

ÉRZÉKELŐK I

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

9. ELŐADÁS: MECHANIKAI ÉRZÉKELŐK I: NYOMÁS ÉS ERŐÉRZÉKELŐK



2010/2011 tanév 2. félév 1 1

9. ELŐADÁS: MECHANIKAI ÉRZÉKELŐK I: NYOMÁS ÉS ERŐÉRZÉKELŐK

1. Mechanikai érzékelők
2. Piezorezisztív effektus félvezetőkben
3. Si alapú nyomásérzékelők

2 2

MECHANIKAI DEFORMÁCIÓ ÉRZÉKELÉS

Piezorezisztív hatás: fémeknél kisebb, félvezetőknél nagyobb mértékben megváltozik a vezetés alakváltozás (nyúlás) hatására.

Piezojunction effektus: a külső erő hatással van a pn átmenetek karakterisztikájára is.

A MOSFET-ek szaturációs árama nyomásfüggő.

Piezoelektromos hatás: néhány anyag polarizálódik külső mechanikus erő hatására. Gyakran használják mechanikus vagy akusztikus jelek elektromos jellé alakítására. Piezo-elektromos anyagok pl: GaAs, GaP, ZnO, ZnS, ZnSe stb.

Kapacitásváltozás. 3 3

MECHANIKAI ÉRZÉKELŐK

Mechanikai mennyiségeket (erő, súly, tömeg, elmozdulás, gyorsulás, nyomás, áramlási sebesség, folyadék szint, sűrűség...) mérnek.

A mérés közvetlenül a szenzor paramétereire gyakorolt hatáson keresztül történik, ez többnyire szintén mechanikai természetű.

Membrán → deformáció → jelátalakítás

Csoportosítás:

- A mérendő mennyiség szerint (pl. nyomásmérő, gyorsulásmérő)
- A jelátalakítás módszere szerint: optikai piezoelektromos piezorezisztív kapacitív 4

NYOMÁS MÉRTÉKEGYSÉGEK

A nyomás SI mértékegysége a Pascal (Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Gyakran használt egység (csak gázok és folyadékok nyomására) a bar (megfelel a normál légköri nyomásnak)

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$$

Blaise Pascal (1623-1662) francia matematikus, fizikus, filozófus 5 5

NYOMÁS MÉRTÉKEGYSÉGEK

$$1 \text{ bar} = \begin{aligned} &100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} \\ &1,02 \text{ kp/m}^2 = 1 \text{ at} \\ &\sim 760 \text{ Hgmm} \\ &10,2 \text{ mH}_2\text{O} \\ &14,502 \text{ psi} \end{aligned}$$

at - technikai atmoszféra
att, atü - technikai atmoszféra túlnyomás
psi - pounds per square inch (USA) 6 6

SZILÍCIUM ALAPÚ MECHANIKAI ÉRZÉKELŐK

Szilícium alapú mechanikai érzékelők előnyös tulajdonságai:

Jól definiált elektromos tulajdonságok mellett rendkívül jó mechanikai tulajdonságok

Jelentős méretcsökkentés lehetőségei

Tömeggyárthatóság

Integrálhatóság

7

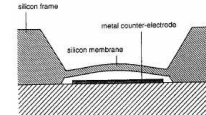
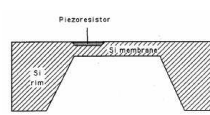
7

A SZENZOROK ÁLTALÁNOS FELÉPÍTÉSE

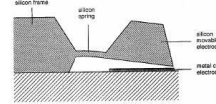
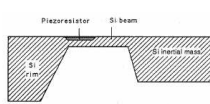
Piezorezisztív érzékelők

Kapacitív érzékelők

Membrán típusú szenzor:



Befogott tartó típusú szenzor:



8

PIEZOREZISZTÍV HATÁS

Elektromos ellenállás és mechanikai feszültség/deformáció kapcsolata

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta d}{d} - \frac{\Delta w}{w}$$

Ellenállásváltozás okai: méretváltozás, illetve a fajlagos ellenállás megváltozása.

