

# Mikroelektronikai technológiákkal megvalósítható érzékelők

DR. LIGETI RÓBERTNÉ  
DR. KOLTAI MÁRTA  
Mikroelektronikai Vállalat



## OSSZEFOGLALÁS

A cikk áttekintést ad a félvezető, vastag-, ill. vékonyréteg technológiai alapon a MEV-ben kifejlesztett és már gyártásban lévő opto-, piezorezisztív-, hő-, és gázérzékelő elemekről, valamint a fejlesztési célkitűzésekről.

## Bevezetés

A mikroprocesszorok térhódításával az elektronika egy sor új területre vonult be, nagymértékben hozzájárult az elektronikus szabályzás elterjedéséhez, egyúttal erőteljesen megnövelte a korszerű érzékelők iránti igényt. 1986-ban az USA évi mérőátalakító értékesítése optoérzékelők nélkül közel 1,1 Md \$, optoérzékelőkkel együtt 1,3 Md \$ volt [1]. Ez megközelíti a diszkrét félvezetők értékesítését és a félvezető alapú integrált áramköri forgalom 14%-át teszi ki. 1986-ban, 85-höz képest 11%-os növekedés következett be, illetve 87-re 11%-ot prognosztizálnak. 1984–85 között igen jelentős ugrás mutatkozott, az érzékelők értékesítésének növekedése 50% volt [1, 2].

Ezek az adatok áramlás- folyadékszint-, elmozdulás-, nyomás-, hőmérséklet- (kivéve termopár és termisztor), valamint rezgés-érzékelőkre vonatkoznak. A mérőátalakítók összértékének 42–43%-át a nyomásérzékelők teszik ki, a legdinamikusabb, évi 15% növekedés mellett.

A kémiai érzékelők területéről példaként említjük a japán Figaro Eng. Inc.-t, mely 1968-ban hozta forgalomba gázszivárgás érzékelőit, azóta ezekből 12 millió darabot értékesített, jelenlegi éves gyártása 4,5 millió darab. A felhasználók, gyártók, fejlesztők célkitűzése egységesen: olcsó, pontos, specifikus, megbízható, karbantartást nem igénylő, kisméretű, könnyű, mikroprocesszoros-kompatibilis érzékelő. Ugyancsak fontos szempont az intelligens, a multifunkcionális, jelfeldolgozással könnyen illeszthető érzékelők megvalósításának lehetősége, tömeggyártásra alkalmas technológiai bázison. Ez utóbbi az egyre nagyobb mennyiségi igények viszonylag nem túl költséges kielégítése miatt szükséges.

Mindezen szempontok alapján a szenzorgyártás kulcstechnológiáinak [3] az alábbiakat tekintjük:

- szilícium technológia (félvezető alapú IC technológiák)
- vékonyréteg technológia
- vastagréteg technológia
- fólia technológia

Beérkezett: 1987. I. 16.

DR. LIGETI  
RÓBERTNÉ

Tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Vegyész Szakán végezte 1966-ban. Azóta

a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben, ill. a Mikroelektronikai Vállalatnál dolgozik. Jelenleg az Egyedi Eszköz Főosztály (korábbi nevén Érzékelő Fejlesztési Főosztály) vezetője.

- szinter technológia
- üvegszálás technológia.

A megfelelő technológia kiválasztását általában az érzékelési feladat, a megkívánt érzékelő tulajdonságok, a szükséges beruházás, gyártás költsége, valamint a várható gyártási mennyiségek szabják meg [3].

A Mikroelektronikai Vállalatnál a szilícium, továbbá a vastag- és vékonyréteg technológia áramköri, illetve diszkrét eszközök céljára hosszú évek óta művelt technológiák. Ezek kellő alapot szolgáltatottak a később elindított szenzorfejlesztési programhoz, egyúttal meghatározták a fejlesztendő irányokat is.

