

# ОПТИЧЕСКИЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Выполнил студент 4 курса ФТФ  
Кузьмин Дмитрий Анатольевич

ПетрГУ  
2016

Микроэлектромеханические системы (MEMS) – одна из наиболее передовых технологий, позволяющая не только значительно улучшить характеристики электронной аппаратуры, но и создавать устройства для решения задач в совершенно новых областях.

MEMS устройства представляют собой электронные схемы, механические узлы и чувствительные элементы, выполненные в виде одного компонента с использованием технологических приемов, применяемых для производства микросхем. Фактически технология MEMS позволяет дополнять традиционную электронную схему датчиками и исполнительными механизмами, достигая тем самым интегрированного изготовления законченной системы.

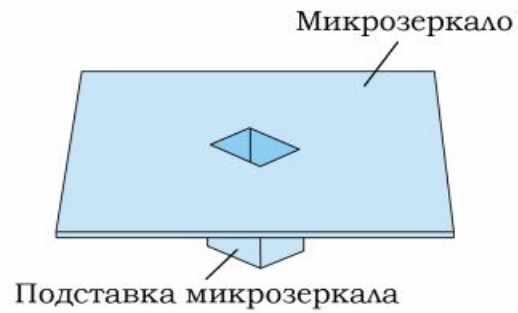
Современные MEMS также часто содержат в себе оптические компоненты. Такие MEMS иногда выделяют в отдельную группу (называемую MOEMS), в основном, из-за конструктивных различий, поскольку MOEMS требуют наличия прозрачных для света окон в корпусе, что иногда является проблемой из-за требований к герметичности.

В настоящее время MEMS уже получили широкое распространение в отдельных областях (например, в автомобильной электронике), но потенциал данной технологии далеко не исчерпан.

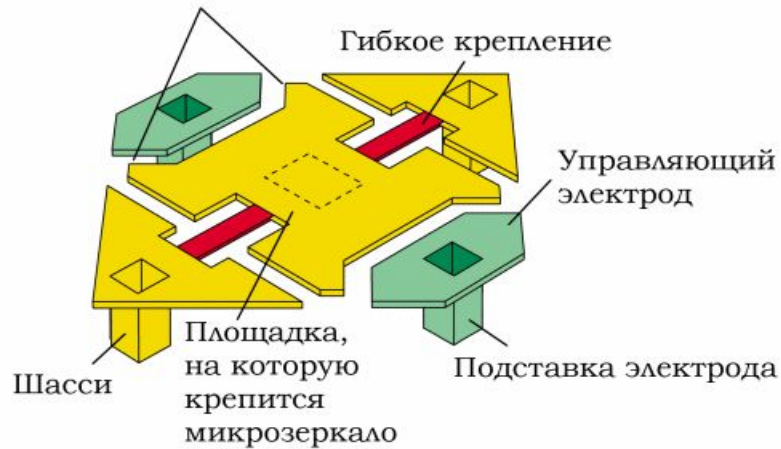
# АКТИВНЫЕ ЗЕРКАЛА

Одни из самых ярких представителей устройств с MEMS-актуаторами – DLP-проекторы (DLP – Digital Light Processing). В основе этих проекторов лежит относительно крупная – по общему размеру готового чипа – микроэлектромеханическая система под названием DMD (Digital Micromirror Device, цифровое микрозеркальное устройство).

DMD-чип представляет собой матрицу микрозеркал, количество которых равно разрешению итогового устройства. Скажем, для разрешения 1920x1080 – чуть больше 2 миллионов. Каждое микрозеркало – крошечная алюминиевая пластинка размером 10x10 микрон.

