

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Петрозаводский государственный университет»**

**Общая схема МЭМС. Технологии МЭМС. ВЧ ключи**

семинар

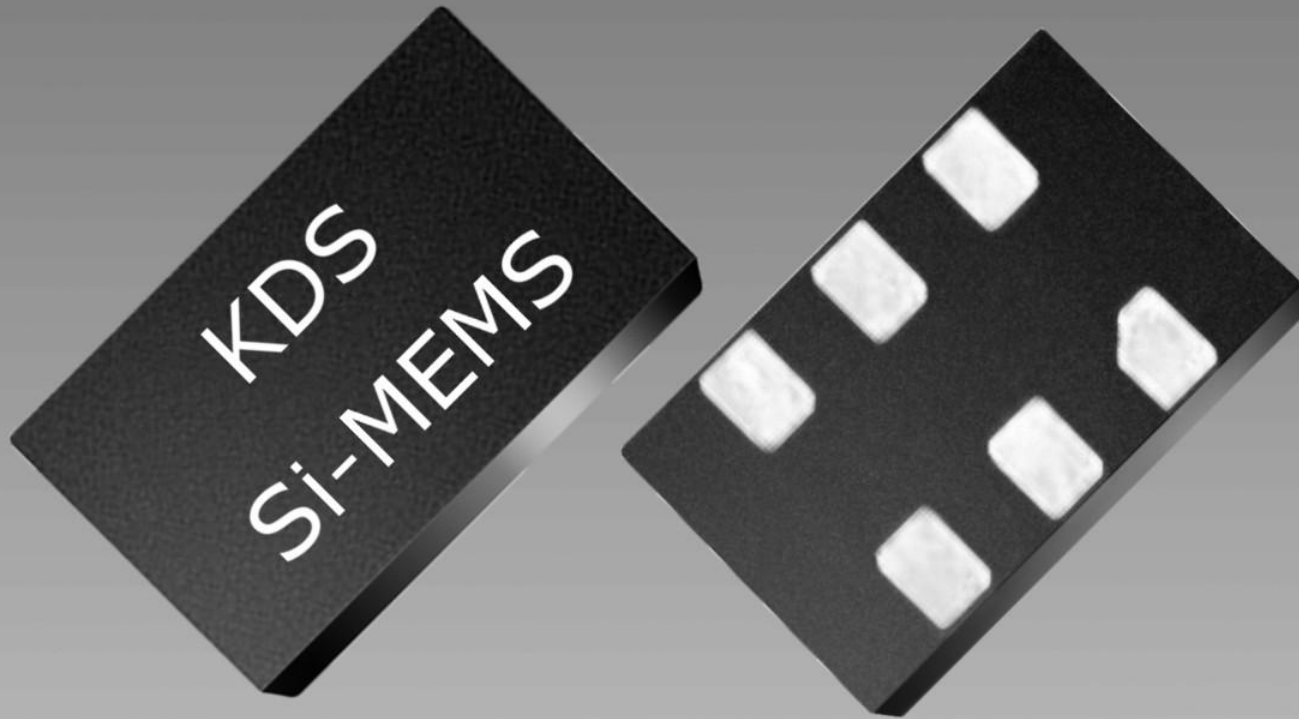
по дисциплине: «Новые типы полупроводниковых приборов»

Выполнила:  
студентка 4 курса  
физико-технического института, гр. 21414  
Солонинкина Мария Васильевна

Проверил:  
д.ф-м.н., профессор, Гуртов Валерий Алексеевич

Петрозаводск, 2019

# Что такое МЭМС?



***МЭМС (микроэлектромеханические системы) – это объединение механических элементов, датчиков, приводов и электроники на одном кремниевом основании (подложке).***

# История развития



## Первый этап

(исследовательский,  
середина 50х-60х  
годов)

