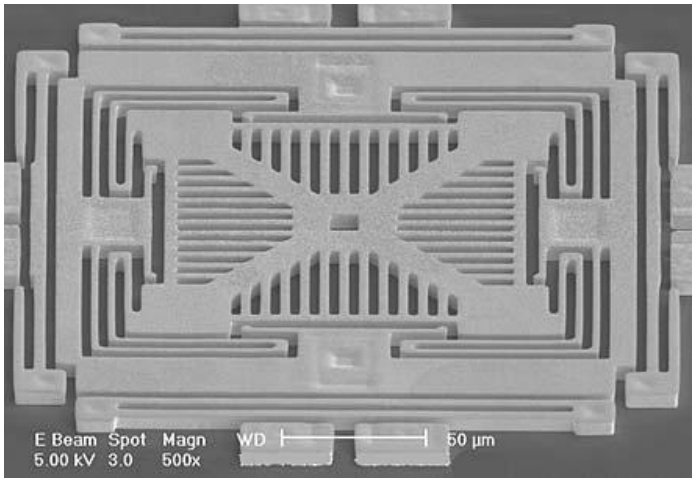
МЭМС

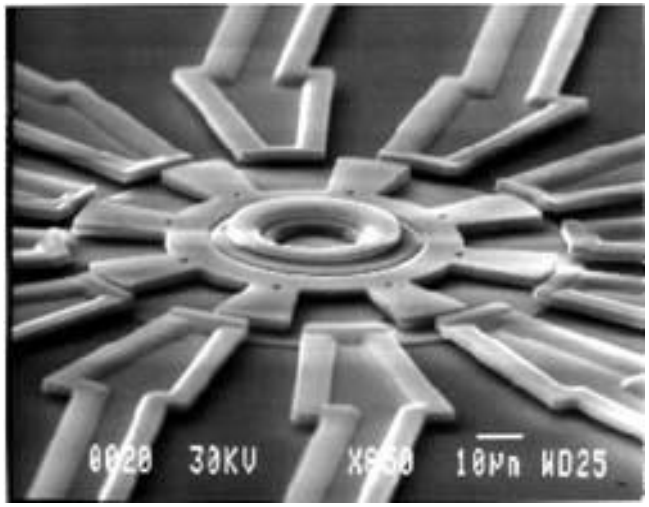
Микроэлектромеханические системы

Что такое МЭМС?

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – это системы, включающие в себя взаимосвязанные механические и электрические компоненты микронных размеров.



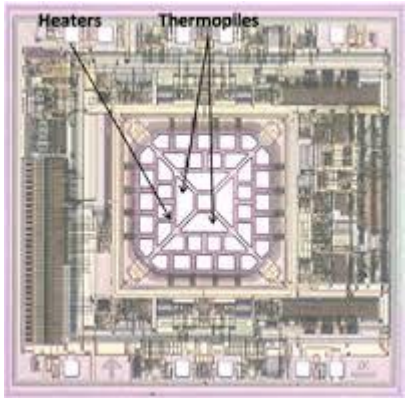
Трехосевой акселерометр

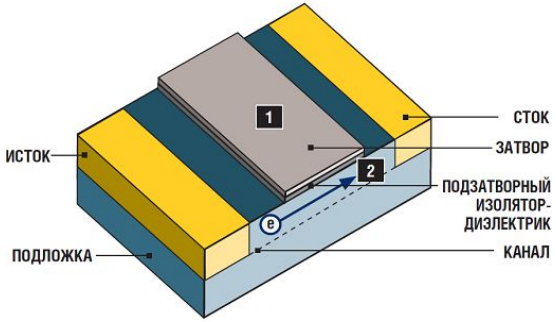


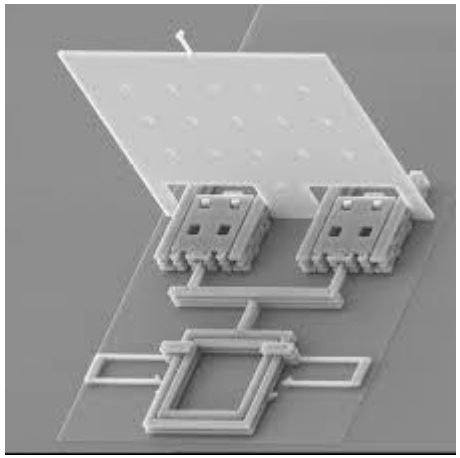
Электрический микродвигатель

Что такое МЭМС?

МЭМС = Электроника + Микромеханика







История создания

- 1958 г. - первые прототипы интегральных схем (ИС);
- 1960 г. - мелкосерийный выпуск ИС;
- 1974 г. - промышленный выпуск тензодатчиков на основе кремния (National Semiconductors);
- 1982 г. - термин микрообработка (micromachining) используется для описания процессов изготовления механических подсистем (диафрагм и микробалок);
- 1986 г. - в одном из отчетов министерства обороны США был впервые использован термин “микроэлектромеханические системы” (МЭМС);

Способы изготовления

Изготовление МЭМС

Объемная микрообработка (bulk micromachining)

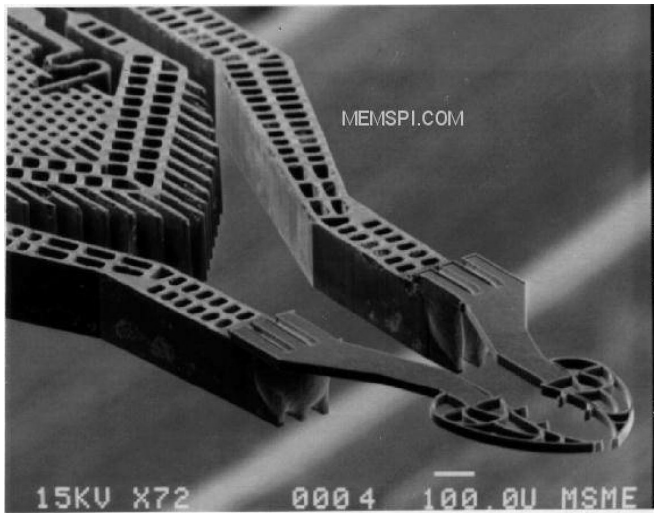
Субтрактиный подход – от целого отсекаем лишнее (как изготовление статуи)

Поверхностная микрообработка (surface micromachining)

