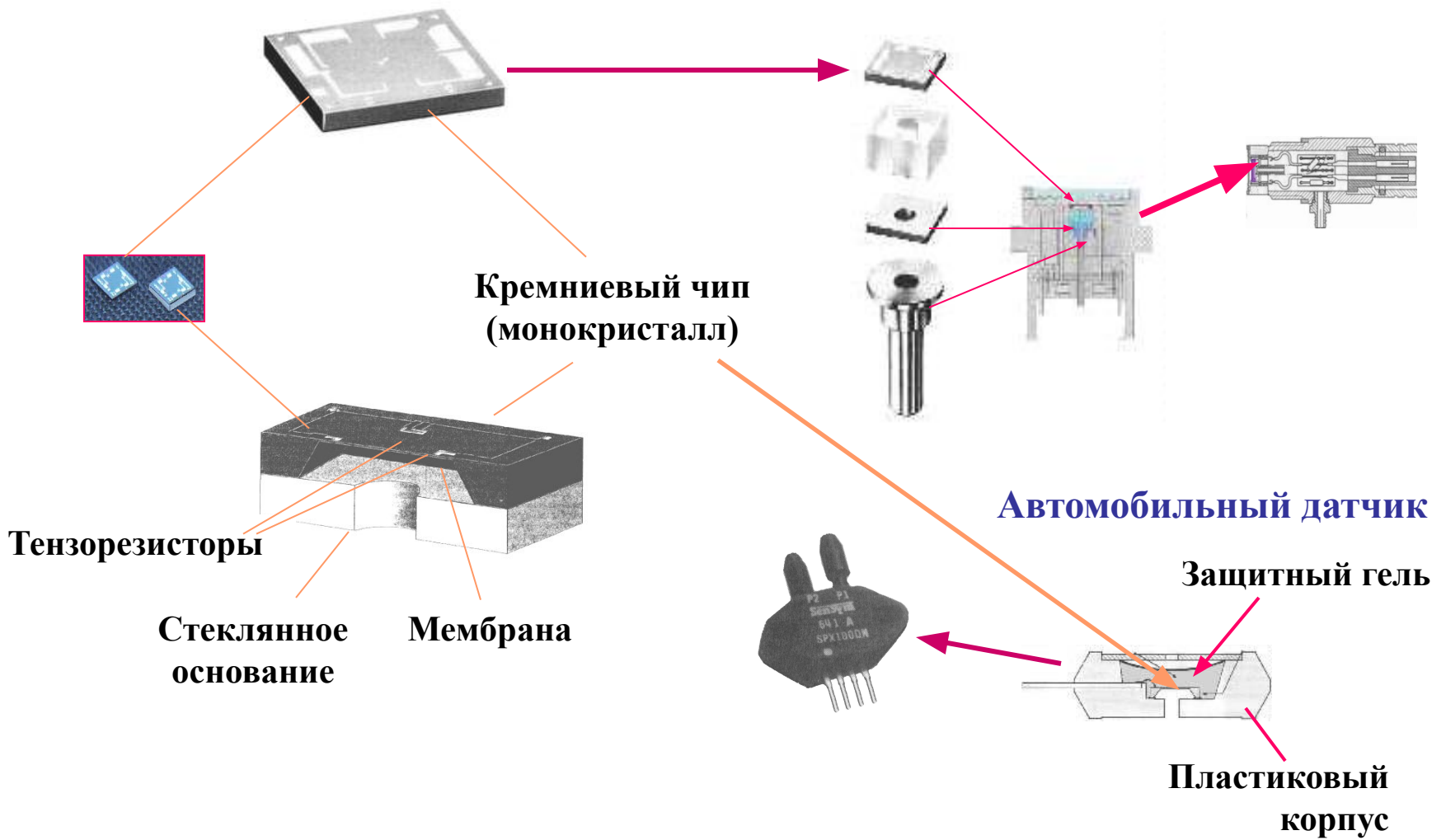


Тензорезистивные



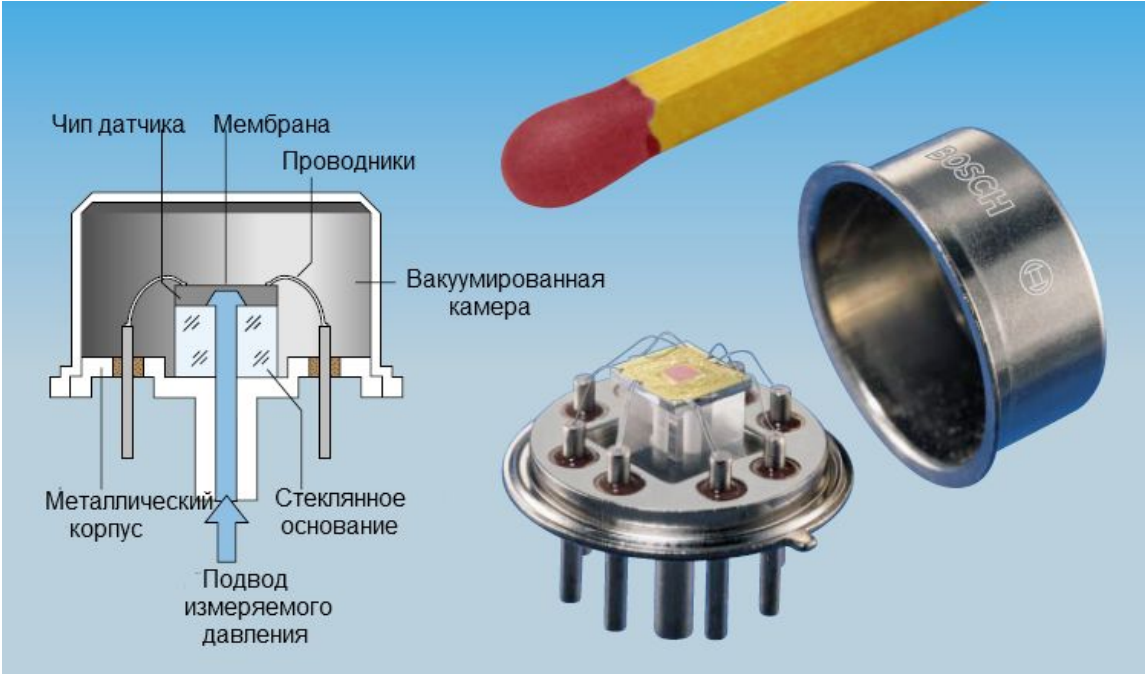
МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Датчик промышленного стандарта

