

QUO VADIS ELECTRONICS

(kam kráčí elektronika)

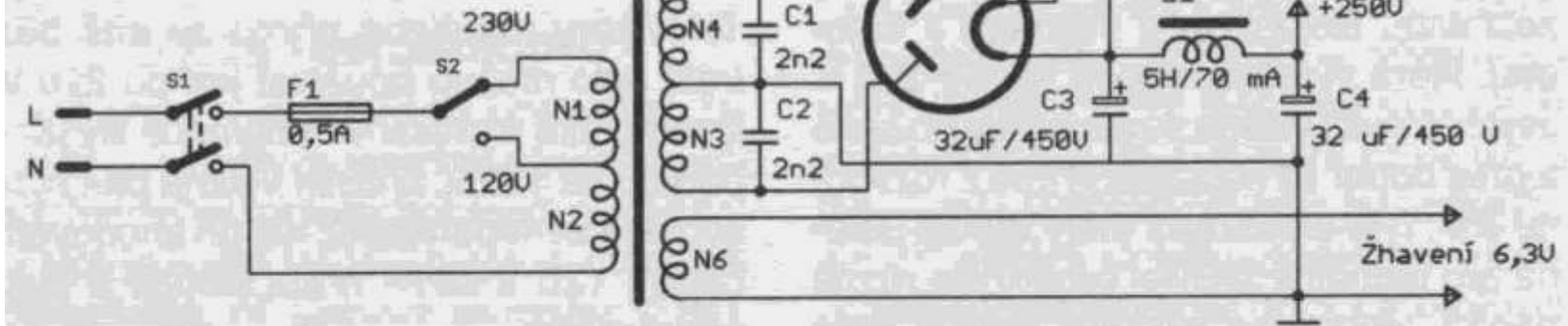
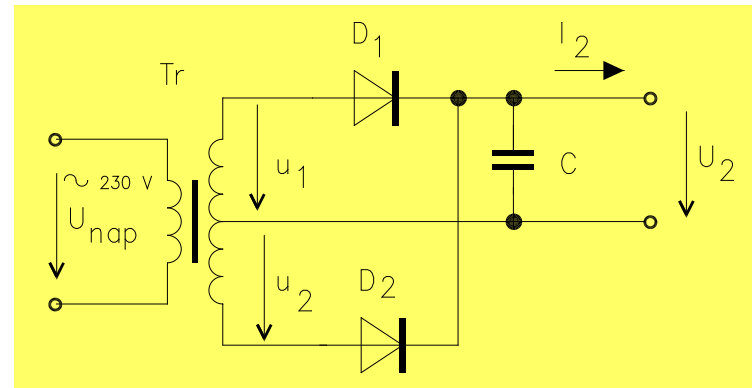
prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze



Elektronika v počátcích



Obr. 1 - Síťový zdroj z rozhlasového přijímače



Obr. 2 - Síťový zdroj elektronického přístroje



Objev tranzistoru



1947 tranzistor
(Baardeen, J. et al.)

ČSR - 1949 první tranzistor
mimo Bell laboratoří

Helmar Frank

Jan Tauc



Rozvoj elektroniky

První tranzistorový radiopřijímač na světě 1954

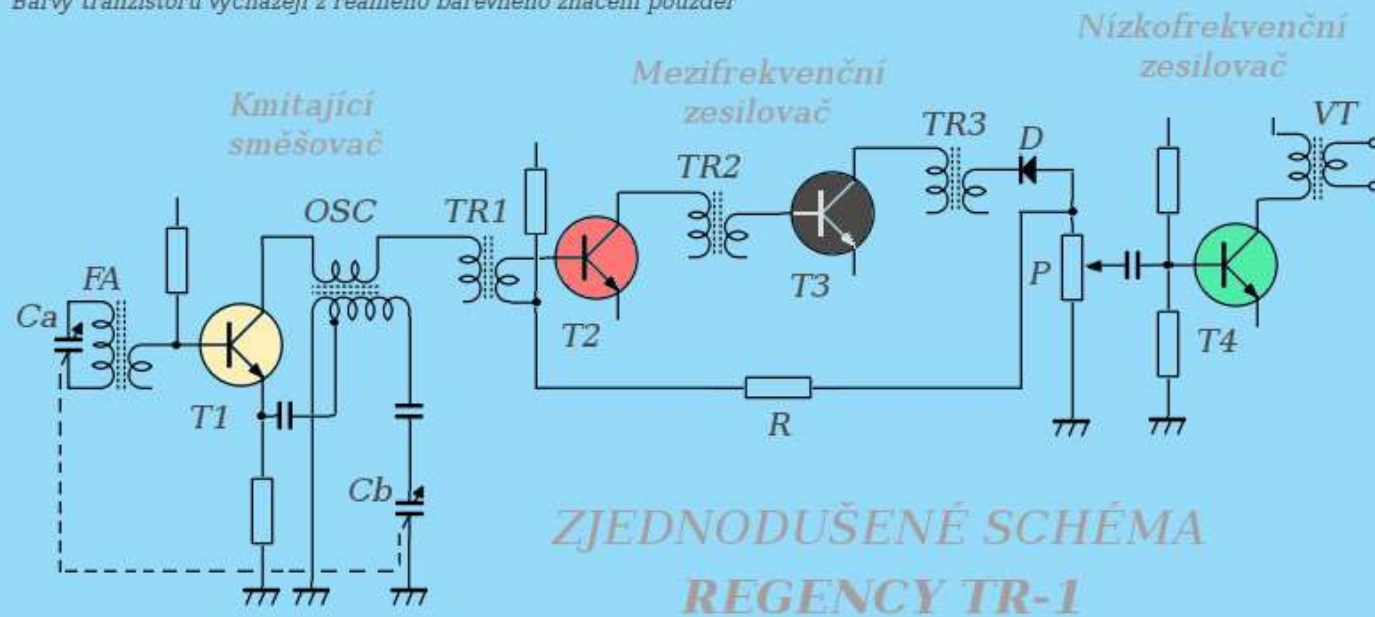
Regendy TR-1

vyvinutý v TI, výroba firma IDEA

4 tranzistory



Barvy tranzistorů vycházejí z reálného barevného značení pouzder



Rozvoj elektroniky

První československý tranzistorový radiopřijímač T58 /A (1958 – 1960)

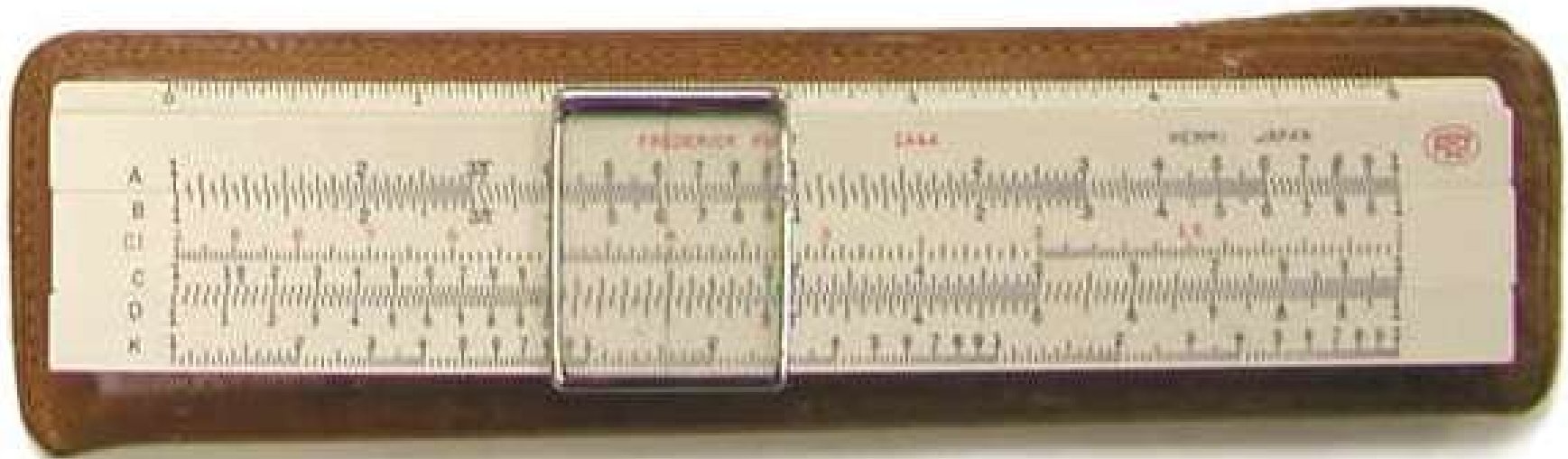


- Obsahoval 27 kondenzátorů, 33 rezistorů a 2 potenciometry
- Výrobek z TESLY Lanškroun



Rozvoj výpočetní techniky

Logaritmické pravítko



První počítač

14.2.1946

Plocha 150 m²

Příkon 300 kW



Rozvoj výpočetní techniky

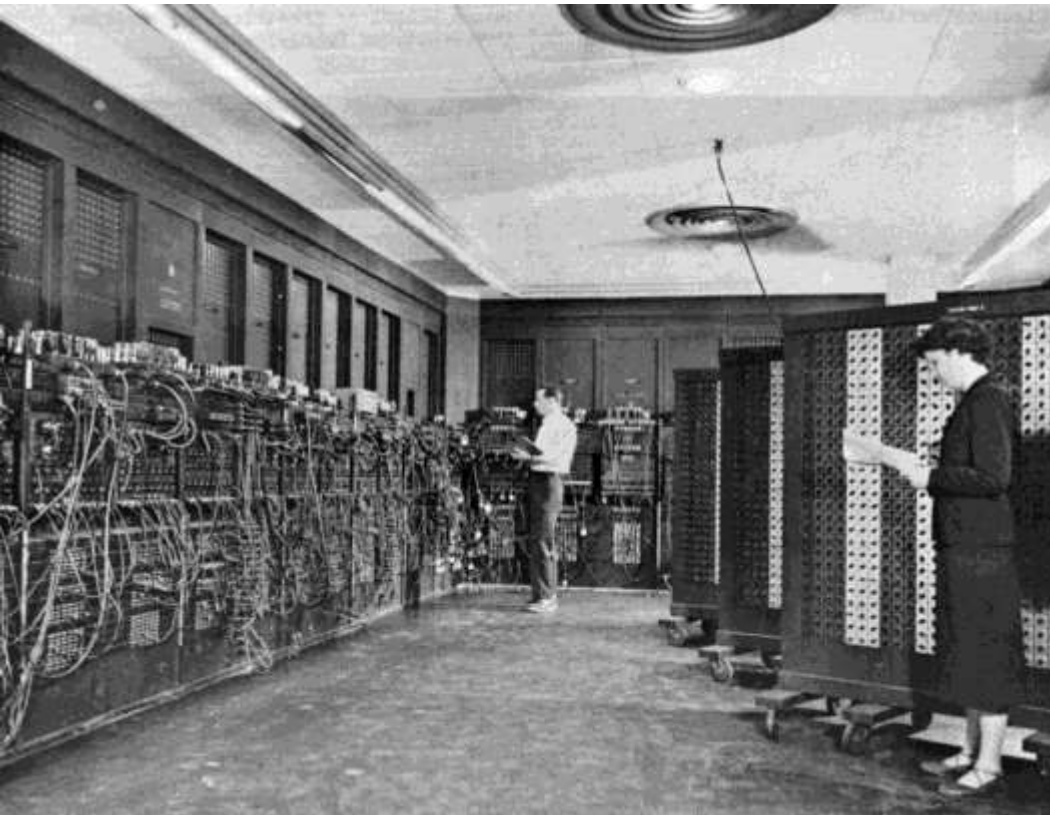
První elektronický počítač ENIAC

14.2.1946

Plocha 150 m²

Příkon 300 kW

Pracoviště vkládání
programu do stroje



Obsahoval 17 468 elektronek, 7200 krystalových diod, 1500 relé, 70 000 rezistorů, 10 000 kondenzátorů, cca 5 mil. ručně pájených spojů, hmotnost 30 t, zabíral 63 m³, spotřeba 150 kW, cena vývoje 500 tis USD.

Vstup i výstup - děrné štítky

Poruchovost - téměř každý den vyhořelo několik elektronek, traduje se, že když byl zapojen, pouliční světla Philadelphie slabě poblikávala. Do 1948 zabíralo odstraňování závad až polovinu užitného času.

Výpočty a programování

Používal desítkovou soustavu, byl programován přepínači.

Využití

Určen pro výpočty palebných tabulek pro dělostřelectvo US army za druhé sv. války, válka skončila dříve nežli mohl být stroj ve válce využit., pomáhal s výpočty pro výpočet atomové bomby - výpočty se prováděly paralelně ručně v Los Alamos a současně i na ENIACU a výsledky se kontrolovaly vzájemným porovnáváním)



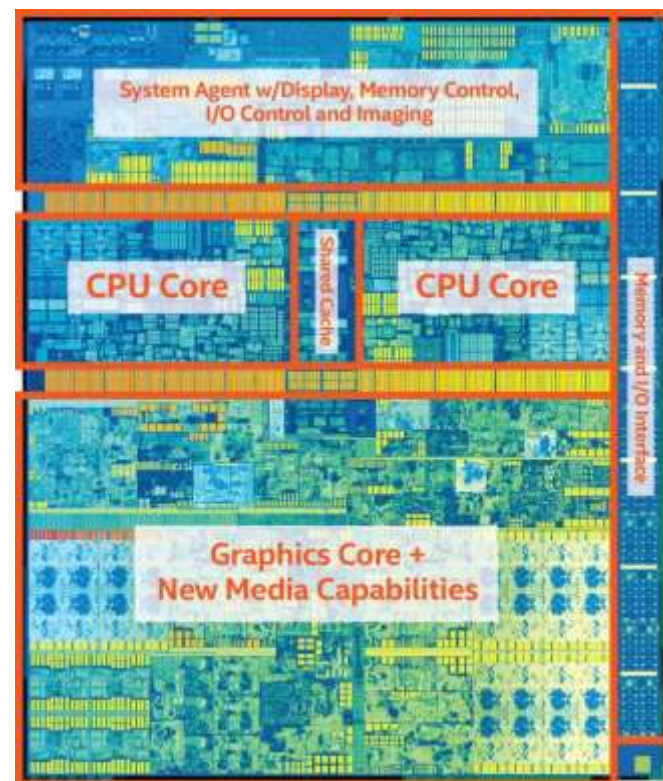
Vývoj elektroniky za 70 let

Od jednoduchých ke složitým elektronickým systémům

2018 Cannon Lake

(10 nm Intel technologie)

Více než 10^9 tranzistorů



Intel® Core™ Microarchitecture		Intel® Core™ Microarchitecture codename Nehalem		Intel® Microarchitecture codename Sandy Bridge	
Penryn	Nehalem	Westmere	Sandy Bridge	Ivy Bridge	
NEW Process Technology 45nm	NEW Microarchitecture 45nm	NEW Process Technology 32nm	NEW Microarchitecture 32nm	NEW Process Technology 22nm	
2007				2012	
TICK	TOCK	TICK	TOCK	TICK	

Kaby Lake	Cannon Lake
14 nm	10 nm
2017	2018

Intel



Jak je rychlý rozvoj ostatních oblastí

1948

- Rychlost 100 km/hod
- Spotřeba 12 l/100 km
- Nosnost 5 lidí
- Cena 30 tis. Kčs



1948

2019

- Rychlost 16 000 km/hod?
- Spotřeba 0,2 l/100 km?
- Nosnost 10^6 lidí?
- Cena 3,60 Kč?