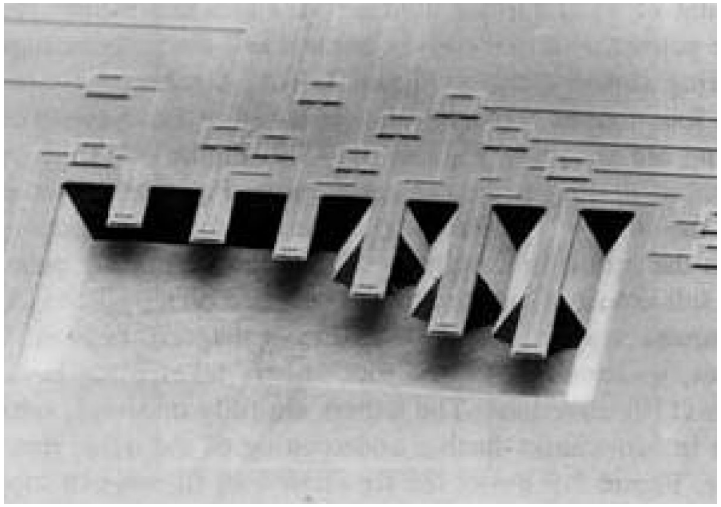
Аддитивный подход – строим целое из кирпичиков (как строительство дома)

Объемная микрообработка

Это процесс, идущий от поверхности материала-основы вглубь, при которой травлением последовательно удаляются ненужные участки этого материала, в результате чего остаются механические структуры необходимой формы.

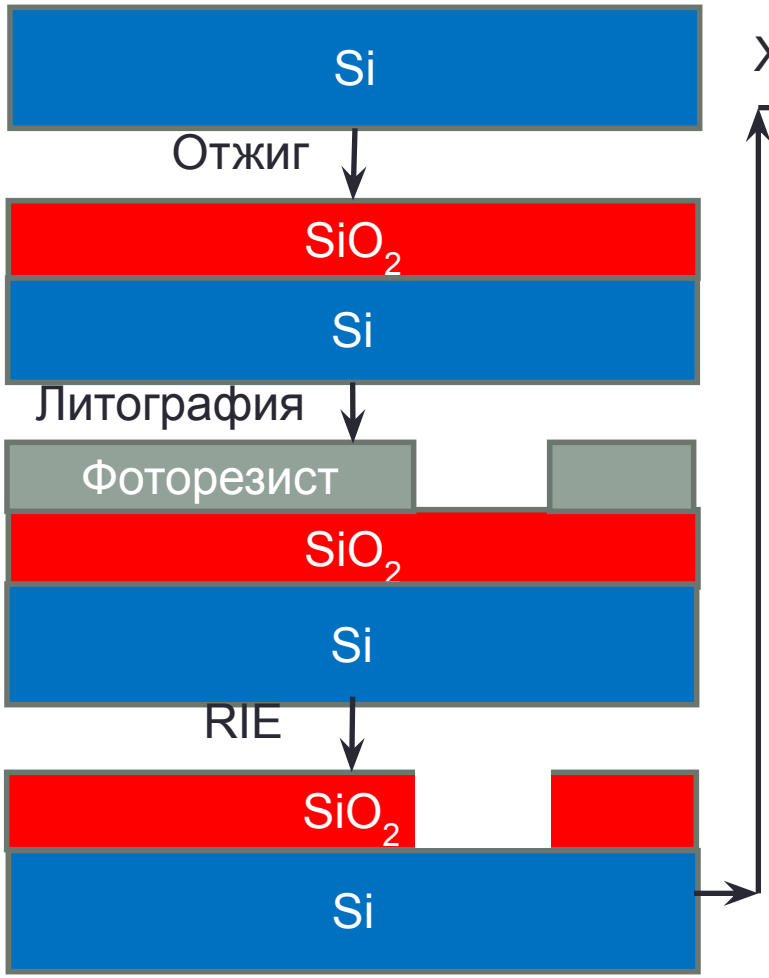


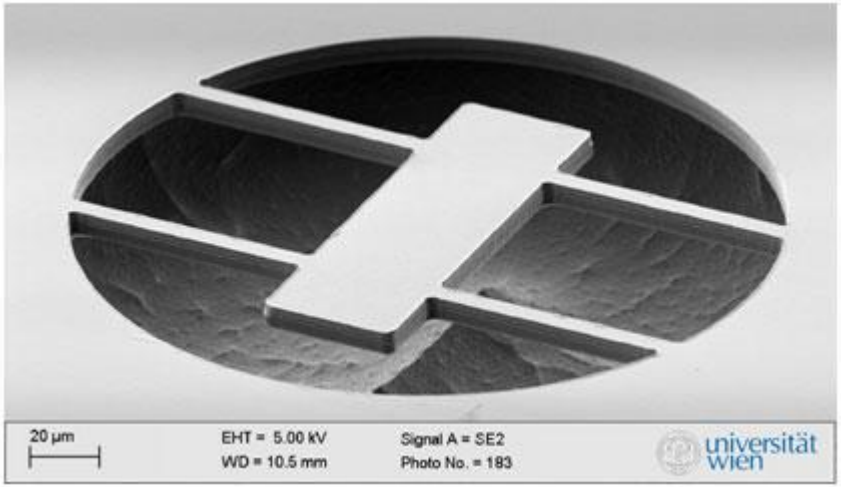
Микрозахват (microgripper)



Микрокантилеверы

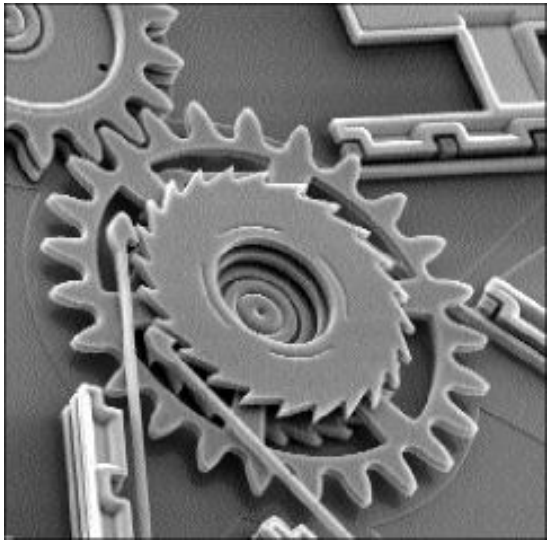
Объемная микрообработка



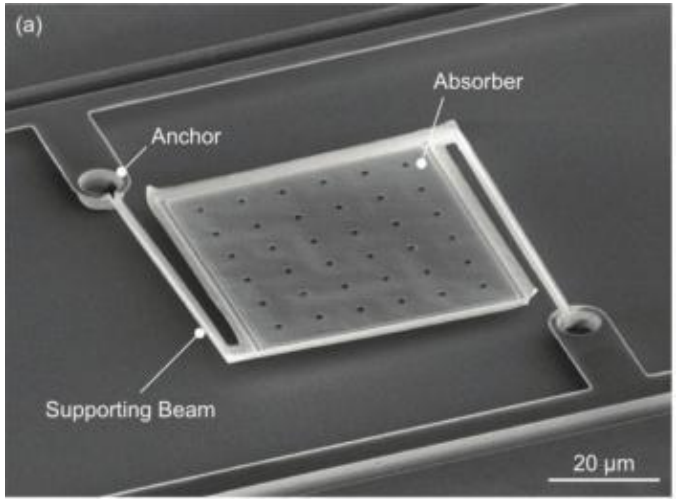


Поверхностная микрообработка

Это процесс, заключающийся последовательных циклах нанесение тонких слоев материала, которые затем с помощью литографии и последующего травления приобретает необходимую геометрическую форму