Az alábbiakban rövid áttekintést adunk a legelterjedtebben alkalmazott érzékelő típusokról, a Mikroelektronikai Vállalatnál gyártott, fejlesztés alatt álló, illetve fejlesztési célkitűzésben szereplő érzékelőkről.

## 1. Főbb érzékelő típusok:

Az alábbiakban csak a leggyakrabban mért fizikai, kémiai alapparaméterekről és mérési elvekről adunk vázlatos ismertetést, hiszen ezek részletes tárgyalása jóval meghaladja egy cikk lehetőségeit. A leggyakrabban mért mennyiségek:

- hőmérséklet
- mechanikai jellegű mennyiségek (nyomás, erő, gyorsulás, rezgés stb.)
- optikai jellegű mennyiségek (fényerősség, szín stb.)
- geometriai jellegű mennyiségek (lineáris méretek, szögértékek stb.)
- kémiai jellegű mennyiségek (gázösszetétel, pH-érték stb.)

## Hőmérséklet érzékelők

A legelterjedtebben alkalmazott érzékelők. Az alkalmazott mérési elv is igen változatos:

- fémellenállás hőfokfüggése
- félvezető ellenállás hőfokfüggése



DR. KOLTAI MÁRTA

1968-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen ve-

gyésmérnöki, majd 1981-ben korróziós szakmérnöki diplomát szerzett. 1958 óta a HIKI, majd jogutódja a Mikroelektronikai Vállalat dolgozója. Fő munkaterülete a hibrid integrált áramkörök területén a vékonyrétegekkel kapcsolatos kutatás, fejlesztés és gyártás, valamint a vastag- és vékonyrétegtechnológiákkal megvalósítható érzékelők fejlesztése. Műszaki doktori értekezésének témája a porlasztott vékonyrétegek különböző villamos és anyagszerkezeti összefüggéseinek vizsgálata volt.

- termisztorok (hőfokfüggő félvezető, fém-oxidok, vegyületek)
- félvezető terjedési ellenállás hőfokfüggése
- infrásugárzásra érzékeny ötvözetek ellenállás változása
- infrásugárzásra érzékeny p—n átmenet karakterisztika változása
- félvezető p—n átmenet hőfokfüggése/dióda, tranzisztor)
- termoelektromos effektus
- piroelektromos effektus
- piezoelektromos effektus hőfokfüggése
- fénymoduláció üvegszállal

Emellett adott hőfokon történő kapcsolásra alkalmasak a szigetelő-vezető átmenetnél éles vezetőképesség-ugrással jelző eszközök [4], csak detektálásra pedig a folyadékkristályos hőmérők.

A felsorolt eszközfeleségek mindegyike megvalósítható a mikroelektronikai technológiák (félvezető, vastag-, vékonyréteg) valamelyikével.

Vállalatunknál a fémréteggellenállás, a terjedési ellenállás, a p-n átmenet hőfokfüggésén alapuló, illetve infrásugárzásra érzékeny félvezető hőérző-ekelők fejlesztésével és gyártásával foglalkozunk. E négyféle érzékelővel várhatóan a  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ...  $1000-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra terjedő sáv lesz lefedhető.

#### Elektromechanikus átalakítók

Az érzékelők érték szerinti piaci forgalmának mintegy 40%-át az elektromechanikus érzékelők-höz tartozó nyomásérzékelők teszik ki. Az elektromechanikus érzékelők mindegyikében tulajdonképpen erő hatására deformáció és mechanikai feszültség ébred, melynek hatására

- elektromos ellenállás—,
- feszültség—,
- kapacitás—,
- mágneses anizotropia—,
- p-n átmenet karakterisztika—,
- drain-source áramváltozás
- fénymoduláció következik be.

Ennek megfelelően

- piezorezisztív,
- piezoelektromos,
- kapacitív,
- magnetostriktív,

- deformáció érzékeny p—n átmenetűfélvezető
- MOSFET,
- üvegszálas érzékelőről beszélünk.