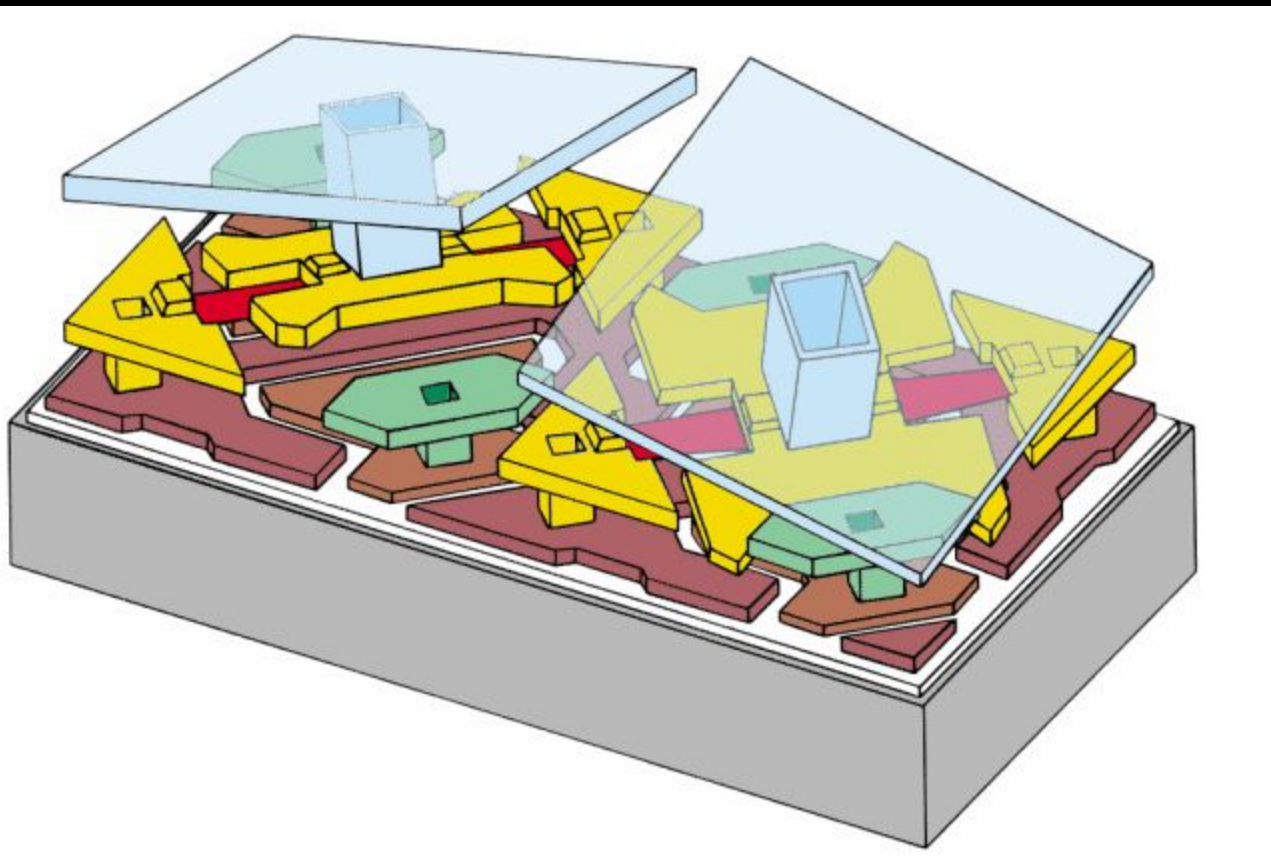


Кончики площадки, упирающиеся в основание при наклоне



Зеркало покоится на сравнительно массивной площадке, которая прикреплена к более тонкой и более гибкой, чем прочие детали системы, полоске – подвесу – натянутой между опорами. В двух других углах основания, не занятых опорами, расположены электроды, которые за счет кулоновской силы могут притягивать один из краев зеркала. Таким образом, зеркало может наклоняться в одну и в другую сторону: не слишком сильно, обычно угол поворота составляет 12 градусов.

В одном из этих двух положений зеркальце отражает попадающий на него свет в сторону линзы и далее на экран. В другом положении – направляет световой поток в сторону, на теплоотвод. В первом случае на экране получается белая точка, во втором – черная. В результате сложеного действия всей матрицы создается картинка, состоящая из двух цветов: черного и белого.