## Второй этап

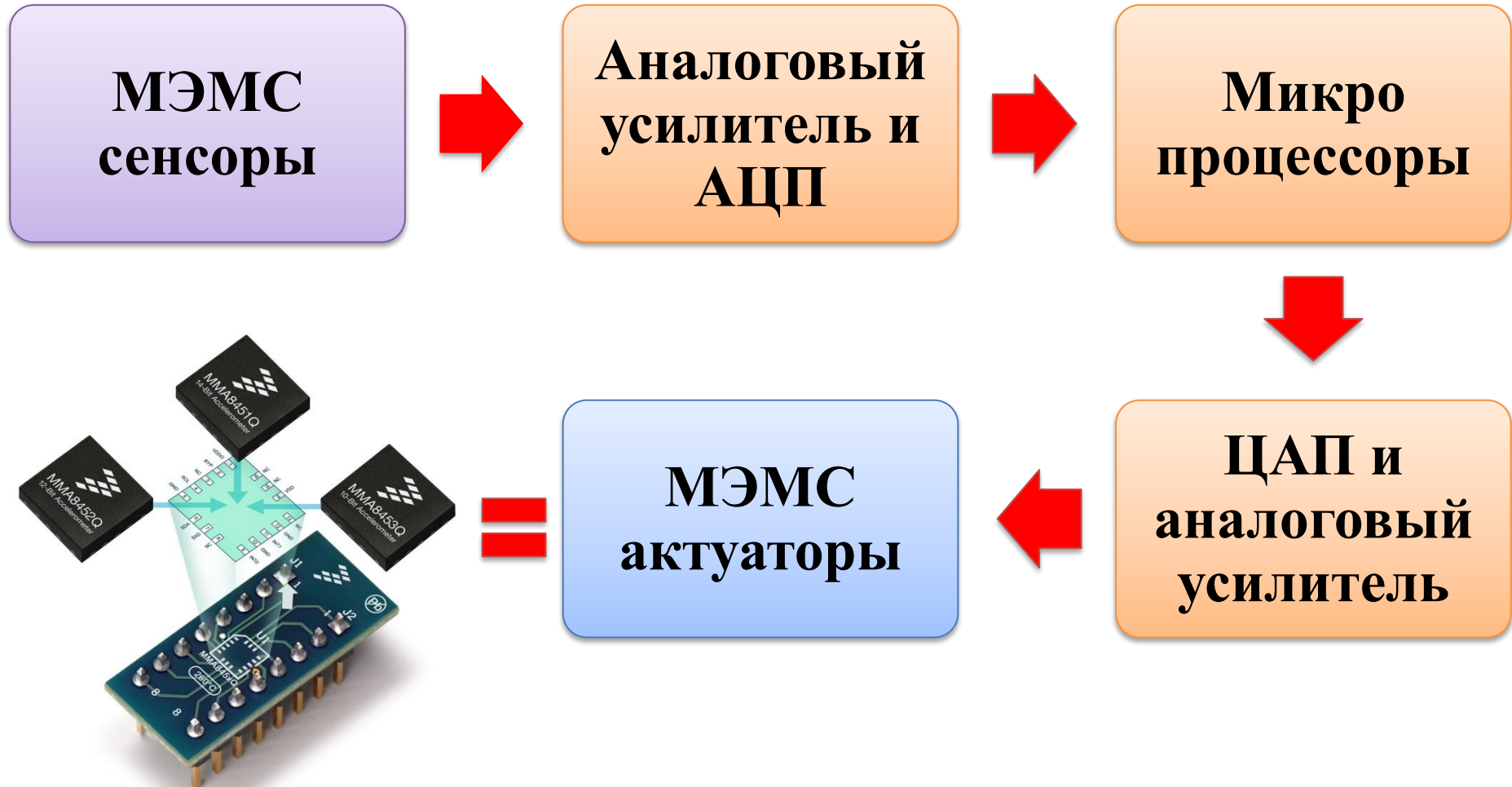
(коммерциализация)

## Третий этап

(микромашинное  
производство, конец  
90х годов)

