

ÉRZÉKELŐK I

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

2. ELŐADÁS: ÉRZÉKELŐK TECHNOLÓGIÁI: SPECIÁLIS ANYAGTÍPUSOK ÉS TECHNOLÓGIÁK



2010/2011 tanév 2. 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 μm

Si kristály vastagsága 380-500-1000μm

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. Száloptikai 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 ²)	850	7000	660-1500	130
σ_{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

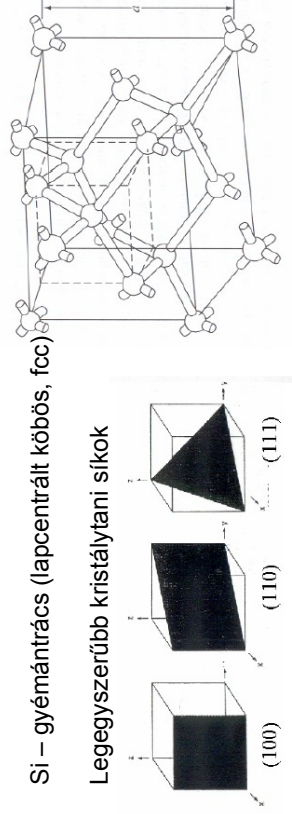
EGYKRISTÁLYOS SZILÍCIUM

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

Fontosabb adatok:

kristályszerkezet: fcc
 rendszám: 28,09
 atomtömeg: 14
 tömegsűrűség: 2,328 g/cm³
 atomsűrűség: 5x10²² cm⁻³
 reatív diel. állandó: 11,9
 hővezetés: 1,48 W/cmK
 adalékolás: p- vagy n-típusú
 erős adalékoltság (p⁺, n⁺): N_{d,a} > 10¹⁷ 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

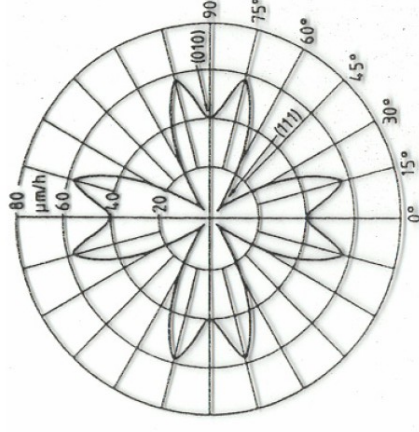
Alkáli, lúgos maró (pl. KOH), marási sebesség irányfüggő

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

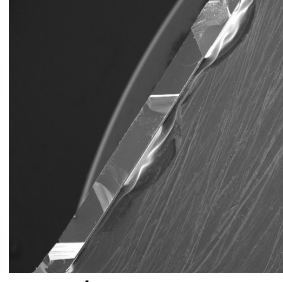
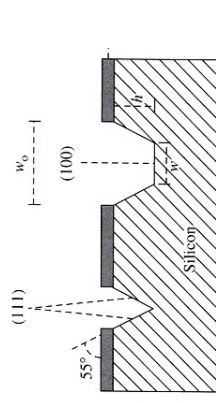
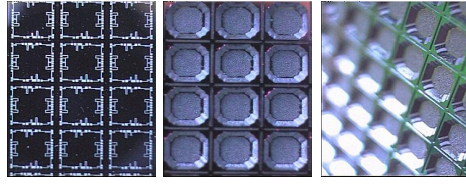
Si MIKROMECHANIKA, MEMS

A szilícium alapú mikroszerkezetek és érzékelők kialakításának alapját tehát a szilícium anizotropikus maratása jelenti: bizonyos kémiai maratószerrek (pl. KOH) az (100) és (110) orientációjú síkokat lényegesen gyorsabban maradják, mint az (111) síkokat. Ez teszi lehetővé, hogy az (100) felületi orientációjú szilícium szeletbe különböző, határozott geometriával rendelkező alakzatok marhatók. A szeletet először oxidálják, majd az oxidba ablakot nyitnak fotolitográfia és maratás útján. A szilícium kimartható azon részeken ahol az oxidréteg nem maszkolt. Anizotrópikus maratószer esetén 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 maradó, ún. "etch-stop" réteg beépítésével, amely lehet pl. egy erősen adalékolt p réteg.

