



Tehnologije mikrosistema

Prof. Dr Biljana Pešić

Prof. Dr Dragan Pantić



Definicije

Mikrosistem (Microsystem) - Evropa

MEMS (Micro-ElectroMechanical System) – USA

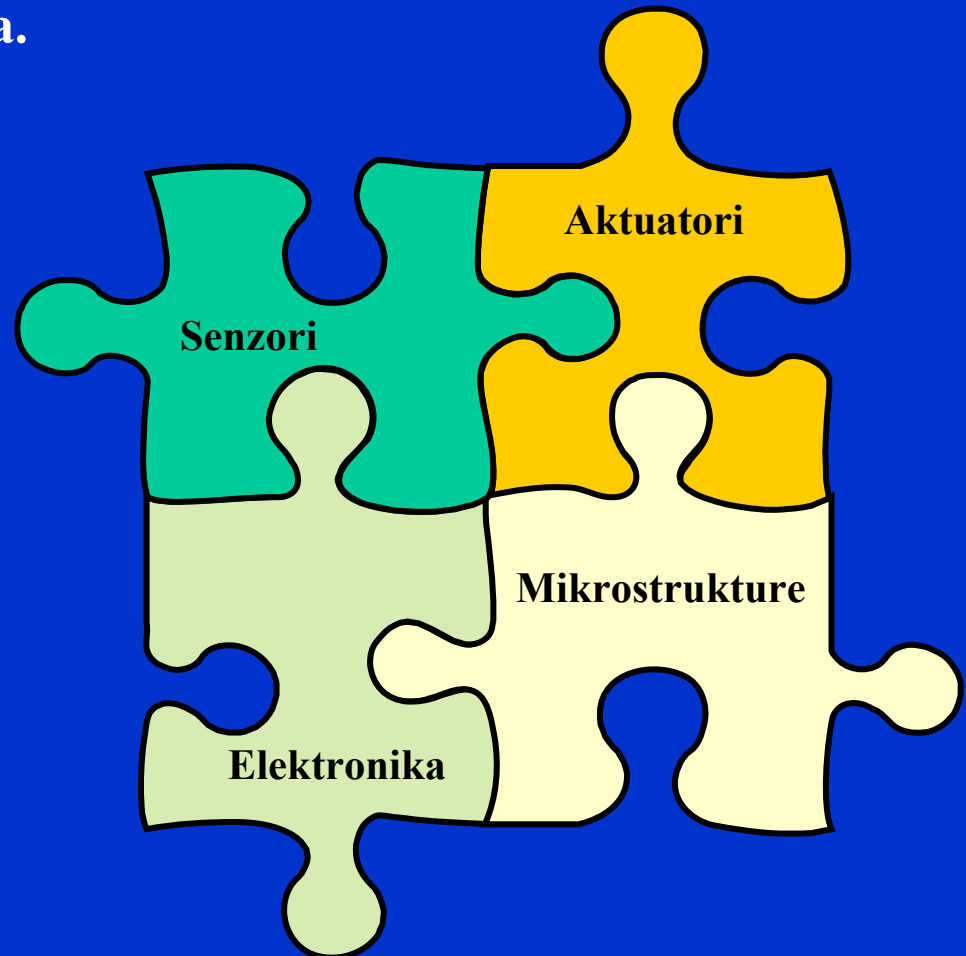
Mikromašina (Micromachine) - Japan



Definicije

Microsistem je minijturni inteligentni sistem u kome su senzori, elektronika, aktuatori i/ili mikrostrukture integrisani na jednom čipu (monolitna integracija) ili više čipova (hibridna integracija) korišćenjem mikroelektronskih tehnologija.

Komponente mikrosistema

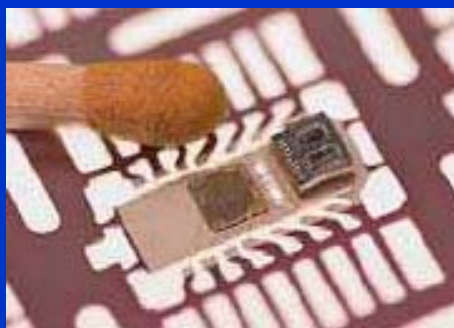




Definicije

Senzori mere okolinu bez njenog modifikovanja. Konvertuju fizičke i hemijske veličine u električne signale. Merene veličine mogu biti :

- Termičke (temperatura, toplota, protok toplote)
- Mehaničke (sila, pritisak, brzina, ubrzanje, pozicija)
- Hemijske (koncentracija nekog materijala, sastav, brzina reakcije)
- Magnetne (intezitet magnetnog polja, gustina fluksa, magnetizacija)
- Radijacione (intezitet, talasna dužina, polarizacija, faza)
- Električne (napon, struja, naelektrisanje)



Senzor pritiska



Senzor gasova



Senzor ubrzanja



Definicije

Aktuatori interaguju sa okolinom. Konvertuju električnu energiju (signale) u mehaničko dejstvo (kretanje).

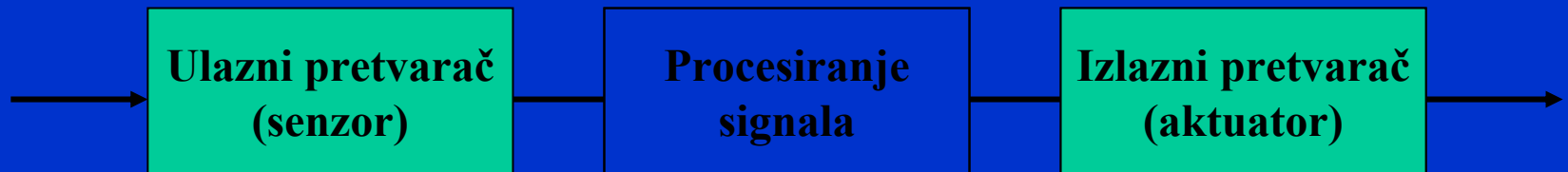
Primeri:

- **Mikromotori**
- **Mikropumpe**
- **Ventili**
- **Glave termičkih štampača**
- **Pojačavači mikrofluida**
- **Optički komunikacioni elementi**
- **Skansirajuća mikroogledala**



Definicije

Senzori i aktuatori su **pretvarači** energije
(aktivni elementi sistema).