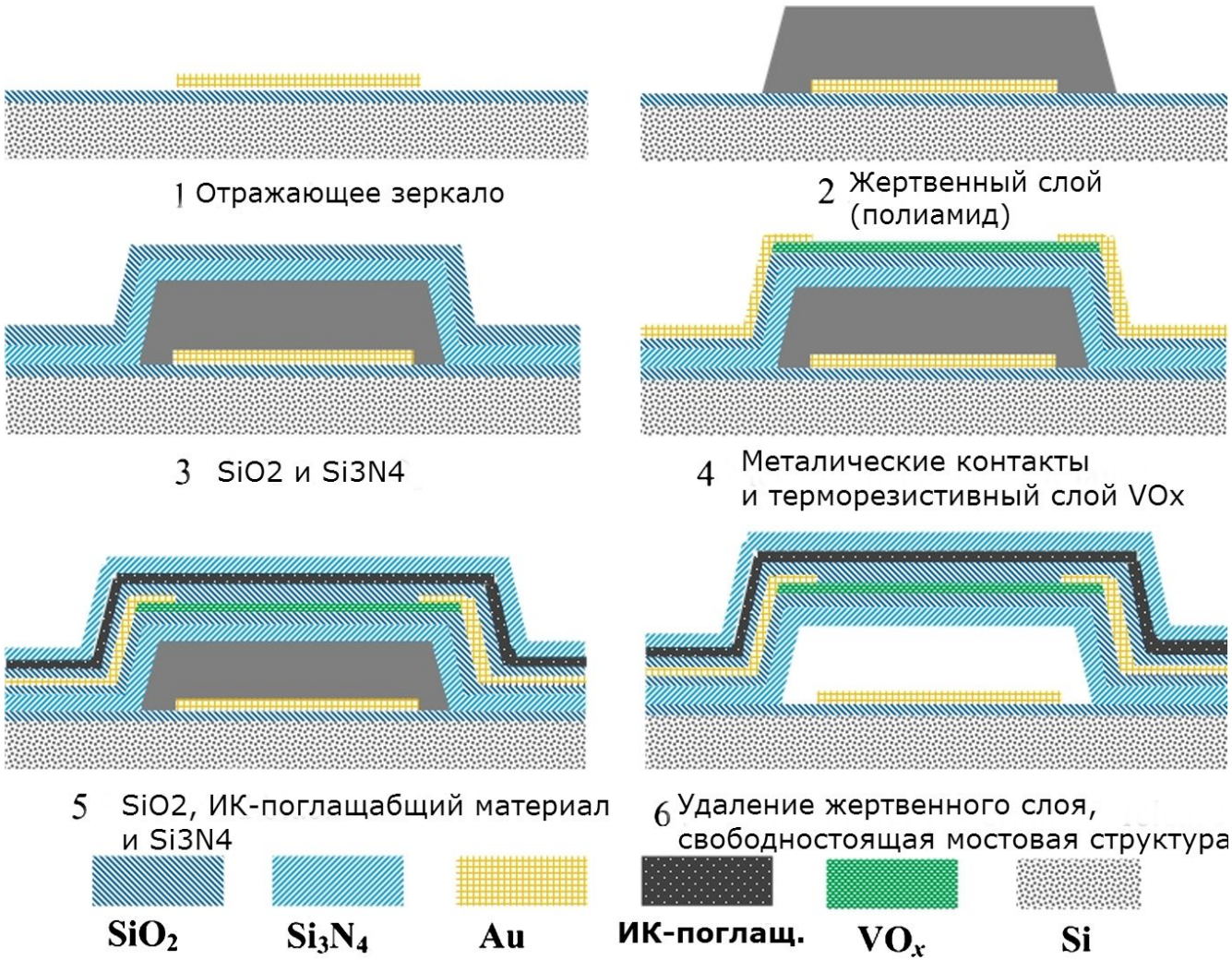


Система зубчатой передачи

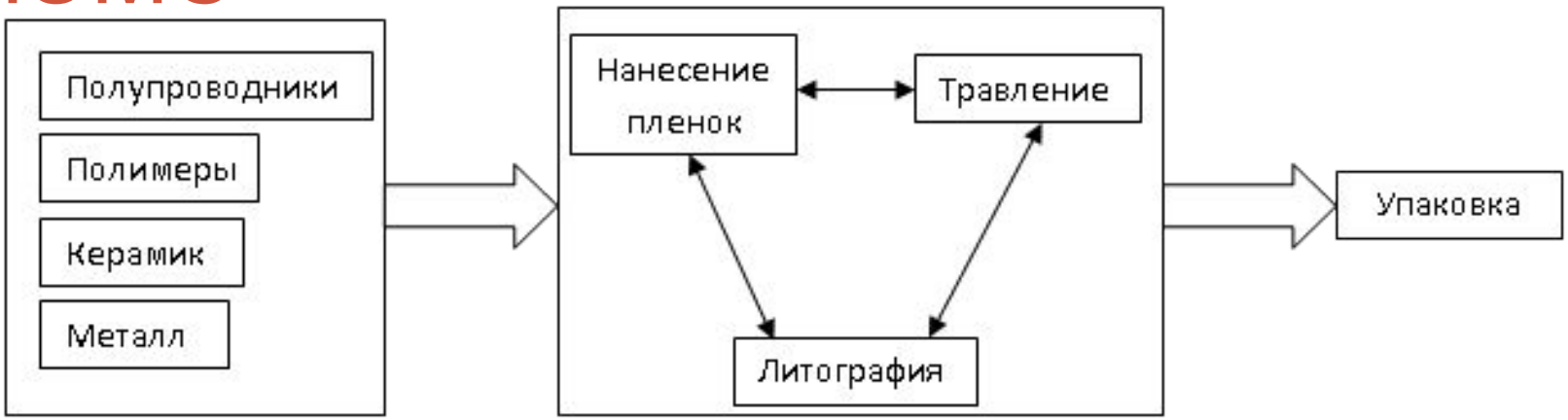


Элемент тепловизионной матрицы

Поверхностная микрообработка



Обобщенная схема изготовления МЭМС



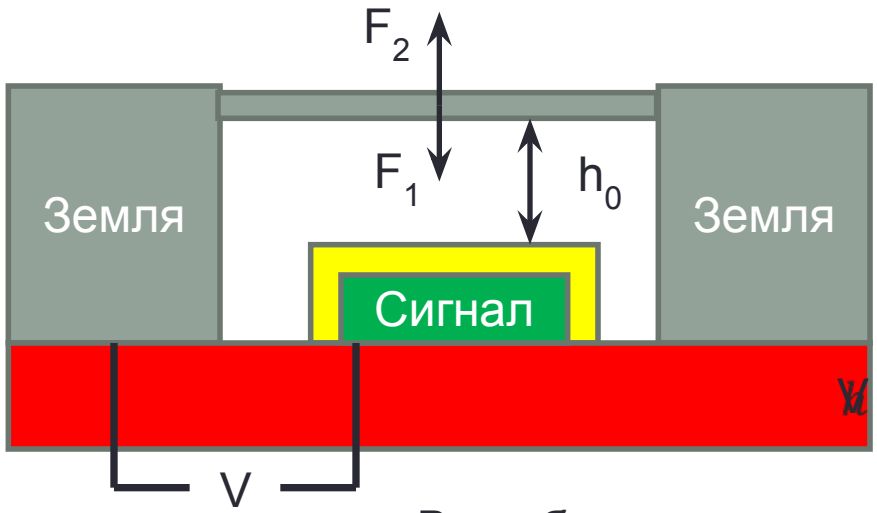
Применение МЭМС

Датчики:
Акселерометры;
Гироскопы;
Магнетометры;
Датчики давления
расходометры

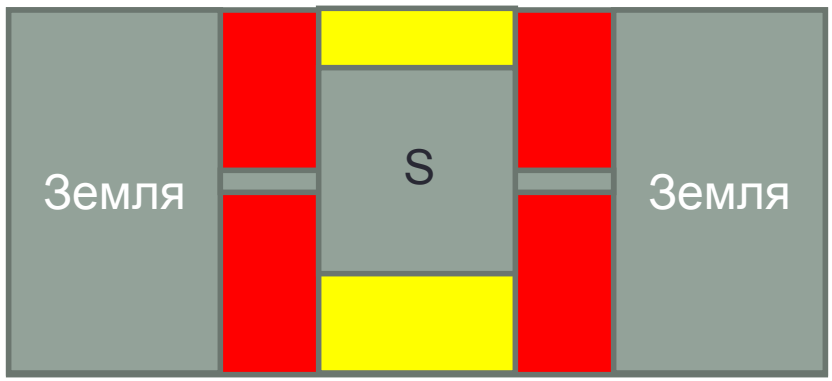
Исполнительные механизмы (актуаторы):
Микродвигатели;
Микрозахваты;
Микрозеркала;

Области применения:
1. МЭМС-компоненты для высокочастотной электроники (RF MEMS);
2. Датчики на основе сил инерции;