MARÁSI SEBESSÉG IRÁNYFÜGGÉSE Si (100) KRISTÁLY

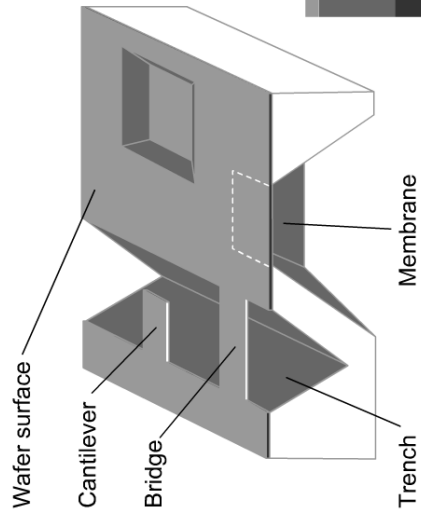


TÖMBI MIKROMECHANIKA: KOH MARÁS – EGYSZERŰBB ALAKZATOK



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

TÖMBI MIKROMECHANIKA: TÍPIKUS ALAKZATOK

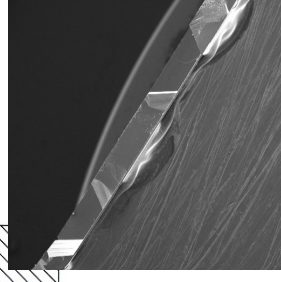
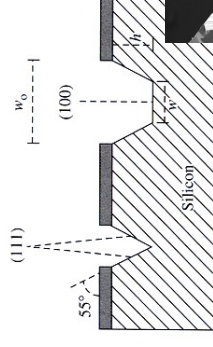
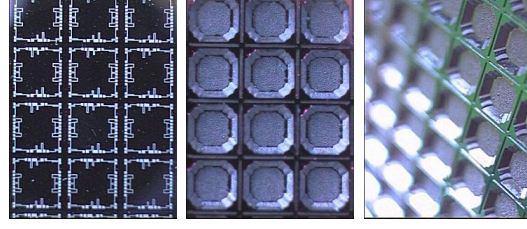


