

ÉRZÉKELŐK

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet
és

MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet

1. ELŐADÁS: ÉRZÉKELŐK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI



2010/2011 tanév 2. félév

1

1. ELŐADÁS

1. Általános bevezetés az 1. félévhez
2. Az érzékelőkkel kapcsolatos alapfogalmak áttekintése
3. Érzékelők csoportosítása és általános tulajdonságai

2

ÁLTALÁNOS BEVEZETÉS

1. Tematikai összefoglaló
2. Kötelező és ajánlott irodalom
3. Félév végi követelmények

A TANTÁRGY CÉLKITŰZÉSEI

A leendő villamosmérnökök megismertetése a klasszikus, és a mikroelektronikai szenzorok (érzékelők), mérő-átalakítók és beavatkozók (aktuátorok) működésének fizikai alapjaival, az eszközök felépítésével és működésével, az alkalmazásukhoz szükséges jelkondicionáló elektronikus áramkörök tulajdonságaival és tervezésével. A tematika magában foglalja a mikroelektromechanikai eszközök, illetve rendszerek (MEMS) tulajdonságait, alkalmazásait, és ezek valamint a mikroelektronikai szenzorok technológiájának alapjait.

4

TEMATIKAI ÖSSZEFOGLALÓ

1. Klasszikus és mikroelektronikai szenzorok tulajdonságai, karakterisztikái, működési mechanizmusai.
2. A mikroelektronikai szenzorok anyagai és technológiái.
3. Mikro-elektromechanikai rendszerek (MEMS).
4. A szenzorok működtető és jelfeldolgozó áramkörei.
5. Mechanikai (erő, deformáció, nyomás, gyorsulás), hőtani, optikai (fény), mágneses és sugárzás érzékelők.
Gáz-, kémiai-, és biológiai érzékelők. Száloptikai érzékelők.
6. Beavatkozók (aktuátorok).
7. Autonom (tápellátás szempontjából) szenzorok, távérzékelés.
8. Kitekintés: nanotechnológiai és nanoelektronikai érzékelők.

5

KÖTELEZŐ IRODALOM

Hahn Emil, Harsányi Gábor, Lepsényi Imre, Mizsei János, *Érzékelők és beavatkozók*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1999.

Szentiday Klára, Dávid Lajos: *Mikroelektronikai szenzorok és alkalmazástechnikájuk*, Marktech, Budapest, 2000.

7

LABORATÓRIUMI MÉRÉSEK MINIMÁLISAN SZÜKSÉGES ISMERETEK

Laboratórium háttér:

- Termisztor, Si ellenállás-hőmérő, mérés és kiértékelés.
- Hall effektus és félvezetők, Hall szonda, mérések elvi alapjai.
- Fotódióda, lavinafotodióda, fotoérzékelők, stb. eszközök tulajdonságai és mérései.
- Piezorezisztív nyomásérzékelő, stb. eszközök tulajdonságai, mérései.

6


FOLYÓIRATCIKKEK (KÖTELEZŐ)

- Cser László, Gyorsulásmérők alkalmazási lehetőségeinek kutatása, *Híradástechnika* **55** (11) 24 (2001).
- Inzelt György, A mérőkötől a nanomérlegig, *Természet Világa* **134** (9) 404 (2003).
- Szabó János, Fényvezető szálás érzékelők, *Mérés és Automatika* **32** (4) 137 (1984).
- Vásárhelyi Gábor, és tsai, Tapintásérzékelő tömbök – tervezés és jelfeldolgozás, *Híradástechnika* **62** (10) 47 (2007).