A felsorolt típusok mindegyike előállítható félvezető és/vagy vékony, illetve vastagréteg technológiával. Vállalatunknál a félvezető alapú piezorezisztív érzékelő és nyúlásmérő bélyeg fejlesztése és kísérleti gyártása folyik.

#### Optikai érzékelők

A fényintenzitás és hullámhossz mérésére a korszerű technológiákon alapuló eszközök közül gyakorlatilag csak a félvezetők terjedtek el. Legfontosabb alaptípusok a fényelemek, fotodiódák, fototranzisztorok, illetve félvezető ellenállások. Az üvegszálas érzékelők tekintélyes hányadánál is a tényleges érzékelési funkciót ezek az eszközök látják el [5]. Az utóbbi években rohamosan terjedtek az alak-, képfelismerő érzékelők, a CCD eszközök. Igen nagy jelentőségük van az automatizálás, robotika területén.

Vállalatunknál fényelemek, fototranzisztorok gyártása folyik, illetve színérzékelők kifejlesztése van folyamatban.

#### Geometriai mennyiségek érzékelői

Az automatizálás és robotika igen jelentős igényeket támasztott az elmozdulást, elfordulást, helyzetet, fordulatszámot, hosszt, sebességet, forgási sebességet érzékelő eszközök irányában.

E feladatokra elterjedten alkalmazzák a

- kódadókat (szög és lineáris),
- félvezető alapú analóg helyzetérzékelőket,
- ultrahang,
- mágneses,
- potenciometrikus és
- üvegszálas érzékelőket.

Vállalatunk ezek közül inkrementális kódadó és analóg helyzetérzékelő fejlesztésével, illetve mágneses elvű közelítés érzékelő gyártásával foglalkozik.

#### Kémiai érzékelők

Ezen érzékelőknek különös jelentősége van a környezetvédelmi, biztonságtechnikai, energiatakarékos feladatok megoldásában. A korszerű technológia és tudomány ugyancsak igényli a kémiai környezet komponenseinek gyors és pontos meghatározását. Az utóbbi területen ma még a hagyományos analitikai eszközök uralják a piacot, azonban világszerte intenzív kutatómunka folyik a különböző, már forgalomban lévő érzékelők szelektivitásának, érzékenységének, öregedési tulajdonságainak javítására, valamint új anyagok, eljárások kidolgozására [6].

A kémiai érzékelők családjába tartoznak:

- gáz-,
- nedvesség-,
- ionszelektív-,
- bio-érzékelők.

A mikroelektronikai technológiákkal megvalósítható érzékelő elem általában különleges tulajdonságokkal rendelkező passzív vagy aktív elektronikai alkatrész, pl. ellenállás, kondenzátor, dióda, tranzisztor, de lehet pl. ionvezető szilárd elektrolytot tartalmazó Nernst cella is (szelektív oxigén érzékelő). A ma legelterjedtebben alkalmazott kémiai érzékelőkről — a gázérezékelőkről — kitűnő összefoglalót ad Kékedi [7]. A MEV a konduktometriás mérési elvű gázérezékelők kísérleti gyártását megkezdte, a kapacitív működési elvű nedvességérezékelő kísérleti gyártásának beindítása 1987 végére várható.

## 2. A MEV-ben gyártott, illetve fejlesztett érzékelők

### 2.1 Félvezető érzékelők

#### 2.1.1 Hőmérséklet érzékelők

##### *Terjedési ellenállás elven működő hőmérséklet-érzékelő*

Működése a Si egykristály ellenállásának hőfokfüggésén alapszik. Kis átmérőjű kontaktus körül homogén adalékolású szeleten létrejött vezetési tér „terjedési ellenállását” hasznosítja. Jelenleg kétféle kivitelben (TO—18 tokozásban és egy speciálisan szerelt kisméretű, gyorsabb válaszidejű változatban) áll rendelkezésre. Fejlesztés alatt áll SOT—32 tokozási formában szerelve is. (Ez egyszerű csavaros rögzítési lehetőséget és gyors válaszidőt biztosít.)

