

# ÉRZÉKELŐK I

**Dr. Pődör Bálint**

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

## 3. ELŐADÁS: ÉRZÉKELŐ SZERKEZETEK ALAPTÍPUSAI



2010/2011 tanév 1. félév

1

## ÉRZÉKELŐ SZERKEZETEK ALAPTÍPUSAI

1. Impedancia típusú érzékelők: a mérendő mennyiség változását kapacitás és/vagy ellenállás, vagy induktivitás vetik.
2. Félvezető eszköz alapú típusok: a mérendő mennyiség változásait a karakterisztika és/vagy valamely jellemző paraméter megváltozásával követik. Pl. dióda karakterisztikájának, vagy egy FET nyitófeszültségének eltolódása.
3. Tömbi vagy felületi akusztikus hullámokon, illetve a hullámok terjedésén alapuló eszközöknél a rezonanciafrekvencia eltolódik vagy a fázistolás megváltozik.

3

## 3. ELŐADÁS

A szenzorok működésének két alapeleme a környezetet és az érzékelőkben lévő specifikus anyagok kölcsönhatása, továbbá az szerkezetekben ennek hatására létrejövő olyan változások, melyek a jelkialakítást végzik.

Az előadás áttekinti az érzékelő szerkezeteknek a jelkialakítás során a szenzorban lejátszódó paramétermegváltozások szerinti csoportosítását.

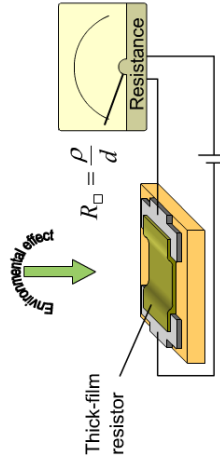
2

## ÉRZÉKELŐ SZERKEZETEK ALAPTÍPUSAI

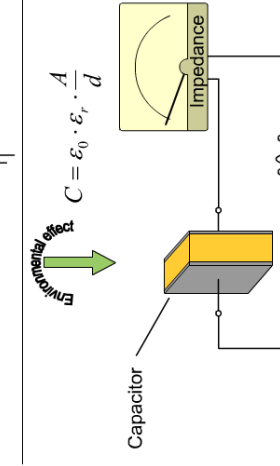
4. A kalorimetrikus érzékelők működésének alapja az hőmennyiség mérése (elnyelt vagy kibocsátott) melyet a detektálni kívánt fizikai jelenség (pl. sugárzás, kémiai reakció, stb.) hoz létre.
5. Elektrokémiai cellák: elektródpotenciál, cellaáram, és/vagy a cella áram megváltozása.
6. Optikai szálal érzékelők (viszonylag új szenzorgeneráció): a mérendő mennyiség megváltoztatja az átvezetett vagy visszavert fényhullám jellemzőit (intenzitás, polarizáció, frekvencia, fázis).

4

## IMPEDANCIA TÍPUSÚ SZERKEZETEK: ELLENÁLLÁS ÉS KAPACITÁS



Érzékelés: fajlagos ellenállás, illetve permittivitás megváltozása.



Ennek hatására: Ellenállás, illetve kapacitás változás.

5

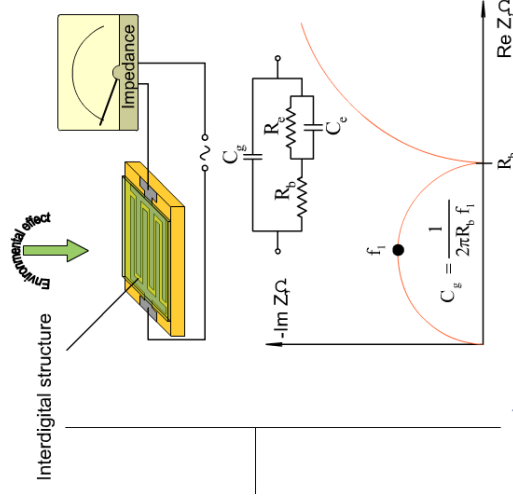
6

## IMPEDANCIA TÍPUSÚ SZERKEZETEK

Bizonyos esetekben (pl. piezoelektromos és piroelektromos érzékelőknél) a síkkondenzátor generátoros üzemmódja is lehetséges, ennek alapja az **elektromos polarizáció**, illetve a **felületi töltéssűrűség** megváltozása.

