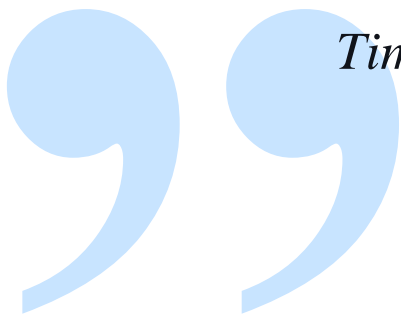


Elektronikai technológia és anyagismeret

JEGYZET

KOSZORU KRISTÓF, KEMÉNY BOLDIZSÁR



Timeo Danaos et dona ferentes

- Aeneis II.49,

Publius Vergilius Maro

Tartalomjegyzék

TARTALOMJEGYZÉK	3
VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK	6
VÉKONYRÉTEG TECHNOLÓGIA	6
Alkalmazás:	6
Vékonyréteg definíciója	6
Csoportosítás	6
Csoportosítás funkció szerint:	6
Csoportosítás anyag típus szerint:	6
Optikai vékonyrétegek	7
A funkció fizikai alapjai:	7
Optikai vékonyréteg struktúrák speciális tükrök	8
Kopásálló rétegek:	9
A vékonyréteg kialakulása a hordozón	9
Vékonyréteg felviteli módszerek	10
Vékonyréteg integrált áramkörök	10
Tervezés és méretezés	10
Tantál (Ta) alapú vékonyréteg integrált áramkörök	11
A fotolitográfia egy sajátos megoldása a vékonyréteg technológiában	12
Diszkrét alkatrészek, NiCr vékonyréteg ellenállások	12
VÁKUUMTECHNIKA	13
A vákuum definíciója	13
A vákuum szerepe	13
Átlagos szabad úthossz növelése	13
Tisztaság és felületi monoréteg	13
Vákuumpárolgató rendszer felépítése	14
Vákuumszivattyúk működési elv szerint	15
Térfogat-leválasztás elvén működő (többnyire elővákuumra)	15
Hajtóközeges és impulzus-átadási elven működő (nagyvákuumra)	15
Gáz-megkötő elven működő (többnyire tisztaságot növelnek)	16
Vákuum előállítása	16
A vákuummérés	17
Pirani vákuummérő:	17
Ionizációs vákuummérő	17
A vákuumpárolgató és porlasztás technológiája	18
A vákuumpárolgató folyamat	18
Árammal közvetlenül és közvetetten hevített források	18
Elektronsugaras fűtésű párolgatóforrás	19
A párolgató források iránykarakterisztikája:	19
Egyes elemek egyensúlyi gőznyomása	19
Ionokkal segített rétegleválasztás	20
Vékonyrétegek előállítása vákuum porlasztással	20
A vákuumporlasztás alapelve	20
A vákuumporlasztás gyakorlati megvalósításai	20
A vákuumporlasztás automatizálása	21
VASTAGRÉTEG TECHNOLÓGIÁK	22
KERÁMIA ALAPÚ VASTAGRÉTEG TECHNOLÓGIA	22
Alapfogalmak	22
Alapanyagok	22
Vastagréteg integrált alkatrészek	23
A vastagréteg technológia lépései	23
Szitanyomtatás	23

Szárítás és beégetés	23
<i>A szitamaszk</i>	24
Mesh szám	24
A szitamaszk típusai	24
Szita vs. Stencilnyomatás	24
<i>Hibrid IC készítése</i>	25
Rétegenállások alakjai és értékbeállítása	25
Vágatformák	26
Lézeres értékbeállító rendszer	26
<i>A kerámia vastagrétegek felhasználási területei</i>	26
POLIMER ALAPÚ VASTAGRÉTEG ÉS TÖBBRÉTEGŰ KERÁMIA TECHNOLÓGIÁK	27
<i>Polimer vastagréteg előállítás</i>	27
<i>Felületszerelt alkatrészek hajlékony hordozókon</i>	27
Alkatrészek rögzítési lehetőségei:	27
Polimer vastagréteg alkalmazások:	28
Kerámia vs. Polimer vastagréteg	29
<i>A többrétegű kerámiák típusai</i>	29
MLC (MultiLayer Ceramic):	29
MLGC (MultiLayer Glass Ceramic):	29
DBC (Direct Bonded Copper) (spec.)	29
A NYOMTATOTT HUZALOZÁSÚ LEMEZEK TECHNOLÓGIÁJA ÉS TERVEZÉSE	30
EGYOLDALAS ÉS KÉTOLDALAS LEMEZEK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA	30
<i>A nyomtatott huzalozású lemezekről (NYHL)</i>	30
A nyomtatott huzalozású lemezek hordozójának anyagai	30
Vezető síkok elhelyezkedése	31
Huzalozási szabályok	31
<i>A rajzolat kialakításának gyártástechnológiája</i>	32
Szubtraktív technológia	32
Additív technológia	32
Féladditív technológia	32
<i>Alaptechnológiai eljárások a NYHL-ek gyártásánál</i>	32
<i>Mechanikai technológiák – fúrás</i>	33
Technológiai paraméterek	33
Szerszámok alapanyaga	33
<i>Elektrokémiai és árammentes rétegfelviteli eljárások</i>	34
Galvanizálás	34
Árammentes („kémiai”) bevonat	34
„Direkt” galvanizálás	34
Immerziós eljárás	34
<i>Rajzolatalkalítási technológiák – Fotolitográfia</i>	34
Szilárd fotoreziszt felvitele laminálással	34
<i>Az egyoldalas nyomtatott huzalozású lemezek technológiája</i>	35
Technológiai lépések pozitív fotoreziszt-maszk esetén	35
Technológiai lépések negatív fotoreziszt-maszk esetén	35
<i>Kétoldalas nyomtatott huzalozású lemezek</i>	35
Furatfémzés célja	35
Furatfémzés kialakítása	35
<i>Kétoldalas NYHL-ek készítése</i>	36
<i>Nyomtatott huzalozású lemezek felületi bevonatai</i>	37
Felületi bevonatok:	37
Bevonatok nedvesíthetősége 1 termikus ciklus után:	37
TÖBBRÉTEGŰ ÉS SPECIÁLIS LEMEZEK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA, NAGY VEZETÉKSÚRÚSÁGÚ HORDOZÓK TÍPUSAI	38
<i>Az együttlaminált többrétegű nyomtatott huzalozású lemezek</i>	38
<i>Többrétegű lemez furatfajtái és rétegei</i>	38
Többrétegű lemezek technológiája	39
Laminálási változatok	39
<i>Mikroviák készítési technológiái</i>	40
Különböző technológiájú mikroviák szerkezete	40

UV lézeres fúrás	40
Szekvenciális technológiával készített NYHL-ek	41
Nagyfelbontású, mikroviás NYHL	42
Szekvenciális technológia fényérzékeny szigetelőkkel	42
Speciális nyomtatott huzalozások - fémbetetes lemezek	43
MULTICHIP MODULOK	43
MCM-L hordozó: HD nyomtatott huzalozású lemez	43
MCM-D, vékonyréteg technológiával készülő MCM	44
MCM-C, a többrétegű kerámia hordozójú modulok	45
KORRÓZIÓ, OXIDÁCIÓ, MIGRÁCIÓ	46
KORRÓZIÓ	46
Definíció	46
A korrózió alaptípusai	46
Elektrokémiai korrózió	46
Kémiai korrózió	49
A korrózió megjelenési formái	50
Elektrokémiai korrózió	50
Kémiai korrózió	52
ANYAGSZERKEZET VIZSGÁLATOK	53
Szerkezetvizsgálat szintjei	53
Röntgensugárzás keltése	53
Fékezési és karakterisztikus röntgensugárzás	53
Karakterisztikus röntgensugárzás	53
Röntgensugárzás alkalmazása	54
Bragg-egyenlet	54
A visszaverődés szögfüggésének detektálása	54
Diffraktométer	54
Diffraktogram	55
Diffraktogram kiértékelése	55
Transzmissziós elektronmikroszkóp	55
PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓP	57
Válaszjelek	58
Elektron-anyag kölcsönhatás	58
Mélységélesség	58
Vákuum szerepe	58
Töltődés, fémbevonás	58
SEM-vizsgálatok	59
Elektronsugaras mikroanalízis	59
Energia-diszperzív röntgenspektrum	59
Optikai mikroszkópos vizsgálat célja	59
Optikai mikroszkóp	60
MARATÁS HATÁSA	61
Homogén marószerszer	61
Heterogén marószerszer	61
Példák	61
Marató oldatok összehasonlítása	62

Vékonyrétegek és előállításuk

VÉKONYRÉTEG TECHNOLÓGIA

Alkalmazás:

- Antireflexiós réteg (szemüveg)
- IC gyártás
- Hajlékony kijelző
- Napelem

Vékonyréteg definíciója

Többnyire félvezető, üveg vagy hajlékony fólia hordozóra leválasztott réteget értünk alatta ami:

- vákuumtechnológiával készült
- vastagsága pár nm-től pár μm -ig terjed
- gyakran a tömbi anyagtól eltérő optikai, vezetési tulajdonságot mutat

Csoportosítás

Csoportosítás funkció szerint:

- **optikai** (pl. anti-reflexiós bevonat lencséken, tükör)
- **elektromos** (pl. összeköttetés félvezető áramkörökön, vékonyréteg integrált áramkör, napelem)
- **optikai és elektromos** (pl. átlátszó vékonyréteg folyadékkristályos /LCD/ kijelzőkben)
- **mechanikai** (pl. kopásálló bevonat)
- **felület passziválás** (pl. korrózió ellen)
- **öntisztító felületek** (pl. víz lepergetése)
- **dekoráció, művészet**

Csoportosítás anyag típus szerint:

Tiszta fémrétegek, pl.:

- **arany** (pl. vezetőréteg kialakítása)
- **alumínium** (pl. képcsőben, IC gyártásban vezetőréteg, tükörként)
- **réz** (pl. vezetékezés vékonyréteg áramkörökben)

Ötvözetek, vegyületek, pl.:

- **NiCr** (nikkel-króm réteg, vékonyréteg ellenállás anyaga)
- **TiN** (titán-nitrid, extra keménységű bevonatként kopó alkatrészekben)
- **ITO** (indium ón oxid, átlátszó és vezető vékonyréteg pl. LCD-ben)
- **TaN** (tantál-nitrid, ellenállás anyag)

Félvezető rétegek

- amorf Si (vékonyréteg tranzisztorként LCD-ben, napelemben)
- polikristályos Si

Dielektrikumok

- MgF_2 (optikai anti-reflexiós réteggént)

Optikai vékonyrétegek

Egy vagy több, a **fény hullámhosszával egy nagyságrendbeli** vastagságú (~párszáz nm) **rétegek** alkotják.

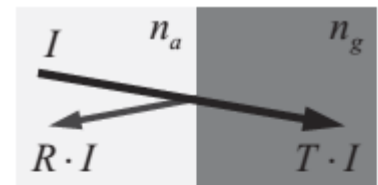
A rétegszerkezetek anti-reflexiós, tükröző vagy éppen szűrő hatását az interferencia és a törésmutató különbségek okozzák.

Példák:

- ablaküveg bevonat – reflexió az infra (hő) tartományban
- hidegtükrös izzók – a látható fényt reflektálja, a hőt nem
- anti-reflexiós bevonatú szemüvegek, fényképező és mikroszkóp optikák

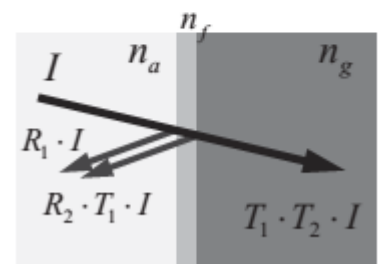
A funkció fizikai alapjai:

- R – reflexiós együttható
 - levegő → normál üveg esetén: kb. 4%
 - vékonyréteg bevonattal (nf): kb. 2%
 - levegő: $n_a \sim 1$
 - üveg: $n_g \sim 1,5$
 - réteg: $n_f \sim 1,22$ (lenne optimális), $\sim 1,38$ (MgF_2 réteg)
- Interferencia:
 - $\lambda/4$ vastagságú vékonyrétegekkel
 - λ hullámhossz környezetében
 - működő szűrő, tükör állítható elő



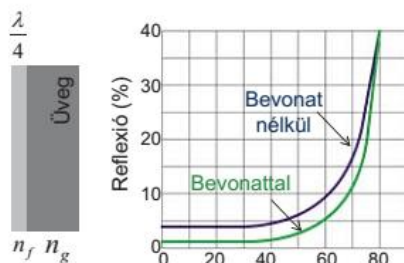
Merőleges beesés esetén:

$$R = \left(\frac{n_a - n_g}{n_a + n_g} \right)^2; T \approx 1 - R$$



$$n_{f \text{ optimum}} = \sqrt{n_a \cdot n_g}$$

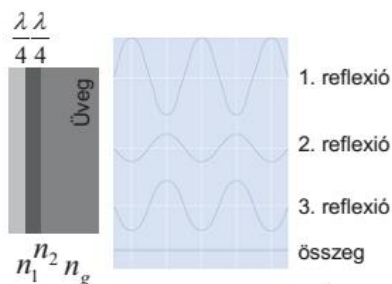
Egyrétegű lambda-negyedes struktúra



$$n_{f \text{ optimum}} = \sqrt{n_a \cdot n_g}$$

Pl.: MgF_2 - $n_f = 1,38 >$ optimális

Kétretegű lambda-negyedes struktúra

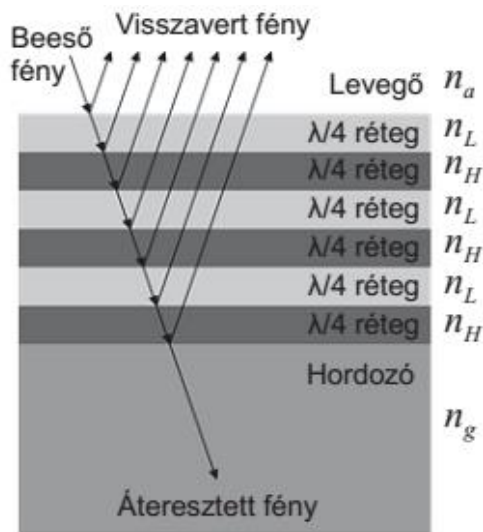


Optimális n_1 és n_2 számítása: $\frac{n_1^2}{n_2} = \frac{n_a}{n_g}$

Pl.:
 $n_1 = 1,38$ -re (MgF_2) $n_{2 \text{ opt.}} \rightarrow 1,70$
 $n_2 = 1,76$ (Al_2O_3)

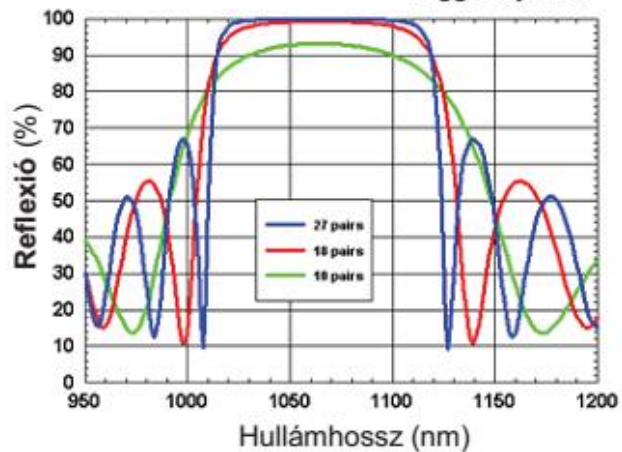
Optikai vékonyréteg struktúrák speciális tükrök

Többrétegű lambda-negyedes struktúra (QWS) -> közel 100%-os reflexió:



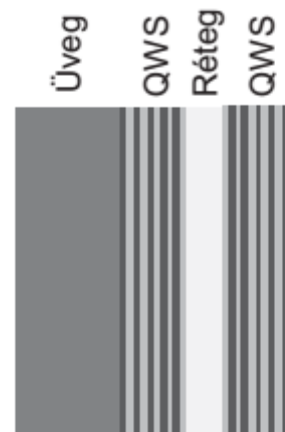
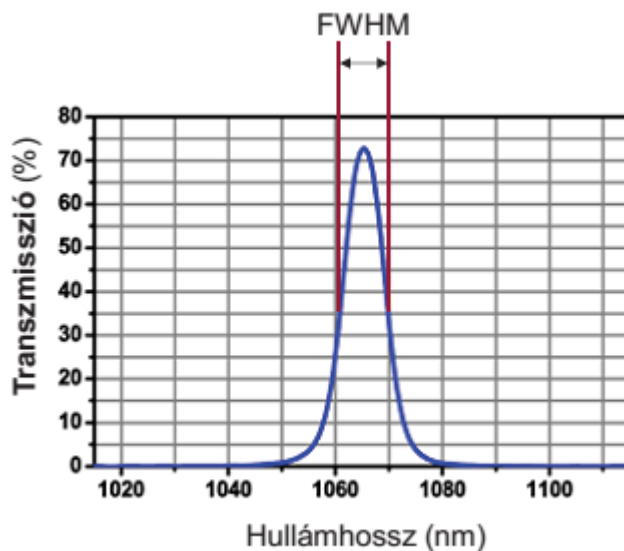
QWS: Quarter-Wave Stack

Példa: $\lambda = 1064$ nm-re tervezett tükör reflexiója a rétegpárok számának függvényében



Fabry-Perot szűrő:

- Példa: $\lambda = 1064$ nm-re tervezett szűrő átocsátóképessége.
- FWHM = 10 nm, de akár 1 nm is lehetne
- FWHM: Full Width at Half Maximum, azaz a sáv szélessége a maximumérték felénél



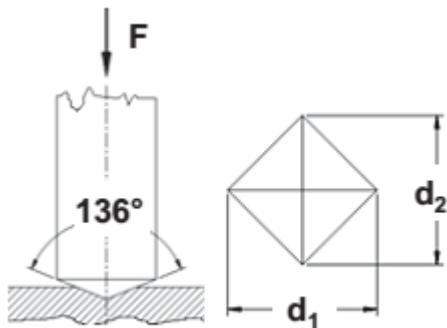
Réteg: n -szer $\lambda/4$ vastag, n egész szám. Pl. epoxiból

Kopásálló rétegek:

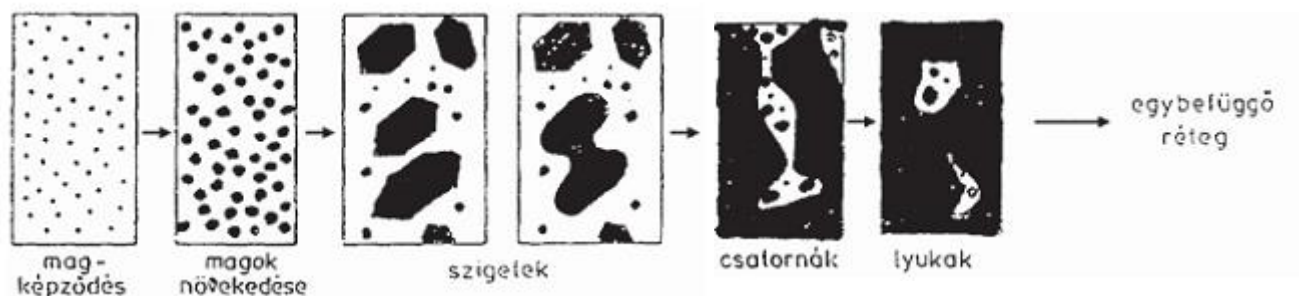
anyag	keménység, HV (Vickers-féle)	max. * T, °C	szín
TiN	2300	600	arany-sárga
TiCN	3000	400	kék-szürke
WC	2200	300	szürke
CrN	1750	700	kék-szürke
acél	~100-300		
Al	15		

Vickers keménységmérés:

$$HV = \frac{F}{A} \approx const * F/d^2$$

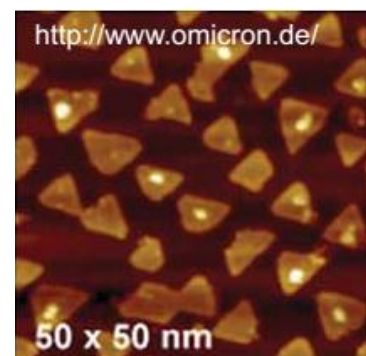


A vékonyréteg kialakulása a hordozón



Példa:

Vas monoréteg kialakulása **arany felületén**, STM
(pásztázó alagútmikroszkópos) felvétel



Vékonyréteg felviteli módszerek

Példák:

- vákuumtechnológiák
- vákuum-párolgatás
- (vákuum-)porlasztás
- MBE (Molecular Beam Epitaxy),
- CVD (Chemical Vapour Deposition),
- PECVD (Plasma Enhanced CVD)
- galvanizálás