ANIZOTRÓP MARÁS: MARÁSI MÉLYSÉG BEÁLLÍTÁSA



Marásmegállító réteg: erős p⁺ adalékolás (B), néhányszor 10¹⁹ cm⁻³

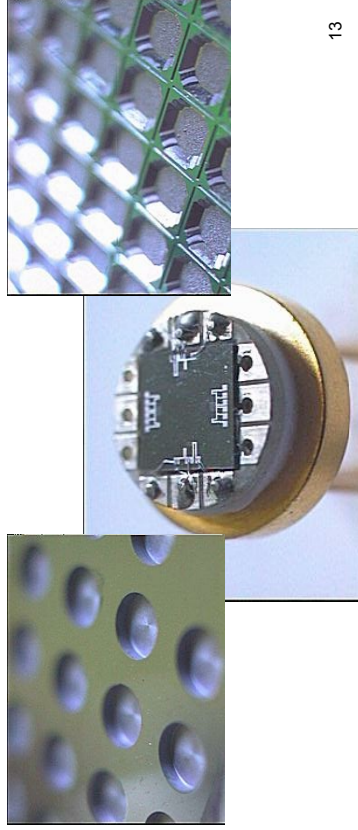
SI TÖMBI MIKROMECHANIKA



KOH marás: egyszerűbb alakzatok ¹²

PRESSURE SENSORS: WAFER PROCESSING

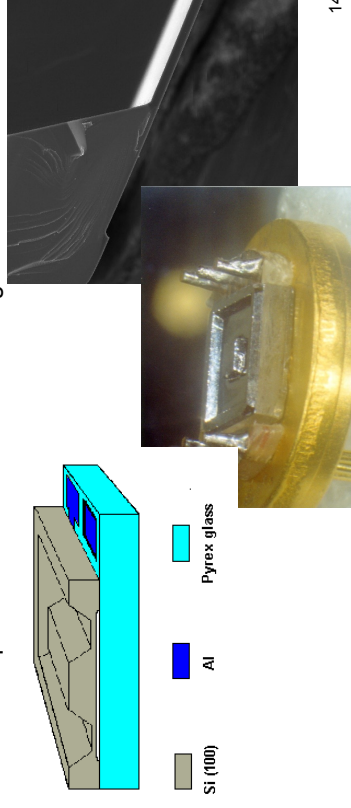
piezoresistive (pressure ranges from 0.4bar up 600bar)
 ion implanted piezoresistors
 double side alignment
 KOH backside etching for membrane formation (50-200 μ m)



13

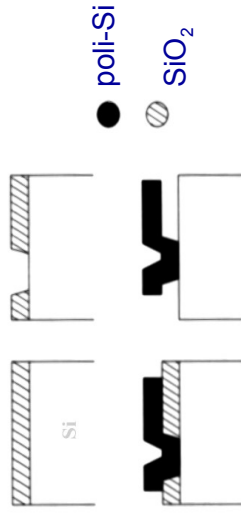
PRESSURE SENSOR

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



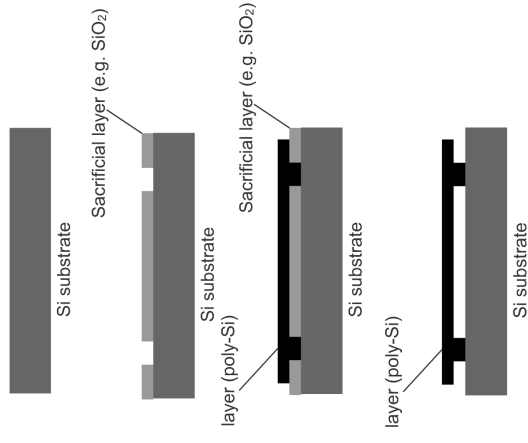
14

SI FELÜLETI MIKROMEGMUNKÁLÁS



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

SI FELÜLETI MIKROMEGMUNKÁLÁS



FELÜLETI ÉS TÖMBI MIKROMEGMUNKÁLÁS

Deposit or grow silicon dioxide



Pattern the oxide using a mask
Deposit polysilicon



Pattern polysilicon



Sacrifice oxide layer by dissolving



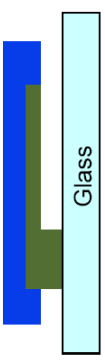
Etch using a mask



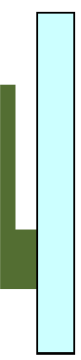
Boron doping using a mask



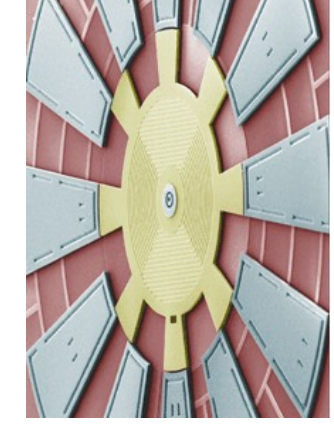
Flip and bond to a glass



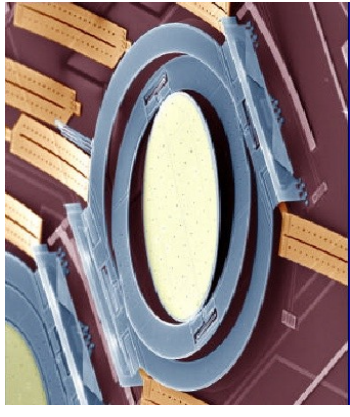
Dissolve undoped silicon



MIKRO-MOTOR ÉS MIKRO-TÜKÖR

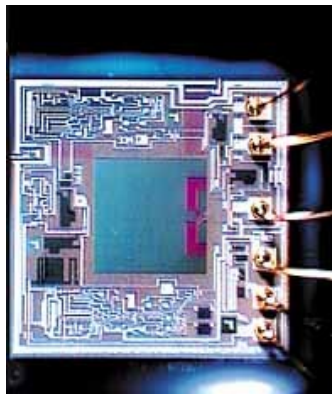


Si elektrosztatikus mikro-motor (Texas Instruments)