Definicije

Mikrostrukture su objekti koji ne pripadaju niti senzorima niti aktuatorima (pasivni elementi sistema). Predstavljaju niz jednostavnih oblika kao što su žlebovi, otvori, brizgalice, rešetke, itd.

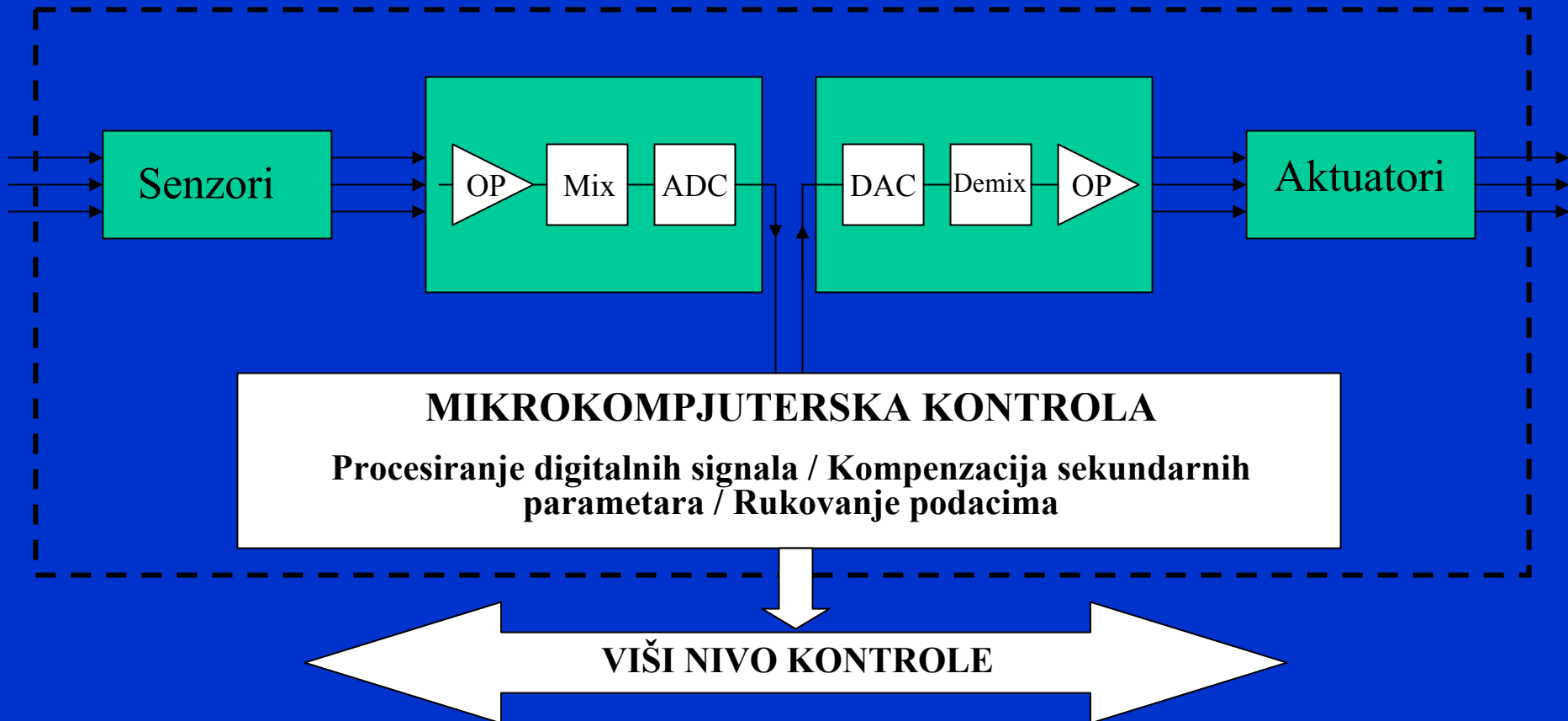
Primeri:

- **Mikrosita**
- **Optički elementi**
- **Mikroelektronske komponente za hladjenje**
- **Elektronski ventili**
- **Separatori tečnih izotopa**
- **Mikrokonektori (električni i optički)**



Definicije

Elektronska kola su u funkciji procesiranja električnih signala.





