

# ÉRZÉKELŐK I

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

## 2. ELŐADÁS: ÉRZÉKELŐK TECHNOLOGIÁI: SPECIÁLIS ANYAGTÍPUSOK ÉS TECHNOLOGIÁK



2010/2011 tanév 1. félév

1

## MIKROTECHNOLÓGIA, MEMS

**Micro ElectroMechanical Systems**

MEMS: a „2D” IC technológia → 3D szerkezetek

- membránok, felfüggesztett elemek, mozgó alkatrészek,
- mikrofluidikai alkalmazások: csatornák, üregek, reaktorok stb.

Mikromechanika:

eljárások és eszközök: döntő többségében eltérnek a hagyományos mechanikai megmunkálásoktól elsősorban „száraz” ill. „nedves” kémiai marások és elektrokémiai módszerek de klasszikus eljárások is lehetnek (lézer, v. gyémánttárcsás vágás)

jellemző méretek: 1-500  $\mu\text{m}$

Si kristály vastagsága 380-500-1000 $\mu\text{m}$

Más anyagok is: GaAs, kvarc, stb.

Tömbi- és felületi mikromechanika

## 2. ELŐADÁS: TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK: ÁTTEKINTÉS

1. Monolit félvezető technológiák
2. Kerámia technológiák
3. Rétegtechnológiák (vékony- és vastagréteg technológiák)
4. Polimer technológiák
5. Szóloptikai technológiák

## SI MIKROMECHANIKA

A Si alapú (mechanikai) érzékelők előnyös tulajdonságai

Jól meghatározott elektromos tulajdonságok mellett

rendkívül jó mechanikai tulajdonságok

Jelentős méretsökkentés megvalósítása

Tömeggyárthatóság

integrálhatóság

	Si	Diamond	Steel	Al
Hardness (Kg/mm <sup>2</sup> )	850	7000	660-1500	130
$\sigma_{\text{yield}}$ (GPa)	7	53	42	0.17
Young's modulus (GPa)	160	1035	200	70
Thermal conductivity (W/cmK)	1.48	20-25	0.8	2.37

## EGYKRISTÁLYOS SZILÍCIUM

legtisztább anyag  
 legtükéletesebb egykristály  
 IC gyártás fő alapanyaga (még egy évtizedig biztosan)  
 Si alapú szenzorika IGEN  
 Si alapú fotonika ???

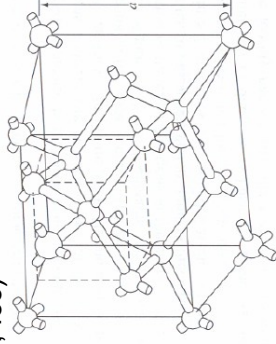
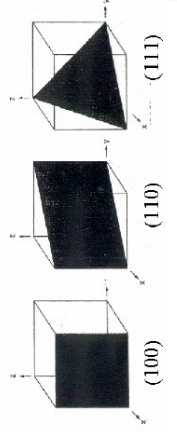
### Fontosabb adatok:

Kristályszerkezet: fcc  
 rendszám: 14  
 atomtömeg: 28,09  
 tömegsűrűség:  $2,328 \text{ g/cm}^3$   
 atomsűrűség:  $5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$   
 reatív diel. állandó: 11,9  
 hővezetés: 1,48 W/cmK  
 adalékolás: p- vagy n-típusú  
 erős adalékoltság (p<sup>+</sup>, n<sup>+</sup>):  $N_{dia} > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  (~0.1 | cm)  
 fajlagos ellenállás: 10 k| cm – 1 m| cm  
 szeletátmérő: 300 mm (Intel),  
 75-100 mm (MTA MFA)

## MARÁSI SEBESSÉG IRÁNYFÜGGÉSE

Si – gyémántrács (lapcentrált köbös, fcc)

Legegyszerűbb kristálytani síkok



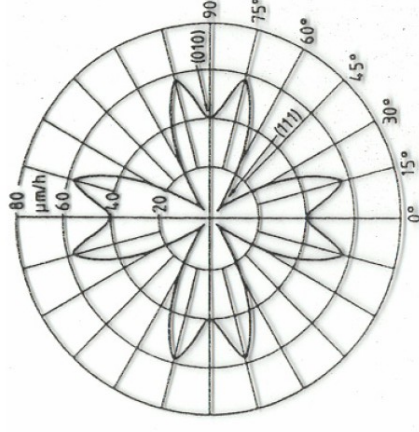
Alkáli, lúgos maró (pl. KOH), marási sebesség irányfüggő

$v(111) \ll v(100), v(110)$  (az arány néhány százszoros)

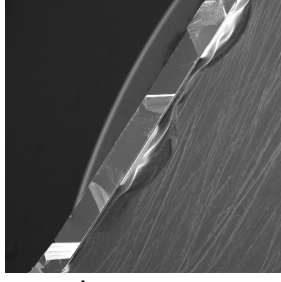
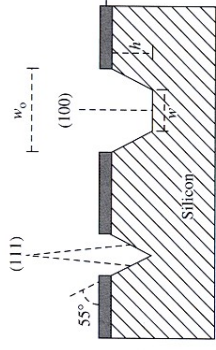
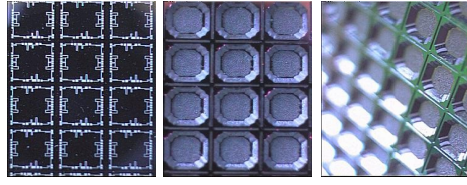
## SI MIKROMECHANIKA, MEMS