Vékonyréteg előállításának berendezései:

tömeggyártásban:	lencsebevonat készítése
kutatásban:	Molekulasugaras epitaxia

Vékonyréteg integrált áramkörök

szigetelő (többnyire üveg) hordozón létrehozott, vékonyréteg ellenállásokat, kondenzátorokat, tranzisztorokat és az elemeket összekötő vezetékeket tartalmazó áramkörök

Huzalozási pályák, kontaktusfelületek:

- fő elvárások: jó **tapadás**, jó **vezetés**, alkalmasság az elektronikai technológiában alkalmazott kötési módszerekre
- anyagok: Cu, Al, ill. többnyire rétegrendszerek,
- pl.: Cr-Au

Ellenállások:

- fő elvárások: hosszú távú stabilitás, minimális hőmérsékleti tényező (TK vagy α , $\Delta R = \alpha \cdot \Delta T \cdot R$)
- anyagok: többnyire ötvözetek,
- pl.: Ni-Cr ($R_{\square} = 100..200 \Omega$, $\alpha = \pm 50 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$), Cr-Si, Ta₂N

Tervezés és méretezés

vékonyréteg ellenállások méretezése, előállítása:

- $R = R_{\square} \cdot l/d$, ahol R_{\square} a réteganyag **négyzetes ellenállása**, l az ellenállás **hossza**, d a **szélessége** (így a tervezéskor nem kell ismernünk a réteg vastagságát!)
- egy 50-50%-os Ni-Cr ellenállás esetén $R_{\square} \sim 150 \Omega$, de előállítása nem egyszerű, mivel a Ni és a Cr párolgási sebessége adott hőmérsékleten és nyomáson eltérő
- „csík” formájában max. pár 100 Ω -os ellenállás készíthető, nagyobb értékhez hajtogatott (meander) forma szükséges
- nagy **pontossági igényű** ellenállások értékét **utólag lézerrel állítják** be, $\pm 0,1\%$ -nál jobb pontosság érhető el
- fontos előny: az azonos technológiával készült ellenállások **jó hőmérsékleti együttfutása**

Mintázatkialakítási módszerek

mintázatkialakítás a rétegfelvitel közben

Fémmaszkon (a kívánt mintának megfelelő nyílásokon) keresztüli párologtatás

- fő előny: a maszkot nem kell közvetlenül a hordozóhoz érinteni, pár mm-es távolságra is lehet tőle
- fő hátrány: az elérhető vonalszélesség nagyobb mint $500\ \mu\text{m}$

mintázatkialakítás a rétegfelvitel utáni lépésben

fotolitográfia (mint a Si és NYHL technológiában)

- fő előny: finomabb alakzatok
 - fő hátrány: tisztaságra és technológiai paraméterekre érzékeny, összetett folyamat
- közvetlen lézeres rétegtávolítás**
- fő előny: rugalmas technológia, a mintázat bármikor módosítható
 - fő hátrány: alacsonyabb termelékenység

Tantal (Ta) alapú vékonyréteg integrált áramkörök

egy vákuumciklusban előállítható vezetőpálya, ellenállás, és kondenzátor:

- **huzalozás:** Ta porlasztása Ar atmoszférában
- **ellenállás:** Ta porlasztása N_2 atmoszférában $\rightarrow \text{Ta}_2\text{N}$
- **szigetelő:** Ta porlasztása O_2 atmoszférában $\rightarrow \text{Ta}_2\text{O}_5 \rightarrow$ (kondenzátor dielektrikum)

Tehát pusztán az vákuumkamrába engedett gáz változtatásával az áramkör különböző elemeit elő tudjuk állítani az ún. reaktív porlasztással.

PÉLDA VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSÁRA

1. Az üveg hordozóra...

...leválasztjuk az ellenállás réteget

... leválasztjuk a vezetőrétet

2. Mintázatkialakítás fotolitográfiával

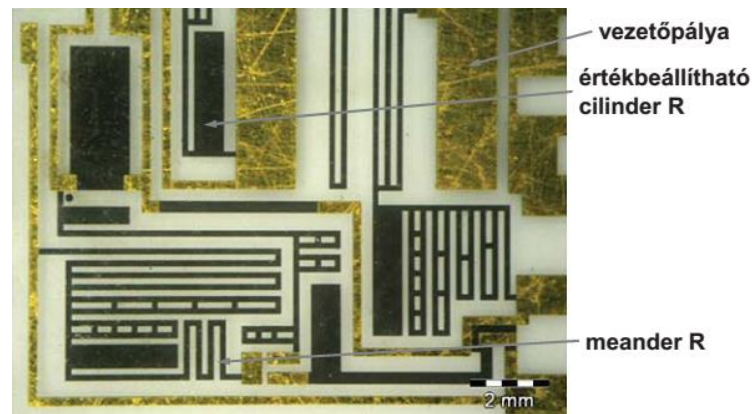
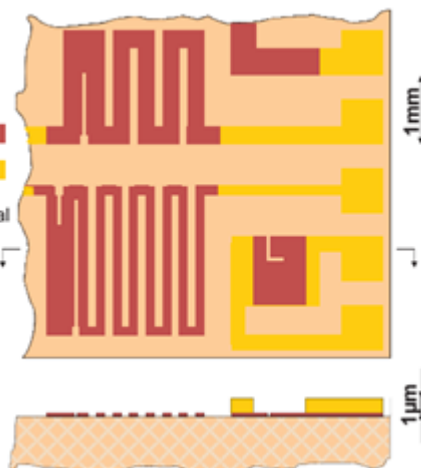
... maratjuk a vezetőrétet

... maratjuk az ellenállás réteget

... második fotolitográfiával...

... maratjuk a vezetőrétet

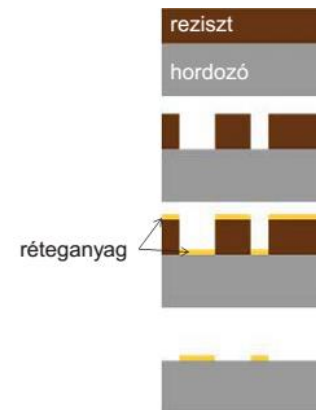
3. Lézerrel értékbeállítunk



A fotolitográfia egy sajátos megoldása a vékonyréteg technológiában

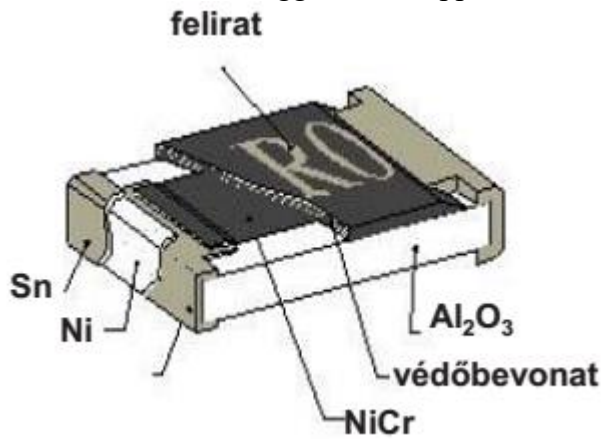
LIFT-OFF technika:

- reziszt (áldozati réteg) felvitele
- reziszt megvilágítása maszkon keresztül
- előhívás (reziszt leoldása)
- mintázandó anyag felvitele
- maradék reziszt leoldása a rajta lévő anyaggal együtt



Diszkrét alkatrészek, NiCr vékonyréteg ellenállások

- precíziós ellenállások: 0.01%
- kis hőmérséklet függés: 25..50 ppm/°C



A vákuum definíciója

A vákuum a gázok egy olyan állapota, amelyben a **részecskesűrűség kisebb** mint a **Föld légkörében**.

- SI mértékegysége: pascal (Pa), ami N/m²
- 10⁵ Pa = 1 bar = 750 torr
- 1 torr = 1 mmHg = ~133 Pa
- Vákuum mértékei
 - elővákuum: 10⁵-1 Pa
 - nagyvákuum: 1-10⁻⁵ Pa
 - ultranagyvákuum: 10⁻⁵-10⁻¹⁰ Pa

A vákuum szerepe

Átlagos szabad úthossz növelése

- átlagos szabad úthossza (L): az egyes részecskék ütközése között megtett átlagos távolság.
- $L = C / P$, ahol P a nyomás, C pedig egy, az anyagtól és a hőmérséklettől függő érték

Tisztaság és felületi monoréteg

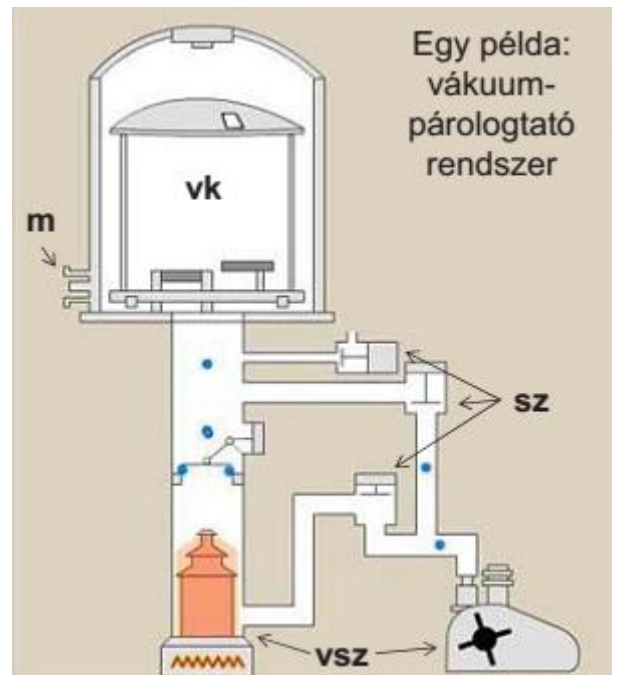
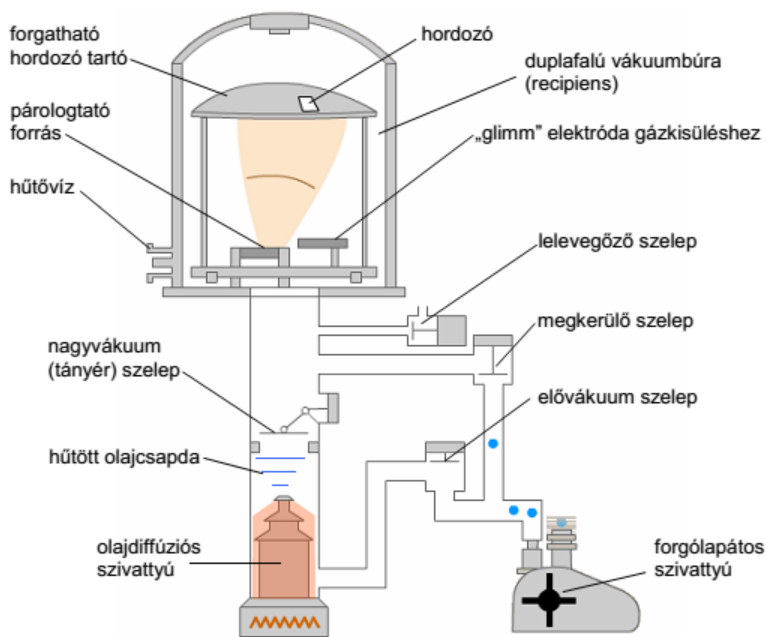
- A párologó részecskék reagálhatnak a gázmolekulákkal és kémiaiilag szennyezhetik a leválasztott réteget → a nagyobb vákuum előny

A gázmolekulák adszorbeálódnak a hordozó és a vákuumtér felületein. Glimmeléssel (gázkisüléssel) eltávolíthatók a felületekről, de a felületi monoréteg a nyomás és a hőmérséklet alapján adódó idő alatt újraépül.

Nyomás	10 ⁻¹⁰ Pa	10 ⁻⁵ Pa	1 Pa	10 ⁵ Pa
A monoréteg kialakulásához szükséges idő (~)	1 hónap	30 s	300us	3 ns

Vákuumpárolgató rendszer felépítése

- vákuumszivattyúk (vsz)
 - az elérendő vákuumtól függően akár több fokozatban
- vákuummérők (m)
 - az elérendő vákuumtól függően akár több fokozatban
- szelepek (sz)
- vákuumkamra (vk)



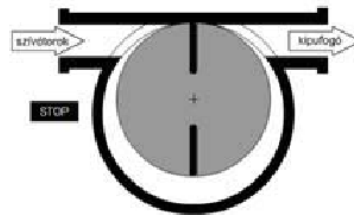
Vákuumszivattyúk működési elv szerint

$< 10^{-5}$ Pa	$10^{-5} - 1$ Pa	$1 - 10^5$ Pa	Nyomás-tartomány / szivattyú (elv)
		←	forgó-csúszó lapátos (Elv.1)
	←		olajdiffúziós (Elv.2)
←			turbó-molekuláris (Elv.2)
←			hidegcsapda („krió”) (Elv.3)

Térfogat-leválasztás elvén működő (többnyire elővákuumra)

Forgó-csúszó lapátos szivattyú

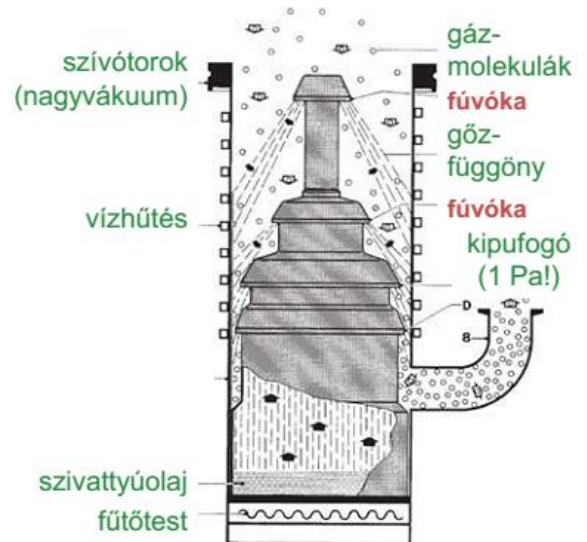
- Működési tartomány: 10^5 Pa - 0.1 Pa
- *Működési elv:* Ciklikusan magába szívja, majd elkülöníti a beszívott gáz, azután kiüríti.
- ETT-n: vákuumpárolgató, elektronmikroszkóp, vákuummal rögzítő mintatartó asztal



Hajtóközegeges és impulzus-átadási elven működő (nagyvákuumra)

Olajdiffúziós szivattyú:

- Működési tartomány: 1 Pa - 10^{-7} Pa
- *Működési elv:* A gáz bediffundál az olajgőzbe, amely nagy sebességgel áramlik.
- Fő előnyei:
 - nagy szívósebesség
 - viszonylag olcsó
 - tartós és megbízható
- Fő hátránya:
 - az olajgőzök a vákuumtérbe juthatnak



Turbomolekuláris szivattyú

- *Működési tartomány:* 10^{-2} Pa - 10^{-8} Pa
- *Működési elv:* A gáz részecskéi impulzust kapnak a nagy sebességgel forgó lapátoktól.
- A fordulatszám akár 100.000 fordulat / perc
- Fő előnyei:
 - olaj nélküli, tiszta működés
 - nagy szívósebesség
- Fő hátránya:
 - viszonylag drága



Gáz-megkötő elven működő (többnyire tisztaságot növelnek)

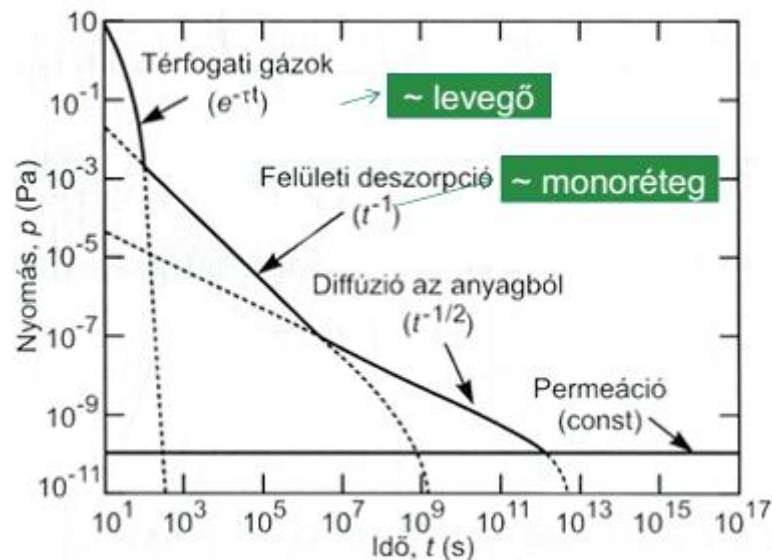
Kifagyasztók

A gáz vagy gőzrészecskék kicsapódnak egy (pl. vízzel, folyékony nitrogénnel) hűtött felületen. A parciális nyomást zárt térben a leghidegebb felület hőmérséklete korlátozza.

Getter szivattyúk (adott gőzökre, gázokra szelektívek)

Kémiaailag megkötik vagy fizikailag elnyelik a részecskéket.

Vákuum előállítása



Permeáció:

Az a folyamat, amelynek során egy gáz vagy folyadék áthatol egy pórusmentes szilárd anyagon. (adszorpció → diffúzió → deszorpció.)

A vákuummérés

A nyomás mérésére számtalan elv és konstrukció létezik - nyomástartománytól, pontossági igénytől, környezettől, ártól stb. függően lehet választani.

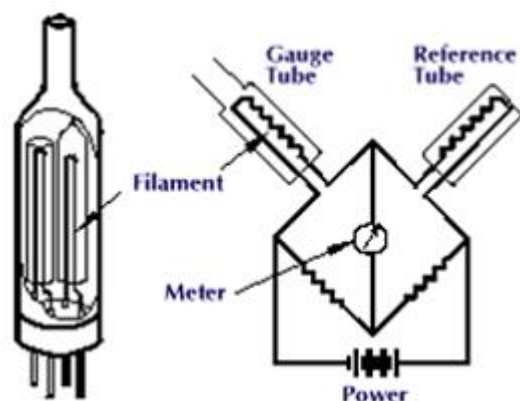
Egy **nagyvákuum**-rendszerbe **minimum két mérő** szükséges (külön az elő- és nagyvákuumra)

Fő vákuummérő elvek az egyes nyomástartományokban:

$< 10^{-5}$ Pa	$10^{-5} - 1$ Pa	$1 - 10^5$ Pa	Nyomás-tartomány / Vákuummérés elve
		←	kapacitív (10 Pa- 10^6 Pa)
	←		Pirani (10^{-1} Pa- 10^3 Pa)
←			ionizációs (10^{-8} Pa- 10^{-1} Pa)

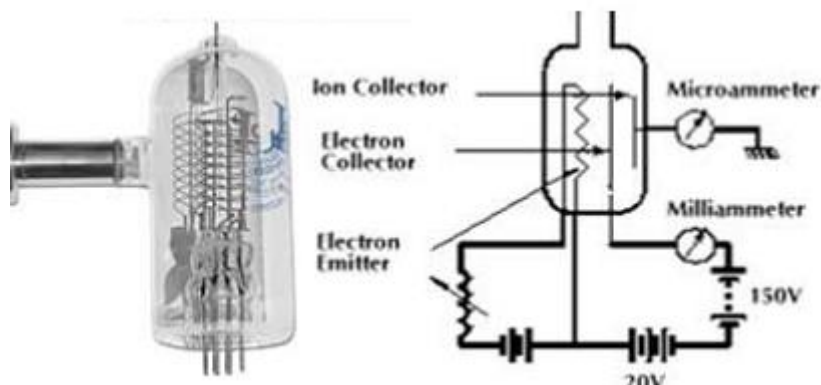
Pirani vákuummérő:

Egy hőmérséklettől függő ellenállású fűtőszálát hevítünk, amelyet csak a vákuumtérben levő gáz hűt. A szál állandó hőmérsékleten tartásához szükséges áram összefügg a nyomással, így annak mérésén és szabályozáson alapul a műszer.



Ionizációs vákuummérő

Elektronáramot hozunk létre a vákuumban, amely ionizálja a gárrészecskéket. Az ionokat egy negatív elektródával felfogjuk és „megszámoljuk” (~ionáram). A nyomás csökkenésével csökken az ionáram is.



A vákuumpárolgatás és porlasztás technológiája

Mindkét technológiával különböző anyagú, funkciójú, vastagságú vékonyrétegeket választhatunk le. **Feltételük a vákuum**, bár **porlasztásnál** a leszívott térbe **adott funkciójú** és mennyiségű gázt (pl. O₂, Ar) **töltenek**.

