

光学応用MEMSの 最近の研究動向

Recent Research Activities on Optical MEMS (microelectromechanical systems)

年吉 洋

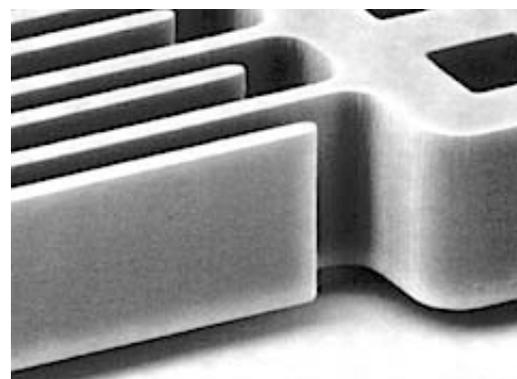
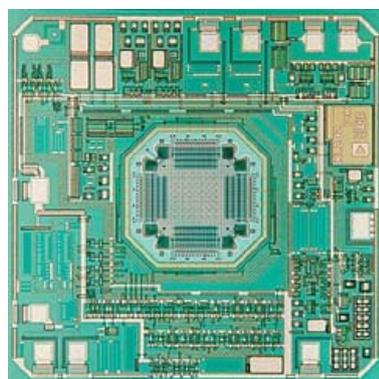
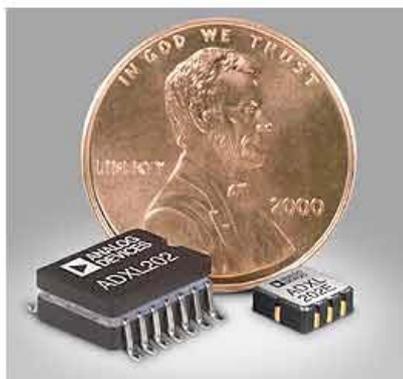
Hiroshi TOSHIYOSHI

東京大学 先端科学技術研究センター
Research Center for Advanced Science and Technology (RCAST)
The University of Tokyo

東京大学 生産技術研究所
マイクロナノメカトロニクス国際研究センター
Center for International Research on Micronano Mechatronics
Institute of Industrial Science
The University of Tokyo

代表的なMEMSデバイスの例 その1

米国アナログデバイス社の加速度センサ



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Acceleration (Any Axis, Unpowered for 0.5 ms)	.....	2000 g
Acceleration (Any Axis, Powered for 0.5 ms)	.....	500 g
+V _S	.....	-0.3 V to +7.0 V
Output Short Circuit Duration (V _{OUT} , V _{REF} Terminals to Common)	.....	Indefinite
Operating Temperature	.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature	.....	-65°C to +150°C

ゲーム機、ゴルフクラブに加速度センサ

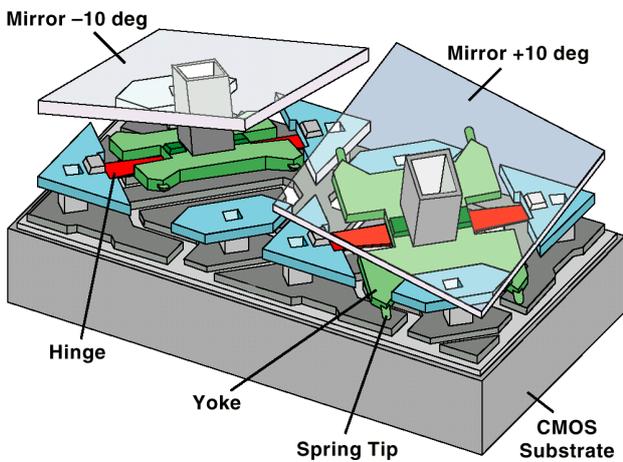


抜群のiPod。
 音楽を、ビデオを、ゲームを、アプリケーションを。エンターテインメントのすべてをiPod touchで。指先から世界が広がります。
[さらに詳しく▶](#)

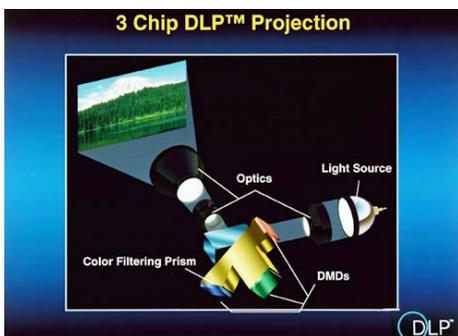


代表的なMEMSデバイスの例 その2

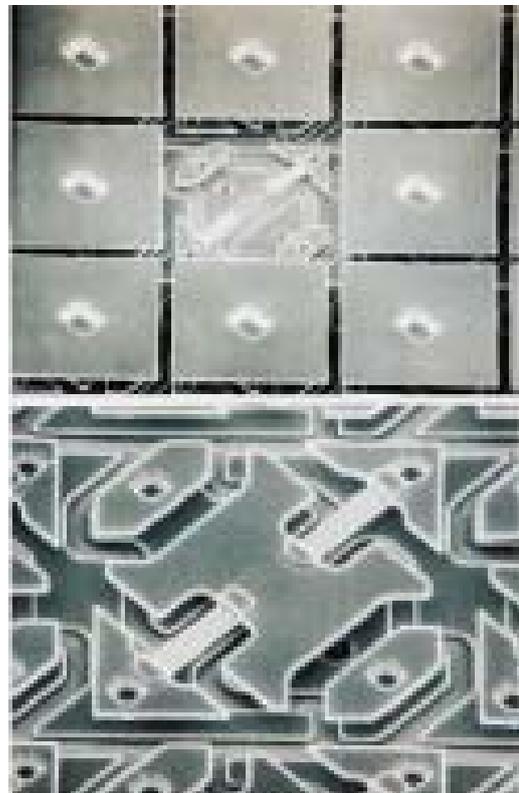
米国テキサスインスツルメンツ社のデジタルミラー・プロジェクト



<http://www.dlp.com/>



<http://www.dlp.com/>



<http://www.dlp.com/>

画像プロジェクタ



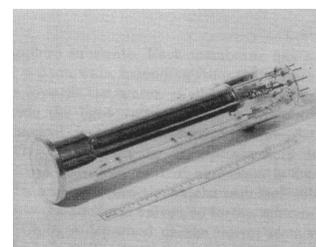
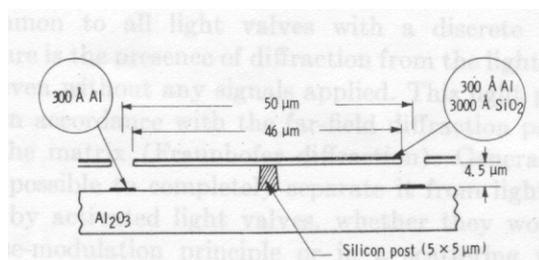
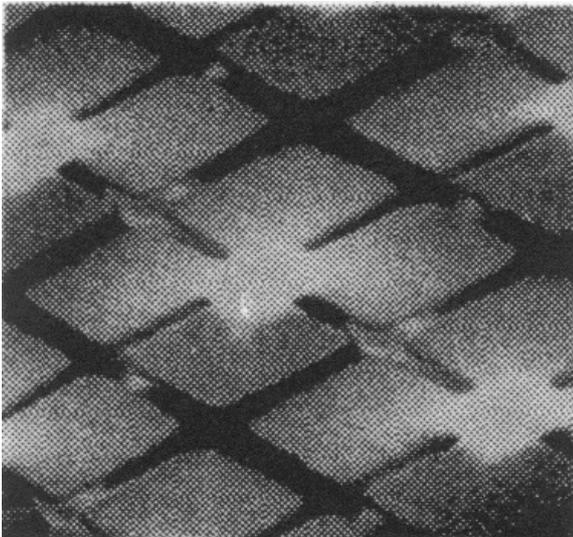
TI DLP <http://www.dlp.com>



Hiroshi Toshiyoshi © 2012, <hiro@iis.u-tokyo.ac.jp>, RCAST, Univ. of Tokyo, <http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

1975年のマイクロミラー型ディスプレイ

R. N. Thomas, J. Guldberg, H. C. Nathanson, P. R. Malmberg, IEEE Trans. ED vo. 22, 1975
Westinghouse Research Labs & Philips



Hiroshi Toshiyoshi © 2012, <hiro@iis.u-tokyo.ac.jp>, RCAST, Univ. of Tokyo, <http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

ファインマン教授の提案

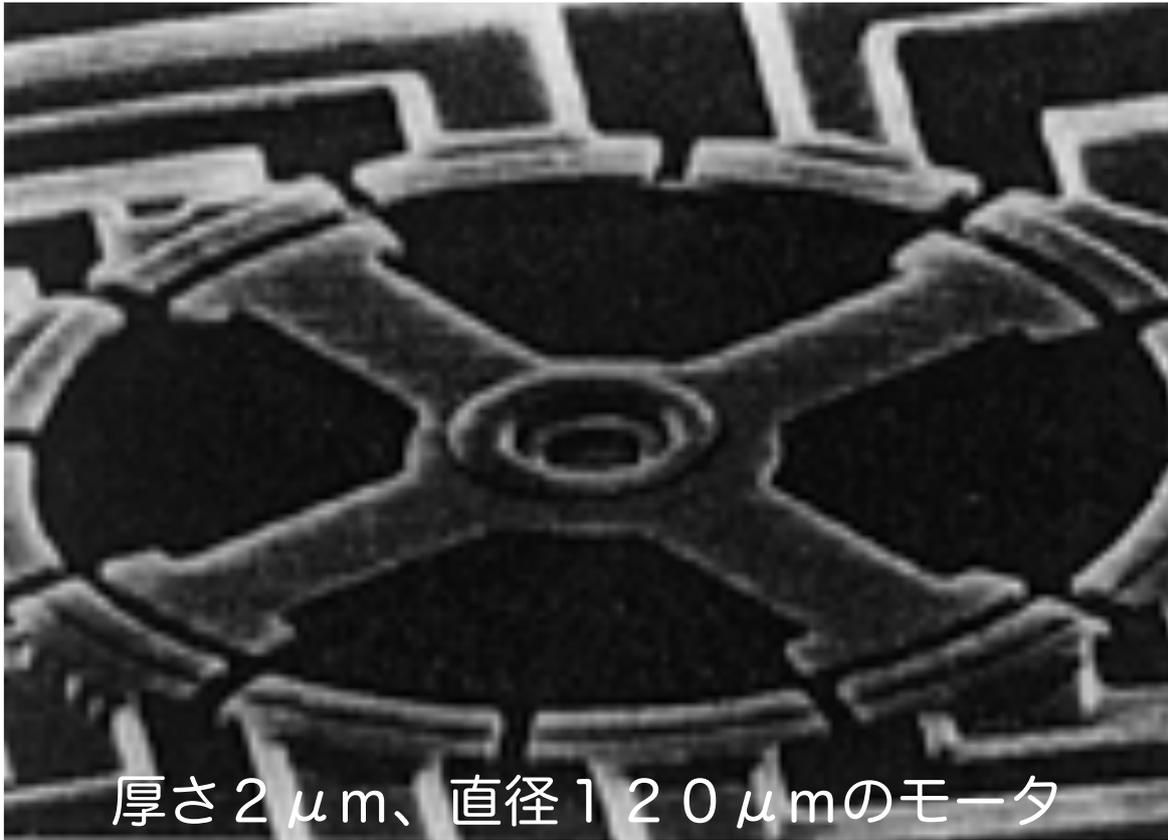
1. 虫ピンのアタマに、百科事典全巻を縮小映像記録できるか？
2. 電子／イオンビームで読み書き？
3. 電子顕微鏡をいま（当時1959年）より100倍高倍率にできるか？
4. DNAのように分子を用いてデータを記録？
5. コンピュータを超小型化？
6. 縮小して自分を再生産する自動機械？
7. 原子で字を書く？
8. 1インチの1/64のモータを作る？



ファインマン賞受賞のマイクロモータ（1960年）



ホンモノのマイクロモーター (1989年)