9

9

PIEZOREZISZTÍV HATÁS

Piezorezisztívitás:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \Pi T$$

- T - mechanikai feszültség (másodrendű tenzor)
- Π - piezorezisztív együttható (negyedrendű tenzor)
- ρ - fajlagos ellenállás

Piezoelektromos jelenséggel összevetve óriási előny a statikus mérés lehetősége. Régen speciális fémötvezeteket használtak ma már szilícium. A Si kb. két nagyságrenddel nagyobb érzékenységet biztosít.

10

10

PIEZOREZISZTÍV ÁTALAKÍTÓK

A Si alapú piezorezisztív érzékelők előnyös tulajdonságai:

A fémekhez képest több mint egy nagyságrenddel nagyobb érzékenység

A Si kiváló mechanikai tulajdonságai

Az érzékelő/átalakító elem és a membrán egybe integrálható, így nincs hiszterézis és paraméter csúszás

A mechanikai deformáció tökéletesen átadódik a membránból az átalakító elembe

Az érzékelő ellenállások közvetlenül a deformálódó (meghajló vagy csavarodó) elem legfelső rétegében helyezkednek el, ott ahol a keletkezett mechanikai feszültség a legnagyobb

Az ellenállások értéke pontosan beállítható, ez a Wheatstone hidas jelfeldolgozásban különösen előnyös

11

11

A Si piezorezisztív tulajdonságai

Matematikai modell:

Három dimenziós anizotrop kristályra az elektromos tér vektora (E) és az áram vektor (I) közötti kapcsolat:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 & \rho_6 & \rho_5 \\ \rho_4 & \rho_2 & \rho_4 \\ \rho_5 & \rho_4 & \rho_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}$$

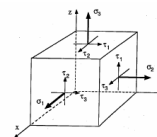
3x3 elemű fajlagos ellenállás tenzor, kísérleti eredmények alapján a 9 elem 6-ra redukálható

Piezoellenállás a kristálytani irányokhoz illesztett koordinárendszerben
Si: köbös kristály szerkezet, a derékszögű koordináta rendszert a kristály <100> irányához illesztjük.

ρ_1, ρ_2 és ρ_3 az egyirányú, ρ_4, ρ_5 és ρ_6 a keresztirányú ellenállások.

Mechanikai feszültség mentes Si-ra $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho$, és ρ_4, ρ_5 , és ρ_6 egyenlő 0-val.

$$\begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \\ \rho_4 \\ \rho_5 \\ \rho_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho \\ \rho \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta \rho_1 \\ \Delta \rho_2 \\ \Delta \rho_3 \\ \Delta \rho_4 \\ \Delta \rho_5 \\ \Delta \rho_6 \end{bmatrix}$$



A dx, dy, dz méretű elemi kockára ható feszültség komponensek

A PIEZOREZISZTIVITÁS

A piezorezisztívitás a fenti 6 komponensnek a $\Delta\rho/\rho$ változásával írható le, a változás a 6 feszültség komponens ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \tau_1, \tau_2, \tau_3$) hatására történik:

$$\frac{1}{\rho} \begin{bmatrix} \Delta\rho_1 \\ \Delta\rho_2 \\ \Delta\rho_3 \\ \Delta\rho_4 \\ \Delta\rho_5 \\ \Delta\rho_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{11} & \pi_{13} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{13} & \pi_{12} & \pi_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix}$$

6x6-os mátrix, elemei a π_{ij} piezorezisztív együtthatók, mértékegységük Pa⁻¹.

A Si köbös kristályszerkezete miatt 3 különböző együttható marad: π_{11} , π_{12} és π_{44}

feszültséges, köbös szerkezetű kristályrácban az elektromos térerő komponensei:

$$\begin{aligned} E_1 &= \rho i_1^2 + \rho \pi_{11} \sigma_1 i_1 + \rho \pi_{12} (\sigma_2 + \sigma_3) i_1 + \rho \pi_{44} (i_2 i_3 + i_3 i_2) \\ E_2 &= \rho i_1^2 + \rho \pi_{11} \sigma_2 i_2 + \rho \pi_{12} (\sigma_1 + \sigma_3) i_2 + \rho \pi_{44} (i_1 i_3 + i_3 i_1) \\ E_3 &= \rho i_1^2 + \rho \pi_{11} \sigma_3 i_3 + \rho \pi_{12} (\sigma_1 + \sigma_2) i_3 + \rho \pi_{44} (i_1 i_2 + i_2 i_1) \end{aligned}$$

tiszán egyirányú hatás az <100> irányban

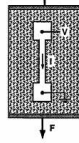
mechanikai feszültség mentes állapot

keresztirányú hatások

13

PIEZOREZISZTÍV EGYÜTTHATÓ

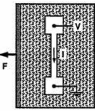
Longitudinális



Longitudinális és tranzverzális piezorezisztív együttható.