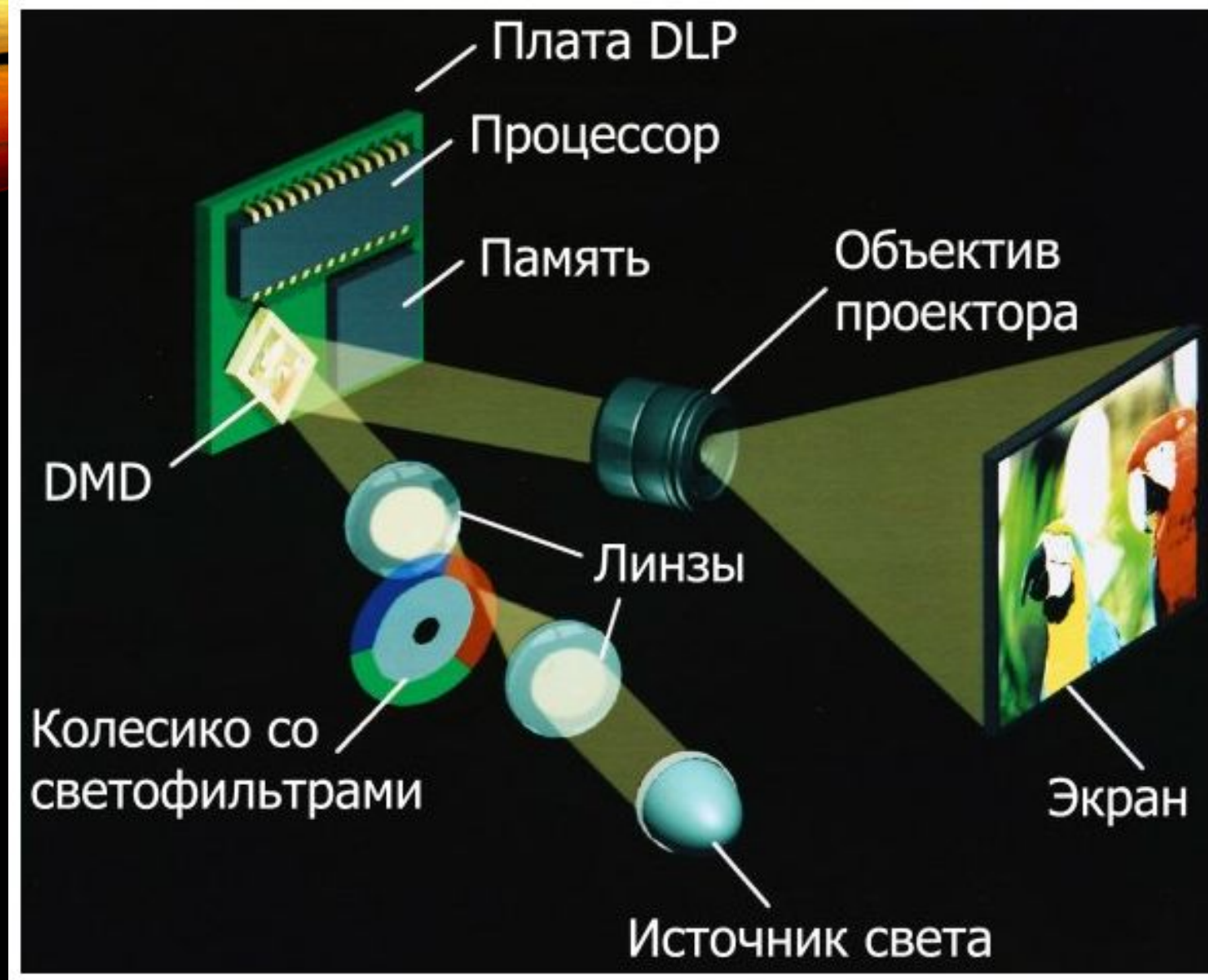


Два микрозеркала. Одно в «черном» положении, другое – в «белом». Среднее – «горизонтальное» – положение зеркала занимают только в припаркованном состоянии, когда проектор выключен

Разумеется, такое однобитное изображение – не совсем то, что нужно в XXI веке. Для начала, к чистым черному и белому нужно добавить градации серого. Поскольку полупрозрачность, в отличие от ЖК-матриц, здесь использовать нельзя, свет приходится отмерять механически. Для этого зеркало «мигает» с большой частотой. Это мигание способно обеспечить до 1024 градаций серого. Между прочим, это в 16 раз больше, чем у среднестатистической ЖК-матрицы.