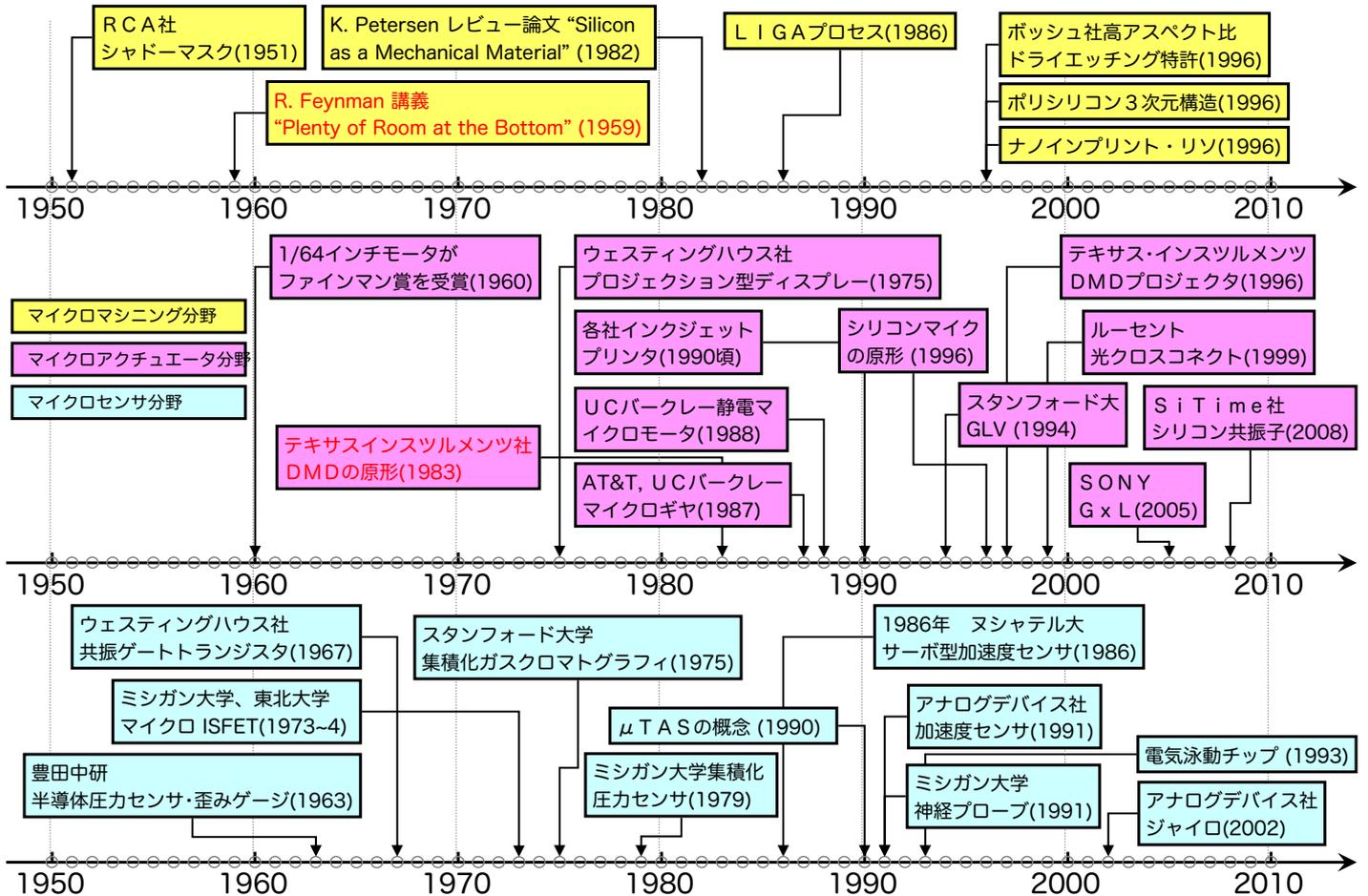


厚さ $2\mu\text{m}$ 、直径 $120\mu\text{m}$ のモータ

Y.Tai et al. Sensors & Actuators 1989

13. マイクロ・ナノメカトロニクス 発展史マップ

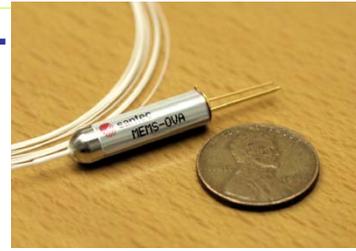
マイクロ・ナノメカトロニクス技術クラスター、応用物理学会 集積化MEMS技術委員会



MEMS化の利点

■ Miniaturization

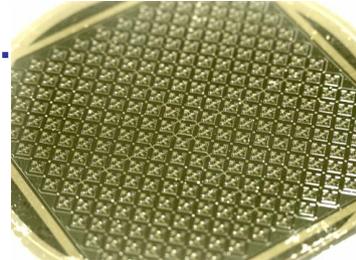
High Density Packaging
Improved Anti-Shock Tolerance
Improved Temperature Drift



Santec と東大生産研の共同研究 2004

■ Mass Production

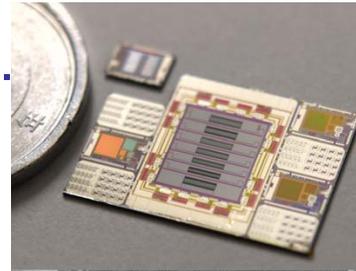
Batch Process
Reduced Parts #
Minimum Alignment or Assembly



Santec と東大生産研の共同研究 2004

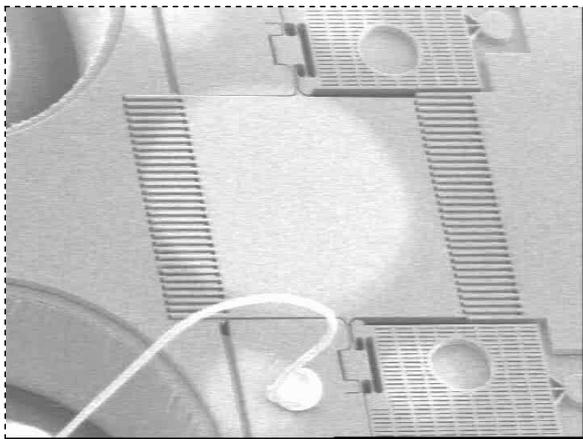
■ Multi-Functional

Circuits, Sensors, and Actuators

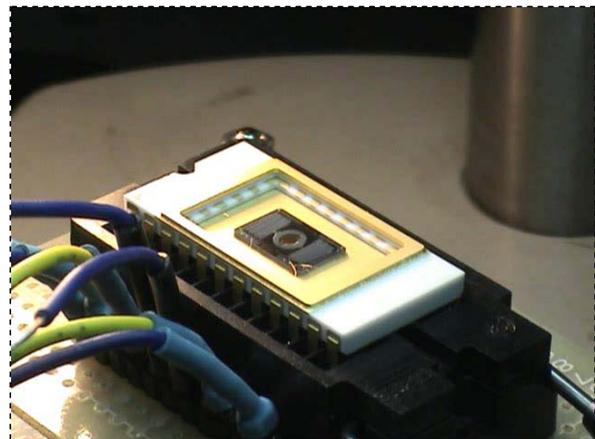


東芝研究開発センターと東大生産研の共同研究 2005

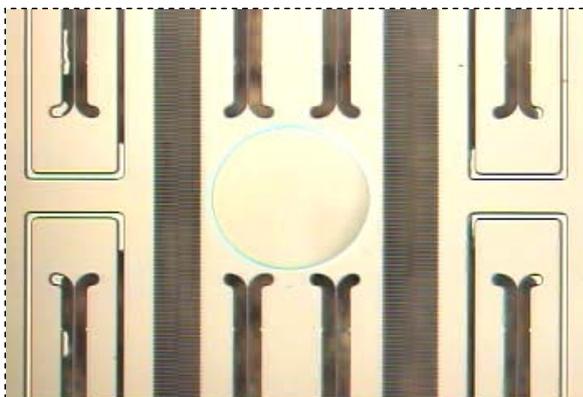
MEMSでしかできないこと = 機械的動作



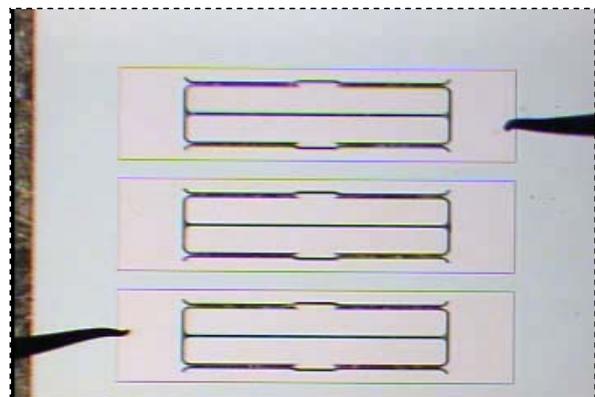
K. Isamoto, Santec Corp.,



M. Tani, Stanley Elec. Co. 2006



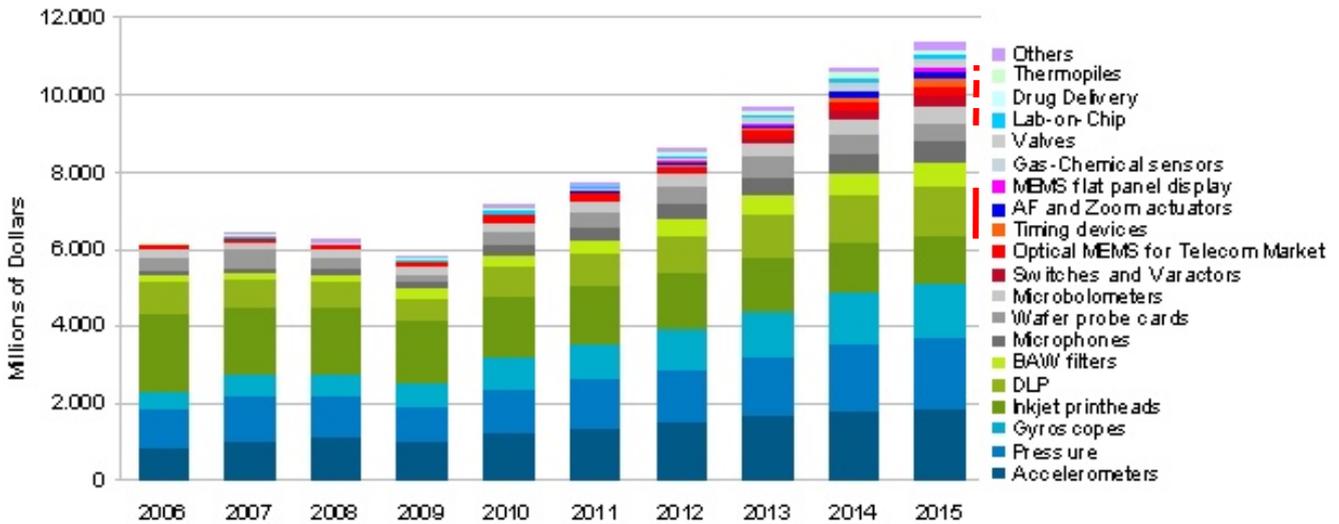
K. Takahashi, IIS, Univ. of Tokyo 2005



T. Takahashi, IIS, Univ. of Tokyo 2006

MEMS市場が新たな成長期に入った

<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20110728/193734/?SS=imgview&FD=48575398>

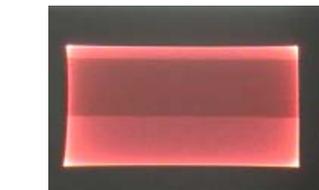
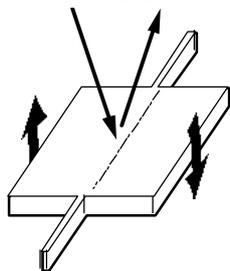


- 2009年までは、インクジェット用プリンタ・ヘッドと画像プロジェクタが市場を牽引
- 2010年のMEMS市場は、71億280万米ドル
- その後、2ケタ成長して、2015年には113億米ドル
- スマートフォン、タブレット端末のセンサが牽引役

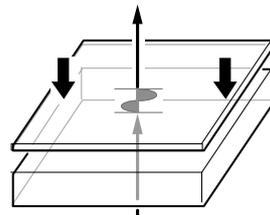
光とMEMSの整合性

■ 小さな動きでも、大きな効果

- ミラーの角度変化 → 空間変調素子
- ミラーの間隔変化 → ファブリ・ペロ干渉計
- ミラー短冊の上下動 → 回折強度



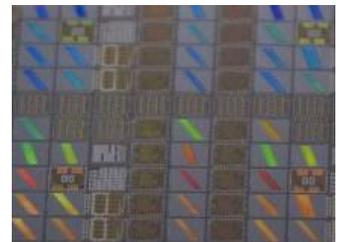
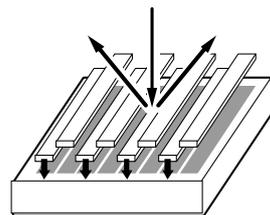
Scanners



Fabry-Perot Interferometer

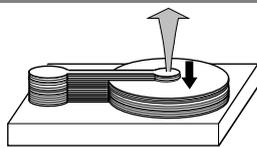


■ 複合機能の融合

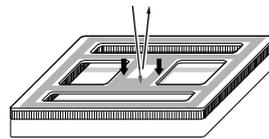


■ アライメント・フリー

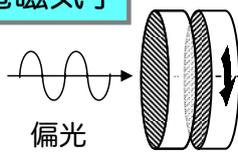
量子光学



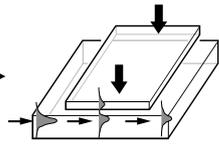
光子放出・吸収



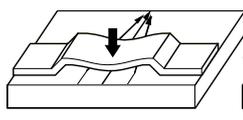
電磁気学



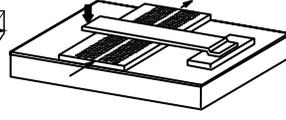
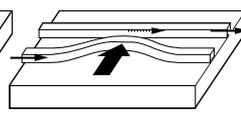
偏光



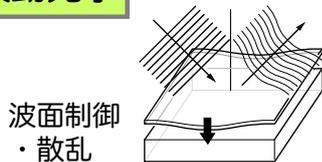
吸収



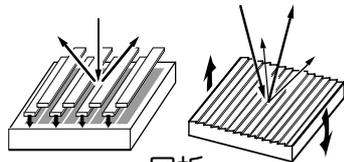
近接場光・プラズモン共鳴・メタマテリアル境界条件制御



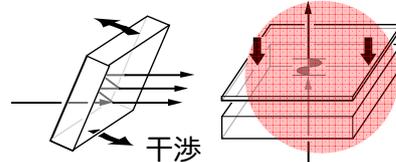
波動光学



波面制御
・散乱



回折

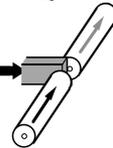


干渉

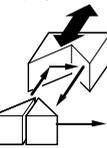
結合



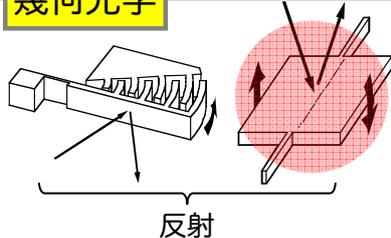
遮光



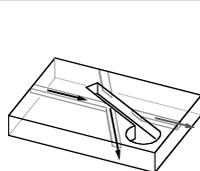
遅延



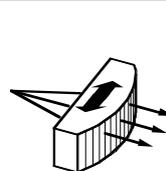
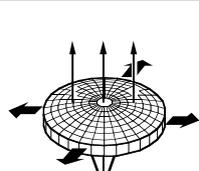
幾何光学