az E^* elektromos erőtér, az I^* áram és a σ^* feszültség egytengelyűek

Tranzverzális



Az érzékelőkben leggyakrabban előforduló esetek

az E^* elektromos erőtér és az I^* áram egytengelyűek, a σ^* feszültség merőleges mindkettőre

A * a tetszőleges koordinátarendszerre utal

14

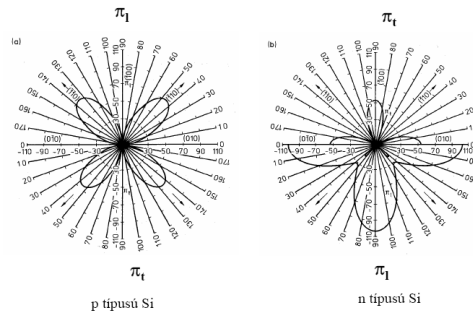
Koordináta transzformációval a mechanikai feszültség és az elektromos erőtér közötti összefüggés tetszőleges, derékszögű koordinátarendszerben meghatározható.

Koordináta-transzformációval a mechanikai feszültség és az elektromos erőtér közötti összefüggés tetszőleges irányban (koordinátarendszerben) meghatározható. A gyakorlatilag szóba jöhető irányokban:

Longitudinal direction	π_l	Transverse direction	π_t
100	π_{11}	010	π_{12}
001	π_{11}	110	π_{12}
111	$1/3 (\pi_{11} + 2\pi_{12} + 2\pi_{44})$	110	$1/3 (\pi_{11} + 2\pi_{12} - \pi_{44})$
110	$1/2 (\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	111	$1/3 (\pi_{11} + 2\pi_{12} - \pi_{44})$
110	$1/2 (\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	001	π_{12}
110	$1/2 (\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})$	110	$1/2 (\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44})$

PIEZOREZISZTÍV EGYÜTTHATÓ (Si)

A longitudinális és tranzverzális piezorezisztív együttható az <100> síkon



p típusú Si

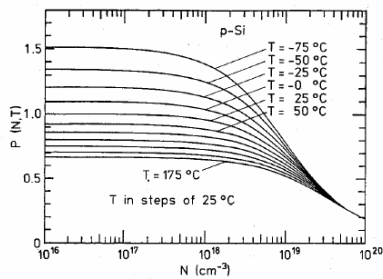
n típusú Si

16



SI ALAPÚ MECHANIKAI ÉRZÉKELŐK

A piezorezisztívitás koncentráció és hőmérséklet



$$\pi(N, T) = \pi_0 P(N, T)$$

A piezorezisztívitás csökken növekvő koncentrációval, és növekvő hőmérséklettel. A hőmérsékleti együttható is csökken.

ELLENÁLLÁS VÁLTOZÁS

A mechanikai feszültségből eredő ellenállás változás longitudinális és tranzverzális összetevőből áll:

$$\Delta R/R = \sigma_l \pi_l + \sigma_t \pi_t$$

A membrán és hid szerkezetek kialakításánál jellemző kristálytani irányok:

a Si szelet felületén általában <100> síkkal határolt és a kimart struktúra szeleit <100> és <111> síkok határolják, az élek pedig (110) irányúak, ezért a piezorezisztorok orientációja szintén (110) lesz.

Ebben a kristálytani irányban:

$$\pi_l = (\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{44})/2 \quad \pi_t = (\pi_{11} + \pi_{12} - \pi_{44})/2$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{(\pi_{44})}{2} (\sigma - \sigma) \quad \text{p típusú ellenállásra az (110) irányban}$$

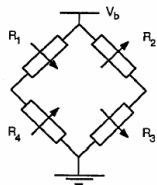
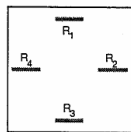
$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{(\pi_{11} + \pi_{12})}{2} (\sigma + \sigma) \quad \text{n típusú ellenállásra az (110) irányban}$$

2-3-szor nagyobb nyomásérzékenység érhető el a p típusú ellenállással, mint az n típusival!