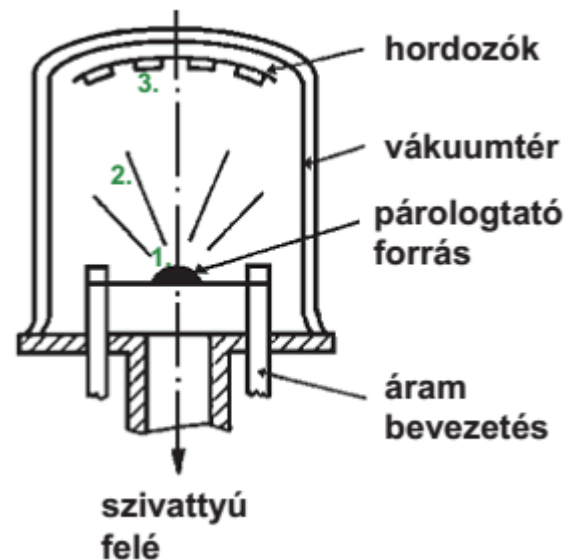
A **leválasztandó anyag** atomjaira vagy molekuláira (atomcsoportjaira) **bontásának** módszerei:

- **párolgatás:** hevítéssel
- **porlasztás:** ionokkal való bombázással

A vákuumpárolgatás folyamata

A vákuumpárolgatás során három fontos folyamat megy végbe:

- **Párolgás:** a párolgatandó tömbanyagot atomjaira bontjuk hevítéssel
- **Anyagáramlás:** a részecskék egyenes vonalban, egyenletesen áramolnak
- **Kondenzáció (lecsapódás):** az atomok lecsapódnak a hordozóra, először szigeteket, majd összefüggő réteget alkotva



Árammal közvetlenül és közvetetten hevített források

Cél: a tömbanyag részecskékre bontása hevítéssel



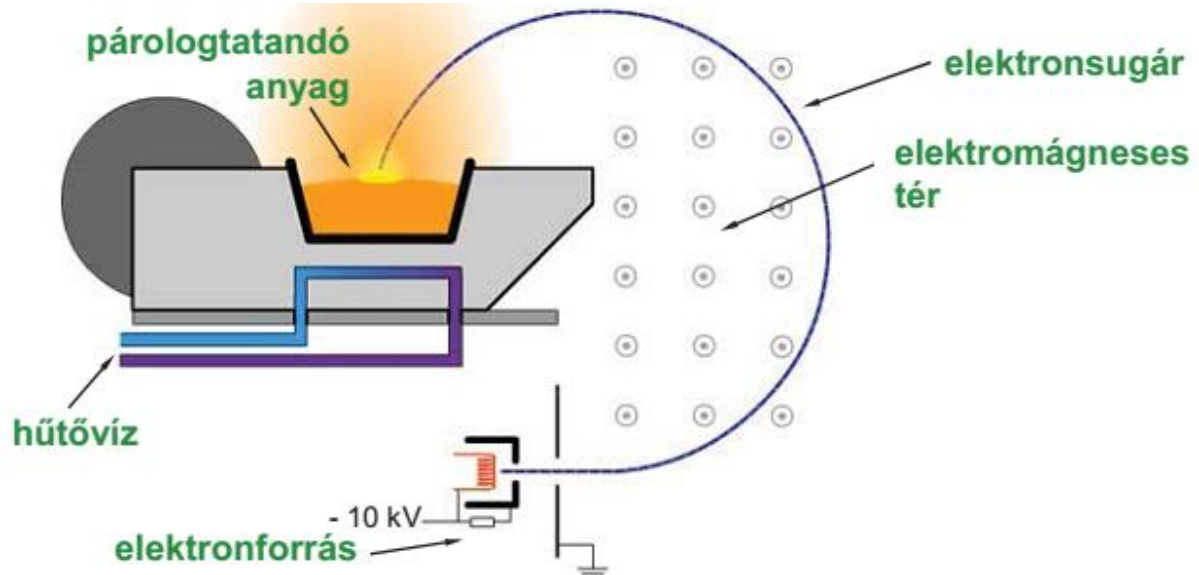
Fűtött kerámia tömbök: (pl.:BN)



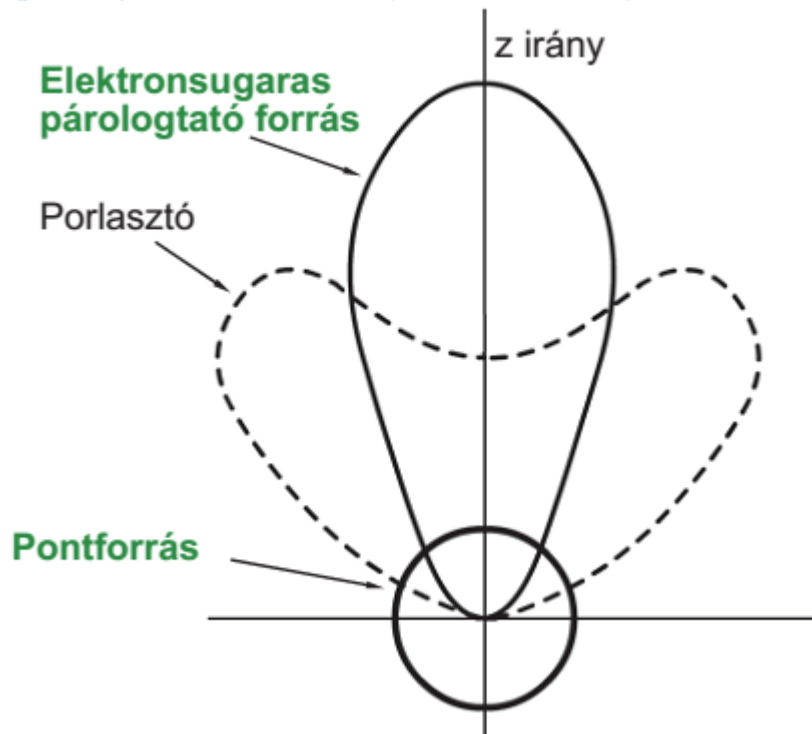
Elektronsugaras fűtésű párologtatóforrás

A párologtatandó tömbanyagot **nagysebességű elektronokkal** való **bombázással fűtjük**. Az elektronok **mozgási energiája** alakul **hővé**.

A katód azért van akár 270 fokban eldugva, hogy a **párolgó atomok** és a belőlük keletkező ionok minél **kisebb eséllyel ériék el**.

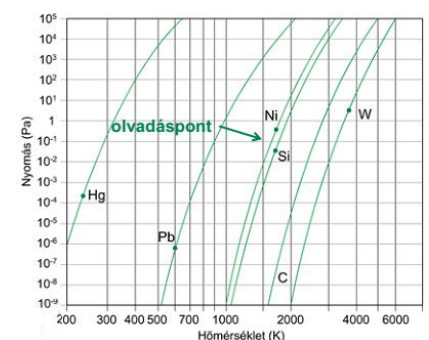


A párologtató források iránykarakterisztikája:



Egyes elemek egyensúlyi gőznyomása

Az egyes anyagok **párolgási sebessége a hőmérséklettől és a nyomástól függ**, Az anyagok az **olvadáspontjuk alatti hőmérsékleten** is párolognak.



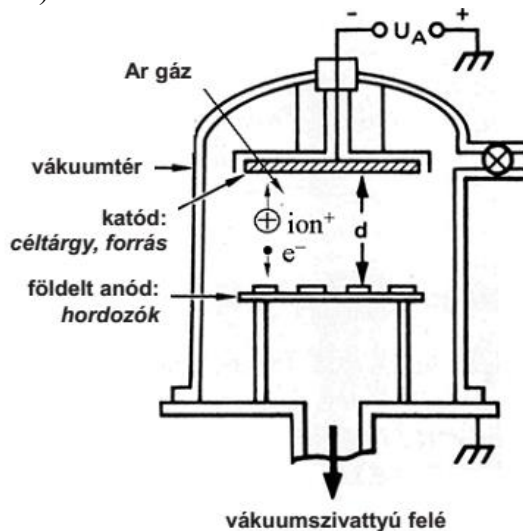
Ionokkal segített rétegleválasztás

A hordozó felületét **meghatározott energiájú ionok** bombázzák a rétegleválasztás közben, így a felületen adszorbeálódott, de még a **helyüket kereső atomokat eltávolítjuk**, csak azok az atomok maradnak a felületen, amelyek már meglévő atom-szigethez kapcsolódnak. Végeredményben egy **tömörebb**, mechanikailag **stabilabb réteget** kapunk.

Vékonyrétegek előállítása vákuum porlasztással

A forrásanyag atomjaira bontása hevítés helyett **ionokkal való bombázással**.

Az ionokat gázkisüléssel (a gáz atomjainak, molekuláinak elektronokkal való ütköztetésével) **hozunk létre**.



A vákuumporlasztás alapelve

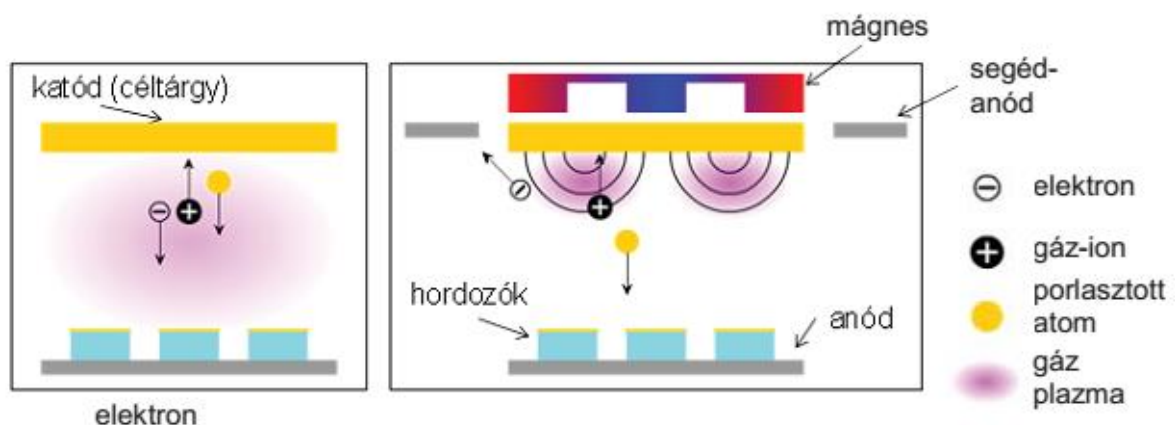
A **gáz ionok** (pozitív töltésük révén) a **vezető forrásanyag tömb** irányában gyorsulnak és onnan **semleges részecskéket** löknek ki, amelyek **lecsapódnak a hordozón** (is).

A negatív elektronok és a pozitív ionok **gyorsulását** a katódként bekötött forrásanyag (un. target) és hordozót tartó anódlemez közötti **elektromágneses tér okozza**.

A vákuumporlasztás gyakorlati megvalósításai

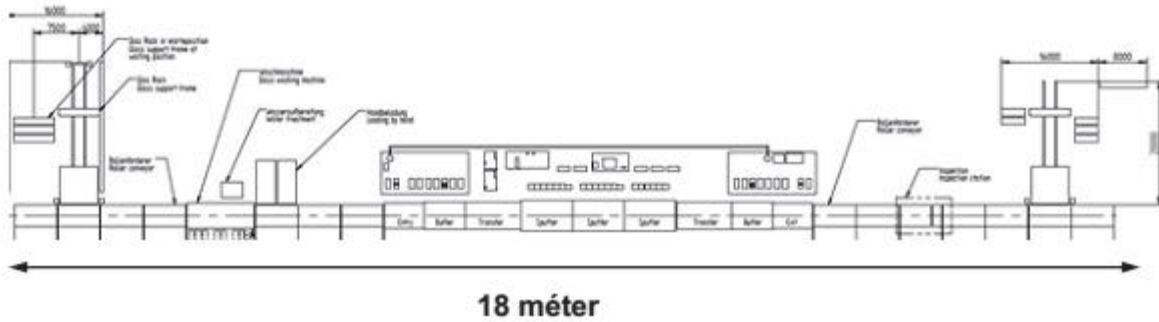
Magnetronos porlasztás:

A **plazmát** állandó **mágnessel** és **segédanóddal** a céltárgy közelében alakítják ki. A hatékonyabb ionkeltés miatt **gyorsabban porlasztódik** a céltárgy (target).



A vákuumporlasztás automatizálása

- Például: porlasztó gyártósor
- Kihívás egy általános gyártósorhoz képest:
 - tisztaszobai körülmények
 - vákuumrendszer
- Az egymás után érkező mintákat a vákuum alatt levő porlasztótérbe zsiliprendszeren keresztül vezetik be.



Vastagréteg technológiák

KERÁMIA ALAPÚ VASTAGRÉTEG TECHNOLÓGIA

Alapfogalmak

A szigetelő alapú integrált áramköri hordozókon az elemek összekötésére szolgáló vezetékmintázatot, az ellenállások jelentős részét és egyes további passzív elemeket a szigetelő lemez felületén integrált formában rétegtechnológiával állítjuk elő.

Az alkalmazott technológia alapján kétféle hordozót különböztetünk meg: **vastagréteg** és **vékonyréteg IC**.

Ha további alkatrészeket (ún. hibrid elemeket) is beültetünk a szigetelő alapú integrált áramkörbe, akkor az áramkört **hibrid IC**-nek nevezzük.

Vastagréteg: 5-70 μm vastagságú réteg, amelyet szitanyomtatással és hőkezeléssel paszta állagú anyagból hoznak létre általában kerámiára (ritkábban üvegre, szilíciumra, passzívált fémfelületre), vagy műanyag hordozóra.

Alapanyagok

Vastagréteg paszták

Kolloid szuszpenzió típusú anyagok a következő összetevőkkel:

- funkcionális fázis
 - a vastagréteg alaptulajdonságait szabja meg: vezető, ellenállás, szigetelő réteg
 - alkalmazott anyagok szervesetlen pasztában:
 - vezetőréteghez: Ag-Pd, Au, Cu, W
 - ellenállásréteghez: ruténium, irídium valamint rénium oxidja (RuO_2)
- kötőanyagok
 - **szervesetlen** (üveg/üveg-kerámia, ill. reaktív kötőanyagú)
 - alacsony olvadáspontú üveg (SiO_2)
(olvadáspont csökkentése B, Ba, régebben Pb)
 - **szerves** (polimer) vastagréteg pasztákat.
 - hőre lágyuló (**termoplasztik**): lineáris láncok
 - hőre keményedő (**termoset**): térhálósodó
 - UV-re keményedő
- oldószerek

Vastagréteg hordozók

Vastagréteg áramköröket előre elkészített hordozókon hozzuk létre:

- **kerámiák** (szervesetlen és polimer rétegekhez)
 - alumínium-oxid (alumina) (Al_2O_3)
 - berilium-oxid (BeO)
 - alumínium-nitrid (AlN)
- **passzívált fémhordozók, zománczott acél** (szervesetlen és polimer rétegekhez)

- **műanyagok** (csak polimer rétegekhez):
 - epoxi alapú flexibilis vagy merev (pl. üvegszál erősítésű FR4) hordozók
 - poliimid fólia
 - poliészter fólia

Vastagréteg integrált alkatrészek

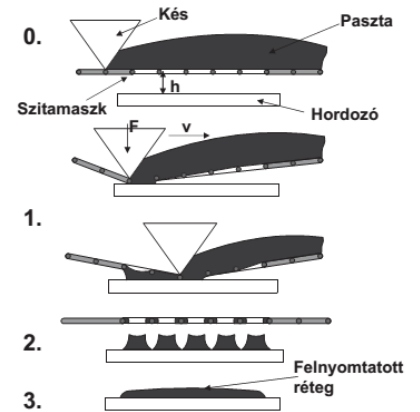
A vastagréteg áramkörökben megvalósítható elemek és passzív alkatrészek a következők:

- huzalozási pályák
- huzalkereszteződések és szigetelő rétegek
- kontaktus felületek
- kondenzátorok
- induktivitások
- ellenállások (állandó értékű, hőmérsékletfüggő NTC és PTC, feszültségfüggő típusok)

A vastagréteg technológia lépései

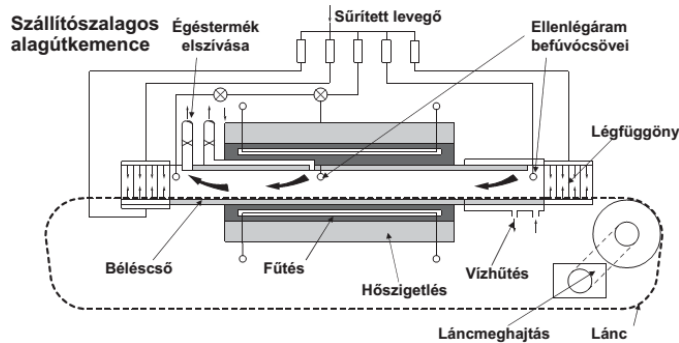
Szitanyomtatás

0. a **paszta felkenése** a szitára, a hordozó elhelyezése és pozicionálása
1. a **nyomtatókés végig görgeti a pasztát** a szitán
2. a **szita felemelkedése** a hordozóról.
3. **pihentetés** szobahőmérsékleten, a paszta terülése

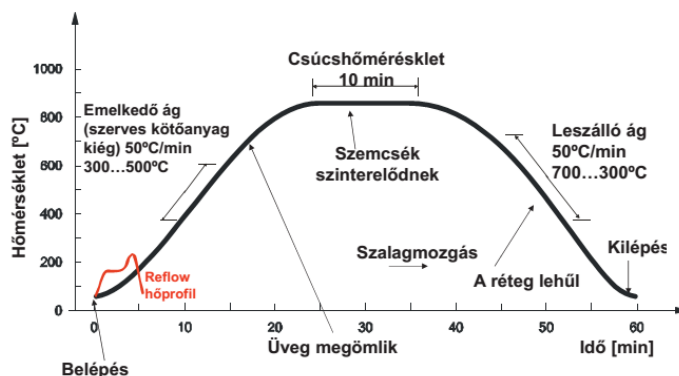


Szárítás és beégetés

- **Szárítás** 120...150 °C-on: az oldószerek eltávoznak.
- **Beégetés** üveggötésű pasztáknál általában 850 °C-on



A vastagréteg kemence hőprofilja



A szitamaszk

Mesh szám

Az 1"-ra, azaz 25,4 mm-es hosszúságra eső nyílások száma.

Vastagréteg IC-knél használatos szitamaszkok mesh száma: 80...350.

- vezetőréteg: 200...325
- ellenállásréteg: 160...250
- forraszpasztá: 80...90

Mesh szám befolyásolja a felnyomtatott rétegvastagságot!

Minden réteghez más szitamaszk (szitanyomó maszk) szükséges.

A szitamaszk típusai

Emulziós:

- **Direkt** emulziós maszk: fényérzékeny emulziós réteg kialakítása és fotolitográfias megmunkálása közvetlenül a szitán. (Tartós, de vastagsága inhomogén.)
- **Indirekt** emulziós maszk: szilárd fényérzékeny fólia fotolitográfias megmunkálása, majd ráhengerlése a szitára. (Homogén vastagság, sérülékeny.)
- **Kombinált** emulziós maszk: az előző kettő kombinációja. (Előzőek előnyeivel drága.)

Fémmaszk:

- **Indirekt** fémmaszk: maratott fém fóliamaszk rögzítése ragasztással vagy hegesztéssel a szitán. (100 µm feletti vastagság, egyszer használható)
- **Direkt** fémmaszk: Kétoldalról maratott fémmaszk közvetlen használata. (Nagy felbontás, drága.)
 - **Függesztett** fémmaszk: Maratott fémmaszk rögzítése szitakeretben. (Drága és tartós, forraszpasztához.)

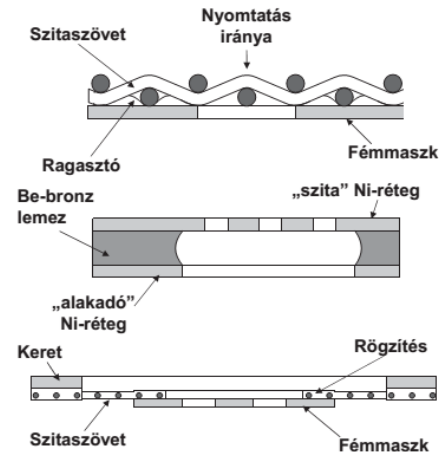
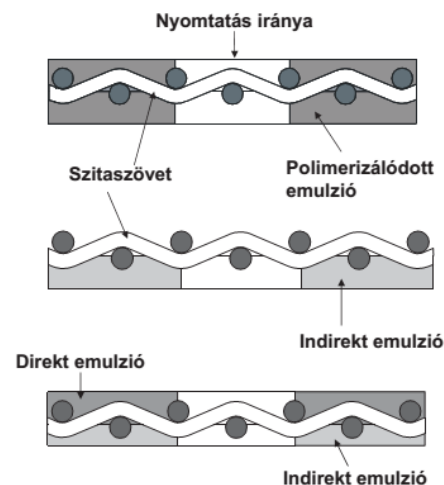
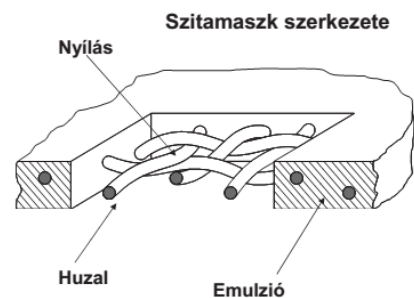
Szita vs. Stencilnyomtatás

Amiben a két technológia megegyezik:

Mindkettővel valamilyen pasztaállagú anyagot viszünk fel egy felületre, maszkon keresztül.

