

## ÉRZÉKELŐK

Dr. Pödör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

### 21. ELŐADÁS: AKTUÁTOROK (BEAVATKOZÓK ÉS MŰKÖDTETŐK)



2010/2011 tanév 2. félév

1

## BEAVATKOZÓK ÉS MŰKÖDTETŐK

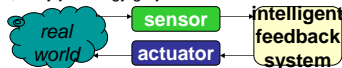
Harsányi Gábor: Érzékelők és beavatkozók  
185 old., 191-207 old.

MemsEdu, www.ett.bme.hu

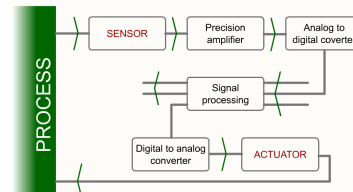
2

## TRANSDUCERS, SENSORS, ACTUATORS

- **Transducer** Transzduktor
  - Eszköz mely egy elsődleges energiaalakot megfelelő jellé vagy más alakú energiává alakít át
  - [Primary Energy Forms](#): mechanical, thermal, electromagnetic, optical, chemical, etc.
  - Két fajtája van: *sensor* vagy *actuator*
- **Sensor** (pl. hőmérő)
  - eszköz mely egy jelet vagy gerjesztést mér/érzékelt
  - információt szerez a „való világról” (“real world”)
- **Actuator** (pl. fűtőszál)
  - Eszköz, mely jelet vagy gerjesztést hoz létre



## SZABÁLYOZÓ RENDSZER



Szabályozó rendszerben kijelzés nem feltétlenül szükséges. A megfigyelt folyamatban azonban a beavatkozás mindig megtörténik a mért/érzékelt paraméter módosítása érdekében. Beavatkozást végző eszköz: **beavatkozó**, illetve **aktuátor**. A **beavatkozó/aktuátor** a kapott jelek függvényében valamilyen változtatást végez a megfigyelt rendszerben.

4

## A FOLYAMATSZABÁLYOZÁS VÁZLATA



**Érzékelés:** a mérendő mennyiséget elektromos jellé alakítani (fizikai, kémiai, biológiai) a természeti törvények adta lehetőségekkel (effektusokkal) élve:

- egy- vagy többlépcsőben (egyszerű vagy komplex szenzor)
- térben és/vagy időben elválasztva (integrált szenzor ill. rendszer)

**Beavatkozás:** többnyire (opto-) elektro-mechanikus aktuálás (T, p, v... változtatás - beleértve pl. egy hatóanyag adalékolását, keverést, szelepek kezelését).

A megfelelő szabályozási algoritmussal számított szükséges korrekciók inicializálása a „folyamatban”.

5

## BEAVATKOZÓK

Hagyományos eszközök: elektromechanikai átalakítók (elektromágneses relék, szervomotorok, stb.)

Anyagtulajdonságokon alapuló aktuálás:  
piezoelektromos  
magnetostríkiós  
(elektro-hidrodinamikai (magnetohidrodinamikai) "emlékező" fémek)

MEMS (és NEMS...) eszközök

6

## PIEZELEKTROMOS BEAVATKOZÓK

Piezokerámiák: gyors működés, nagy erő, de az elérhető deformáció kismértékű.

Fajlagos deformáció: nm/V (!) azaz néhány kV 1 μm deformáció.

Szerkezet: síkkondenzátor jelleg, sok réteg, egy-egy rétegre 50-100 V.

Alkalmazás: mikropozicionálók (pl. AFM, STM), ultrahangkeltés (néhányszor 10 MHz-ig).

7

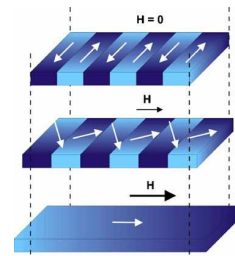
## MAGNETOSZTRIKCIÓS BEAVATKOZÓK

**Működési elv:** ferromágneses anyagokban a doméneknek a mágneses tér hatására való átrendeződése térfogatváltozással jár.

**Anyagok:** nikkel (hagyományos), modern anyagok: többalkotós ötvözetek, vas (Fe), terbium (Tb), plusz valamely ritka földfém (pl. diszprózium, Dy).

**Relatív hosszváltozás:** tipikusan  $(1-2) \times 10^{-3}$ /Tesla.

**Alkalmazás:** alacsonyfrekvenciás ultrahangkeltés, mikroelektronikai ultrahangos kötés, alkatrész-adagolás rezgőadagolóval, stb.