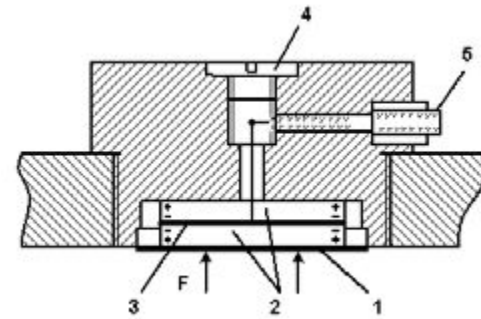


МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Автомобиль

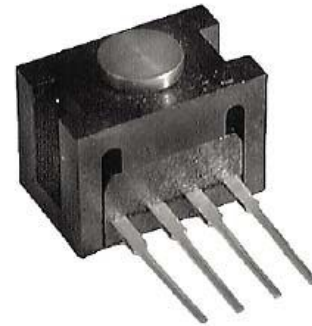


Датчики давления

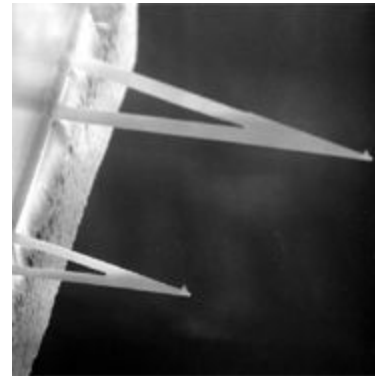
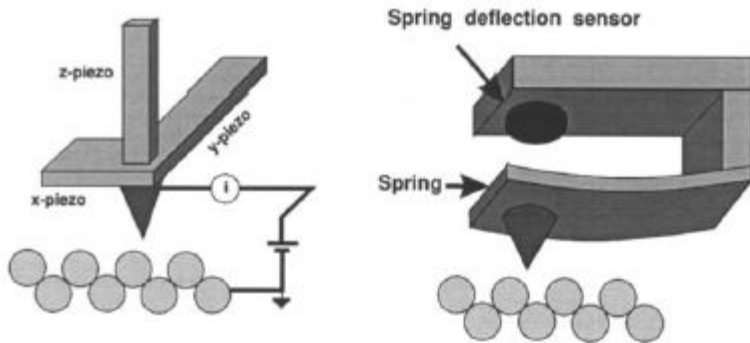