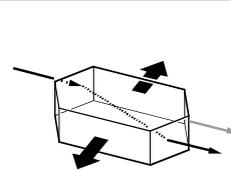
反射



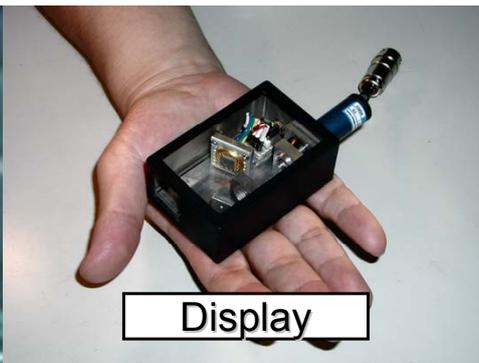
全反射



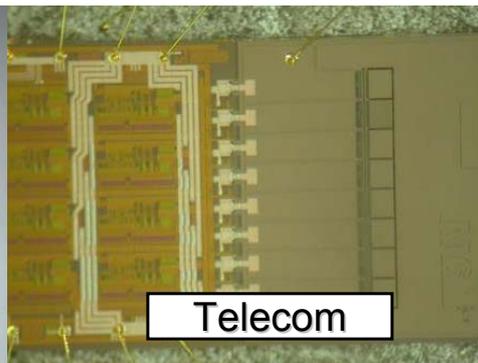
屈折



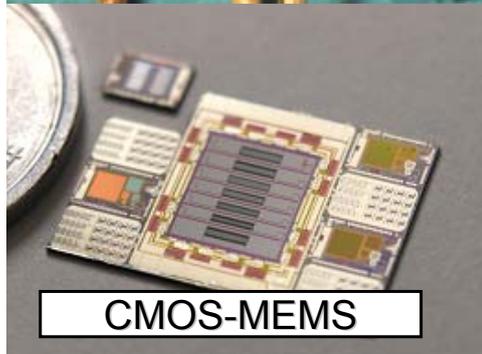
Telecom



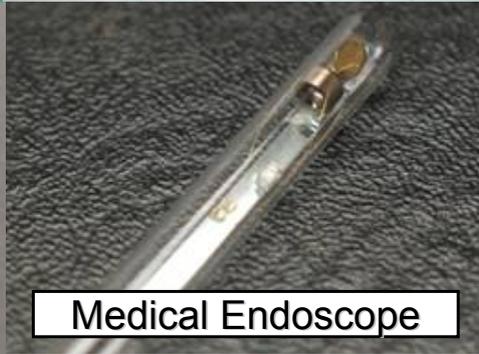
Display



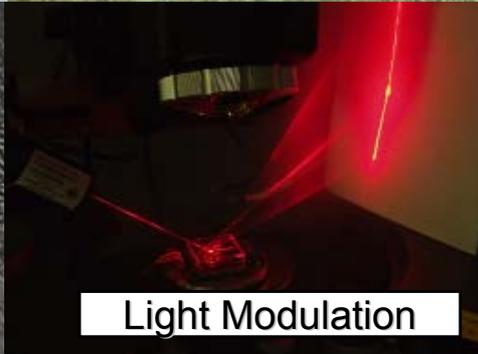
Telecom



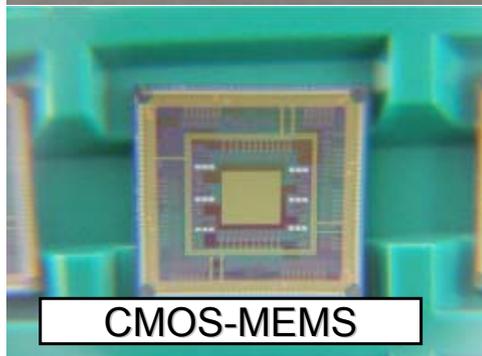
CMOS-MEMS



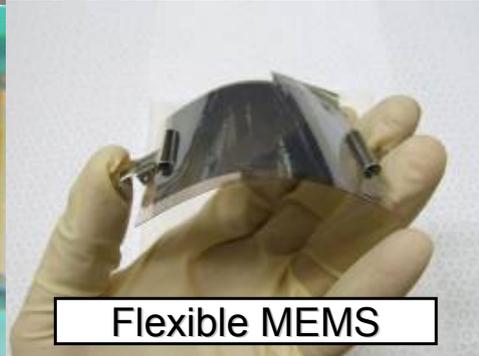
Medical Endoscope



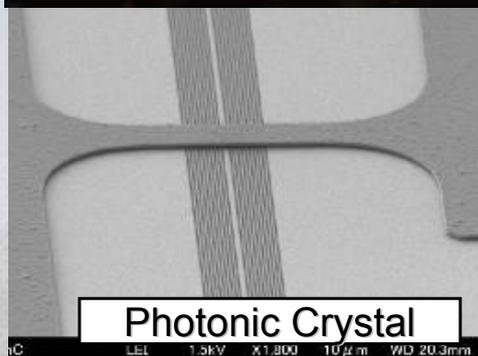
Light Modulation



CMOS-MEMS

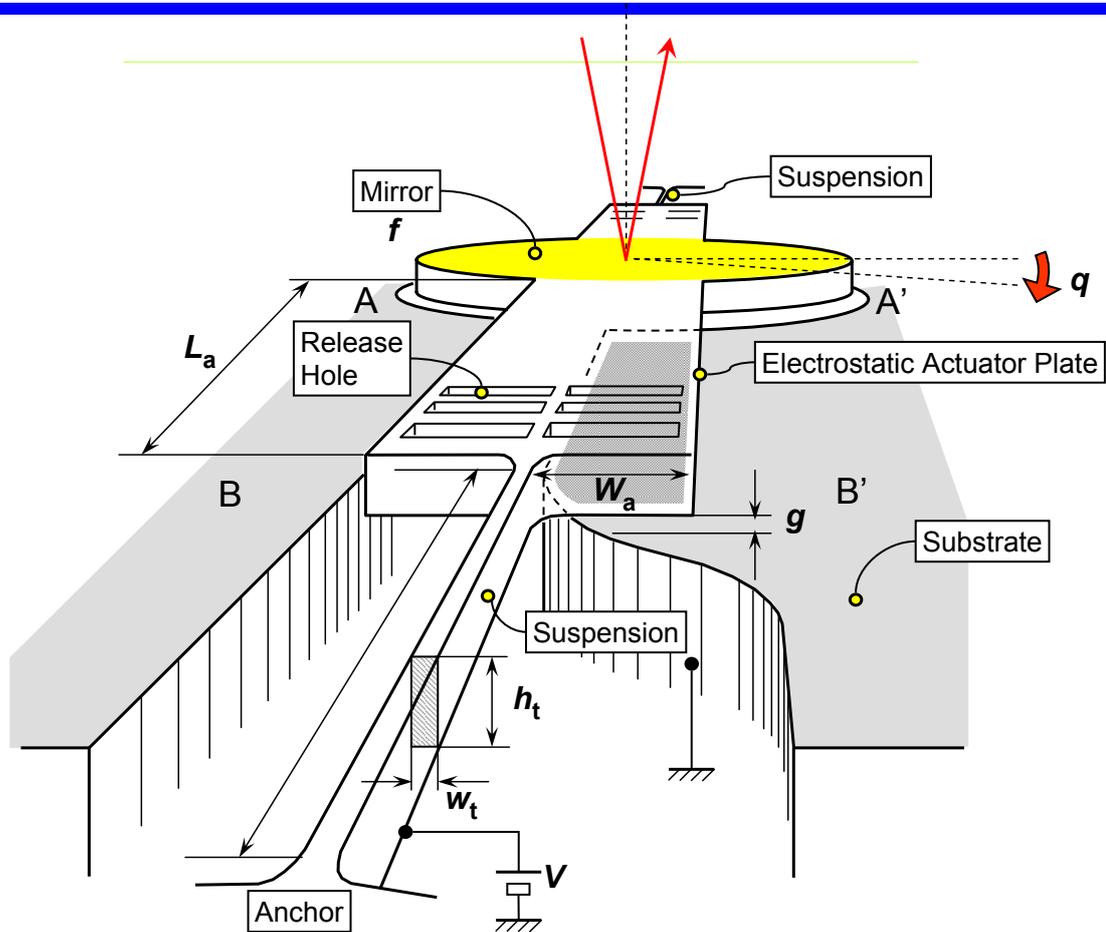


Flexible MEMS

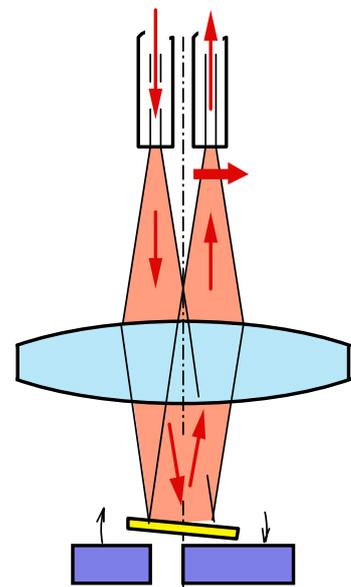
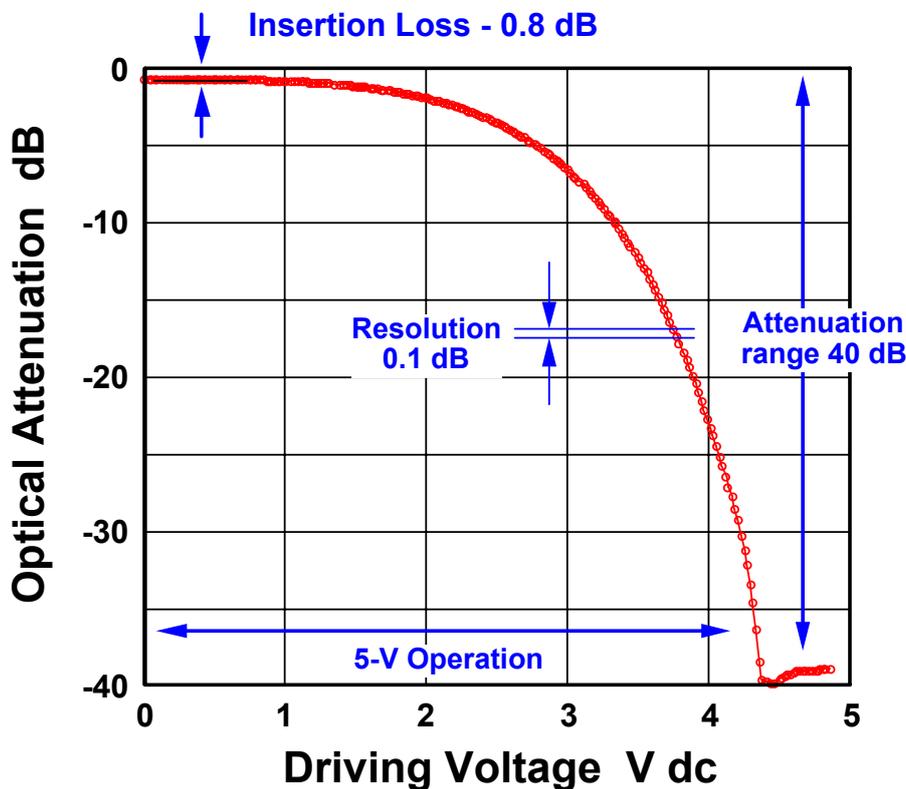


Photonic Crystal

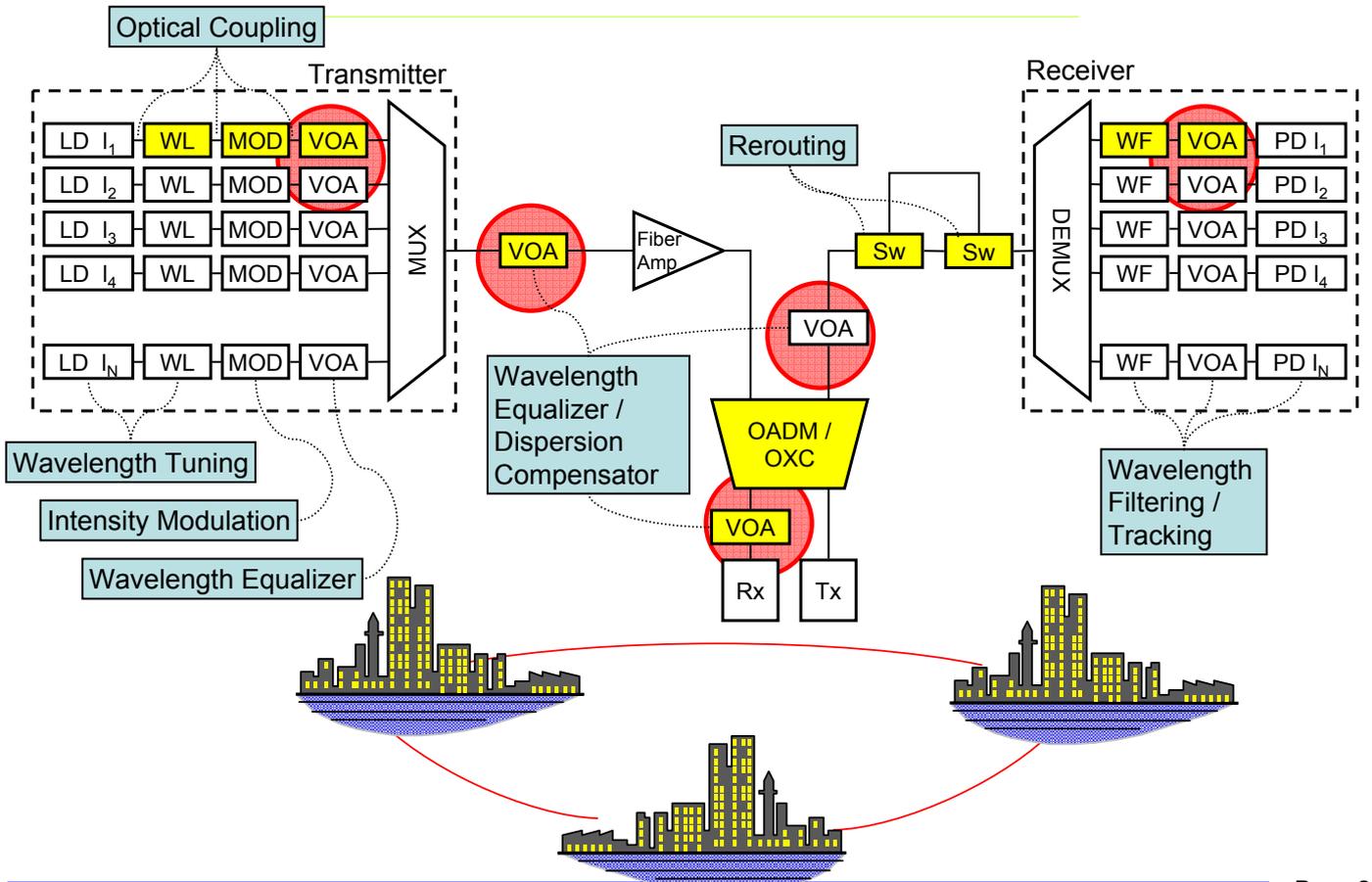
VOA用マイクロミラーの構造と駆動原理（静電）



可変ミラーによる光減衰量の制御

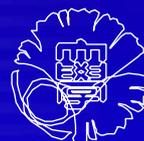
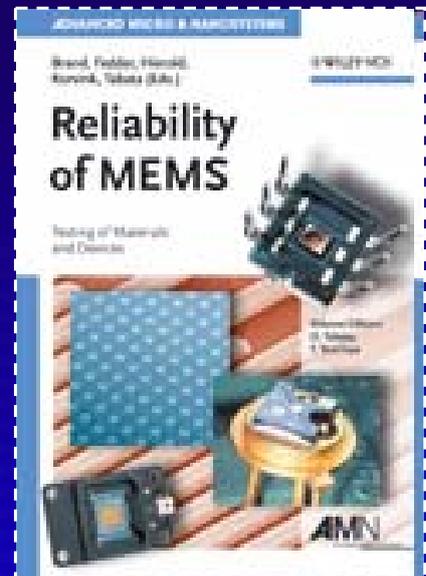


