

## ÉRZÉKELŐK

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

### 19. ELŐADÁS: FÉNYVEZETŐ SZÁLAS ÉRZÉKELŐK II



2010/2011 tanév 2. félév

1

## 19. ELŐADÁS: FÉNYVEZETŐ SZÁLAS OPTIKAI ÉRZÉKELŐK II

1. Fényvezető szálak érzékelők általános tulajdonságai.
2. Érzékelő típusok: intrinszc, extrinszc és interferométeres.
3. Intrinszc fényvezető szálak szenzorok.
4. Interferometriás érzékelők
5. Extrinszc fényvezető szálak szenzorok.

2

## BEVEZETŐ ÁTTEKINTÉS

A jelenlegi legkorszerűbb vezetékcsatlakozási mód az üvegszálak alkalmazása. Az információ fénypulzusok formájában terjed egy fényvezető közegben (üvegszálon).



Optikai összekötetés vázlatja

3

## OPTIKAI HÁLÓZAT FELÉPÍTÉSE

Az optikai átviteli rendszer három komponensből áll:

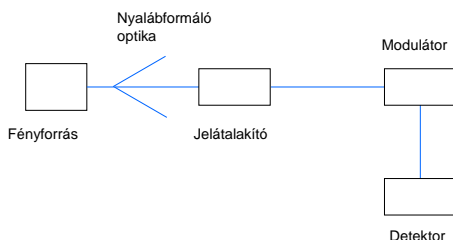
az átviteli közegből (hajszálvékony üveg vagy szilikát) amit egy szilárd fénytörő réteg véd (szintén üveg vagy műanyag),

a fényforrásból (LED vagy lézerdioda),

és az érzékelőből, mely fototranzisztor vagy fotodioda, amelynek vezetési képessége a rájuk eső fény hatására megváltozik

4

## SZÁLOPTIKAI SENZOR FELÉPÍTÉSE



## FÉNYVEZETŐ SZÁLAS ÉRZÉKELŐK ÁLTALÁNOS TULAJDONSÁGAI

*Előnyök:*

1. Az optikai érzékelők működését sem a rádió-hullámok, sem a villámok, sem más természetes elektromágneses zavarforrások nem befolyásolják (EMC - electromagnetic compatibility). Nem kell árnyékolás, zavarűrés, stb.
2. Az érzékelő egyben a jelátviteli csatlakozás szerves része. Több érzékelő összekapcsolható, a jelek közösen továbbíthatók.

6

## FÉNYVEZETŐ SZÁLAS ÉRZÉKELŐK ÁLTALÁNOS TULAJDONSÁGAI

3. A fényvezető szál már a gyártás során beépíthető a vizsgálendő szerkezetbe. A kvarc optikai szál ellenáll szélsőséges viszonyoknak is, kb. 1000 °C-ig sem térfogatát sem súlyát nem változtatja meg. Az érzékelést végző optikai szál beönthető pl. betonba, a fémek egy részébe is.

**Hátrányok:** Általában drágábbak mint az elektromos vagy elektromechanikus érzékelők. Költségnövelő tényező, hogy a fényszál típusú érzékelőket még nem gyártják nagy sorozatban.

7

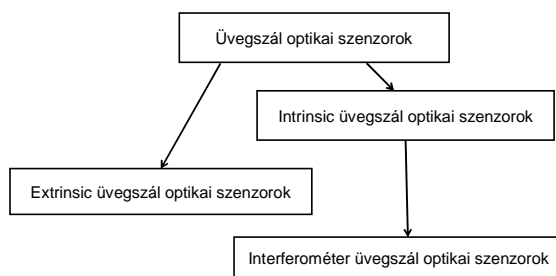
## FÉNYVEZETŐ SZÁLAS ÉRZÉKELŐK CSOPORTOSÍTÁSA

**Intrinsic:** az optikai szál maga az érzékelő, és benne változik az átvitt fény valamelyik paramétere.

**Extrinsic:** a szál csak hullámvezetőként szolgál, hogy elvigye a fényt az érzékelőkhöz, és utána visszavigye a detektorhoz. A fény valamelyik jellemzője akkor a szálon kívül változik.