8

## EMLÉKEZŐ FÉMEK

Emlékező fémek (shape memory alloy, SMA), "intelligens" anyagok. Ni-Ti(-Cu/Pd), Ni-Al-Cu, Cu-Zn-Al ötvözetek.

**Működési elv:** adott hőmérsékleten fázisátalakulás, melynek következménye térfogat- illetve alakváltozás. A hőhatás megszűnte után visszanyerik eredeti alakjukat. Martenzit-auszenit átalakulás

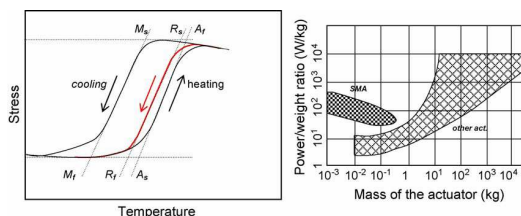
9

## EMLÉKEZŐ FÉMEK

Az SMA anyagok olyan tulajdonsággal rendelkeznek, hogy külső hőmérséklet változás hatására egyik kristálystruktúrából a másikba alakulnak át. Az alacsonyabbik hőmérsékleten (Mf) martenzites kristályszerkezetet vesznek fel, ebben a fázisban lágyak és könnyen deformálhatóak. Amikor a hőmérséklet emelkedik és eléri az auszenit hőfokot (As), akkor megkezdődik a fázisátalakulás egy auszenites kristályszerkezetbe. Ekkor az anyag más tulajdonságokat nyer, keményebb lesz és a beprogramozott alakját veszi fel. Ezt az alakot az újabb deformáció kezdetéig képes tartani.

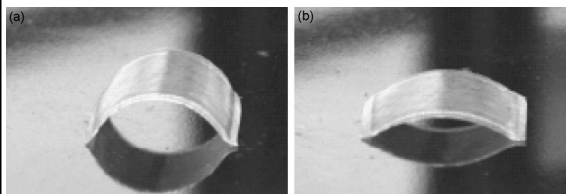
10

## EMLÉKEZŐ FÉMEK



11

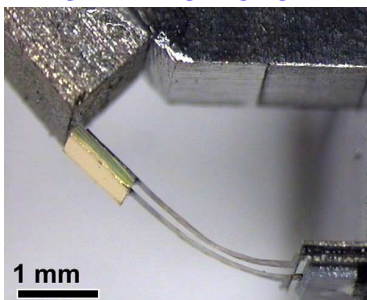
## SMA AKTUÁTOROK



Bistabil aktuátor

12

## SMA AKTUÁTOROK



Mikrotűkör-mozgató aktuátor

13

## SMA ALKALMAZÁSOK

Hőhátással vezérelt beavatkozók alkalmazásai:

Biztonsági szelep forróvíz-tárolókhoz emlékező fém rugóval.

Hajlékony fém- vagy műanyaglemezek közé helyezett rugóval hőhátással szabályozott csipesz, nakro- és mikroméretekből.

Különböző csuklós mechanizmusok mozgatója melegítéssel, hűtéssel.

14

## MEMS ESZKÖZÖK: BEAVATKOZÓK

Beavatkozók (aktuátorok):

- Mikrofluidikai elemek
- Mikroszivattyúk
- Mikromotorok
- Lab-on-chip
- Elektrosztatikus fésűs mozgatók
- Mikrocsipeszek
- Mikropozicionálók

15

## MIKROFLUIDIKA: ÁTTEKINTÉS

Komplex klinikai diagnosztikai rendszerek elkészítésére megjelent az igény a precíz, molekuláris szintű folyadék-műveletek (pl. keverés, molekulák méret alapján történő szétválogatása stb.) végezni képes integrált analitikai megoldásokra, a mikrofluidikai rendszerek révén megnyílt az út a magasszintű kémiai elemzés előtt.

A mai bioszenzor alkalmazások igen nagy köre is tartalmaz valamilyen formában integrált mikrofluidikát. A cél az egy chip-en, minél több funkciót megvalósító ún. [lab-on-a-chip](#) (másik elterjedt nevén  $\mu$ TAS, [Micro Total Analysis System](#)) rendszerek kialakítása.