18

WHEATSTONE HÍD ELRENDEZÉS

2 ellenállás longitudinálisan, R_1, R_2
2 ellenállás tranzverzálisan, R_3, R_4



A híd kimenő feszültsége:

$$\Delta V = \frac{\Delta R}{R} V_b$$

Az érzékenység feszültség generátoros meghajtásnál:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta P} \frac{1}{V_b} = \frac{\Delta R}{\Delta P} \frac{1}{R}$$

Az érzékenység áramgenerátoros meghajtásnál:

$$S = \frac{\Delta V}{I_b} \frac{1}{\Delta P} = \frac{\Delta R}{\Delta P}$$

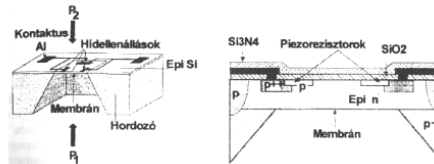
ellenállásoknál a mechanikai feszültség ellentétes irányú.

- a négy él mentén négy azonos ellenállás, a tranzverzális irányok váltakozó beállítása

Feleletes: Tömbi mikromegmunkálással kialakított négyzet alakú membrán, a membrán piezorezisztív ellenállások.

Wheatstone híd, az egyes hidágakban a mechanikai feszültség ellentétes irányú. A négy él mentén azonos ellenállások, a tranzverzális és longitudinális irányok váltakozó beállítása.

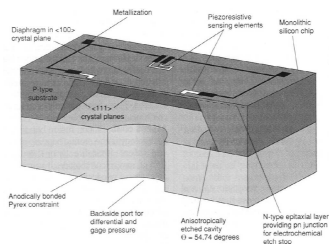
$$U_{ki}(p) = I S R p$$



BMEETT

I – áthajtott áram, S – anyagi állandóktól és geometriától függő tényező. Linearitási hiba 0,5-1 %.

MIKROELEKTRONIKAI NYOMÁSÉRZÉKELŐ



Tömbi mikromegmunkálással készült nyomásérzéklő alkáli hidroxid maróeleggyel kialakított szilícium (n-típusú) membránnal. A membrán behajlásából eredő alakváltozást bór adalékolással (diffúzió) kialakított piezoellenállások érzékelik és alakítják át villamos jellé.

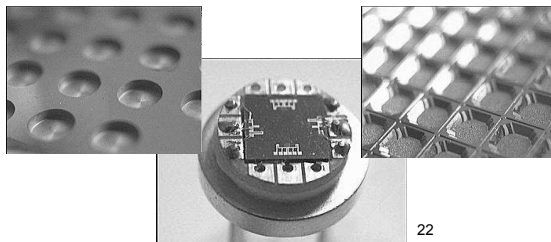
21 21



RESEARCH INSTITUTE FOR TECHNICAL PHYSICS AND MATERIALS SCIENCE, BUDAPEST
MICROTECHNOLOGY DEPARTMENT www.mfa.ktki.hu/laboratories

Pressure sensors - wafer processing

- *piezoresistive (pressure ranges from 0.4bar up 600bar)
 - ion implanted piezoresistors
 - double side alignment
 - KOH backside etching for membrane formation (50-200 μ m)



22

SI ALAPÚ MECHANIKAI ÉRZÉKELŐK

Példák megvalósított érzékelőkre

Piezorezisztív nyomásmérő

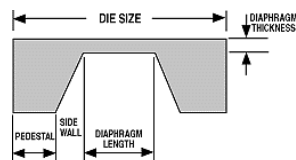
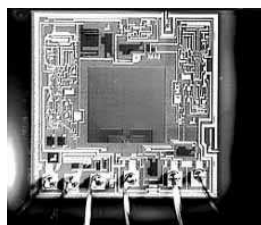
KELLER

működési tartomány: 0,1-1000 bar, több tartományban
Kimenő jel: 100-1000mV
hiszterezis: $\leq 0.05\%$ 20 bar-ig, $\leq 0.1\%$ 20 bar-1000 bar-ig
linearitási hiba: tip $\pm 0.2\%$ FS, max. 0.5%
TCO
TCS

10...50°C	0.05mV/K	0.01%/K
-20...80°C	0.1 mV/K	0.025%/K

BME - EET
2007.09.25.

