

# ÉRZÉKELŐK

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

## 15. ELŐADÁS: GÁZÉRZÉKELŐK



2010/2011 tanév 2. félév

1

1

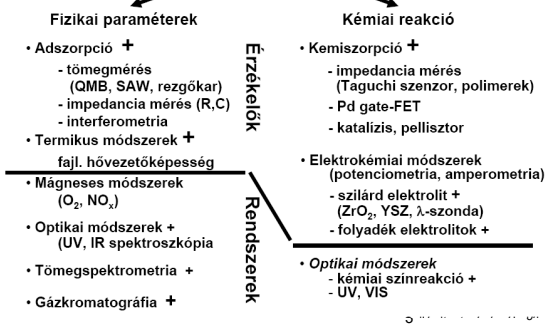
## 15. ELŐADÁS

1. Bevezetés és áttekintés: gázérzékelők alkalmazási területei.
2. Gázérzékelőkben alkalmazott érzékelési elvek.
3. Általános jellemzők és problémák: szelektivitás, hosszúidejű reprodukálhatóság, keresztéffektusok (keresztérzékenység).
4. Vezetőképesség/ellenállás alapú gázérzékelők.
5. Piezoelektromos gázérzékelők, kvarc mikromérleg (QMB), felületi akusztikus hullámú (AFH) eszköz.
6. Kalorimetrikus elvű érzékelés (pellisztor)
7. Optikai spektroszkópiai módszerek./ellenállás alapú gázérzékelők.

2

2

### Gázérzékelési módszerek Mikro(nano)technológia szerepe +



## ÉRZÉKELÉSI ELVEK

Gázérzékelőkben alkalmazott érzékelési elvek:

- vezetőképesség/ellenállás;
- piezoelektromos;
- térvezérlésű tranzisztor elv;
- optikai;
- spektrometriás.

4

4

## SZILÁRDTEST (FÉLVEZETŐ) GÁZÉRZÉKELŐK

Minden szilárdtest alapú gázérzékelő működése a gáz és a szilárdtest felületén lejátszódó reakción illetve kölcsönhatáson, (adszorpció, deszorpció, ionizáció, kémiai reakció, stb.) és a szilárd test valamely mérhető tulajdonsága ennek hatására való megváltozása mérésén alapul.

A legelterjedtebbek a fém-oxid félvezető gázérzékelők (elektromos ellenállás változás) és a szilárd fázisú elektrolitos érzékelők, melyek többnyire cirkónium-oxid (ZrO<sub>2</sub>) alapúak (elektromotoros erő elv alapján). Ezek az ún. amperometrikus gáz- (főleg oxigén) érzékelők, ilyen pl. a Clark-féle oxigénszonda.

5

5

## VEZETŐKÉPESSÉG/ELLENÁLLÁS ALAPÚ GÁZÉRZÉKELŐK

Az érzékelő vezetőképesség-változással reagál valamely gáz jelenlétére.

Két típus: - fém-oxidok (ezek félvezető tulajdonságúak);  
- vezető polimerek.

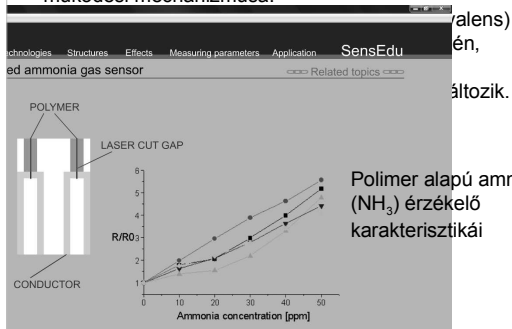
Az adalékoltalan polimerek vezetőképessége kicsi, az adalékoltaké nagy. A lehetséges vezetőképességek tartománya igen széles (10<sup>-14</sup> - 10<sup>2</sup> ohm<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>, átfogja a szinte teljes félvezető - szigetelő tartományt).

6

6

## POLIMER ALAPÚ GÁZÉRZÉKELŐK

Vezető polimert, mint érzékelő-anyagot alkalmazó szenzor működési mechanizmusa:



7

## POLIMER ALAPÚ GÁZÉRZÉKELŐK

Kialakítása: mikromegmunkálás, elektródok közötti távolság kb. 10 - 20 μm.

Működés: normál hőmérsékleten (nem kell fűtőtest, így egyszerűbb az előállítás is).

Elektronikus áramkör/interface: egyszerű, hordozható/kézi műszer könnyen építhető.

Érzékelési küszöb: tipikusan 0,1 ppm.

Normális működési tartomány: 10 - 100 ppm. Pl. CO esetén az egészségügyi határérték kb. mgr/m<sup>3</sup> (kb. 10 ppm). (Kb. 500-1500 ppm (20 perc): hányinger, szédülés, fejfájás, kb.3000 ppm (5-10 perc): halál.)