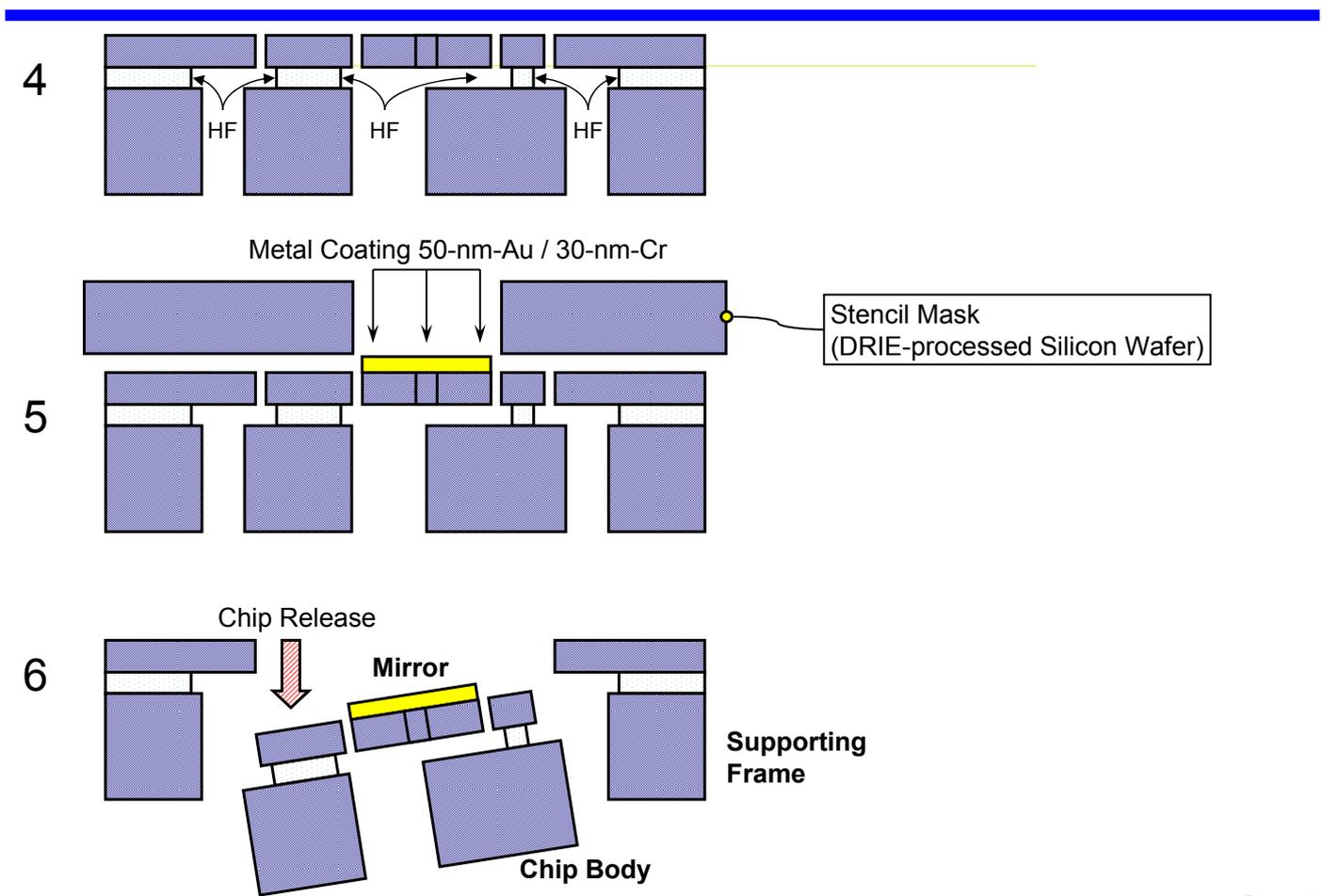
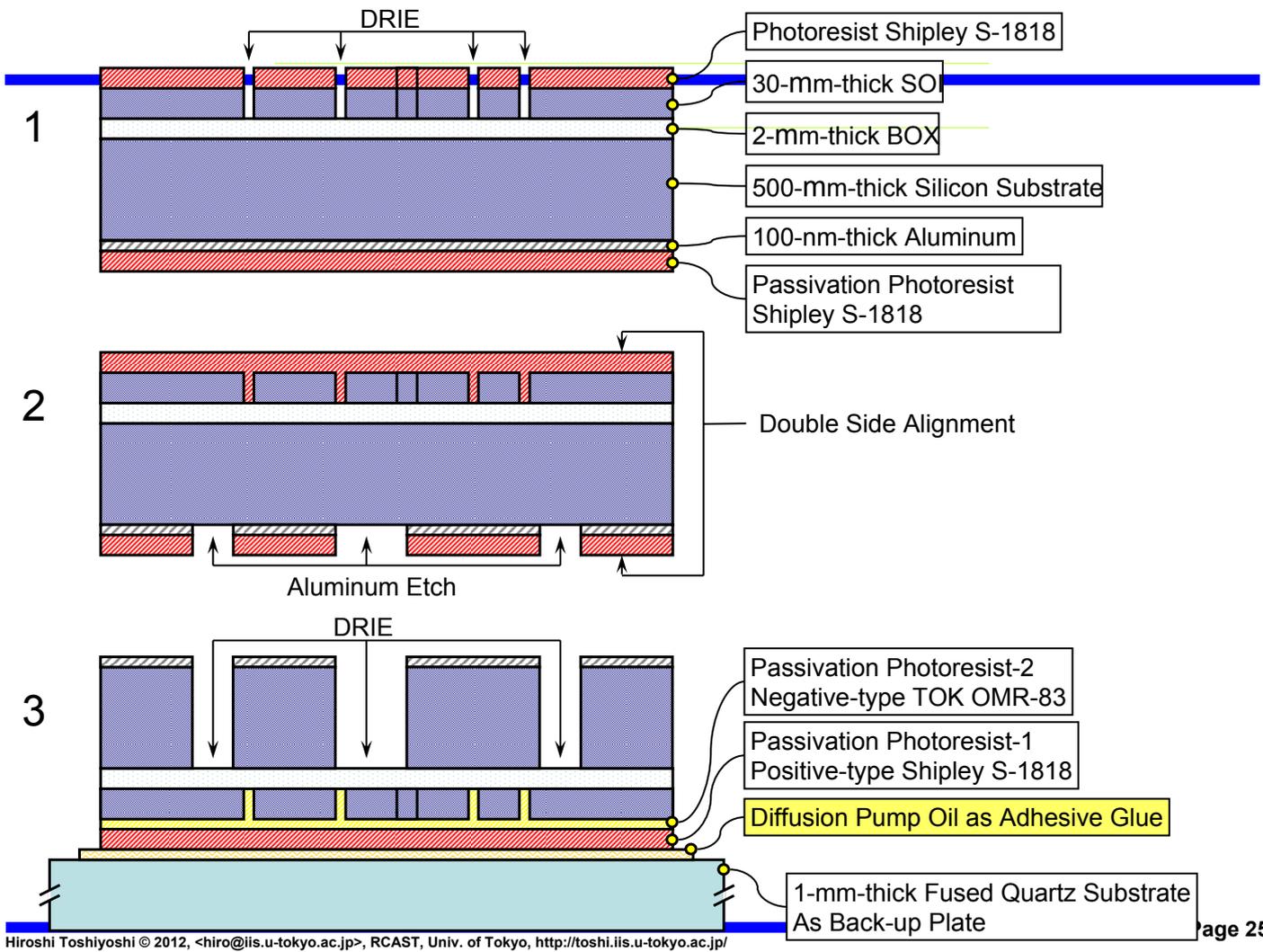
光ファイバ通信におけるMEMSデバイスの役割