PIZOREZISTIVE PRESSURE SENSOR



Die size 105 mil. x 105 mil.
(2.67 mm x 2.67 mm)

Thickness of diaphragm <math>< 1</math> mil. (25 μ m)

24

A piezorezisztív érzékelők hőmérsékleti együtthatói

TCO Temperature Coefficient of Offset, a nullpont hőmérsékleti együtthatója. Egyszerű esetben az ellenállások hőmérsékletfüggése, a Wheatstone hidas mérésben elhanyagolható. Oka lehet: passzíváló réteg, nem megfelelő tokozás

TSO Temperature Coefficient of Sensitivity, az érzékenység hőmérsékleti együtthatója, a piezorezisztívitás a hőfokfüggése miatt

Feszültséggenerátoros meghajtás:

Az érzékenység: $S = \frac{1}{2\Delta P} \pi_{44}(\sigma - \sigma)$

Az érzékenység hőmérsékletfüggése: $\frac{\partial S}{\partial T} = \frac{\sigma - \sigma}{2\Delta P} \frac{\partial \pi_{44}}{\partial T} + \frac{\pi_{44}}{2\Delta P} \frac{\partial(\sigma - \sigma)}{\partial T}$

A hőmérsékleti együttható: $TCS_V = \frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial T} = \frac{1}{S} \left(\frac{1}{\pi_{44}} \frac{\partial \pi_{44}}{\partial T} + \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial T} \right) \frac{1}{\sigma - \sigma} \frac{\partial(\sigma - \sigma)}{\partial T}$

Áramgenerátoros meghajtás:

Az érzékenység: $S = \frac{1}{2\Delta P} R \pi_{44}(\sigma - \sigma)$

A hőmérsékleti együttható: $TCS_V = \frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial T} = \frac{1}{S} \left(\frac{1}{\pi_{44}} \frac{\partial \pi_{44}}{\partial T} + \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial T} \right) \frac{1}{\sigma - \sigma} \frac{\partial(\sigma - \sigma)}{\partial T}$

EET 09.25.

PIZOREZISZTÍV NYOMÁSÉRZÉKELŐ: HŐFOKKOMPENZÁCIÓ

Hőfokkompenzálás lehetőségei:

- megfelelő adalékkoncentráció és áramgenerátoros táplálás:

$$R(T) = R_0(1 + \alpha \Delta T)$$
- és $S(T) = \frac{S_0}{1 + \beta \Delta T}$
- Megfelelő adalékkoncentráció esetén: $\alpha \approx \beta$
- nullponti hőfok-kompenzáció további ellenállások beépítésével
- aktív: hőmérsékletérzékelő elemmel, mely jelével arányosan változtatjuk az offszetet és az erősítést.

26 26

FÜGGÉS AZ ADALÉKKONCENTRÁCIÓTÓL (Si)

Az érzékenység (π_{44}) és a hőmérsékleti együtthatók függése az adalékkoncentrációtól

Két adalékkoncentráció-érték közelében a két hőmérsékleti egyenlő nagyságú de ellentétes előjelű!

27

HŐMÉRSÉKLET-KOMPENZÁLÁS

Piezorezisztív nyomásérzékelő passzív hőmérséklet-kompenzációja. A híd kimenőjele a T növekedésével csökken. R, R₀ – fém-ellenállások, KTY10 – Si ellenállás-hőérzékelő.

28 28

AKTÍV HŐMÉRSÉKLET-KOMPENZÁLÁS

Fig. 3.60
Circuit of a pressure sensor compensation of sensitivity zero voltage and temperature dependencies

A híd kimenőfeszültsége T növekedésekor csökken. Ezt OP1 erősítése növelésével lehet kompenzálni (Si ellenállásérzékelő). P1-nulla pont állítás, P3 és OP4: kimenet szintéziséje.