3. Акустические и ультразвуковые МЭМС, датчики давления;
4. Оптические МЭМС;
5. Биомедицинские МЭМС;
6. Микроманипуляторы.

Высокочастотные МЭМС ключи



Вид сбоку



Вид сверху

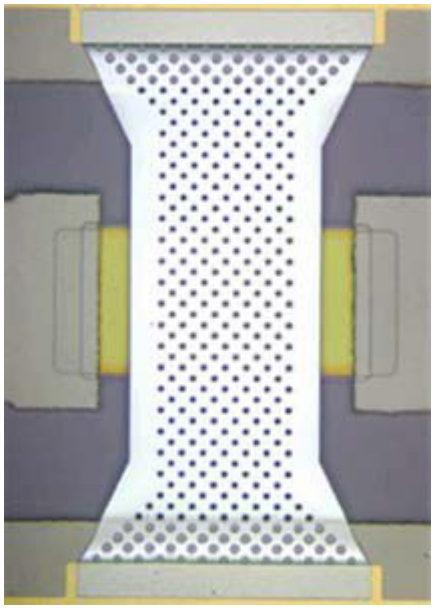
$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

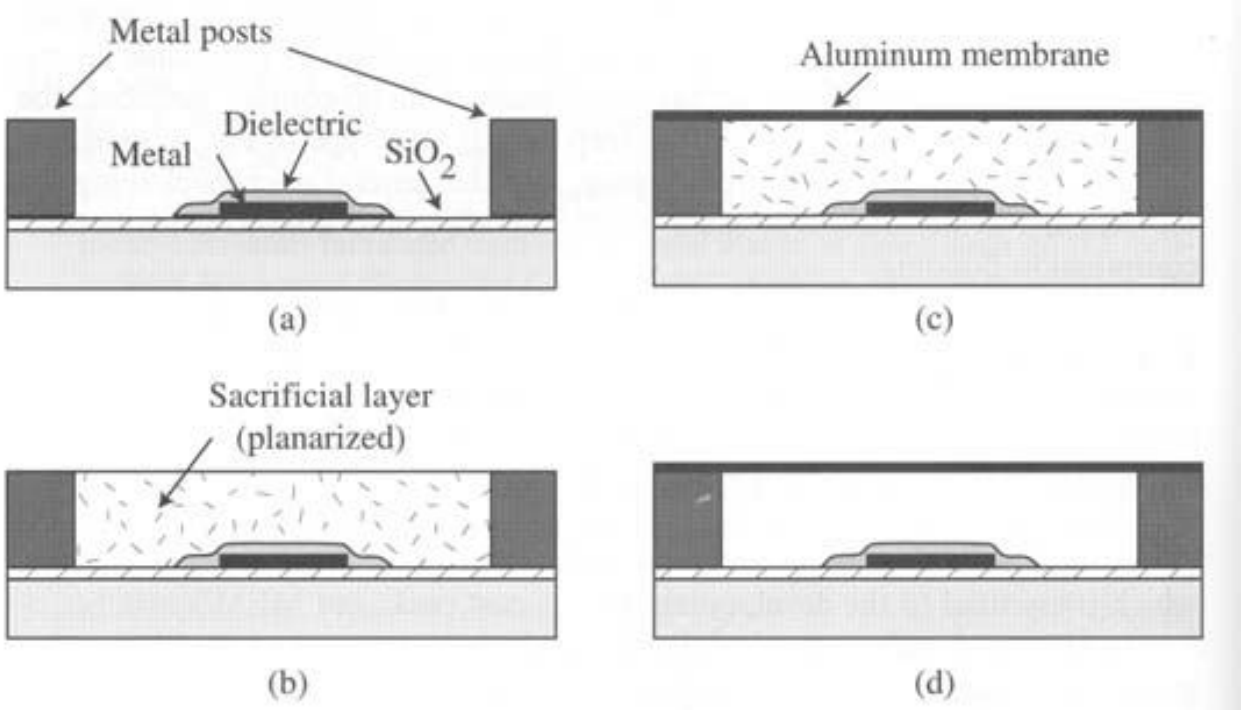
$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора) $\xrightarrow{:}$ $\frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора) $\longrightarrow$ V’ = 0 $\longrightarrow$ $F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора) $\longrightarrow$ $\approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