Hátrányok: - nehezen biztosítható a gyártás egyenletessége;  
- érzékeny a nedvességre.

8

## FÉLVEZETŐ FÉM-OXID GÁZÉRZÉKELŐK: ÁLTALÁNOS ELVEK

Félvezető és környező gázatmoszféra kölcsönhatása:

- oxidáció;
- redukció;
- adszorpció;
- anion csere.

Lényeges gyakorlati követelmény a reverzibilitás. A félvezető gázérzékelőkben a domináns reakció a reverzibilis gázadszorpció.

9

9

## FÉLVEZETŐ FÉM-OXID GÁZÉRZÉKELŐK: ÁLTALÁNOS ELVEK

A gázérzékelők tipikusan oxigént is tartalmazó atmoszférában (pl. levegő) működnek, működési elvükből kifolyólag megemelt hőmérsékleten, ezért csak *fém-oxid* félvezetők jöhetnek számításba.

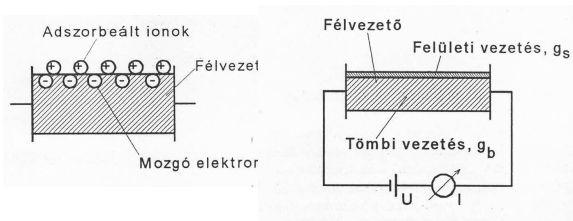
A nemesfémek kivételével minden más anyag oxidálódik, azaz egy oxidréteg alakul ki a felületén, és így a felület lényegében oxiddá konvertálódik.

10

10

## FÉM-OXID GÁZÉRZÉKELŐK

p- és n-típusú fém-oxidban a gázadszorpció hatására megváltozik a vezetőképesség.



11

11

## FÉM-OXID GÁZÉRZÉKELŐK

p- és n-típusú fém-oxidban a gázadszorpció hatására megváltozik a vezetőképesség.

Az n-típusú oxid előnyösebben alkalmazható, mivel az oxigén adszorpció növeli az ellenállást, míg a redukáló hatású gázok csökkentik azt (pl. CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub>, etil-alkohol, izobután, stb.). Ekkor egyszerűbb a mérőáramkör, és maga a szenzor is jobban reprodukálható.

A p-típusú oxidok levegőn instabilak.

Két gyakran használt bináris oxid: SnO<sub>2</sub> és TiO<sub>2</sub>. Az SnO<sub>2</sub> hibacentrumok által dominált félvezető, tiltott sávja kb. 3 eV<sub>2</sub>

## FÉM-OXID GÁZÉRZÉKLŐK

Alkalmazás típusai:

1. Különböző atmoszférák, az elsődlegesen érdekes komponens az oxigén (parciális nyomás).
2. Egyéb gázok érzékelése olyan gázkörnyezetben, ahol az oxigén parciális nyomása rögzített.

Domináns érzékelési mechanizmus a hőmérséklettől függ.

Oxigén érzékelés:

- magasabb hőmérsékleteken (>700 °C)
- alacsonyabb hőmérsékleteken (400-600 °C)

Más gázok:

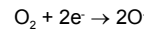
- alacsonyabb hőmérsékleteken (300-500 °C)

13

## FÉM-OXID GÁZÉRZÉKLŐK

Reakciók az n-típusú fém-oxid felületén:

1. A levegőből oxigén adszorbeálódik a felületen, és ott disszociál és megkötődik O<sup>-</sup> ion formájában



a reakció elektronokat von el a félvezető oxidból, annak ellenállása tehát megnő.

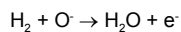
14

14

## FÉM-OXID GÁZÉRZÉKLŐK

Reakciók az n-típusú fém-oxid felületén:

2. Ha redukáló (gyúlékony, éghető) gáz van jelen, pl. hidrogén, az reagál a felületen kötött oxigénionokkal vízképződés és elektron-felszabadulás kíséretében

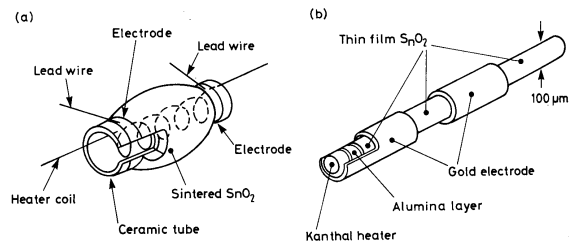


minél nagyobb a H<sub>2</sub> koncentrációja (parciális nyomása) annál kisebb a felületi O<sup>-</sup> koncentráció, és annál nagyobb a félvezető oxidban az elektronkoncentráció, és így annál kisebb az ellenállása.

15

15

## ÓN-DIOXID ALAPÚ GÁZÉRZÉKLŐK



16

16

## ÓN-DIOXID ALAPÚ GÁZÉRZÉKLŐK

Table 9.3 Commercial tin oxide gas sensors [9.3].