16

## MIKROFLUIDIKA: ÁTTEKINTÉS

A mérettartomány csökkentése a hagyományosan laborberendezésekhez képest azzal az előnnyel bír, hogy a felhasznált minták elemzése, manipulálása már n<sup>l</sup>es térfogatok rendelkezésre állása esetén is elvégezhető, így az amúgy sokszor igen költséges biológiai minták gazdaságosabban használhatók fel.

A mikrofluidikai eszközök kis mérete a hordozhatóság követelményeinek is megfelel, ugyanakkor a csatorna-rendszerekben a folyadékok transzportjához már kisebb energiabefektetés is elegendő, továbbá a mikrotartomány több makroméretekből nem mutatkozó, ill. jellegében eltérő jelenség kihasználását is lehetővé teszi, melyet mind az érzékelés, mind a beavatkozás területein is alkalmazhatók.<sup>17</sup>

17

## Si ALAPÚ MIKROFLUIDIKA

A szilícium anyagi tulajdonságai közül több is előnyös a mikrofluidikai alkalmazások területén. Felületi tulajdonságai könnyen módosíthatók, az alkalmazás céljaitól függően akár hidrofób, akár hidofil felületet is kialakíthatók.

A biofunkcionalizálásra szintén több eljárás létezik, melyek javíthatják a szilíciumban kialakított csatornarendszereink immobilizációs képességeit. A felület érzékenyítésén túl a különböző struktúráltságú szilícium mikrofluidikák optikai tulajdonságai ugyancsak széles fénytartományban kihasználhatók.

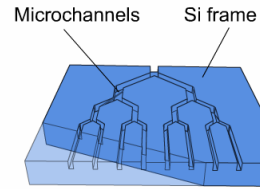
18

## Si ALAPÚ MIKROFLUIDIKA

Mikrofluidikai rendszerek előállítása során fontos a csatornarendszerek hermetikus lezárása a tökéletes folyadékmanipuláció számára. A csatornák lezárását anódikus kötással szilícium és üveg, vagy akár az ún. rapidprototyping technikával különböző polimerek (PDMS, PMMA) felhasználásával pontosan megoldhatók.

19

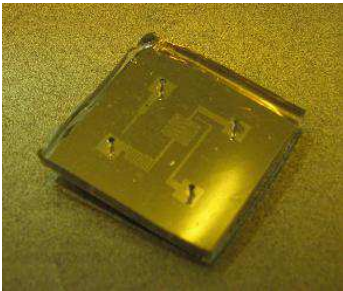
## MIKROFLUIDIKA: MIKROCSATORNA RENDSZER



Mikrofluidika Si-on: Si kémiailag ellenálló, magas hőmérsékleteket tűri, jó hővezető, precízen megmunkálható. *Deep reactive ion etching* (DRIE), komplex 3D szerkezetek. Néhány 10  $\mu\text{m}$  mély árkok, stb. Si,  $\text{SiO}_2$  és Si-nitridben.

20

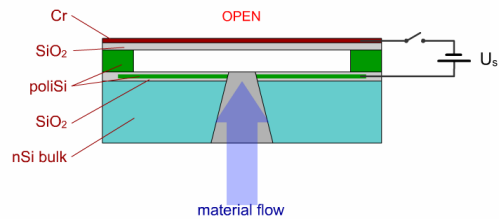
## Si MIKROFLUIDIKAI RENDSZER



PDMS (poli-dimetilsziloxán) ellendarabbal lezárt szilícium mikrofluidikai rendszer

21

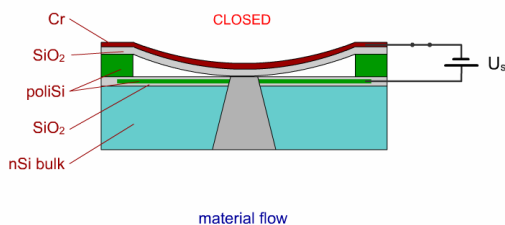
## ELEKTROSZTATIKUS MIKROSZELEP



Az elektródákra adott feszültség elektrosztatikus erőt hoz létre, mely lezárja a szelepet. A működési nyomás az elektromos töltésviszonyokkal állítható be.