Ekkor nem az impedanciát mérik, bár a szerkezet azonos!

## IMPEDANCIA TÍPUSÚ INTERDIGITÁLIS SZERKEZETEK



Nagy „aktív” felület, jó kölcsönhatás a környezettel. Kis kapacitás és ellenállásértékek!

Váltakorámú mérés: komplex impedancia helygörbe felvétele.

7

## IMPEDANCIA TÍPUSÚ SZERKEZETEK: INDUKTIVITÁS

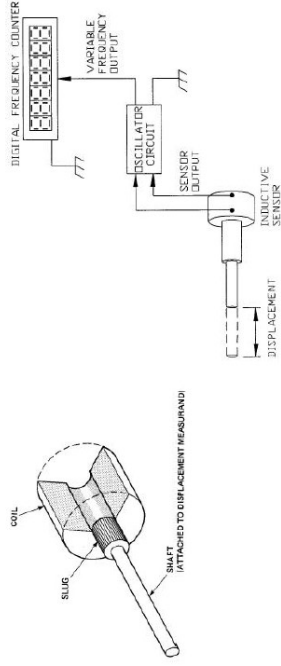
Speciális alkalmazásokban induktív érzékelők is előfordulnak: tekercsek, illetve transzformátorok.

Az önindukciós, illetve kölcsönös indukciós együttható megváltozik, pl. magnetoelasztikus átalakítók, vagy elmozdulásérzékelő transzformátorok.

8

## VARIABLE-INDUCTANCE SENSORS

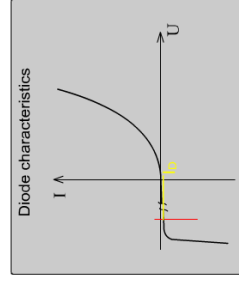
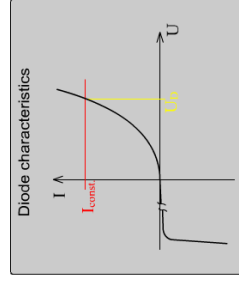
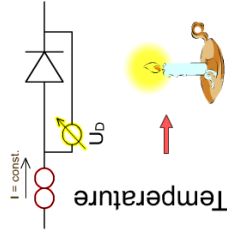
Coil with movable slug as linear motion inductor



Lineáris mozgásérzékelő

9

## FÉLVEZETŐ DIÓDÁK MINT SZENZOROK



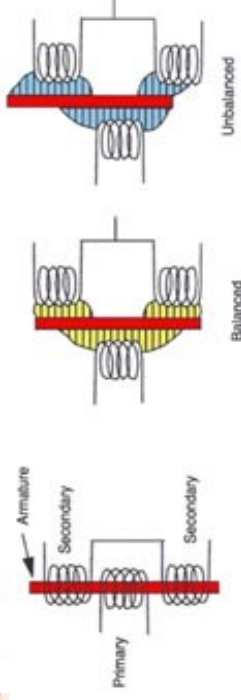
A karakterisztika a környezeti hatásokra (hőmérsékletváltozás, töltéshordozó-generáció) eltérő.

Hőmérséklet-, fény- és sugárzás (EM, részecske) érzékelők.

11

## Variable differential transformer (LVDT)

The LVDT is a variable-reluctance device, where a primary center coil establishes a magnetic flux that is coupled through a mobile armature to a symmetrically-wound secondary coil on either side of the primary. Two components comprise the LVDT: the mobile armature and the outer transformer windings. The secondary coils are series-opposed; wound in series but in opposite directions.