1989г., на многолюдном собрании в Солт-Лейк-Сити была принята аббревиатура MEMS

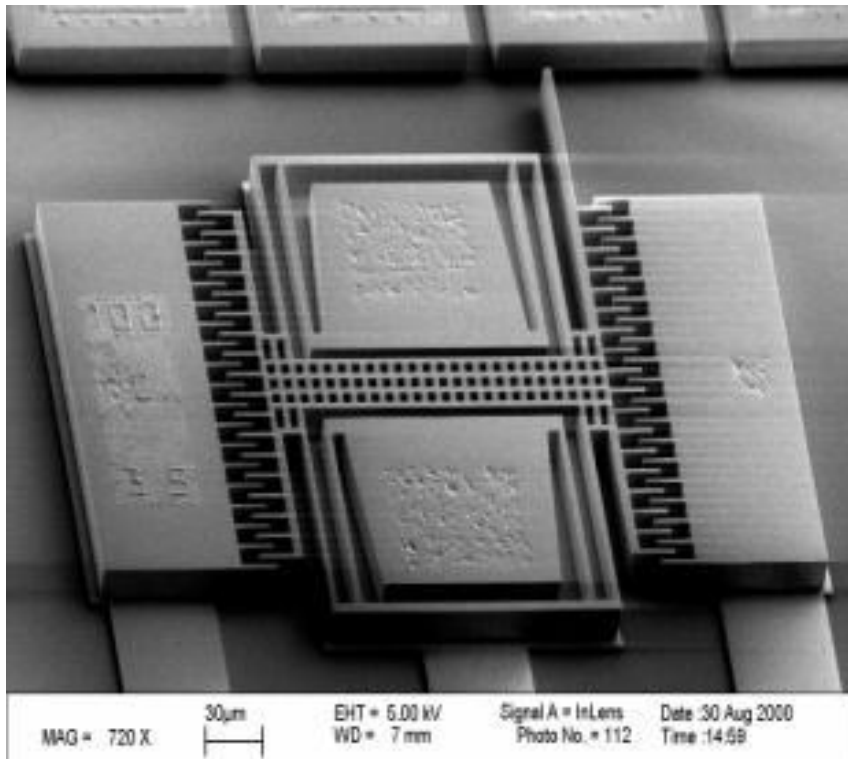
# Общая структурная схема



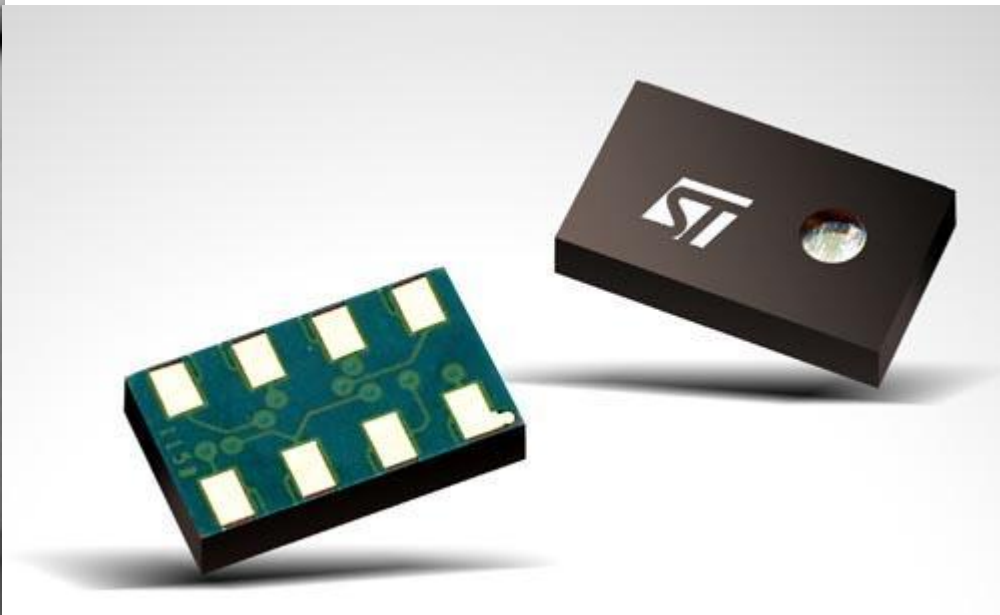
# Технологии МЭМС



# Объемная микрообработка

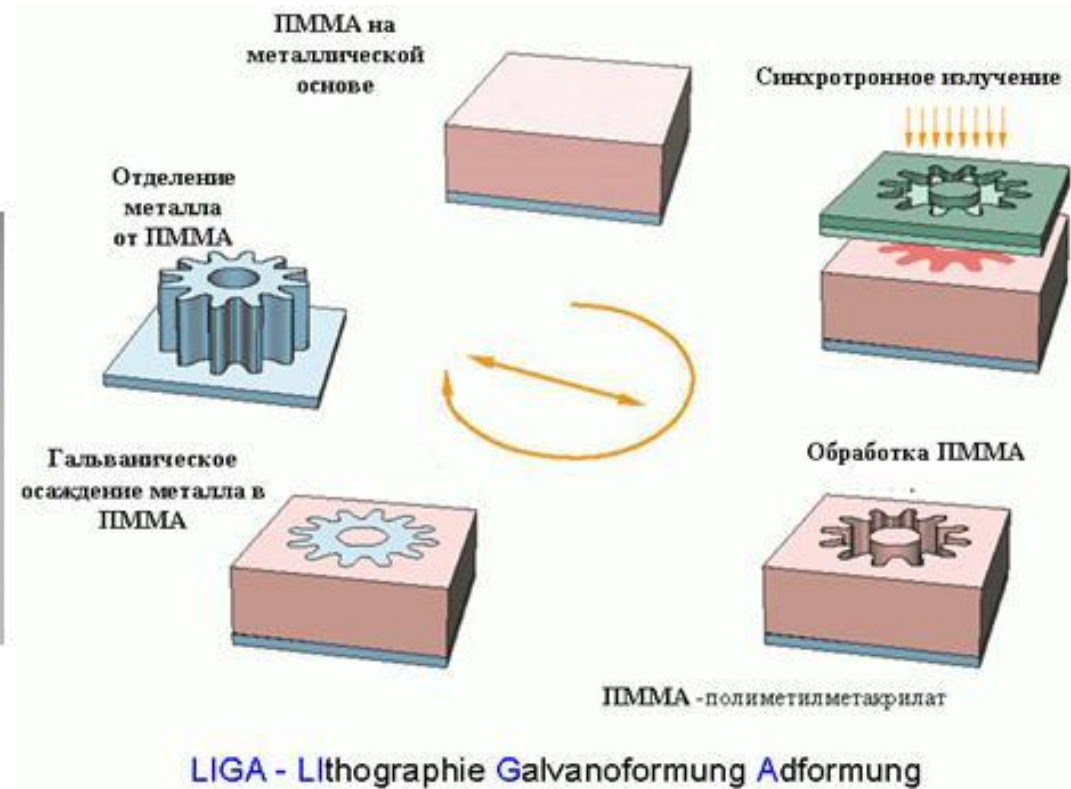