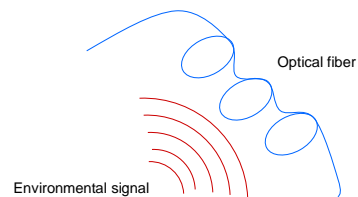
8

## FÉNYVEZETŐ SZÁLAS ÉRZÉKELŐK CSOPORTOSÍTÁSA



9

## INTRINSIC FÉNYSZÁL OPTIKAI SENZOR



Intrinsic üvegszál szenzorok néhány fontosabb típusa:

- Mikrodeformáción alapuló szenzor
- Fekete test szenzorok
- Elosztott paraméterű szenzorok
- Polarizációs szenzorok

## INTRINSIC FÉNYSZÁL OPTIKAI SENZOR

**Mikrodeformáción alapuló szenzorok:**

A szál meghajlítása vagy más deformációja a benne terjedő fényt csillapítja.

Alacsony ár, viszonylagos egyszerűség.

Kis linearitás, rossz dinamikus tulajdonságok.

**Fekete test szenzorok:**

A hőmérséklet emelkedések az objektum által kisugárzott fény spektruma eltolódik, illetve egy adott hullámhosszon megváltozik a fény intenzitása. A színképeltolódásból a hőmérséklet meghatározható. A szenzor a reflektált, vagy az emittált fényt méri.

11

## INTRINSIC FÉNYSZÁL OPTIKAI SENZOR

**Elosztott paraméterű szenzor:**

Egy fizikai paraméternek az üvegszál mentén történő folytonos (elosztott), vagy véges számú mérőpontban (kvázi-elosztott) történő érzékelése szükséges.

A szenzorok a Rayleigh-, vagy a Raman szórás, illetve módus csatolás (külső hatás az egymódusú fényvezetést többmódusúvá alakítja) elvén működnek.

**Polarizációs szenzor:**

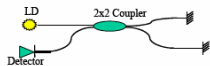
Az üvegszál polarizációs hatásán (pl. ketős törés) alapul. A környezeti hatások megváltoztatják a szálon terjedő fény polarizációs jellemzőit.

12

## FÁZISMODULÁLT FÉNYSZÁL OPTIKAI ÉRZÉKELŐK: INTERFEROMÉTEREK

❖ Two beam interferometer:

➤ Michelson interferometer



➤ Mach-Zehnder interferometer



❖ Multi-beam interferometer

➤ Fabry-Perot interferometer



➤ Ring interferometer



Általános jellemzés: nagyobb érzékenység mint az egyszerű, fényintenzitás-változású szenzoré

## FÁZISMODULÁCIÓ

Az átvitt fény fázisa az optikai úthossz változása miatt megváltozik. Oka: geometria úthossz és/vagy a törésmutató megváltozása, melyet az érzékelendő folyamat (pl. hőmérsékletváltozás, nyomásváltozás, kémiai hatás, stb.) hoz létre.

Optikai intenzitás az interferométerben ( $\phi$  a fázisváltozás)

$$I = I_0 \cos^2(\phi/2)$$

Egymódusú fényszál esetén az intenzitás maximális, ha  $\phi = 2\pi n$ , illetve minimális ha  $\phi = (2n + 1)\pi$  ( $n$  egész szám).

14

## FÉNYSZÁL ALAPÚ INTERFEROMÉTER ÉRZÉKELŐK

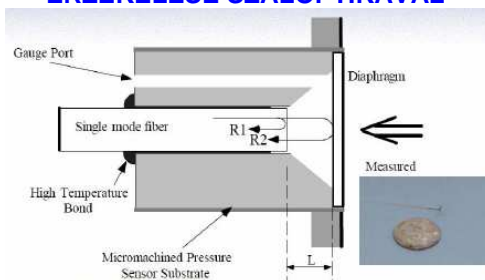
Interferométer alapú szenzorok érzékenysége nagy, de mérési tartományuk korlátozott (ekvivalens hossz maga a hullámhossz). Drágák is.