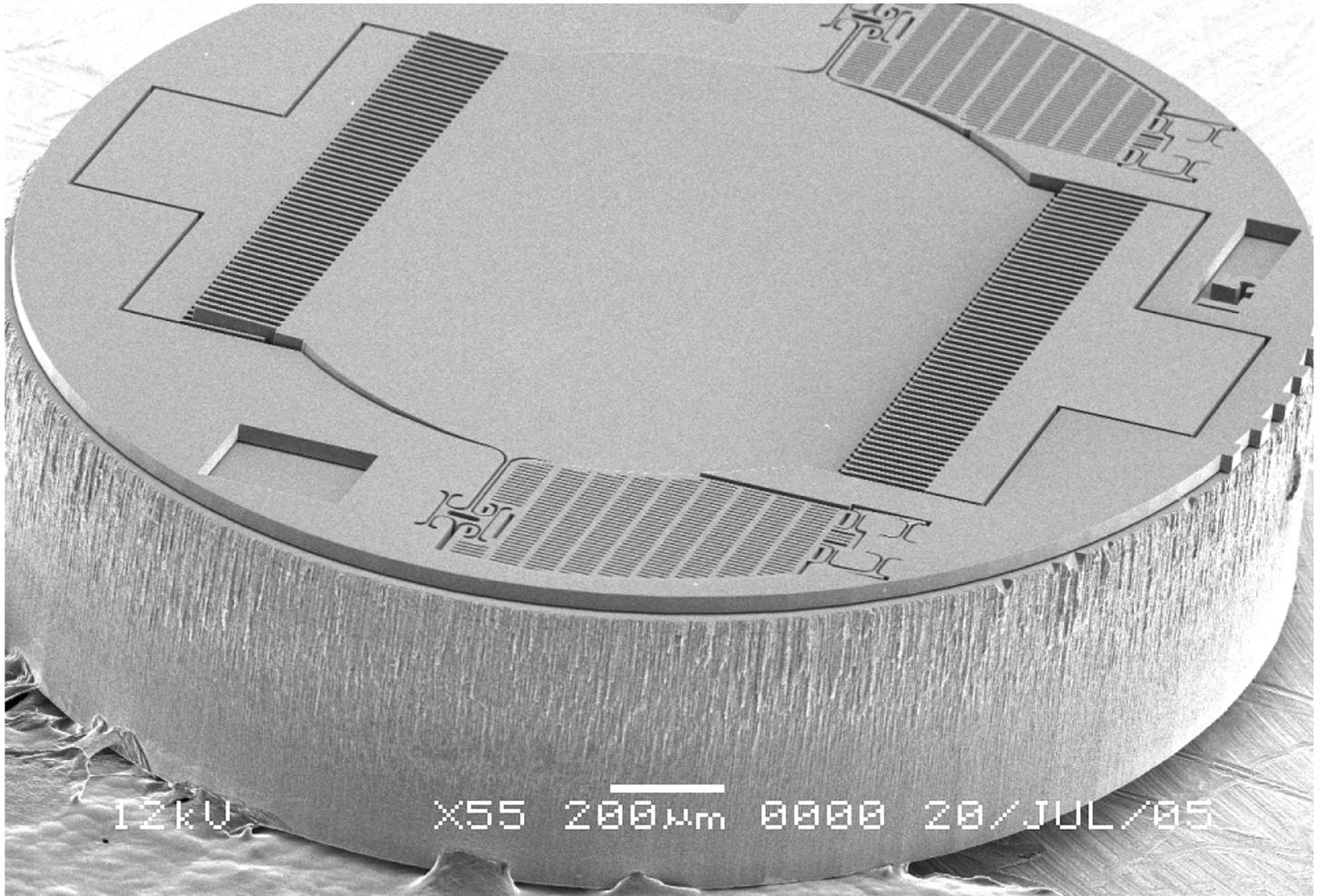
MEMS VOA

Variable Optical Attenuator





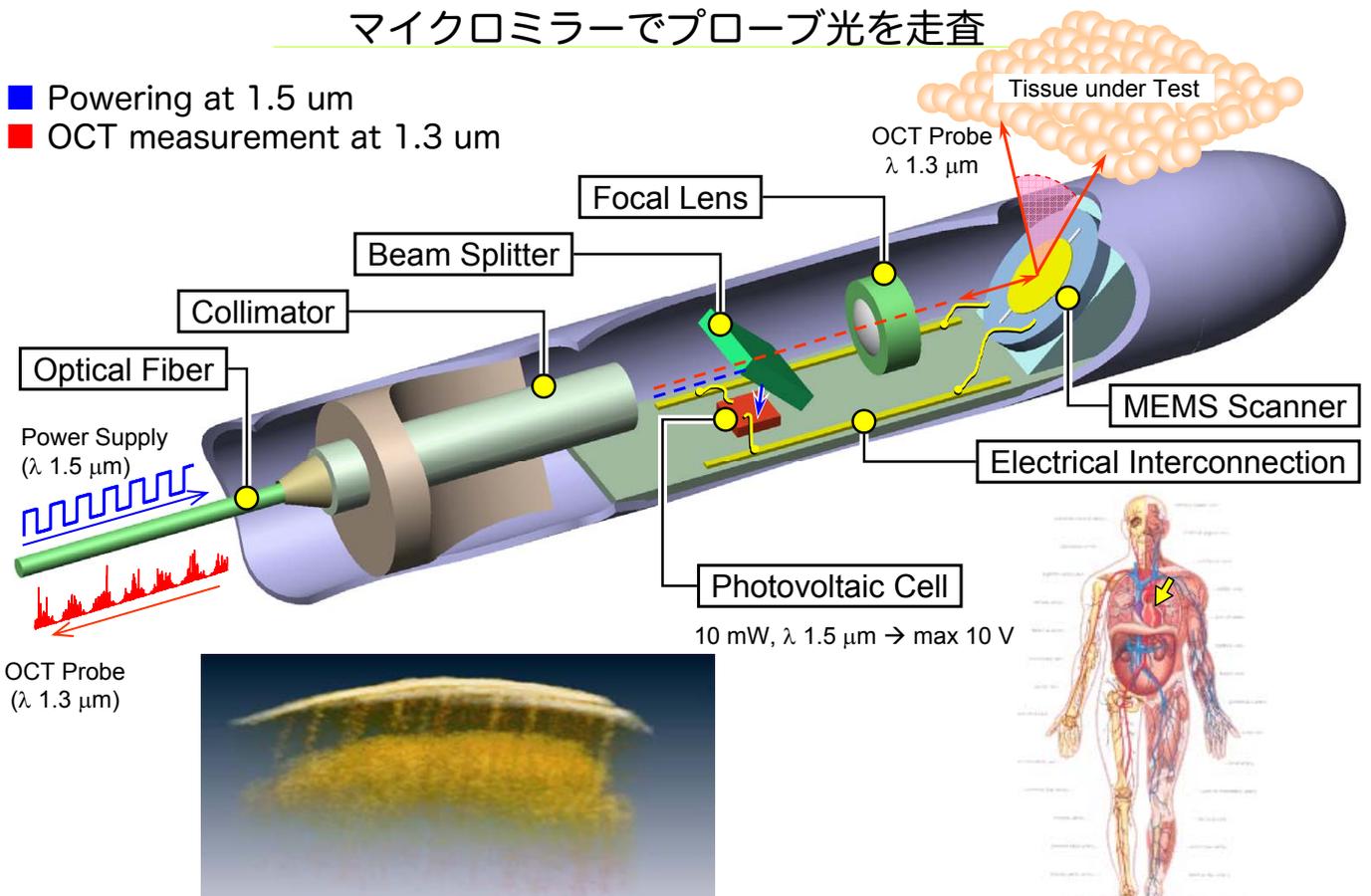
これもMEMSマイクロ光スキャナ



体の中を見る、光ファイバ内視鏡

マイクロミラーでプローブ光を走査

- Powering at 1.5 μm
- OCT measurement at 1.3 μm



原理は光の干渉

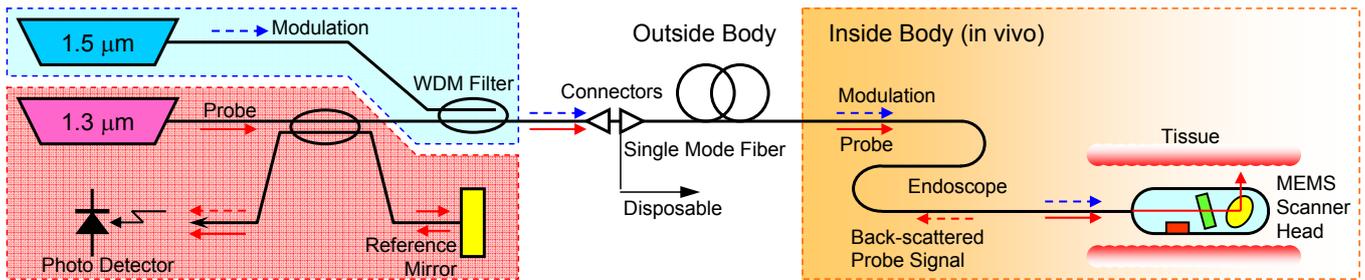
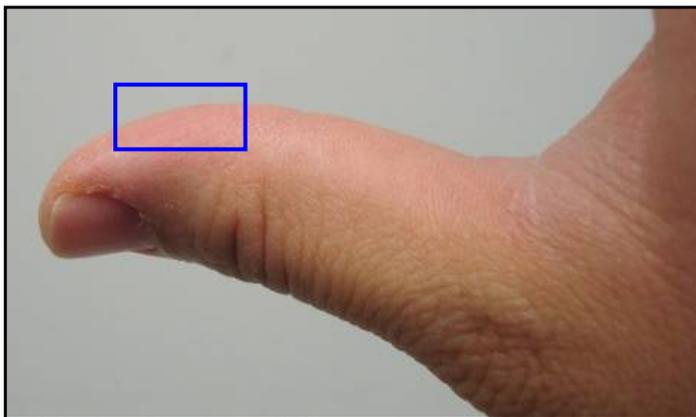


Photo by C. Chong, Santec. Co. 2006

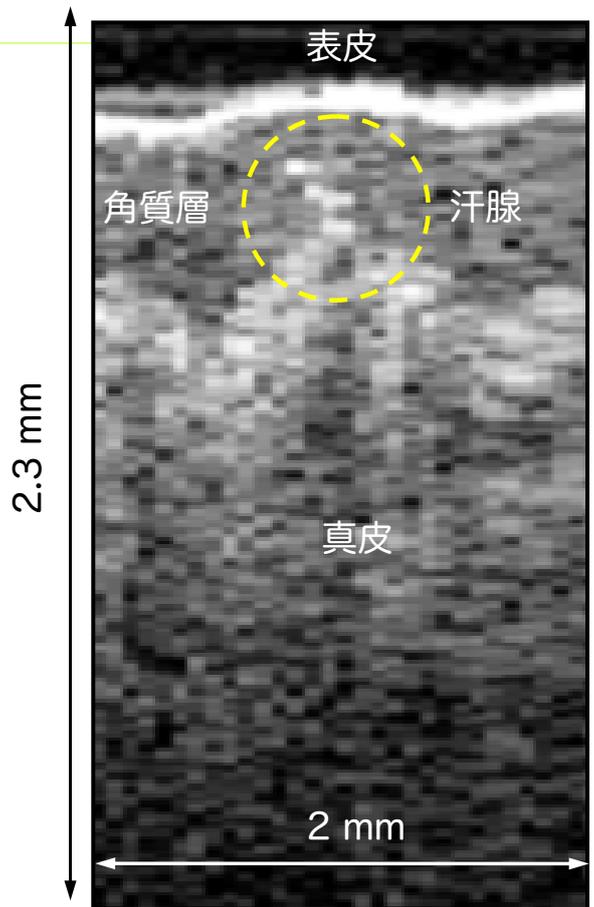


Photo by C. Chong, Santec. Co. 2006

指紋の断面を光干渉で可視化



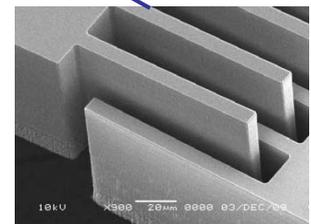
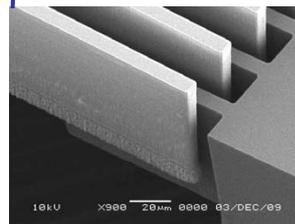
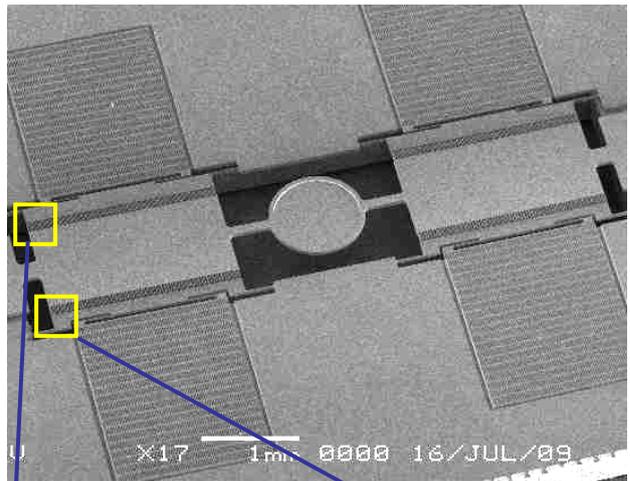
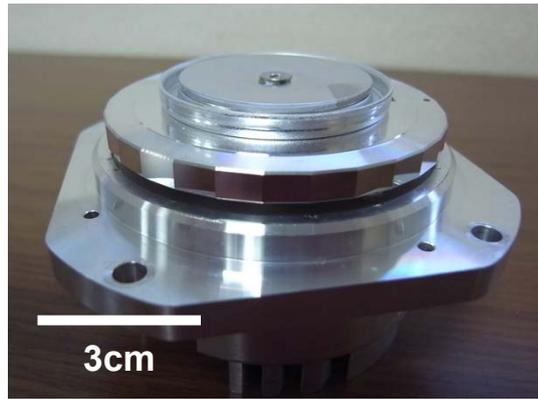
M. Nakada, et al., "Optical Coherence Tomography based on Power-over-fiber MEMS Scanner," APCOT 2008, Jun. 22-25 2008.



	Scan Range (mm)	Resolution (μm)
Lateral	1.6	40
Depth	1~2.5	8

光源の波長走引にMEMS光スキャナ

従来のポリゴンミラーをMEMS化して高速化 (140 kHz)

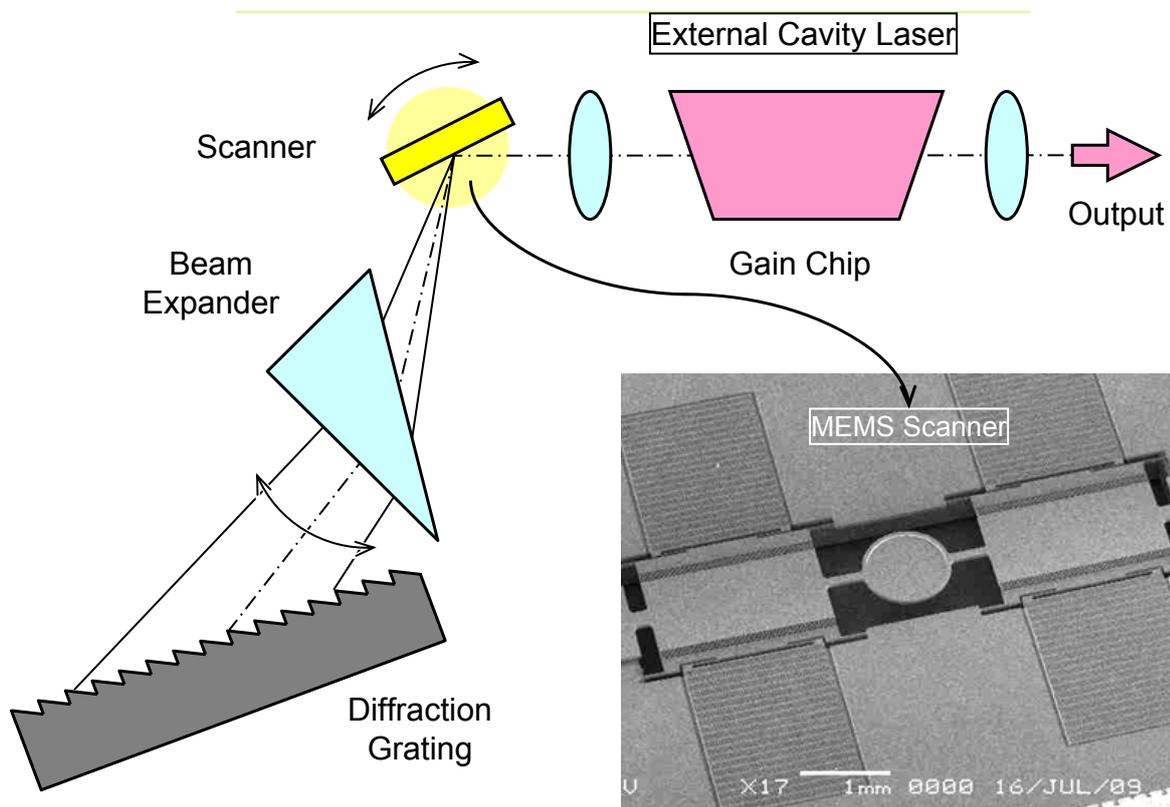


諫本圭史、戸塚弘毅、酒井 徹、鈴木卓也、両澤 淳、鄭 昌鎬、藤田博之、年吉 洋、「高速MEMSスキャナを用いたSS-OCT用高速波長走査型光源」電気学会センサ・マイクロマシン部門主催 第27回「センサ・マイクロマシンと 応用システム」シンポジウム、平成22年10月14日(木)～15日(金)、くにびきメッセ(島根県松江市 島根県立産業交流会館)、C3-5(最優秀論文賞受賞)

Hiroshi Toshiyoshi © 2012, <hiro@iis.u-tokyo.ac.jp>, RCAST, Univ. of Tokyo, <http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