22

## ELEKTROSZTATIKUS MIKROSZELEP



23

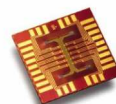
## LAB-ON-CHIP

### Embedded structures:

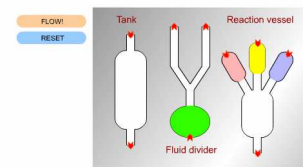
- Channels with hydrophobe or hidrofili sidewalls
- Tanks
- Reaction vessels
- Valves
- Pumps
- Circulators based on electroosmosis
- Interfaces



Caliper Technologies Corp.  
Planar chip for chemical reactions



Microelectronics Center  
Molecule weight measurement chip



Lab-on-chip: mikrofluidikai és MEMS technológiák kombinációjával. Mikro-mennyiségű folyadékok kezelése, analízisa. Egyszerű, használatos eszközök: kémiai, biológiai és orvosi alkalmazások.

## Gas $\mu$ Chromatograph

### Integrated Gas Chromatograph

An idea of the integrated gas chromatograph

Multi-Chip-Module of GC

25

## MIKROFLUIDIKAI SZELEP

Figure 1 Schematic representation of a thermally actuated microfluidic valve. The microfluidic channels are realized by the combination of 3D silicon micromachining and PDMS formation.

Investigation of Actuation Phenomena and Controllable Moving Microstructures for Microfluidic Application  
 (Supported by Hungarian Scientific Fund (OTKA) F61583)  
 P. Fűrjes  
 MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet

26

## SZILÍCIUM MIKROTURBINA

Figure 1 The structure of the micro-turbine Si chip      Figure 2 SEM view of the processed micro-turbine chip

Si Micro-turbine by Proton Beam Writing and Porous Silicon Micromachining  
 (Supported by Hungarian Scientific Fund (OTKA) T047002)  
 P. Fűrjes, Cs. Dücső, Z. Fekete, I. Rajta (ATOMKI, Debrecen)

28

## SZILÍCIUM MIKROTURBINA

Protonnyalábos mikromunkálás és porózus szilícium marás kombinációjával megvalósított egykristályos szilícium mikroturbina (MFA-ATOMKI együttműködés)

28

## SZILÍCIUM MIKROTURBINA

Figure 3 Plastic housing of the micro-turbine chip      Figure 4 The rotating micro-turbine (see <http://www.atomki.hu/atomki/VdG/ibaweb/ideo/>)

29

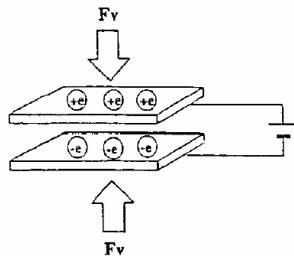
## MIKROSZIVATTYÚ

Tömbi mikromechanikai technológiával előállított mikroszivattyú

30

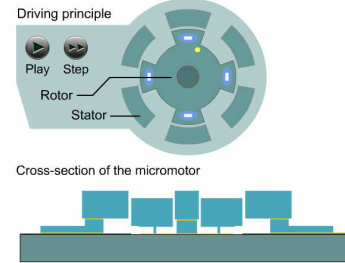
## ELEKTROSZTATIKUS ERŐ

$$F_E = \frac{\epsilon S}{2} \left( \frac{V}{d} \right)^2$$



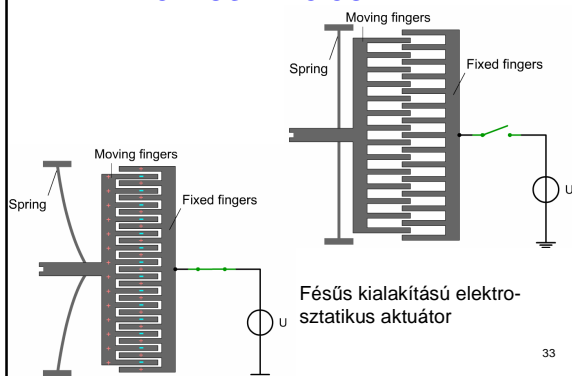
31

## SZILÍCIUM MIKROMOTOR



Mind az álló- mind a forgórész MEMS technológiával készül. A rotort az elektródákra kapcsolt váltófeszültség forgatja. <sup>32</sup>

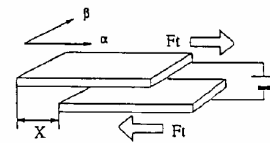
## ELECTROSTATIC COMB DRIVE



33

## ELEKTROSZTATIKUS ERŐ

$$F_t = \epsilon_0 \epsilon \frac{WV^2}{2d}$$



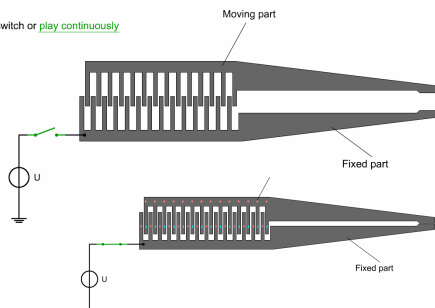
W – lemezek szélessége  
d – lemezek távolsága  
A tangenciális erő állandó, nem függ a lemezek helyzetétől

## MIKRO GRIPPER

Micro grippers are made as standard comb drive device, having a couple of elongated offshoots for gripping and holding micrometer sized particles, such as living cells, etc.