Amiben a két technológia különbözik:

- A **stencil** egy összefüggő fém lemez, amelyen apertúrákat nyitunk, míg a **szita** egy fém (műanyag) szálakból szőtt szövet, amelyet a megfelelő helyeken maszkolunk.
- A stencil apertúrák **teljesen nyitottak**, a szita apertúrák NEM
- A stencil **felfekszik a hordozóra**, a szita NEM.
- A **stencilek** fő felhasználási területe a **forraszpasztá** nyomtatás, míg a **szitáké** a **vastagréteg paszta** nyomtatás.
- Az (emulziós) **sziták** a maszk eltávolítása után **újrahasznosíthatók**, a stencilek NEM.



Hibrid IC készítése

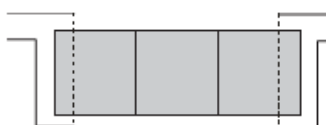
Hibrid IC: vezető pályákat, passzív (R, L, C) hálózatot tartalmazó, **vastag-** vagy **vékonyréteg** technológiával **szigetelő hordozóra** készített áramkör, amelyre **hibrid** (diszkrét passzív és monolit aktív) **alkatrészeket szerelünk** felületszerelési és/vagy direkt chip beültetési technológiával.



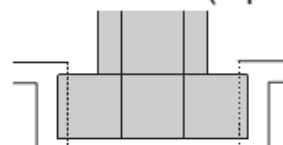
Rétegenállások alakjai és értékbeállítása

Értékbeállításakor **lézerrel szigetelő vágatot** munkálunk a rétegbe. Ezzel a módszerrel az **ellenállás értéke csak növelhető.**

Téglalap forma



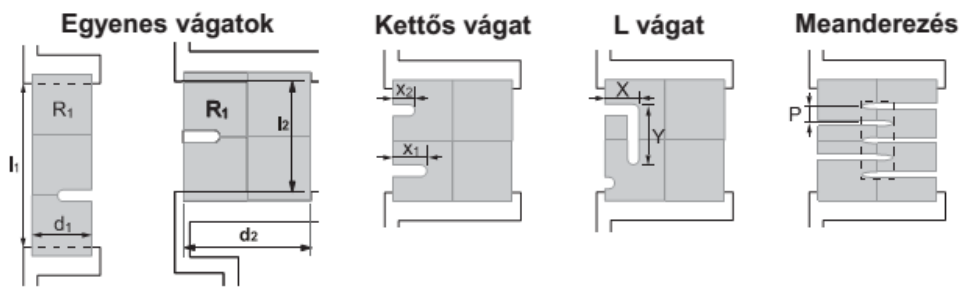
Cilinder forma (top hat)



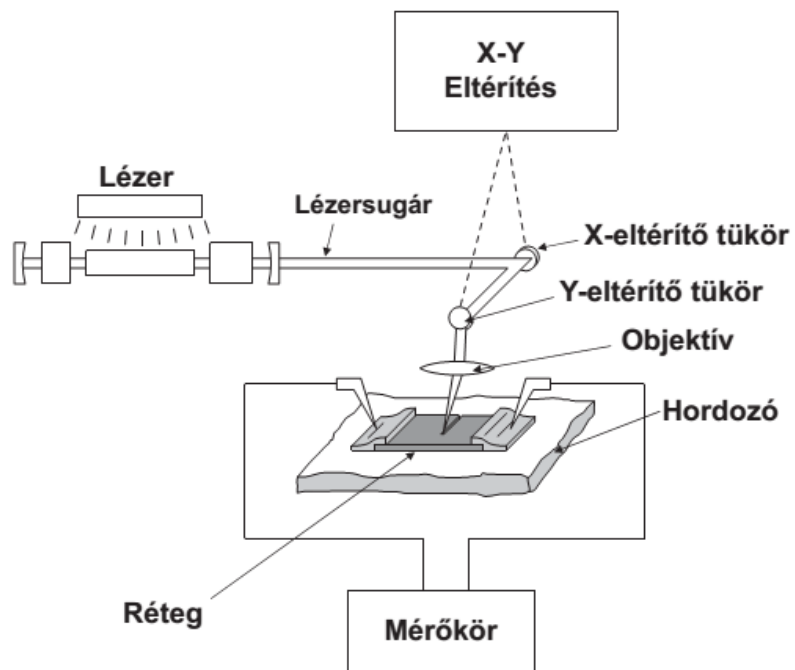
$$R = \frac{\rho \cdot l}{v \cdot d} = \frac{\rho}{v} \cdot \frac{l}{d} = R_{sq} \cdot \frac{l}{d}$$

- ρ - réteg fajlagos ellenállása
- v - rétegvastagság
- l - az ellenálláscsík hosszúsága
- d - az ellenálláscsík szélessége
- R_{sq} - a négyzetes ellenállás

Vágatformák



Lézeres értékbeállító rendszer



A kerámia vastagrétegek felhasználási területei

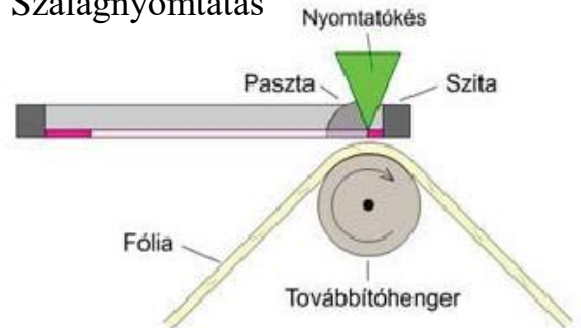
- *Jó hővezetőség*: nagyáramú és teljesítmény elektronika
- *Jó hőállóság*: magas hőmérsékletű alkalmazások
- *Kicsi dielektromos állandó*: nagyfrekvenciás alkalmazások
- *Ellenállás érték állíthatóság*: speciális alk., pl. aktív szűrők

POLIMER ALAPÚ VASTAGRÉTEG ÉS TÖBBRÉTEGŰ KERÁMIA TECHNOLÓGIÁK

Polimer vastagréteg előállítása

- Szitanyomtatás (szalagnyomtatás)
- Pihentetés
- Kikeményítés
 - Poliészteren termoplasztik: 120°C/15perc
 - Poliimidén termoszet: 120°C/15perc + 180-350°C/100-180perc
 - UV-rendszer:
UV megvilágítás
+ 120-150°C/15-60perc

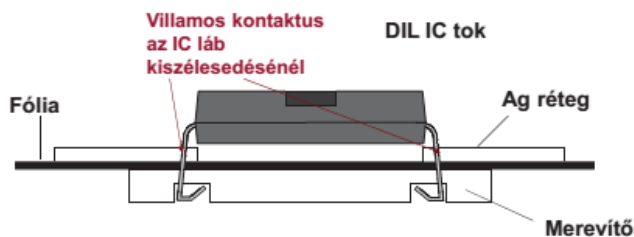
Szalagnyomtatás



Felületszerelt alkatrészek hajlékony hordozókon

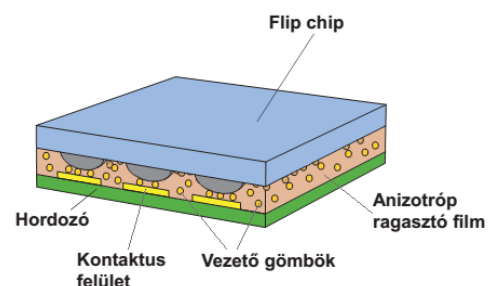
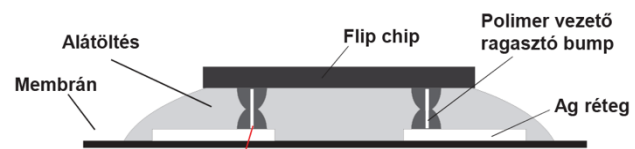
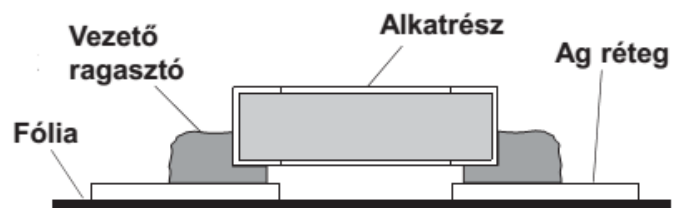
Alkatrészek rögzítési lehetőségei:

Mechanikai rögzítés (ritkán használt)

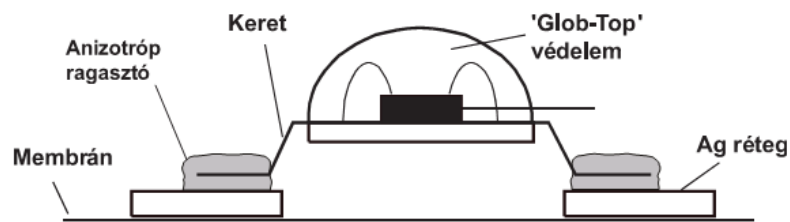


Vezető ragasztók

- anyaga
 - műgyanta
 - vezető fázis
- kiviteli típus szerint
 - paszta (általában az izotróp ragasztók)
 - film (anizotróp ragasztók)
- vezetési tulajdonság szerint
 - **izotróp** (leggyakrabban alkalmazott)
 - **anizotróp** (főleg chipek rögzítésére)
Térhálósítás:
Melegítés és mechanikai nyomás együttes alkalmazásával

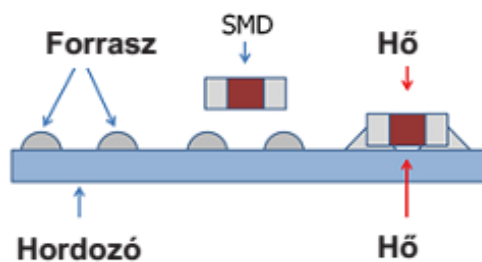


IC beültetés keretben (TAB)



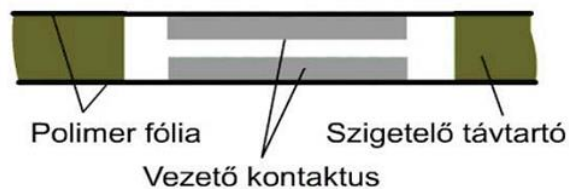
Forrasztás (csak poliimid fóliára)

- A hajlékony fóliák közül a forrasztás egyedül a hőálló fólián valósítható meg. (Poliimid max. hőkezelési hőmérséklete: 370 °C)
- Alkalmazható forrasztási **technikák**:
 - újraömlésztéses forrasztás
 - **lézeres forrasztás** (új technológia)

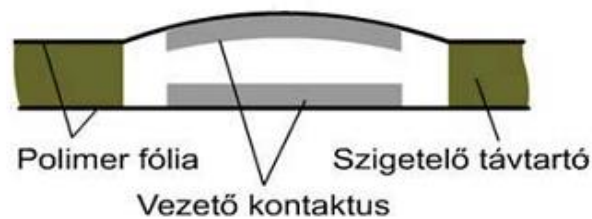


Polimer vastagréteg alkalmazások:

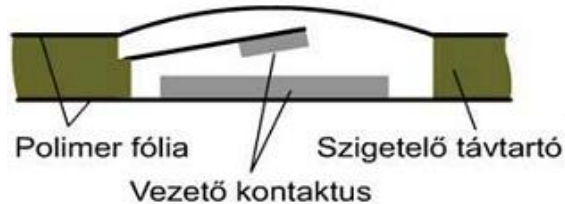
- *Olcó szórakoztató elektronika*: passzív hálózatai merev NYHL-en
- *Autóelektronika*: tükörfűtő, ülésfűtő fóliák
- Hajlékony összeköttetés, hálózatok mozgó elemeihez és 3D-s áramkörökhöz
- Klaviatúrák azok kiegészítő elemeivel
 - többrétegű membránkapcsoló



- domborított membránkapcsoló



- érintkező-nyelves domborított membránkapcsoló



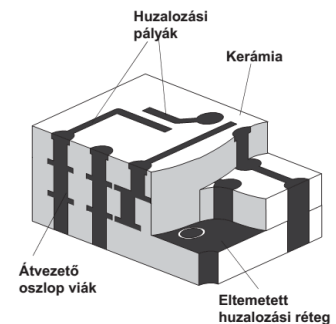
Kerámia vs. Polimer vastagrégteg

Paraméter	Kerámia alapú vastagrégteg	Polimer vastagrégteg
TK, ppm/°C	±50... ±100	±200... ±500
Szórás, R, %	±20... ±30	±70... ±100
Stabilitás (1000h)	<0,5%(150oC)	<3...5%(80oC)
Vonalfelbontás	0,2...0,1mm	0,5...0,3mm
Előáll. költség	Drága, közepes	Nagyon olcsó

A többretegű kerámiák típusai

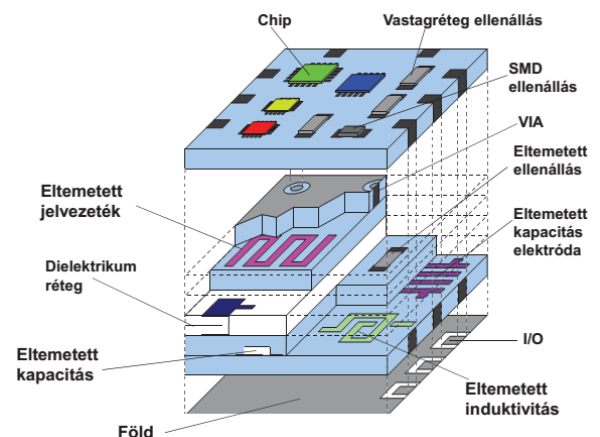
MLC (MultiLayer Ceramic):

- anyaga **kerámia**, főként Al_2O_3
- technológiája a kerámia tokoktól származik
- hőkezelése magas, kerámia szinterelési hőmérsékleten >1500 °C-on
- integrált alkatrészek nem készíthetők
- más néven: **HTCC** (High Temperature Cofired Ceramic)



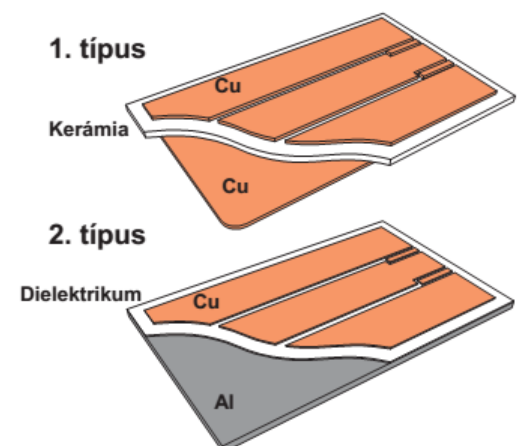
MLGC (MultiLayer Glass Ceramic):

- anyaga üveg-kerámia
- technológiája vastagrégteg kompatibilis
- hőkezelése alacsony, vastagrégteg beégetési hőmérsékleten
- integrált és eltemetett R, L, C elemek készíthetők
- más néven: **LTCC** (Low Temperature Cofired Ceramic)



DBC (Direct Bonded Copper) (spec.)

- A kerámira **laminált réz**, magas hőmérsékletű hőkezeléssel rögzítve, **fotolitográfiával** mintázva.
- **Nagyáramú** alkalmazásoknál előnyös, nagy **áramterhelhetősége** és **jó hővezetése** miatt
- Ez nem vastagrégteg áramkör!



A nyomtatott huzalozású lemezek technológiája és tervezése

EGYOLDALAS ÉS KÉTOLDALAS LEMEZEK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA

A nyomtatott huzalozású lemezekről (NYHL)

- általában műgyanta alapú, szigetelő hordozólemezen kialakított huzalozás
- a vezető réteg általában réz, vastagsága: 17, 35, 70, (105) μm
- Funkciója:
 - az alkatrész (kivezetők) közötti elektromos kapcsolat létrehozása
 - az alkatrész mechanikai rögzítése
- Jellemzői:
 - hordozó mechanikai tulajdonságai (merev, hajlékony, kombinált)
 - vezető síkok elhelyezkedése (egy- és kétoldalas, többrétegű)
 - gyártástechnológia (szubtraktív, additív, féladditív)

A nyomtatott huzalozású lemezek hordozójának anyagai

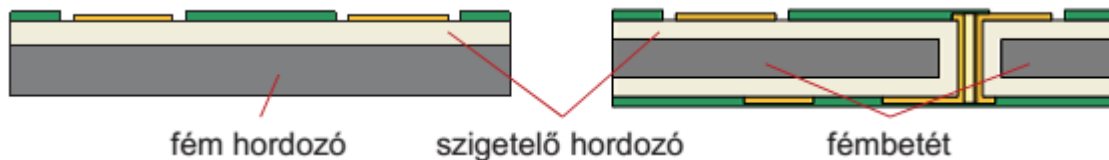
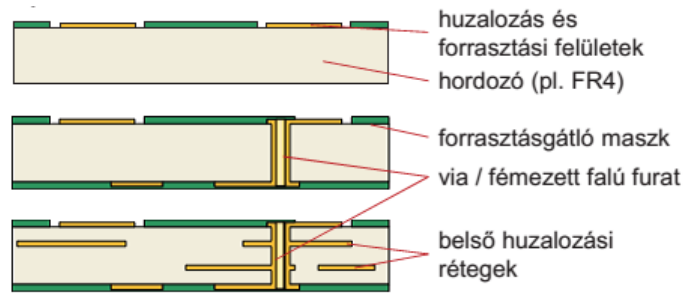
- Merev hordozók:
 - Vázanyag: papír, üvegszövet, üvegpaplan, poliaramid, fém
 - Műgyanta: fenol, epoxi, poliimid, PTFE – poli-tetrafluor-etilén (teflon)
- Hajlékony (flexibilis) hordozók:
 - epoxi, poliészter, poliimid, PEN – polietilén-naftalát, PTFE

Műgyanta	fenol	epoxi	epoxi	epoxi
Vázanyag	papír	papír	üvegsz./papír	üvegszövet
Szabv. jelölés(NEMA)	FR2	FR3	CEM1	FR4
Hajlítószilárdság (N/mm ²)	80	110	230	300
Vízfelvétel (mg)	40	40	30	20
Forraszfűrdő-állóság(sec)	15-20	25-30	30-40	>120
Rézfólia lefejtési szilárdság(N/mm)	1,0	1,2	1,4	1,4
felületi ellenállás (Ω)	10^9	$3 \cdot 10^9$	10^{12}	$>10^{12}$
Megmunkálhatóság	+++	+++	++	+
Árarányok	55	65	80	100

FR: Flame Retardant **NEMA:** The Association Electrical and Medical Imaging Equipment Manufacturer **CEM:** Composite Epoxy Material.

Vezető síkok elhelyezkedése

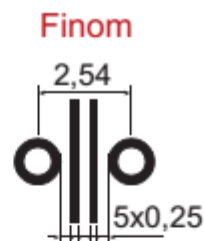
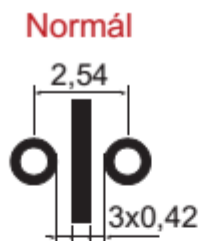
- egyoldalas lemezek
- kétoldalas lemezek
- többretegű lemezek
- speciális konstrukciók:
 - fém hordozós lemezek (egyoldalas)
 - fémbetétes lemezek (kétoldalas)



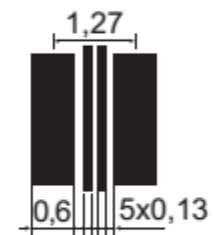
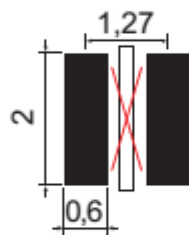
Huzalozási szabályok

IC típus

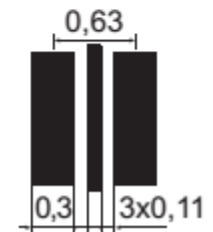
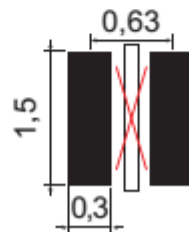
DIL (2,54 mm)
Dual Inline Package



SO (1,27 mm)
Small Outline



QFP (0,63 mm)
Quad Flat Pack



Szüks. felbontás 0,4 mm (16 mil)

0,2 mm (8 mil)

0,1 mm (4 mil)

A rajzolat kialakításának gyártástechnológiája

Szubtraktív technológia

A kiinduló alapanyag egy- vagy két-oldalon **rézfóliával borított szigetelőlemez**, melynek előre meghatározott felületeiről (ahol a rajzolatra nincs szükség) a fémborítást – általában kémiai **maratással** – **eltávolítják**.