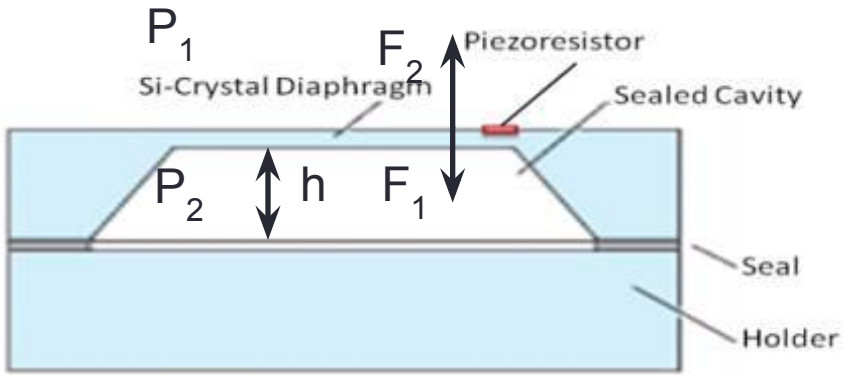
Высокочастотные МЭМС ключи



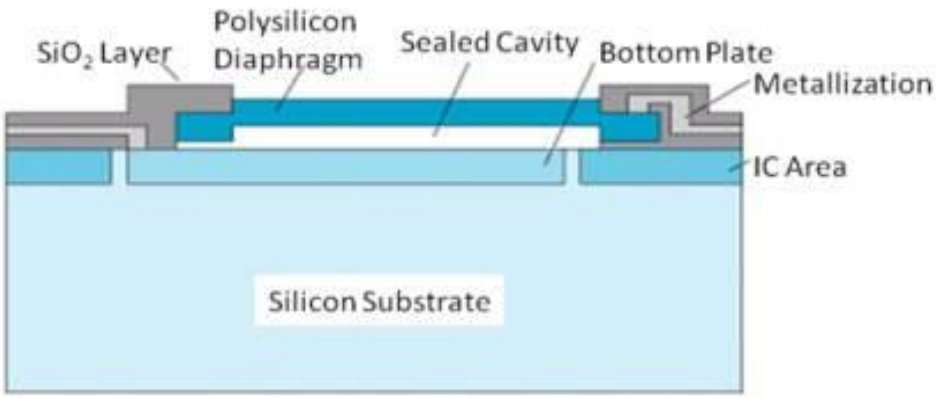
$V_{кр}$ = 30-50В



Датчик давления на основе МЭМС



Датчики давления пьезорезистивного типа



Датчики давления емкостного типа

$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

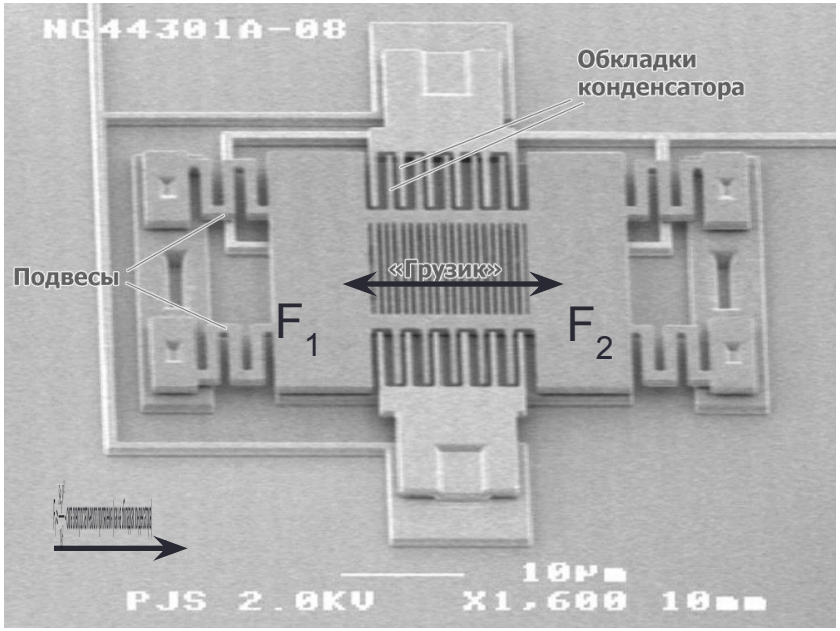
$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

$$(P_1 - P_2) \cdot S = -k \cdot \Delta h$$

$$P_1 = P_2 - \frac{k \cdot \Delta h}{S}$$, где P_2, k, S – известные и специфичные для датчика величины