A szilícium alapú mikroszerkezetek és érzékelők kialakításának alapját a szilícium anizotropikus maratása jelenti: bizonyos kémiai maratószerek (pl. KOH) az (100) és (110) orientációjú síkokat lényegesen gyorsabban marják, mint az (111) síkokat. Így az (100) felületi orientációjú Si szeletbe külön-féle, határozott geometriával rendelkező alakzatok marhatók. A szeletet először oxidálják, majd az oxidba ablakot nyitnak foto-litográfia és maratás útján. A szilícium kimartható azon részeken ahol az oxidréteg nem maszkolt. Anizotropikus maratószerrel a felületre merőlegesen – (100) irányban - a maratás gyors, míg oldalirányban - az (111) irányban - pedig lassú. Így a maszk jellegétől függően "V" keresztmetszetű árok illetve fordított gúla alakú bemarások alakíthatók ki. A maratás felületre merőleges irányban lelassítható lassan maródó, ún. "etch-stop" réteg (pl. egy erősen adalékolt p réteg) beépítésével.

## MARÁSI SEBESSÉG IRÁNYFÜGGÉSE Si (100) KRISTÁLY

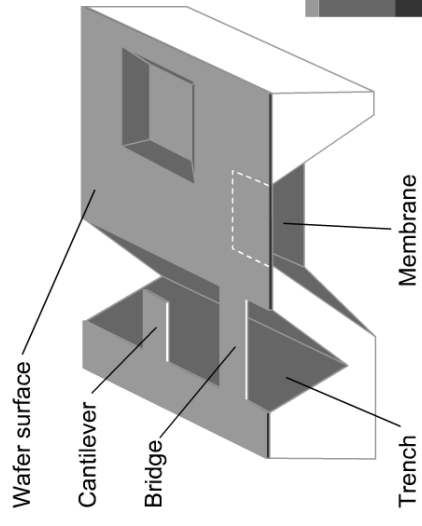


## TÖMBI MIKROMECHANIKA: KOH MARÁS – EGYSZERŰBB ALAKZATOK



$$\alpha = \arccos(1/\sqrt{3}) = 54,74^\circ$$

## TÖMBI MIKROMECHANIKA: TÍPIKUS ALAKZATOK

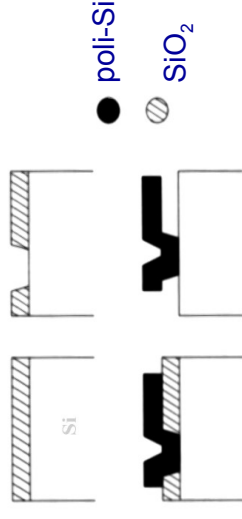


## ANIZOTRÓP MARÁS: MARÁSI MÉLYSÉG BEÁLLÍTÁSA



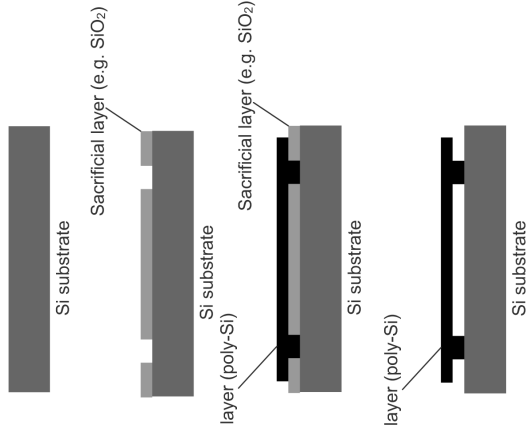
Marásmegállító réteg: erős p<sup>+</sup> adalékolás (B),  
néhányszor 10<sup>19</sup> cm<sup>3</sup>

## SI FELÜLETI MIKROMEKGUNKÁLÁS

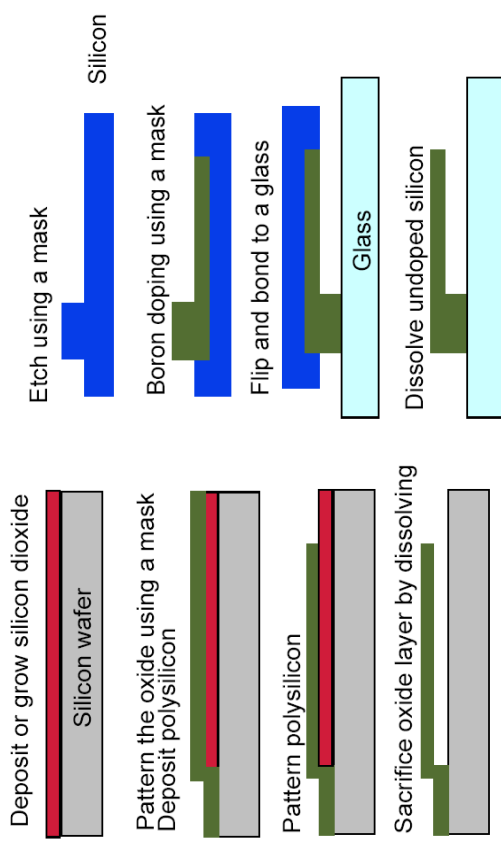


rezgőnyelv (vagy) membrán kialakítása rétegleválasztási és szelektív marási lépések megfelelő sorrendű alkalmazásával