- a vezető réteg jó tapadása
- az alamaródás következtében korlátozott a mintázat felbontása

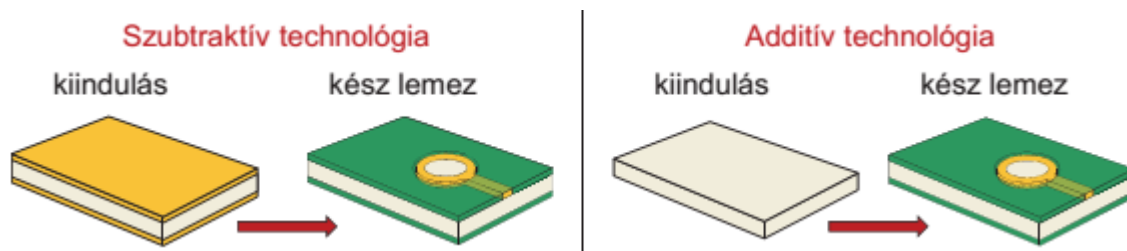
Additív technológia

A szigetelőlemez (hordozó) felületére a **rajzolatot** a kívánt geometriában (a maszk által szabadon hagyott helyekre) **viszik fel**.

- finomabb rajzolat, gyengébb tapadás

Féladditív technológia

A fenti két eljárás előnyeinek egyesítése szigetelő hordozó lemez amire **együttkészült vékony** ($\sim 5 \mu\text{m}$) + **vastag** ($\sim 70 \mu\text{m}$) Cu vagy Al fóliát **laminálnak**; a vastag fólia szerepe a vékony rézfólia védelme



Alaptechnológiai eljárások a NYHL-ek gyártásánál

- Mechanikai technológiák
 - darabolás
 - fúrás
 - csiszolás (sorja eltávolítás)
 - kontúrmegmunkálás
- Kémiai technológiák
 - tisztítás (zsírtalanítás, maratás, oxideltávolítás)
 - rétegfelvitel (elektrokémiai, árammentes)
 - rétegeltávolítás (maratás)
 - felületkezelés
 - öblítés
- Rajzolat kialakítási technológiák („ábratranszfer”)
 - szitanyomtatás
 - fotolitográfia

Mechanikai technológiák – fúrás

Technológiai paraméterek

- **Főmozgás:** a fúró forgása - kerületi (vágási) sebesség (v , m/min)
- **Mellékmozgás:** a felületre merőleges mozgás - előtolás (e , mm/ford.)
- **Fordulatszám:** $n = \frac{v}{d \cdot \pi}$
- Előtolási sebesség: $v_e = e \cdot n$

Szerszámok alapanyaga

Követelmények

- különböző tulajdonságú anyagok (Cu, üveg, epoxi...) egyidejű optimális megmunkálása
- szűk méretszórás és optimális felületi érdesség

Összetétel

- 88...94 % wolframkarbid (WC)
- 6...12 % kobalt (Co)

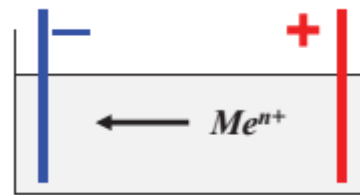
Technológiai param.		Gépbeállítási paraméterek		
d[mm]	v[m/min]	e [mm/ford]	n [1/min]	v_e [m/min]
0,10	39	0,007	125 000	0,88
0,30	118	0,021	125 000	2,63
0,60	150	0,042	80 000	3,36
0,80	150	0,056	60 000	3,36
1,00	150	0,070	48 000	3,36
1,50	150	0,088	32 000	2,82
2,00	150	0,080	24 000	1,92
6,00	350	0,020	20 000	0,40

Elektrokémiai és árammentes rétegfelviteli eljárások

Galvanizálás

Csak vezető, ekvipotenciális felületre

- $Me^{n+} + ne^- = Me$ (redukció)



Árammentes („kémiai”) bevonat

Katalitikus hatású szigetelőre

- $Me^{n+} + \text{redukálószer (formaldehid)} = Me$
 - pl.: $CuSO_4 + NaOH + HCHO \rightarrow \dots + Cu$

„Direkt” galvanizálás

A furatok falának szigetelési ellenállását vezető anyag kémiai kiválasztásával lecsökkentve ($\sim k\Omega$) az galvanizálhatóvá válik

Immerziós eljárás

A fémek közötti elektródpotenciál különbség hajtja

- $Me_2 \rightarrow Me_2^{k+} + ke^-$
- $Me_1^{n+} + ne^- \rightarrow Me_1$

Rajzolat kialakítási technológiák – Fotolitográfia

Pozitív működésű fotoreziszt: a megvilágítás hatására **oldhatóvá** válnak

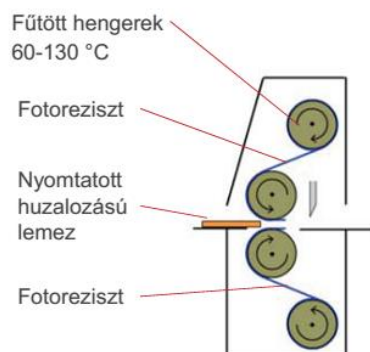
Negatív működésű fotoreziszt: a megvilágítás hatására **oldhatatlanná** válnak



Megvilágítás és fotoreziszt leoldása (előhívás) után – inverz előhívó filmmaszkok esetén a fotoreziszt rajzolata a két esetben megegyezik:



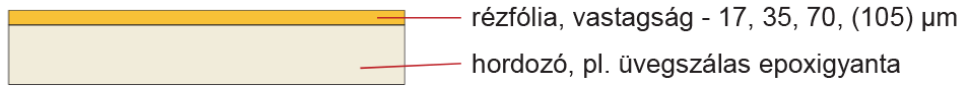
Szilárd fotoreziszt felvitele laminálással



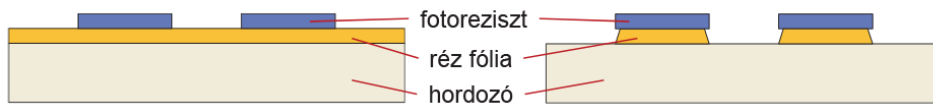
Az egyoldalas nyomtatott huzalozású lemezek technológiája

Technológiai lépések pozitív fotoreziszt-maszk esetén

Alapanyag: rézfóliával borított szigetelő lemez



1. Fotoreziszt előhívása (megvilágítás és leoldás) 2. Maratás (alámaródás) - gombaképződés



3. Fotoreziszt eltávolítása

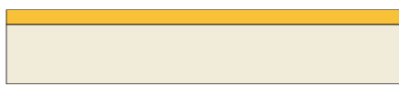


4. Forrasztásgátló maszk felvitele

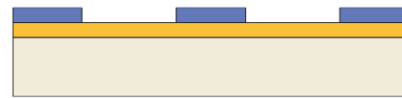


Technológiai lépések negatív fotoreziszt-maszk esetén

Rézfóliával borított szigetelő lemez



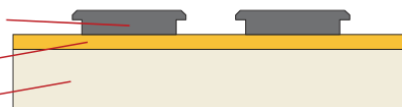
1. Fotoreziszt előhívása



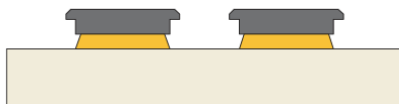
2. Pozitív fémmaszk (Sn) galvanizálása



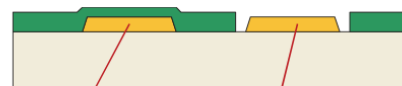
3. Fotoreziszt eltávolítása



4. Maratás



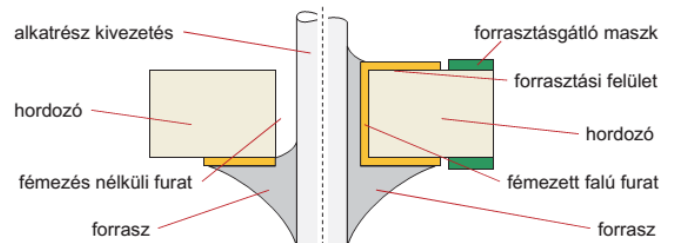
5. Forrasztásgátló maszk felvitele



Kétoldalas nyomtatott huzalozású lemezek

Furatfémezés célja

- Elektromos összeköttetés az egyes vezető síkok között
- Megbízhatóbb forrasztott kötések furatszerelt alkatrészek alkalmazásakor



Furatfémezés kialakítása

- Réz felvitele árammentes eljárással – furatfémezés ellenállása $\sim\text{m}\Omega$
- Vagy vezető anyag leválasztása kémiai eljárással – furatfém ellenállása $\sim\text{k}\Omega$
- Majd ezután az ekvipotenciálissá vált felületekre réz galvanizálása

Kétoldalas NYHL-ek készítése

1. Furatkészítés
 - a. Kiindulás (szubtraktív techn.): rézfóliával borított szigetelő lemez
Cu vastagság: 17, 35, 70, (105) μm
 - b. Pakettálás, fúrás, csiszolás, tisztítás
Legkisebb lehetséges furat $\varnothing 0,1 \text{ mm}$
2. Furatfémezés
 - a. árammentes rétegfelvitel + galvanizálás (árammentes Cu/Pd felvitel $\sim 1 \mu\text{m}$)
 - b. direkt galvanizálás (Cu $\sim 5 \mu\text{m}$)
3. Fényérzékeny fólia laminálása (fotoreziszt felvitele)
4. Fotoreziszt megvilágítás, leoldás
5. **Réz galvanizálása** – furatfémezés és forrasztási felületek vastagítása
 - a. 25-30 μm Cu galvanizálása a későbbi forrasztási felületekre és huzalozási pályákra
6. **Ón galvanizálása** – pozitív fémmaszk a Cu maratás elleni védelmére
 - a. $\sim 10 \mu\text{m}$ Sn galvanizálása a későbbi forrasztási felületekre és huzalozási pályákra
7. Fotoreziszt leoldása
8. Réz maratása
9. Ón maratás
10. Forrasztásgátló réteg felvitele
11. Forrasztásgátló maszk
12. Forrasztási felületek védelme oxidációtól
 - a. pl. **immerziós ezüst** $\sim 0,1 \mu\text{m}$ vastagságban

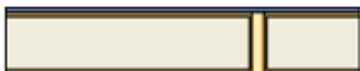
1. Pakettálás, fúrás, csiszolás, tisztítás



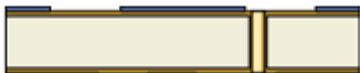
2. Furatfémezés



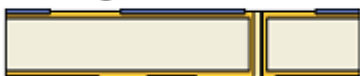
3. Fényérzékeny fólia laminálása



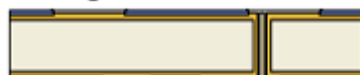
4. Fotoreziszt megvilágítás, leoldás



5. Réz galvanizálása



6. Ón galvanizálása



7. Fotoreziszt leoldása



8. Réz maratása



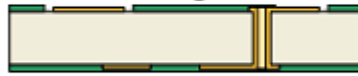
9. Ón maratás



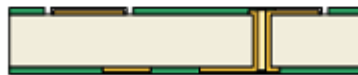
10. Forrasztásgátló réteg felvitele



11. Forrasztásgátló maszk



12. Forrasztási felületek védelme



Nyomtatott huzalozású lemezek felületi bevonatai

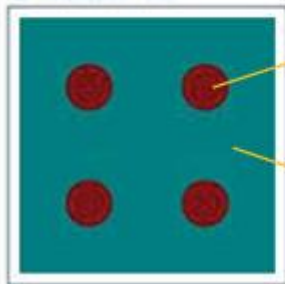
Felületi bevonatok:

- Hot Air Solder Leveling (**HASL**): forraszba mártás és forró levegőkéses simítás
- Immerziós ón (**ImSn**), a folyamat: $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cu} \rightarrow \text{Sn} + 2\text{Cu}^+$
- Immerziós ezüst (**ImAg**), a folyamat: $2\text{Ag}^+ + \text{Cu} \rightarrow 2\text{Ag} + \text{Cu}^{2+}$
- Organic Solderability Preservative (**OSP**): szerves forraszthatóság védő bev.
- Electroless Nickel / Immersion Gold (**ENIG**): áramnélküli Ni, immerziós Au

Korábbi felületi bevonatok, mint a galvanizált ón vagy az ón-ólom, nem megfelelőek többé a „narancsosodás” (forrasztásgátló gyűrődés) és környezetvédelmi okok miatt.

Nedvesíthetőség vizsgálata:

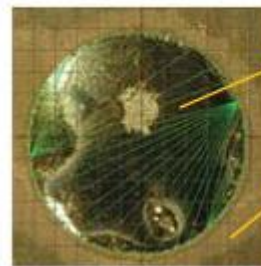
SPREADING 01



forraszpaszta
lenyomata: Ø5 mm

forrasztási felület

Minősítés az újraömlés utáni nedvesített terület alapján



forrasz

forrasztási felület

Bevonatok nedvesíthetősége 1 termikus ciklus után:

- A legjobb nedvesíthetőséggel az ólommentes tűzión (LF-HASL) bevonat rendelkezik. A felület egyenetlensége miatt finom raszterosztású alkatrészeket (QFP, BGA) tartalmazó áramkörökhöz nem alkalmazható.
- ImSn/ImAg bevonatok simák, egyenletesek, nedvesíthetőségük és áruk közepes.
- Az OSP bevonat a legrosszabbul nedvesíthető, de alacsony ára miatt általános szórakoztató elektronikai eszközökben alkalmazzák.

TÖBBRÉTEGŰ ÉS SPECIÁLIS LEMEZEK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA, NAGY VEZETÉKSŪRŰSÉGŰ HORDOZÓK TÍPUSAI

Az együttlaminált többrétegű nyomtatott huzalozású lemezek

A többrétegű nyomtatott huzalozású lemezek rétegszámát a vezető rétegek száma határozza meg.

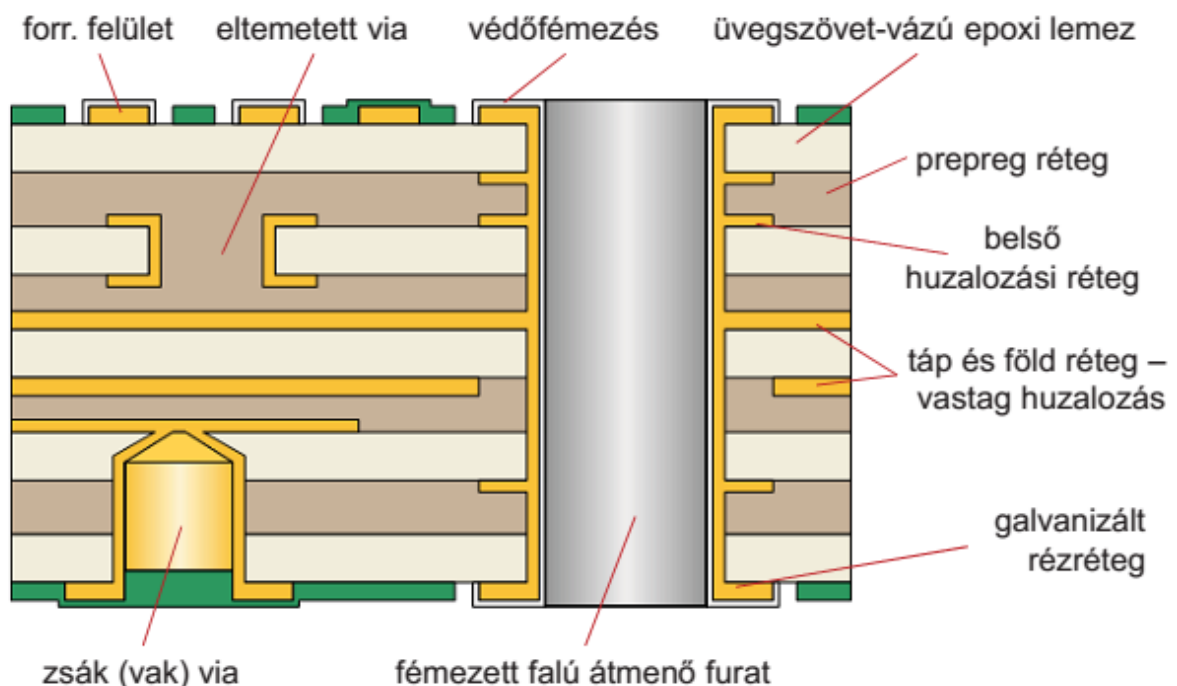
Kiindulás egy- és/vagy kétoldalas nyomtatott huzalozású lemezekből.

Minden belülrétegnek tartalmazni kell már a rajzolatot és a réz felületének ragasztásra előkészítettnek kell lennie (oxidáció CuO és Cu₂O). A lemezek ilyenkor már az eltemetett viák furatai jelen vannak.

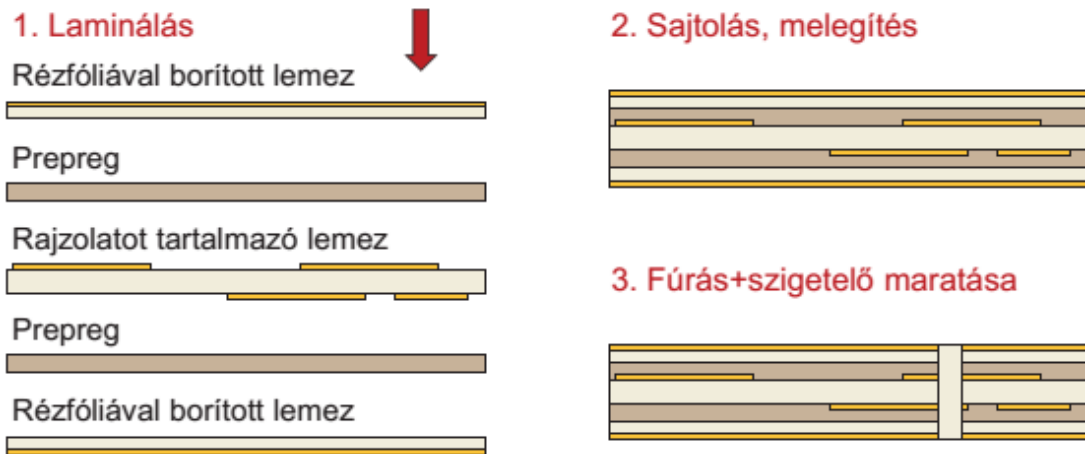
Együttlaminálási technológia: a lemezeket elő-térhálósított (preimpregnated) **prepreg** epoxi fóliával ragasztjuk össze. A pontos illesztéssel egymásra helyezett lemezek közötti prepreg térhálósításához 170 °C-on, 150 N/cm² nyomáson 30...60 perc szükséges.

A rajzolatkialakítási technológia ezután megegyezik a kétoldalas nyomtatott huzalozású lemezek technológiájával.

Többrétegű lemez furatfajtái és rétegei



Többrétegű lemezek technológiája



A technológia inentől megegyezik a kétoldalas nyomtatott huzalozású lemezek technológiájával (I.: előző előadás)

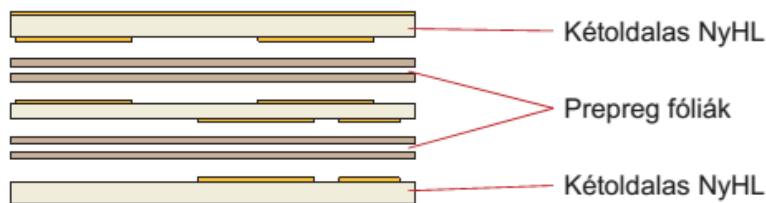
Elkészült laminált
többrétegű NyHL



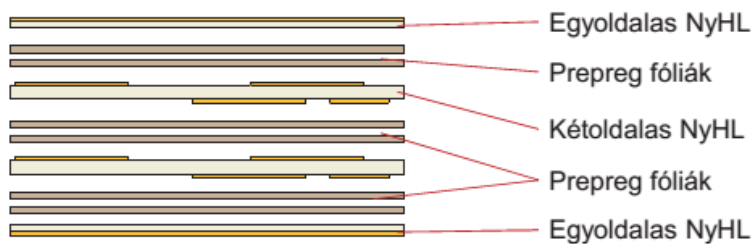
belső huzalozási
rétegek

Laminálási változatok

Olcsóbb, pontatlanabb; a rétegek illeszkedési hibája a filmillesztési és a lemezek illesztési hibájából adódik



Drágább, pontosabb; a rétegek illeszkedési hibája csak az előhívó film illesztési hibájából adódik



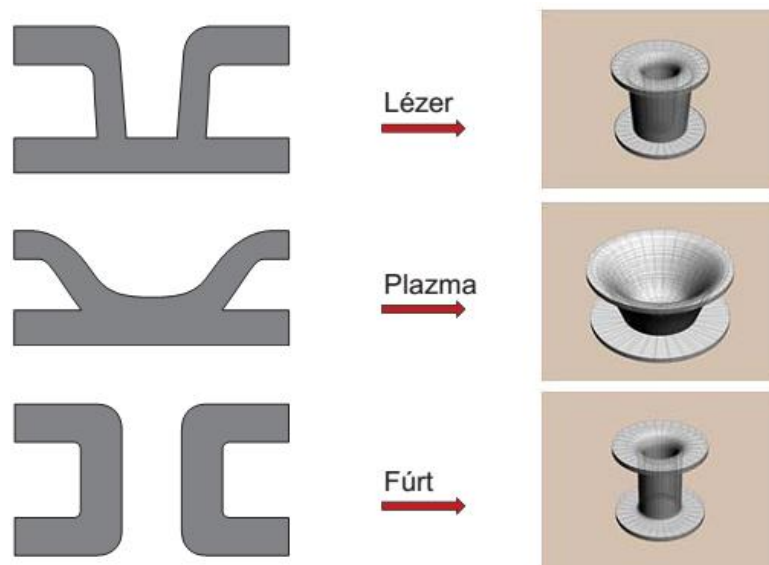
Mikroviák készítmény technológiái

A mikroviák olyan a vezetőrétegeket összekötő fémezett falú furatok, melyeknek átmérője 10...100 μm .