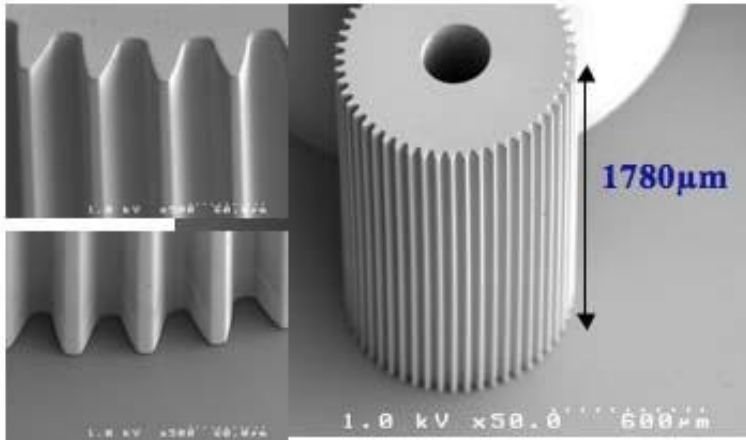


*Датчик давления для особо надежных авиационных и промышленных приложений*



*Датчик давления STMicroelectronics*

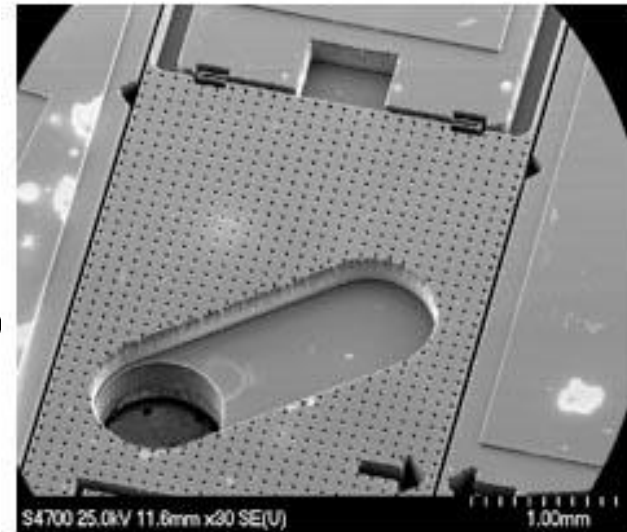
# LIGA-технология



*Высокая шестерня с большим коэффициентом соотношения сторон, созданная с помощью технологии LIGA*