8

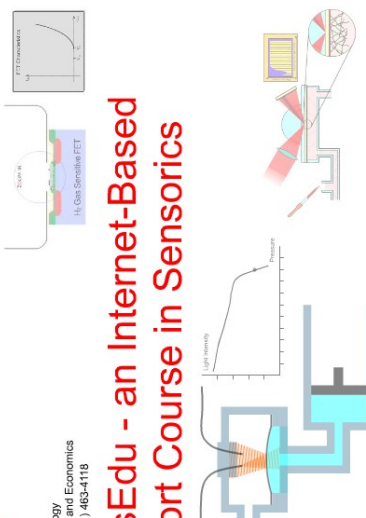
KÖTELEZŐ WEB IRODALOM (1. ÉS 2. FÉLÉV)

Introduction Technologies Structures Effects Measuring parameters Application SensEdu



ET BUDAPEST UNIVERSITY
Department of Electronica Technology
Budapest University of Technology and Economics
Tel.: (+36-1) 463-3634 Fax: (+36-1) 463-4118

SensEdu - an Internet-Based Short Course on Sensorics



© SensEdu authors:
Gábor Harcsányi
Péter Bejla
Péter Gordon
Imre Lapsányi
Gergely Ballun

Contact:
sensedu@ett.bme.hu

Supported by the IEEE-CPMT and the National Science Foundation in the frame of the ECTC Faculty Fellowship Program

Letölthető: BME Elektronikus Technológia Tanszék honlapjáról
www.ett.bme.hu/sensedu

10

AJÁNLOTT IRODALOM (1. ÉS 2. FÉLÉV)

- S. M. Sze (szerk.): *Semiconductor Sensors*, Wiley, New York, 1994.
- Mojzes Imre (szerk.): *Mikroelektronika és mikroelektronikai technológia*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1994. (6. fejezet, 243-256 old., 12.1-12.3. fejezet, 383-393 old.)
- Mizsei János: *Félvezetős kémiai érzékelők*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1987.
- Lajta György, Szép Iván (szerk.): *Fénytávközlő rendszerek és elemeik*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1987. (5. fejezet, 219-266 old. Fénydetektorok fizikája és technológiája.)
- Mojzes Imre, Kőkényesi Sándor: *Fotonikai anyagok és eszközök*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997. (3.3. fejezet, 163-178 old., 6.3. fejezet, 289-305 old.)

AJÁNLOTT WEB IRODALOM (1. ÉS 2. FÉLÉV)

Introduction Technologies 3D Structures MEMS Devices Applications MemsEdu



ET BUDAPEST UNIVERSITY
Department of Electronica Technology
Budapest University of Technology and Economics
Tel.: (+36-1) 463-3634 Fax: (+36-1) 463-4118

MemsEdu an Internet-Based Short Course on Micro Electro-Mechanical Systems



© MemsEdu authors:
Gábor Harcsányi
Gergely Ballun
Péter Bejla
Péter Gordon
Imre Lapsányi
Hunor Samha

Contact:
memsedu@ett.bme.hu

Letölthető: BME Elektronikus Technológia Tanszék honlapjáról
www.ett.bme.hu/memsedu

11

ÉVKÖZI MUNKA, ALÁÍRÁS, VIZSGA ...

- Évközi dolgozat (egy szenzor, vagy szenzor alkalmazási példa, esettanulmány, stb. irodalmi és web források alapján, 6-8 oldalas kis dolgozatban). Az eredmény beszámít a vizsgába.
Feladatkiadás előreláthatólag a harmadik oktatási hét (február 21-25), beadás előreláthatólag március közepe.
- Két zárthelyi dolgozat a félév második és harmadik harmadában, eredménye szintén beszámít a vizsgába.
Az aláírás megszerzésének, illetve a vizsgára bocsátás követelményei:
 - Sikeres (legalább elégséges (2)) zárthelyik.
 - Évközi feladat elkészítése.

ÉRZÉKELŐ, SZENZOR

A magyarban is használt **szenzor** (angol *sensor*) a latin *sentire*-ből ered, melynek jelentése észlel, érzékel.

Egy lehetséges meghatározás:

A szenzor egy eszköz, mely reagál (válaszol) egy fizikai (vagy kémiai) behatásra (gerjesztésre, stimulusra, pl. hő, fény, hang, nyomás, mágnesség, mozgás, stb.) és továbbítja a válaszjelet mérési eredményként, vagy egy folyamatot beavatkozó-jeleként.