Az érzékelők 25 °C-on mórt alapértéke 1000 Ohm, hőmérsékleti együtthatója (TK) a hőmérséklet növekedésével növekszik. A szokásos TK kifejezés helyett megfelelőbb az alábbi formula [8]:

$$R_T = R_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^m$$

ahol  $R_T$  = ellenállásérték a mérendő hőfokon

$R_0$  = ellenállás értéke 298 K-en

$m$  értéke:  $2,21 \pm 0,03$

Ez a szórásérték azt jelenti, hogy hitelesített alapérték esetén a hőmérés hibája:

—15 °C-on	$\pm 0,6$ °C
0 °C-on	$\pm 0,3$ °C
50 °C-on	$\pm 0,3$ °C
100 °C-on	$\pm 1,0$ °C

Ismert  $m$  érték mellett a hőérezékelő tized °C pontosságú mérésre is alkalmas.

##### *P-n átmenet hőfokfüggésén alapuló hőmérséklet érzékelő*

A hőmérsékletérezékelő állandó kollektoráram mellett az  $U_{BE}$  hőfokfüggését hasznosítja. A hőérezékelő  $\pm 0,5\%$  linearitású, —50...125 °C működési hőmérséklettartományban használható eszköz. Csereszabatoságát egy sorbakötött, egyedileg beállított vastagréteg ellenállás biztosítja.

### 2.1.2 Piezorezisztív elven működő érzékelők

Működésük azon alapszik, hogy a szilícium egykristály membránján diffúzióval létrehozott ellenállások fajlagos értéke mechanikai feszültség hatására megváltozik. A mechanikai feszültséget okozhatja nyomás, erő, illetve  $M$  tömegre ható gyorsulás. Eszerint nyomás, erő-, súly-, illetve gyorsulásérezékelőkről beszélünk.

#### *Nyomásérezékelők*

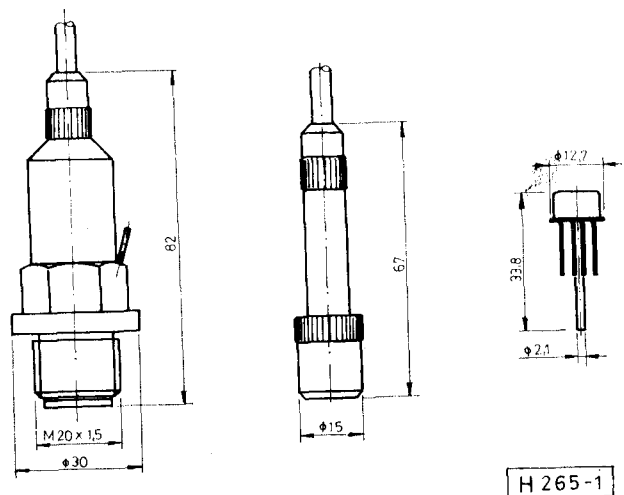
A nyomást olyan szilícium membrán érzékeli, melyen az ellenállások Wheatstone híd elrendezésben helyezkednek el. A membrán elvékonyított felülete és az ellenállások egymáshoz viszonyított elrendezése nagy nyomásérzékenységet és jó linearitást biztosít. A szelettechnológia a p—n átmenetek adott mélységével és megfelelő profil kialakításával biztosítja a viszonylag alacsony hőfokfüggést, mely külső kompenzáló tagok segítségével jobb, mint  $\pm 0,1\%$  FSO/°C és eléri a  $0,02\%$  FSO/°C-t.

A nyomásérezékelők működési hőfoktartománya —50...+80 °C, kompenzált hőfoktartománya —50...+60 °C [9, 10].