# SIGA-технология

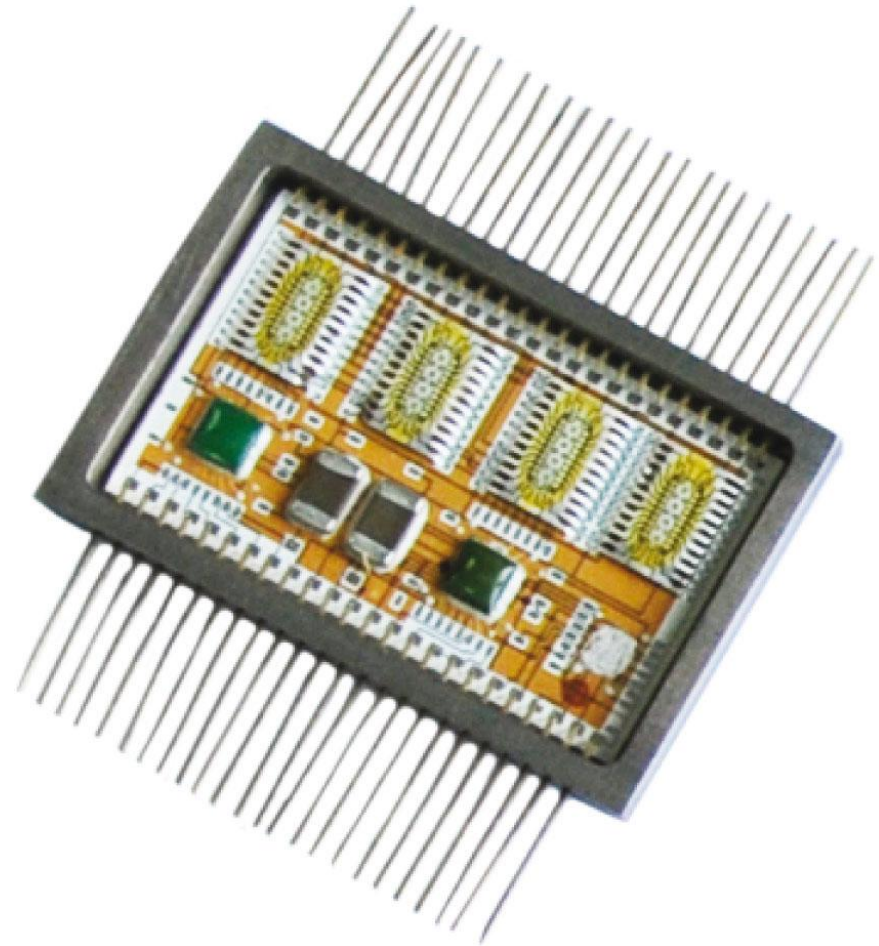
SIGA (в переводе) означает – ультрафиолетовая литография, гальваника и формовка. В отличие от технологии LIGA в ней резист вместо рентгеновского излучения экспонируется ультрафиолетом.



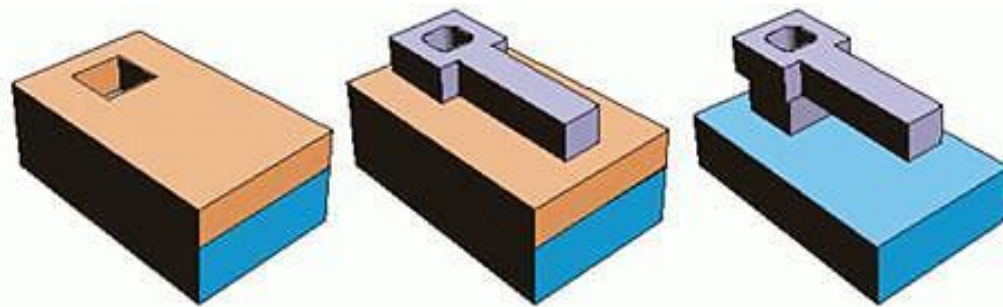


# Волоконная технология

Суть: спекается пучок стеклянных волокон (полых или сплошных), различающихся избирательностью к травлению по отношению к растворителю, вытягивании этого пучка до требуемого поперечного размера, разрезании вытянутой части пучка на куски и вытравливании затем из куска растворимых волокон. Укладка волокон в пучок осуществляется таким образом, что нерастворимые волокна образуют в сечении пучка структуру (топологию) изготавливаемой микроструктуры в некотором масштабе. Данная технология позволяет изготавливать детали с минимальными поперечными размерами отверстий до 0,2 мкм при высоте от 100 мкм до 1 см.