Пьезоэлектрические

Датчики силы



Тензорезистивные

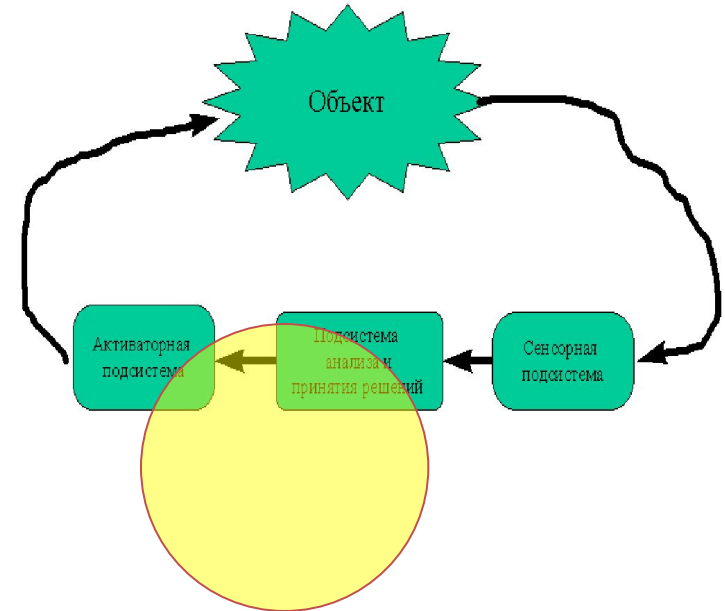


АСМ – атомно силовой микроскоп

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

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

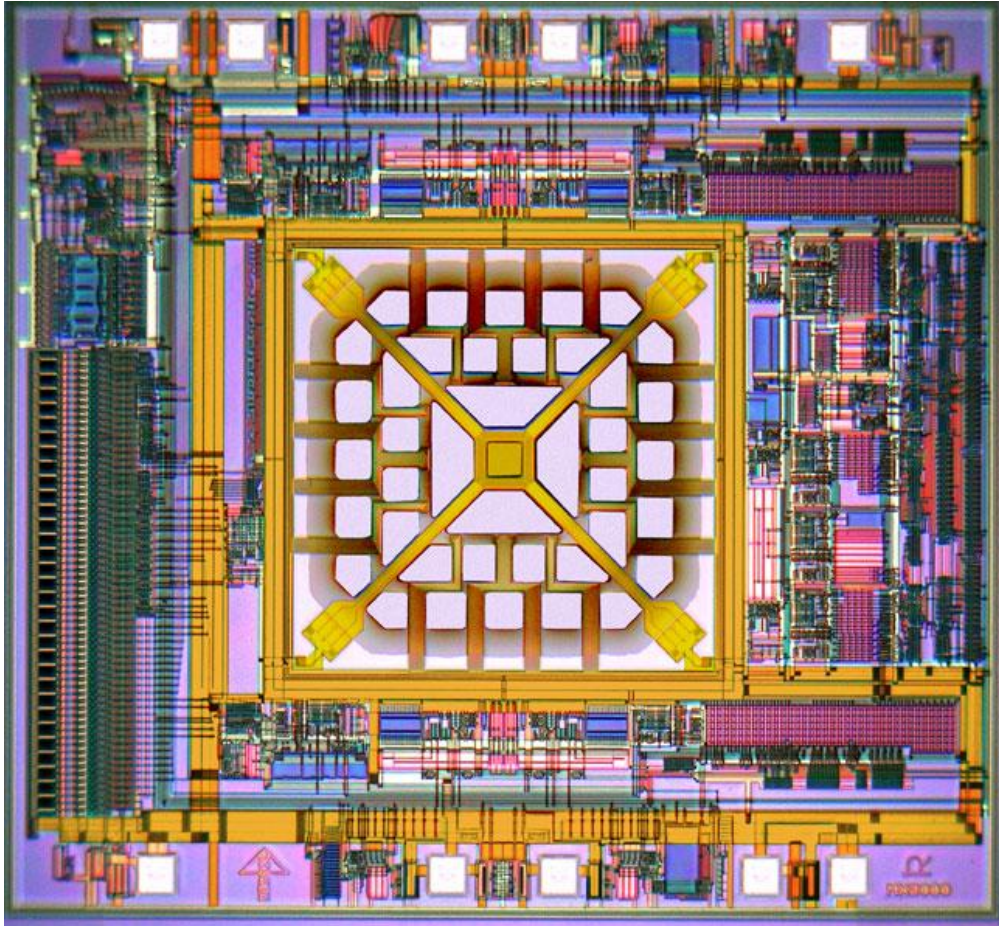
Снижение сроков разработки и
стоимости производства