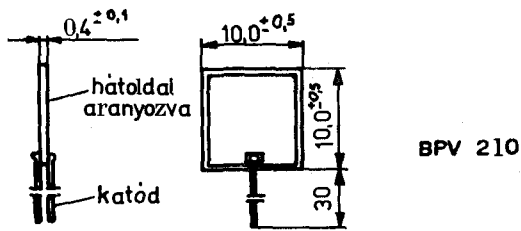
Fejlesztés, illetve továbbfejlesztés alatt állnak az 1. sz. ábrán látható kiviteli formákban. Felhasználási területük: folyadékok és gázok nyomásának és nyomáskülönbségének érzékelése mellett egyéb jellemzők, pl. áramló mennyiségek mérése. Az átfogott nyomástartomány: 1...400 bar.

#### *Gyorsulásérezékelők*

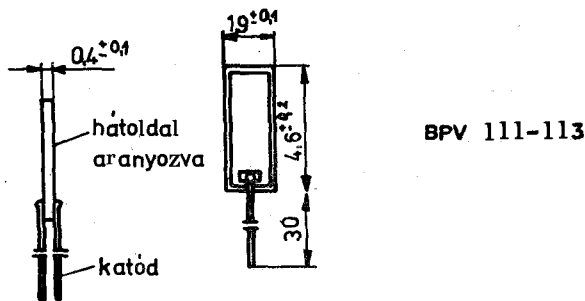
Működésük azon alapszik, hogy a Si membránra rögzített határozott értékű tömegre ható gyorsulással arányos erő mechanikai feszültséget ébreszt a Si membránban. Egytengelyű változatot fejlesztünk ki, 1—500 g tartományban alkalmasak gyorsulás érzékelésre. Rezonancia frekvenciájuk (néhány kHz a tokozási változattól függően) 20 százalékáig gyakorlatilag frekvenciafüggetlenek, a gyorsulás értékének növekedtével lineárisan növekvő jelet adnak ki.



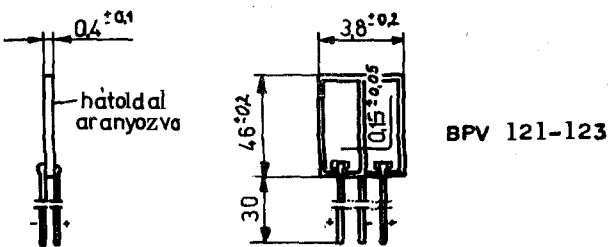
1. ábra. Nyomásérezékelő tokozási formák



BPV 210



BPV 111-113



BPV 121-123

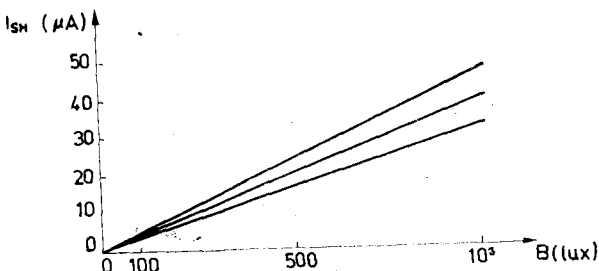
H 265-2

2. ábra. Fényelemek

### 2.1.3 Optoérzékelők

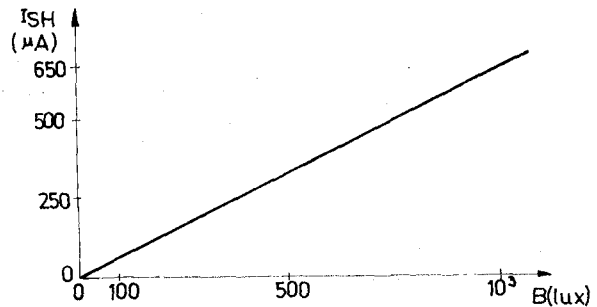
#### Fényelemek

Működésük azon alapszik, hogy a p—n átmenet-höz érkező fotonok (amennyiben energiájuk nagyobb, mint a Si tiltott sáv szélessége) elektron—lyuk párt gerjesztenek. A keletkezett töltéshordozók a kiürített réteg két oldalán összegyűlnek. Így a p—n átmeneten feszültség mérhető, illetve az áramkört zárva fotoáram indul meg. Rövid-