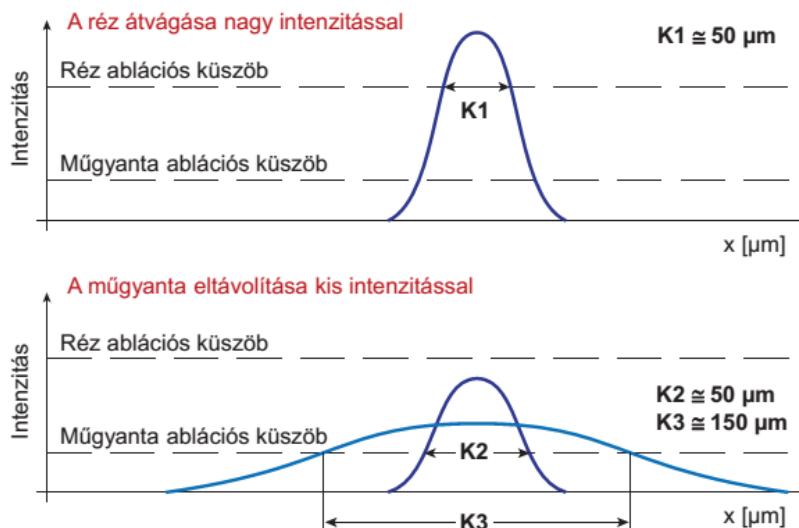
A mikroviák alkalmazásának előnyei:

- Kisebb vezeték hossz - nagyobb jelterjedési sebesség - gyorsabb működés
- Kisebb méret a furatátmérő és a forrszem méretének csökkenése miatt
- Egyes parazita tényezők csökkennek, kisebb zaj
- Jobb megbízhatóság
- Mikroviák készítésének technológiái:
 - Rétegfelvitel után furatkészítés, majd a furatok fémezése
 - Furatkészítés:
 - nagy átmérőhöz mechanikus fúrás a gazdaságos
 - kis átmérőhöz lézeres fúrás, plazmamaratás, vagy fotolitográfia
 - Fémezés: a furat falára vagy a furatot teljesen kitöltve

Különböző technológiájú mikroviák szerkezete

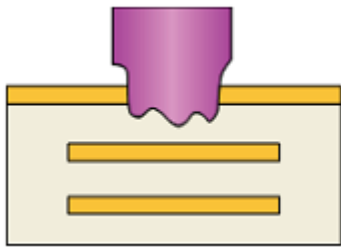


UV lézeres fúrás

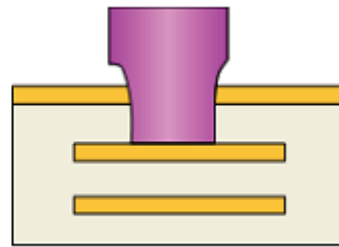


Lézeres fúrás lépései:

1. Réz átvágása nagy intenzitással

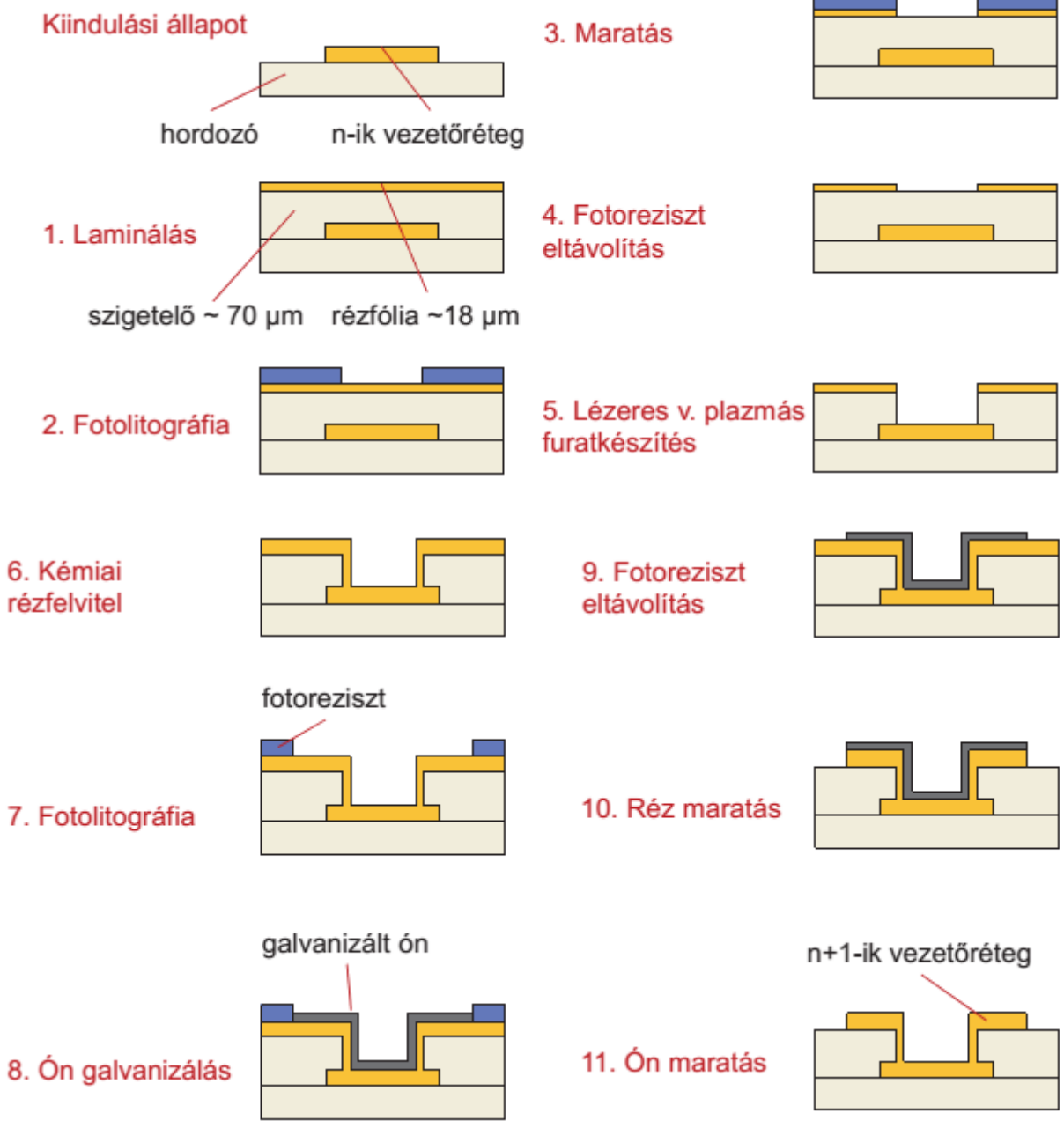


2. Szerves anyag eltávolítása kis intenzitással



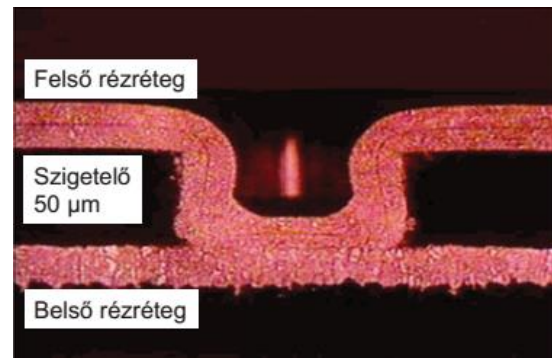
Szekvenciális technológiával készített NYHL-ek

Szekvenciális technológia: A többrétegű nyomtatott huzalozású lemezt az egyes szigetelő, illetve vezető rétegek egymást követő felvitelével alakítják ki. A vezetősíkok közötti átvezetéseket mikroviák hozzák létre.



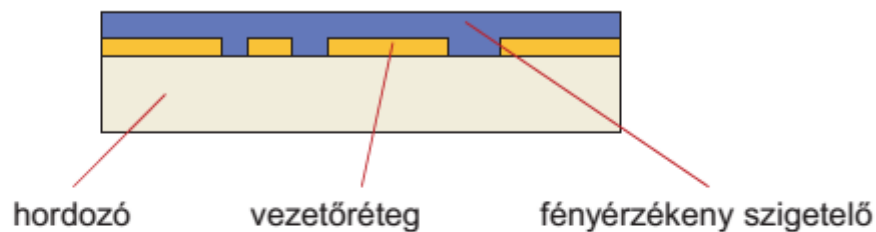
Nagyfelbontású, mikroviás NYHL

A többrétegű nyomtatott huzalozású lemez szekvenciálisan (az egyes szigetelő, illetve vezető rétegek egymást követő felvitelével) kialakított rétegeibe 10...100 μm átmérőjű, vezetőrétegek szintjei között átvezető, ún. mikroviákat alakítanak ki.

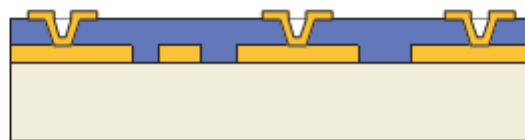


Szekvenciális technológia fényérzékeny szigetelőkkel

Fényérzékeny szigetelő felvitele

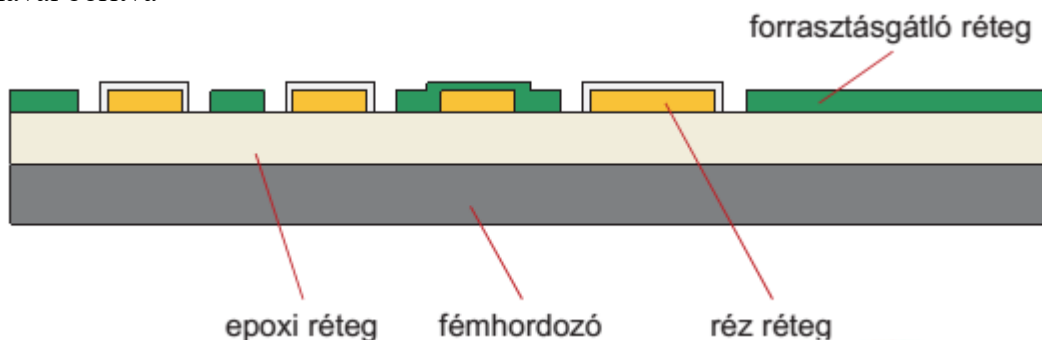


Fotolitográfiai viák – árammentes rézfelvitel, majd maratás vékony fotoreziszt előhívása után



Speciális nyomtatott huzalozások - fémhordozós lemezek

Insulated Metal Substrate (IMS): Al fémlemez szigetelőréteggel bevonva és Cu fóliával borítva

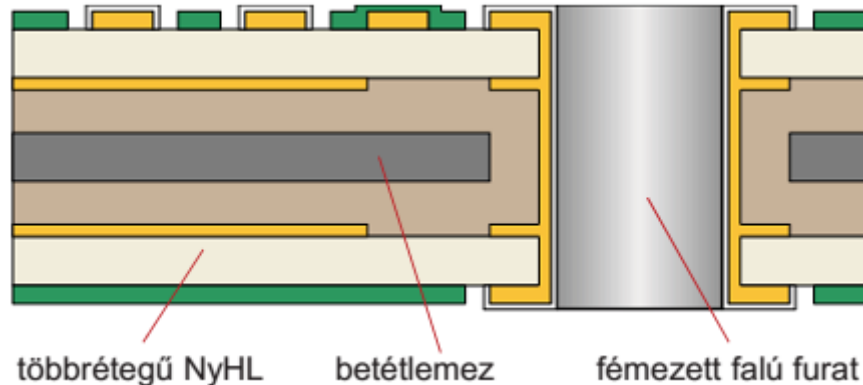


Alkalmazásának célja:

- a hővezetési tényező javítása:
- epoxi-üvegszövet lemez: 0,2 W/(mK)
- IMS lemez: 1,3 W/(mK)

Speciális nyomtatott huzalozások - fémbetétes lemezek

Cél: a hordozó hőtágulását illeszteni a beforrasztásra kerülő alkatrészekhez (pl. kerámia alapú alkatrészek)



Hőtágulási együttható:

- epoxi-üvegszövet: 12...16 ppm/°C
- pl. CCC tok 5,9...7,4 ppm/°C

Betétlemezek (~ 5 ppm/°C)

- Cu-Mo-Cu (CMC)
- Cu-Invar-Cu (CIC)

MULTICHIP MODULOK

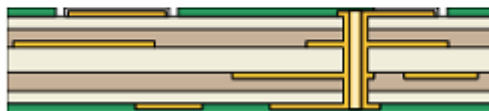
Elnevezésük alapján multichip moduloknak a több chipet tartalmazó, szerelt áramköröket nevezzük. Pontosabb értelmezés szerint a MCM-ok legfontosabb tulajdonságai:

- legalább két tokozatlan chip-et tartalmaz,
- nagy vezetéksűrűségű (HDI = High Density Interconnect) hordozó,
- hatékony hűtési módszer.

MCM-L hordozó: HD nyomtatott huzalozású lemez

MCM-L: Laminált (laminated) multichip modul. **A hordozó nagy vezetéksűrűségű, mikroviákat tartalmazó, többrétegű nyomtatott huzalozású lemez. Készülhet laminálással, szekvenciális felépítéssel, vagy ezek kombinációjával.** A többrétegű lemezeket egy-két réteges lemezek összeragasztásával vagy rétegek ráépítésével készítik. A réz fóliába vagy rétegbe fotolitográfia, galvanizálás és maratás kombinációjával készítik a mintázatot. Az egymás fölötti vezeték rétegeket a furatok, ill. a mikroviák átfémmezésével kötik össze.

MCM-L hordozó
együttlamiált többrétegű NyHL



MCM-D, vékonyréteg technológiával készülő MCM

Az MCM-D mutichip modul típusnál a többretegű huzalozási pályák között a dielektrikumréteg polimer, vagy a félvezető technikában alkalmazott SiO_2 , vagy más szigetelő réteg. A vezetópályákat a vékonyréteg áramköröknél megismert vákuumtechnikai eljárásokkal készítik. A vezetékmintázatot fotolitográfiai eljárással állítják elő.

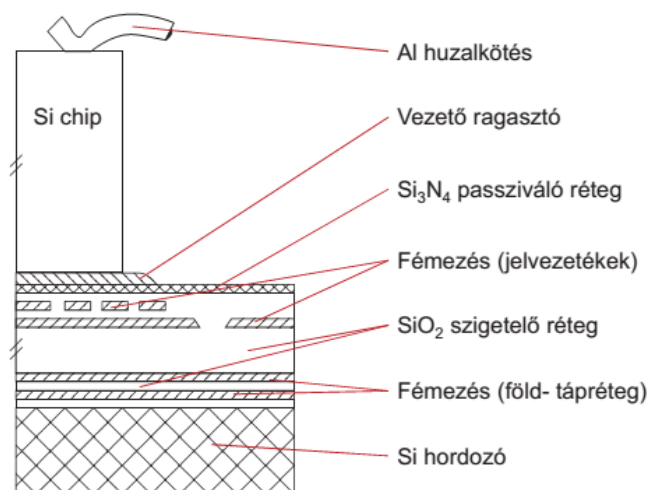
A hordozó anyagválasztéka:

- kerámia (Al_2O_3 ; BeO ; AlN),
- üveg (pl. boroszilikát),
- szilícium,
- gyémánt.

A dielektrikumréteg anyagválasztéka:

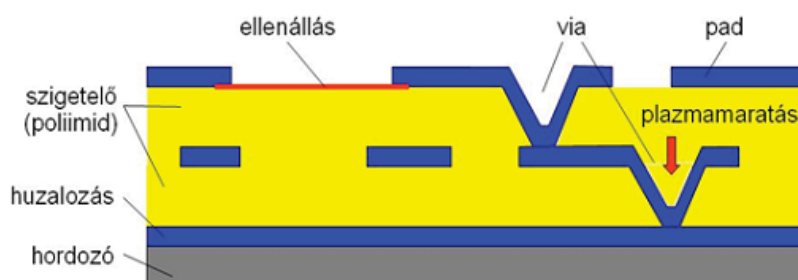
- poliimid,
- parilén,
- poli-benzo-ciklobután (BCB),
- szilícium-dioxid (szilícium hordozó esetén).

Szilícium hordozójú MCM-D (vékonyréteges) konstrukció



Szekvenciálisan felépített MCM-D hordozó

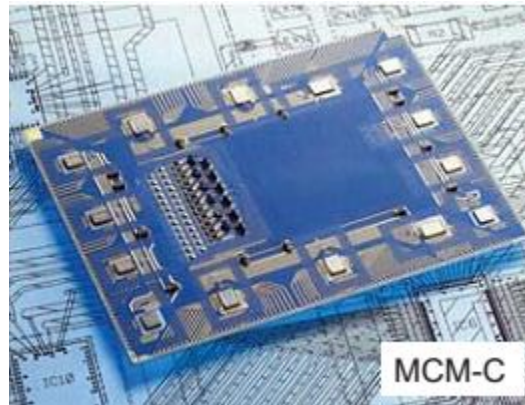
- A hordozó felületén vékonyréteg technológiával huzalozásréteget alakítanak ki. Erre szigetelőréteget visznek fel, folyékony anyagból kiindulva, centrifugálással vagy kenéssel. A szigetelőrétegbe kisméretű ablakokat (viákat) nyitnak. A teljes felületet újra fémréteggel vonják be. A felső fémzésen foto-litográfiával és maratással alakítják ki a huzalozási pályák rajzolatát.
- Ezután a szigetelőréteg felvitelétől kezdve megisméttlik a technológiai lépéseket. Így 3...10 vezetőrétetet tartalmazó multilayer huzalozás hálózatok alakíthatók ki.



MCM-C, a többrétegű kerámia hordozójú modulok

Az MCM-C multichip modulok típusai:

1. **TFC** (Thick Film Circuits, azaz vastagréteg áramkörök):
Kerámia hordozón szitanyomtatással előállított vastagréteg hibrid IC-k.
2. **HTCC** (High Temperature Cofired Ceramic): nagy, 1500 °C-nál magasabb, hőmérsékleten kiégetett többrétegű huzalozású kerámiahordozók.
3. **LTCC** (Low Temperature Cofired Ceramic): viszonylag kis hőmérsékleten (800...1000 °C-on) kiégetett többrétegű huzalozású kerámiahordozók.



Korrózió, oxidáció, migráció

KORRÓZIÓ

Definíció

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)

A korrózió valamely anyagnak (fémnek, kerámiának, polimernek) a környezetével való irreverzibilis határfelületi reakciója (kölsönhatása), melynek eredményeképpen vagy az anyag fogy el fokozatosan, vagy a környezet valamely alkotórésze épül be az anyagba.

MSZ EN ISO 8044:2003

A korrózió a fém és környezete közötti fizikai-kémiai kölsönhatás, amelynek következtében a fém tulajdonságai megváltoznak, és gyakran bekövetkezik a fém, a környezet, illetve az ezekből álló m szaki rendszer funkcionális jellemzőinek a romlása.

A korrózió alaptípusai

A szerkezeti anyag és a környezet közötti kölsönhatás szerint megkülönböztetünk: **elektrokémiai és kémiai korróziót**.

Mindkét esetben egy anódos oxidáció és egy katódos redukció történik:

- elektrokémiai korróziónál térben elkülönülten
- kémiai korróziónál egy helyen

Elektrokémiai korrózió

Elektrokémiai korrózió játszódik le, amikor a fém egy ion-vezető közeggel, általában **vizes elektrolittal** kerül kapcsolatba, melyben a fémionok oldódni képesek. Az alapfolyamat minden esetben legalább egy **anódos oxidáció** és egy **katódos redukció**.