A szenzor vagy érzékelő képes tehát egy bemeneti jelet (vagy energiát) detektálni, és azt egy megfelelő kimeneti jellé (vagy energiává) alakítani.

13

AZ ÉRZÉKELŐK FOGALMA,

CSOPORTOSÍTÁSA, JELLEMZŐI

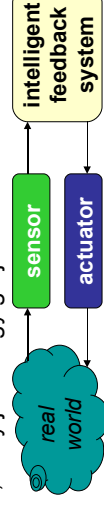
SENZOR, TRANSZDUKTOR

Közeli rokonkifejezés a **transzduktor** vagy átalakító (angol *transducer*), mely a latin *transducere* (jelentése átvezet) szóra vezethető vissza. A szenzor és a transzduktor kifejezéseket sokszor szinonimaként használják.

14

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/érezkel
 - információt szerez a „való világról” (“real world”)
- **Actuator** (pl. fűtőszál)
 - Eszköz, mely jelet vagy gerjesztést hoz létre



15

ÉRZÉKELŐ LEHETSÉGES DEFINÍCIÓJA

Érzékelő (szenzor):

- mérendő mennyiséget vagy paramétert információhordozó jelle alakítja
- régebben: elektromos jel az információhordozó
- ma: optikai érzékelők is elterjedtek, általánosítani kell

17

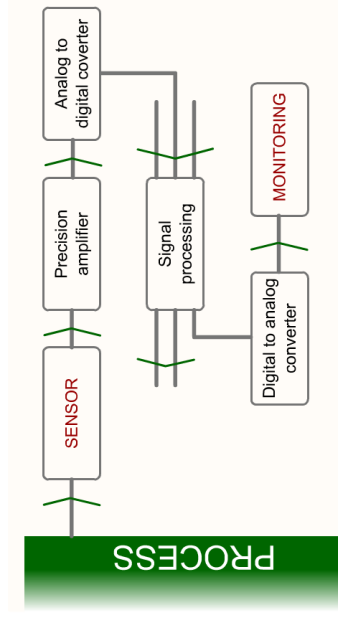
MÉRŐESZKÖZ/RENDSZER

Az érzékelők alkalmazhatók egyszerű mérőeszközökben vagy bonyolultabb mérőrendszerekben, valamint visszacsatolást tartalmazó szabályozó rendszerekben.

Mérőrendszerben az érzékelő jele feldolgozásra és maga a mérendő mennyiség pedig kijelzésre kerül.

18

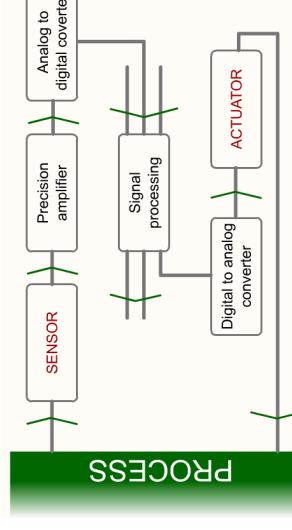
MÉRŐESZKÖZ/RENDSZER



Mérőrendszerben az érzékelő jele feldolgozásra és maga a mérendő mennyiség pedig kijelzésre kerül.

19

SZABÁLYOZÓ RENDSZER



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

20

A FOLYAMATSZABÁLYOZÁS VÁZLATA



Az érzékelők különböző szempontok alapján osztályozhatók és csoportosíthatók. Pl.

Érzékelés: a mérendő mennyiséget elektromos jelle 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 adatlékolását, keverést, szelepek kezelését).
A megfelelő szabályozási algoritmusmal számított szükséges korrekciók inicializálása a „folyamatban”.

21

ÉRZÉKELŐK CSOPORTOSÍTÁSA

- a mérendő mennyiség szerint,
- a jel természete alapján,
- a jel kialakításában szereplő kölcsönhatások szerint,
- aszerint, hogy kell-e külső energiaforrás vagy nem.

22

CSOPORTOSÍTÁS A MÉRENDŐ MENNYISÉG SZERINT

Mechanikai érzékelők:

- helyzet, elmozdulás, erő, gyorsulás, nyomás, áramlási sebesség, fordulatszám, ultrahang és hanghullámok, stb.