Далее остается лишь добавить цвет. Непосредственно DMD-чип к этому уже не имеет почти никакого. Для добавления к изображению цветовой составляющей используется колесо с несколькими секторами, каждый из которых представляет собой светофильтр. К базовым красному, синему и зеленому для большей яркости изображения обычно добавляется еще и прозрачный сектор. Иногда для более аккуратной передачи полутонов используются дополнительные светофильтры. Колесо вращается с большой скоростью – микрзеркальная матрица выдает для каждого светофильтра свой кадр.





Общий принцип работы стандартного DLP-проектора – с одним DMD-чипом

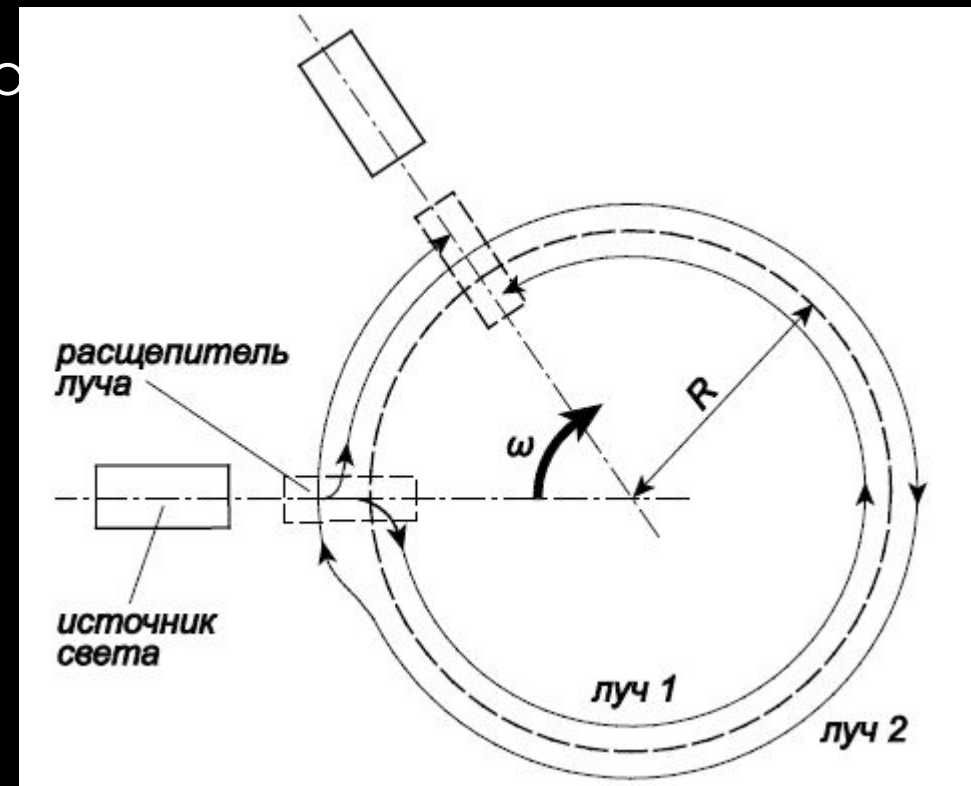
# ЛАЗЕРНЫЕ ГИРОСКОПЫ

Принципы работы оптических гироскопов основывается на эффекте Саньяка. Суть данного эффекта заключается в том, что два луча противоположного направления внутри вращающегося со скоростью  $\omega$  оптического кольца радиусом  $R$  проходят разные пути, чтобы сделать один оборот вокруг кольца.

Пусть  $t$  – время, за которое свет делает оборот внутри кольца, в кольце укладывается целое число волн  $\lambda$ ,  $L = 2\pi R = k\lambda$ .

Если  $\omega$  – циклическая частота вращения, тогда для скорости светового луча  $V_1$  в направлении вращения платформы будет  $v_1 = v_0 + \omega R = c/n + \omega R$  – увеличение скорости. Для скорости луча  $V_2$  в направлении противоположного вращения

$$v_2 = v_0 - \omega R = c/n - \omega R$$





Время, через которое лучи вернуться к точке входа

$$t_1 = \frac{L}{v_1} = \frac{2\pi R}{c/n + \omega R}; \quad t_2 = \frac{L}{v_2} = \frac{2\pi R}{c/n - \omega R}$$

Запоздание  $\Delta t = t_2 - t_1 = 2\pi R \left( \frac{1}{c/n - \omega R} - \frac{1}{c/n + \omega R} \right);$

За это время световой луч пройдет расстояние равное  $\Delta L = v_0 \cdot \Delta t = 4\pi\omega R^2 \frac{v_0 c}{c^2/n^2 - \omega^2 R^2},$

Поскольку скорость света в оптоволокне существенно больше линейной скорости вращения  $v_0 \gg \omega R$ , то

$$\Delta L = \frac{4\pi\omega R^2}{c/n},$$

Так как  $\Delta t, \Delta L > 0$  - в области ввода когерентных лазерных пучков будет наблюдаться сдвиг фаз встретившихся световых лучей, вносимый вращением платформы.