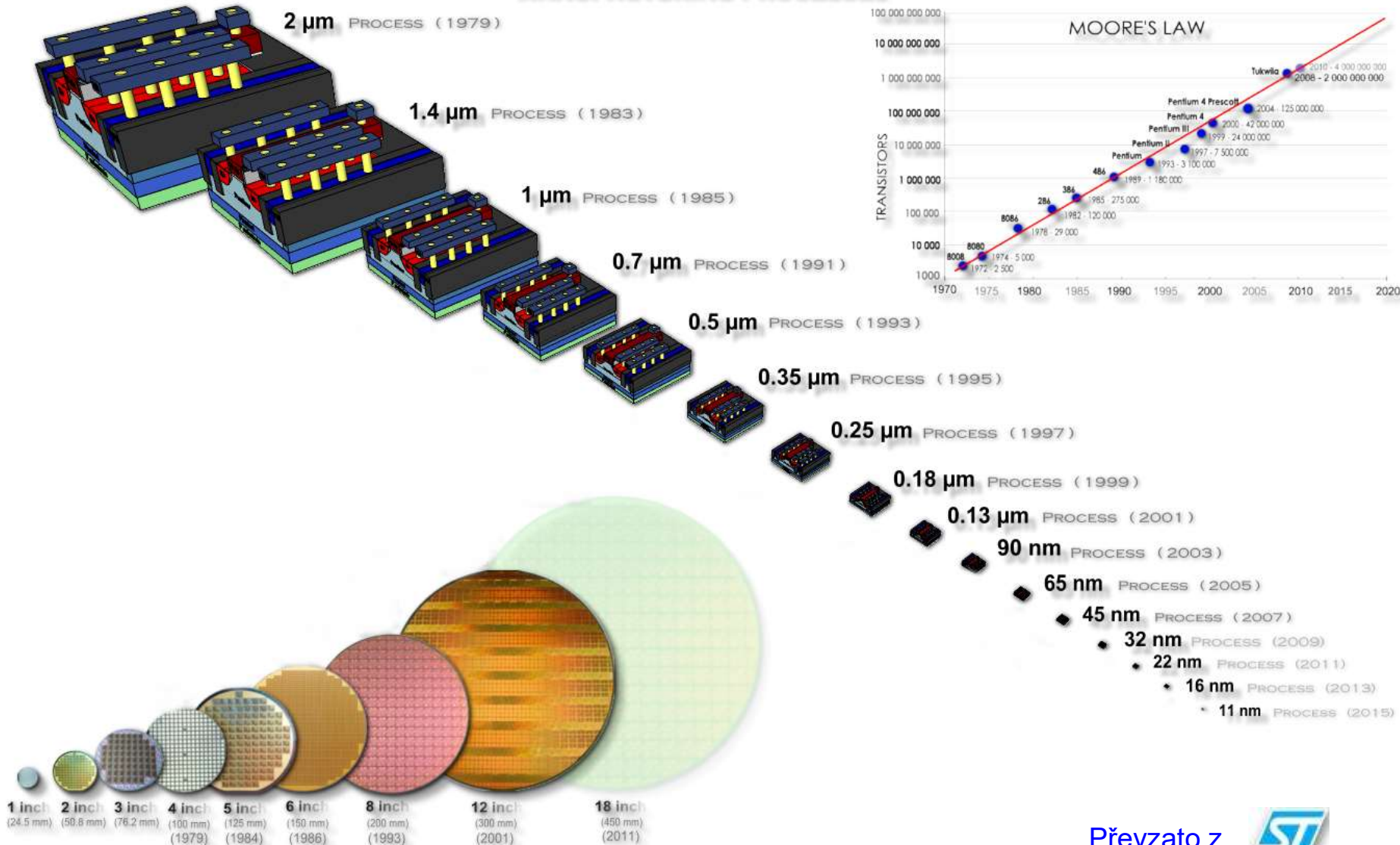


2019



Zvyšování integrace = zmenšování rozměrů

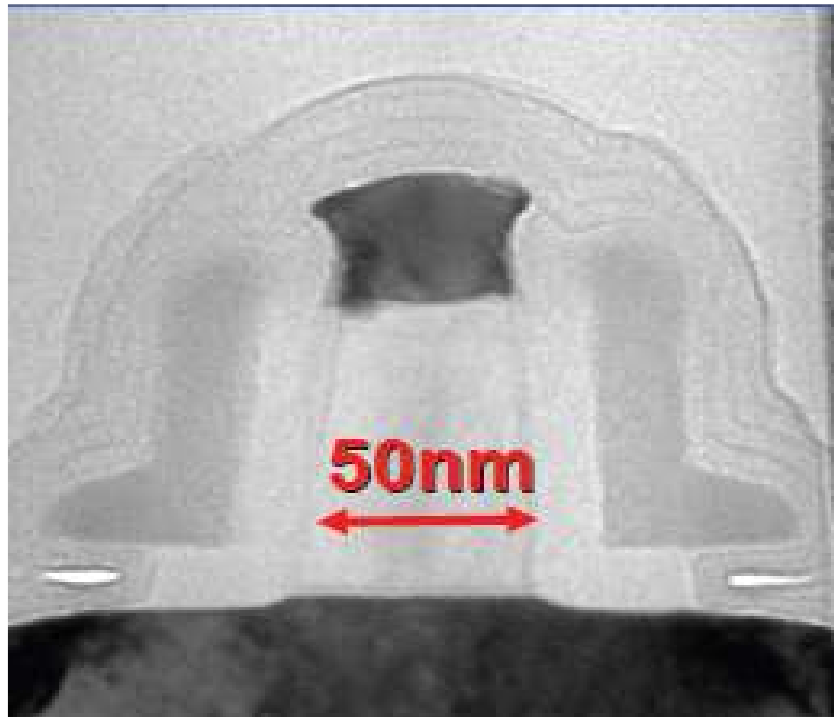
EVOLUTION IN CMOS MANUFACTURING PROCESSES



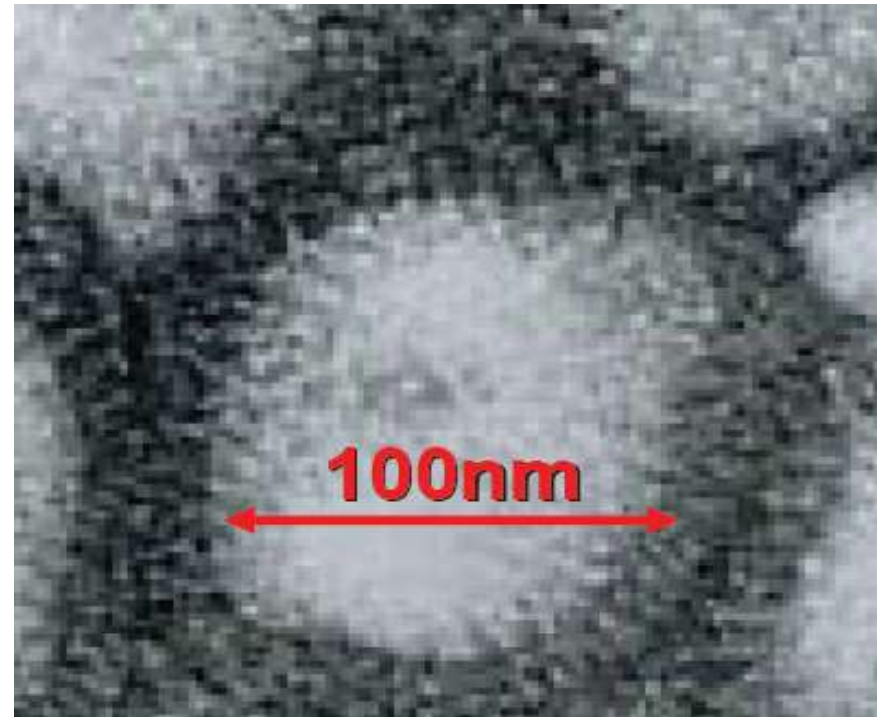
Převzato z



Porovnání rozměru hradla tranzistoru a viru



Tranzistor pro 90 nm proces



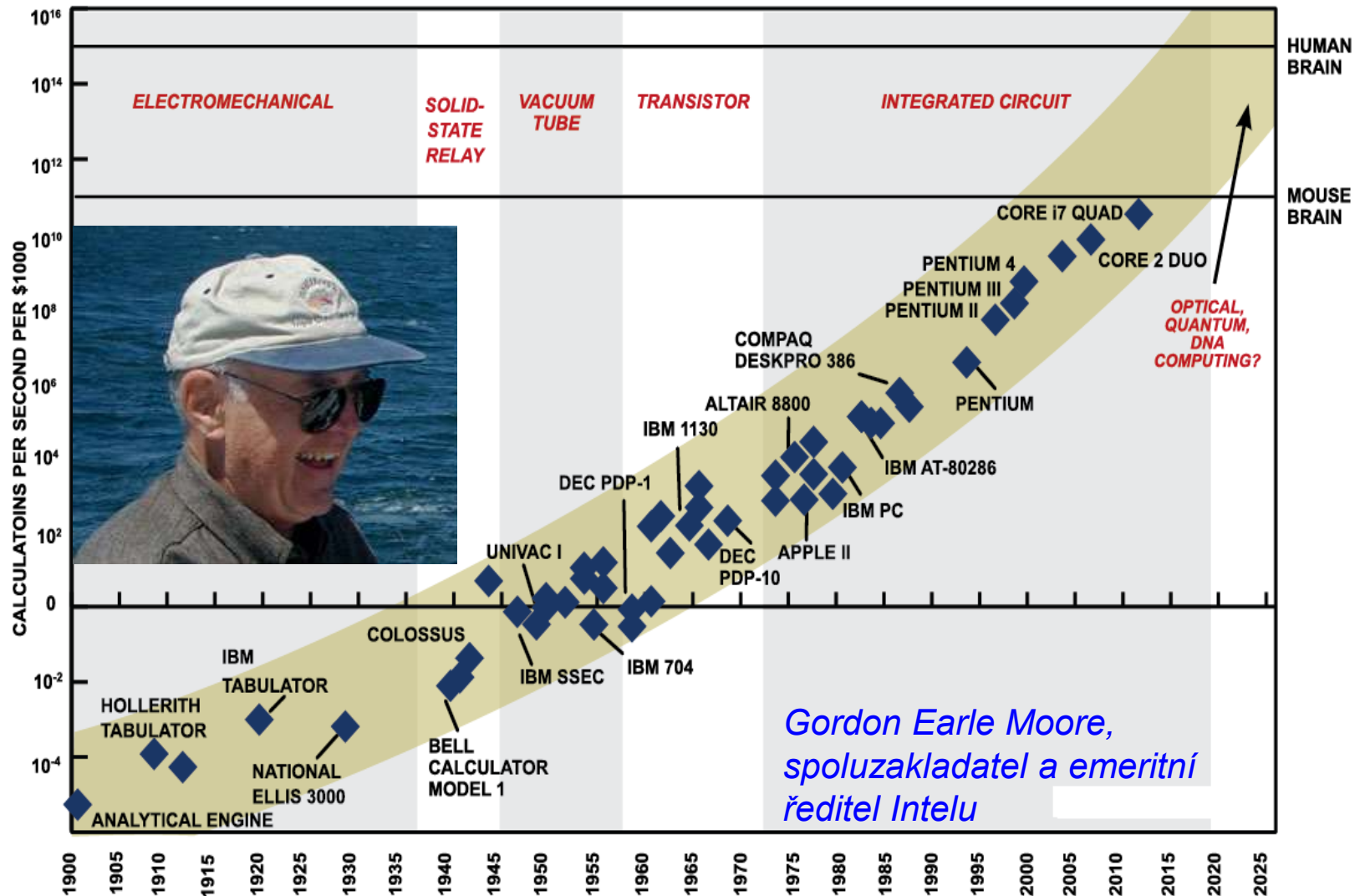
Virus

- Tloušťka hradlového oxidu = 1,2 nm
- Pro 65 nm proces – hradlový oxid 0,8 nm



Výpočetní možnosti a Moorův zákon

Obecný tvar Moorova zákona - výpočetní schopnosti rostou 2x/2roky

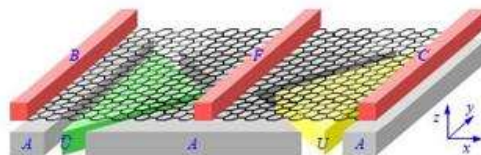
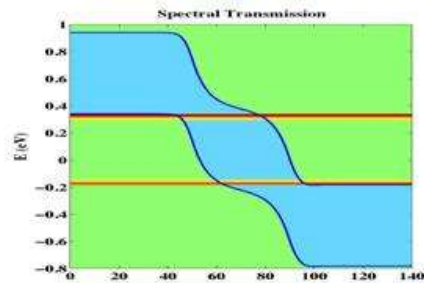


Nové elektronické struktury a principy

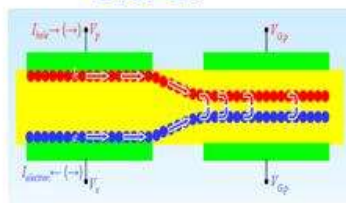
Beyond CMOS Devices

1. Electronic

Tunneling FET

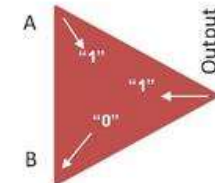
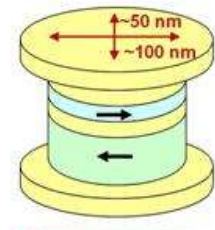
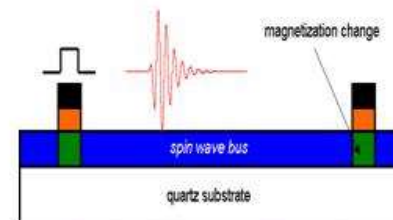
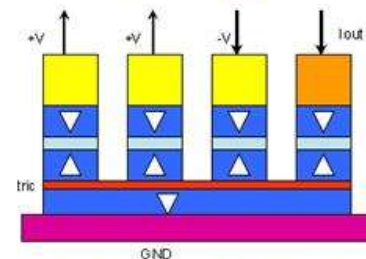
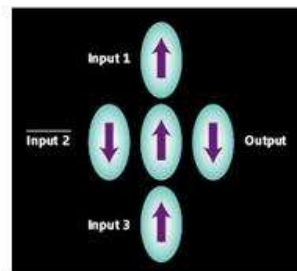
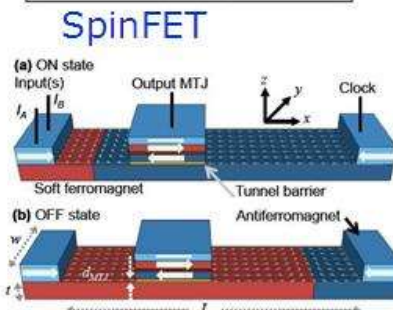
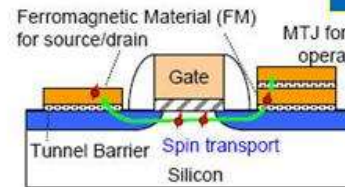


BisFET



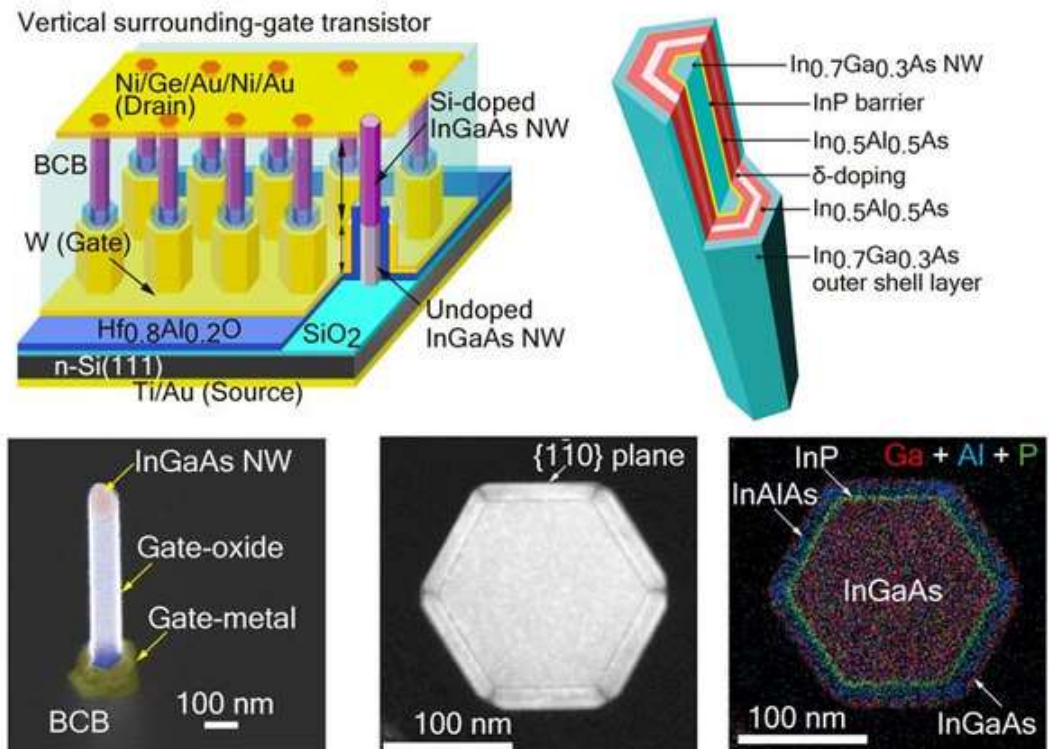
3. Orbitronic

2. Spintronic



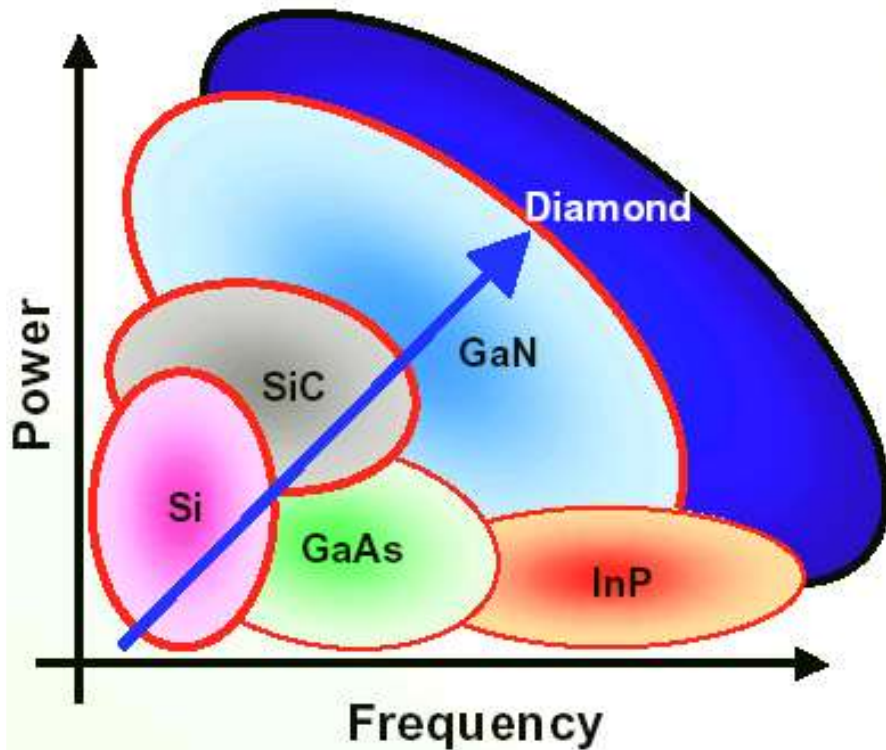
Nové 3D tranzistory

- Intel 22 nm procesory - „3-D“ tranzistory (TriGate) pro Ivy Bridge, SpinFET
- **Vertikální tranzistory s nanodrátky.**
- Kanál ve formě sloupečku (nanodrátok jako úzká polovodičová tyčinka).
- Hradlo nebo více hradel - okolo sloupečku/nanodrátku tvoří „obal“.
- Emitor a kolektor tranzistoru jsou přímo nad sebou
- Vertikální tranzistorové struktury mají šestiboký průřez, z několika materiálů (In, Ga, P, Al).