Katódos redukció:

- - hidrogénionok töltésvesztése
 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$

- - vízbontás
 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$

- - vízben oldott oxigén redukciója, amely:

- savas közegben ($\text{pH} < 7$)
 $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$

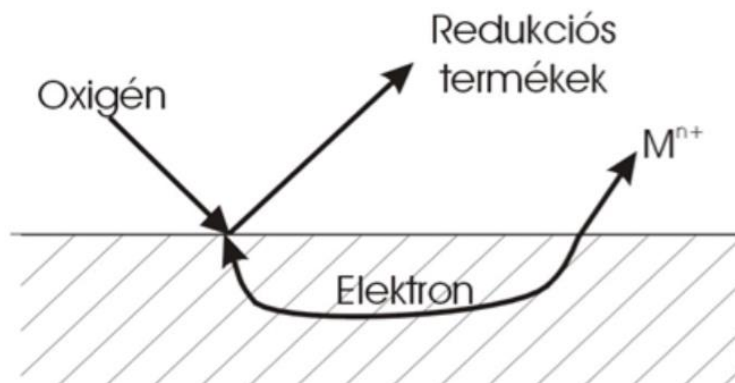
- semleges és lúgos közegben ($\text{pH} \geq 7$)
 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \leftrightarrow 4\text{OH}^-$

Anódos oxidáció:

- $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{2+} + 2\text{e}^-$

- $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$

Az oxidációs és redukciós folyamat térben elválasztva, egymástól bizonyos távolságban játszódik le, helyi galváncella létrehozásával.



Standardpotenciál

Ha egy fém a saját ionjait tartalmazó oldatba merül, akkor a fémből fémionok lépnek az oldatba, és az oldatból színtém válik ki, egyensúlyi mennyiségben.

A **fém felülete** és az **oldat között** elektromos **potenciálkülönbség** jön létre. Ezt a potenciálkülönbséget a **hidrogénelektrodhoz képest** adják meg, ez a normál- vagy **standardpotenciál**.

Azok a fémek, amelyek több iont bocsátanak vizes oldatba, mint a hidrogén, könnyebben oldódnak, és a hidrogénhez képest negatívabb potenciál lesz a felületükön. Ezeknek negatív a standardpotenciáljuk. Azok a fémek, amelyek kevesebb iont bocsátanak vizes oldatba, mint a hidrogén, nehezebben oldódnak, és a hidrogénhez képest pozitívabb potenciál lesz a felületükön. Ezeknek pozitív a standardpotenciáljuk.

Standardpotenciál sor

Fémek standardpotenciálja (ϵ^0) 25 °C-on meghatározva 0,1 Mpa nyomáson, 1 mol/dm³ koncentrációnál normál hidrogénelektrodával szemben

Anód, katód

A standardpotenciál sor lehetővé teszi, hogy termodinamikai szempontból megállapítsuk egy elektrokémiai rendszer esetében az elektródfolyamatok irányát és a rendszer korróziós potenciálját.

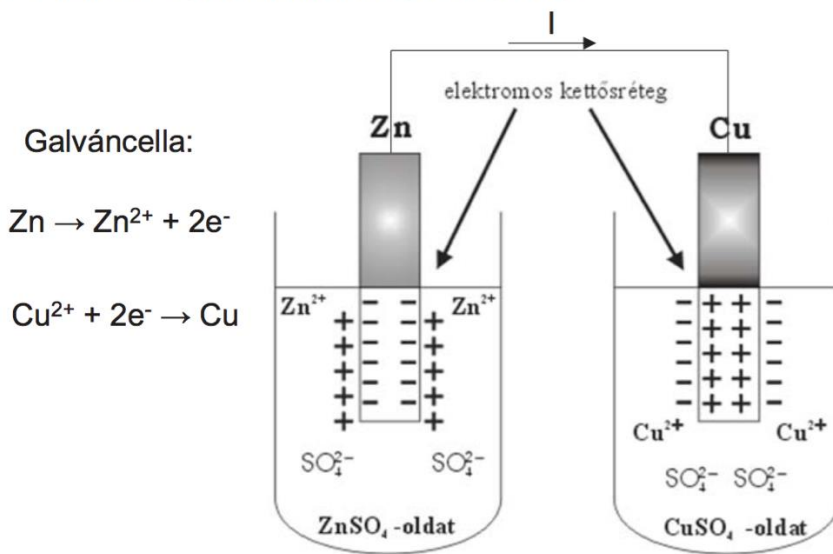


Elektrokémiai reakció esetén (két fém érintkezésekor) a nagyobb elektródpotenciállal rendelkező fém redukálódni, az alacsonyabb potenciállal rendelkező pedig oxidálódni fog (oldatba megy, vagyis korrodálódik).



Au	$\rightarrow \text{Au}^{3+} + 3e$	+1.498
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e$	$\rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
Pt	$\rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2e$	+1.2
Pd	$\rightarrow \text{Pd}^{2+} + 2e$	+0.987
Ag	$\rightarrow \text{Ag}^+ + e$	+0.799
Hg	$\rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2e$	+0.788
$\text{Fe}^{3+} + e$	$\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 0.771$	
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e$	$\rightarrow 4\text{OH}^-$	+0.401
Cu	$\rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e$	+0.337
$\text{Sn}^{4+} + 2e$	$\rightarrow \text{Sn}^{2+} + 0.15$	
$2\text{H}^+ + 2e$	$\rightarrow \text{H}_2$	0.000
Pb	$\rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e$	-0.126
Sn	$\rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2e$	-0.136
Ni	$\rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2e$	-0.250
Co	$\rightarrow \text{Co}^{2+} + 2e$	-0.277
Cd	$\rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e$	-0.403
Fe	$\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$	-0.440
Cr	$\rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e$	-0.744
Zn	$\rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e$	-0.763
Al	$\rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e$	-1.662
Mg	$\rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e$	-2.363
Na	$\rightarrow \text{Na}^+ + e$	-2.714
K	$\rightarrow \text{K}^+ + e$	-2.925

ELEKTROKÉMIAI KORRÓZIÓ



A Galváncella elektromotoros ereje

$$E_{\text{Zn}} = -0,763\text{V}$$

$$E_{\text{Cu}} = +0,337\text{V}$$

$$E_{\text{cella}} = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = 0,337\text{V} - (-0,763\text{V}) = 1,1\text{V}$$

Minél **nagyobb** a cella **elektromotoros ereje**, annál **gyorsabban** megy végbe az oxidációs/redukciós folyamat. Elektrokémiai korrózió során tehát a fém felületén egy galváncella jön létre.

Az elektródpotenciál nem standard körülmények között

$\varepsilon = \varepsilon^\circ + (\text{RT}/z\text{F}) \cdot \ln c$, ahol ε – az aktuális elektródpotenciál (**Nernst-egyenlet**)

ε° - a fém standardpotenciálja

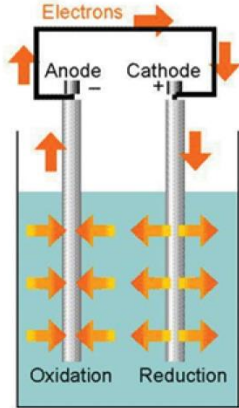
R – egyetemes gázállandó, értéke: $8,3145\text{J/molK}$ T – h mérséklet z – a fém oxidációszám-változása F – Faraday-féle szám, értéke: 96500C/mol

c – a fémion koncentrációja Az állandókat behelyettesítve és a tízes alapú logaritmusra áttérve az elektródpotenciál $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on:

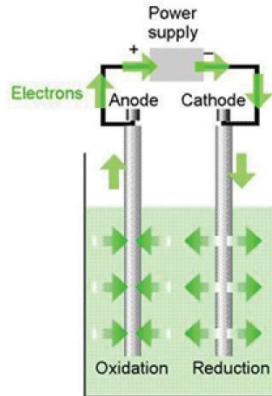
$$\varepsilon = \varepsilon^\circ + (0,059/z) \cdot \lg c$$

ELEKTROLIZÁLÓ CELLA

Galvánelem: spontán reakció játszódik le, ez hasznos áramot termel.



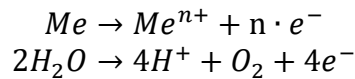
Elektrolízis: külső áramforrás hatására reakciót kényszerítünk ki.



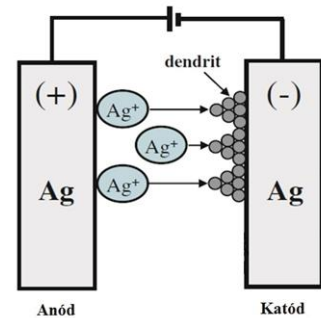
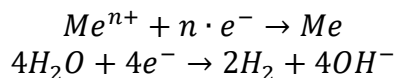
Az elektrolizáló cella néhány gyakorlati vonatkozása

- **Galvanizálás:** a fémtárgyat elektrolitikus úton valamilyen más fém vékony rétegével vonjuk be. Ennek célja lehet a korrózióvédelem (pl. nikkelezéssel), a mechanikai kopással szembeni ellenállóképesség növelése (pl. krómozással), elektromos vezetés növelése (pl. ezüstözéssel, rézbevonattal).
- **Az elektrolízist használják fel egyes fémek vegyületeiből történő el állítására.** Megfelel fémelektrod (pl. Hg, Pb) használatával a hidrogén túlfeszültsége miatt számos negatív standardpotenciálú fém is vizes oldatából leválasztható. Ezen az elven alapszik a timföld-elektrolízis is (**alumínium el állítás**).
- **Elektrokémiai migráció** (zárlat képződési jelenség)

- Anód reakciók



- Katód reakciók

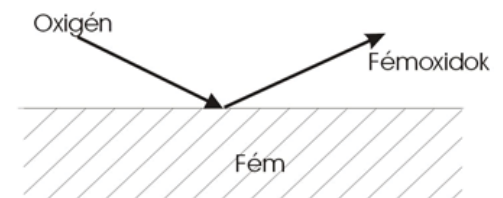


Kémiai korrózió

A kémiai korrózió a fémek és ötvözetek **felületén lejátszódó** olyan folyamat, ahol a fém oxidációja és a korróziós közeg oxidáló komponensének redukciója **egy lépésben, egy helyen** megy végbe.

A kémiai korrózióval szemben a különböző ötvözetek érzékenységét, ill. ellenállását a szabadenergia-különbségen kívül elsősorban az szabja meg, hogy a keletkezett vegyület (korróziótermék) képes-e olyan összefüggő, tömör réteget képezni a határfelületen, amely a fémet a külső korrodáló közegtől mintegy elválasztva, csökkenti az eredő korróziós sebességet.

Ilyen esetekben a károsodási folyamat előrehaladását a kémiai reakcióban részt vevő elemek korróziós rétegbeli diffúziós sebessége irányítja.



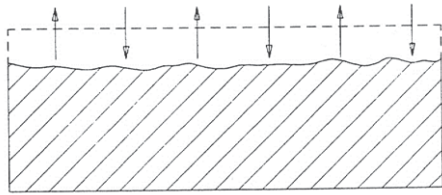
Az először keletkezett reakciótermékek a változó környezeti feltételek (pl. hőmérséklet-ingadozás) hatására összetételükben és szerkezetükben is megváltozhatnak. Így keletkezik például az acélok revéjének réteges szerkezete.

A korrózió megjelenési formái

Elektrokémiai korrózió

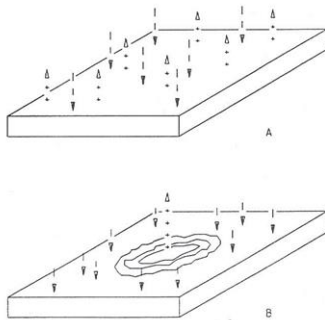
Egyenletes korrózió

Az anódos és katódos részreakciók a felületen vándorló anódos és katódos jelleg területeken **váltakozva mennek végbe** → **egyenletes** fogyás

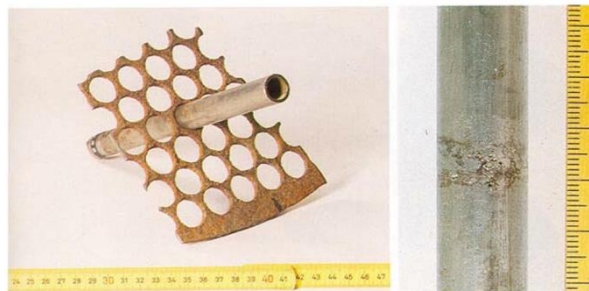
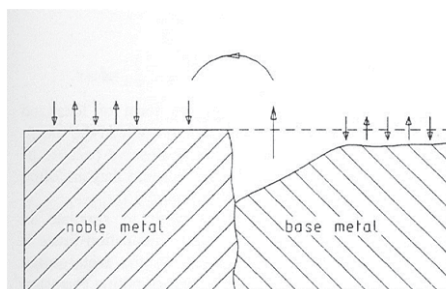


Lokális korrózió

Az anódos és katódos reakciók létrejöttének **valószínűsége nem azonos** a felület minden pontján.



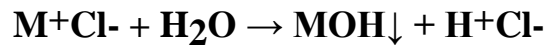
Kettősfém-korrózió



A rács ötvöztelen acélból, a cső korrózióálló acélból készült A csövön lévő pittingek Cl⁻ hatására jöttek létre

Réskorrózió

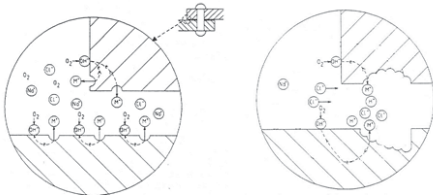
A **résben lecsökken az oxigénkoncentráció**, így a pozitív töltéstöbbletet a jelenlévő **Cl⁻** ionok **kompenzálják**.



Sósav keletkezik, amely további korróziót generál.

anódreakció: $M \rightarrow M^{+} + e^{-}$

katódreakció: $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$

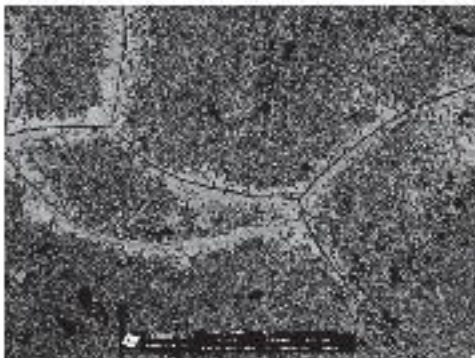


Kristályközi korrózió

A **krisztallithatáron** lévő, a kristályosodás utolsó részfolyamatában megdermedt, kis olvadáspontú, nagy rácshiba-sűrűségű, a krisztallit anyagánál legtöbbször elektropozitívabb szennyeződés (pl. króm-karbid) sok esetben **hajlamos elektrokémiai oldódásra**, miközben a krisztallitok közötti szilárdtest kapcsolat lényegében megszűnik.

Erősen **hajlamosak** a kristályközi korrózióra a **ferrites és ausztenites rozsdamentes acélok**.

Védekezés: meg kell **akadályozni** a karbon **szemcsehatár- menti kiválását**, pl. Ta, Ti vagy Nb stabilizátorokkal.



Feszültségkorrózió

Kialakulásának feltételei:

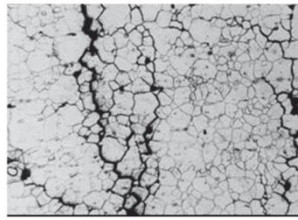
- a szerkezeti anyag **hajlamossága**
- a korróziós **közeg**, amely ezt a fajta korróziót képes kiváltani
- elegendő nagyságú mechanikai **húzófeszültség** jelenléte
- elegendő **idő** (az inkubációs idő akár több hónap is lehet)



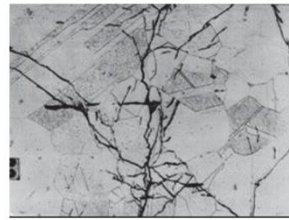
Szénacél lúg hatására bekövetkező szemcsehatármenti korróziója



Feszültségkorróziós repedések hegesztési varrat környezetében Szénacél, 15 év üzemi idő, gáztalanító



Interkristallin repedésterjedés



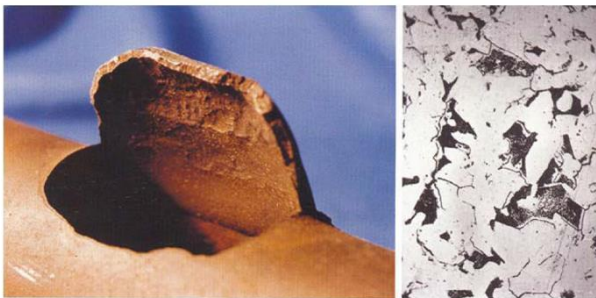
Transzkristallin repedésterjedés

További elektrokémiai korróziók:

- **Lyukkorrózió**
- **Szelektív korrózió**
- **Mechanikai igénybevétellel párosuló korrózió** (eróziós, ütközési és kavitációs korrózió, berágódásos, vagy tribológiai korrózió)

Kémiai korrózió

Nagy hőmérsékletű korrózió



Hidrogén hatására bekövetkező, nagy hőmérsékletű korrózió
Perlit kiválás és mikrorepedések a szövetszerkezetben (szénacél)

További elektrokémiai korróziók:

- Sólvadékban lejátszódó korrózió
- Folyékony fémekben bekövetkező korrózió

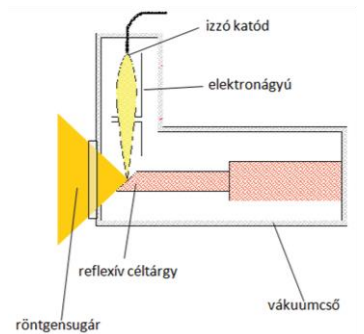
Anyagszerkezet vizsgálatok

Szerkezetvizsgálat szintjei

- **Atomi** elrendeződés vizsgálata (**röntgendiffrakció**, transzmissziós elektronmikroszkóp, atomerő- mikroszkóp)
- Mikroszerkezet vizsgálata (pásztázó elektronmikroszkóp, röntgenspektroszkópia)
- Makroszerkezet vizsgálata (klasszikus metallográfia – „materialográfia”)

Röntgensugárzás keltése

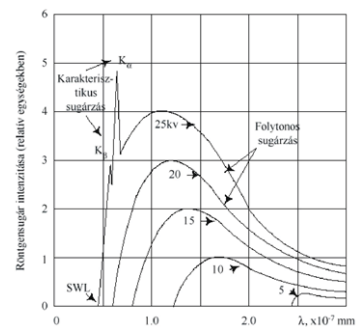
- Izzókatódos röntgenforrás (**elektronok a gyorsítófeszültség hatására a reflexív céltárgyba (anódba) csapódnak**, és így röntgensugárzás keletkezik).
- 20-300 kV gyorsítófeszültség



Fékezési és karakterisztikus röntgensugárzás

Fékezési röntgensugárzás: elektronok fékeződése az atomok Coulomb-terében.

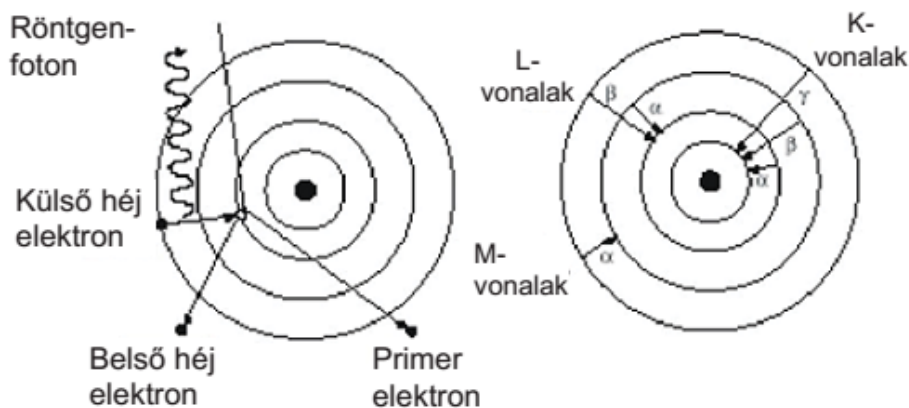
A gyorsítófeszültség növelésének hatására csökken a legkisebb hullámhossz (SWL – Shortest WaveLength).