Interferométer elrendezések:

- Sagnac-interferométer
- Mach-Zehnder-interferométer
- Michelson-interferométer
- Fabry-Perot-Interferométer

15

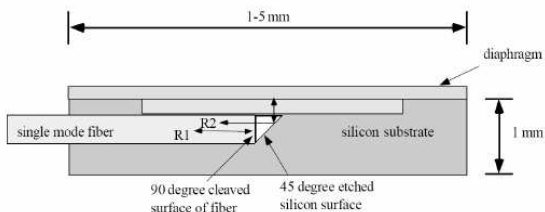
## MECHANIKAI MENNYISÉGEK ÉRZÉKELÉSE SZÁLOPTIKÁVAL



Nyomásérzékelés száloptikával

16

## MECHANIKAI MENNYISÉGEK ÉRZÉKELÉSE SZÁLOPTIKÁVAL

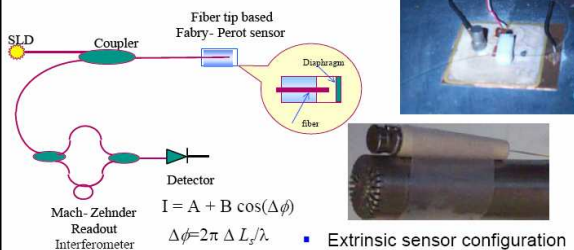


Nyomásérzékelés száloptikával

17

## HANGNYOMÁS, REZGÉS ÉRZÉKELÉS

❖ Low coherence fiber-optic interferometer (LCFO)



$$I = A + B \cos(\Delta\phi)$$

$$\Delta\phi = 2\pi \Delta L_s / \lambda$$

- Extrinsic sensor configuration
- Sound pressure induced diaphragm displacement change or vibration induced cantilever bending



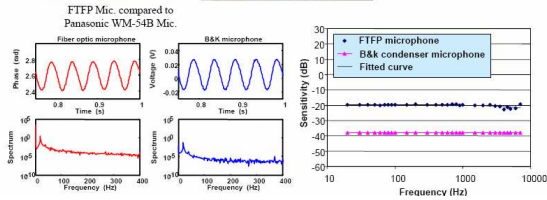
18

## REZGÉS (AKUSZTIKUS) ÉRZÉKELÉS

Low coherence interferometer based fiber optic Microphone



FTFP Mic. compared to B&K and Kjeer 4134 Mic.



Interferométer optikai mikrofon

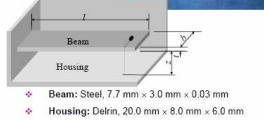
19

## FÉNYSZÁL GYORSULÁSÉRZÉKELŐ

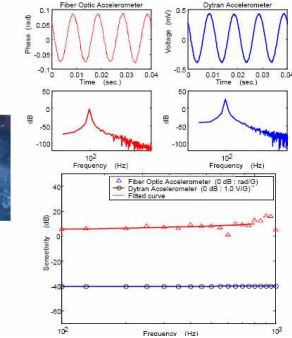
Fiber Optic Accelerometer



FTFP accelerometer compared with Dytran piezo accelerometer # 3101AG



- ◆ Beam: Steel, 7.7 mm × 3.0 mm × 0.03 mm
- ◆ Housing: Delrin, 20.0 mm × 8.0 mm × 6.0 mm



20

## FÉNYSZÁL GYORSULÁSÉRZÉKELŐ



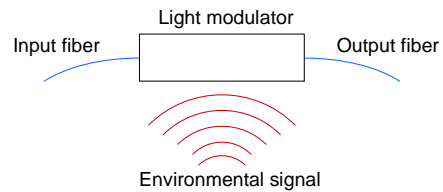
FTFP accelerometer compared with Dytran piezo accelerometer # 3101AG