Definicije

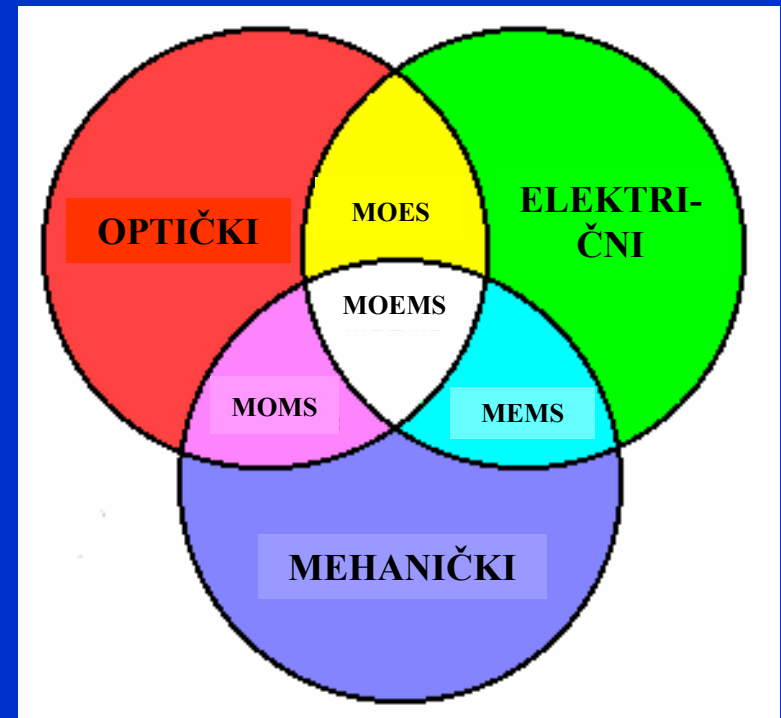
Kategorije mikrosistema

MEMS - Mikro**Elektro**Mehanički Sistemi

MOEMS – Mikro**Opto****Elektro**Mehanički Sistemi

MOES – Mikro**Opto****Elektronski** Sistemi

MOMS – Mikro**Opto**Mehanički Sistemi

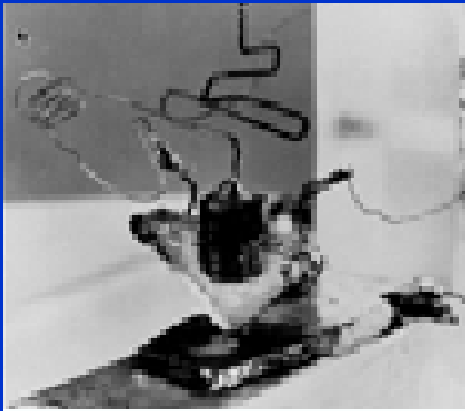




Mikrosistemi su razvijeni zahvaljujući revoluciji mikroelektronskih komponenata

Razvoj mikroelektronskih komponenata

1947



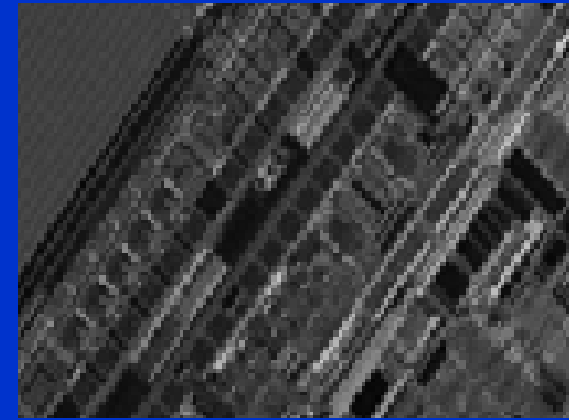
Prvi transistor

1958



Prvo integrisano kolo (IK)

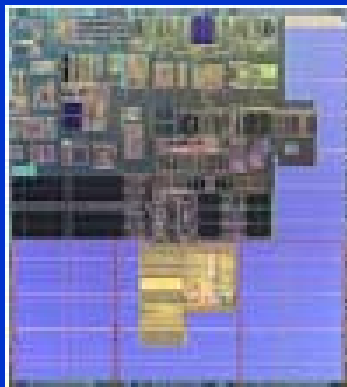
1999



**IK sa 10 miliona
tranzistora**

2002

**IK sa 400
miliona
tranzistora**



Moore-ov zakon:

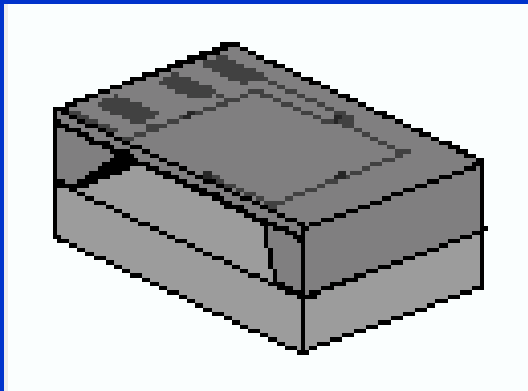
Broj tranzistora u IK raste eksponencijalno
sa vremenom (udvostručuje se svake 2-3
godine)