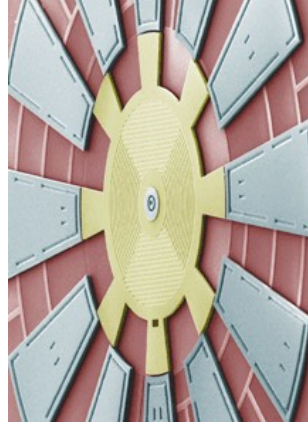
## SI FELÜLETI MIKROMEKGUNKÁLÁS



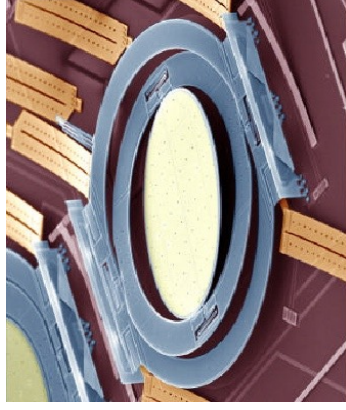
## FELÜLETI ÉS TÖMBI MIKROMEKGUNKÁLÁS



## MIKRO-MOTOR ÉS MIKRO-TÜKÖR

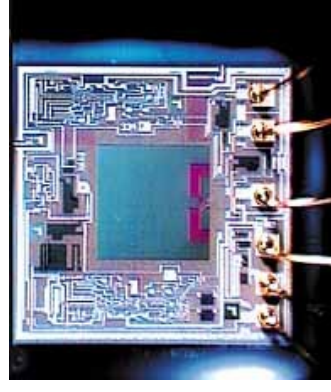


Si elektrosztatikus mikro-motor (Texas Instruments)

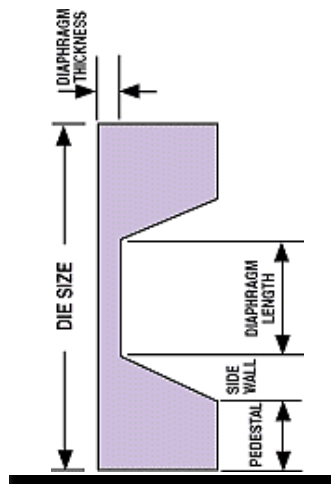


Mikro-tükör (Lucent Technologies)

## PIEZOREZISZTÍV NYOMÁSÉRZÉKELŐ

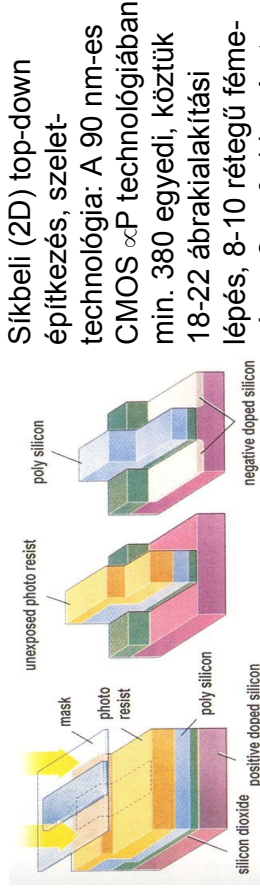


Chip: 2,67 x2,67 mm



Membrán vastagsága < 25  $\mu\text{m}$

# CMOS ÉS MEMS TECHNOLOGIA



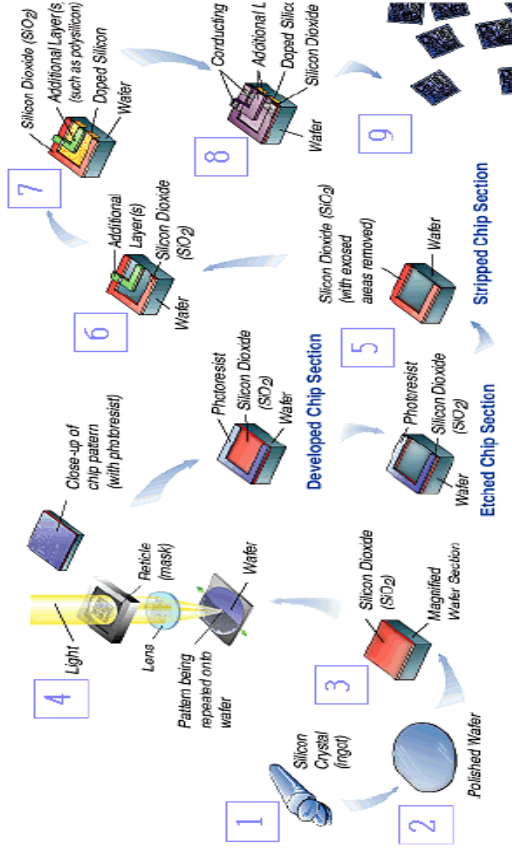
**Síkbeli (2D) top-down** építkezés, szelet-technológia: A 90 nm-es CMOS  $\alpha$ P technológiában min. 380 egyedi, köztük 18-22 ábrakialakítási lépés, 8-10 rétegű fém-ezés, >3 cm<sup>2</sup> chipméret