Intel

Nové polovodičové materiály + diamant



Si - fyzikální a technologické parametry se blíží limitním hodnotám

Diamant - perspektivní materiál zejména pro oblast výkonových vř tranzistorů s velkým výkonem

Uplatnění - bezdrátové komunikační systémy včetně mobilních sítí, komunikační satelity, RF a TV vysilače, chemicky agresivní prostředí atd.

Poznámka:

Tepelná vodivost - až dvacetinásobně převyšující tepelnou vodivost Si (tzn. větší odvod tepla a možnost činnosti při vysokých teplotách - diamantové součástky s PN přechody 400 °C)

Kodeš,J.: učební texty



Hlavní směr vývoje elektroniky (včetně RF)

Mainstream Electronics vs. RF Electronics

Mainstream electronics

Microprocessors, memories, consumer electronics

Transistor types

- Bipolar: BJT (few Applications)
- FET: MOSFET (Standard)

Semiconductors

- Si

RF Electronics

(HF, GHz, microwave electronics)

Transistor types

- Bipolar
 - HBT (Heterojunction Bipolar Transistor)
 - BJT (Bipolar Junction Transistor)
- FET
 - MESFET (Metal Semiconductor FET)
 - HEMT (High Electron Mobility Transistor)
 - SIT (Static Induction Transistor)
 - MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)

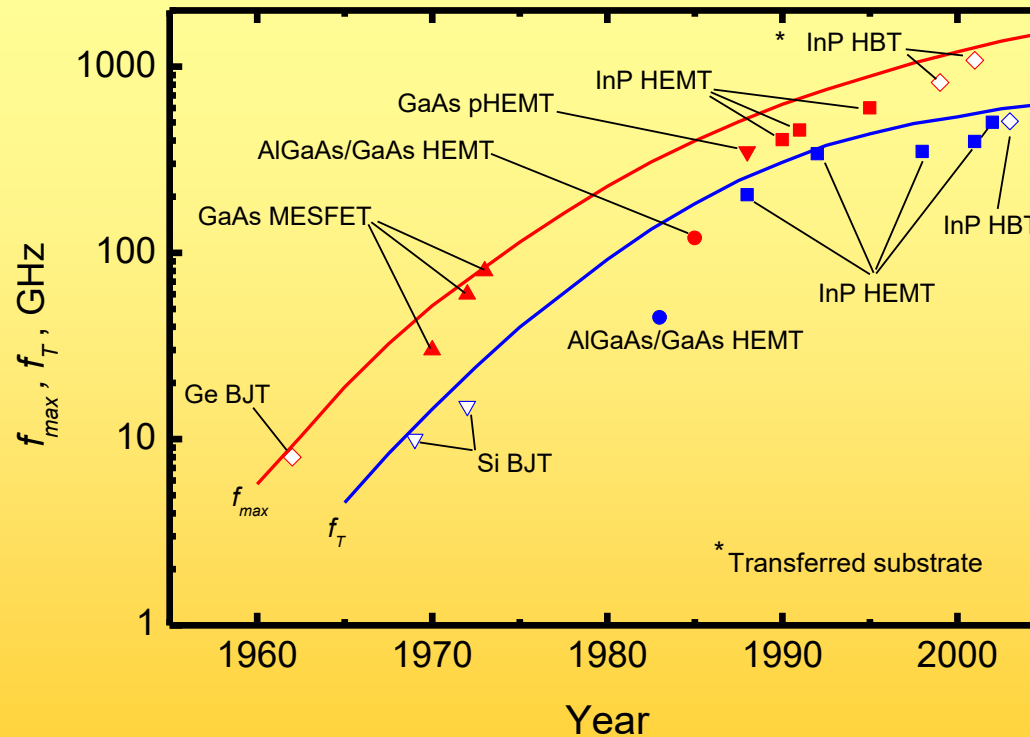
Semiconductors

- III-V's (GaAs, InP, AlGaAs, InGaAs, InAlAs, ...)
- Si
- SiGe
- Wide bandgap materials (SiC, GaN, AlGaN)



Vývoj RF tranzistorů

The Evolution of RF Transistors

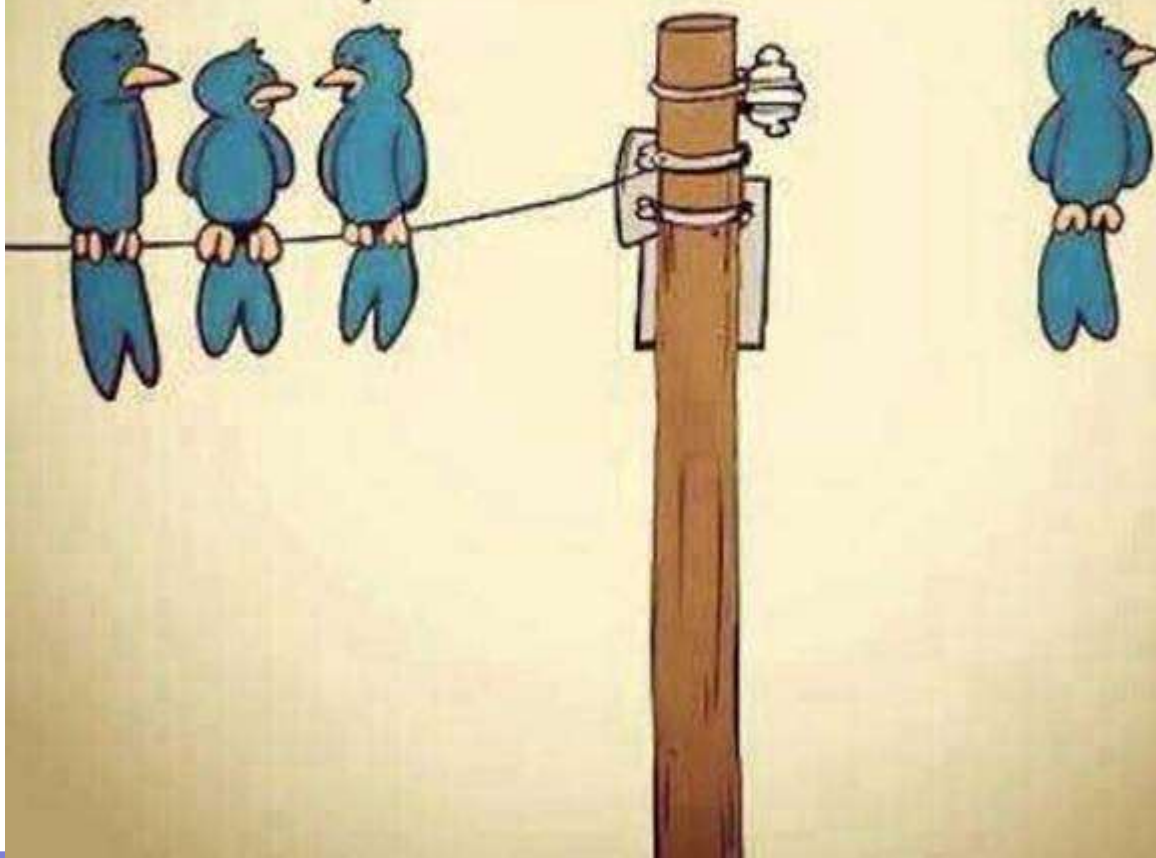


Important Trends:

- Continuous increase of the frequency limits, i.e. f_T and f_{max} (III-V's)
- Increase of output power (wide bandgap transistors)
- Low-cost RF transistors for consumer mass markets (Si-based)



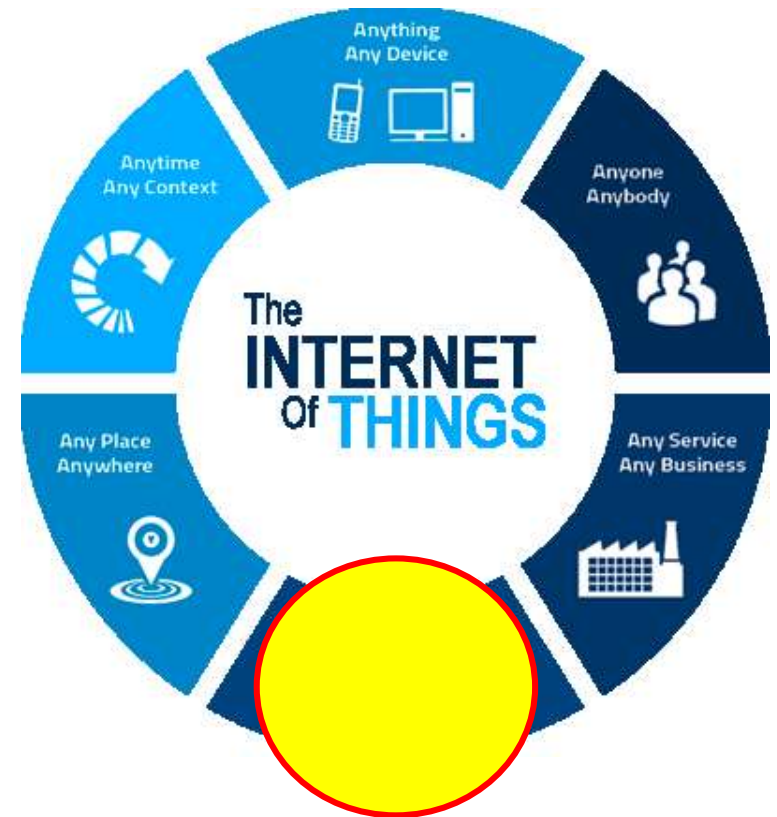
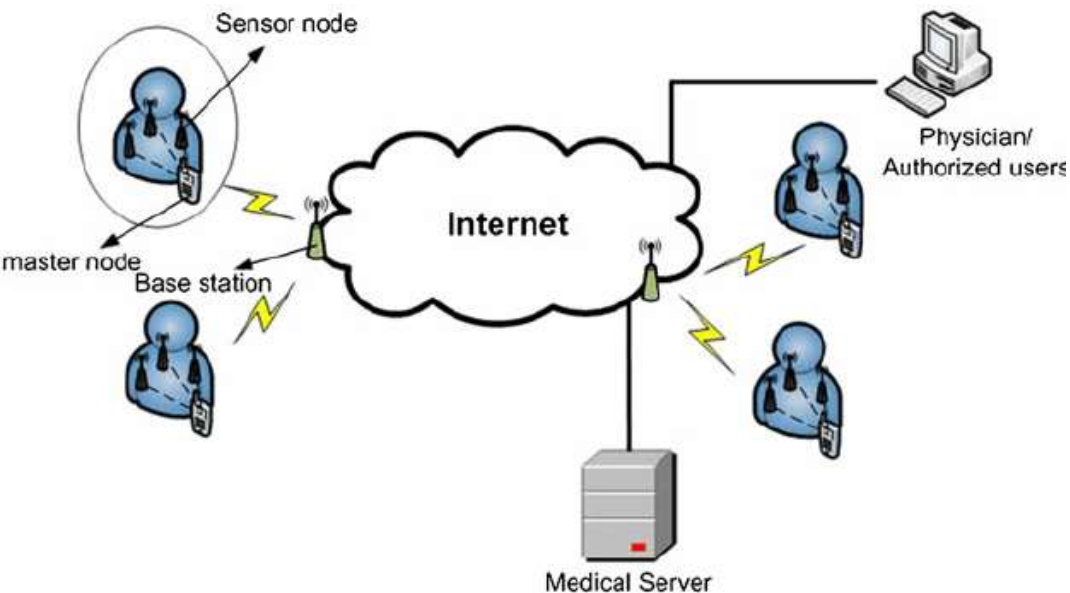
Vytahuje se, že je bezdrátový



Mobilní komunikace

Internet věcí

Datové a senzorové sítě



1G až 2G

Generation	Device	Specifications										
1G 		1G <table><tr><td>Year</td><td>1991</td></tr><tr><td>Standards</td><td>AMPS, TACS</td></tr><tr><td>Technology</td><td>Analog</td></tr><tr><td>Bandwidth</td><td>–</td></tr><tr><td>Data rates</td><td>–</td></tr></table>	Year	1991	Standards	AMPS, TACS	Technology	Analog	Bandwidth	–	Data rates	–
Year	1991											
Standards	AMPS, TACS											
Technology	Analog											
Bandwidth	–											
Data rates	–											
2G 		2G <table><tr><td>Year</td><td>1991</td></tr><tr><td>Standards</td><td>GSM, GPRS, EDGE</td></tr><tr><td>Technology</td><td>Digital</td></tr><tr><td>Bandwidth</td><td>Narrow Band</td></tr><tr><td>Data rates</td><td>< 80 - 100 Kbit/s</td></tr></table>  SMS / MMS	Year	1991	Standards	GSM, GPRS, EDGE	Technology	Digital	Bandwidth	Narrow Band	Data rates	< 80 - 100 Kbit/s
Year	1991											
Standards	GSM, GPRS, EDGE											
Technology	Digital											
Bandwidth	Narrow Band											
Data rates	< 80 - 100 Kbit/s											