**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



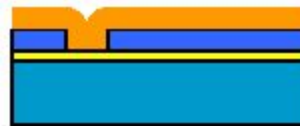
Жертвенный слой -ФСС



ФЛГ –окна для якорей



Нанесение Si-пк



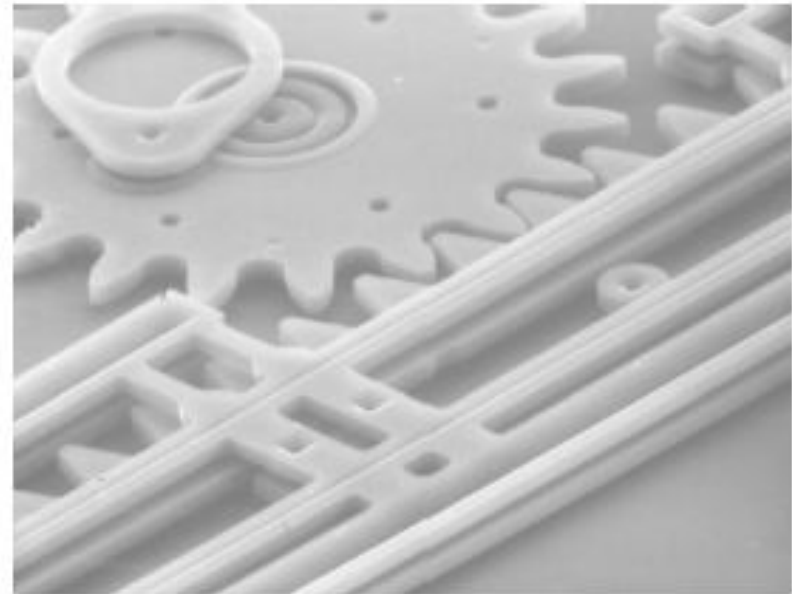
ФЛГ по Si-пк



Удаление жертвенного слоя

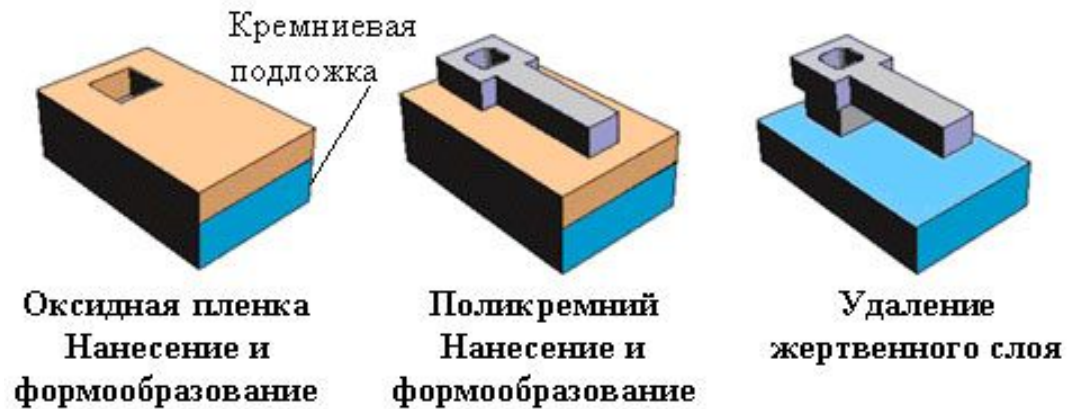


Осушка

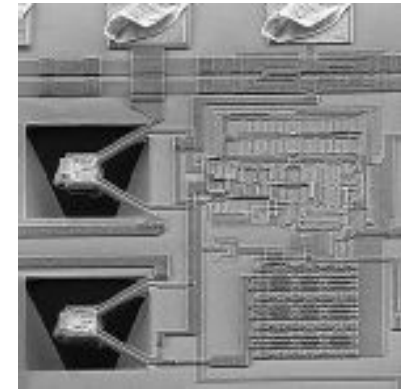
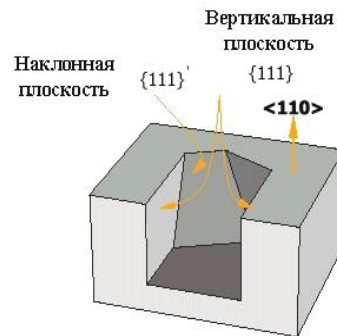
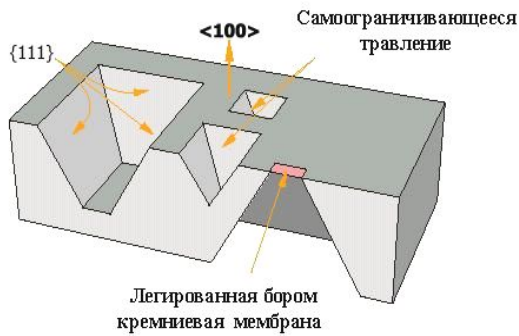
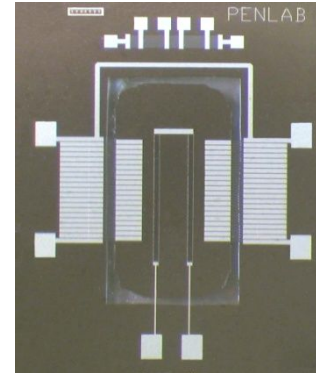
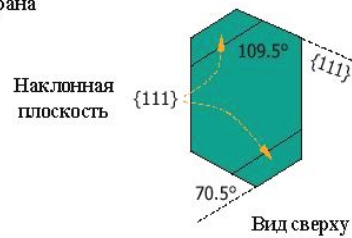
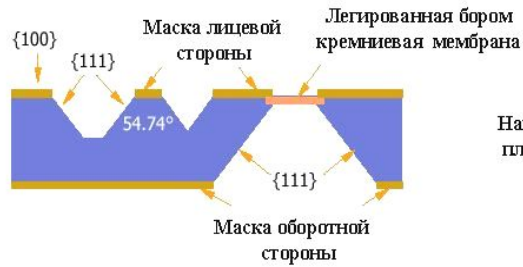