**Térbeli (3D) top-down** építkezés, szelettechnológia  
A CMOS technológia lépéseivel kialakított szerkezetekben az ún. segédreteg kioldása után szabadon álló, felfüggesztett hidak, rezgőnyelvek, billenő tükrök, stb. kialakítása

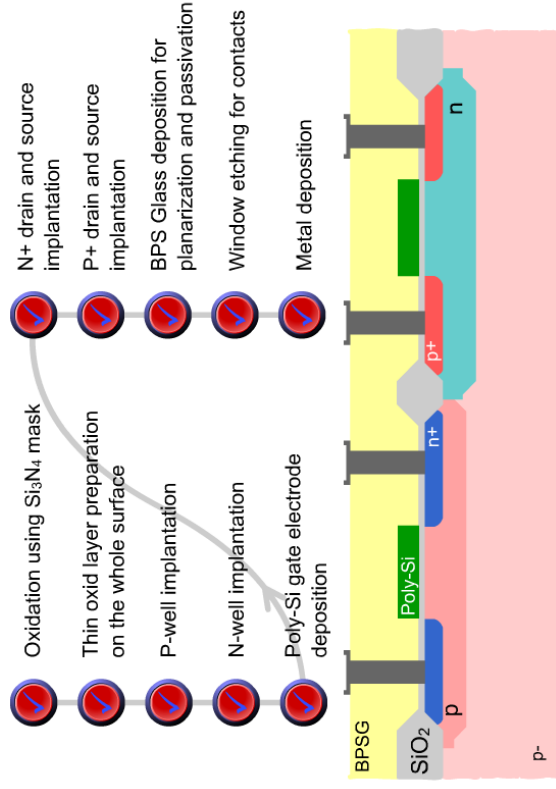
# SI TECHNOLOGIA

- Alapanyag: **félvezető egykristály (Si)**  
**Processzállás:**  
 • **Additív módszerek:** vékonyréteg leválasztás – PVD, CVD, ábrakialakítás  
 • **Módosító eljárások:** fotoexpozíció, ionimplantációs adalékolás, termikus műveletek  
 • **Subtraktív módszerek:** kémiai és fizikai marási lépések, lézeres és mechanikai rétegeeltávolítás
- A fentiek és kombinációik szekvenciális alkalmazása az alapanyag-szeleten szelettechnológia**

# SI IC TECHNOLOGIA FŐBB LÉPÉSEI



# CMOS TECHNOLOGIA VÁZLATA



## SENZOROK: FÉLVEZETŐ TECHNOLÓGIÁK

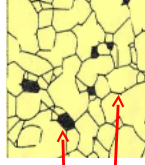
- ☺ Azonos karakterisztikájú elemek olcsó tömeggyártása
- ☺ Kisméretű, kis disszipációjú eszközök
- ☺ Érzékelők integrációja
- ☺ Mikromechanikai és áramköri elemek és funkciók integrálása
- ☺ Elektromos paraméterek erősen hőmérsékletfüggőek
- ☺ A technológia nagy tisztaságot és bonyolult, költséges berendezéseket igényel
- ☺ Számos, az érzékelőkben használt anyag technológiailag nem kompatibilis a félvezetőkkel
- ☺ A szükséges tokozási eljárások drágíthatják az eszközöket

## KERÁMIÁK

Polikristályos kerámiák: összetett szerkezet

Pórusok

szemcsehatárok  
különböző fázisok



Ezek okozzák a különféle tulajdonságokat

## TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK:

1. Monolit félvezető technológiák
2. Kerámia technológiák
3. Rétegtechnológiák (vékony- és vastagréteg technológiák)
4. Polimer technológiák
5. Száloptikai technológiák