H 265-3

3. ábra. Kisfelületű fényelem rövidzárási árama a megvilágítás függvényében



H 265-4

4. ábra. Nagyfelületű fényelem rövidzárási árama a megvilágítás függvényében

zárban az áram (rövidzárási áram) nagysága adott megvilágítás esetén a felülettel arányos, adott felületű fényelem esetén pedig a megvilágítás intenzitásával áll egyenes arányban. A 3. sz. ábra kisfelületű (7 mm<sup>2</sup>), a 4. sz. ábra nagyfelületű (100 mm<sup>2</sup>) fényelem rövidzárási áramát ábrázolja a megvilágítás függvényében. Üresjárású feszültségük 260—280 mV. A fényelemek érzékenységi spektruma 420—1020 nm közé esik (a max. érzékenység hullámhossza kb. 850 nm), így jól illeszkednek a GaAs alapú fénykibocsátó eszközök-höz. Működési frekvenciahatáruk üresjárású üzemmódban: 10 kHz.

rövidzárási üzemmódban: 100 kHz.

A fényelemek felhasználási területei: helyzet-, elmozdulásérzékelés, kis fényintenzitások érzékelése. A robottechnikában elterjedten alkalmazzák kódtárcsa elfordulásának érzékelésére.

#### Fototranzisztorok

A BPT 131 típus a TEXAS TIL 99, illetve a Telefunken BPT 13 típusának, a BPT 141 típus a TEXAS TIL 81, ill. a Telefunken BPT 14 fototranzisztorának felel meg.

Mindkét fototranzisztor azonos chip, TO—18 típusú tokba szerelve. A BPT 131 síküveggel, a BPT 141 üveglencsés sapkával van ellátva, melynek fókuszusa a chip felületére esik. Ennek megfelelően érzékenysége jóval nagyobb, mintegy négyszerese a BPT 131-hez viszonyítva.

A BPT 131 optikai látószöge ±45°, a BPT 141 optikai látószöge ±15°.

Spektrális érzékenységük a fényelemekhez hasonlóan jól illeszkedik a GaAs fénykibocsátó diódákhoz. Működési frekvenciájuk fototranzisztorként kapcsolva: kb. 100 kHz, fotodiódaként kapcsolva: kb. 2 MHz. Felhasználási területük: lyukszalag és lyukkártya olvasókban, sebesség és fordulatszám mérőkben, infratávkapcsolóérzékelőjeként stb. [11].

#### Színérzékelő

Fejlesztés alatt álló érzékelő. Működése azon alapszik, hogy a fény behatolási mélysége a szilíciumban erősen hullámhossz függő, így adott

p—n átmenet-mélységek adott hullámhossztartomány érzékelését teszik lehetővé. Kétféle változat kifejlesztését tervezzük, egyrészt a látható hullámhossz<sup>1</sup> tartományra, másrészt magas hőmérsékleten (színhőmérsékletek) mérésére.