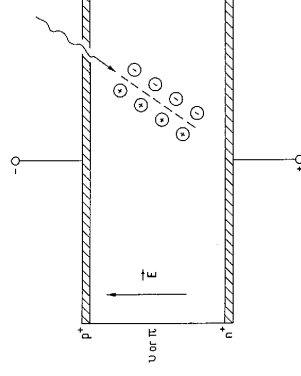


When the moving armature is centered between the two series-opposed secondaries, equal magnetic flux couples into both secondaries; the voltage induced in one half of the secondary winding is 180 degrees out-of-phase with the voltage induced in the other half of the secondary winding.

When the armature is moved out of that position, a voltage proportional to the displacement appears

## PN-ÁTMENETES NUKLEÁRIS RÉSZECSCKE ÉRZÉKELŐ

Pn-átmenetes (p-n-n<sup>+</sup> dióda) sugárzásérzékelő: kb. 3eV energia kelt egy elektron-lyukpárt, magasabb jeleszint mint a klasszikus gáztöltésű érzékelőknél), jó linearitás széles energiatarományban, nagyobb érzékenység, kisebb helyfoglalás.



## FET TÍPUSÚ ÉRZÉKELŐK

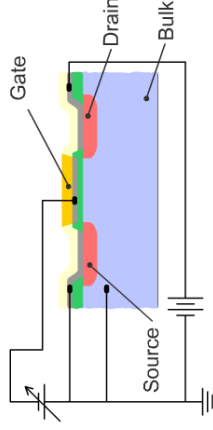
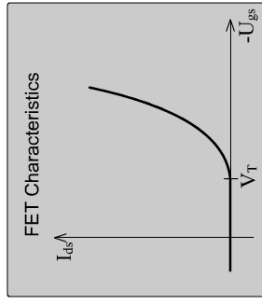
Szenzor effektus: gate-potenciál megváltozása a környezeti hatására (felületi töltés vagy kilépési munka változás).

Turn on or threshold voltage of the channel:

$$U_i = -\frac{Q_{ss} + Q_b}{C_i} + 2\Phi_T + \Phi_{ms}$$

where:

$\Phi_T$  is the Fermi-potential of the bulk semiconductor  
 $\Phi_{ms}$  is the work function difference between the gate and the semiconductor  
 $Q_{ss}$  is the surface state and oxide charge per unit area  
 $Q_b$  is the bulk charge per unit area in the depletion region



14

## FET TÍPUSÚ ÉRZÉKELŐK

Az ionszelektív érzékelők a folyadékok ionkoncentrációja meghatározására szolgálnak. Ennek fontos speciális esete a pH azaz a savasság/lúgosság mértékének meghatározása.

Mikroelektronikai kivitel: félvezető alapú, lényegében FET/MOSFET szerkezet. A vezérlőelektróda (gate) szerepét maga a mérendő folyadék játssza. Az érzékelési folyamat kihasználja azt, hogy a FET töltésvezérelt eszköz.

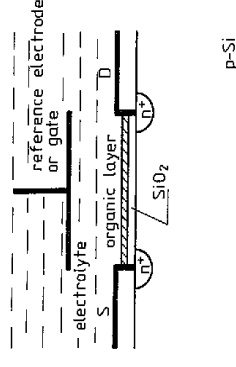
## FET TÍPUSÚ ÉRZÉKELŐK

FET típusú mikroelektronikai kémiai- (és gáz-) érzékelők:

- ISFET - ion-selective FET
- OGFET - oxide-gate FET
- OSFET - oxide-semiconductor FET
- ADFET - adsorption-FET
- Pd-gate FET (GasFET)
- ChemFET (Chemical FET)