## KERÁMIÁK SZERKEZETE

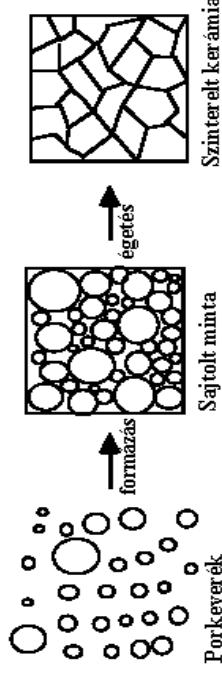
**Polikristályos anyagok**

**Kristályos fázisok:** különböző összetétel, méret, kristályszerkezet → mechanikai és villamos tulajdonságok

**Üveges fázis:** → szilárdság, ridegség, átütési szilárdság

**Gáz fázis:** → rugalmasság, hőszigetelés

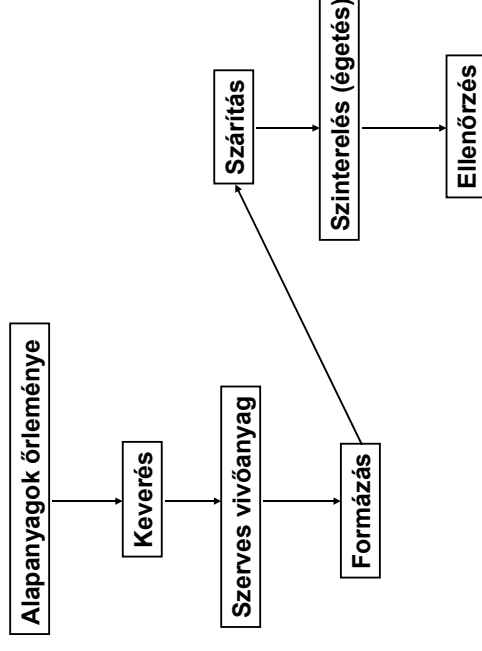
A fázisok egymáshoz való viszonya szabályozható az összetétellel és a technológiával



## TECHNOLÓGIA LÉPÉSEI

1. Homogenizálás: nyersanyagok + víz + kötőanyagok
2. Formázás: pl. gépi formázás, sajtolás, stb.
3. Hőkezelés: szárítás
4. Égetés: az o.p. (K) 80 – 90%-án, nedvesség, kötőanyag eltávozása, polimorf átalakulás, átkristályosodás, szilárd fázisú reakciók, hőbomlás, tömörödés, zsugorodás
5. Mechanikai utómunkák

## KERÁMIATECHNOLÓGIA FOLYAMATSORA



## KERÁMIATECHNOLÓGIÁK A SZENZORIKÁBAN

Előnyök és hátrányok

- ☺ Diszkrét elemek nagy sorozatban olcsón
- ☺ Sokféle anyag (széles választék) feldolgozható
- ☺ Nem igényel nagytisztaságú munkahelyet
- ☹ Magas hőmérsékletek szükségessége drágító tényező
- ☹ Integrálás nem vagy nehezen realizálható
- ☹ Csak nagy sorozatban gazdaságos
- ☹ Nem kompatibilis, illetve nehezen tehető kompatibilissá más technológiákkal

## TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK:

1. Monolit félvezető technológiák
2. Kerámia technológiák
3. Rétegtechnológiák (vékony- és vastagréteg technológiák)
4. Polimer technológiák
5. Száloptikai technológiák

## RÉTEGTECHNOLÓGIÁK

A rétegtechnológiák két csoportja:

a vékonyréteg és a vastagréteg technológia.

Ezek az alkalmazott rétegvastagságában, az anyag típusában és a rétegfelvitel technológiájában különbözőnek egymástól.

A rétegleválasztási és litográfiai módszerek egy speciális kombinációja az un. **LIGA (Litographie, Galvanoformung, Abformung)** technológia, amely lehetővé teszi több száz mikrométer vastag, öntartó, 3 dimenziós elemek kialakítását.

Az ideiglenes "áldozati" réteget is tartalmazó változat az **SLIGA** technológia.

## VÉKONYRÉTEGEK LEVÁLASZTÁSA

Fizikai módszerek (PVD, Physical Vapour Deposition)  
szilárd forrásból: párolgztatás (vákuum)  
porlasztás (rf, magnetron)  
MBE (Molecular Beam Epitaxy)

Kémiai módszerek  
elektrolitból: galvanizálás  
oldatból, szuszpenzióból: lecsapatás, szol-gél technika  
gázfázisból: CVD (Chemical Vapour Deposition)  
VPE (Vapour Phase Epitaxy)  
MOCVD (Metal Organic ....)  
LPCVD (Low pressure...)  
PECVD (Plasma enhanced...)  
MWCVD (MicroWave...)  
PACVD (Photon assisted..., néha plasma assisted)  
ALCVD (Atomic Layer.. ALD(ep..), ALEpitaxy)

## RÉTEGTECHNOLÓGIÁK

A klasszikus vastag- és vékonyréteg technológia összehasonlítása

	<b>Vastagrétegek</b>	<b>Vékonyrétegek</b>
Alapanyagok	Kolloid szuszpenziók	Nagy tisztaságú fémek, ötvözetek, vegyületek
Tipikus technológiák	Szítanyomás, hőkezelés	Vákuumbeli leválasztás, CVD
Rétegvastagság	10-50 $\mu$ m	10-200 nm
Rétegszerkezet	Szinterelt aktív szemcsék kötőanyag mátrixban	Polikristályos, nem teljesen összefüggő

## VASTAGRÉTEGEK LEVÁLASZTÁSA

Alaptechnológia: szítanyomtatás + hőkezelés

CERMET vastagréteg-technológia:  
szervetlen (üveg, üveg-kerámia, kerámia-fém-üveg) kompozit alapanyagok  
Relative magas beégetési hőmérséklet