The animation shows the top view of a surface micromachined, electrostatic micro gripper.

Use the switch or **play continuously**



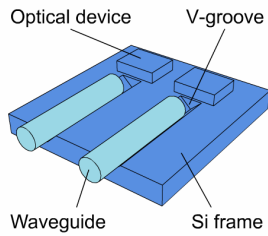
35

## MEMS OPTOELEKTRONIKAI ELEMELK

- Hullámvezető csatlók
- Mikrolecsék
- Kétirányú hullámvezető mikrokapcsolók
- Mikrotükrök
- Mikrokijelző (display) elemek
- Deformálható tükrök
- Optikai rácsok
- Mikrospektrométerek
- Mikro(sugár)kapcsolók
- Hangolható félvezető lézerek

36

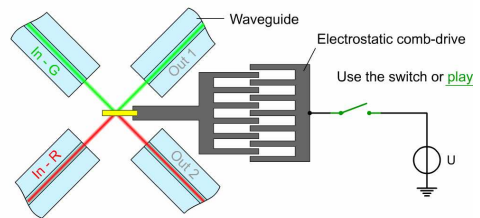
## FÉNYVEZETŐ CSATOLÓELEMEK



Az optikai szál pozicionálása a Si lemezen V-alakban kimart vágatokkal történik

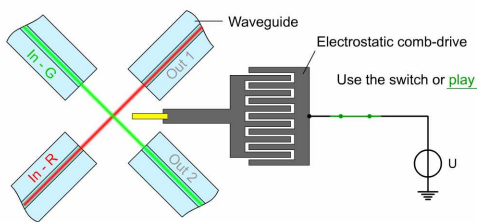
37

## BIDIRECTIONAL WAVEGUIDE MICROSWITCH



38

## BIDIRECTIONAL WAVEGUIDE MICROSWITCH

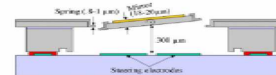
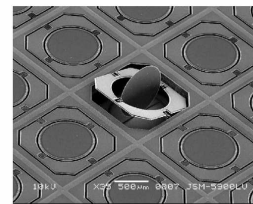


39

## ADAPTÍV OPTIKAI RENDSZEREK

Adaptív optikai rendszerek  
2 tengely

- Poli-SiTorziós rugó (keret) termikus aktiválás
- Tükör Kapacitív aktiválás



40

## MEMS OPTICAL SWITCH



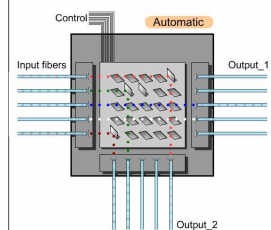
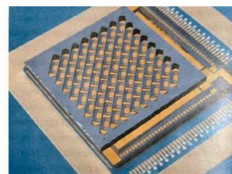
41

## MIKRO(SUGÁR-)KAPCSOLÓ

Multidirectional waveguide microswitch  
2D waveguide switch

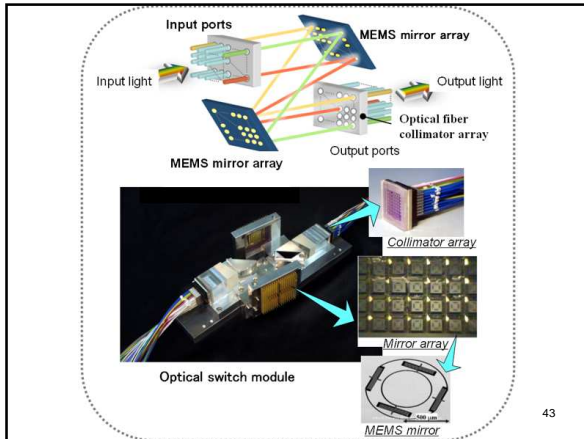
Pop-up micromirror array act as N-port switch. The mirrors are actuated by electrostatic or magnetic fields