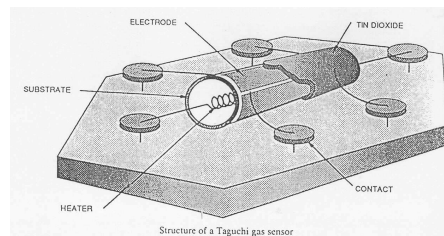
Model	Category	Measurand	Range (ppm)
TGS 815	Combustible gases	Methane	500 to 10,000
TGS 821	Combustible gases	Hydrogen	50 to 1,000
TGS 824	Toxic gases	Ammonia	30 to 300
TGS 825	Toxic gases	Hydrogen sulphide	5 to 100
TGS 822	Organic solvents	Alcohol, toluene	50 to 500
TGS 830	CFCs	R-113, R-22	100 to 3,000
TGS 800	Air quality	Cigarette smoke	< 10
TGS 550	Odour	Sulphur compounds	0.1 to 10

Kereskedelmi forgalomban lévő ón-dioxid alapú gázérzékelők

17

17

## SnO<sub>2</sub> ALAPÚ (TAGUCHI-) GÁZÉRZÉKLŐ



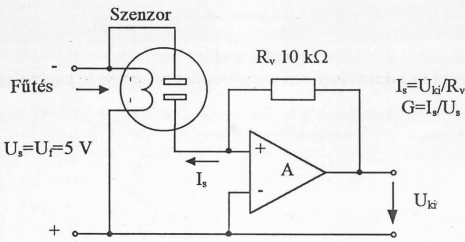
Taguchi-típusú gázérzékelő felépítése. Kerámiacső, felületére leválasztott arany elektródákkal, kívül SnO<sub>2</sub>+Pd vastagréteg borítással, belül fűtőszállal.

18

18



## MÉI



Áram-feszültség átalakító, belső fűtés az állandó hőmérséklet biztosítására.

25

25

## QMB ÉS SAW GÁZÉRZÉKELŐK

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 gázérezkélő funkcionál.

26

26

**• felületi akusztikus hullám terjedésének mérése (SAW) • rezgőkár**

**QMB**  
TSM mód  
MHz

AT metszet,  $d = 200-400 \mu\text{m}$   
kis T függés

$\Delta f/f_{\text{res}} = S \Delta m$

5MHz  
2ng/cm<sup>2</sup> →  
1Hz

gázérezkélők  
hőmérleg

Odorant, Polymer coating, Quartz disc, Electrodes

27

sensing devices.

The QCM types consist of a resonating disk a few millimeters in diameter on each side connected to lead wire [Fig. 3]. The device resonates at a (10 MHz to 30 MHz) when excited with an oscillating signal.

Odorant, Polymer coating, Quartz disc, Electrodes

[3] The quartz crystal microbalance (QCM) sensor is made of a polymer a few millimeters in diameter, with metal electrodes on each side connected to lead wire. The device resonates at a characteristic frequency (10 MHz to 30 MHz) when excited with an oscillating signal. The adsorption of molecules on the surface of the polymer coating increases the mass and reduces its resonance frequency.

Quartz crystal, Oscillator circuit

$\frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{\Delta m}{m}$

- Quartz microbalance ✓
- Surface acoustic wave device
- Lamb waves device
- Shear horizontal acoustic plate mode (SH-APM) sensor
- Love wave device

## ÉRZÉKENYSÉG

QMB tömegérzékenysége ( $\Delta m$  - egységnyi felületre eső tömegváltozás)

$$S_m = \frac{\Delta f}{f_0 \Delta m}$$

$n$  a félhullámok száma,  $d$  a kristálylapka vastagsága,  $d'$  az adszorbeált réteg vastagsága,  $\rho$  és  $\rho'$  a megfelelő sűrűségek)

$$\frac{\Delta f}{f_0} \approx \left(1 + \frac{\rho d}{n \rho' d'}\right)^{-1} \approx -n \frac{\rho' d'}{\rho d}$$

Mivel  $\rho' d' = \Delta m$ , az érzékenység  $S_m = -n/\rho d = 292/\rho \lambda$

29

## ÉRZÉKENYSÉG

Példa:

Lapka tömege  $M = 100 \text{ mg}$ ,

$f_0 \approx 5 - 10 \text{ MHz}$ ,

legkisebb mérhető frekvencia-eltolódás

$$\Delta f = 0,1 - 1 \text{ Hz},$$

$\Delta f/f = -\Delta M/M$  alapján becsülve a legkisebb detektálható abszorbeált gázmennyiség