Поскольку в кольце укладывается целое число длин волн  $\lambda_n$

$$L = k\lambda = k \cdot v \cdot T = k \cdot \frac{c}{n} \cdot \frac{1}{v}, \quad k - \text{целое,}$$

Тогда  $dL = kd\lambda = -\frac{kc}{\omega} \cdot \frac{d\omega}{v}$  или  $\frac{dL}{L} = \frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{d\omega}{\omega}.$

Последнее уравнение показывает, что при распространении света в оптоволокне расположенном на вращающейся платформе, происходит синфазное уменьшение длины волны и рост частоты.

Это же уравнение можно получить и другим методом, с позиции внешнего наблюдателя. Двум лучам, перемещающимся в противоположных направлениях, нужно пройти равный путь до места встречи. Для движущегося против направления вращения луча путь  $L_1$ , а для движущегося по направлению вращения путь  $L_2$ . При этом

$$L_1 = L_0 + \omega R \cdot \Delta t; \quad L_2 = L_0 - \omega R \cdot \Delta t;$$

Время полного оборота луча  $t$ , разность длины хода:

$$t = \frac{2\pi R}{hc}; \quad \Delta L = 2\omega R \cdot \Delta t;$$

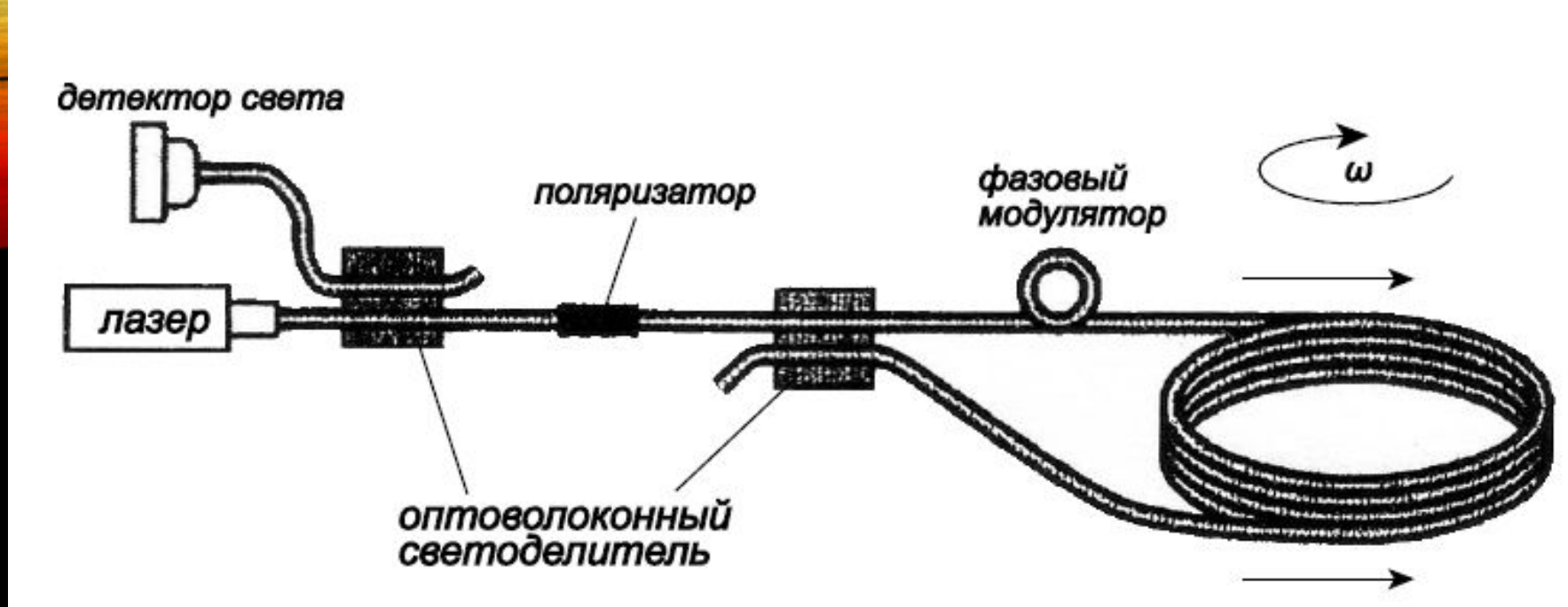
Поскольку скорость света существенно больше линейной скорости вращения