- ◆ Beam: Steel, 7.7 mm × 3.0 mm × 0.03 mm
- ◆ Housing: Delrin, 20.0 mm × 8.0 mm × 6.0 mm

21

## EXTRINSIC FÉNYSZÁL OPTIKAI SZENZOR



## EXTRINSIC FÉNYSZÁL OPTIKAI SZENZOR

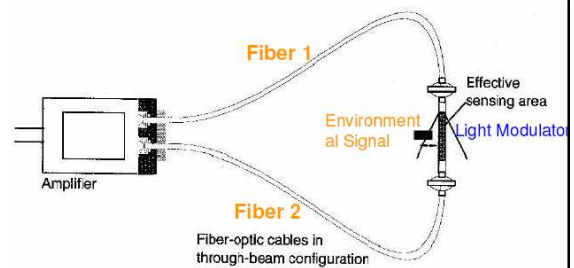
Extrinsic fényszál szenzor:

Az üvegszál mint hullámvezető a fénysugarat egy "fekete dobozba" vezeti, ahol a környezeti hatásokra a fény valamely paramétere megváltozik. A fekete doboz tartalmazhat optikai elemeket (p. tükör, lencse, stb.) gáz- és folyadék cellákat, és egyéb szerkezeteket, ami optikai fénynyalábot hoz éltre, modulálás, vagy átalakít. Ezt a jelet a szál elvezeti további