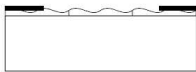
$$\Delta M = 10 - 20 \text{ ng}.$$

30

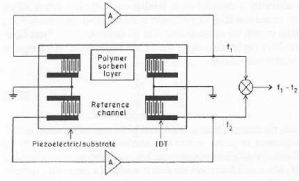
30

### SAW eszközök

- **tömbi:**  $\text{LiNbO}_3$
- **vékonyréteg:**  $\text{ZnO}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{PZT}$  ( $\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$ )



**IDT elektródok**  
 el. fesz. ↔ mech. fesz.  
 Elastikus hullám terjedési  
 sebessége, frekvenciája  
 MHz-GHz

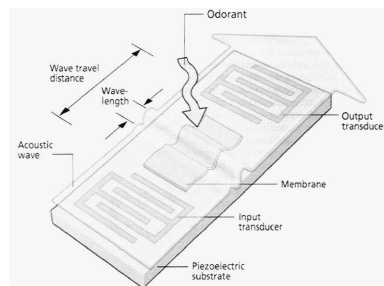


Nagy T függés, keresztjeffektusok

VÉKONYRÉTEG, Si-on is → INTEGRÁLHATÓSÁG, SMART DEV.

Szilárdtest gázérzékelő

### AFH GÁZÉRZÉKELŐ



SAW eszközök: tömbi:  $\text{LiNbO}_3$ , vékonyréteg:  $\text{ZnO}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{PZT}$  ( $\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$ ). Vékonyréteg szilíciumon is → integrálhatóság, smart devices

32

### ÉRZÉKENYSÉG

A relatív frekvenciaváltozás arányos az eszköz alapfrekvenciájával és természetesen az egységnyi felületre adszorbeált gáz tömegével, de ellentétben a QMB-al, független az eszköz saját tömegétől (mind a hullámterjedés és mind a szenzor működését meghatározó kölcsönhatás felületi jelenség).

$$\Delta f/f = \text{const} \times f \Delta m/A$$

$$S_m = (\Delta f/f)/\Delta m = \text{const} \times f$$

Az  $S_m$  érzékenység növelhető az  $f$  működési frekvencia növelésével.

33

33

### ÉRZÉKENYSÉG

Példa:

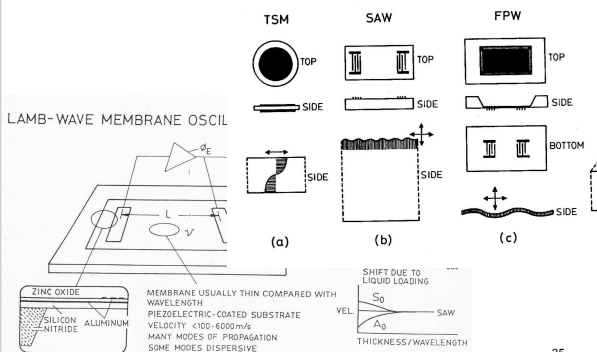
Pd-bevonattal ellátott hidrogénérzékelőben (a bevonat vastagsága néhány száz nm, mely kb. (5-15)-szöröse a felületen terjedő akusztikus hullámok hullámhosszának), a hidrogén-nitrogén gázelegyből lévő 1 ppm-nyi hidrogén az adszorbeált réteg vastagságától függően  $(1-10) \times 10^{-6}$  relatív frekvenciaváltozást okoz, mely pl. már

100 MHz-es alapfrekvenciánál is jelentős mértékű, 0,1-1 kHz frekvencia-eltolódást jelent.

34

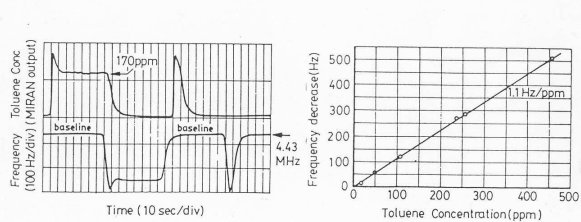
34

### LAMB-HULLÁMÚ ÉRZÉKELŐ



35

### GÁZÉRZÉKELÉS LAMB-HULLÁMÚ (EDWA) ESZKÖZZEL



Érzékelő válaszjele toluol (szerves oldószer) gőzben nitrogén vívógázban. Fent: referencia (IR spektrofotométer, lent: érzékelő frekvencia csökkenése.

36

36

## GÁZÉRZÉKELŐ TÍPUSOK ÖSSZEHA-SONLÍTÁSA

Ón-dioxid (SnO<sub>2</sub>), TGS

Általában jó az érzékenysége az éghető/robbanó (redukáló) gázokra, tipikus mérési tartományok 5 - 500 ppm. Ez a tartomány megfelel a legtöbb alkalmazási igénynek, pl. a hazai előírások szénmonoxid (CO) esetén 20 mg/m<sup>3</sup> (kb. 20 ppm) értékben limitálják a munkahelyen (egy műszak, max. 8 óra) megengedhető maximális koncentrációt. Vagy pl. 0,1 térfogat % propán levegőben (1000 ppm, ez az alsó robbanási határ kb. 1/20-ada) kb. 20-szoros ellenálláscsökkenést okoz. Árak alacsony (tömeggyártás, kereskedelmi forgalom). Kéntartalmú gázok problémát okozhatnak, mivel irreverzibilisen megkötődnek.