3G až 4G

Generation

3G



Device



Specifications

3G

Year 2001

Standards UMTS / HSPA

Technology digital

Bandwidth Broad Band

Data rates up to 2 Mbit/s



SMS / MMS



Internet access



Video calls



Mobile TV

4G



4G

Year 2010

Standards LTE, LTE Advanced

Technology digital

Bandwidth Mobile Broad Band

Data rates xDSL-like experience

1 hr HD movie in 6 minutes



SMS / MMS



Internet access



Video calls



Mobile TV



Gaming services



Cloud computing

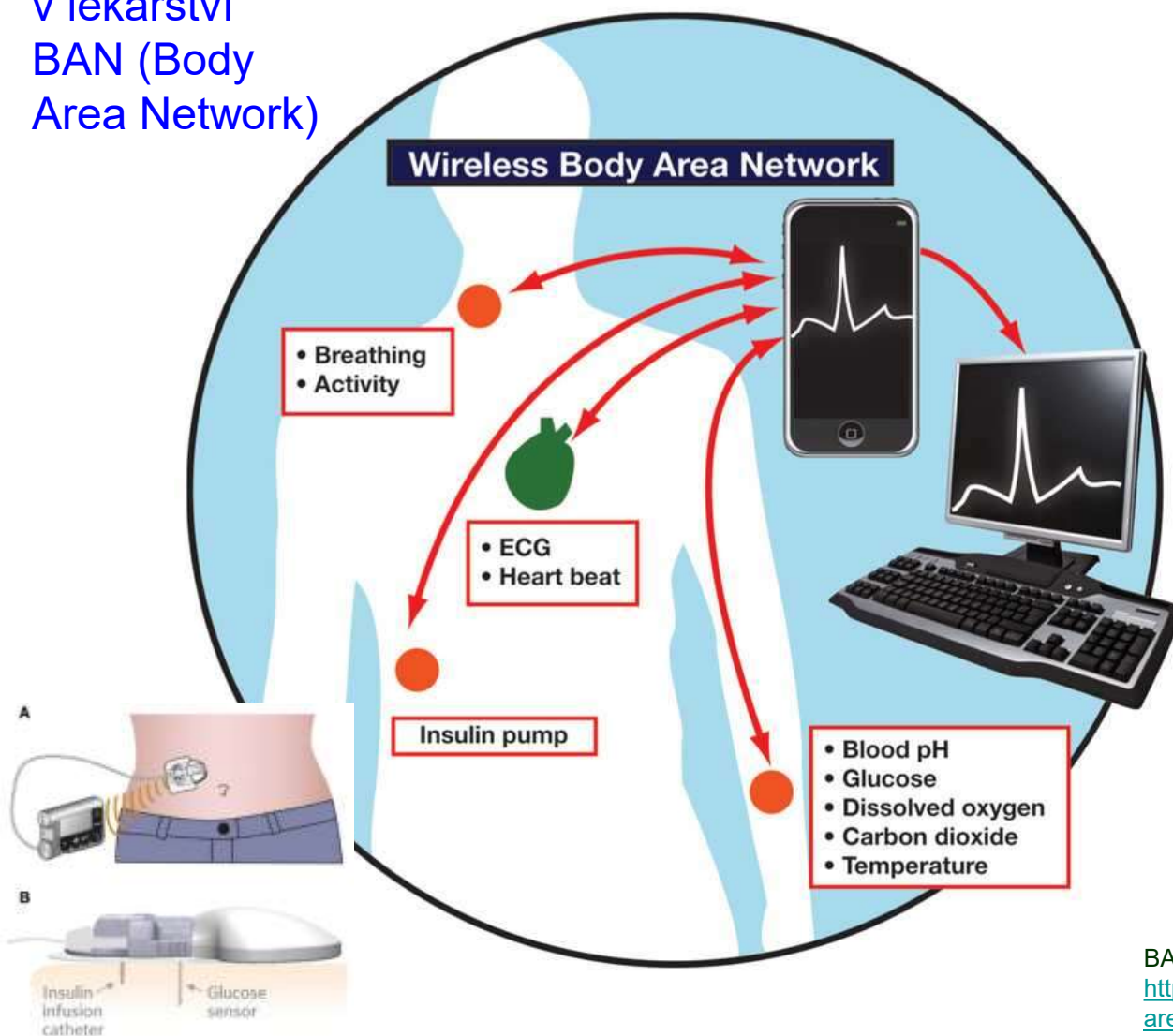




- Dostupnost všude.
- Využití - smartphony a další periférie (intelligentní hodinky, fitness pásma a inteligentní alarm pro domácnost, termostat apod).
- Rychlost - 4G síť stažení filmu v HD kvalitě za 6 min, 5G síť za 6 s

Senzorové sítě v lékařství (BAN) - IoT

Senzorová síť
v lékařství
BAN (Body
Area Network)



Typické využití:

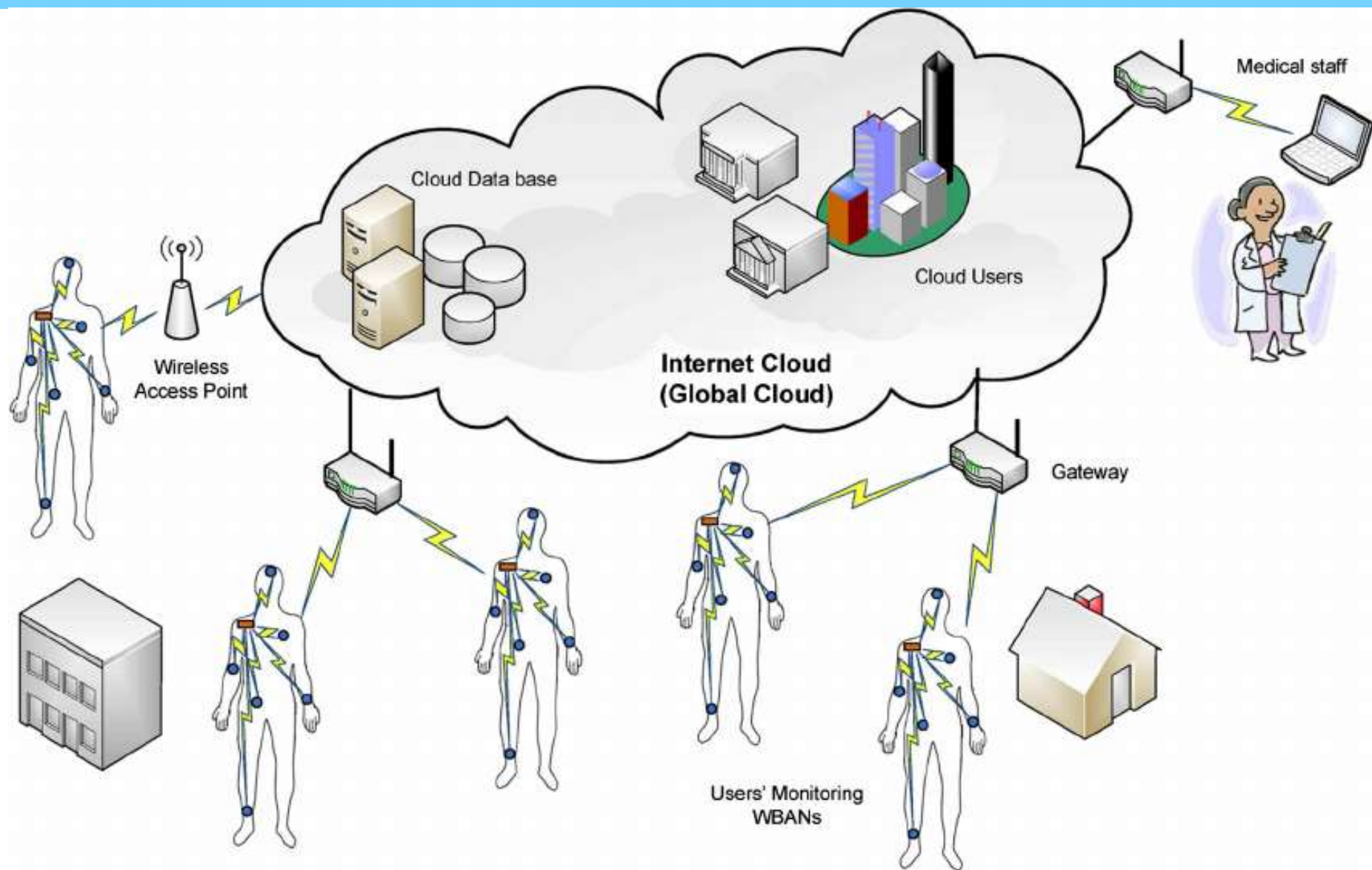
- ☐ elektroencefalografii (EEG)
- ☐ elektrokardiografii (EKG)
- ☐ elektromyografii (EMG)
- ☐ electrooculografie (EOG)
- ☐ Teplota, tlak
- ☐ vodivost kůže
- ☐ apod.



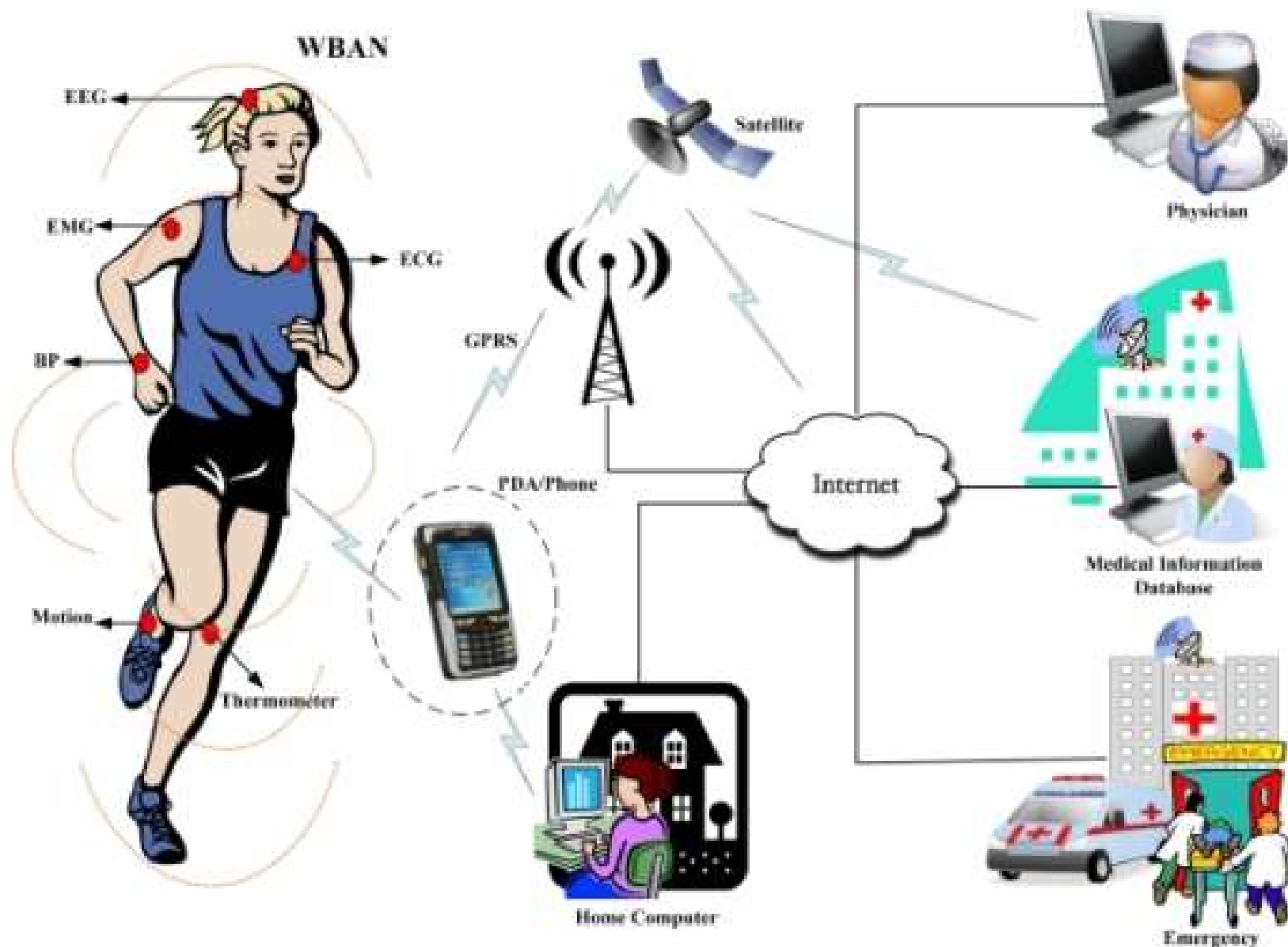
BAN Body Area Network,
<http://psychickeobtezovani.webnode.cz/news/ban-body-area-network/>, 8/2012



Senzorové sítě v lékařství (BAN)

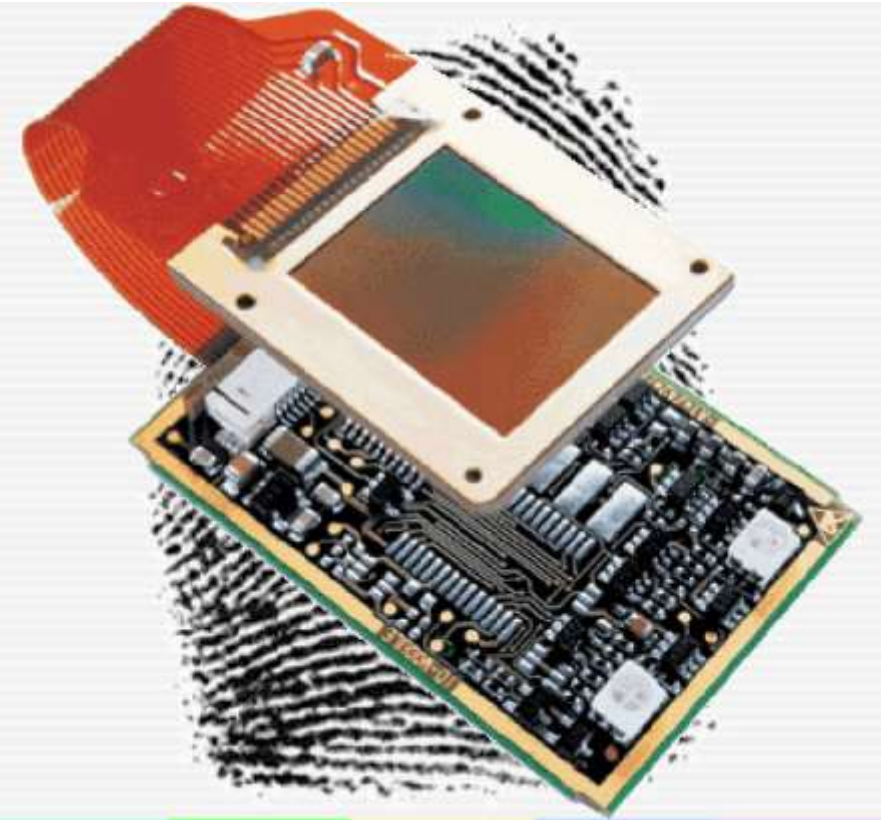


Senzorové sítě v lékařství (BAN)



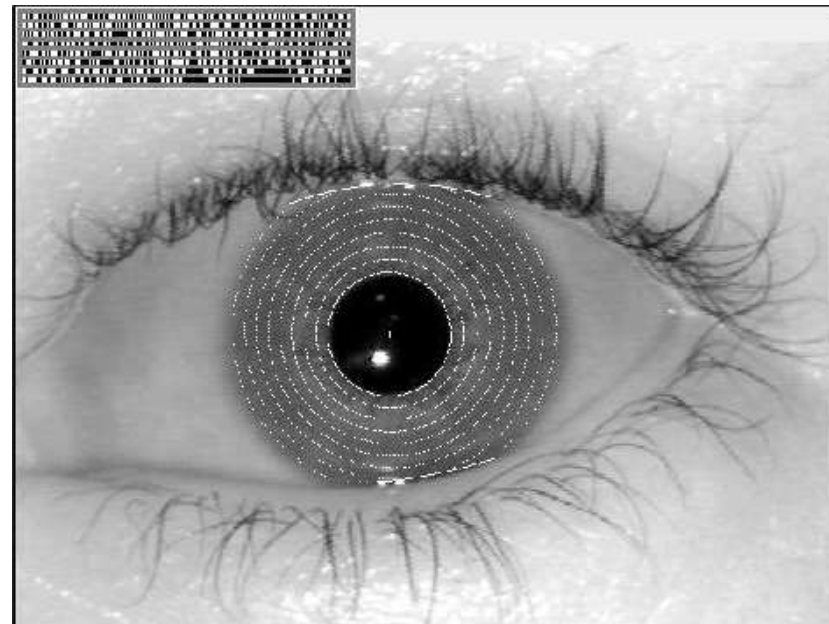
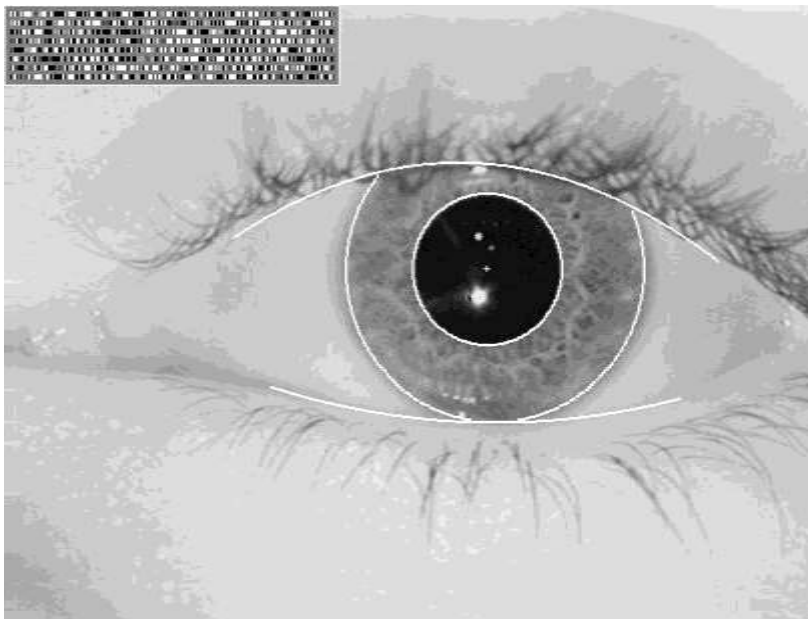
Přístupové systémy (bezpečnost)