## 2.2 Vékonyréteg érzékelő

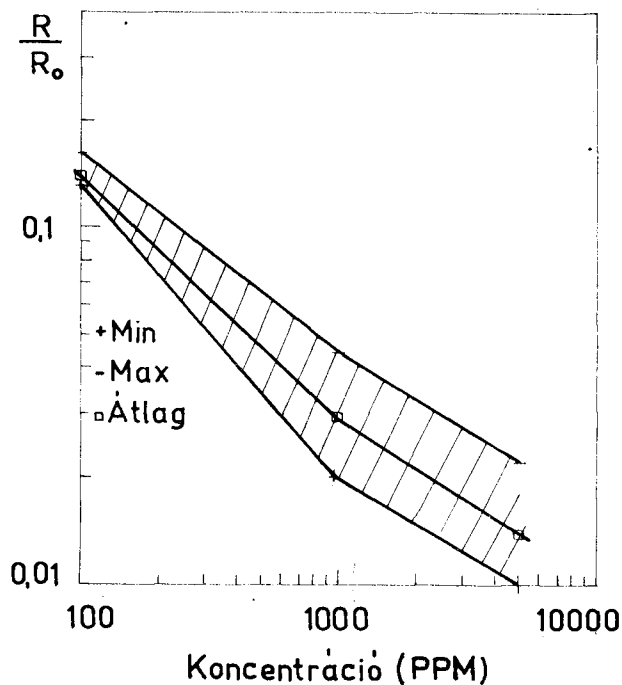
### 2.2.1 Platina ellenállás-hőérzékelő

Fejlesztés alatt álló érzékelő. A fejlesztés célja a Pt 100 hőérzékelő megvalósítása.

### 2.3 Vastagréteg érzékelő

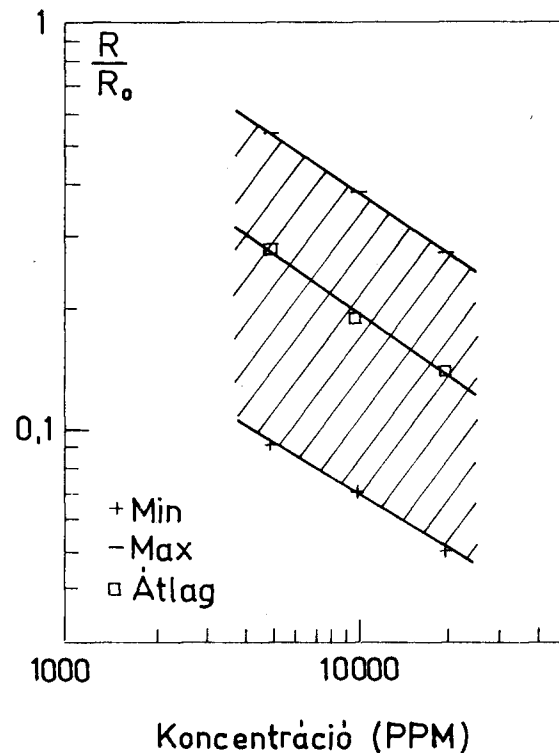
#### Gázérezékelő

Félvezető oxid alapanyagból készül vastagréteg technológiával. Működése felületi adszorpció-deszorpció következtében előálló vezetőképesség változáson alapul. Lényegében olyan ellenállás, amelynek a vezetőképessége nagymértékben megnövekszik a tiszta levegőn mért értékhez képest redukáló, illetve éghető gázok, vagy szerves oldószer-gőzök jelenlétében. Az 5. sz. ábra a HSGM-01 típusjelű érzékelő jelleggörbéjét mutatja etilalkohol jelenlétében, a HSGM—05 jelleggörbéje butánra a 6. sz. ábrán látható. A jelleggörbék a relatív ellenállásváltozást adják meg a koncentráció függvényében. A viszonylag gyors beállási idő érdekében (adszorpció-deszorpció folyamatok sebességének növelése) az érzékelőt 200—300 °C-on kell üzemeltetni. Ezt az érzékelő-fejbe épített speciális ellenállásfűtés biztosítja. A TO—8-as tokban elhelyezett érzékelő kiviteli formáját a