37

## GÁZÉRZÉKELŐ TÍPUSOK ÖSSZEHA-SONLÍTÁSA

QMB + polimer bevonat

A szenzor válasza lineáris, dinamikus tartomány nagy. Nem (nagyon) függ a hőmérséklettől. Érzékenysége igen jó, a fenti képletekből is becsülhető néhány nanogramm/cm<sup>2</sup>. Ez pl. adszorbeált víz esetén egy atom réteget, vagy akár annak törtrészét jelentheti. Az abszorbens réteggel "hangolható" adott gázra. Pl. SiO<sub>x</sub> abszorbens réteggel nedvességérzékelésre, palládium (Pd) bevonattal hidrogénérzékelésre használható. Az eszköz elkészítése MEMS processzállást igényel. A szükséges elektronika viszonylag bonyolult. Működési frekvenciatartomány 5 - 15 MHz.

38

38

## GÁZÉRZÉKELŐ TÍPUSOK ÖSSZEHA-SONLÍTÁSA

AFH eszköz + adszorbeáló bevonat

Működési frekvenciatartomány 100 MHz - 1 GHz. Előnye, hogy felületi effektuson alapul, planáris kialakítás és a félvezetőknél szokásos planáris technológia (pl. fotolitográfia) alkalmazható. Tömeggyártás, olcsóbb, mint a QMB. Hátrány, a nagy felület/térfogat arány, emiatt zajosabb (az elektronikus zajok nagyrészt felületi eredetűek). A szükséges elektronika bonyolult.

39

39

## PELLISZTOR – KALORIMETRIKUS GÁZÉRZÉKLÉS

Pellistors operate with the calorimetric transduction principle by detecting the generated heat in exothermic catalytic oxidation or the heat loss of the device due to the heat conduction in the ambient gas, respectively.

Pellistors measure gas concentrations up to several volume percent, without a significant effect of relative humidity on the response. Their operation conditions are, however, determined by strict safety limitations like the LEL.

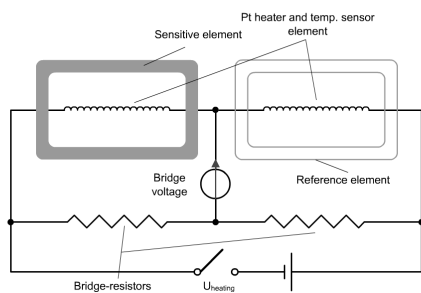
In the pellistor design, the risk of ignition in case of malfunctioning can be minimized by the reduction of its power consumption, and by an appropriate driver electronics.

Pellistors, however, inherently provide false reading when the stoichiometry of the catalytic process (oxidation) is not fulfilled. Therefore, even the optimal pellistor has to be used in combination with sensors of different transduction principle.

40

40

## KALORIMETRIKUS ÉRZÉKELŐK



Kalorimetrikus érzékelők elvi felépítése.

41

41

## 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.

42

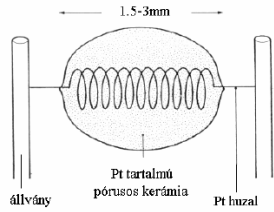
42

## PELLISZTOR

Pelliszor: éghető gázok katalizált oxidációja során felszabaduló hő mérése

Katalizátorok:  
Pt fémek VIII/2:  
Rh (d8s1),  
Ir (d7s2),  
Pd (d10),  
Pt (d8s2)

O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, szénhidrogén kemizorpció,  
magas T - instabil felületi oxidok



43

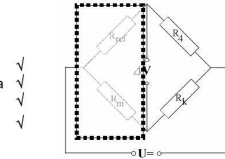
43

## PELLISZTOR

Jelátalakítás: katalizátorral borított fűtőszál - T függő - ellenállásának mérése → TCR, Pt

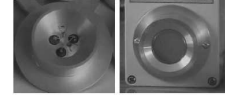
Hőmérséklet változás okai:

- kémiai reakció ✓
- közeg hőmérsékletének változása ✓
- gázösszetétel változás ✓
- áramlás ✓

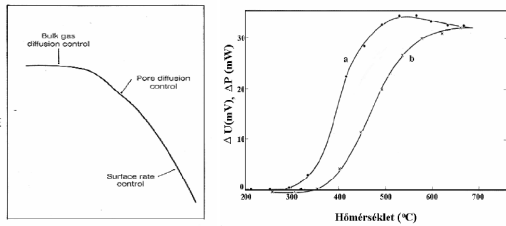


Wheatstone-híd: mérő (aktív), referencia elem, kompenzátor,  $\Delta V \propto p_{red}$

Diffúziós fej: mérőelemek terében csak diffúzió



## ÉRZÉKELŐ KARAKTERISZTIKÁJA



Diffúziós fejjel ellátott Wheatstone-hidas pellisztor válaszele 1% metánt tartalmazó szintetikus levegőben.