Sandia National Labs

Технологии поверхностной микромеханики

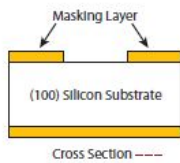
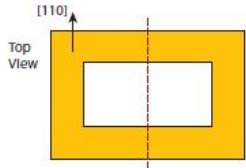


Технологии объемной микромеханики



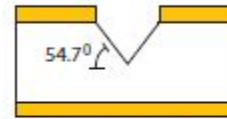
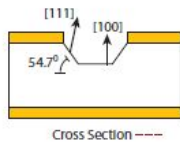
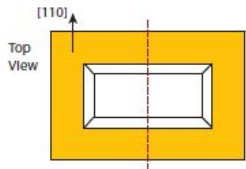


Before Etching

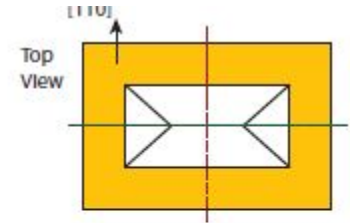


> A rectangular pattern is aligned to a [110] direction on a <100> silicon wafer

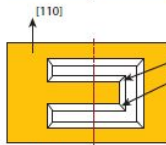
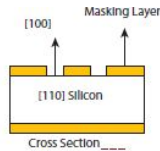
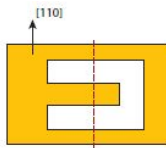
After Etching



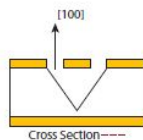
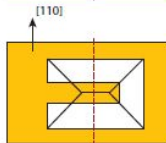
Cross Section ----