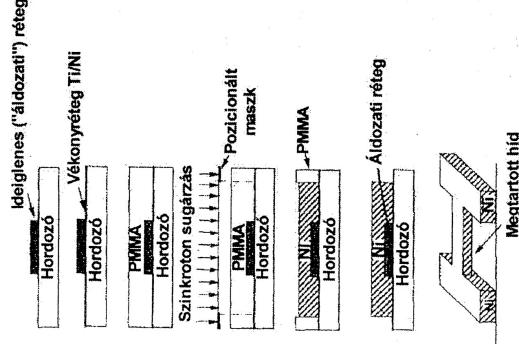
Polimer vastagréteg-technológia:  
Polimer bázisú anyagok  
Relative alacsony hőkezelési hőmérsékletek



## RÉTEGTECHNOLÓGIÁK: ELŐNYÖK ÉS HÁTRÁNYOK

- ☺ Viszonylag olcsó, kissorozatú gyártás is
- ☺ hibridizálhatóak
- ☺ Bizonyosfokú integráció lehetséges
- ☺ Többféle hordozó – többféle réteg
- ☺ Igen sokféle anyagú réteg vihető fel
- ☺ Többféle szerkezetek
- ☺ Nagybonyolultságú és nagyfokú integráció nem realizálható

## SLIGA TECHNOLOGIA



1. Az áldozati réteg leválasztása a hordozóra;
2. jól tapadó fém vékonyréteg leválasztása (pl. Ti/Ni);
3. a röntgensugaras litográfiában fotoreziszt funkcióját betöltő műanyag réteg (PMMA) felvitele, felöntés és hőkezelés polimerizáció útján;
4. röntgenmaszk pozicionálása és megvilágítás nagyenergiájú szinkrotron sugárzással;
5. előhívás után nikkel leválasztása galvanizálással a PMMA rétegben kialakított ablakban;
6. a PMMA és a fém vékonyréteg eltávolítása a maszkolt területekről;
7. végül az áldozati réteg eltávolítása.

## LIGA

Rétegleválasztási és litográfiai módszerek speciális kombinációja:

Litographie, **Galvanoformung**, **Abformung** – LIGA

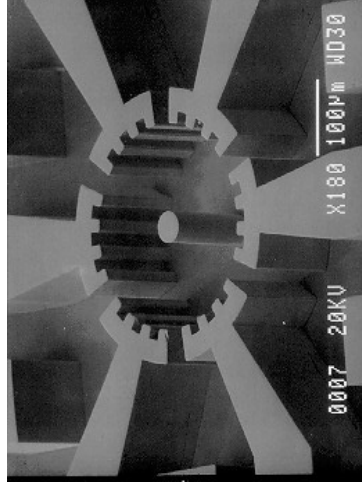
Áldozati (sacrificial) réteget is beiktatva – SLIGA, ezzel részben szabad, rugalmasan felfüggesztett, illetve teljesen szabad elemek készíthetők.

Speciális követelmények:

Röntgen sugárforrás (szinkrotron)  $E > 1 \text{ GeV}$ ,  $\lambda < 0,7 \text{ nm}$   
Vastag reziszt, tipikusan PMMA (poli-metil-metakrilát)

Fő előny: 3D mikrostruktúrák, melyek vastagsága hasonló a tömbi mikromechanikai elemekéhez, de a felületi mikromechanika nagyobb flexibilitása megtartásával.

## LIGA EXAMPLES

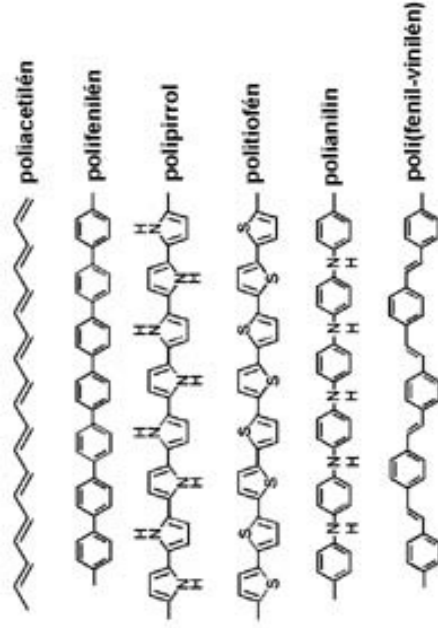


- 200 $\mu\text{m}$  deep structures
- Coat with thick resist
- Pattern with X-rays
- Electroplate exposed area with Ni
- Machine to +/- 5 $\mu\text{m}$
- Use titanium and Cu as sacrificial layers

## TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK:

1. Monolit félvezető technológiák
2. Kerámia technológiák
3. Rétegtechnológiák (vékony- és vastagréteg technológiák)
4. Polimer technológiák
5. Száloptikai technológiák

## VEZETŐ POLIMEREK



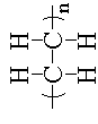
## POLIMEREK: ALAPFOGALMAK

### Természetes polimerek:

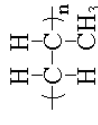
Poliszacharidok (keményítő, cellulóz)  
Polipeptidek, fehérjék  
Kaucsuk, gumi

### Mesterséges polimerek:

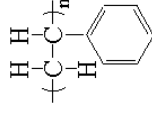
Monomer: építőegység  
Polimer: főképp szénlánc, különböző oldalágakkal



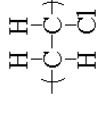
Poli-etilén, PE



Poli-propilén, PP



Poli-sztirol, PS



Poli-vinilklorid,  
PVC

Polimer: monomeregységből áll.