Mikrosistemi su razvijeni zahvaljujući revoluciji mikroelektronskih komponenata

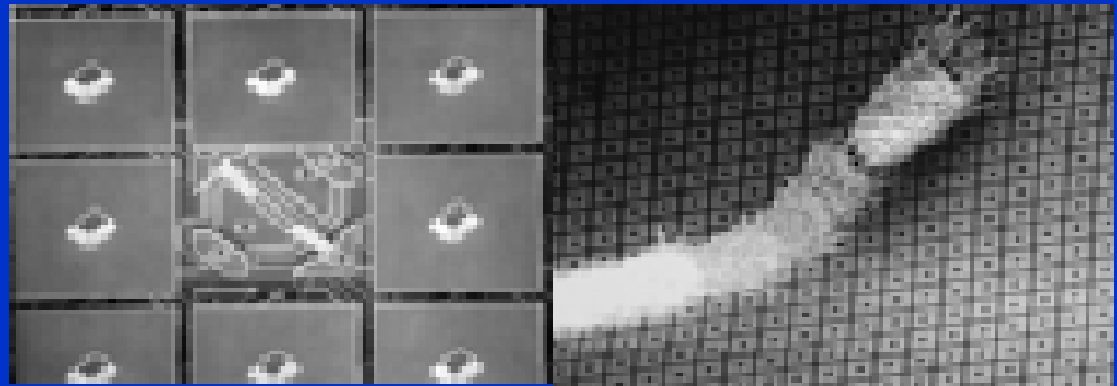
Razvoj mikrosistema

1980



Senzor pritiska

1999



**Digital Micromirror Device
(DMD)**

1.3 milion mikroogledala



Istorijat razvoja mikrosistema

- 1954** – Piezootporni efekat u poluprovodnicima (S.C. Smith)
- 1964** – Si integrisani piezo-aktuator (Tuftte, Chapman, Long)
- 1965** – FET akcelerometar dobijen tehnologijom površinskog mikromašinstva (Nathanson, Wickstrom)
- 1967** – Anizotropno dubinsko nagrizanje Si (Waggner et al.)
- 1977** – Si elektrostatički akcelerator (Stanford)
- 1979** – Integrisani gasni hromatograf (Terry, Jerman, Angell)
- 1982** – “Si kao mehanički materijal” (K. Petersen)
- 1983** – Integrisani senzor pritiska (Honeywell)
- 1985** – LIGA tehnologija (W. Ehrfield et al.)
- 1988** – Serijska proizvodnja senzora pritiska tehnologijom bondiranja pločica (Nova Sensor)
- 1992** – Zapreminsko mikromašinstvo – SCREAM proces (Cornell)
- 1993** – Displej sa digitalnim ogledalima (Texas Instruments)
- 1994** – Komercijalni akcelerometri realizovani tehnologijom površinskog mikromašinstva (Analog Devices)
- 1999** – Prekidači za optičke mreže (Lucent)



Primena mikrosistema

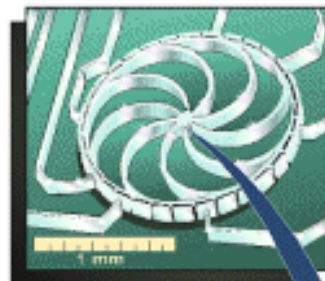
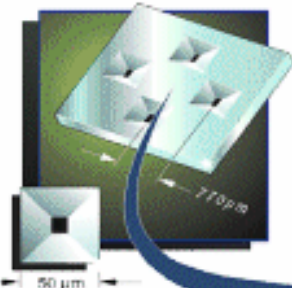
Automobilska industrija	Elektronika	Biomedicina	Komunikacije	Vojna primena
Senzori za internu navigaciju	Glave u drajvovima diskova	Senzori pritiska krvi	Komponente fiber-optičkih mreža	Navodjenje projektila
Senzori stanja vazduha u kabini	Glave inkjet printera	Stimulatori mišića i sistemi za uvođenje lekova	RF releji, prekidači i filteri	Sistemi za osmatranje
Senzori kočionih sila	Televizijski projekcioni ekrani	Implantirani senzori pritiska	Projekcioni displeji u mobilnim komunik. komponentama i instrumentima	Ručni sistemi
Senzori nivoa goriva i pritiska pare	Senzori za detekciju zemljotresa	Protetika	Spliteri i kapleri	Ugradivi senzori
Senzori za vazdušne jastuke	Senzori pritiska u avionima	Minijaturni analitički instrumenti	Oscilatori kontrolisani naponom (VCO)	Memorisanje podataka
“Inteligentne gume”	Sistemi za masovno memorisanje podataka	Pejsmejkeri	Podesivi laseri	Kontrola letilica



Courtesy of D. Thomas,
Perkin-Elmer Applied
Biosystems

Inertial Navigation Sensors
• Acceleration
• Yaw Rate

**Silicon Nozzles
for Fuel Injection**

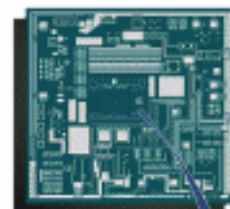


Fuel
Pressure
Sensor

Micromachined Transducer

Applications for Automotive
Operation & Safety

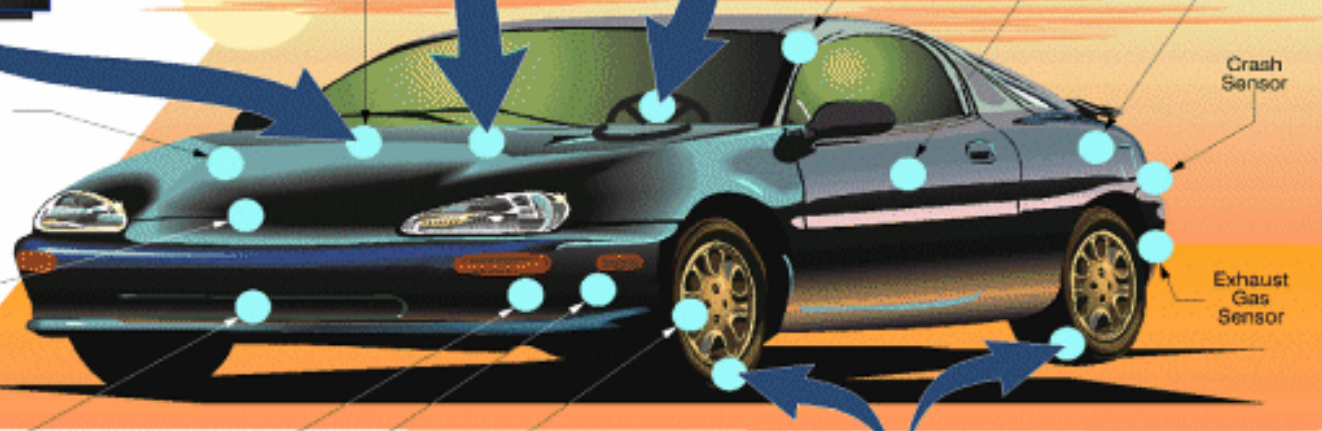
**Micromachined
Accelerometer
for Airbag**