Page 32

MEMS光スキャナで光路長を制御→発振波長制御

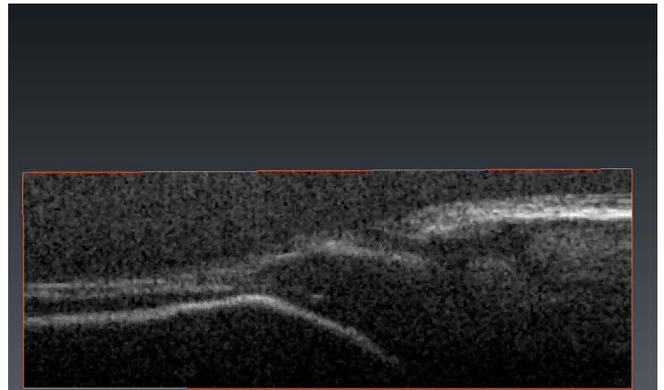
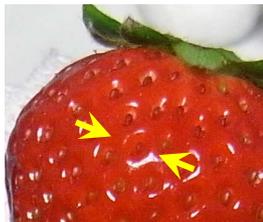
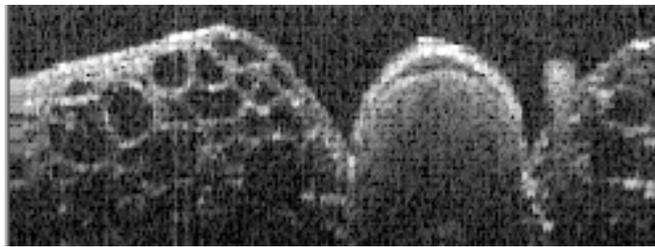
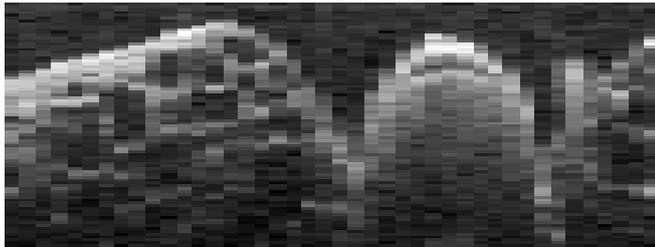


Hiroshi Toshiyoshi © 2012, <hiro@iis.u-tokyo.ac.jp>, RCAST, Univ. of Tokyo, <http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

Page 33

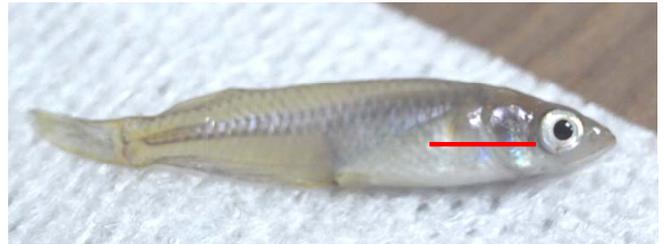
波長走引の高速化

画像の高解像度化 動画像のフレームレートアップ



Avizo

MERCURY

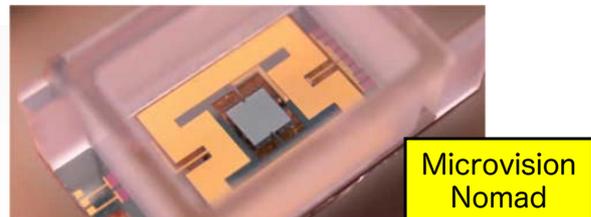
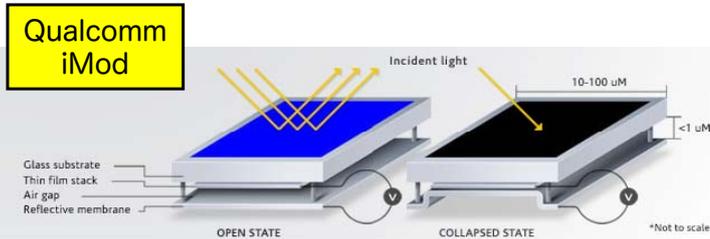
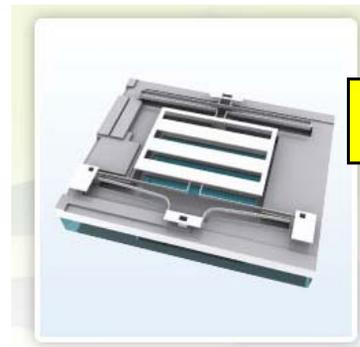
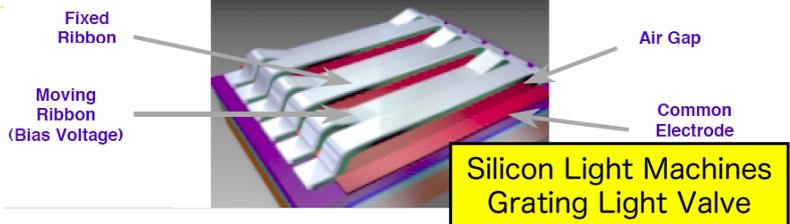
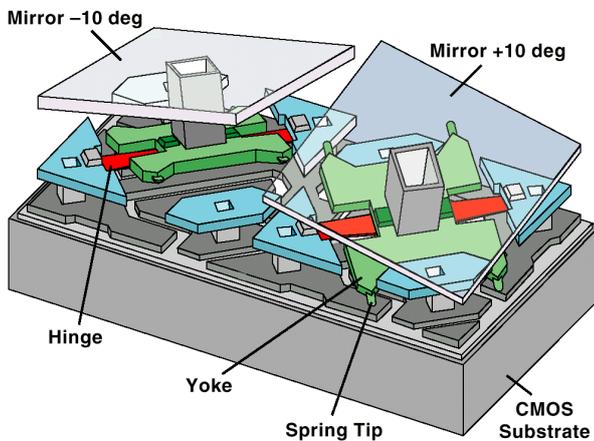


This research is supported by Optoelectronic Industry and Technology Development Association (OITDA), subsidized by JKA through its Promotion funds from KEIRIN RACE.

Hiroshi Toshiyoshi © 2012, <hiro@iis.u-tokyo.ac.jp>, RCAST, Univ. of Tokyo, <http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

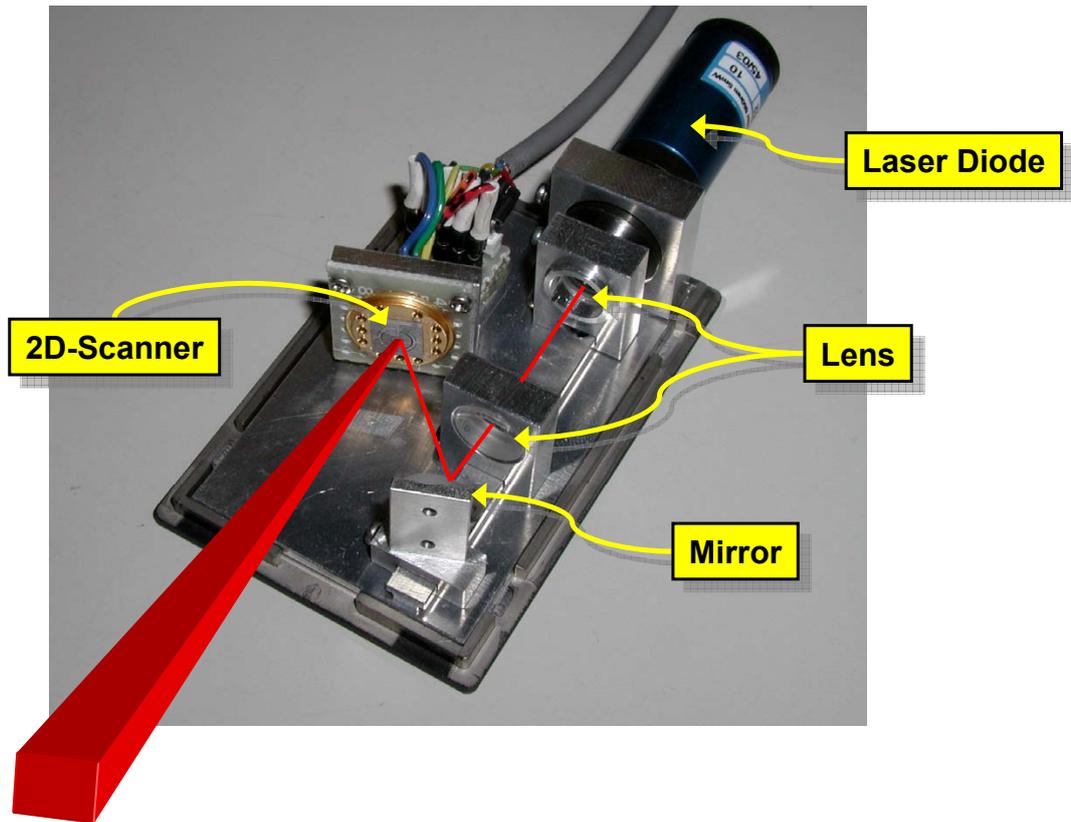
いろいろなMEMS画像ディスプレイ

テキサスインスツルメンツ社
デジタルマイクロミラー



Hiroshi Toshiyoshi © 2012, <hiro@iis.u-tokyo.ac.jp>, RCAST, Univ. of Tokyo, <http://toshi.iis.u-tokyo.ac.jp/>

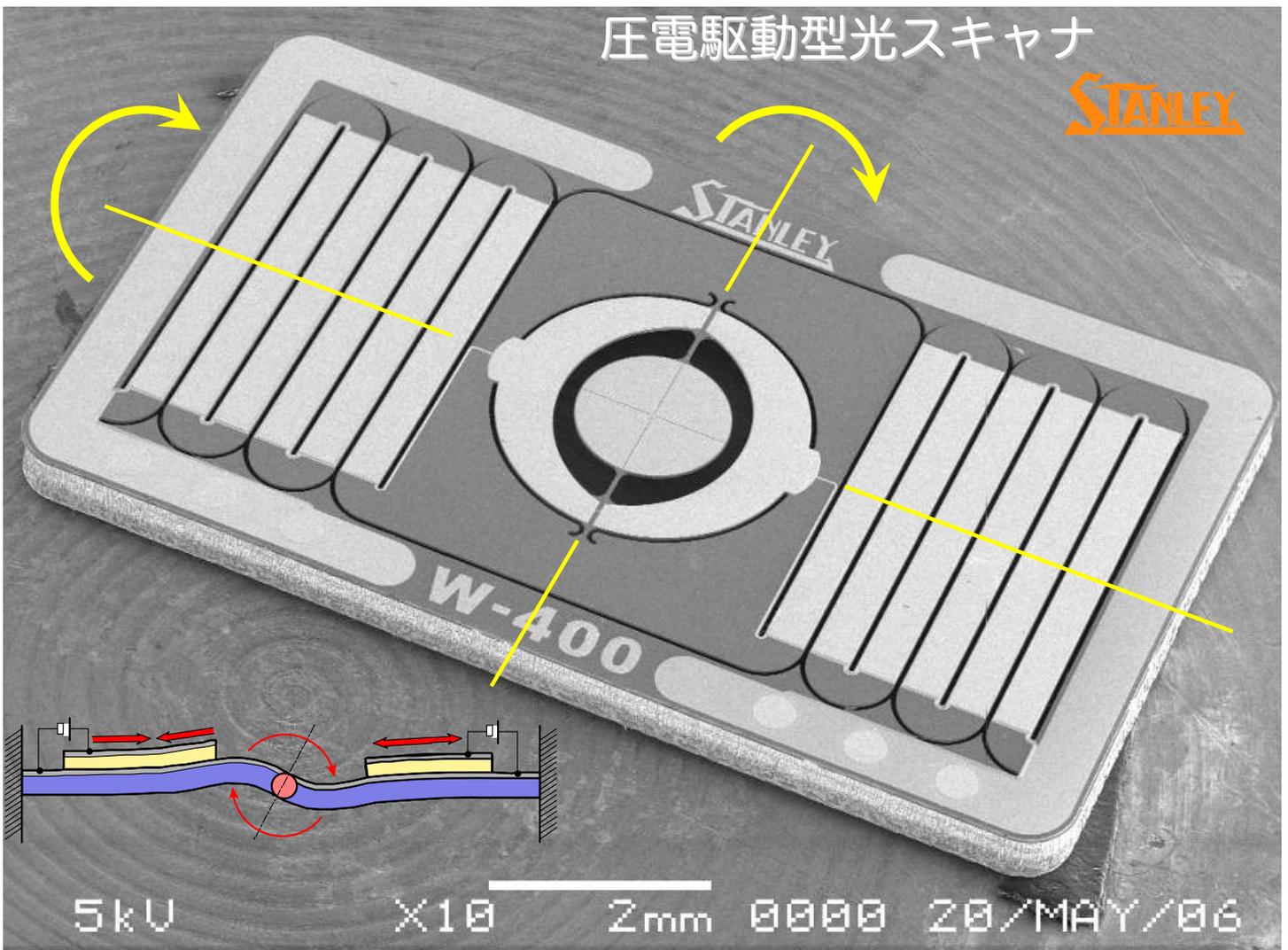
光スキャナ1台で2次元光走査



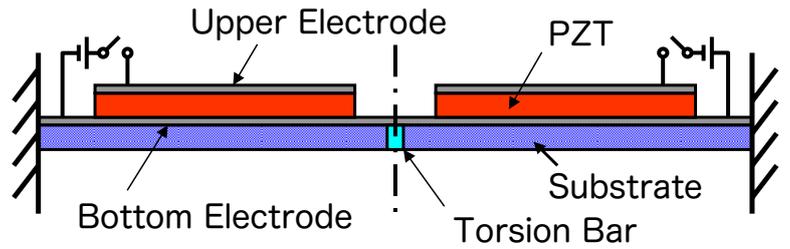
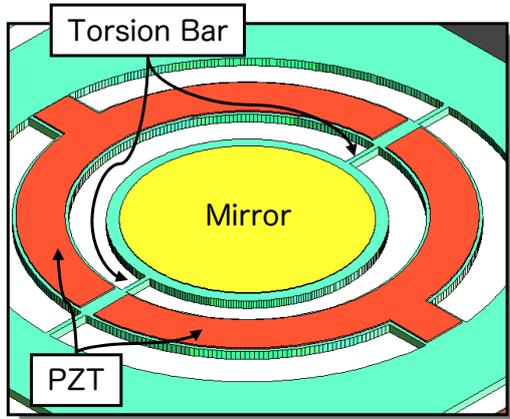
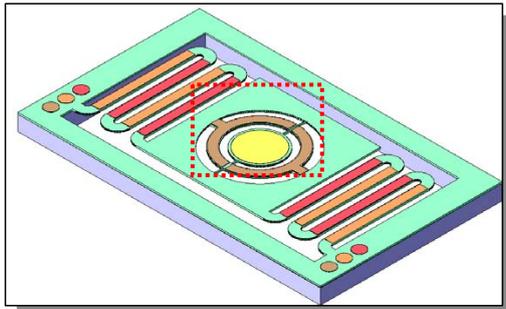
STANLEY