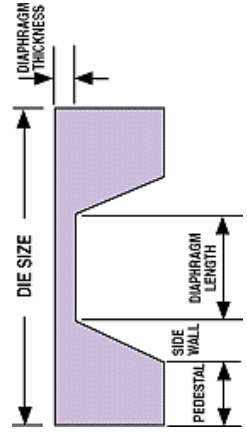


Mikro-tükör (Lucent Technologies)

PIEZOREZISZTÍV NYOMÁSÉRZÉKELŐ

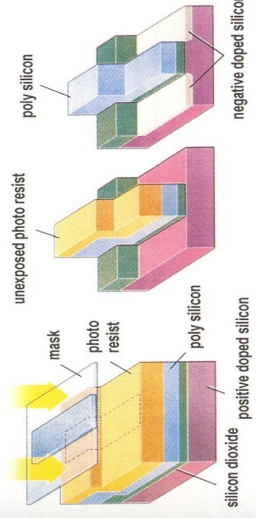


Chip: 2,67 x2,67 mm



Membrán vastagsága < 25 μ m

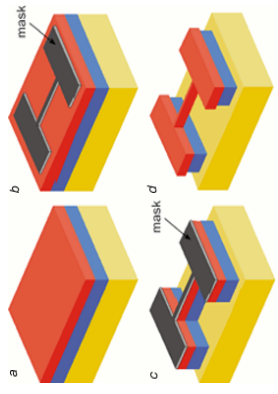
CMOS ÉS MEMS TECHNOLOGIA



Térbeli (3D) top-down építkezés, szelettechnológia

A CMOS technológia lépéseivel kialakított szerkezetekben az ún. segédréteg kioldása után szabadon álló, feijűgesszett hidak, rezgőnyelvek, billenő tükrök, stb. kialakítása

Síkbeli (2D) top-down építkezés, szelettechnológia
A 90 nm-es CMOS α P technológiában min. 380 egycedi, köztük 18-22 ábrakialakítási lépés, 8-10 rétegű fémmezés, >3 cm² chipméret



SI TECHNOLOGIA

Alapanyag: félvezető egykristály (Si)

Processzállás:

•Additív módszerek:

vékonyréteg leválasztás – PVD, CVD, ábrakialakítás

•Módosító eljárások:

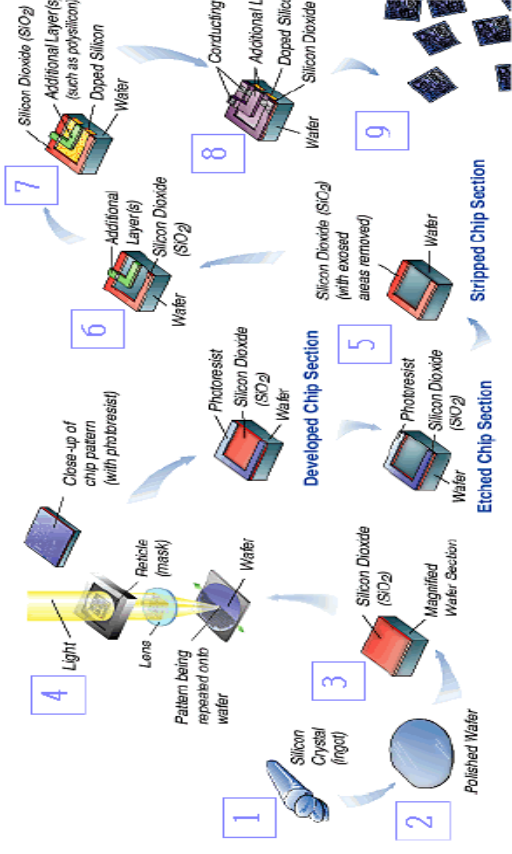
fotopozíció, ionimplantációs adalékolás, termikus műveletek