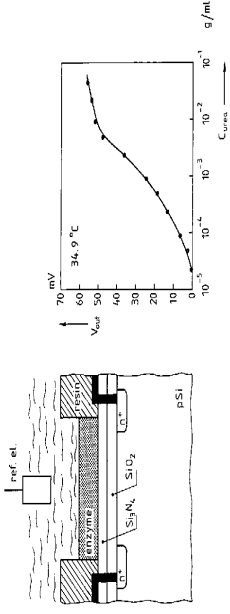
## ISFET (CHEMFET) – ION SENSITIVE FET

MOSFET gate kontaktus nélkül  
 Ionátengedő réteggel nem csak pH mérésre alkalmas  
 pH mérés: potenciálkülönbség mérése az ionérzékeny és a referencia elektród között.



15

## BIOSZENZOR: UREA ÉRZÉKENY ISFET



Enzim: olyan katalizátor, mely csak egy bizonyos reakciót gyorsít (pl. inzulin→glükóz). ENFET=EnzymeFET  
 Az ureáz a vese működésével kapcsolatban van jelen a vérben, és katalizálja a következő reakciót:  
 $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^-$   
 Az oldat pH-ját befolyásolja a reakció, ez az ISFET-tel mérhető.

## AKUSZTIKUS HULLÁMOK TERJEDÉSÉN ALAPULÓ ESZKÖZÖK

Piezoelektromosságon alapuló eszközök.  
 Tömbi, illetve felületi akusztikus hullámok.

Rezonátor típus: állóhullám, a rezonanciafrekvencia eltolódása mérhető.

Hullámvezető típus: hullámterjedési tulajdonságok megváltozása fázistolás révén mérhető.

Váltakozó feszültség → mechanikai hullám

Mechanikai hullám → elektromos polarizáció

## AKUSZTIKUS HULLÁMÚ ESZKÖZÖK

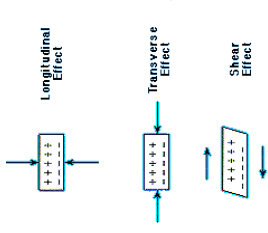
Piezoelektromos eszközök, amelynek belsejében vagy felületén akusztikus hullámok alakulnak ki, ezek jellemzői változnak az érzékelés során. Működésük alapja, hogy bennük elektromos váltakozó feszültség rákapcsolásával akusztikus mechanikus hullámok kelthetők, a mechanikai hullámok pedig elektromos polarizáció változást, és így váltakozó feszültséget generálnak. Ha a generált villamos feszültséget visszacsatoljuk a mechanikai hullámok keltését szolgáló rendszerre, a rendszer rezonanciába kerül. Érzékelőkben a rezonanciafrekvencia a mérendő paraméter függvényében eltolódik, a kimenőjel tehát egy kvázidigitális elektromos frekvenciajel.

## AKUSZTIKUS HULLÁMÚ ESZKÖZÖK

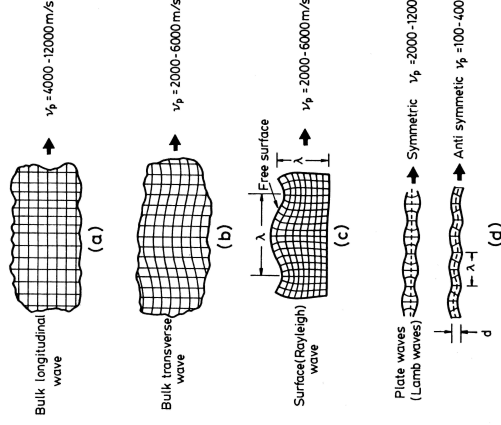
A tömbi akusztikus hullámú eszközök sikkondenzátor jellegű szerkezetében ez a visszacsatolás a struktúrán belül megtörténik. A felületi akusztikus hullámú érzékelőkben piezoelektromos hordozókon kialakított interdigitális elektródák keltik és veszik a felületi hullámokat, az oszcillációt és az állóhullám-keltést az erősítőn keresztül történő visszacsatolás biztosítja. A felületi érzékelők előnye hogy a relatív frekvencia változás független az eszköz saját tömegétől, valamint arányos a rezonanciafrekvenciával, így nagyobb frekvenciákon nagyobb érzékenységgel mérhető el (tömbi: 6-20 MHz között 0.1 ng/mm<sup>2</sup>, felületi: GHz tartomány, 0.05 pg/mm<sup>2</sup>)