$$v = nc; \quad nc \ll \omega R; \quad \Delta t \cong t,$$

Получаем

$$\Delta L = 2\omega R \cdot \frac{2\pi R}{c/n} = \frac{4\pi\omega R^2}{c/n}.$$

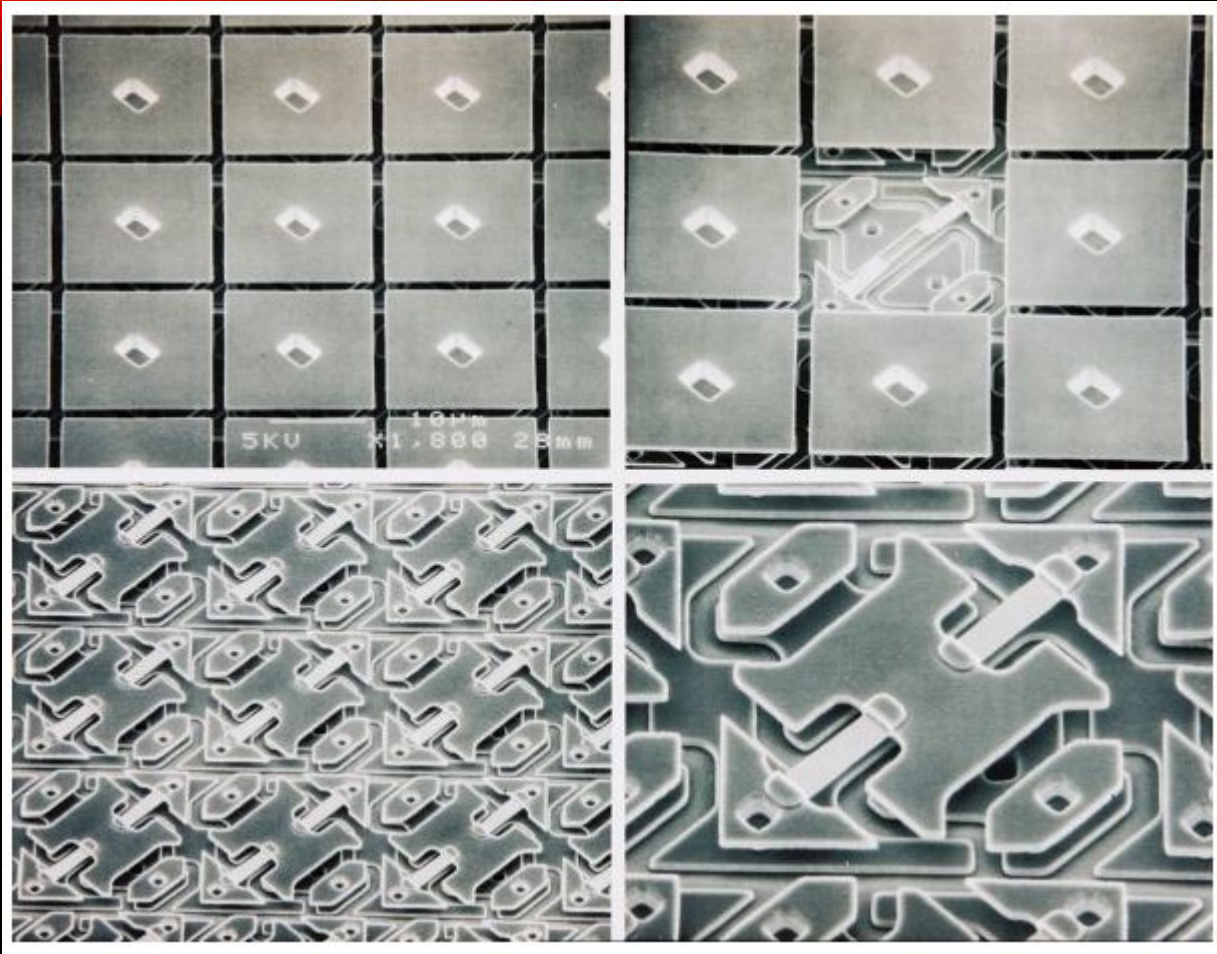
$\Delta L$  - это разность хода 2-х когерентных лучей в месте встречи