Termikus mennyiségek:

- hőmérséklet, hőmennyiség, hőáram, stb.

Elektromos és mágneses mennyiségek:

- elektromos és mágneses tér, töltés, feszültség, áram, ellenállás, stb.

23

ÉRZÉKELŐK CSOPORTOSÍTÁSA

Az érzékelők csoportosításának egy hagyományos módja a mérendő mennyiség szerinti felosztás, úm.

- mechanikai érzékelők,
- termikus mennyiségek érzékelői
- elektromos és mágneses mennyiségek érzékelői,
- sugárzásérzékelők,
- kémiai mennyiségek érzékelői,
- orvosi biológiai érzékelők.

24

CSOPORTOSÍTÁS A MÉRENDŐ MENNYISÉG SZERINT

Sugárzásérzékelők:

- elektromágneses sugárzás (rádió-, mikro-hullám, fény, Röntgen és gamma-sugárzás), korpuzkuláris sugárzás (alfa-, betasugár, ionizált és semleges részecskék, neutronok), stb.

Kémiai mennyiségek:

- semleges és töltött (ion) komponensek koncentrációja és aktivitása különböző közegekben, stb.

Biológiai (orvosbiológiai) érzékelők:

- élő szervezetekre jellemző speciális paraméterek, stb.

25

CSOPORTOSÍTÁS A JELEK ALAPJÁN

Minden energiaforráshoz egy jel rendelhető. Gyakorlati szempontok alapján nem tekintjük a tömeg- illetve mag-energiát. Az atom- és molekuláris energia összevonható, ez eredményezi a kémiai jelet. A gravitációs és a mechanikai energia egyaránt a mechanikai jelhez kapcsolható.

Tehát mérés technikai szempontból hat jelféleség van:

1. Elektromos jel
2. Kémiai jel
3. Mágneses jel
4. Mechanikai jel
5. Sugárzási jel
6. Termikus jel

27

CSOPORTOSÍTÁS JEL ALAPJÁN

Az érzékelőben energiafajták közötti átalakítás megy végbe. Az alábbi tíz energiaféleség különböztethető meg:

1. Atom energia (nukleonok és elektronok közötti erő)
2. Elektromos energia
3. Gravitációs energia
4. Mágneses energia
5. Tömeg-energia (relativisztikus)
6. Mechanikai energia
7. Molekuláris energia
8. Magenergia (nukleonok közötti erő)
9. Sugárzási energia (elektromágneses hullámok)
10. Termikus energia (atomok és molekulák mozgási energiája)

26

CSOPORTOSÍTÁS KÖLCSÖNHATÁS SZERINT

A jelkialakításban szerepet játszó kölcsönhatás típusa szerint

- fizikai érzékelők,
- kémiai érzékelők,
- bioérzékelők.

A bioérzékelők olyan érzékelők, melyek működése az élő szervezetekre jellemző specifikus reakción alapul. Pl. a véroxigén-érzékelő NEM bioszenzor, hanem egy, az orvosbiológiai célokra kialakított kémiai érzékelő. Ugyanakkor az enzimatis reakciókon alapuló alkohol-érzékelő bioszenzor, még akkor is, ha azt ipari folyamatokban használják oldatok összetételének meghatározására.

28

GENERÁTOR ÉS MODULÁTOR TÍPUSÚ ÉRZÉKELŐK

Generátor (vagy aktív) típusú érzékelők

- nem igényelnek külön energiaforrást, a megfigyelt közegből nyerik a jelek előállításához szükséges energiát.

Modulátor (vagy passzív) típusú érzékelők

- olyan paraméterek változnak meg bennük az érzékelés során, melynek detektálásához, illetve megméréséhez külső energiaforrásra van szükség.