[Related topics](#)

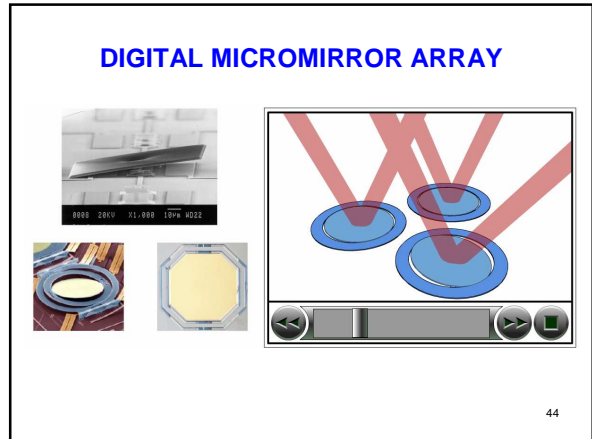


42





43

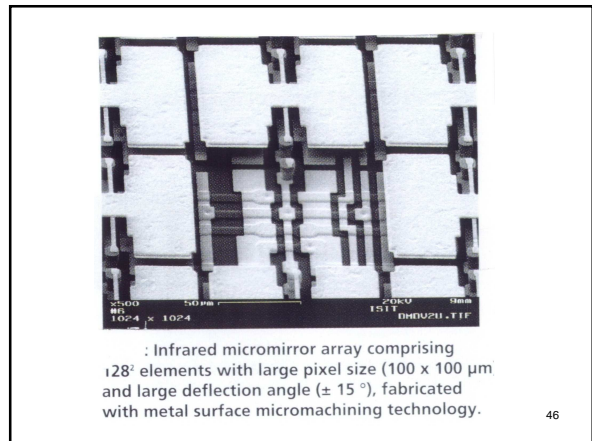


44

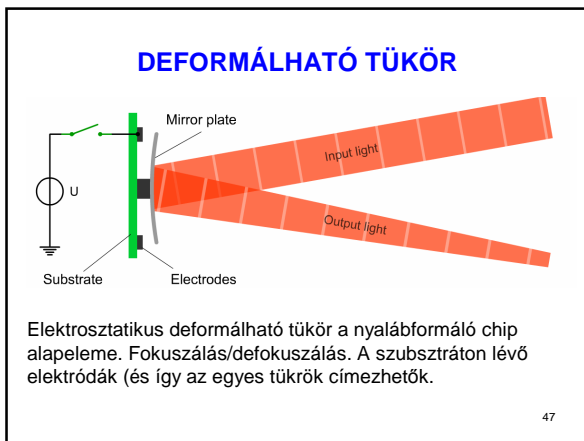
### MIKROTÜKRÖS VETÍTŐ

A képmegjelenítő mikrotükrös lézervetítő alapeleme az anizotrop kémiai marással előállított mikrotükör. A három alapszín (RGB) előállításához használt három lézer fényét elektrooptikai modulátoron való áthaladás után mikrotükör mátrix téríti el és vetíti az ernyő felületére. A tükör KOH-ban történő anizotrop marással készül, felületére a fényvisszaverődés fokozására alumíniumréteg kerül. Eltérítése az alatt lévő elektródák segítségével elektrostatikusan történik. Az ilyen lézeres vetítő több paraméterében is (fényerő, mélységélesség, maximális képméret, kontraszt) felülmúlja a jelenlegi LCD modulos eszközöket.

45

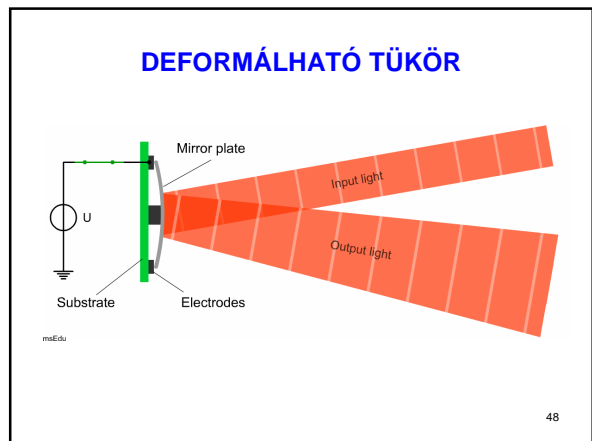


46



Elektrosztatikus deformálható tükör a nyalábformáló chip alapeleme. Fokuszálás/defokuszálás. A szubsztráton lévő elektródák (és így az egyes tükrök címezhetők).