Гироскоп с оптоволоконной катушкой состоит из источника света и детектора, связанных оптоволоконными световодами. Между детектором и вторым разветвителем размещается поляризатор. Он служит для обеспечения того, чтобы оба встречно направленных луча проходили одинаковый маршрут вдоль катушки. Оба луча смешиваются и направляются на детектор, который регистрирует косинусоидальные изменения интенсивности излучения, вызванные меняющимся сдвигом фаз между лучами, возникающим из-за вращения катушки.

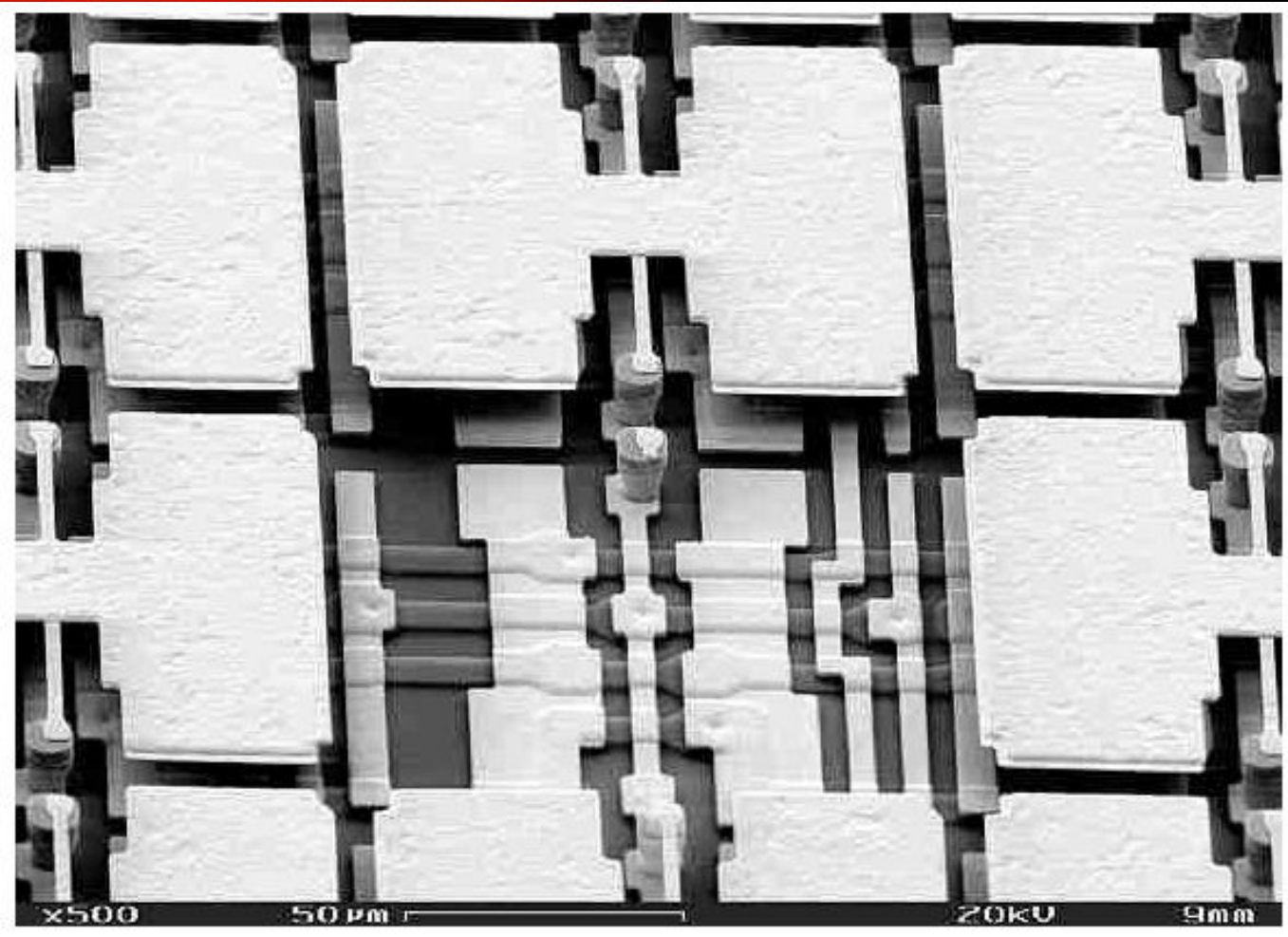


*DMD-ЧИП В СБОРЕ*  
КОМПАНИИ  
TEXAS INSTRUMENTS.

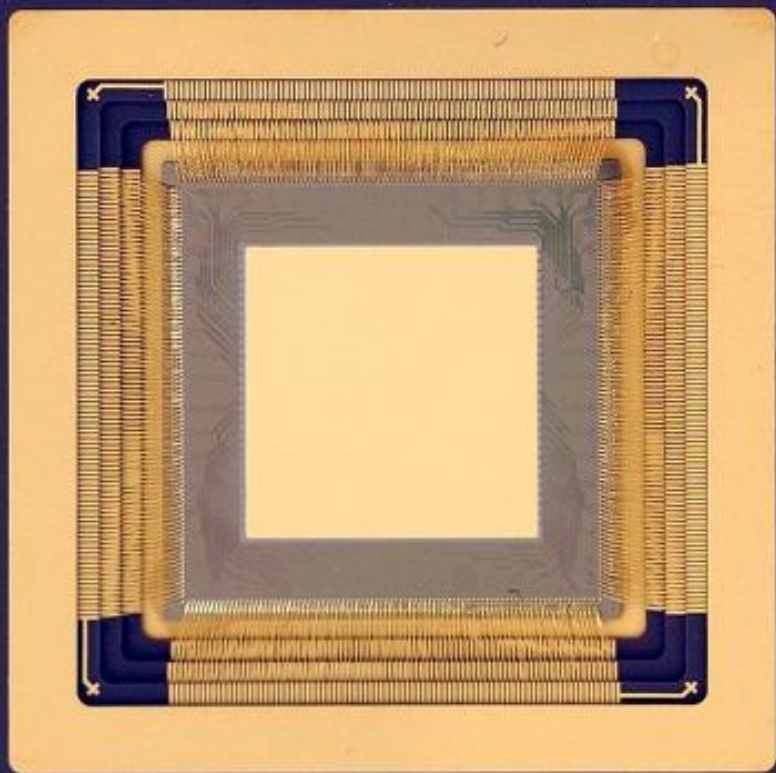


На фото изображена одна из старых матриц с размером ячейки 16x16 микрон.

В более новых DMD-чипах зеркала еще меньше



- Микрзеркальная матрица разработки Фраунгоферовского института полупроводниковых технологий



Зеркало с изменяемой геометрией,  
состоящее из 1020 элементов.

Разработка Boston Micromachines  
Corporation

# ЛИТЕРАТУРА

Учебное пособие: Гуртов В.А., Беляев М.А., Бакшеева А.Г.  
"Микроэлектромеханические системы"., 2016г.

Ароновиц Ф., Лазерные гироскопы, в кн.: Применения лазеров, пер. с англ., М., 1974; Бычков С. И., Лукьянов Д. П., Бакаляр А. И., Лазерный гироскоп, М., 1975; Курицки М. М., Голдстайн М. С., Инерциальная навигация, пер. с англ., "ТИИЭР", 1989, т. 71, № 10, с. 47. Я. В. Кравцов, А. Н. Шелаев.

Ароновиц Ф. Лазерные гироскопы // Применения лазеров. — Москва: Мир, 1974.

<http://www.3dnews.ru/600716//> **MEMS: микроэлектромеханические системы, часть 2**

[http://www.elinform.ru/articles\\_7.htm//](http://www.elinform.ru/articles_7.htm//) Применение микро-электро-механических систем