1/T vs. ln v

Állandó feszültségen (a) és állandó teljesítménynél (b).



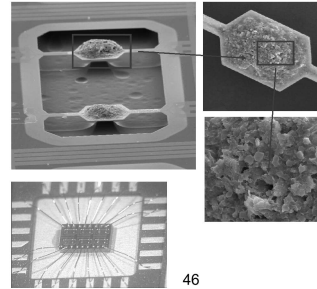
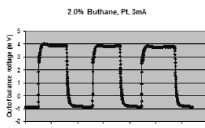
## Pellistor (EU FP5, "SAFEGAS")

Heterogen catalysis, exotherm reaction (elevated T)

- measuring of the generated heat (T) (Wheatstone-bridge)

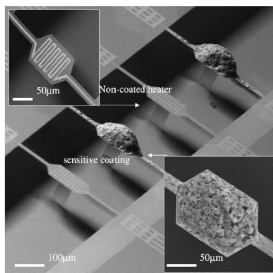
Requirements

- reduced heat dissipation
  - sensitivity from 20% LEL
  - methane, propane-butane, hexane
  - explosion proof operation
- Test-chip:  
- array of 6  
- chip size: 2x3 mm<sup>2</sup>



46

## Si MEMS PELLISZTOR



SEM views of the suspended hotplates with deposited porous matrix activated by Pt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + kaolin). The reference element is similarly coated by chemically passive porous matrix

47

47

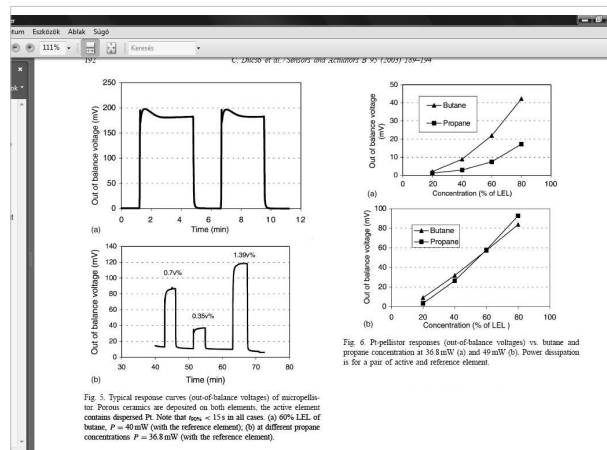


Fig. 5. Typical response curves (out-of-balance voltages) of macropellisstor. Porous ceramics are deposited on both elements, the active element contains dispersed Pt. Note that  $\tau_{90\%}$  = 15 s in all cases. (a) 60% LEL of butane,  $P = 40 \text{ mW}$  (with the reference element), (b) at different propane concentrations  $P = 36.8 \text{ mW}$  (with the reference element).

Fig. 6. Pipellistor responses (out-of-balance voltages) vs. butane and propane concentration at 36.8mW (a) and 49.4mW (b). Power dissipation is for a pair of active and reference element.



## OPTIKAI SPEKTROSKÓPIAI MÓDSZEREK

A legtöbb gáz rendelkezik jellegzetes elnyelési sávokkal a közeli infravörös (NIR, 1100-1700 nm), és/illetve a közepes infravörös (MIR, 1500-4500 nm).

Egyszerű mérés/érzékelés valósítható meg megfelelő hullámhosszúságú fényt kibocsátó fénydiódával (LED) vagy lézerdíóddal (LD).

A módszer különböző gázok illetve gőzök kimutatására alkalmas, a megfelelő elnyelési sávoknál elvégzett méréssel.

49 49

## AZ INFRAVÖRÖS SPEKTRUM ÉS AZ ÉRZÉKELÉSRE ALKALMAS FÉLVEZETŐK

Hullámsáv	Hullámhossz	Detektor
Near-infrared (NIR) (IR-A DIN)	0,75-1,4 $\mu\text{m}$	Si
Short-wave IR (SWIR) (IR-B DIN)	1,4-3 $\mu\text{m}$ (ezen belül 1530-1560 nm, nagy távolságú optikai átvitel)	InGaAs
Mid-wave IR (MWIR) (IR-C DIN)	3-8 $\mu\text{m}$	InSb, HgCdTe, PbSe
Long-wave IR (LWIR) (IR-C DIN)	8-15 $\mu\text{m}$	HgCdTe
Far-infrared (FIR)	15-1000 $\mu\text{m}$	adalékolt Si, Ge