29

SPECIÁLIS SZENZOROK

Magas hőmérsékleten és agresszív közegben használható piezorezisztív nyomásmérők

Az egykristályos, egymástól p-n átmenettel elszigetelt piezo ellenállásokkal megvalósított nyomásmérők 120°C-ig üzemeltethetők a megnövekedett szivárgási áramok miatt.

Poli Si-os nyomásmérő:

- „mesa” szerkezet, oxid szigetelés
- -50°C...+200°C működési tartomány
- kis hőmérséklet függés
- kisebb érzékenység

Egykristályos és polikristályos gyémánt piezo ellenállások

30

KAPACITÍV ÉRZÉKELÉS ELVE

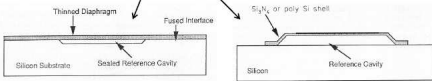
A mérendő mennyiség változását kapacitás változássá alakítják át.

Párhuzamos elektrodájú elrendezésben a kapacitás: $C_0 = \epsilon \frac{A}{d}$

kis elmozdulásokra, ha a kondenzátor síkkondenzátor marad az elektroda Δd -vel való elmozdulására:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = -\epsilon \frac{\Delta d}{d^2}$$

Kapacitív érzékelők tömbi és felületi mikromechanikai megmunkálásal:



Előnyök:

- nagy érzékenység
- a konverzió csak a mechanikai méretekől és a rugalmassági állandóktól függ → a hőmérséklet függés csak a Si hőtágulásából adódik

Hátrányai:

- nemlineáris karakterisztika, ez különösen nagy lehajlásoknál van ($w_0/h > 0.3$), ahol w_0 a középpont lehajlása, h a membrán vastagsága
- a közel lineáris szakaszban nem elhanyagolhatóak a szórt kapacitások

A nemlinearitás a struktúra változtatásával, illetve speciális nemlineáris konverter áramkörrel kiküszöbölhető

31

KAPACITÍV NYOMÁSÉRZÉKELŐ



Párhuzamos fegyverzetű kondenzátor. Az egyik egy fémezett üveglap, a másik egy vékony Si membrán, a kettő között néhány μm széles réssel.

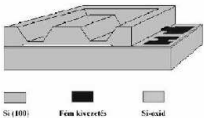
Az üveglapot anodikusan kötik a Si-hoz vákuumban, hogy hermetikusan zárt referenciakamrát kapjanak.

Üveg helyett Si is használható, ami csökkenti a különböző hőmérsékleti tényezők okozta problémát.

A referenciakamra helyett olyan kamra is használható, melyet „szellőzőcsatorna” köt össze a külvilággal.

32

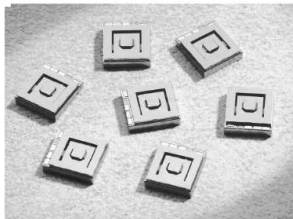
KAPACITÍV NYOMÁSÉRZÉKELŐ



Felső elektroda: anizotrópan mart Si
Alsó elektroda: Si vagy Pyrex üveg
Kivezetés: Al vagy adalékolt poli Si

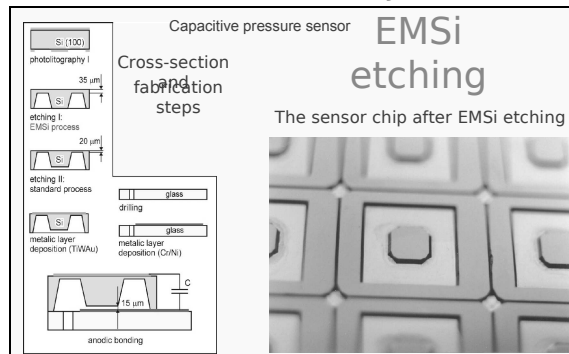


működési tartomány: 0.05...1.3 bar
hőmérséklet tartomány: -55...+80°C
érzékenység: 20fF/mbar
hiszterézis: ±2 mbar
ismétlési hiba: ±2 mbar
TCO: -80ppM/°C