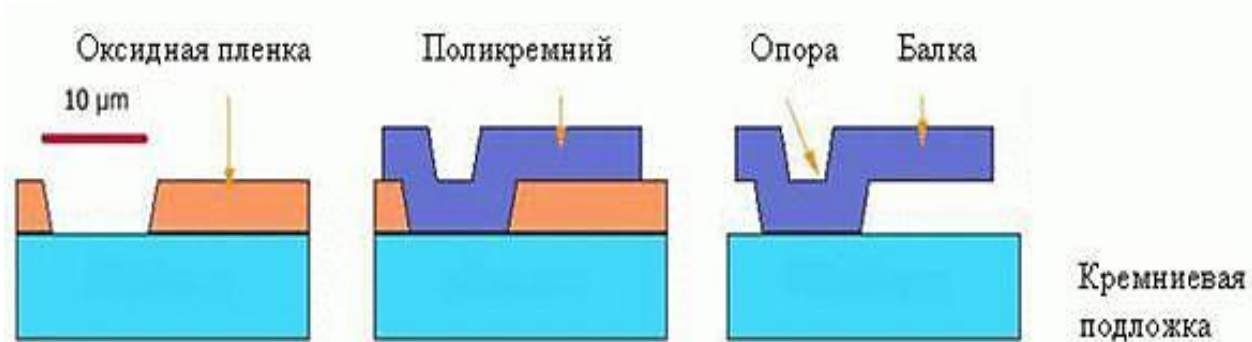
# Поверхностная обработка



Оксидная пленка  
Нанесение и  
формообразование

Поликремний  
Нанесение и  
формообразование

Удаление  
жертвенного слоя

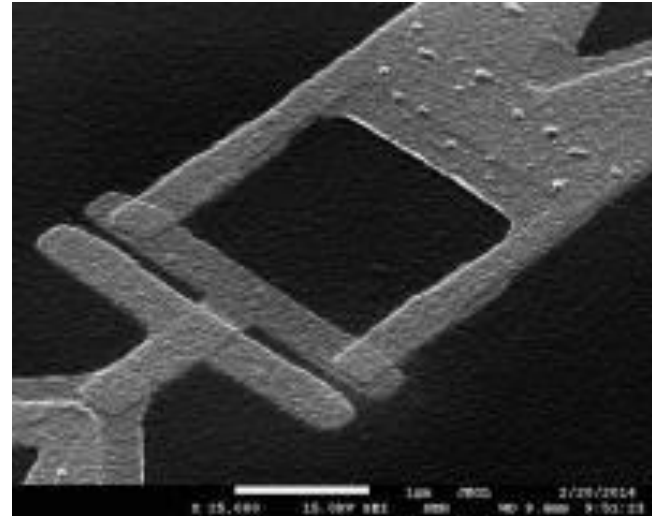
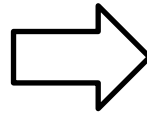
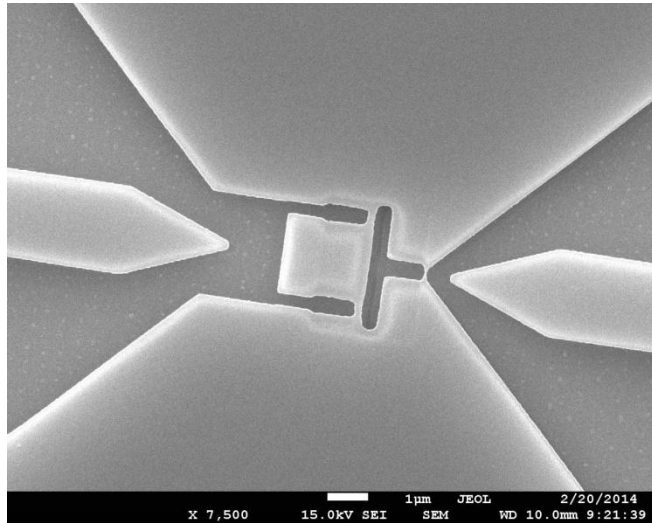


*Поверхностная микрообработка кремния*

Технология индивидуального формообразования методами корпускулярно-лучевого и электростатического микропрофилирования, а также алмазного фрезерования



# Корпускулярно-лучевое микропрофилирование



# Высокочастотные ключи

---

АМ (несколько МГц)

---

FM (88...108 МГц)

---

Военные радиостанции и мобильная связь  
(900 МГц и 2.4 ГГц)

---

**Волны  
использования**

Работа устройств по технологии Bluetooth

---

Ku-диапазон (12.4...18 ГГц)

---

W-диапазон (75...110 ГГц)