## PIEZOELEKTROMOS HATÁS

Piezoelektromosság (görög  $\neq$   $\epsilon\zeta\omicron$  össze-nyom): kristályelektromosság, nyomás v. húzás (mechanikai feszültség) hatására fellépő töltésszétválasztódás (polarizáció). Anizotrop kristályokban a nyomás (húzás) hatására a szemközti felületen ellentétes előjelű elektromos töltések lépnek fel. A mechanikai igénybevétel hatására dipólusok keletkeznek (töltésszétválasztás, a pozitív és negatív töltések súlypontjai elfordulnak), illetve a meglévő dipólusok iránya megváltozik (pl. elfordulnak), így a felületek feltöltődnek. A töltések előjele megváltozik, ha a nyomófeszültséget húzófeszültségre váltják át.



## RUGALMAS HULLÁMOK ÉS FÁZISSEBESÉG



- Tömbi longitudinális hullám (*bulk longitudinal wave*) végtelen kiterjedésű anyagban.
- Tömbi transzverzális hullám (*bulk transverse wave*) végtelen kiterjedésű anyagban.
- Felületi akusztikus (Rayleigh-) hullám (*surface (Rayleigh) wave*) fél-végtelen mintában. A behatolási mélység  $\sim \lambda$ , nagyságrendű.
- Lemez (Lamb-) hullámok (*plate waves (Lamb waves)*),  $d < \lambda$ .

23

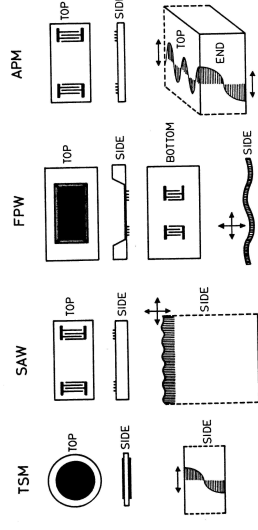
## MIÉRT A KVARC?

Of the large number of piezoelectric materials available today, quartz is employed preferentially in transducer designs because of the following excellent properties:

- high material stress limit, around 100 MPa ( $\sim 14$  km water depth)
- temperature resistance (up to 500C)
- very high rigidity, high linearity and negligible hysteresis
- almost constant sensitivity over a wide temperature range
- ultra high insulation resistance ( $10^{+14}$  ohms) allowing low frequency measurements ( $<1$  Hz)

22

## Hullám-és rezgési módusok akusztikus hullámú érzékelő eszközökben



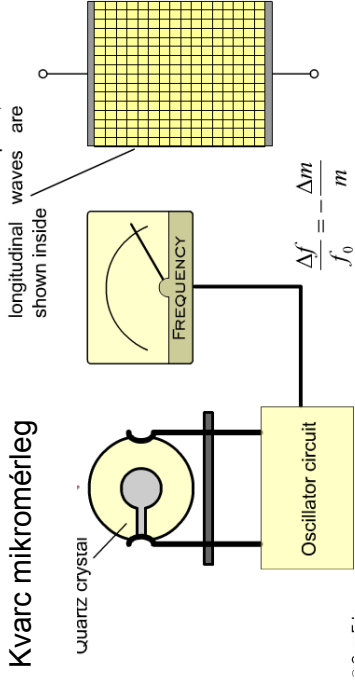
TSM - thickness shear mode: tömbi transzverzális módus (más elnevezés: BAW - bulk acoustic wave, tömbi akusztikus hullám)  
 SAW - surface acoustic wave: AFH - akusztikus felületi hullám  
 FPW - flexural plate wave: Lamb-hullám ("meghajló" módus")  
 APM - acoustic plate mode: akusztikus "lemez" módus