Homopolimer: egyfajta

monomeregységből felépülő

makromolekulák

Kopolimer: két- vagy többfajta

monomeregységeket tartalmazó

A makromolekulák súlya nagy. Egzakt határ nincs, 5000-10000 mólusúly felett szokás makromolekuláról beszélni, mert ezen mólusúly érték körül jelennek meg a polimerekre jellemző, minőségileg új tulajdonságok (rugalmasság)

## POLIMER RÉTEGEK

Mikrotechnológiával kompatibilis rétegleválasztási technológiák

Fényérzékeny (UV) polimerek (pl. fotoreziszt): fotolitográfiai felvitel és alakzat kialakítás. Rutin IC technológia, közvetlenül átvihető a szenzorikába is.

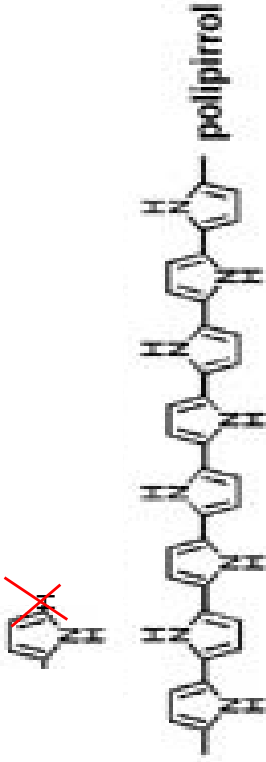
Szitanymás és hőkezelés: paszta formájában rendelkezésre álló polimer kompozit anyagok esetén: polimer vastagréteg technológia.

Vezető és félvezető polimerek: szintézis vezető felületen monomer oldatokból elektrokémiai polimerizációval.

Polimer vékonyrétegek: vákuumban végzett leválasztás a szokásos eljárások valamelyikének megfelelő adaptálásával.

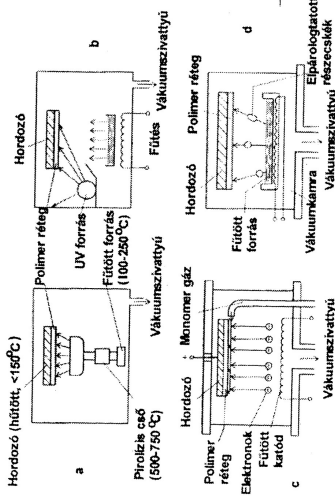
## ELEKTROKÉMIAI POLIMERIZÁCIÓ

Monomer: gyűrűs (aromás) vegyületek  
Elektrokémiai reakció (elektrokémiai oxidáció): H  
kiszakítása és a gyűrűk közötti kötés létrejötte.



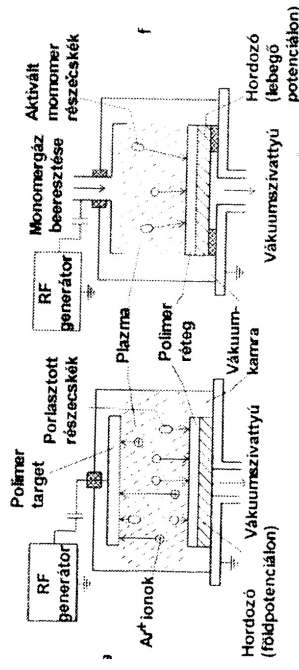
## POLIMER VÉKONYRÉTEGEK LEVÁLASZTÁSA

Pirólissal inicializált polimerizáció: UV-sugárzással segített szublimáció + pirólízis + kondenzáció/polimerizáció



Elektronbombázással segített vákuumbombázással segített vákuumpárolgatás ellenálásfűtésű vagy elektronbombázott polimer forrásból

## POLIMER VÉKONYRÉTEGEK LEVÁLASZTÁSA



RF porlasztás polimer targetből

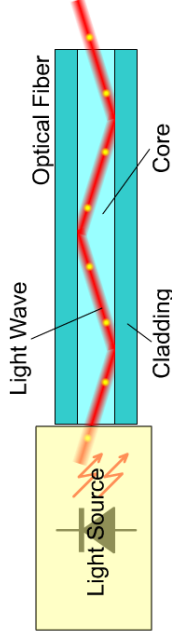
Plazma polimerizáció monomer gázokból vagy gőzökből

## TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK:

1. Monolit félvezető technológiák
2. Kerámia technológiák
3. Rétegtechnológiák (vékony- és vastagréteg technológiák)
4. Polimer technológiák
5. Száloptikai technológiák

## OPTIKAI SZÁLAK ÉRZÉKELŐKBEN

Az optikai (fényvezető) szálak érzékelők működése azon alapul, hogy az érzékelendő paraméter változásait az átvezetett vagy visszavert fényhullám jellemzőinek (intenzitás, polarizáció, fázis, módusösszetétel, frekvencia) megváltozása kíséri.



A szilárd, kör-keresztmetszetű fényvezető magot egy kisebb törésmutatójú héj veszi körül. A határfelületükön fellépő teljes visszaverődés biztosítja a fényvezetést a magon belül.