•Szubtraktív módszerek:

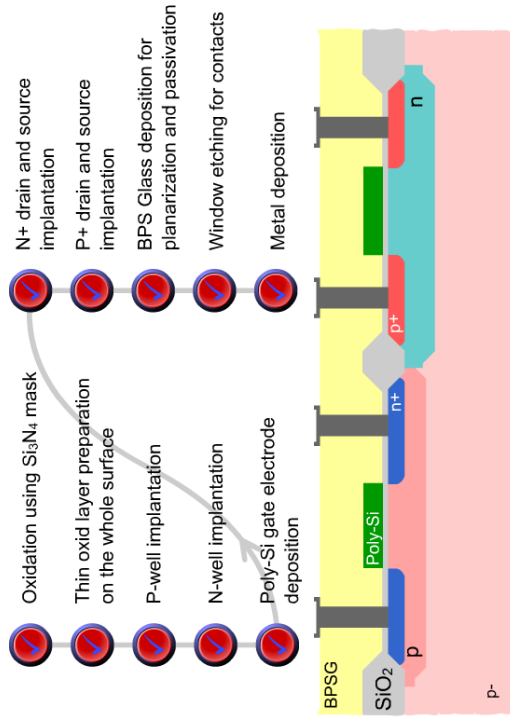
kémiai és fizikai marási lépések, lézeres és mechanikai rétegtávolítás

A fentiek és kombinációik szekvenciális alkalmazása az alapanyag-szeleten szelettechnológia

Si IC TECHNOLOGIA FŐBB LÉPÉSEI



CMOS TECHNOLOGIA VÁZLATA



SENZOROK: FÉLVEZETŐ TECHNOLOGIÁK

- ☺ Azonos karakterisztikájú elemek olcsó tömeggyártása
- ☺ Kisméretű, kis disszipációjú eszközök
- ☺ Érzékelők integrációja
- ☺ Mikromechanikai és áramkörti 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

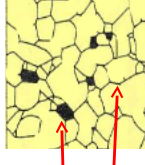
TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK:

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

KERÁMIÁK

Polikristályos kerámiák: összetett szerkezet

Pórusok
szemcsehatárok
különböző fázisok



Ezek okozzák a különféle tulajdonságokat

KERÁMIÁK SZERKEZETE

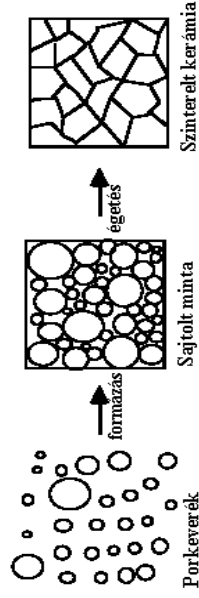
Polikristályos anyagok

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

Üveges fázis: → szilárdság, ridegség, átütési szilárdság

Gáz fázis: → rugalmasság, hőszigetelés

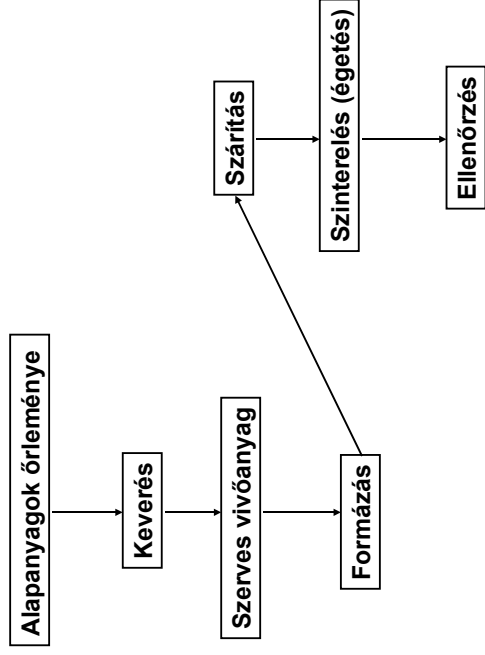
A fázisok egymáshoz való viszonya szabályozható az összetétellel és a technológiával