---

# Высокочастотные ключи

Контактные

Ёмкостные

Управление кантилевером

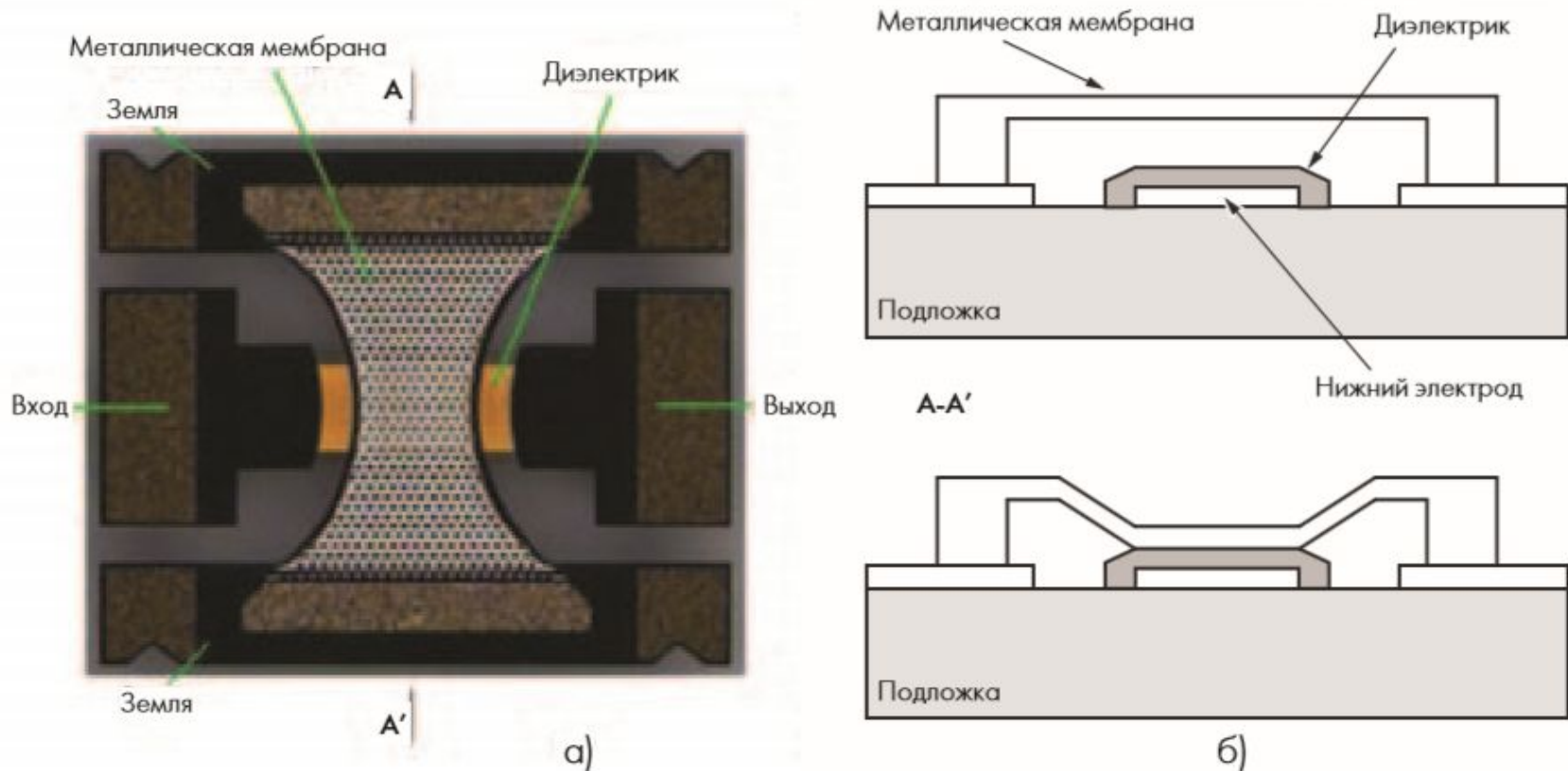
Электростатический

Магнитостатический

Пьезоэлектрический

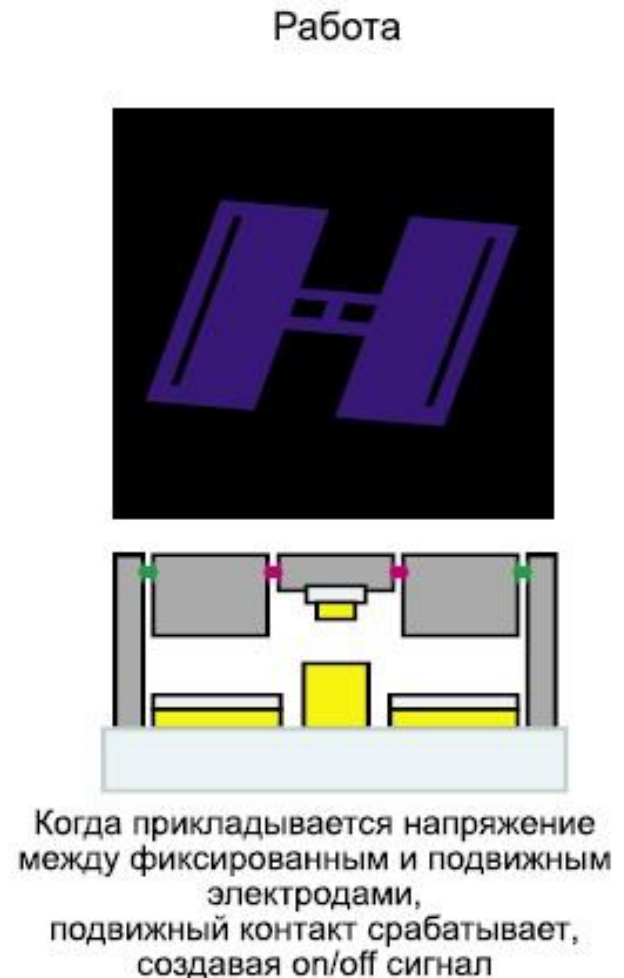
Электротермический

# ВЧ ключи (контактные)



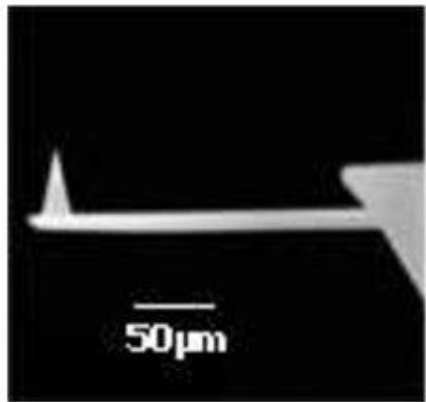
Внешний вид мембранного ключа (а) и сечения по линии А-А', показывающие положение мембраны в разомкнутом (б) и замкнутом (в) состояниях ключа

# ВЧ ключи (ёмкостные)

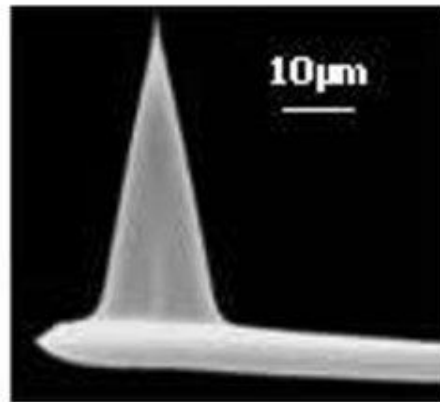




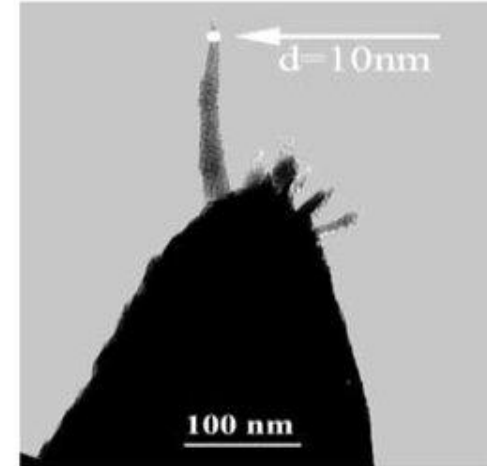
# Управление кантилеверами



Базовый кантилевер NSG10  
 $R \approx 10$  нм.



“Вискерный”  
кантилевер  
NSC05/5  
 $R \approx 1-2.5$  нм



“Вискерный”  
кантилевер  
NSG01\_DLC/10  
 $R \approx 1$  нм

# Преимущества ВЧ ключей

- ✓ Цифровое управление при расширенных функциональных возможностях;
- ✓ Малая потребляемая мощность цепи управления (порядка единиц микроватт);
- ✓ Малые потери в замкнутом состоянии;
- ✓ значительно меньшая емкость и, соответственно, лучшая развязка в разомкнутом состоянии;
- ✓ Ничтожные нелинейные искажения проходящего сигнала;