Microphones
for Noise
Cancellation

Airbag
Side Impact
Sensor

Fuel Sensors
• Level
• Vapor Pressure



Air-Conditioning
Compressor
Sensor

Manifold
Air
Pressure
Sensor

Mass
Air Flow
Sensor

Force Sensors
• Brakes
• Throttle Pedals

Accelerometer
for Suspension
Control

Pressure and Inertial
Sensors for
Braking Control

Microphones
for Noise
Cancellation

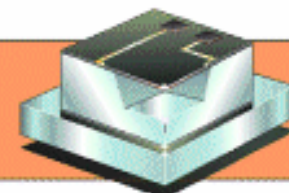
Fuel Sensors
• Level
• Vapor Pressure

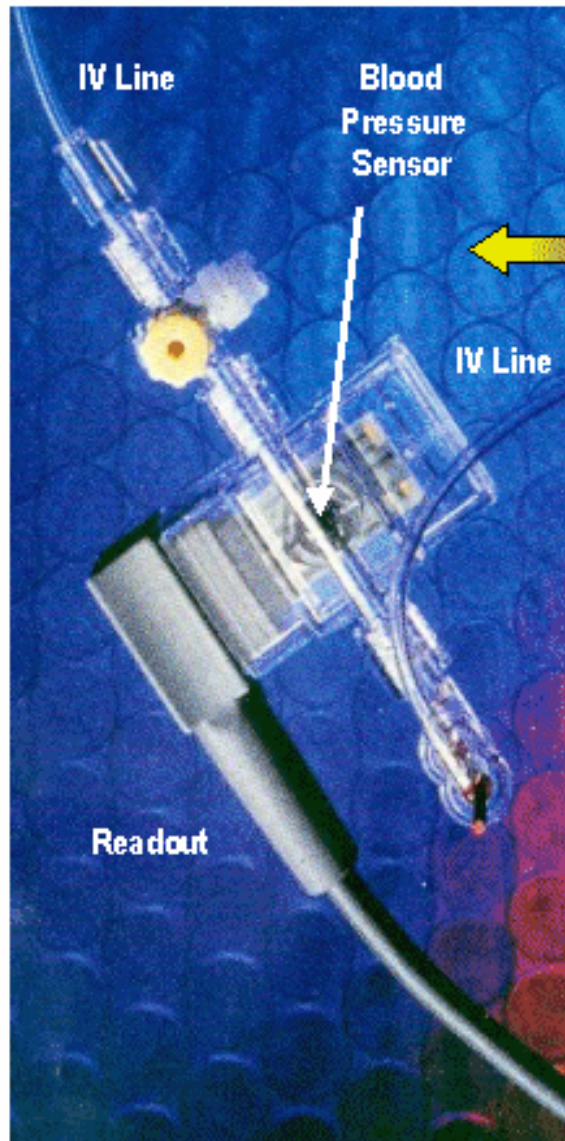
Crash
Sensor

Exhaust
Gas
Sensor



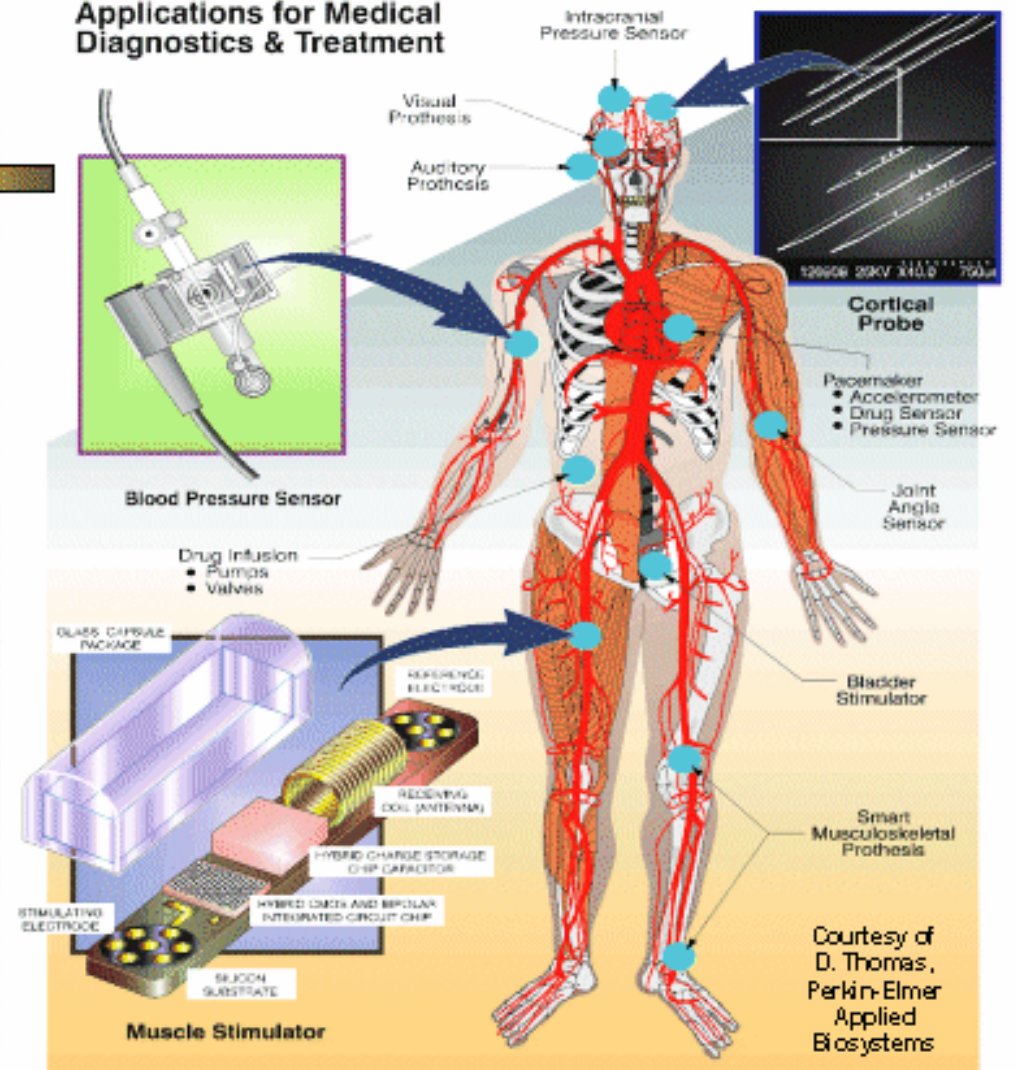
**Tire
Pressure
Sensors**





Micromachined Transducer