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 eltávolítása, polimorf átalakulás, átkristályosodás, szilárd fázisú reakciók, hóbomlás, 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 nagy tisztaságú 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 különböznek egymástól.

A rétegleválasztási és litográfiai módszerek egy speciális kombinációja az ún. **LIGA** (**L**itographie, **G**alvano**f**ormung, **A**bformung) technológia, amely lehetővé teszi több száz mikrométer vastag, öntartó, 3 dimenziós elemek kialakítását.

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

RÉTEGTECHNOLÓGIÁK

A klasszikus vastag- és vékonyréteg technológia összehasonlítása

	Vastagrétegek	Vékonyrétegek
Alapanyagok	Kolloid szuszpenziók	Nagy tisztaságú fémek, ötvözetek, vegyületek
Tipikus technológiák	Szítanyomás, hőkezelés	Vákuumbeli leválasztás, CVD
Rétegvastagság	10-50 μ 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

VÉKONYRÉTEGEK LEVÁLASZTÁSA

Fizikai módszerek (PVD, Physical Vapour Deposition)

szilárd forrásból: párologtatás (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: ELŐNYÖK ÉS HÁTRÁNYOK

☺ Viszonylag olcsó, kissorozatú gyártás is

☺ hibridizálhatóak

☺ Bizonyosfokú integráció lehetséges

☺ Többféle hordozó – többféle réteg

☺ Igen sokféle anyagú réteg vihető fel

☺ Többrétegű szerkezetek

☹ Nagybonyolultságú és nagyfokú integráció nem realizálható

LIGA

Rétegleválasztási és litográfiai módszerek speciális kombinációja:

Litographie, Galvanoformung, Abformung – LIGA

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

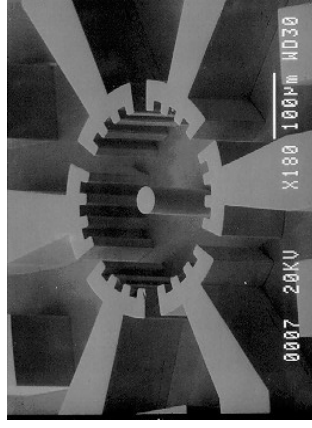
Speciális követelmények:

Röntgen sugárforrás (szinkrotron) $E > 1 \text{ GeV}$, $\lambda < 0,7 \text{ nm}$

Vastag reziszt, tipikusan PMMA (poli-metil-metakrilát)