Senzor otisků prstu

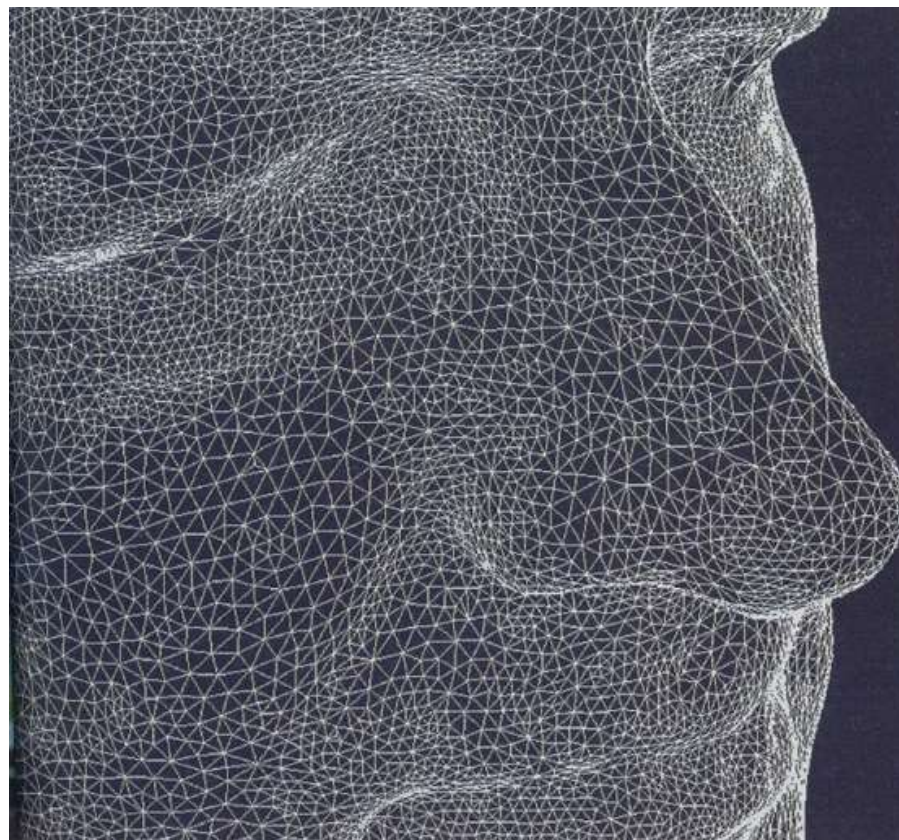
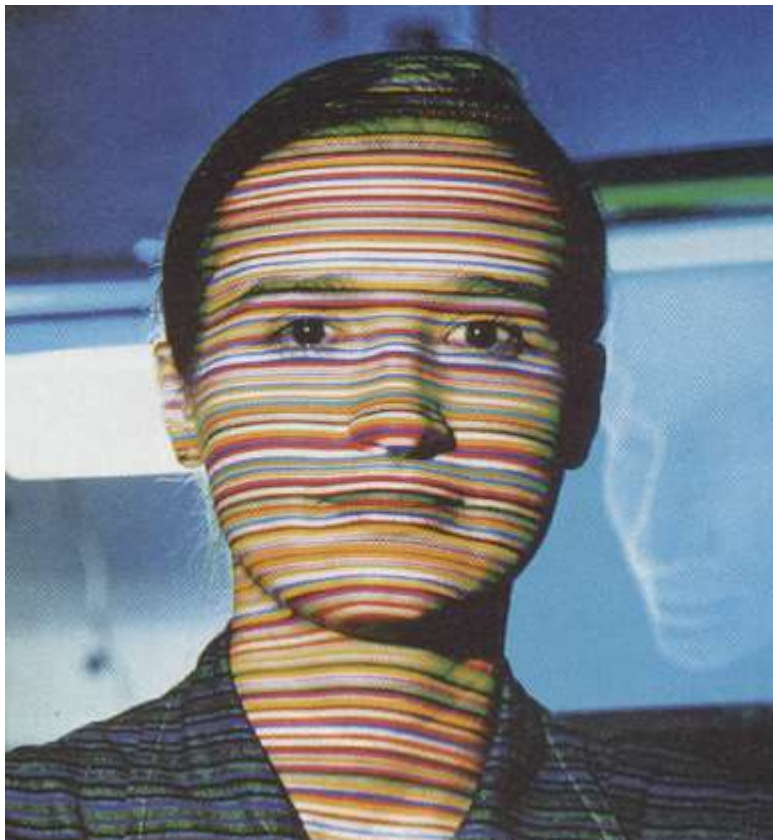


Biometrická média - oko

Převod obrazu duhovky do el. podoby:

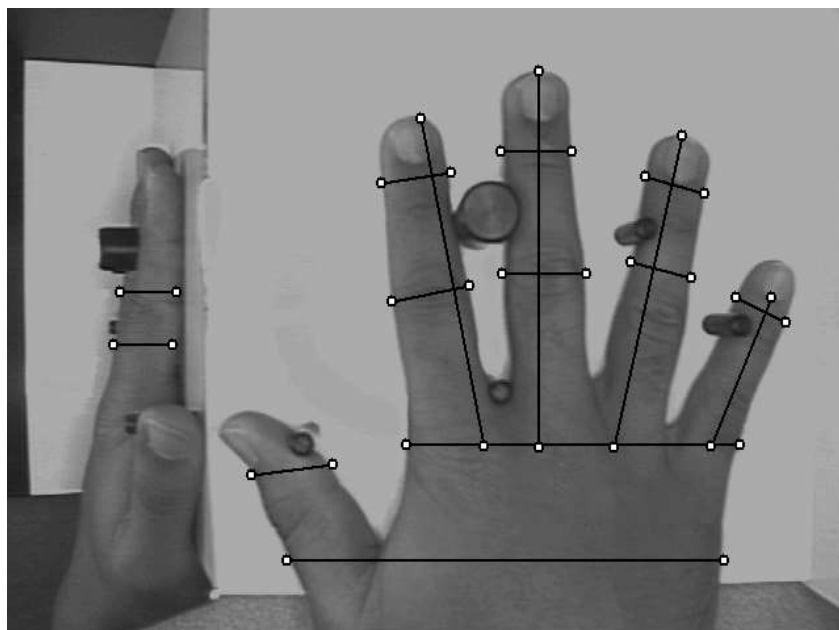


Biometrická média - obličej



Biometrická média – geometrie ruky

- Tato metoda proměřuje geometrii celé ruky
- Charakteristická data obsahují délku prstů, šířku kloubů, tvar ruky, ...



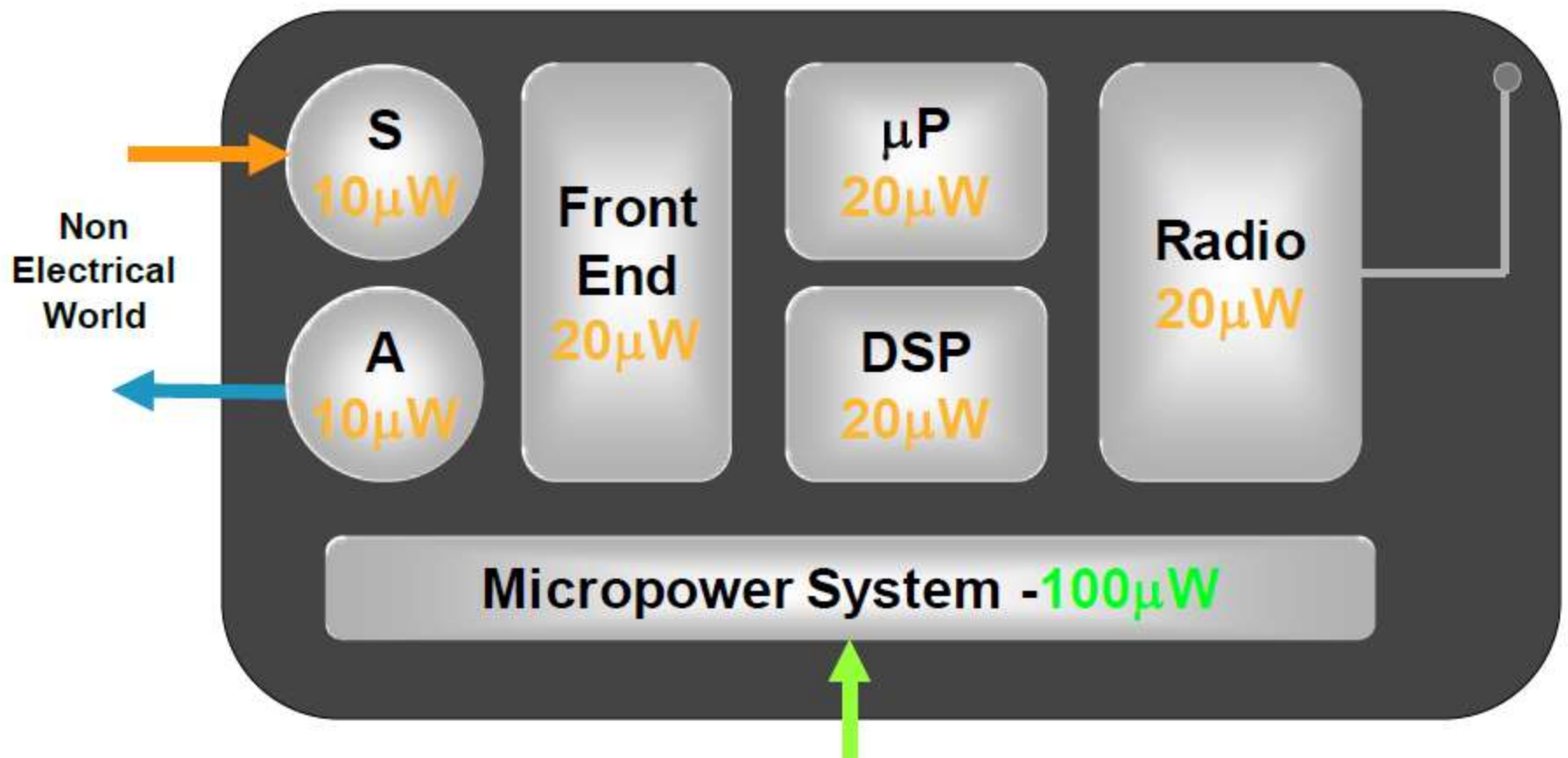
“NOT ENOUGH POWER IS GENERATED”

you don't
generate
enough !

you
consume
too much !

And this largely
explains the absence
of killer applications
using energy
harvesting