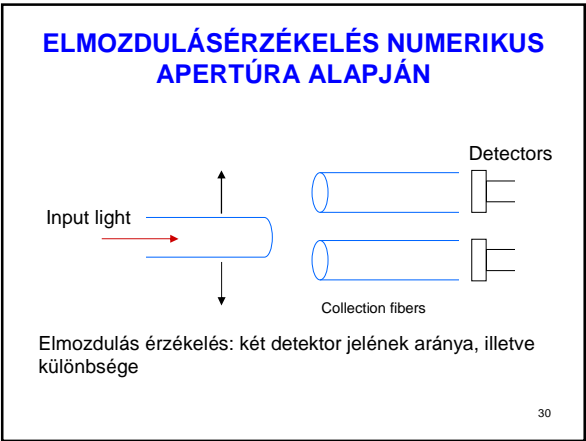
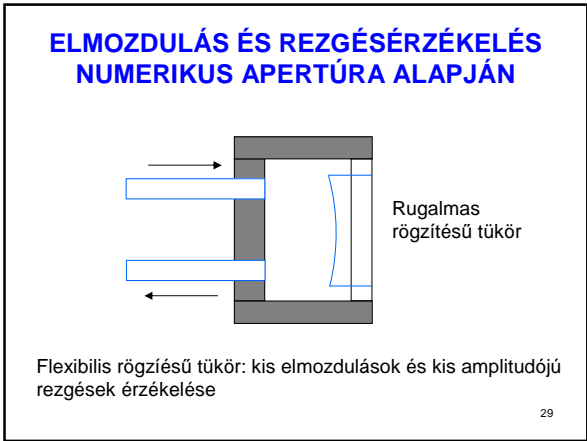
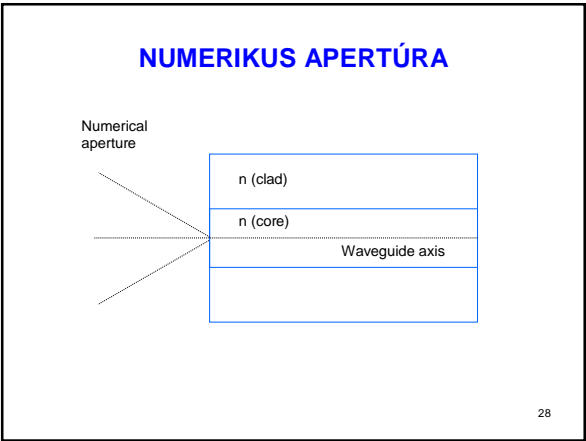
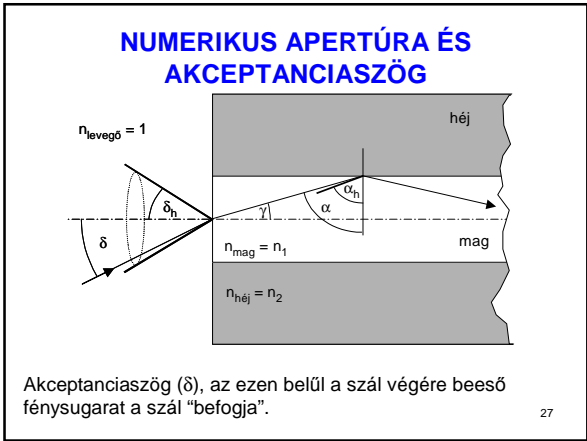
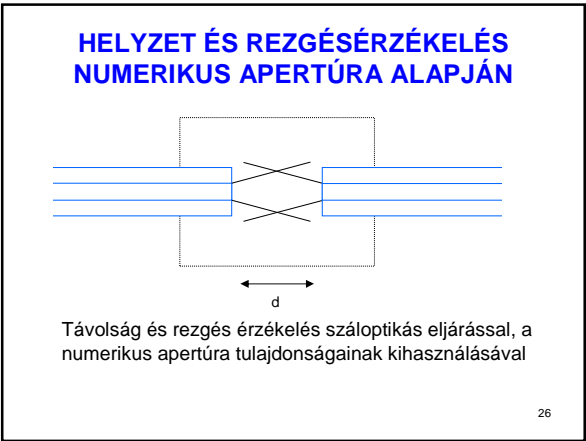
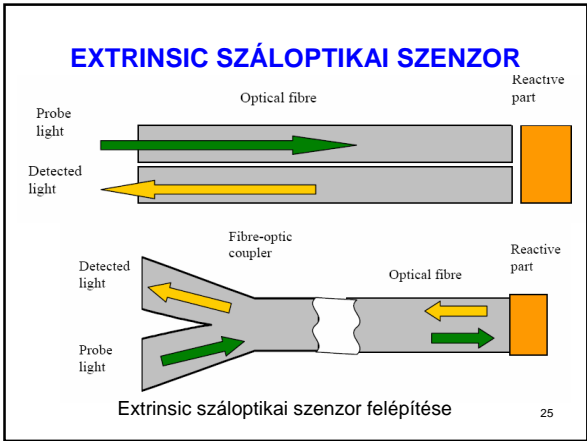
Tehát a fény valamelyik jellemzője a szálon kívül változik meg.

23

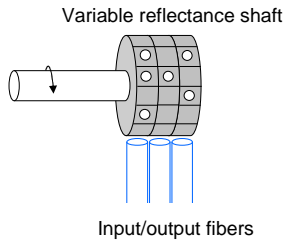
## EXTRINSIC SZÁLOPTIKAI ÉRZÉKELŐ: ELVI FELÉPÍTÉS



24



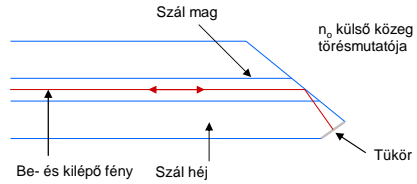
## ELFORDULÁS ÉRZÉKELÉS VISSZAVERŐDÉS ALAPJÁN



Száloptikás szöghelyzet indikátor, kódtárcsával

31

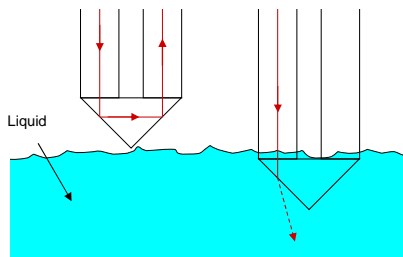
## KRITIKUS SZÖG NYOMÁS / TÖRÉSMUTATÓ ÉRZÉKELÉS ÉS MÉRÉS



A kritikus szög (teljes visszaverődés) alapján valamely közeg nyomása illetve törésmutatója érzékelése a visszavert fény intenzitása mérésével.