- ✓ Высокая стойкость к проникающей радиации;
- ✓ Более широкий диапазон рабочих температур

# Список литературы

1. Белов Л., Житникова М. Микроэлектромеханические компоненты радиочастотного диапазона //Электроника: наука, технология, бизнес. – 2006. – №. 8. – С. 18-25.
2. Carty E., Fitzgerald P., McDaid P. The Fundamentals of Analog Devices' Revolutionary MEMS Switch Technology //Technical Article. – 2016.
3. Баринов И. Н., Волков В. С. Микромеханика вокруг нас //Режим доступа: [http://dep\\_pribor.pnzgu.ru/files/dep\\_pribor.pnzgu.ru/mikromehanika\\_vokrug\\_nas.df](http://dep_pribor.pnzgu.ru/files/dep_pribor.pnzgu.ru/mikromehanika_vokrug_nas.df). – 2011.
4. Maluf N., Williams K. Introduction to microelectromechanical systems engineering. – Artech House, 2004.
5. Сысоева С. Высокочастотные МЭМС-ключи. Технологии и применения //Компоненты и технологии. – 2011. – №. 11. – С. 29-36.
6. Гуртов В. А., Беляев М. А., Бакшеева А.Г. Микроэлектромеханические системы: Учеб.пособие. – Петрозаводск: Из-во ПетрГУ, 2016. – 171 с.
7. Варадан В., Виной К., Джозе К. ВЧ МЭМС и их применение. – Москва: Техносфера, 2004. – 528с. ISBN 5-94836-030-X

Спасибо за внимание!