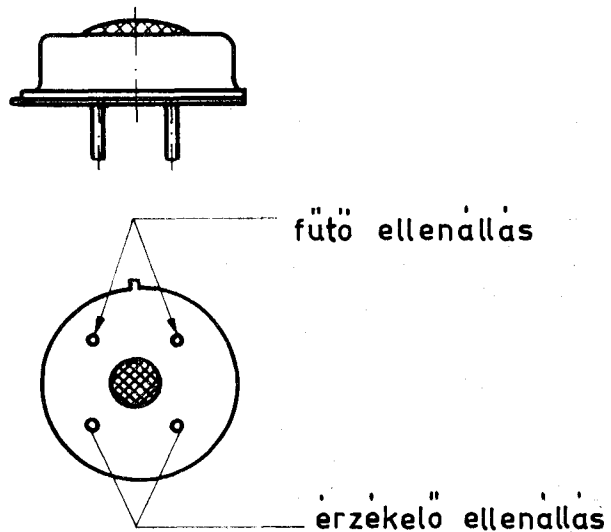
H 265-5

5. ábra. HSGM—01 típusú érzékelő jelleggörbéje etilalkohol jelenlétében



H 265-6

6. ábra. A HSGM—05 típusú érzékelő jelleggörbéje bután jelenlétében



H 265-7

7. ábra. HSGM típusú gázérezékelő

7. sz. ábra mutatja. Az érzékelő fej négy kivezéssel rendelkezik, melyekből kettő az érzékelő ellenálláshoz, kettő a fűtőellenálláshoz tartozik. Jellemző adatok:

Fűtőfeszültség:	5 V
Felfűtési idő:	2 perc
Beállási idő:	1—5 sec.
Visszaállási idő:	1—5 perc
Állandósulási idő:	7 nap

Az oxidérzékelők szelektivitása csekély, ezért laboratóriumi és gázanalitikai mérésekre nem ajánlható. Kiválóan alkalmas azonban gázszivárgás detektálására, alkoholszondaként, automatikus szellőztetésszabályozásra oldószerekkel dolgozó üzemekben, valamint füstérzékelőként tűzjelzésre.

A gázérzékelők szelektivitásának növelése, illetve szelektív gázérzékelők kifejlesztése a MEV fejlesztési célkitűzése. Ezen érzékelők működési elve eltér az előbbieken vázoltakhoz képest. A potenciometrikus elven működő, ionvezető szilárd elektrolitot tartalmazó szelektív oxigénérzékelő fejlesztési munkái 1986-ban megkezdődtek, a kísérleti gyártás beindítása 1988-ra várható.

A MEV fejleszti az érzékelőkhöz szükséges elektronikát is, részint műszerkivitelben, részint folyamatszabályozásra alkalmas jeladó formában.

Ezek első típusa — az elektronikus alkoholszonda — kísérleti gyártási termékként már kapható.

## IRODALOM

- [1] Electronics, Jan. 1987. p. 51.
- [2] Electronics, Jan. 1986. p. 40.
- [3] *G. Tschulena, M. Selders*, Key Technologies for Sensor Manufacture. Conf. Proc. of Sensors' 82. 1982
- [4] *D. K. Pondya*: Thin Solid Films. Sept. 1978. p. 81.
- [5] *B. E. Jones*: Optical Point Sensors Using Incoherent Light and Multimode Fibre Links, Conf. Proc. of Capteurs 84 Paris p. 150.
- [6] Proc. 2nd International Meeting on Chemical Sensors July 7—10 1986. Bordeaux, France.
- [7] *Kékedi L.*: A kémia újabb eredményei 56. Gázszenzorok Akadémiai Kiadó Budapest, 1983.
- [8] *Dr. Pásztor Gy., Berkecz J., Forrai M.*: Szilícium ellenállás hőmérő. Magyar Elektronika II. 4. sz. 1985. 24—27 old.
- [9] *I. Bársony, E. Hahn*: Silicon pressure transducers 1982. Kecskemét, Mikroelektronikai Konferencia.
- [10] *I. Bársony, Gy. Erlaky, E. Hahn*: Herstellung von Sensoren durch mikroelektronische Technologie ERAM'83, Lipcse 1983. nov.
- [11] Texas Optoelektronikai receptek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.