圧電駆動型光スキャナ

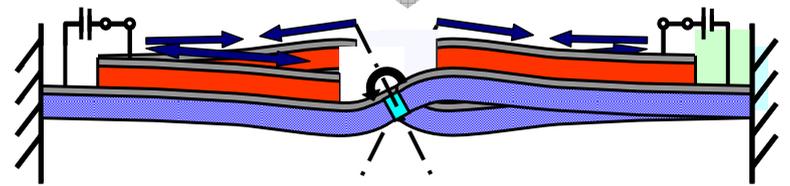
STANLEY



圧電駆動ユニモルフ・アクチュエータの原理



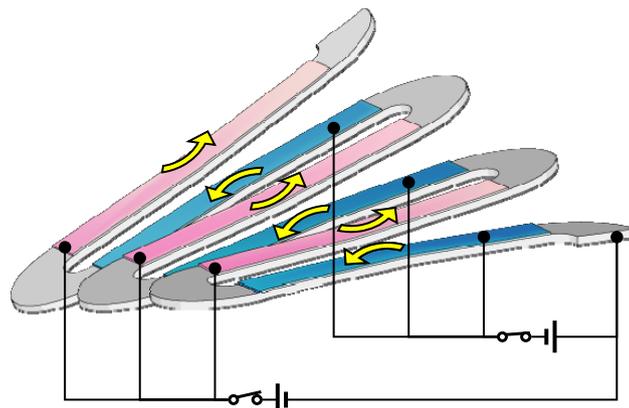
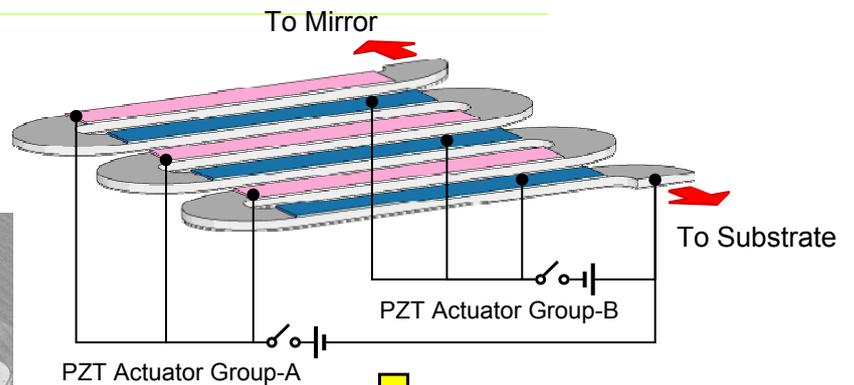
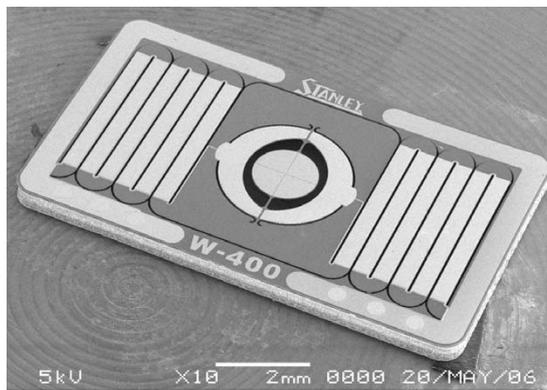
Applied Voltage with Resonant frequency



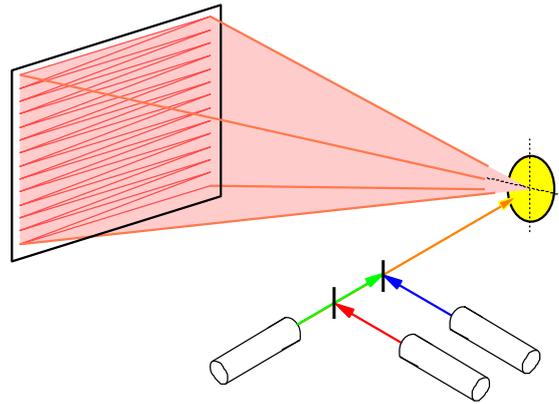
Mirror tilt by twisted torsion bar

谷 雅直、赤松雅洋、安田喜昭、藤田博之、年吉 洋、「圧電MEMS光スキャナによる画像ディスプレイ」 レーザー研究、第36巻4号、pp. 183-189、2008.

PZTユニモルフ構造の応用 (低速外側)

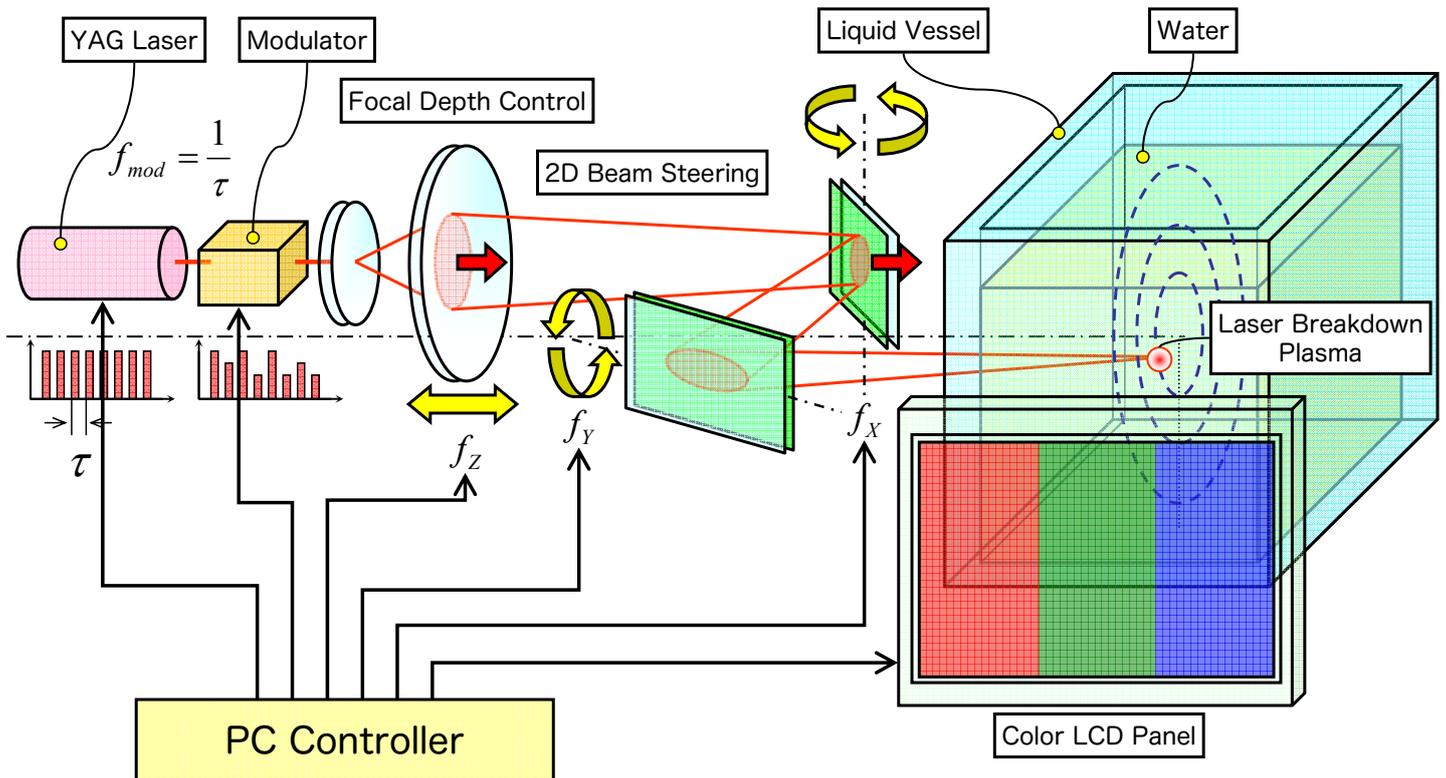


VGA (640×480) デモ

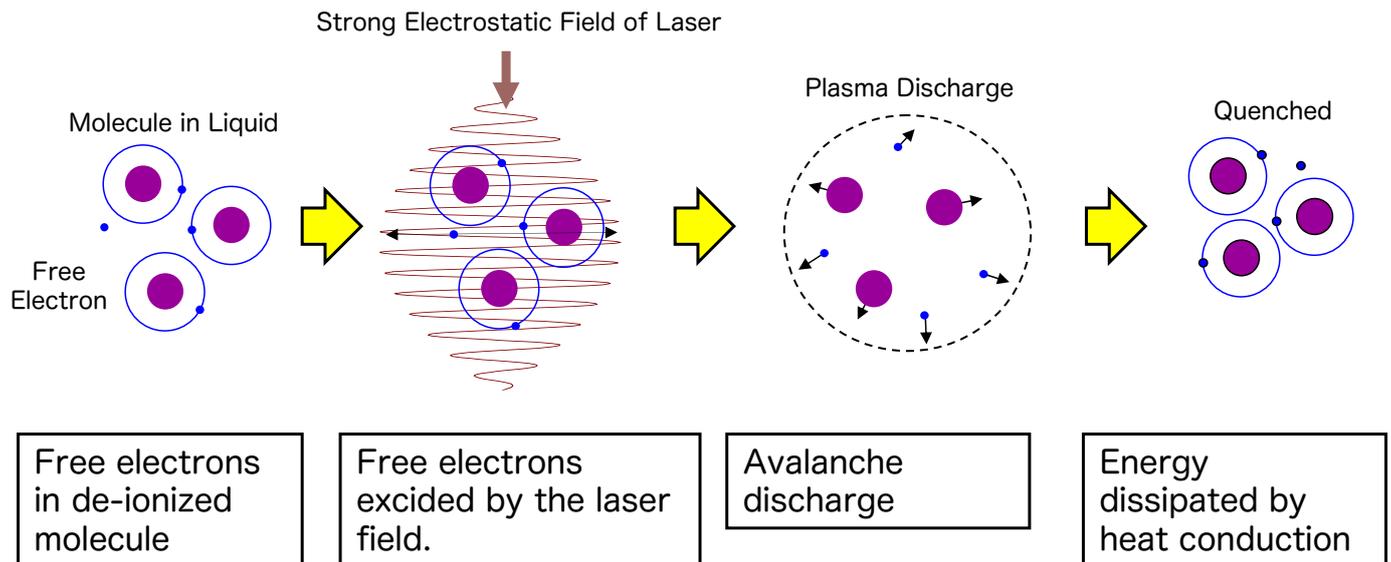


3次元カラービットマップディスプレイ

レーザーブレイクダウン現象

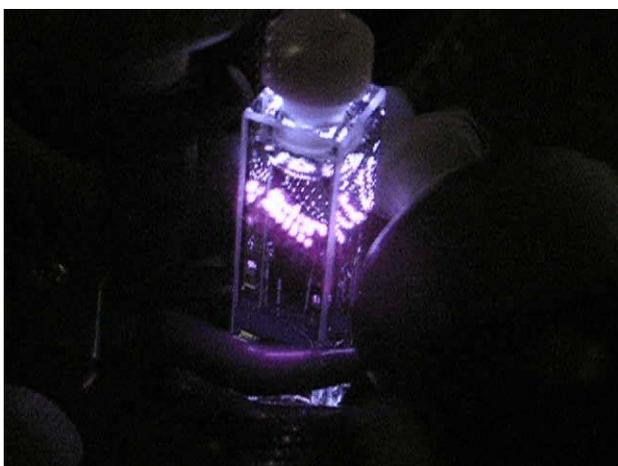


レーザーブレイクダウン現象



P. K. Kennedy, D. X. Hammer, and B. A. Rockwell, "Laser-induced breakdown in aqueous media," Prog. Quant. Electr., vol. 21, no. 3, 1997, pp. 155-248.