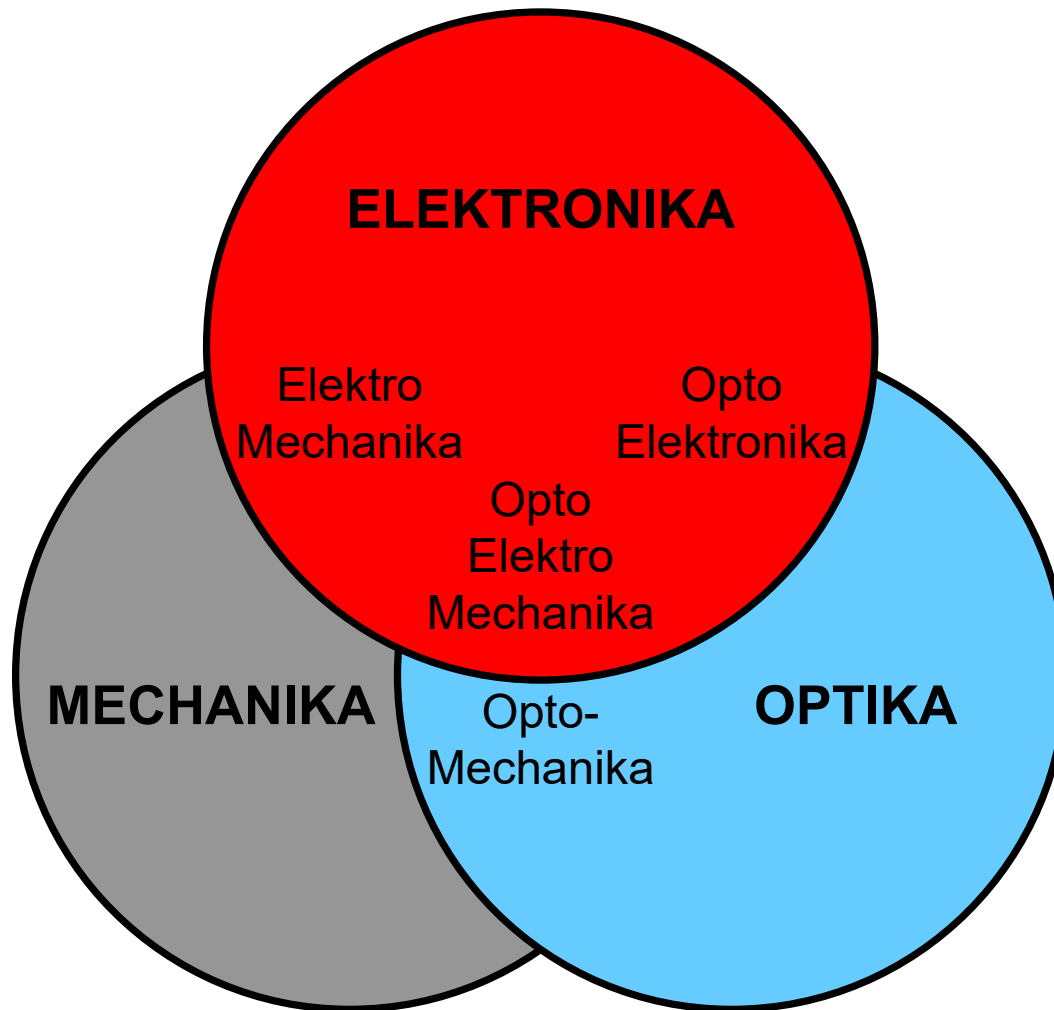




Thermal, Vibrational, RF, Light, Bio-chemical



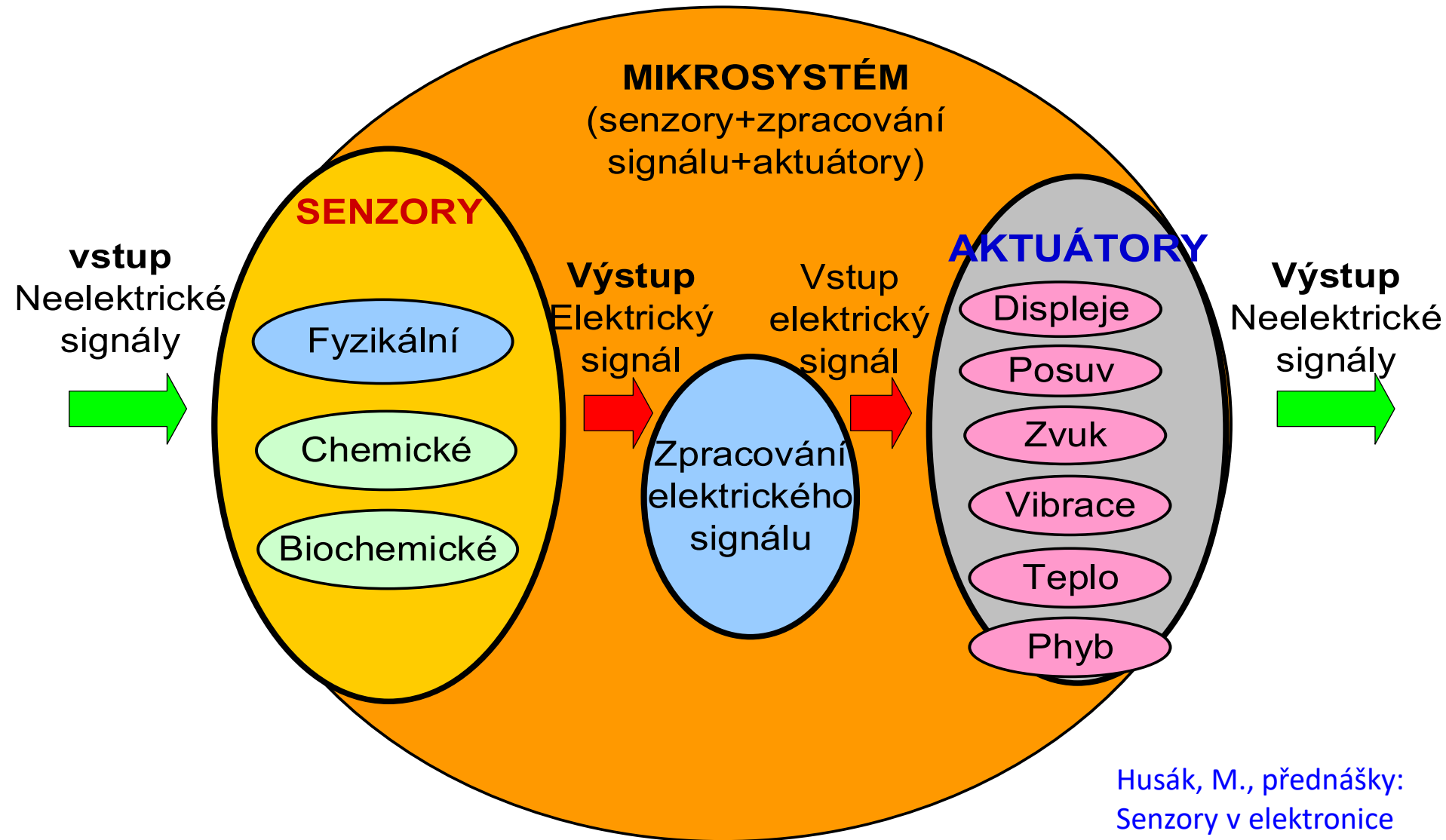
Elektronika versus MEMS, MOEMS



Husák, M.: Mikrosenzory a mikrosystémy, Academia 2008



Propojení Elektronika + senzory + aktuátory



Husák, M., přednášky:
Senzory v elektronice



Integrace na čipu

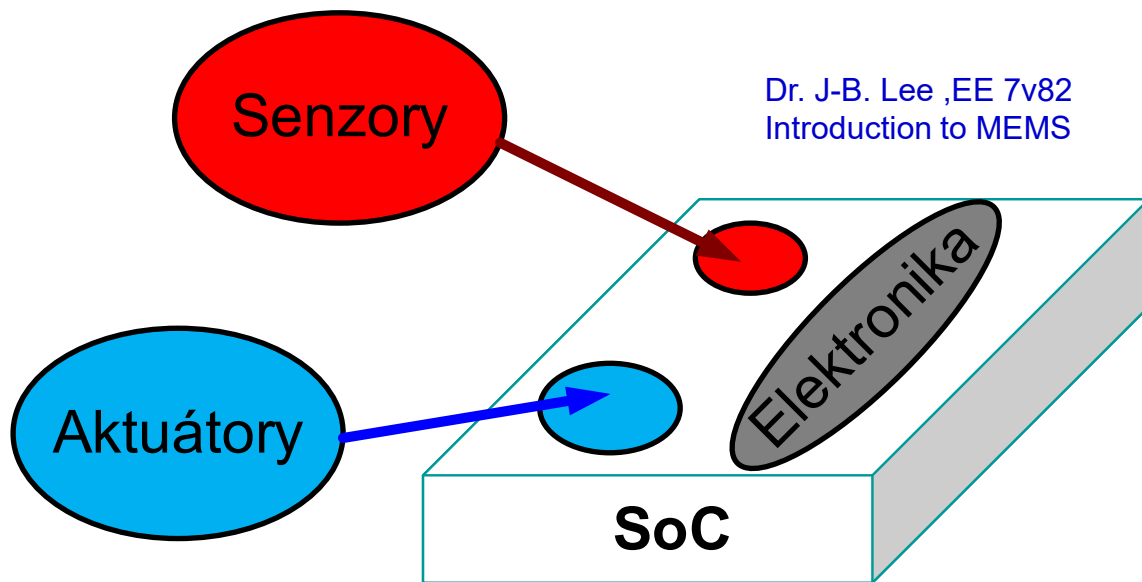
integrace:

- SoC (System-on-Chip)
- SIP (System-in-a-Package)

3D integrace:

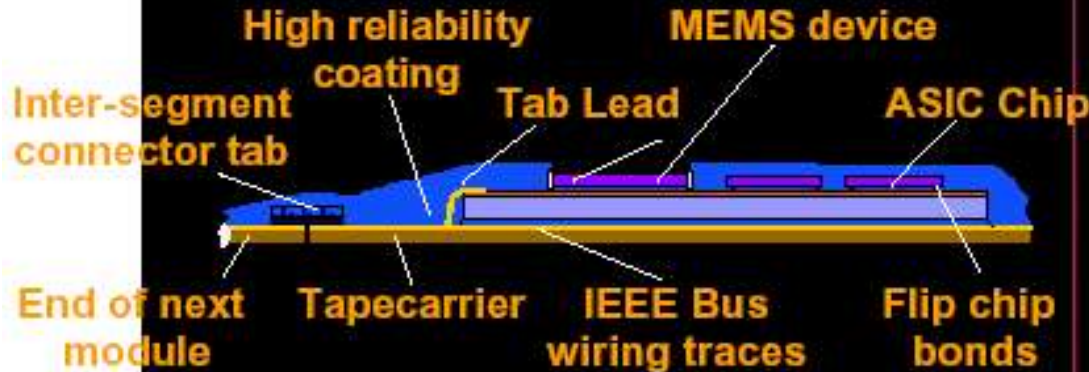
• heterogenní skládání různých integrovaných obvodů, tj. kombinace digitálních CMOS s pamětmi (DRAM, non-volatile, atd.), smíšený signál, bipolární (RF) nebo složené z polovodičů III-V.

- CMOS RF
- MEMS
- FRAM
- Chemické senzory
- Elektro-optické senzory
- Elektro-biologické senzory



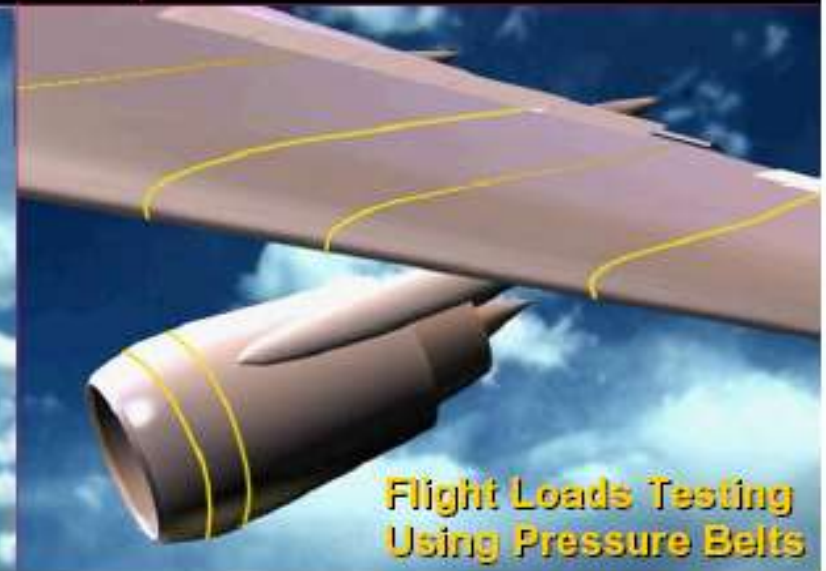
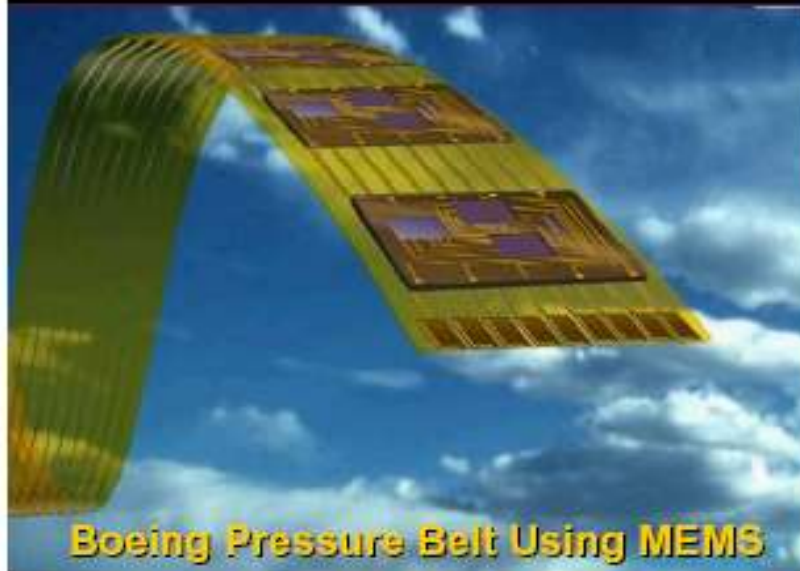
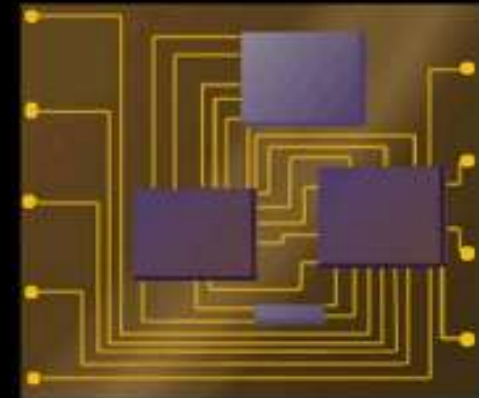
Pressure Sensor Belt on Jet Planes

Pressure Belt Cross Section

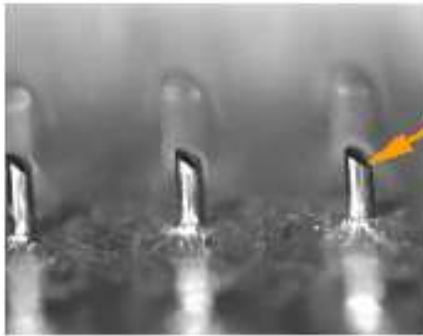


(Vertical scale enlarged for illustration only)

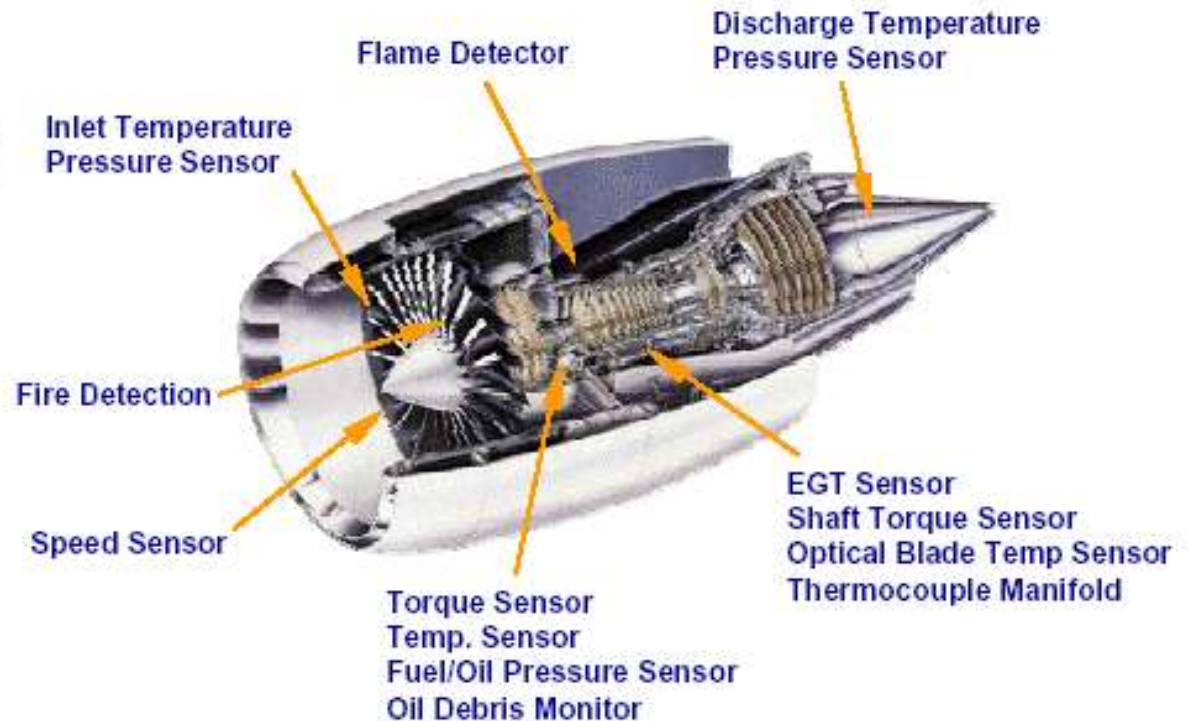
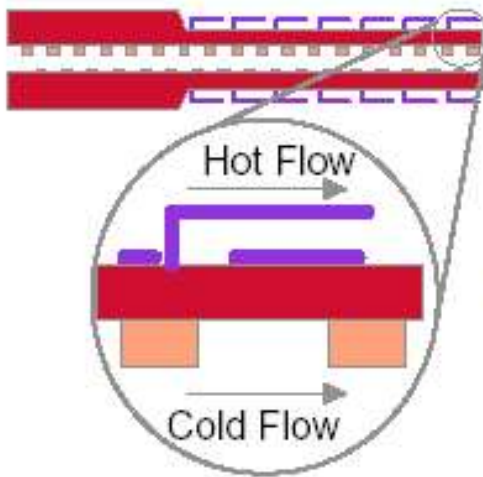
MEMS Sensor Integrated on an MCM with Embedded Passives



MEMS-Enhanced Jet Engine



Micro heat fins of nickel rods 150 μm diameter, 500 μm tall, spaced on 1.0 mm centers on a 1.7 cm diameter rod. (LSU)



Micro resonant strain gage with over 10,000x sensitivity of metal foil strain gages. Nominal sensitivity 600Hz/ μstrain . (UCB)

BF Goodrich
Aerospace

MEMS Safe/Arm/Fuse for Torpedoes



Inertial Measurement Unit
Rate Sensor



Slapper Detonator
(mounted on strip-line)



Slapper Fire-set
Fire-set and Optical Charging Circuit



Flow Sensor:
Pressure Differential



Impact Sensor

MEMS Exploder
7 cu in



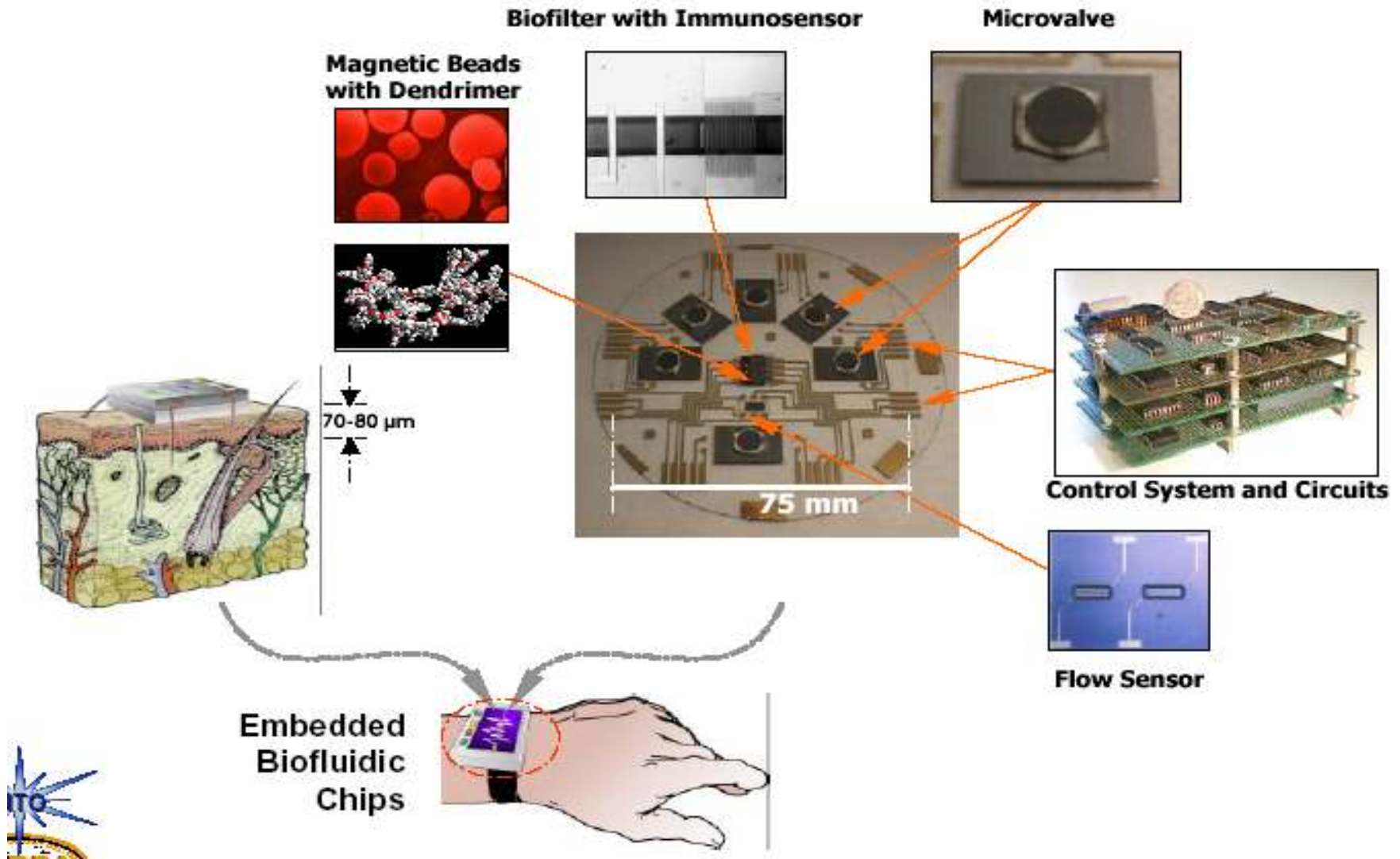
MK 48 Exploder
118 cu in

MEMS technology enables:

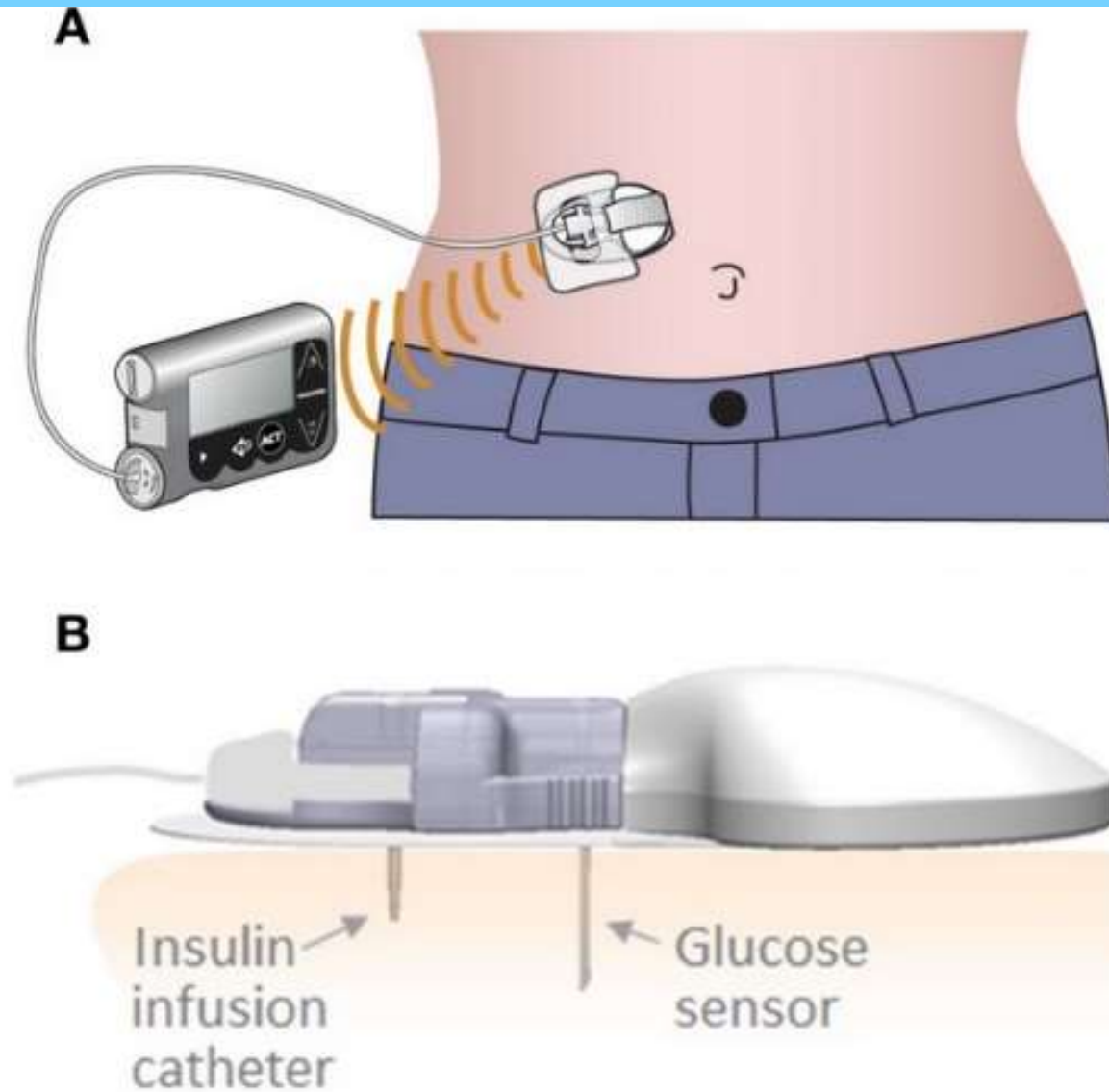
- 17X reduction in volume &
- 4X reduction in production cost



"BioFlips"—Integrated Microfluidic System for Bio-Chemical Assay



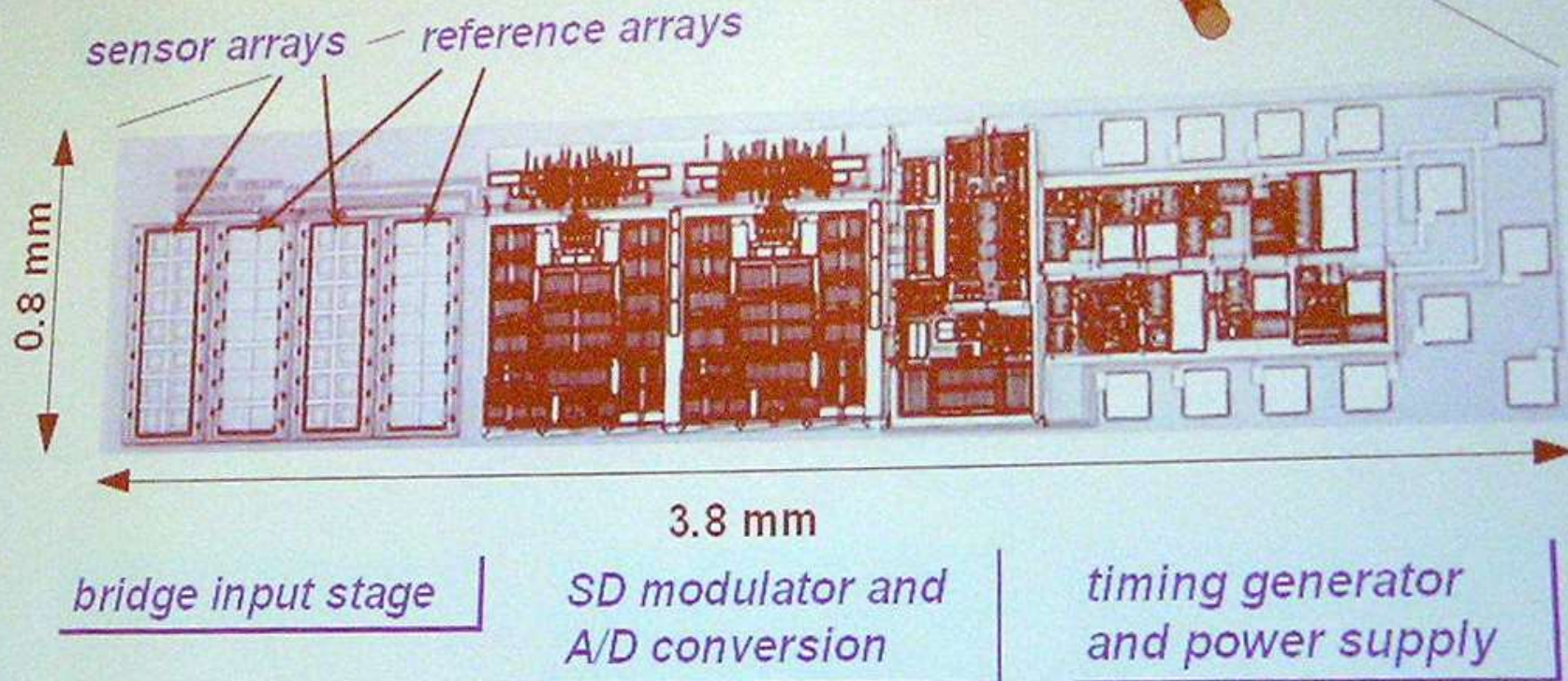
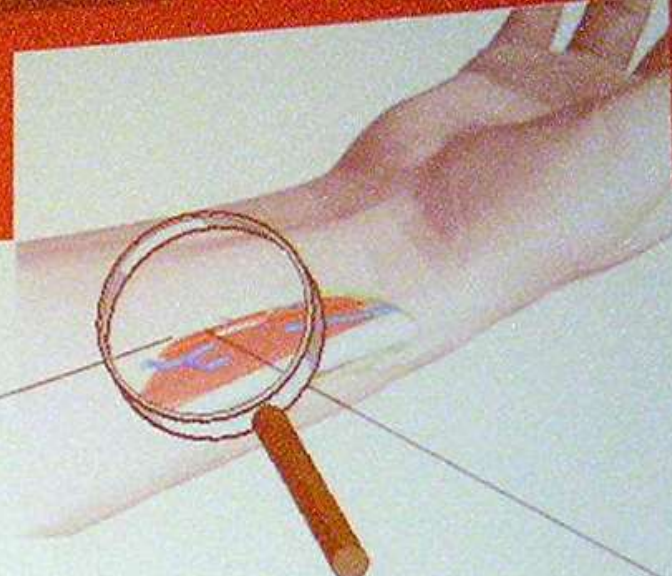
Inzulínová pumpa



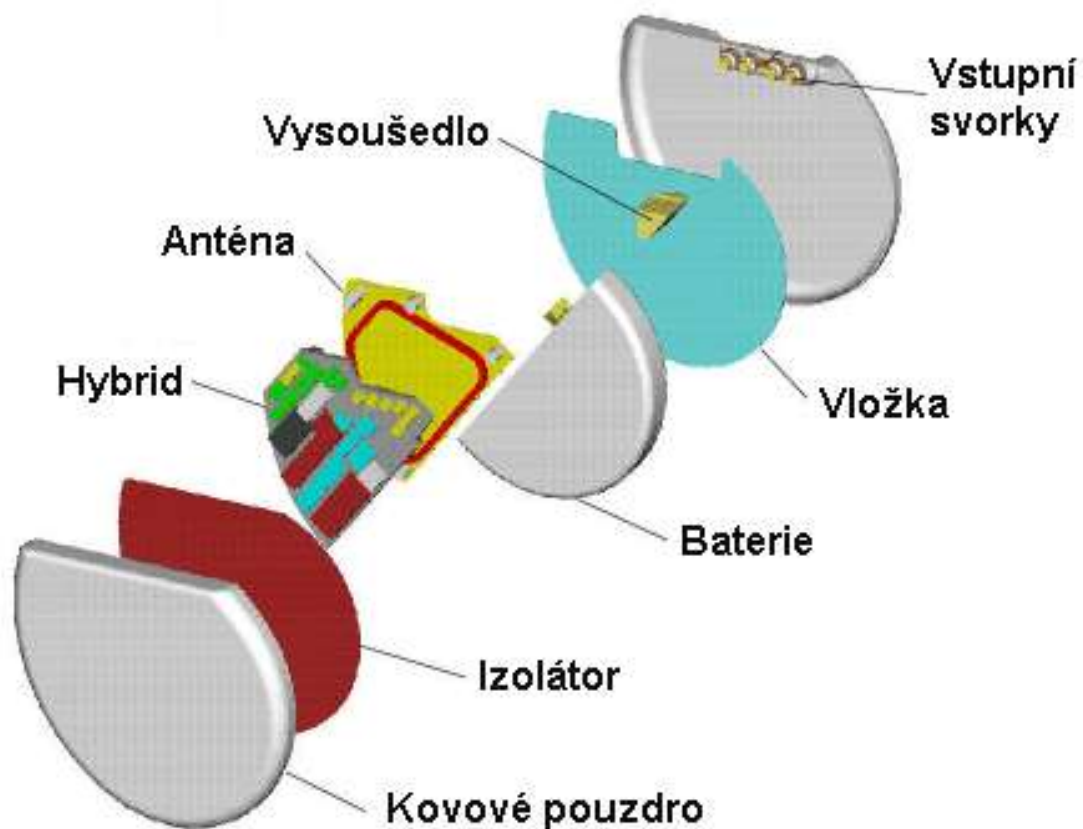
BAN Body Area Network, <http://psychickeobtezovani.webnode.cz/news/ban-body-area-network/>, 8/2012



Implantable Pressure Sensor System

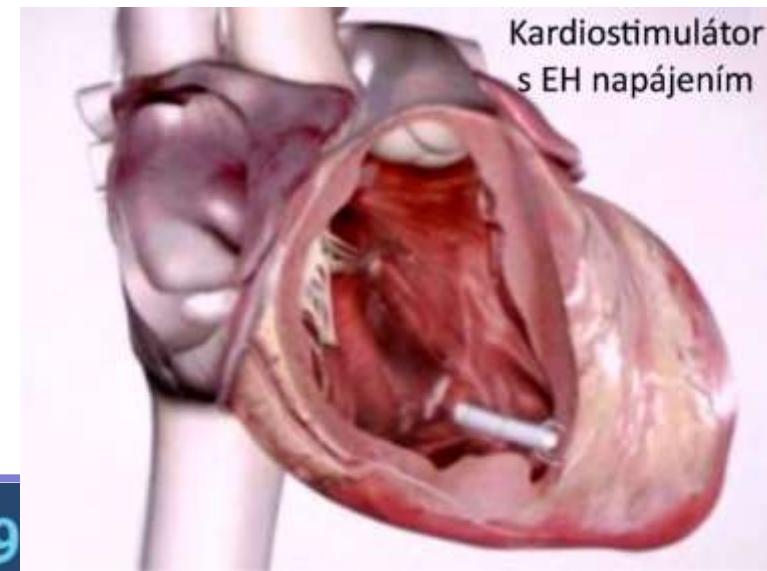
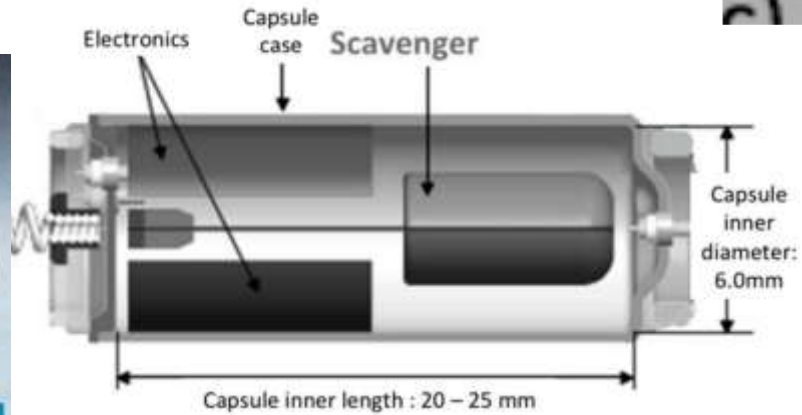
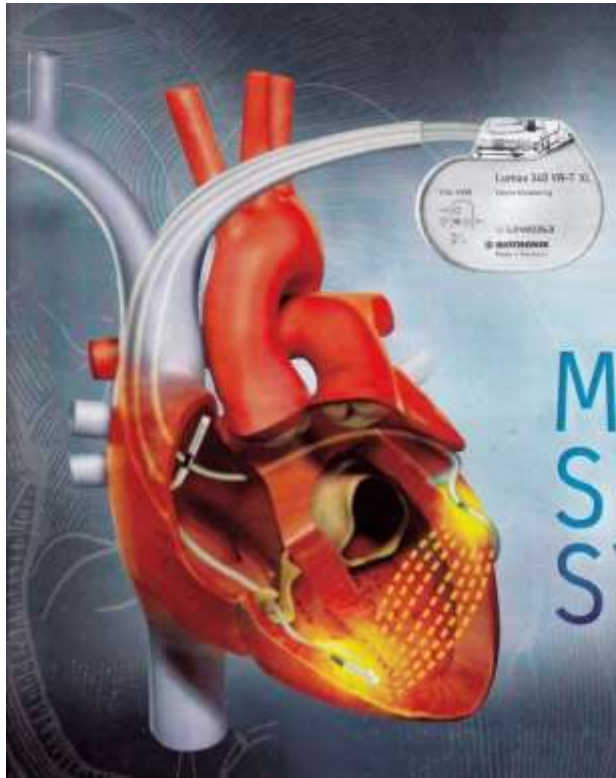
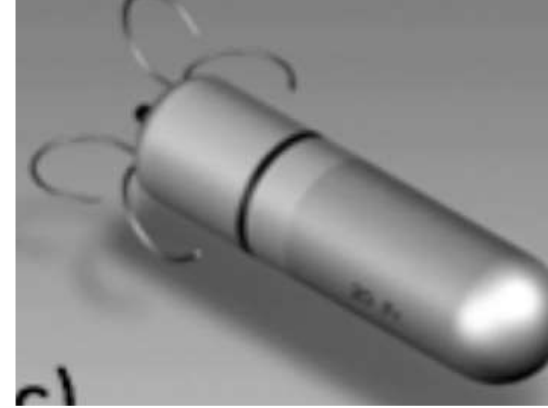