24

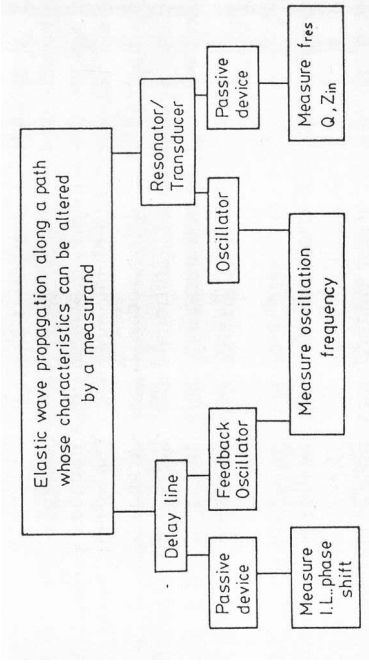


## KVARC MIKRO- ÉS NANOMÉRLEG

Tömbi akusztikus hullámú eszköz, síkkondenzátor jellegű szerkezet.



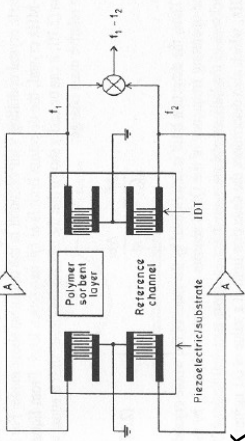
25



Mérési/érzékelési lehetőségek akusztikus rezonátorokkal és késleltető eszközökkel.

26

## SAW TÍPUSÚ SZENZOR



Az AFH típusú érzékelőben egy szelektív gázadszorbens réteggel bevont és egy bevonat nélküli eszköz egy-egy RF oszcillátort alkot. Az adszorbeált gáz mennyiségétől függően megváltoznak a felületi akusztikus hullámok terjedési tulajdonságai (sebessége) és ez elhangolja az oszcillátort. A két oszcillátor jeléből egy keverővel a különbségi frekvenciával arányos jelet állítanak elő, mely egyben arányos az érzékelőrétegen adszorbeált gáz mennyiségével.

27

A kvarc oszcillátor (tömbi akusztikus hullám, bulk acoustic wave, BAW) és az akusztikus felületi hullámú (AFH, surface acoustic wave, SAW) eszköz egyaránt használható tömegváltozás érzékelésére. Különböző részecskék megkötődése a felületen tömegváltozást és így frekvenciaváltozást eredményez. Ha a felületen adszorbens réteg van, akkor a kvarc mikromérleg vagy az AFH eszköz mint kémiai- vagy gázérzékelő funkcionál.

28

## KALORIMETRIKUS ÉRZÉKELŐK

Az érékelés alapelve: a környezeti hatás által előidézett hőmérséklet-különbség mérése.

Környezeti hatás: hőközlés, hőelvonás, vagy a hőelvezetési viszonyok megváltozása.

Hatások pl.:

- endo- vagy exoterm kémiai reakció;
- hősugárzás vagy más sugárzás hőhatása;
- hőáram vagy áramló közeg hőszállítása.

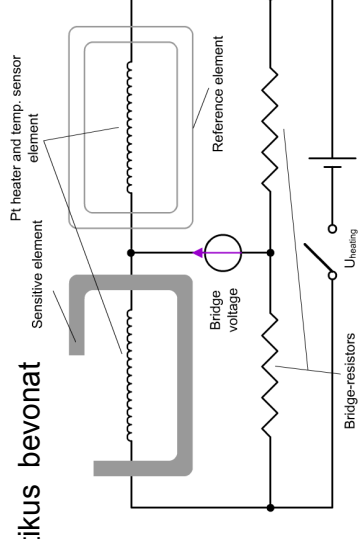
Működteés:

- általában a környezettől eltérő, stabilizált hőmérsékleten (fűtés vagy hűtés szükséges).