$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

Акселерометры и гироскопы



$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

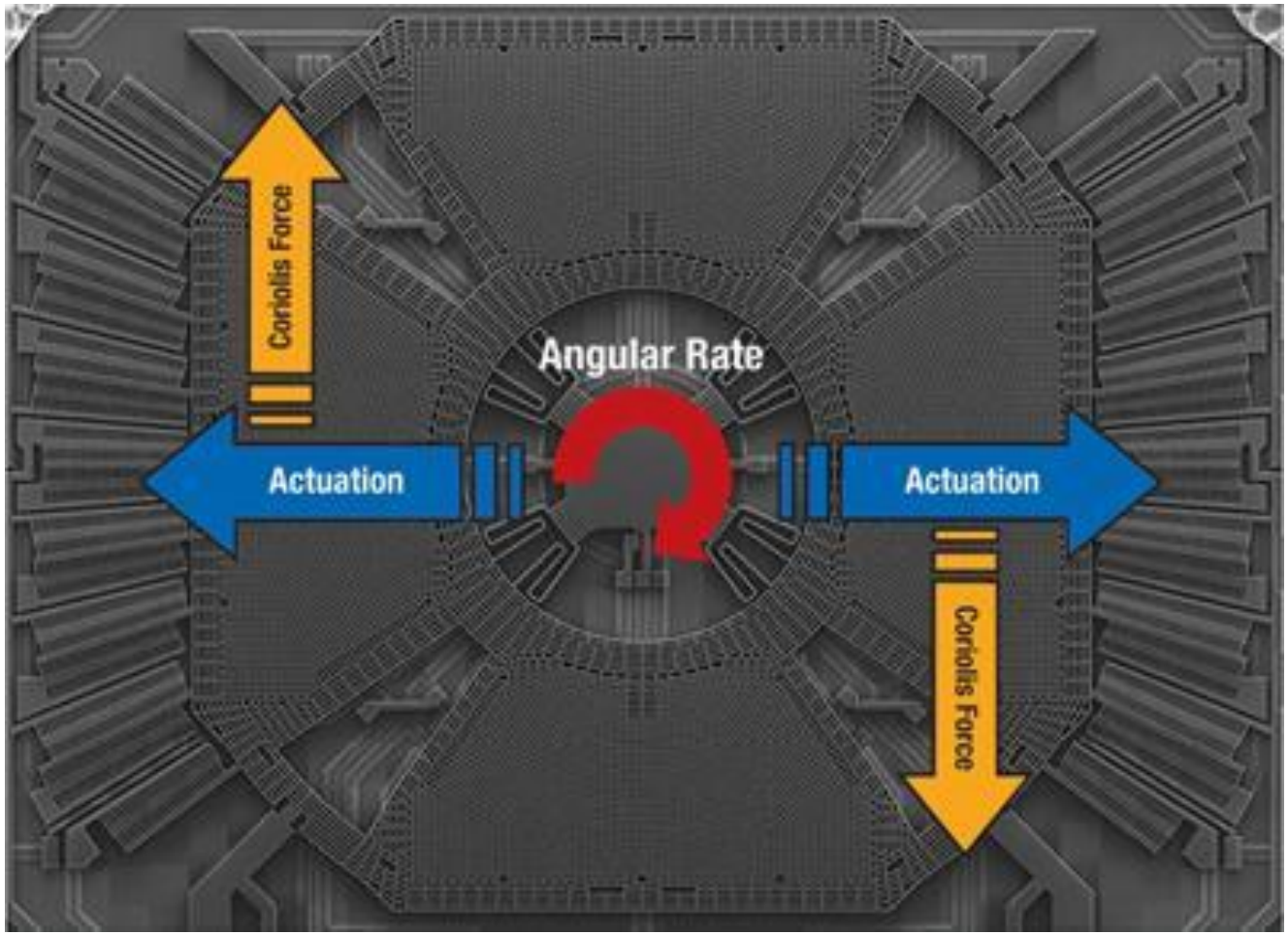
$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

$$a \cdot m = -k \cdot \Delta x$$

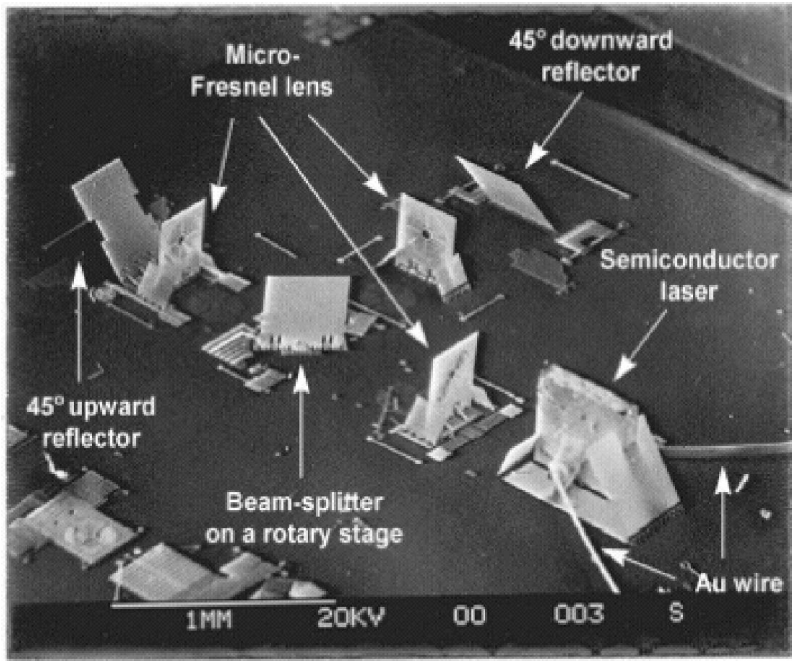
$$a = \frac{k \cdot \Delta x}{m}$$, где m, k, – известные и специфичные для датчика величины

$F_1 \approx \frac{S \cdot \varepsilon_0 \cdot V^2}{2 \cdot h^2}$ - сила электростатического притяжения (как на обкладках конденсатора)