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

LIGA EXAMPLES



200- μm deep structures

Coat with thick resist

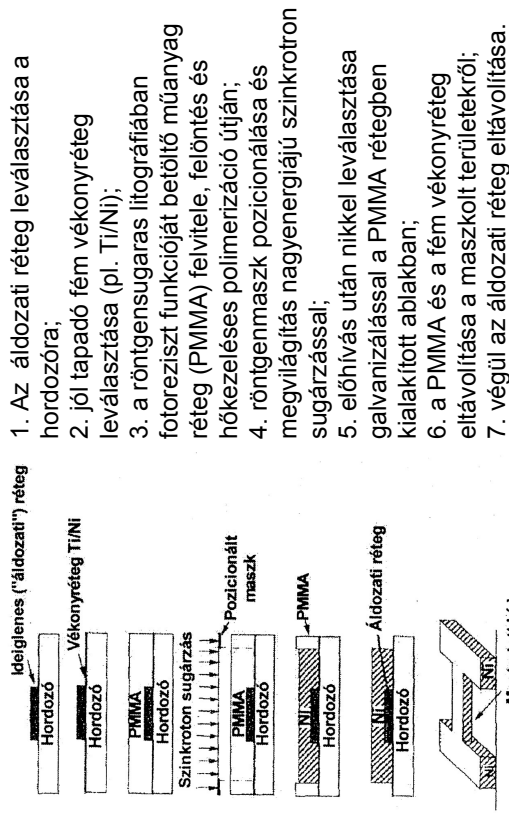
Pattern with X-rays

Electroplate exposed area with Ni

Machine to +/- 5- μm

Use titanium and Cu as sacrificial layers

SLIGA TECHNOLOGIA



TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK:

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

POLIMEREK: ALAPFOGALMAK

Természetes polimerek:

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

Mesterséges polimerek:

Polimer: építőegység
Polimer: főképp szénlánc, különböző oldalágakkal

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 makromolekulákról beszélni, mert ezen mólusúly érték körül jelennek meg a polimerekre jellemző, minőségileg új tulajdonságok (rugalmasság)

POLIMER RÉTEGEK

Mikrotechnológiával kompatibilis rétegleválasztási technológiák

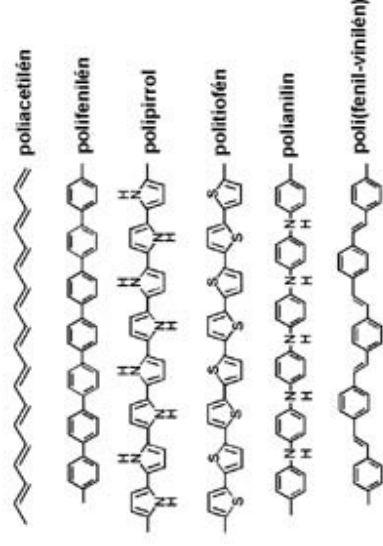
Fényérzékeny (UV) polimerek (pl. fotoreziszt): fotolitográfiai felvitel és alakzat kialakítás. Rutin IC technológia, közvetlenül átvihető a szenzorikába is.

Szítanyomás 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.

VEZETŐ POLIMEREK



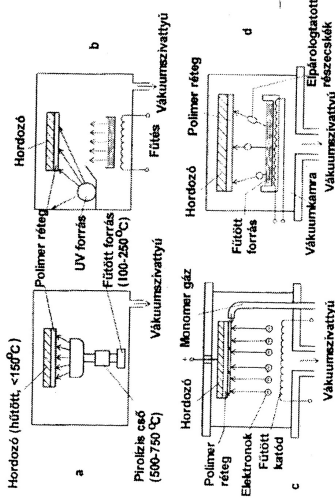
ELEKTROKÉMIAI POLIMERIZÁCIÓ

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



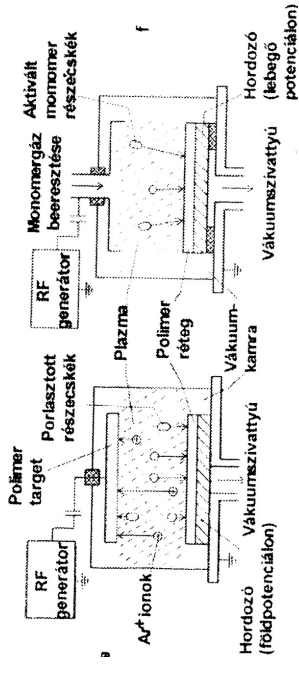
POLIMER VÉKONYRÉTEGEK LEVÁLASZTÁSA

Pirolízissal inicializált polimerizáció: UV-sugárzással segített szublimáció + pirolízis + kondenzáció/polimerizáció