32

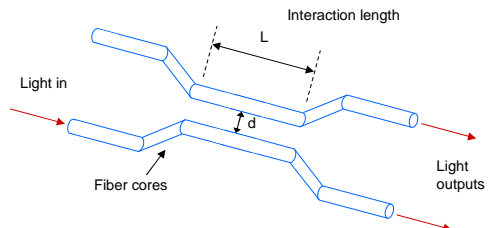
## FOLYADÉKSZINT ÉRZÉKELÉS: TELJES BELSŐ VISSZAVERŐDÉS



Liquid level sensor based on total internal reflection detects the presence or absence of liquid by the presence or absence of a return light signal.

33

## EVANESCENS HULLÁMÚ SZENZOR



Confinement of a propagating light beam to the region of the fiber cores and power transfer from two closely placed fiber cores can be used to produce a series of fiber sensors based on evanescence. The figure illustrates two fiber cores that have been placed in close proximity to one another. For single mode optical fiber this distance is on the order of 10 to 20 microns.

34

## SPEKTRUMON ALAPULÓ ÉRZÉKELÉS

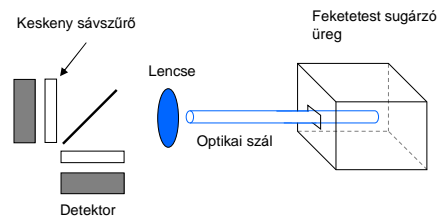
A szenzor kétféle hullámhosszú fényrel operál (saját referencia) .

Spektrális válaszon alapuló száloptikai érzékelők

- » Fekete test sugárzás
- » Abszorpció/fluoreszcencia
- » Diszperziós elemek (pl. rácsok)

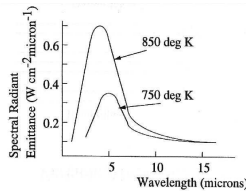
35

## FEKETE TEST SUGÁRZÁS SZENZOR



36

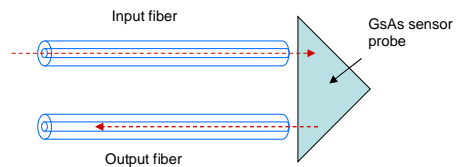
## FEKETE TEST SUGÁRZÁS SZENZOR



Keskenysávú szűrőkkel kombinált detektorokkal érzékelhető a feketetest sugárzási spektrumának, ezáltal hőmérsékletének megváltozása. A hőmérsékletmérés pontossága néhány °C. Az ilyen típusú szenzor pontossága és teljesítménye jobb magasabb hőmérsékleteken, és a hőmérséklet csökkenésével kb. 200 °C alatt romlik, a jel/zaj viszony csökkenése miatt.

37

## ABSZORCIÓVÁLTOZÁSÚ ÉRZÉKELŐ



A működés alapja a félvezető anyagú prizma optikai abszorpciójának a tiltott sávnak megfelelő hullámhossz közelében való erős függése a hőmérséklettől, vagy a nyomástól.

38

## OPTÓD/OPTRÓD

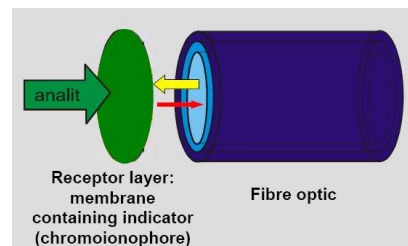
Optód: Hasonlít az elektródra, de optikai elven működik. Általában két optikai szálból áll (be-kimenet). Működése az optódvégen elhelyezett anyagok által előidézett spektrális változásokon, vagy az emittált fény jellemzőinek változásán alapul.