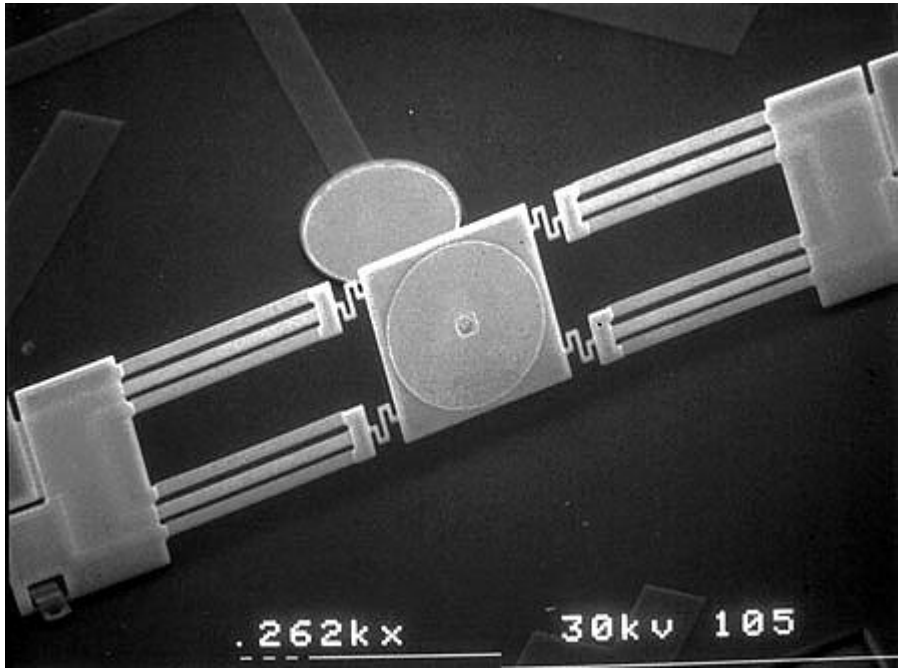
Акселерометры и гироскопы



Оптические МЭМС



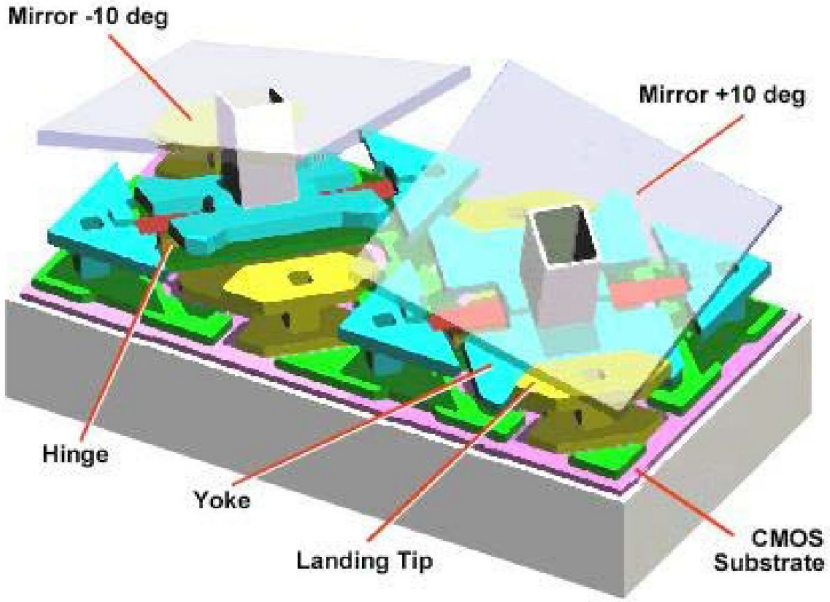
Элементы МОЭМС: зеркала, призмы, линзы



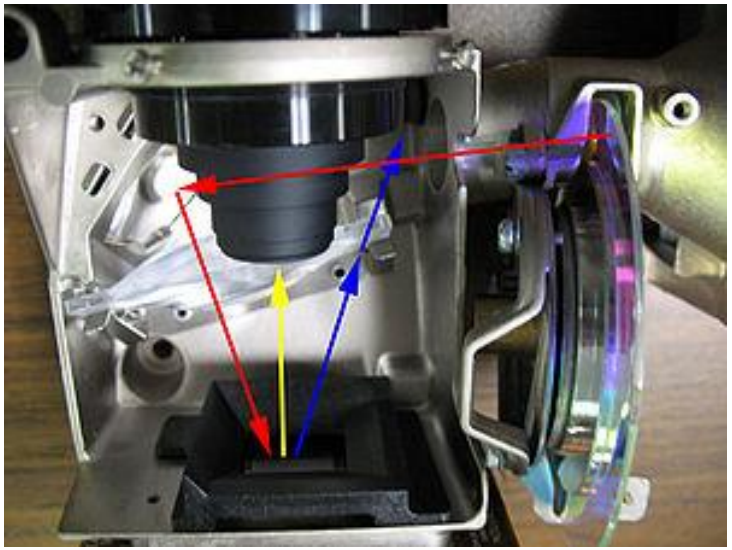
Электростатически управляемое микрозеркало

Оптические МЭМС: DLP

DLP (Digital Light Processing) - технология, используемая во многих проекторах

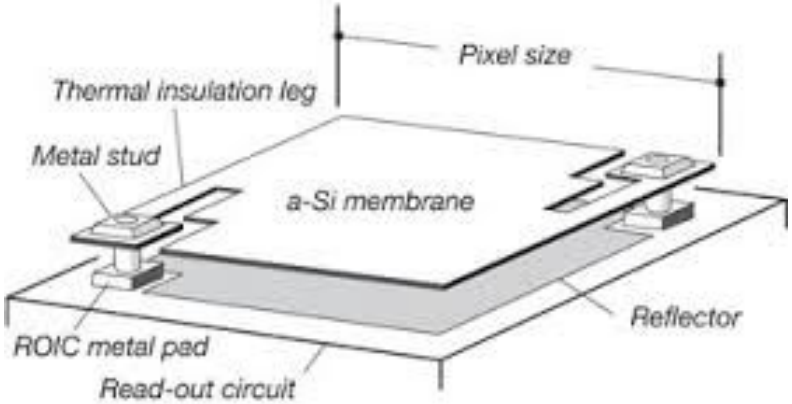


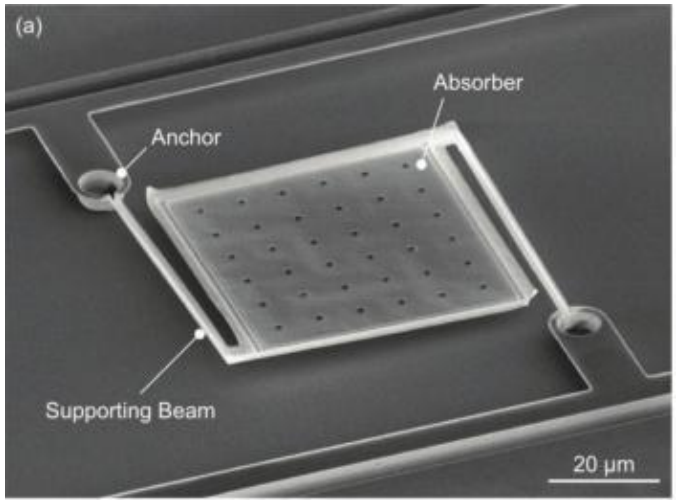
Устройство отклоняющих зеркал



Красной стрелкой показан путь луча света от лампы к матрице, через диск светофильтров, зеркало и линзу. Далее луч отражается либо в объектив (жёлтая стрелка), либо на радиатор (синяя стрелка).

Оптические МЭМС: микроболометры





Инфракрасное излучение пройдя сквозь систему линз попадает на поглощающий элемент, нагревая его. Рядом с этим элементов находится терморезистивная пленка, меняющее свое сопротивление от нагрева. Так как температурные коэффициент изменения сопротивления при комнатной температуре невелик (порядка 2% на градус для диоксида ванадия)

Исполнительные механизмы МЭМС

В исполнительных механизмах на основе МЭМС технологий обычно задействуются следующие компоненты:

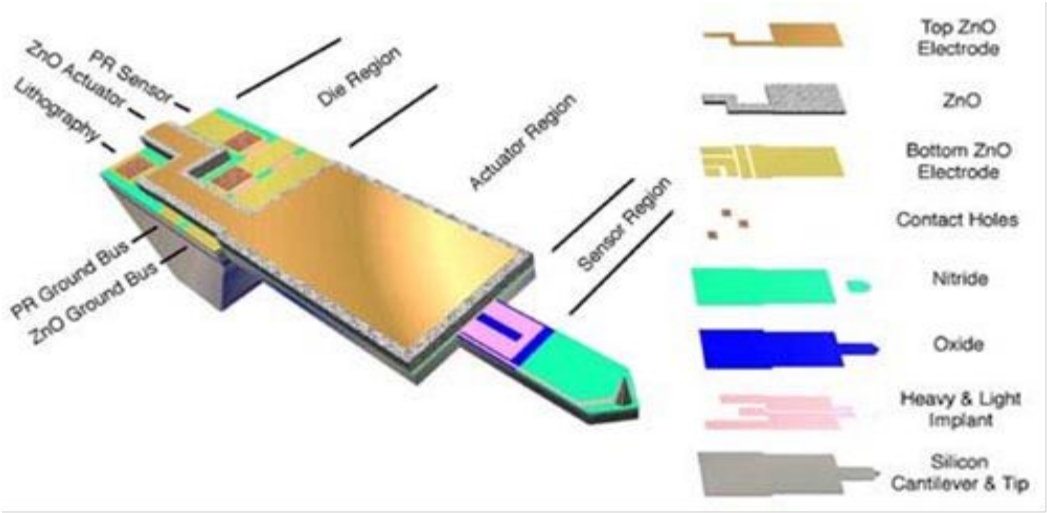
1. Элементы на основе обратного пьезоэлектрического эффекта – можно получать большие величины силы, но величина смещения мала. Требует высоких электрических напряжений;

2. Биморфные элементы на основе двух материалов с разным температурным коэффициентом расширения. Можно получать большие величины силы и смещения, процесс происходят медленно и им сложно управлять;

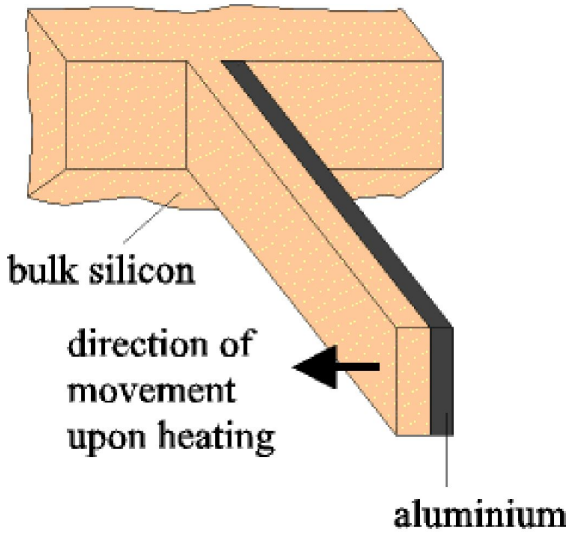
3. Электростатические элементы, работающие за счет электростатического притяжения и отталкивания между обкладками конденсатора. Небольшие величины силы и смещения, легко изготовить, требуются большие значения электрического напряжения;

4. Элементы на основе магнитных катушек. Слабые величины силы, сложно изготовить;

Исполнительные механизмы МЭМС

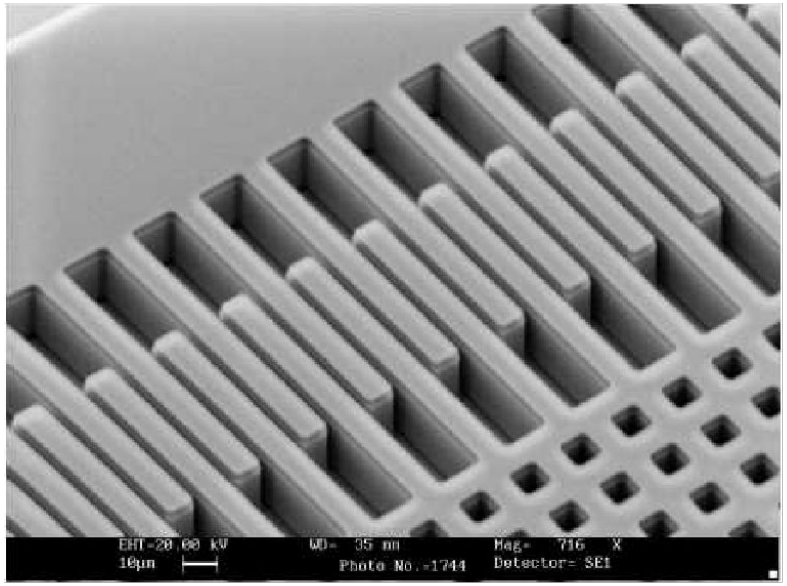


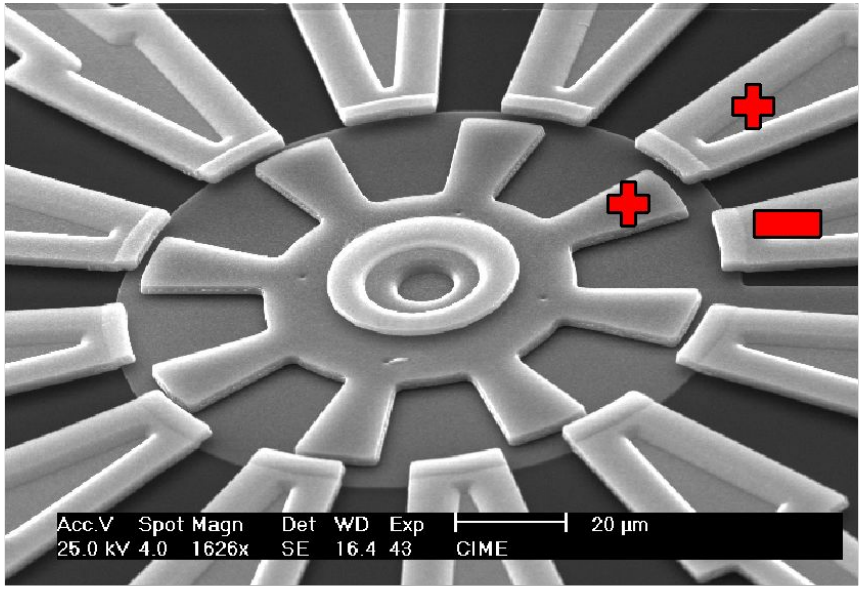
Пьезакерамический элемент сканера атомно-силового микроскопа



Биморфный (Si - Al) элемент. Стрелкой показано направление изгиба при его нагреве

Исполнительные механизмы МЭМС





Электростатические актуатор линейного движения

Электростатические актуатор углового движения

Список литературы

1. “ВЧ МЭМС и их применение” Варадан В., Виной К., Джозе К., Техносфера, 2004.
2. “Электромеханические микроустройства”, Н. Мухуров,Г. Ефремов, Litres, 2014.
3. MEMS and MOEMS Technology and Applications, P. Rai-Choudhury, SPIE Press, 2000.
4. MEMS: Introduction and Fundamentals, M. Gad-el-Hak, CRC Press, 2005.
5. An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering, N. Maluf, 2000.