Elektronbombázással segített vákuumbombázott polimer forrásból

POLIMER VÉKONYRÉTEGEK LEVÁLASZTÁSA



RF porlasztás polimer targetból

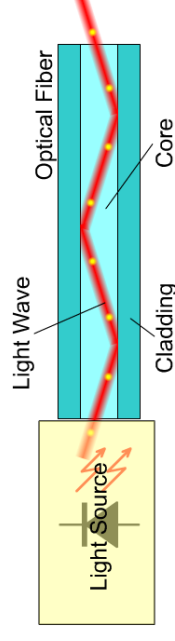
Plazma polimerizáció monomer gázokból vagy gőzökből

TECHNOLÓGIÁK ÉS ANYAGOK:

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

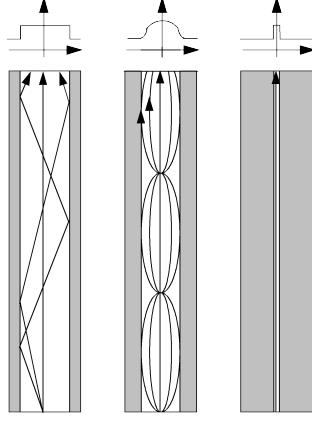
OPTIKAI SZÁLAK ÉRZÉKELŐKBEN

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.



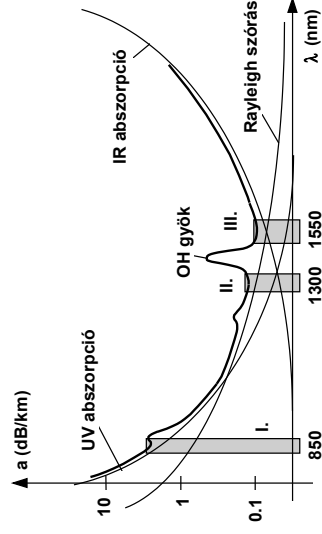
A szilárd, kör-keresztmetszetű fényvezető magot egy kisebb törésmutatójú héj veszi körül. A határfelületükön fellépő teljes visszaverődés biztosítja a fényvezetést a magon belül.

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, 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.

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 (LiNbO_3)

ÜVEGSZÁL ALAPANYAG

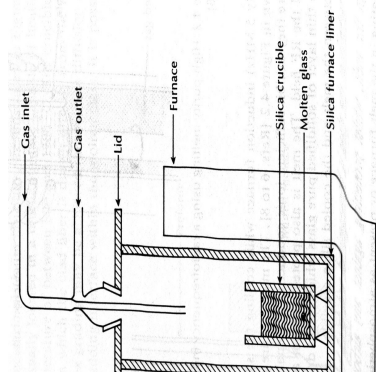
Tiszta oxidporok SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 előállítás (tisztításuk szűrővel, párlással)

Olvasztás 900-1300 °C között, és rúd formálása

Törésmutató (n) módosítása anyagi összetétel változtatásával

Tégely platinából, hogy ne szennyezze az üveget

SiO_2 tégely inhomogenitást okozhat a szálban, ezért gázzal hűtik a tégelyt, ami egy vékony, szilárd üvegréteget hoz létre



OPTIKAI ÜVEGSZÁL

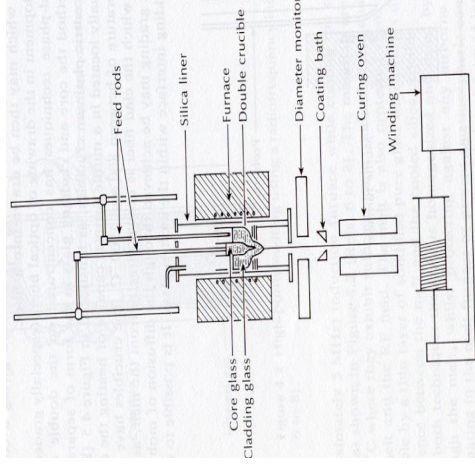
Két tégely a mag és a héj számára

GI szál gyártása

800-1200 °C

Olvadt üvegbe iondiffúzióval oldják meg a törésmutató változtatását

Üvegszál húzása kéttégelyes módszerrel



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.

VÉGE

(A MÁSODIK ELŐADÁSNAK)