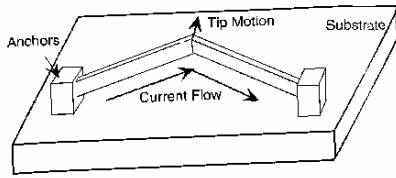
47



48



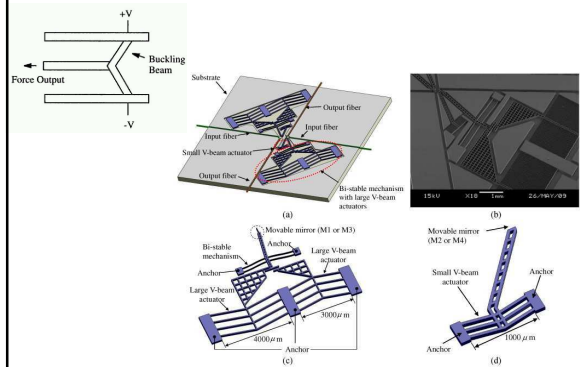
## ELEKTRO-TERMOMECHANIKAI AKTUÁTOR



Megrört rudas elektro-termomechanikai aktuátor elve

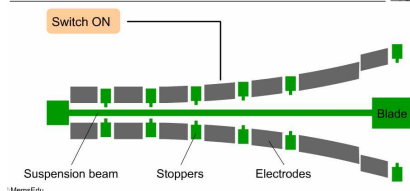
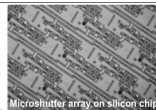
49

## TERMOELASZTIKUS AKTUÁTOR



## ELECTROSTATIC MICROSHUTTER

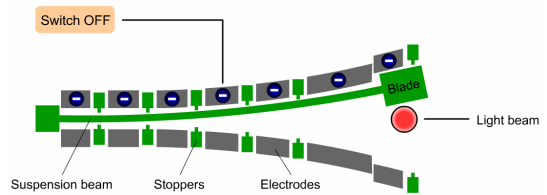
Electromechanically driven optical microshutters enable high-speed light switching. The animation shows a single shutter of the array. Each microshutter consists of a shutter blade, a suspension beam, and several electrodes and stoppers. The stoppers are necessary to avoid short-circuits between the beam and the electrodes when they come in close contact. Under each shutter blade, a hole is made in such a way that it is closed or open when the blade is attracted by one of the electrodes.



MEMS-EdU

51

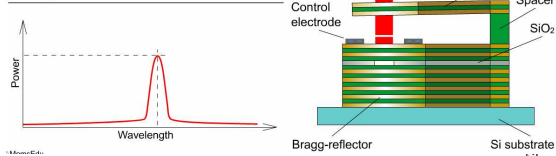
## ELECTROSTATIC MICROSHUTTER



52

## TUNABLE VERTICAL CAVITY LASER (VCSL)

The bottom, middle and top distributed Bragg reflector in the VCSL act together with the air gap to set the boundary conditions that determine the laser's output wavelength. Electrons flow from the substrate to the contacts atop the middle distributed Bragg reflector, tunneled into a narrow stream by an aperture in the insulating oxide layer. Applying electrostatic force to the cantilever alters the thickness of the air gap between the cantilevered distributed Bragg reflector and the body of the laser, thus changing the resonator's frequency and tuning the output wavelength.



MEMS-EdU

53

## MEMS PASSÍV (RF) KOMPONENSEK

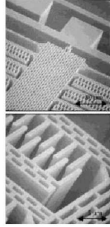
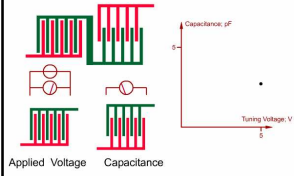
- Változtatható kondenzátorok
- Nagy Q-jú induktivitások
- RF kapcsolók
- Antennák
- Mikrokapcsolók

54

## HANGOLHATÓ VARAKTOR

Tunable capacitors based on MEMS-technology uses interdigitated structures both for tuning and for the tunable capacitor itself.

The effective area of the capacitor (right side) is varying in response of the distance changes caused by the varying electrostatic field inside the tuning unit (left side).



55

VÉGE

56