Applications for Medical Diagnostics & Treatment



Courtesy of
D. Thomas,
Perkin-Elmer
Applied
Biosystems



Tržište mikrosistema

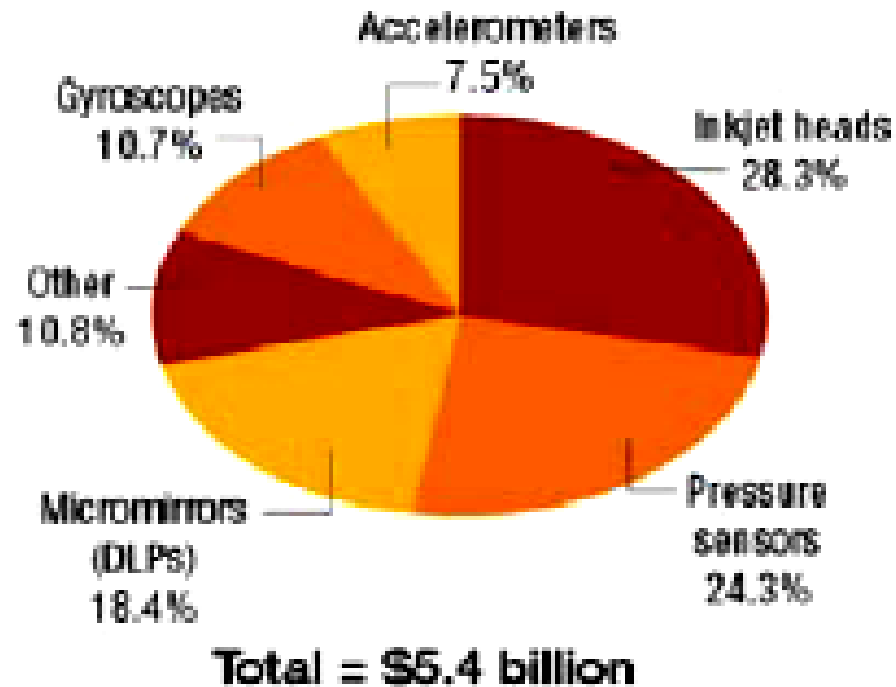
Oblast primene	2002. god (milion USD)	2004. God (milion USD)	CAGR (%)
IT/Periferija	8.700	13.400	11.5
Biomedicina	2.400	7.400	32.5
Automobilska industrija	1.260	2.350	16.9
Industrija/Automatika	1.190	1.850	11.6
Telekomunikacije	130	3.650	128.1
Monitoring život. sredine	520	1.750	35.4
Ukupno	14.200	30.400	21.0

CAGR – Compounded Annual Growth Rate



Tržište mikrosistema

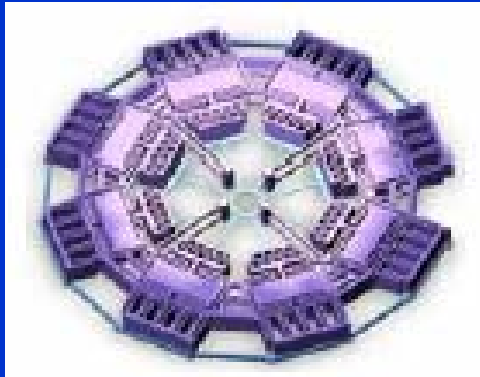
**2005 MEMS MARKET
BY PRODUCT**
percentage of total sales