3次元リサージュ図形

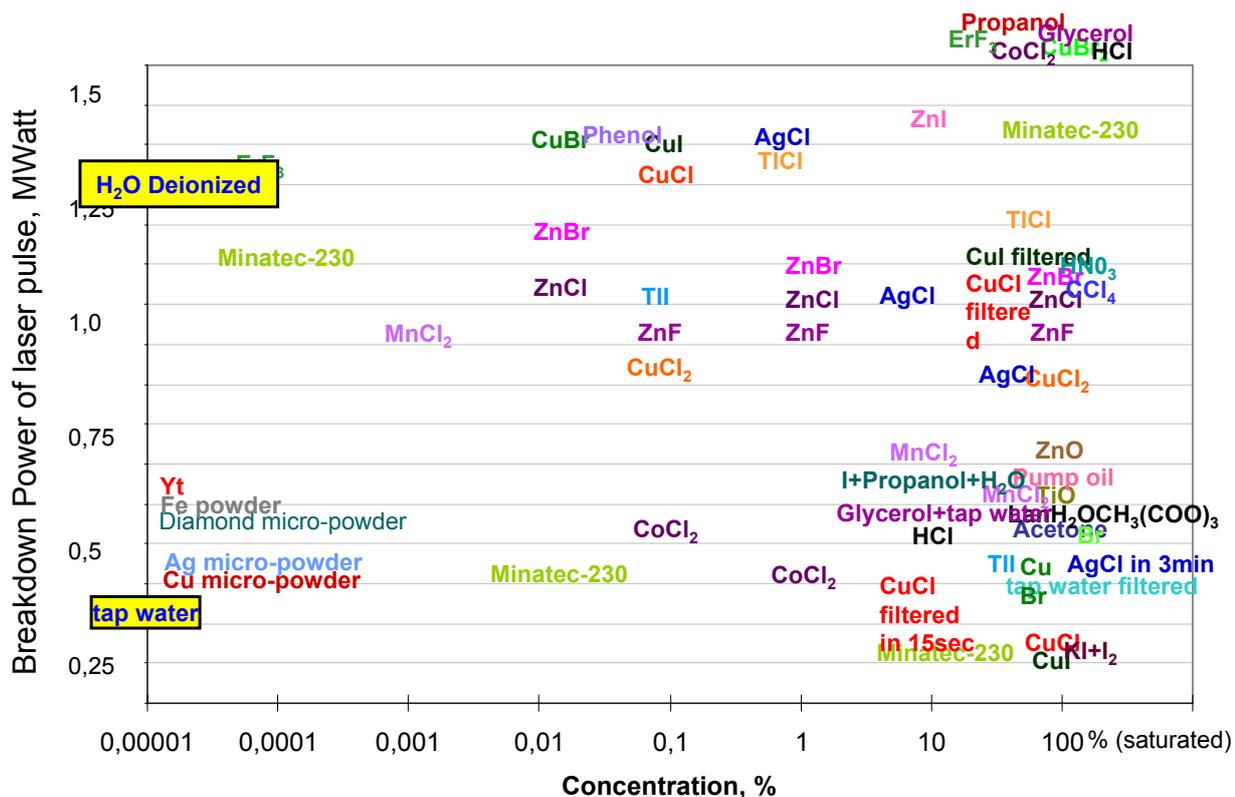


5 c m

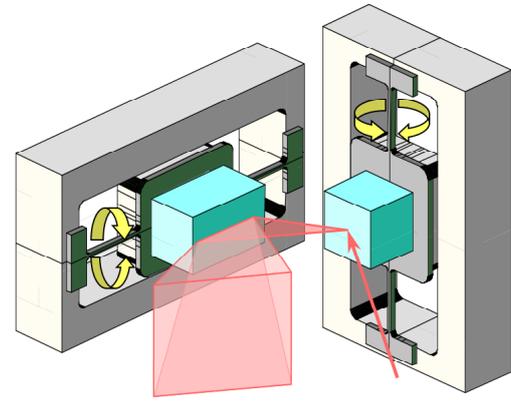
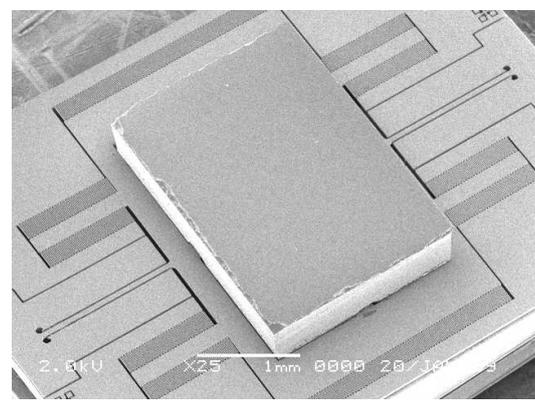
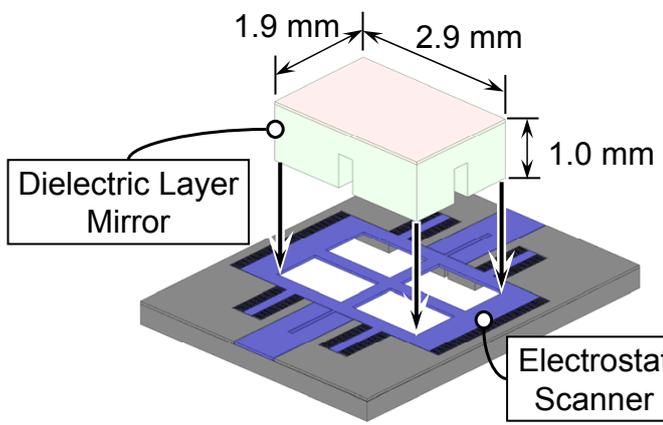
YAG Laser 4 mJ / 20 ns @ 1.064 μ m, pulse 500 Hz ~ 5 kHz
Scanner 40 ~ 50 Hz

レーザーブレイクダウン現象のパワー閾値

液体いろいろ



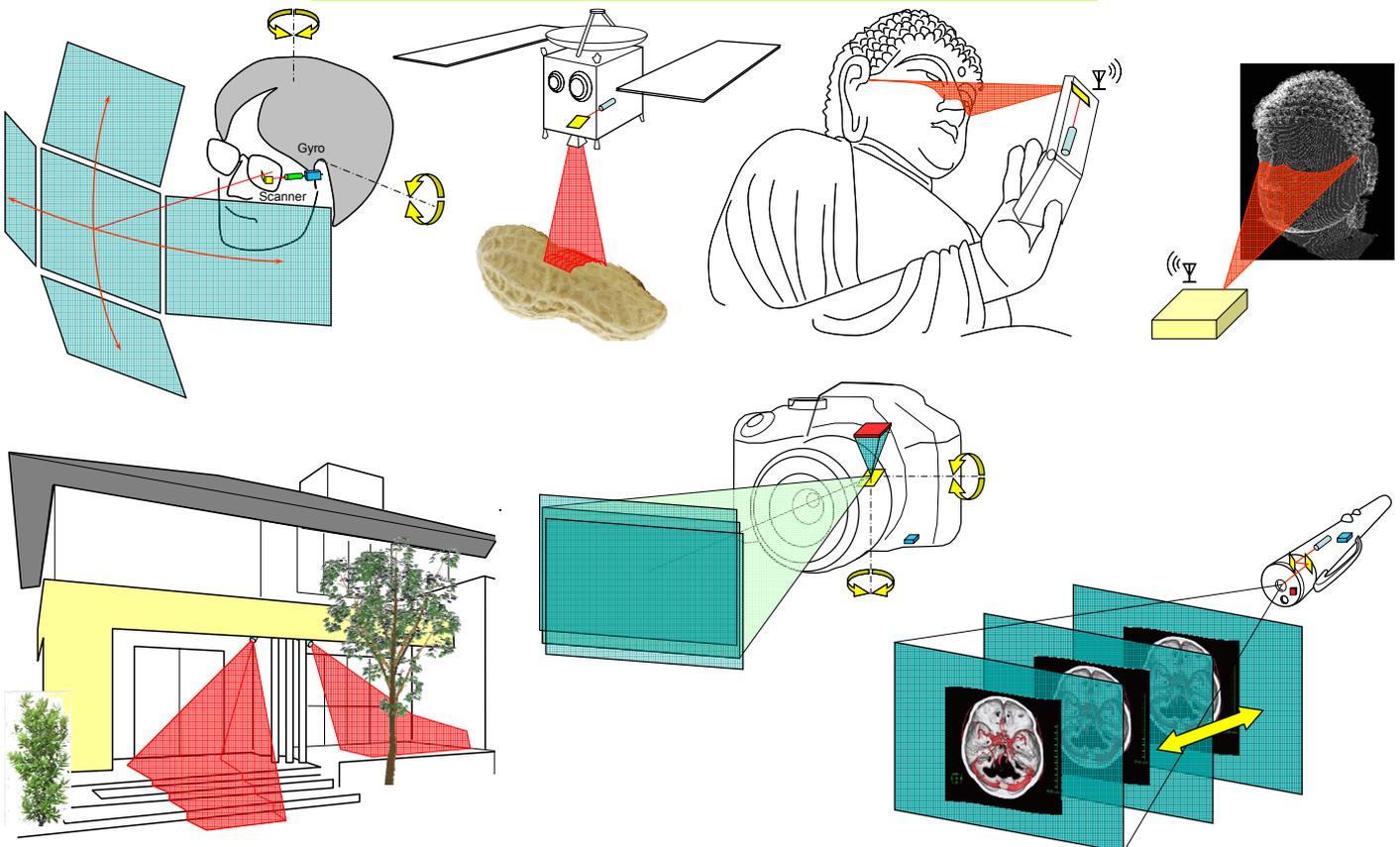
高反射率の誘電体多層膜ミラーをMEMSに搭載



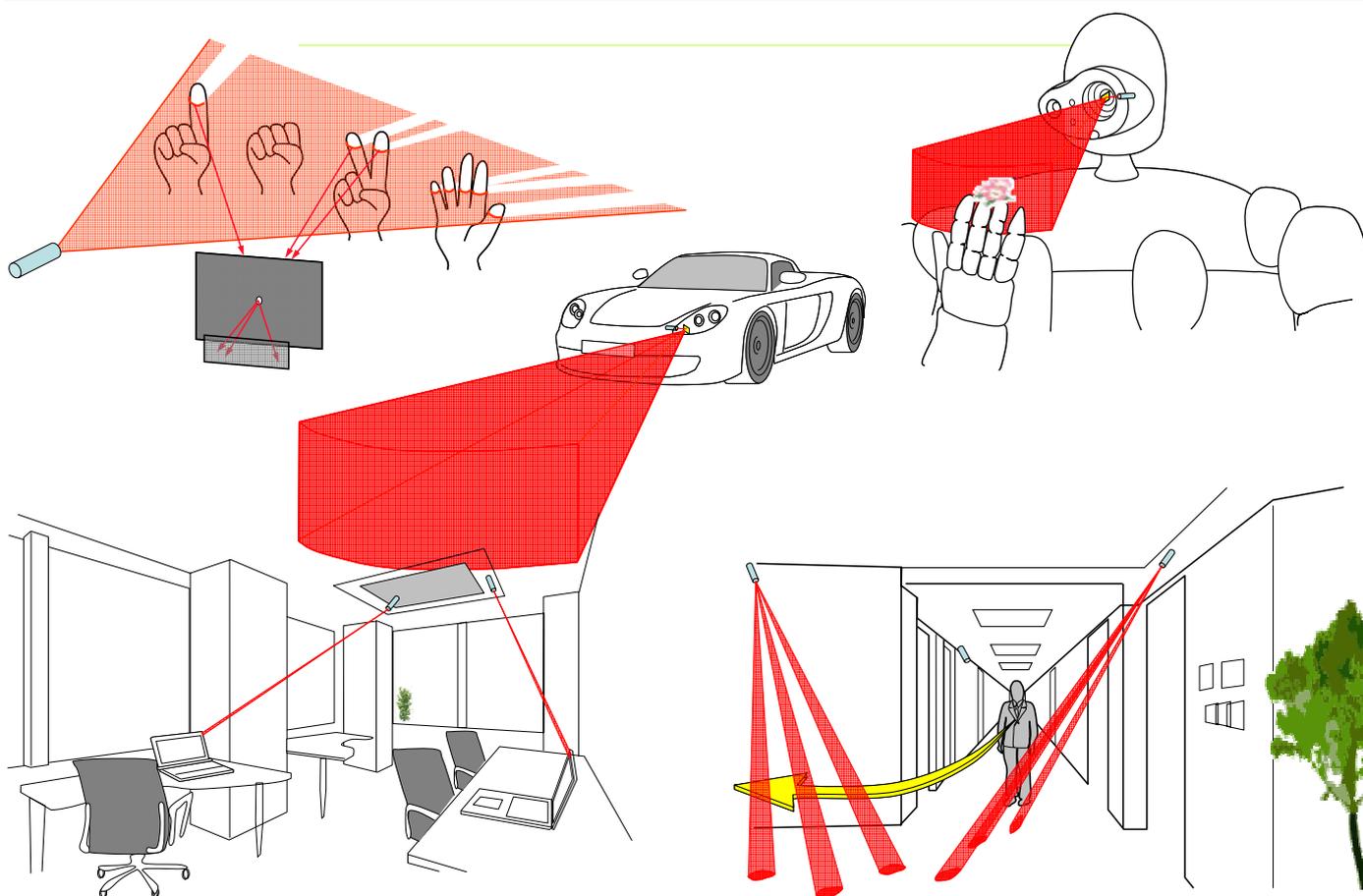
従来の電磁駆動光スキャナと大きさ比較



お手頃なMEMS光スキャナがあれば… (1)



お手頃なMEMS光スキャナがあれば… (2)



コモディティ技術から差別化アプリケーションへ

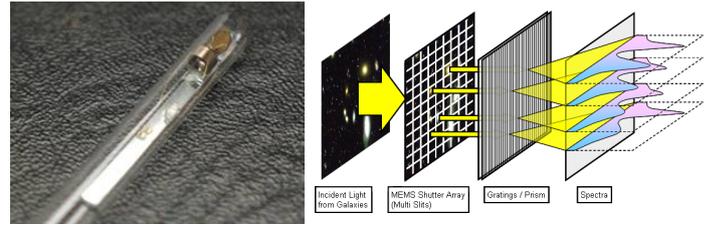
コモディティ化 (しそうな) デバイス	差別化アプリケーション
	むかし >>>>> いま
トランジスタ	アナログ増幅、論理素子、メモリ、VLSI
光スキャナ	バーコードリーダ、光スイッチ、ディスプレイ、レーザ距離計、ピコ・プロジェクタ、ヘッドアップ・ディスプレイ
共振子	バンドパスフィルタ、クロック周波数、質量計、ジャイロ
加速度センサ	エアバッグ、転覆センサ、HDD落下、ゲーム機、チルトセンサ、万歩計、エクササイズ携帯
圧力センサ	産業計測、エンジン制御、呼気センサ、血圧計、TPS、気圧計、高度計、…、マイクロフォン
接点スイッチ	リレー、RF-MEMS、LSIパワーゲート、どこでもスイッチ

まとめ

いろいろ使える光MEMS技術

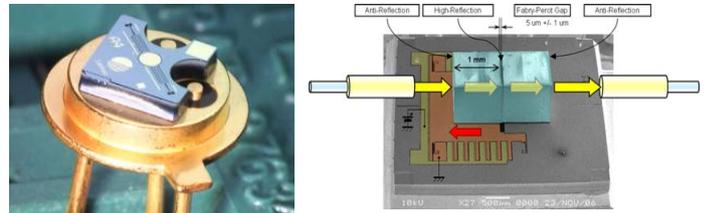
1. 情報を作る

- 画像計測
- 内視鏡
- レーザーレンジファインダ
- 光ファイバ型センサネット



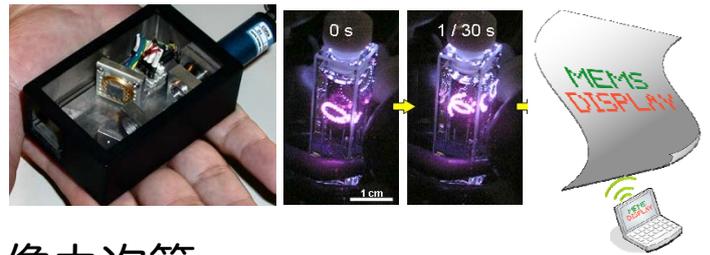
2. 情報を送る

- 光ファイバ通信



3. 情報を見せる

- 画像プロジェクタ
- どこでもディスプレイ



あとは想像力次第