50 50

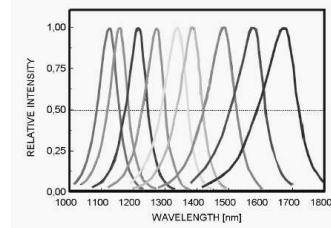
## FÉNYFORRÁSOK

Félvezető	Hullámhossz (nm)
GaAs LED, LD	830
InGaAsP/InP LED, LD	1100 - 1700
InGaAsSb/GaSb LED	1700 - 2400

51 51

## InGaAsP/InP LED

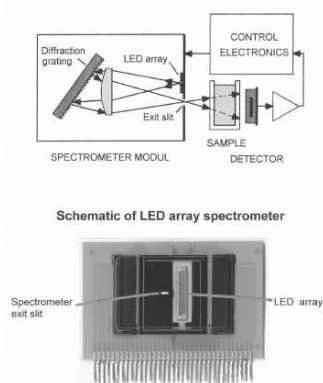
Emission wavelength tailoring by bandgap engineering in compound semiconductor diodes



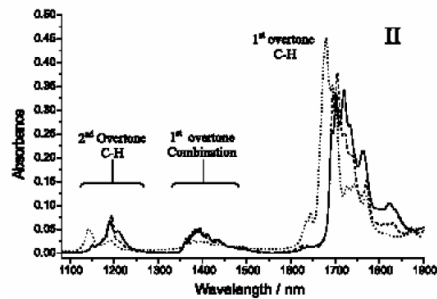
9-diode LED set covering emission in 1.1 to 1.8  $\mu\text{m}$  range

52 52

## LED-array spektrométer



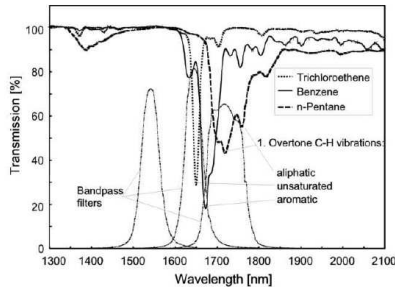
## ABSZORPCIÓS SÁVOK



A szénhidrogének abszorpciós sávjai a közeli infravörös tartományban

54 54

## ABSZORPCIÓS SÁVOK



Alifás, aromás és telítetlen szénhidrogének jellemző elnyelési sávjai az 1700 nm körüli hullámhossztartományban

55

## ALKALAMZÁSOK

### Alkalmazások

Gáz spektroszkópia (víz, szénhidrogének, ammónia, CO, CO<sub>2</sub>, foto-akusztikus, NIR abszorpció  
Élelmiszerek, termények összetétele  
víz, szénhidrát, olaj, fehérje, alkohol  
Orvosi alkalmazások  
oxigén, vércukor, karbamid  
Műanyagok azonosítása

56

56

## MIR KÖZEPES INFRAVÖRÖS HULLÁMHOSSZAK

High power LEDs and photodiodes at the spectral range of 1.6–4.6  $\mu\text{m}$  are very promising devices for the different applications such as medical diagnostics (noninvasive method for measuring glucose in blood) environment monitoring (measuring contents of oil in water, measuring contents of water in oil) and so on.

A number of such relevant gases as H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HF and others have strong fundamental absorption lines in the mid-infrared spectral range that are 50-500 times stronger in comparison with near-infrared overtone bands at shorter wavelength.

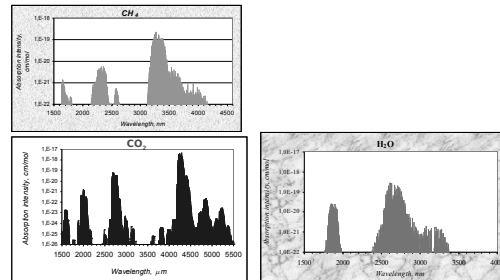
Therefore such mid-Infrared LEDs and PDs can be used for creation of optical low power consumption portable gas analyzers.

57

57

## Absorption bands of gases in the range 1.6-5.0 $\mu\text{m}$

In Mid Infrared spectral range 1600-5000 nm lies strong absorption bands of such important gases and liquids as CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CH<sub>3</sub>Cl, HCl, HOCl, HBr, H<sub>2</sub>S, HCN, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, glucose and many others.



## MIR LED ÉS DETEKTOR DIÓDÁK

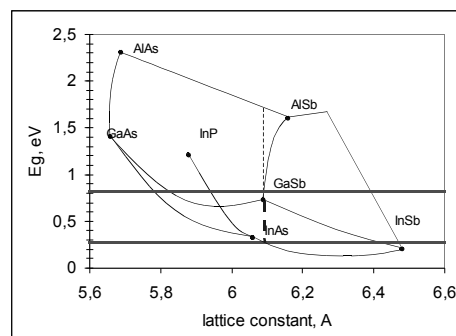
Narrow band gap solid solutions based on III-V compounds (GaSb-InAs, GaSb-AlSb) are an attractive material for use in light emitting diodes (LED) operating at the spectral range 1.6-4.6  $\mu\text{m}$ .