29

## KALORIMETRIKUS ÉRZÉKELŐK

katalitikus bevonat



Kalorimetrikus érzékelők elvi felépítése. Pt-ellenállás: fűtés és érzékelés. A katalitikus bevonat elindítja a mérendő komponens kémiai reakcióját: hőtermelés vagy hőelvonás.

30

## KALORIMETRIKUS ÉRZÉKELŐK

Működési módok:

**Adiabatikus működési mód:** A két fűtőteljesítmény megegyezik, a hőmérsékletkülönbséget detektálják.

**Izotermikus működési mód:** az érzékelő elem fűtőteljesítményét változtatják míg a hőmérséklete meg nem egyezik a referenciaelemével. A fűtőteljesítmény változását detektálják.

31

## ELEKTROKÉMIAI CELLÁK MINT ÉRZÉKELŐK

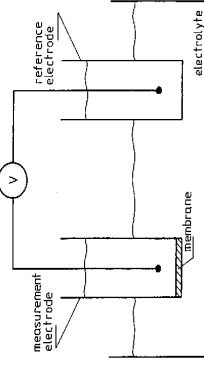
Az elektrokémiai cellákat elterjedten használják kémiai mennyiségek (pl. ionok és oldott gázok koncentrációja) meghatározására, valamint újabbban az enzimátikus és immunérzékelőkben.

32



## ELEKTROKÉMIAI CELLÁK MINT ÉRZÉKELŐK

A legegyszerűbb esetben az elektrokémiai cella minimum két elektródából és a közöttük lévő ionvezető anyagból (elektrolit) áll.



Membrán: vékony üveg réteg.  
Mindkét elektróda vezető elektrolittal van töltve  
Amikor ionok diffundálnak át a membránon, potenciálkülönbség jön létre a membrán két oldalán.

Mérendő közeg (az elektrolit a cellában

33

## ELEKTROKÉMIAI CELLÁK MŰKÖDTETÉSE

Működtetés:

egyensúlyi vagy stacionárius állapotban, tranziens válaszok is érzékelhetőek

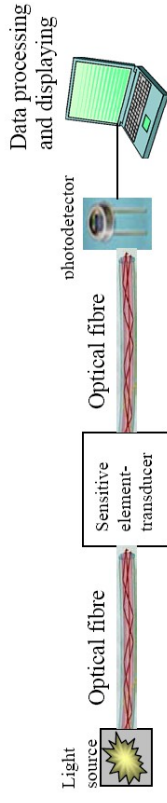
Üzem módok:

potenciometrikus,  
amperometrikus (voltammetrikus),  
vezetőképesség mérés (konduktometria)

34

## OPTIKAI HULLÁMVEZETŐKÖN ALAPULÓ ÉRZÉKELŐK

Érzékelési elv: a mérendő mennyiség megváltoztatja az átvezetett vagy visszavert fényhullám jellemzőit (intenzitás, polarizáció, frekvencia, fázis). Generátor típusú működés is lehetséges: maga a mérendő közeg egyben a fényforrás is (pl. kemolumineszcencia).



35

## OPTIKAI HULLÁMVEZETŐKÖN ALAPULÓ ÉRZÉKELŐK

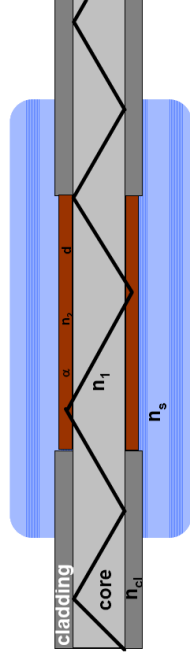
Intenzitásmérés: az áthaladó vagy visszavert fény intenzitását mérik.

Spektrumanalízis: az áthaladó vagy visszavert fény spektrumának megváltozását mérik. Gyakorlatban adott hullámhosszon mért intenzitásváltozás mérésével helyettesítik.