Primeri mikrosistema

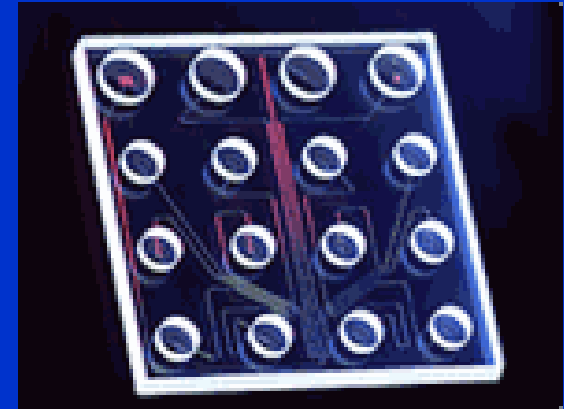
Žiroskop



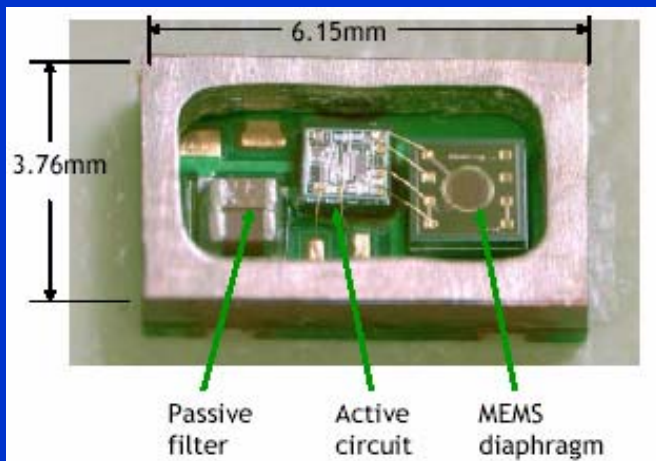
Rotacioni motor



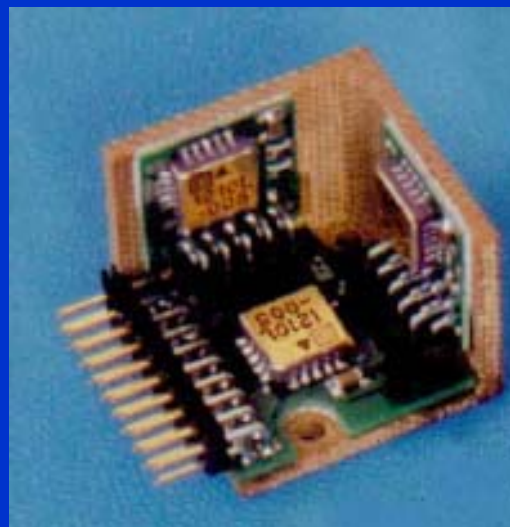
MEMS za mikrofluide



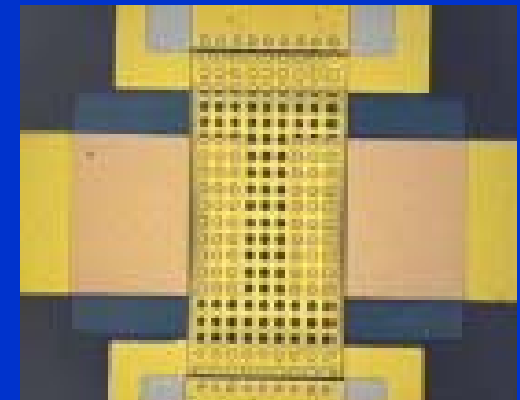
MEMS mikrofon



3-osni akcelerometar



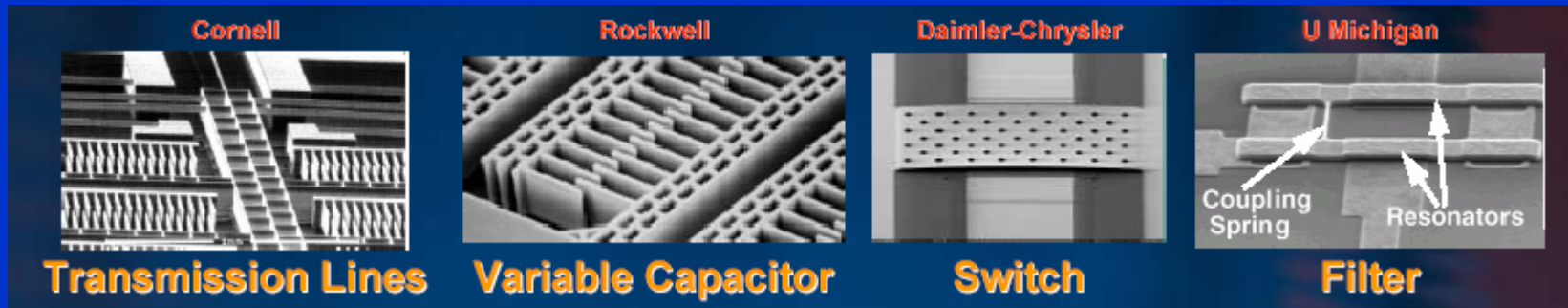
Mikrotalasni prekidač





Primeri mikrosistema