29

30

ÉRZÉKELŐK ÁLTALÁNOS

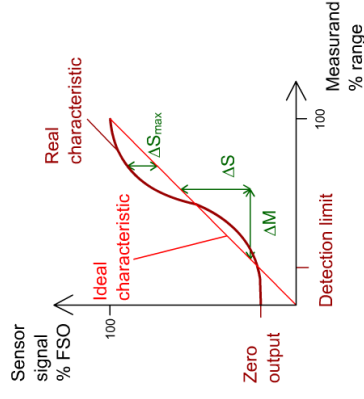
JELLEMZŐI

STATIKUS KARAKTERISZTIKA, KALIBRÁCIÓS GÖRBE

Statikus karakterisztika

A mérendő jel és az érzékelő kimeneti jele közötti függvénykapcsolat.

Ez a szenzor legfőbb jellemzője.



$$\text{Ideal sensitivity} = \frac{\Delta S}{\Delta M} \quad \text{Nonlinearity} = \frac{\Delta S_{max}}{FSO}$$

31

KARAKTERISZTIKA

Végkitérés

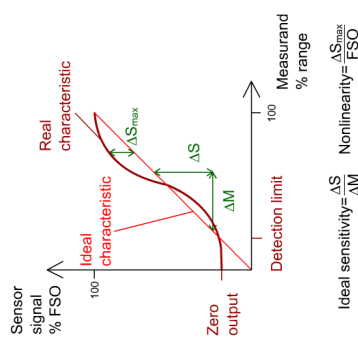
FSO full scale output.

Nullhiba (offset)

A mérendő mennyiség nulla értéke mellett mért kimenőjel.

Érzékenység (válaszképesség)

A karakterisztika meredeksége. Lineáris karakterisztika esetén állandó. Nemlineáris karakterisztika esetén a bemeneti paraméter függvénye.



$$\text{Ideal sensitivity} = \frac{\Delta S}{\Delta M} \quad \text{Nonlinearity} = \frac{\Delta S_{max}}{FSO}$$

32

LINEARITÁS

Linearitás

Lineáris érzékelő, a be és kimeneti jelek megváltozásai között egyenes arányosság áll fenn.

Linearitási hiba

A valódi karakterisztika (kalibrációs görbe) maximális eltérése a feltételezett lineáris (ideális) karakterisztikától az adott tartományban.

33

TOVÁBBI JELLEMZŐK

Érzékelés alsó határa (detektálási küszöb)

A mérendő paraméter azon legkisebb értéke, mely még biztosít mérhető kimeneti jelváltozást.

Felbontás

A mérendő mennyiség legkisebb mérhető változása.

Nullponteltolódás (drift)

A nullhiba változása a külső feltételek (pl. hőmérséklet-változás, hosszú idejű tárolás, stb.) mellett.

Érzékenység eltolódás

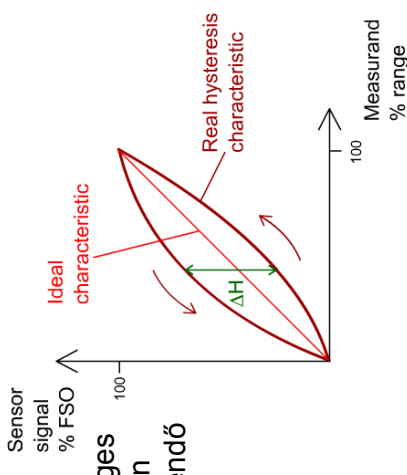
Hasonlóan definiálható mint a drift.

35

HISZTERÉZIS

Hiszterézis hiba

A kimeneti jel maximális lehetséges eltérése egy adott tartományban növekvő, illetve csökkenő mérendő paraméter változásnál.



34

TOVÁBBI JELLEMZŐK

Ismétlési (reprodukción) hiba

Eltérés a kimeneti jelben ugyanazon mérendő jel és azonos egyéb körülmények között ismételt elvégzett mérések esetén.

Csereszabotosság mértéke

Két azonos típusú érzékelő elem felcserélése által a kimeneti jelben okozott eltérés (hiba).

Szelektivitás

A mérendő mennyiség mellett más paraméterek változására létrejövő kimeneti jelváltozás mértéke.