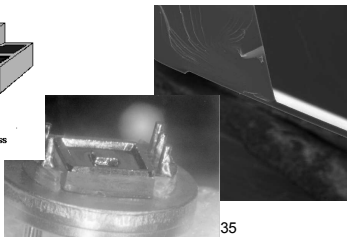
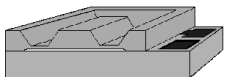
3

KAPACITÍV ÉRZÉKELŐ TECHNOLÓGIÁJA



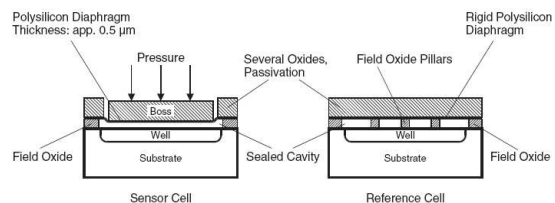
KAPACITÍV NYOMÁSÉRZÉKELŐ

- capacitive (10mbar - 1 bar)
- double side alignment
- alkaline etching for membrane formation (ECES)
- membrane thickness 10-20 μm
- counter electrode on anocally bonded Pyrex glass, optional: Si-Si direct wafer bonding



35

KAPACITÍV SZENZOR



Felületi mikromegmunkálással készített kapacitív szenzor és referencia cellák. Négyzetes cella, kb. 70x70 μm , kapacitás kb. 150 fF, érzékenység néhány fF/bar.

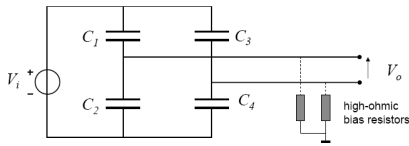
14 cella párhuzamosan (nagyobb érzékenység, nagyobb SNR).

Két szenzor egység és két referenciategység hidat alkot. (Infenion KP100)

36

36

KAPACITÍV HÍD: JEL KIOLVASÁSA



A híd egyenletében az ellenállások helyett az $1/j\omega C$ impedancia szerepel.

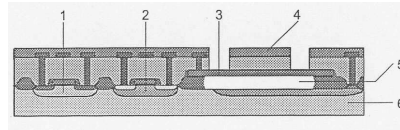
Kimeneti pontok szigeteltek \Rightarrow szivárgási áramok driftet okoznak.

Drift eliminálása \Rightarrow AC és nagyértékű előfeszítő ellenállások, vagy DC meghajtás és periodikus reset kapcsoló révén.

37

37

NYOMÁSÉRZÉKELŐ IC



- 1 – NMOS tranzisztor
- 2 – PMOS tranzisztor
- 3 – poli-Si membrán
- 4 – oxid tömb
- 5 – üreg
- 6 – Si szubsztrát

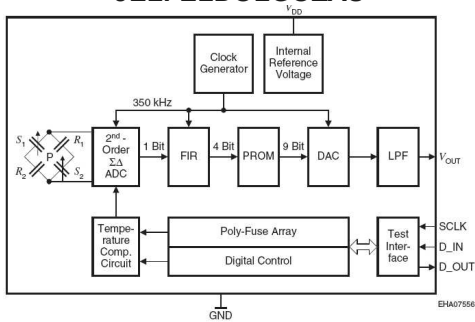
Membrán: Si mikrogépészeti megmunkálás, szelektív marással.

A nyomás hatására a poli-Si membrán és a hordozókristály közötti kapacitás megváltozik.

Beilleszthető a meglévő CMOS technológiai sorba.

38

JELFELDOLGOZÁS



Kapacitív integrált nyomásérzékelő IC chip architektúrája (Infenion KP100)

39

39

NYOMÁSÉRZÉKELŐK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Paraméter	Si-piezo-ellenállás	Fém-ellenállás	Si-kapacitív
Átalakítási tényező *	1	0,02	-
Nyomás érzékenység	1	0,002	10
Lineartási hiba	1	0,5	5
Nulla hiba	1	1	10
TK (nulla hiba)	1	1	1
TK (érzékenység)	1	0,05	0,05
Hőmérsékl. hiszterézis	1	1	0,25
Stabilitás	1	0,5	0,5
Geometriai méret	1	10	1
Ár	1	10	-

* G.F. (gauge-factor): $(\Delta R/R)/(\Delta L/L)$

40

40

VÉGE

(AZ ELSŐ RÉSZNEK)

41

41

42

42