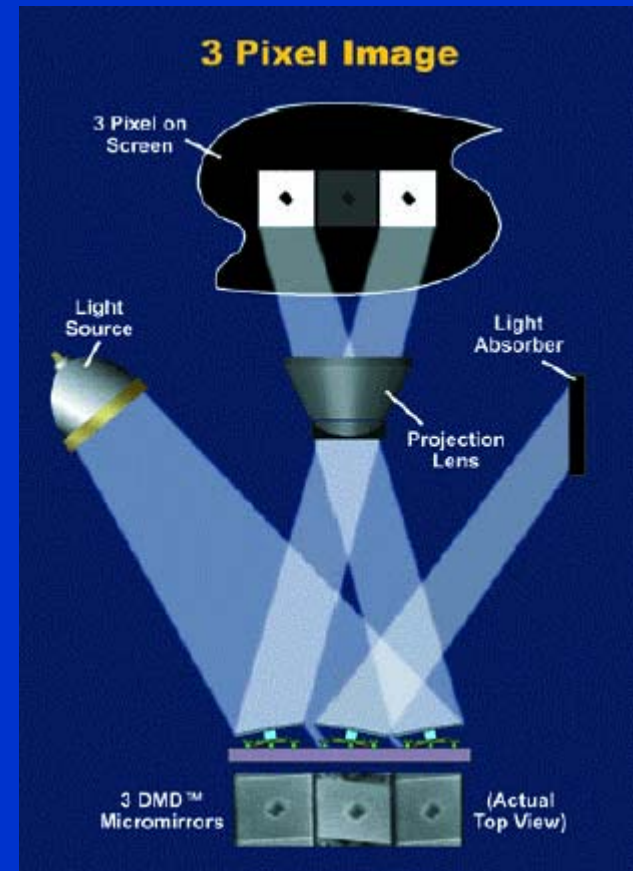
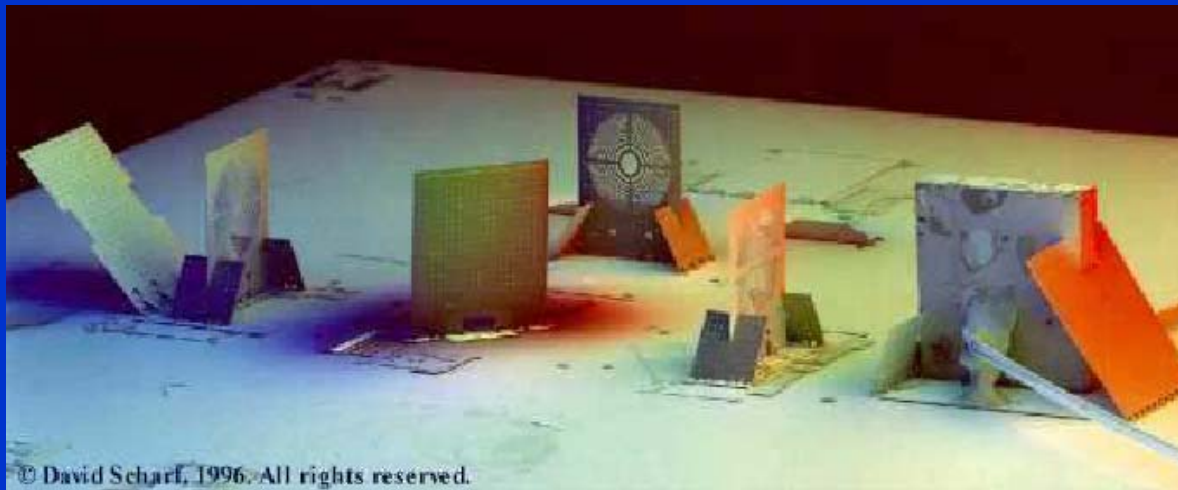
RF MEMS



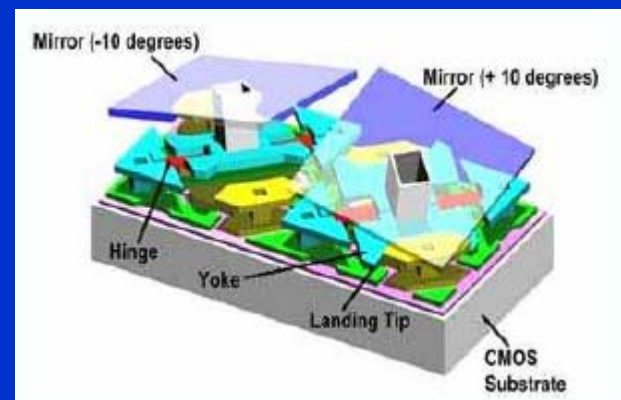


Primeri mikrosistema

Integrirana mikro optika: laser, spliter snopa, Fresnolova sočiva, ogledalo, fotosenzor



Digital Light Processing (DLP)

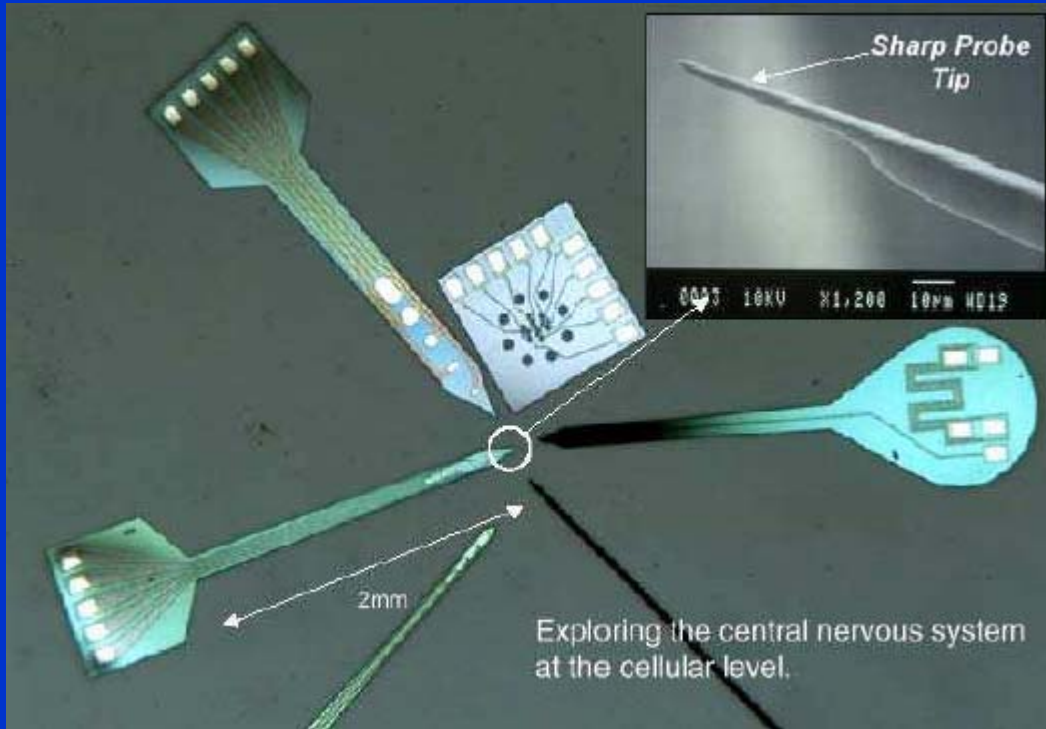


DMD



Primeri mikrosistema

Neuronske mikroprobe



Mikropincete