Energy band gap for this spectral range changes at the interval from 0.7 up to 0.5 eV that allows to use simple bulk double heterostructure for LEDs and PDs operating in room temperature.

59

59

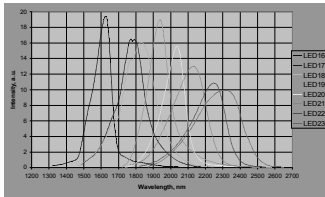
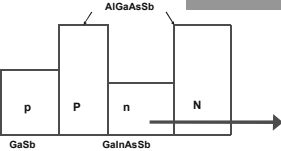
## Materials for Mid Infrared LED



60

### LED Structure for the Spectral Range 1.6-2.4 mm

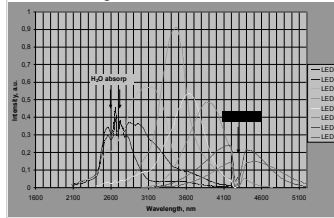
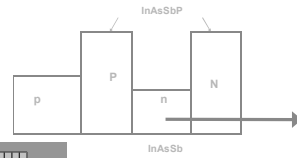
Lattice-matched to GaSb substrate LED structures. Energy band diagram of the structures for spectral ranges 1.65÷2.35 mm is schematized here.



61

### LED Structure for the Spectral Range 2.7-5.0 μm

Light Emitting Diodes for the spectral range 2.7-5.0 mm are based on InAs substrates. Quaternary solid solutions InAsSbP, lattice-matched to InAs substrate are used in active layer for the range 2.7-3.3 mm.



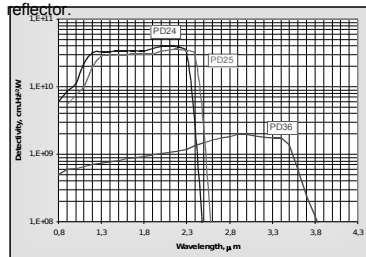
Ternary solid solutions InAsSb are used for covering the spectral range 3.6-5.0 mm.

62

### Mid Infrared Photodiodes

MIR photodiodes are based on heterostructures with wide band-gap window. PD24 and PD25 models are based on GaInAsSb/GaAlAsSb structure, PD36 is based on InAs/InAsSbP structure, with thermocooler inside and can be equipped with the parabolic reflector.

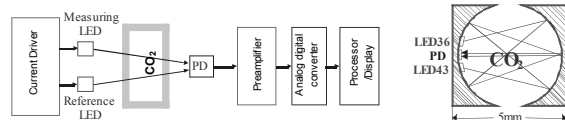
Here are presented curves of detectivity vs wavelength at room temperature. With decreasing temperature (using thermo-electric cooler) detectivity increases and cut-off wavelength shifts to shorter wavelengths.



### Application of MIR LED and PD in Gas Sensors

Optical sensors are the only ones, which are truly gas specific. But up to now wide application of portable gas sensors is limited by imperfections of incandescent lamp IR with filters. They have poor spectral efficiency, low operation speed, large sensor size because of complicated optical scheme and high heat dissipation.

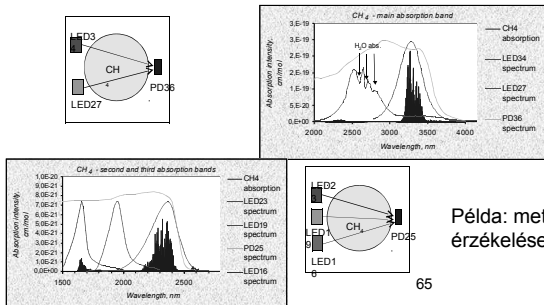
NEW mid infrared sources for gas sensors- Mid-IR LEDs cover all spectral range 1.6-5.0 mm. This light source is much smaller, high speed, with low power consumption and don't need filters.



64

### Light Emitting Diodes and Detectors for CH<sub>4</sub> Sensors

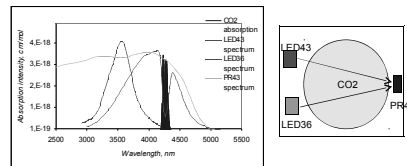
Methane has main absorption band in the range 3200-3400 nm. Other not so strong absorption bands that can be used for measuring are placed around 2300 nm and 1650 nm.



65

Példa: metán érzékelése

### Light Emitting Diodes and Detectors for CO<sub>2</sub> Sensors



Példa: széndioxid érzékelése

Carbon dioxide has very strong absorption band in the range 4200-4320 nm. Other not so strong absorption bands that can be used are placed around 2700 nm and 2000 nm.

66