Kardiostimulátor



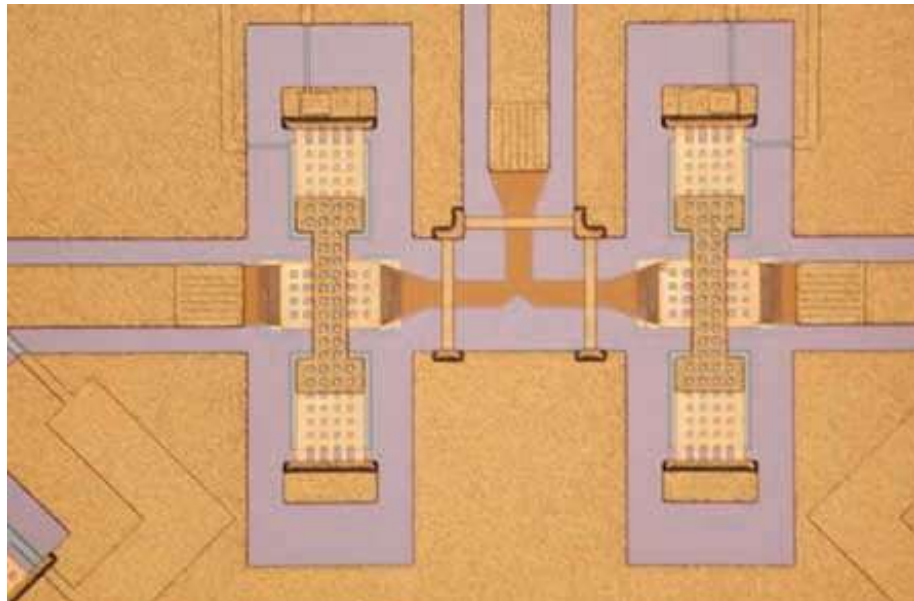
Elektronika umožnila vznik nového typu kardiostimulátoru

- Ize umístiti přímo do srdce

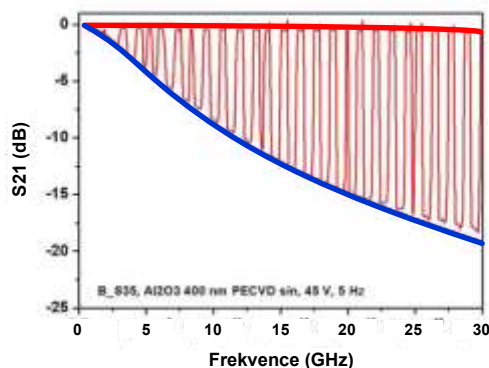
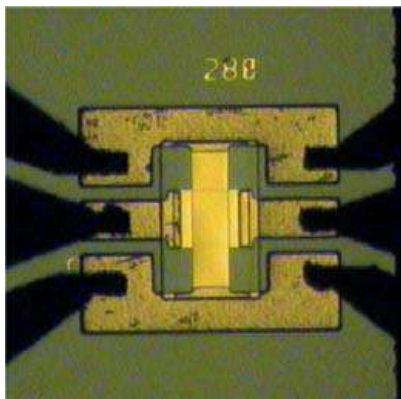


RF MEMS spínače a přepínače

RF MEMS přepínač pro antény



- ❑ Snížení řídicího napětí spínačů - závěsné pružiny s menším koeficientem tuhosti, použitím vlnitých struktur s perforovanými rameny pro snížení hmotnosti
- ❑ Použití např. ve vesmírných aplikacích, např. v pikosatelitu OPAL v roce 2000.
- ❑ Struktura MEMS přepínače navrženého pro antény.



Příklad - S-parametry

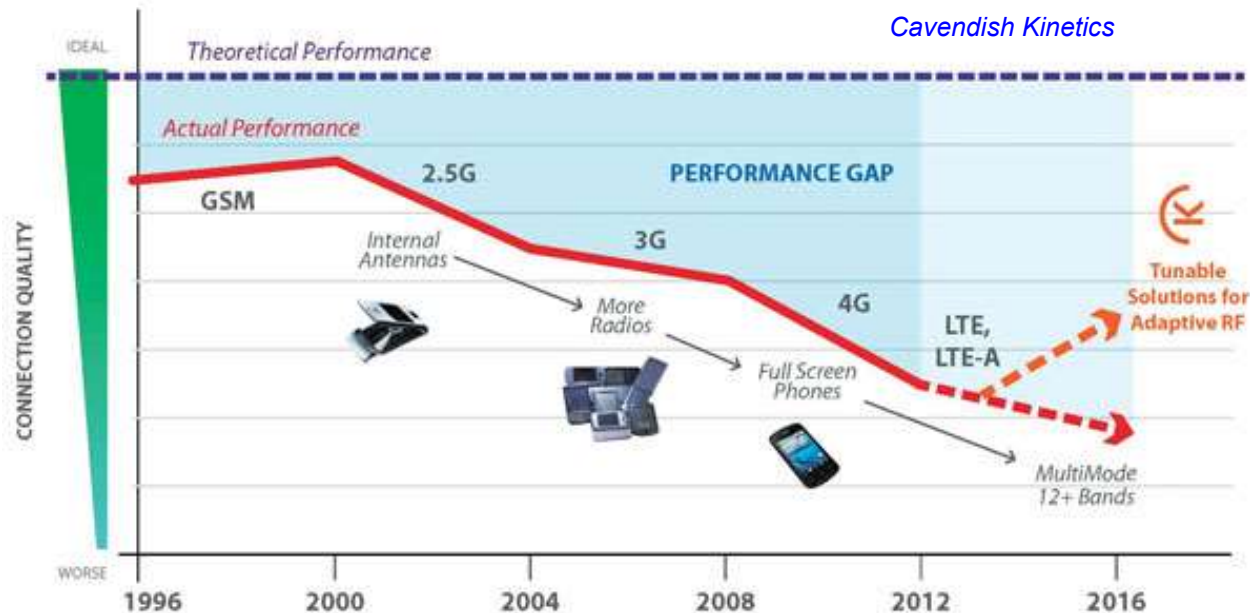
- RF spínač s $L=280\text{ }\mu\text{m}$, šířka= $80\text{ }\mu\text{m}$, šířka spodní elektr $120\text{ }\mu\text{m}$.
- Útlum S_{21} v sepnutém stavu byl menší než 0,6 dB v pásmu 50 MHz až 30 GHz.
- V rozepnutém stavu byla naměřena izolace 15 dB při 20 GHz a maximální 20 dB při 30 GHz.
- Odhad kapacity v sepnutém stavu je cca 54 fF a v rozepnutém stavu cca 1,5 pF



MEMS technologie

RF MEMS Switches

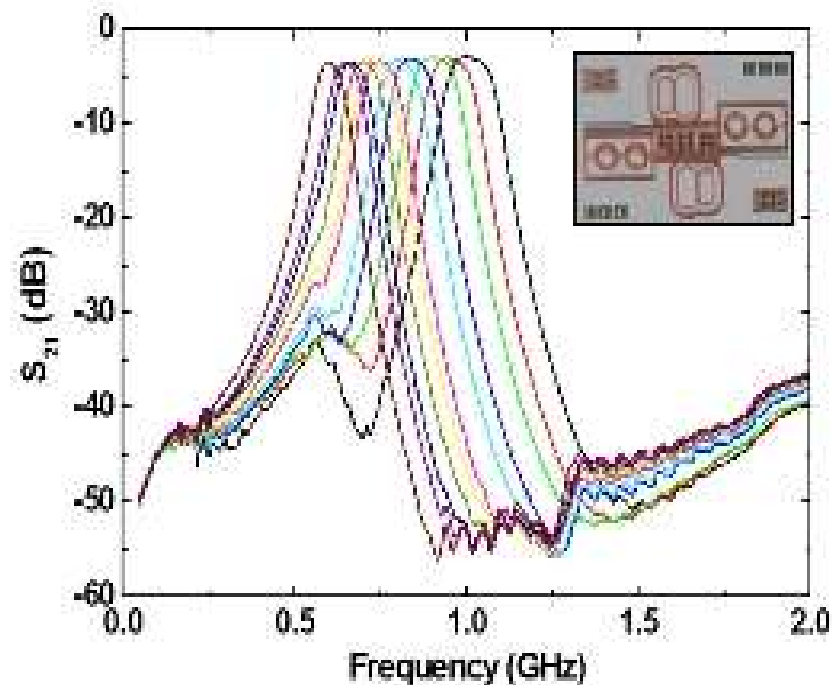
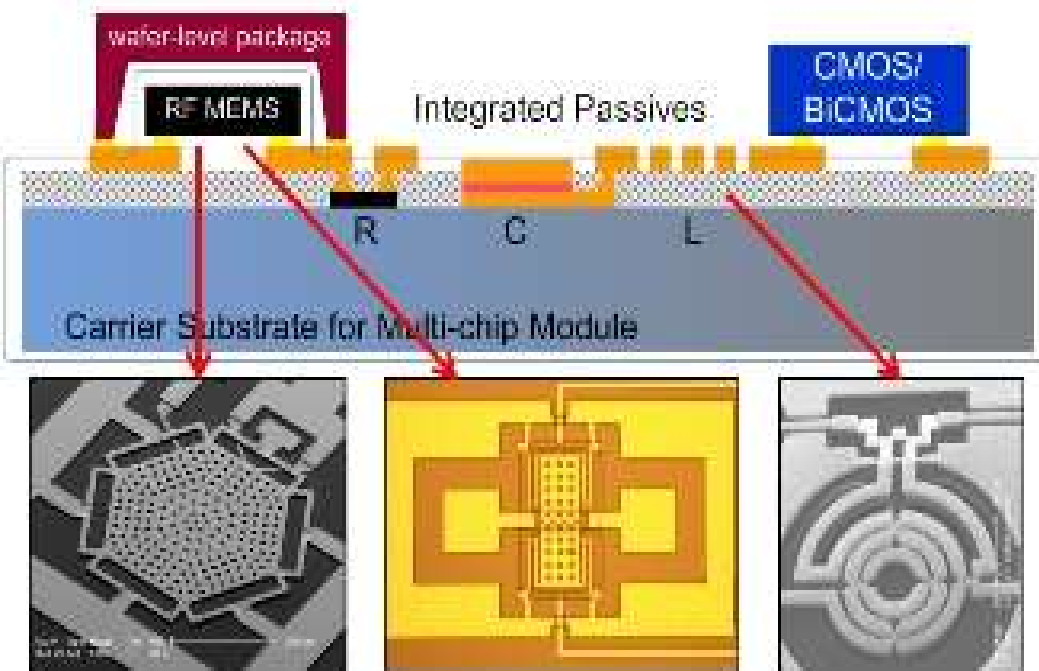
- RF MEMS se využívají ve 4G LTE mobilních telefonech
- Zmenšování mobilních telefonů – klesá kvalita, nutno využívat kvalitnější součástky (MEMS)
- Laditelné antény a filtry, spínané kondenzátory pro antény pro front end 3G and 4G telefony
- Laditelné RF MEMS filtry a antény sníží současné ztráty signálu o 3 - 5 dB v pásmech 700 MHz až 2,7 GHz.
- Laditelné RF MEMS filtry a antény sníží současné ztráty signálu o 3 - 5 dB v pásmech 700 MHz až 2,7 GHz.
- Použití v Samsung smartphonech



MEMS technologie

Integrovaný RF MEMS laditelný filtr pro multipásmová radia

- Integrace pasivních součástí (spínače, laditelné kondenzátory, pevné MIM kondenzátory, indukčnosti s vysokým Q, další pasivní RF/mikrovlnné prvky)
- Integrace s aktivními prvky (CMOS obvody, senzory, RF MEMS součástky)



Aplikace senzorů

Comfort

Tank/tire pressure
(On board diagnostics)

Tilt sensor
(headlamp aiming, security)

Inertial/pressure
(Central locking, theft protection)

Microphones/displays
(Communication)

Rain sensor
(Wash/wipe control)

Light sensor
(Automatic light, air conditioning)

Angular rate
(Navigation, tilt, chassis)

Air quality sensor
(Air condition)

Humidity/temperature
(Air condition)

Atmospheric pressure sensor
(transmission control, motronic)

Manifold absolute pressure sensor
(Electronic diesel control, motronic)

Knock sensor
(Motronic)

Mass air flow sensor
(Motronic – air intake)

Angular position sensor
(Motronic – cam and crankshaft position)

Piezo actuator
(Fuel injection)

Rotational speed sensor
(Electronic transmission control, motronic)

Oil quality sensor
(Transmission and engine)

Soot sensor
(Motronic – exhaust)

High pressure sensor
(Fuel injection system, common rail)

Oxygen sensor
(Motronic - lambda)

Pedal position sensor
(Electronic accelerator, electro-hydraulic brake)

Powertrain

Radar 77 GHz
(lateral control, obstacle detection)

Infrared
(Night vision system)

Radar 24 GHz
(Pre-crash, parking aid)

Steering wheel angle sensor
(Vehicle dynamics)

Rotational speed
(Antilock braking system)

Pressure sensor
(Vehicle dynamics, crash detection)

Yaw rate
(Electronic stability program)

Angular rate sensor
(Roll over)

Safety

CMOS camera
(parking aid)

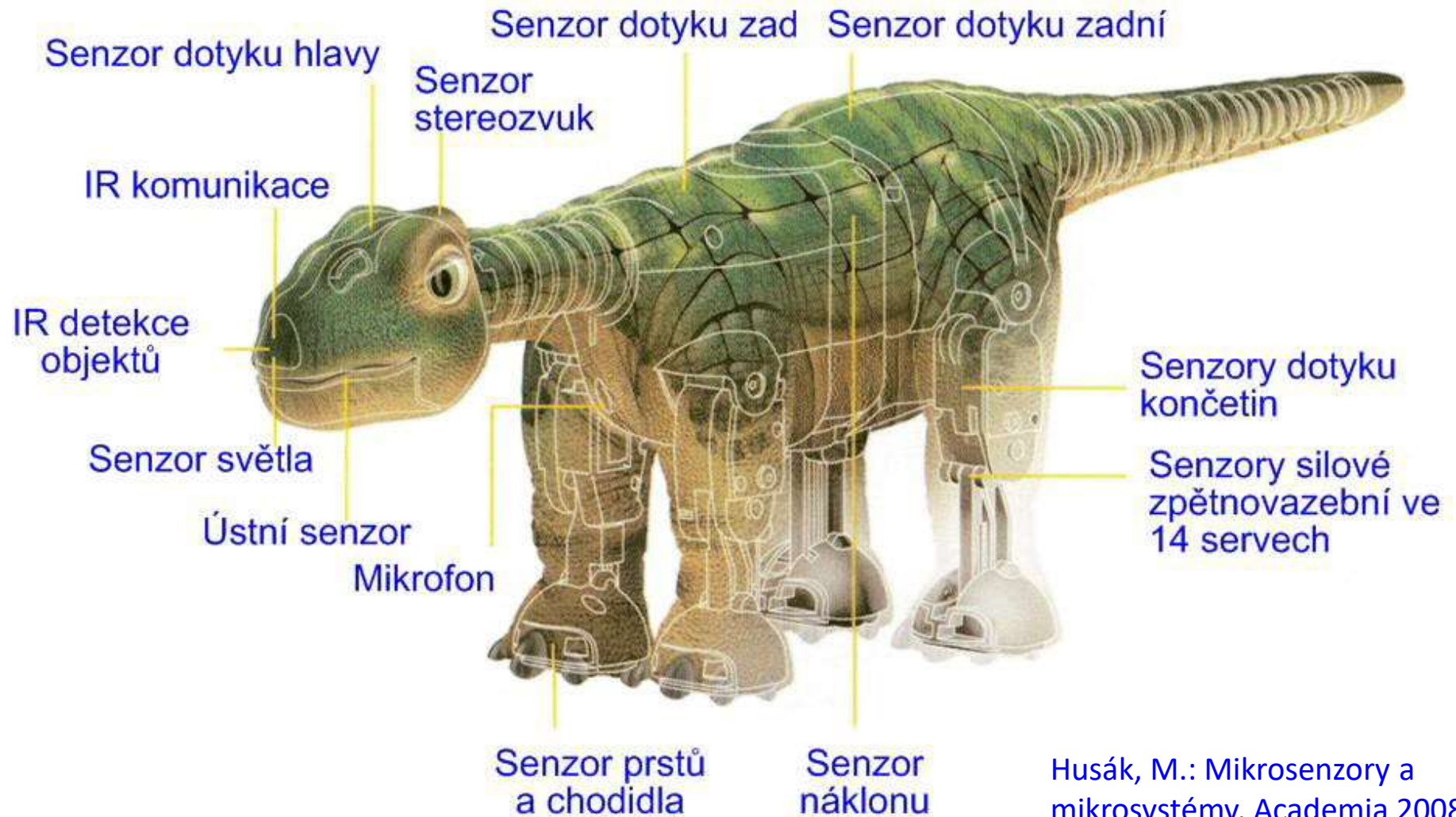
Inertial sensors
(airbag and stability control)

Out of position sensor
(Airbag)

Seat occupancy sensor
(Airbag)



Aplikace senzorů v robotech



Husák, M.: Mikrosenzory a mikrosystémy, Academia 2008



Taktilní senzory