36

TOVÁBBI JELLEMZŐK

Beállási idő

Időtartam mely alatt a válaszjel tranziense egy adott hibahatáron belül eléri az állandósult értékét a mérendő paraméter ugrásszerű megváltozása esetén.

Élettartam

Az üzembehelyezéstől számított időtartam mely alatt az érzékelő a megadott specifikációk szerint megbízhatóan működtethető.

37

INTEGRÁLT ÉRZÉKELŐK

Érzékelő elem **plusz** jelfeldolgozás valamilyen szintje.
PI. offset- és hőmérsékletkompenzáció, és/vagy előerősítő.

További szint: jelkonverzió, pl. A/D jelátalakítás.

39

INTEGRÁLT ÉRZÉKELŐK

Érzékelő mátrix:

Azonos elemek integrációjával épül fel, térbeli függés ill. eloszlás meghatározása.

Multiszenzor:

Különféle mennyiségek érzékelésére alkalmas szenzorok integrálása.

Többfunkciós érzékelő:

Több mennyiség érzékelésére képes a különböző üzemeletési feltételek mellett.

38

INTELLIGENS ÉRZÉKELŐK

Mikroprocesszorral integrálva. Intelligens funkciók, kommunikáció a környezettel. PI.:

Digitális jelfeldolgozás, jeltárolás

Hibakompenzáció

Multiszenzor jelfeldolgozás (neurális hálózat, öntanulás)

Önkalibráció és tesztelés

Automatikus mérésátváltás

Átlag- és hibaszámítás

Időbeli instabilitások kompenzációja

Kommunikáció számítógéppel

40

MIKROELEKTROMECHAIKAI RENDSZEREK : MEMS

MicroElectroMechanical Systems: MEMS
Micro-(Opto-)ElectroMechanical Systems: MOEOMS

A mikroelektronikai technológia - más területen, párhuzamos megmunkálás, olcsó, pontos Miniaturizálással a kezelhetőség megmarad, ha intelligenciát is belezsűfolunk - ez rendelkezésre áll Mesterséges szaglás, látás stb. – szervetlen, ill. bio- és biomimetikus rendszerek (megbízhatóság?)
Miniatúr gépek
Orvosi alkalmazások esetén: biokompatibilitás

41

MIKROTECHNOLÓGIA MEMS

Micro Electro-Mechanical Systems

MEMS: a „2D” IC technológia → 3D szerkezetek

- membránok, felfüggesztett elemek, mozgó alkatrészek,
 - mikrofluidikai alkalmazások: csatornák, üregek, reaktorok stb.
- Mikromechanika:

eljárások és eszközök: döntő többségében eltérnek a hagyományos mechanikai megmunkálásoktól elsősorban „száraz” ill. „nedves” kémiai marások és elektrokémiai módszerek de klasszikus eljárások is lehetnek (lézer, v. gyémánttárcsás vágás)

Tömbi- és felületi mikromechanika

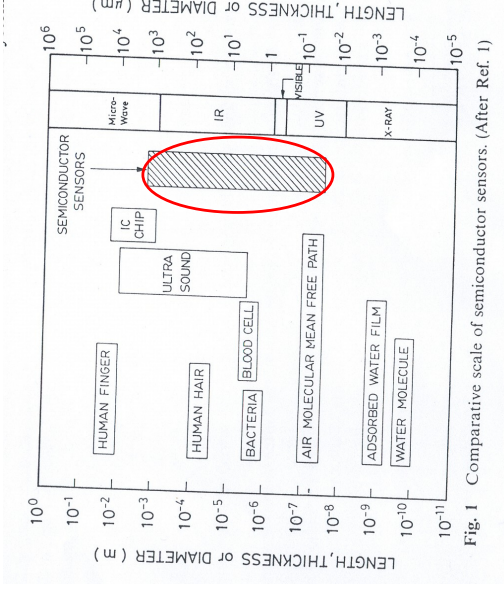
43

MEMS/MOEMS

nagy rendszer-változások vezérlése kis erővel;
minőségi előnyök a méretcsökkentés révén, új működési elvek realizálása;
csoportos (batch) megmunkálás, az eszközök integrálása akár az IC-ben;
tetszőleges funkciók társítása: *érzékelés, számítás, aktuálás (beavatkozás), vezérlés és kommunikáció*;
különböző eszközök integrálása egy rendszerben:
erőforrás (telep, tápegység), antenna, érzékelők, beavatkozók;
alapvetően felületi-, rétegtechnológiai realizálás (ld. IC gyártás);