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

Fluoreszcencián alapuló: az optródok anyaga szekunder fényt emittál, mely a gerjesztő fénysugártól eltérő tulajdonságokat mutat. Ennek környezeti hatásokra történő spektrális változásait lehet az érzékelőkben használni. Kemilumineszcencián vagy biolumineszcencián alapuló érzékelőkben nincs szükség gerjesztő fényforrásokra, a katalizált fényemissziót lehet érzékelésre használni.

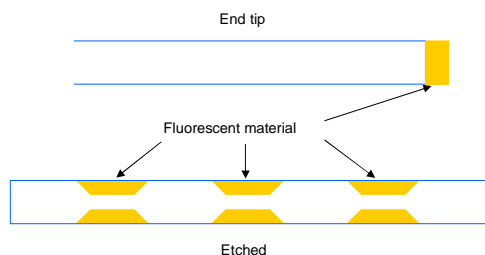
39

## OPTÓD ELVE



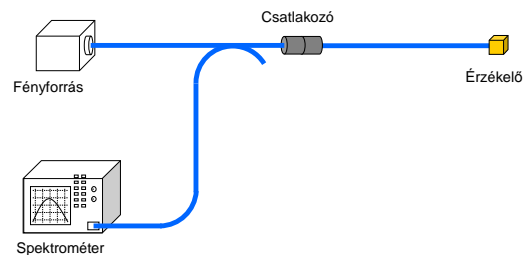
40

## FLUORESCENS ÉRZÉKELŐ (OPTRÓD)



41

## ABSZORPCIÓS/FLUORESCENS RENDSZER



42

## SZÁLOPTIKAI pH ÉRZÉKLÉ

Optród jelleg, igen érzékeny pH mérés  
Indikátor anyag (festék) az optikai szál végén  
indicator dye at the tip of a light guide

Előny: elektromosan zajos környezetben is használható



Kétféle elrendezés:  
Abszorpciós optród  
Fluoreszcens indikátor optród

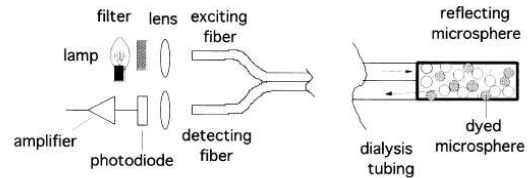
## ABSZORPCIÓS OPTRÓD ELV

Measure the change in intensity of the light returned from the fiber tip

Two fibers necessary

Measurement at two wave lengths (one for reference)

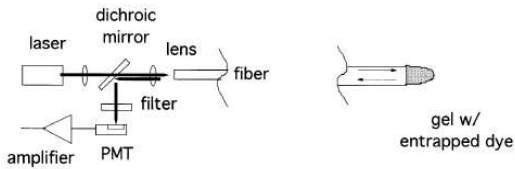
Ratio of the scattered intensities at the two wavelengths is related to the pH



## FLUORESCZENS INDIKÁTOR OPTRÓD

single fiber to both interrogate and collect signal-carrying light  
amount of fluorescent pH indicator at the fiber tip must be maximized

due to the relatively small light intensities, the detector is typically a photomultiplier tube rather than a photodiode



## ALKALMAZÁS: Fly by Light System-Airframe

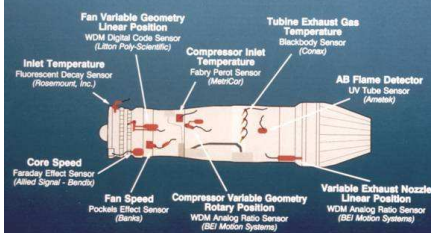
### Fly-By-Light Flight Control Research



## ALKALMAZÁS: Fly by Light System-Engine

### Fly-By-Light Engine Control Research

#### 9 Engine Control Sensors



VÉGE