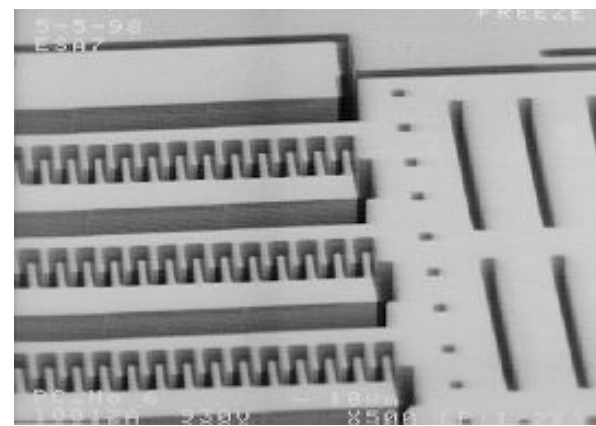
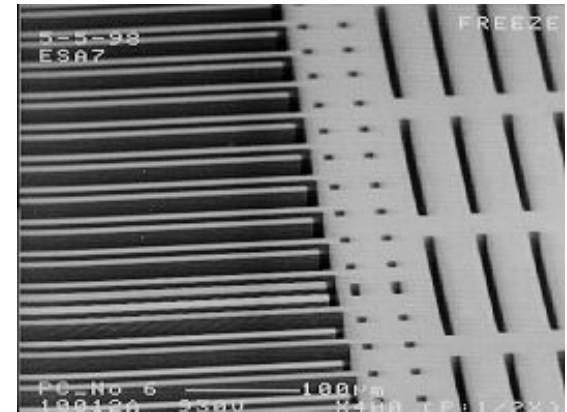
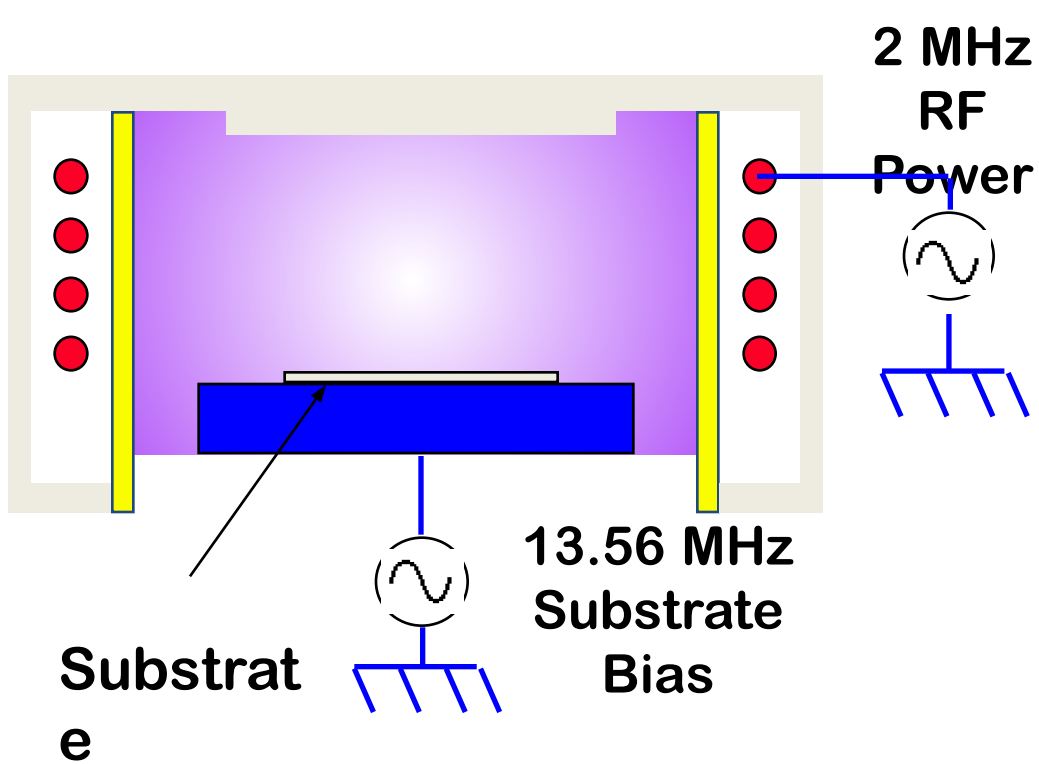
Convex corners become undercut, as there is no single slow-etching (111) plane to stop on



Convex corners are rapidly undercut



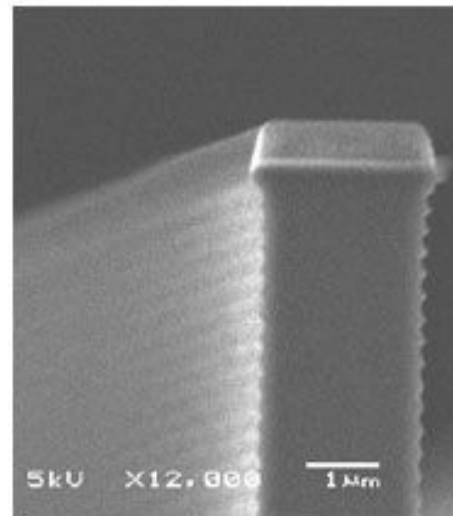
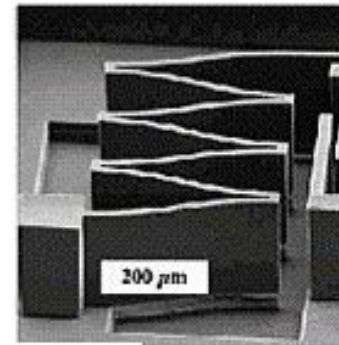
Технологии объемной микромеханики



Технологии объемной микромеханики



ПРУЖИНА



LIGA-технология