## ANYAGOK

Csillapítás: függ a szál anyagától, szennyezőktől, szerkezeti hibáktól, stb.

Nagytisztaságú anyagokra van szükség.

Anyagok:

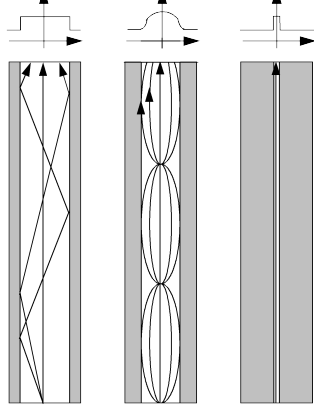
Kvarcüveg

Poli-metil-metakrilát (PMMA)

Integrált optikai szerkezetekben:

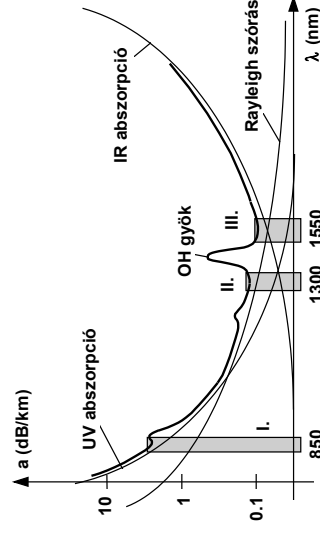
Szilícium, vegyület-félvezetők, lítium-niobát ( $\text{LiNbO}_3$ )

## OPTIKAI SZÁLAK FAJTÁI



A fényvezető szálak működésének fizikai alapja a teljes visszaverődés. A szálban a mag törésmutatója nagyobb mint a héj törésmutatója. Többmódusú lépcsős indexű, többmódusú gradiens indexű, és egymódusú lépcsős indexű szál típusok

## CSILLAPÍTÁS HULLÁMHOSSZFÜGGÉSE



Fényvezető szál (olvasztott kvarc,  $\text{SiO}_2$ ) csillapítási karakterisztikája. Átviteli "ablakok": I. – 850 nm, GaAs lézer, II. – 1200-1300 nm, minimális diszperzió, InGaAsP/InP lézer, III. 1540-1450 nm, minimális csillapítás, InGaAsP/InP lézer.

## ÜVEGSZÁL ALAPANYAG

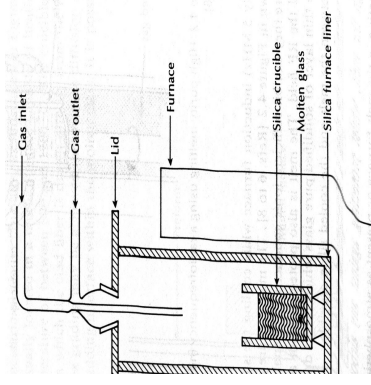
Tiszta oxidporok  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  előállítása (tisztításuk szűrővel, párlással)

Olvasztás 900-1300 °C között, és rúd formálása

Törésmutató (n) módosítása anyagi összetétel változtatásával

Tégely platinából, hogy ne szennyezze az üveget

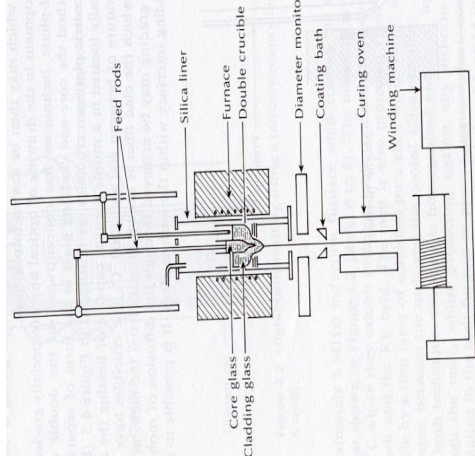
$\text{SiO}_2$  tégely inhomogenitást okozhat a szálban, ezért gázzal hűtik a tégelyt, ami egy vékony, szilárd üvegréteget hoz létre



## ELŐNYÖK ÉS HÁTRÁNYOK

- ☺ Kis jelcsillapítás és nagy adatkapacitás
- ☺ Kompatibilitás az optikai adatátviteli rendszerekkel
- ☺ Érzéketlen az elektromágneses zavarokra (nem kell árnyékolás, zavarszűrés)
- ☺ Korróziómentesség és biokompatibilitás
- ☺ Flexibilitás fizikai és átvitt értelemben is. A szál már a gyártáskor beépíthető a vizsgálandó 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
- ☺ Általában drágábbak mint az elektromos vagy elektro-mechanikus érzékelők. Költségnövelő, hogy a fényszál típusú érzékelőket még nem gyártják nagy sorozatban
- ☺ Nem vagy nehezen biztosítható a mikroelektronikai technológiákkal való kompatibilitás.

## OPTIKAI ÜVEGSZÁL



Két tégely a mag és a héj számára

GI szál gyártása

800-1200 °C

Olvadtt üvegbe iondiffúzióval oljájá meg a törésmutató változtatását

Üvegszál húzása kéttégelyes módszerrel

**VÉGE**

**(A MÁSODIK ELŐADÁSNAK)**