Fázisváltozás mérése: Terjedő vagy áthaladó fény fázisának eltolódását mérik. Ekkor a gerjesztés monokromatikus és koherens kell, hogy legyen. A fáziskülönbséget interferométerben intenzitásmérésre vezetik vissza. Polarizáció változásának detektálása: poláros gerjesztésű fény poláriszögének megváltozását mérik. Poláriszűrőkkel szintén intenzitásmérésre vezetik vissza.

36

## KÖPENYBÁZISÚ ÉRZÉKELŐ

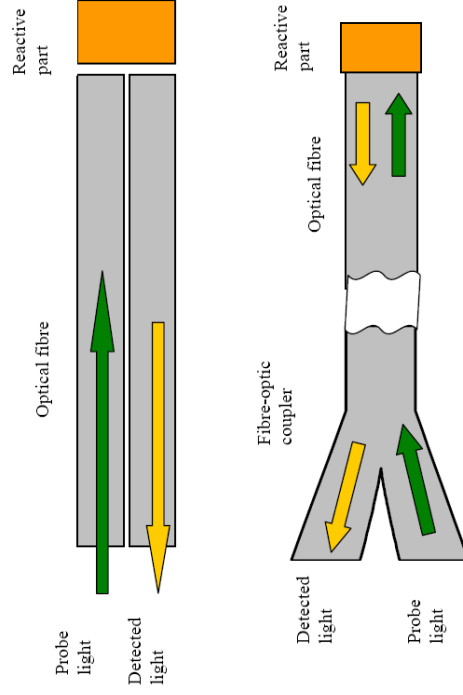


Működési mechanizmus:

A köpenyben megváltoznak az optikai paraméterek (főrésmutató, abszorpció), ennek révén megváltoznak a fényvezető szál terjedési és átviteli paraméterei.

37

## OPTÓD



39

## OPTÓD/OPTRÓD

Optód: Hasonlít az elektródra, de optikai elven működik. Általában két optikai szálból áll (be-kimenet). Működése az optódvégen elhelyezett anyagok által előidézett spektrális változásokon, vagy az emittált fény jellemzőinek változásán alapul.

Az optódvégen elhelyezett indikátor színváltozása miatt a reflektált fény spektruma megváltozik a gerjesztéshez képest - abszorpció változáson alapuló optód .

38

## OPTÓD/OPTRÓD

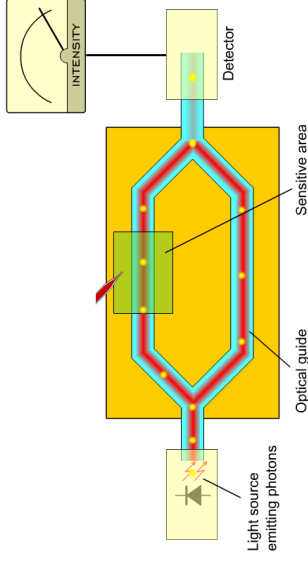
Fluoreszcencián alapuló: az optródok anyaga szekunder fényt emittál, mely a gerjesztő fénysugártól eltérő tulajdonságokat mutat. Ennek környezeti hatásokra történő spektrális változásait lehet az érzékelőkben felhasználni .

Kemilumineszcencián vagy biolumineszcencián alapuló érzékelőkben nincs szükség gerjesztő fényforrásokra, a katalizált fényemissziót lehet érzékelésre használni.

40

## FÉNYSZÁLAS INTERFEROMÉTER ÉRZÉKELŐK

Interferométer működési elve: a két optikai ág eltérő hatásonak van kitéve. A referenciaág a külső hatások ellen védve van, a másik ág (szenzor) a külső hatásokra megváltoztatja optikai tulajdonságait, pl. hossz vagy törésmutató. Ezáltal a két ág között optikai úthossz különbség jön létre.



41

42

VÉGE

43

44