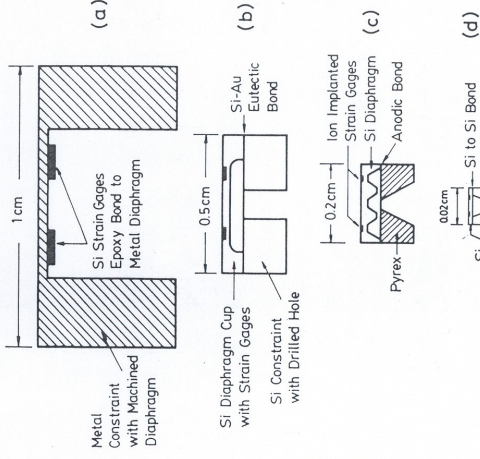
42

MEMS SZENZOROK: MÉRETSKÁLA



44

MEMS TECHNOLOGIA: ESETTANULMÁNY



45

INTEGRÁLT ÉRZÉKELŐK

Érzékelő mátrix:

Azonos elemek integrációjával épül fel, térbeli függés ill. eloszlás meghatározása.

Multiszenzor:

Különbféle mennyiségek érzékelésére alkalmas szenzorok integrálása.

Többfunkciós érzékelő:

Több mennyiség érzékelésére képes a különböző üzemeltetési feltételek mellett.

47

A Mikro-Elektro-Mechanikus-Rendszerek (MEMS) mechanikai elemek (érzékelők, beavatkozók) és elektronikus elemek közös hordozón való megvalósítása mikroelektronikai és mikromechanikai technológiák együttes alkalmazásával.

Az elektronikus elemek a szabványos integrált áramkör gyártási technológiákkal (CMOS, Bipolar, BiCMOS) készülnek, a mikromechanikai elemek az mikroelektronikai technológiákkal összeférhető technológiai lépésekkel készülnek (szelektív marás).

- MEMS megvalósításához szükséges technológia az elmúlt évtizedben fejlődött ki
- Mikromechanikai elemek technológiája illeszkedik a mikroelektronikai elemek előállítási technológiájához
- Lehetővé válik SystemOnChip megvalósítása

46

INTELLIGENS ÉRZÉKELŐK

Mikroprocesszorral integrálva. Intelligens funkciók, kommunikáció a környezettel. Pl.:

- Digitális jelfeldolgozás, jeltárolás
- Hibakompenzáció
- Multiszenzor jelfeldolgozás (neurális hálózat, öntanulás)
- Önkalibráció és tesztelés
- Automatikus méréshatárértékelés
- Átlag- és hibaszámítás
- Időbeli instabilitások kompenzációja
- Kommunikáció számítógéppel

48

ÉVKÖZI DOLGOZAT: TÉMAJAVASLATOK

1. Nyomásérzékelő alkalmazás: gépkocsi abroncs nyomás
2. Integrált mikroelektronikai bolométeres/termoelemes sugárzásérzékelő
3. Mikrofluidikai eszközök MEMS technológiával
4. CMOS optikai (kép) érzékelők
5. Vérmérés érzékelő
6. Nukleáris sugárzás érzékelők
7. Ultraibolya sugárzásérzékelő
9. MEMS giroszkópok
9. GMR (óriás mágneses ellenállásváltozás) alapú érzékelők
10. Pásztafőzőszondás mikroszkóp (STM, AFM)
11. Infravörös optikai érzékelők, alkalmazások
12. Mozgásérzékelők (mikrohullámú, piroelektromos)
13. Érzékelő alkalmazások: robotika

49

50

VÉGE

51