Karakterisztikus röntgensugárzás

- Belső héj ionizáció (a becsapódó **primer elektronok kiütik az anód** egy atomjának egy **belső elektronját**)

Rekombinálódást követően **röntgenfoton kibocsátás** (egy külső elektron beugrik a megüresedett helyre, és a két elektronhéj energia- különbségének megfelelő energiájú röntgenfoton emittálódik)



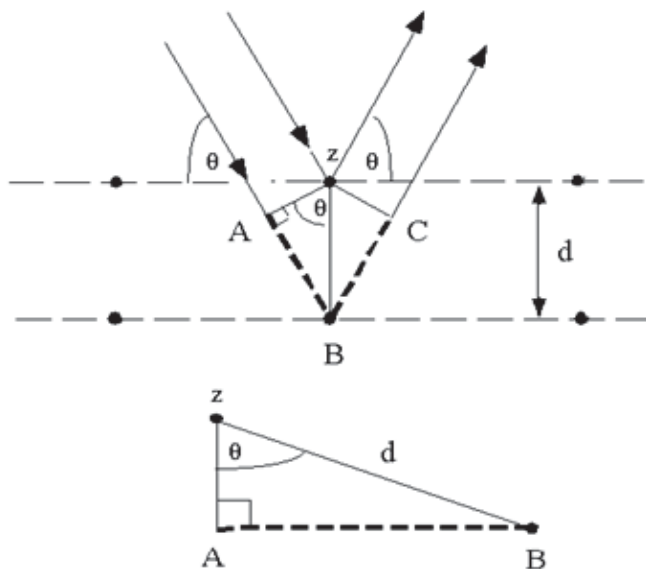
Kvantumszámok jelölésmódja	
fizikusok által	vegyészek által
M ₅	3d _{5/2}
M ₄	3d _{3/2}
M ₃	3p _{3/2}
M ₂	3p _{1/2}
M ₁	3s _{1/2}
L ₃	2p _{3/2}
L ₂	2p _{1/2}
L ₁	2s _{1/2}
K	1s _{1/2}

Röntgensugárzás alkalmazása

A beeső röntgensugárzás:

- elhajlik a kristályrácson: *röntgendiffrakció*
- szekunder röntgensugárzást vált ki: *röntgenfluoreszcencián* alapuló elemösszetétel-vizsgálat
- különböző abszorpciójú anyagokon intenzitást veszít: *átvilágító röntgenvizsgálat*

Bragg-egyenlet

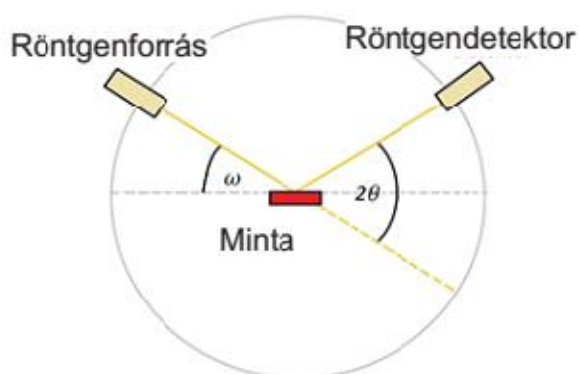


$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

Egy λ hullámhosszúságú röntgensugárzás az egymástól d távolságra lévő kristálysíkokról θ szögben verődik vissza, n pozitív egész szám.

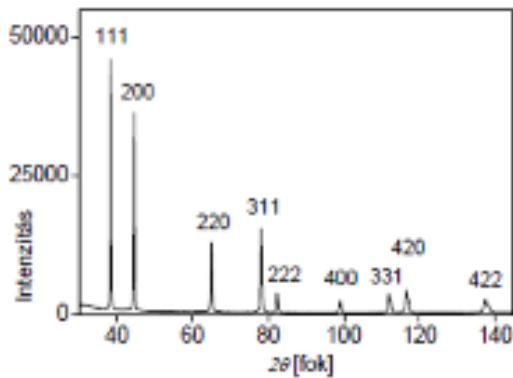
A visszaverődés szögfüggésének detektálása

Diffraktométer



A röntgenforrás és a röntgendetektor szinkronban forog ω szögsebességgel a vízszintesen elhelyezett minta körül, és így detektálják az adott θ szöghöz tartozó röntgenintenzitást.

Diffraktogram



Diffraktogram kiértékelése

- JCPDS adatbázis
- ~250 000 kristályos fázis adatai
- A rekordok tartalmazzák a **fázisok tulajdonságait**, a mért csúcsok indexelését és azok egymáshoz viszonyított intenzitását
- Számítógéppel segített azonosítás

Transzmissziós elektronmikroszkóp

Felbontóképesség (d): a legkisebb távolság a mintán, amelynek végpontjait az optikai rendszer önálló pontokként képezi le.

$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}$$

n : törésmutató

α : objektívlencse nyílásszöge

$$\lambda_{\text{fény}} = 360 - 720 \text{ nm}$$

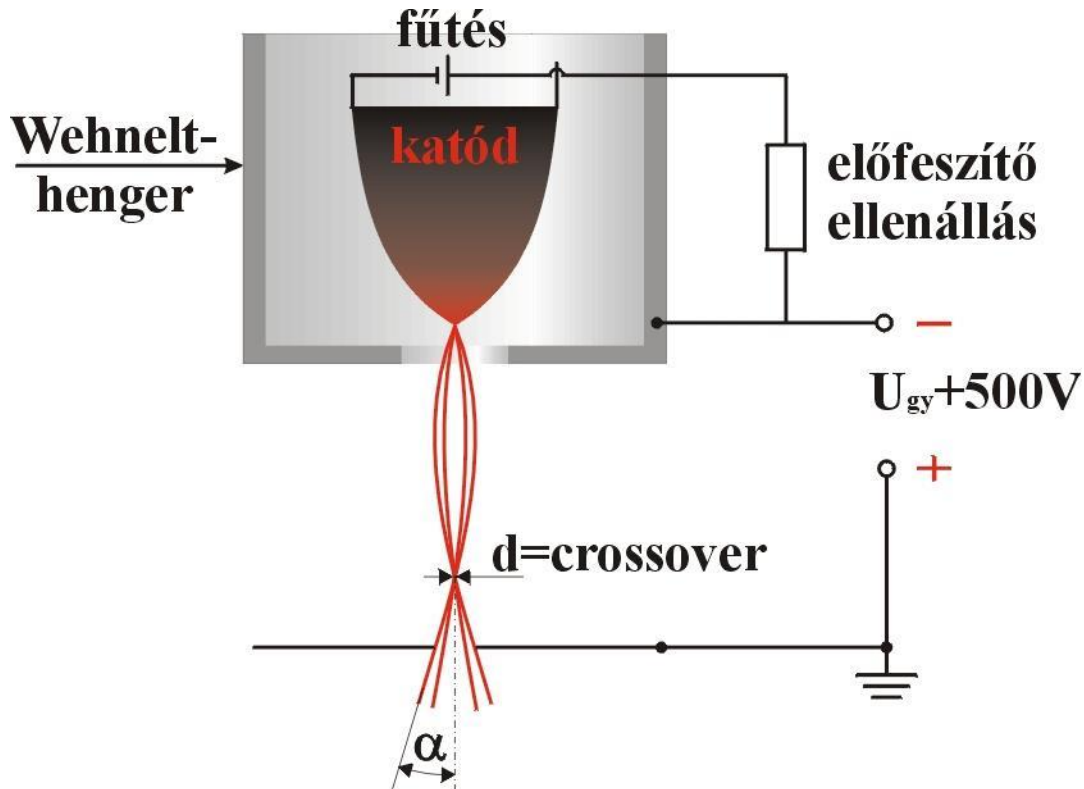
$$\lambda_{\text{elektron}} = 1 \dots 3 \text{ pm}$$

TEM-re jellemző érték

Ha fény helyett elektronhullámot használunk a leképzésre, akkor több nagyságrenddel nagyobb felbontóképességet érhetünk el.



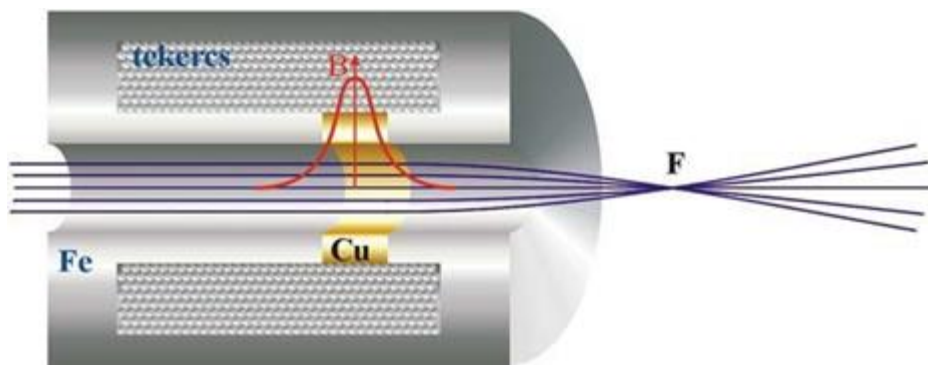
A termoemissziós elektronágyú felépítése



Elektromágneses lencsék

Lorentz-törvény: $\vec{F} = -q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

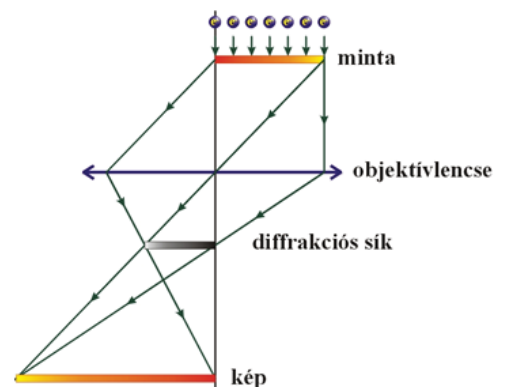
F – fókusztávolság, ami itt változatható, ezért ez előnyösebb az üveglencséhez képest



A transzmissziós elektronmikroszkóp üzemmódjai

Képkalkotás – a képsíkban megjelenő kép továbbnagyítása (szemcsék, szemcsehatárok, kristályhibák, diszlokációs szerkezet, kiválások, inhomogenitások)

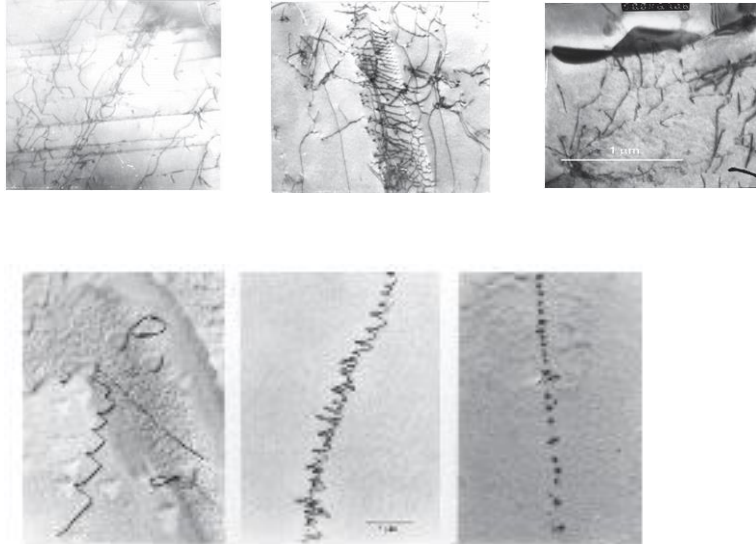
Elektrodiffrakciós ábra – a diffrakciós síkban megjelenő kép továbbnagyítása (kristályszerkezet, kristálytani orientáció)



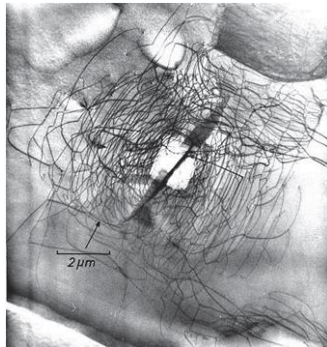
Mintaelőkészítés

- Vékony ($d_{\max}=100$ nm!) mintára van szükség, hogy az elektronnaláb kellő intenzitással tudjon rajta áthaladni
- Elektrolitos maratás, jet-módszer
- Mintavétel helye bizonytalan

Diszlokációs szerkezet



Diszlokációs-hurkok létrejötte



- **Tranzisztor emittere** egy monolit IC felszínén.
- Mechanikai behatás. **Mikrorepedés** kialakulása.
- A fellép mechanikus feszültség következtében **diszlokációk** keletkeztek.

Elektrondiffrakciós ábra

Az elektronnalábnak a vizsgált minta egyes kristálysíkjaiban történő reflexiója következtében a diffrakciós síkban egy pontszerű ábra jelenik meg, ahol az egyes pontok helyzetéből következtetni lehet a kristály típusára és orientációjára.

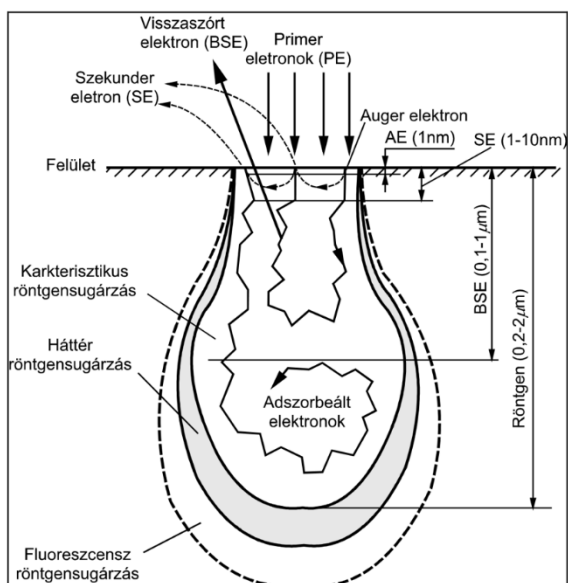
PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓP

- Jól fókuszált (0,5-50 nm) elektronnaláb (1 atom mérete $0,1\text{ nm} = 1 \text{ \AA}$)
- Szinkronizált pásztázás a minta felületén és a képképző egységen (monitoron)
- **Képképzés:** a minta felületéről kilépő **válaszjelek** intenzitásával moduláljuk a monitor képpontjainak fényességét

Válaszjelek

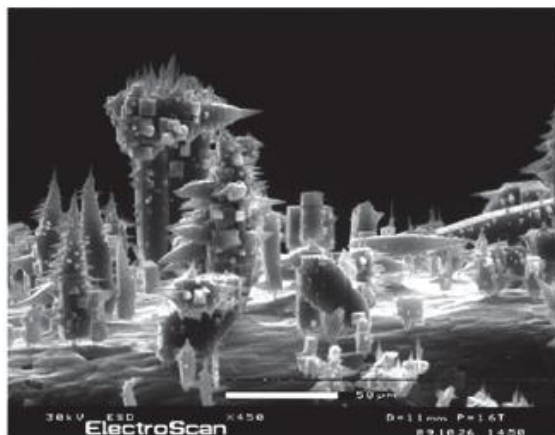
- Viisszaszört elektronok
- Szekunder elektronok
- Karakterisztikus röntgensugárzás
- Fény
- Hő
- Mintaáram

Elektron-anyag kölcsönhatás



Mélységélesség

A pásztázó elektronmikroszkópnak rendkívül jó a mélységélessége.



Vákuum szerepe

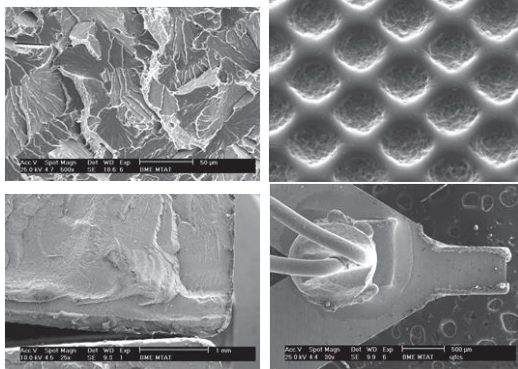
- Szénhidrogének krakkolódása
- Gázatomok ionizációja–katódkárosodása
- Elektronok szabad úthosszának növelése

Töltődés, fémbevonás

- Elektromosan **nem vezető** minták **feltöltődnek**
- Vékonyréteg fémbevonás (Au, Ag, Pd)

- Szénbevonás **gőzöléssel** (flash-gőzölés)
- **Kisvákuum** üzemmód (bejuttatott **víz-molekulák** semlegesítik a negatív töltést)
- **Környezetszimuláló** elektronmikroszkóp (ESEM)
 - a mintakamrában atmoszférikus nyomás
 - **élő organizmusok** vizsgálhatóak vele

SEM-vizsgálatok

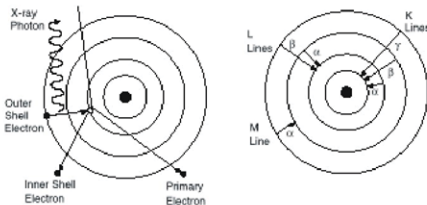


töretfelület

érdekességek (pl.: pelenka a felső)

Elektronsugaras mikroanalízis

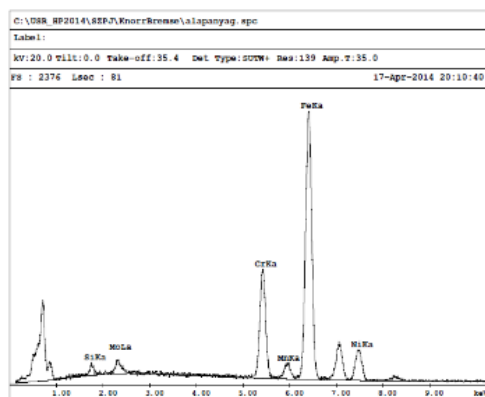
- **Belső héj ionizáció** (a becsapódó primer elektronok **kiütik** az anód egy atomjának egy **belső elektronját**)
- Rekombinálódást követően **röntgenfoton kibocsátás** (egy külső elektron beugrik a megüresedett helyre, és a **két elektronhéj energia- különbségének** megfelelő **energiájú röntgenfoton** emittálódik)



Energia-diszperzív röntgenspektrum

Optikai mikroszkópos vizsgálat célja

- fázisok elkülönítése



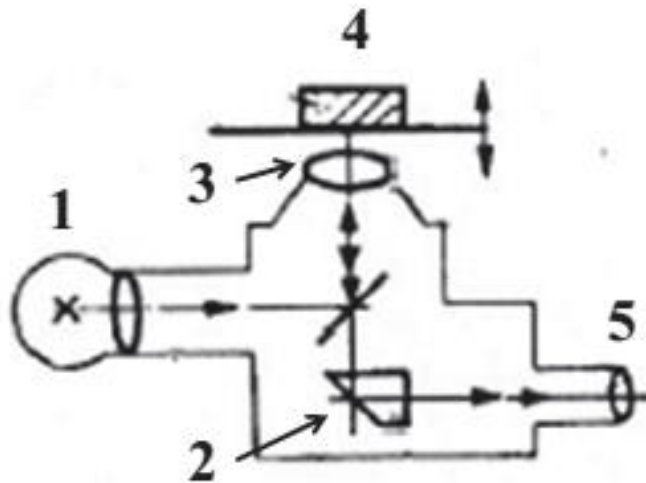
- szemcsék mérete, alakja, ezek eloszlása
- hibák (repedések, üregek, korrózió, stb.)
- vizsgálható mérettartomány: 0,5 μm -tól felfelé

Optikai mikroszkóp



Reflexiós megvilágítás, mivel a vastag **fémes minták nem világíthatók át**, így a mintáról **visszaverődő fényel** alkotunk képet.

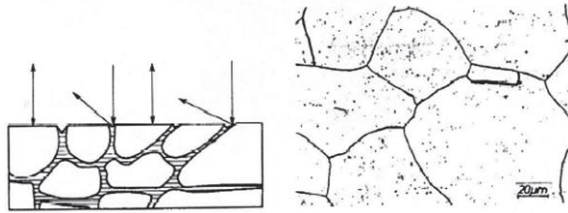
A fényforrás (1) fénye egy **plánparallel üveglemez (2)** segítségével áthalad az **objektívlencsén (3)**. A **mintáról (4)** visszaverődő fényből az OL képet alkot, amely az **okulárlencsén (5)** jut el a megfigyelőhöz.



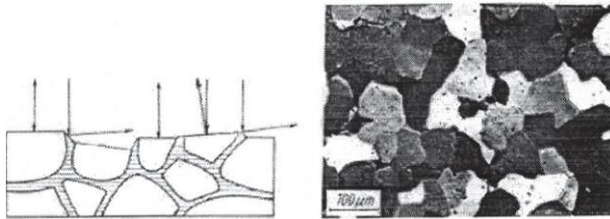
MARATÁS HATÁSA

Homogén marószér

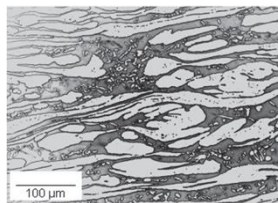
- Homogén, **irányfüggetlen** marószér, **árkot mar** a szemcsehatárok mentén.



- Homogén, **irányfüggő** marószér, a szemcsék felületeinek síkját változtatja meg, így a különböző szemcsék különböző irányba szórják a fényt – **diszlokált reflexió**.



Heterogén marószér

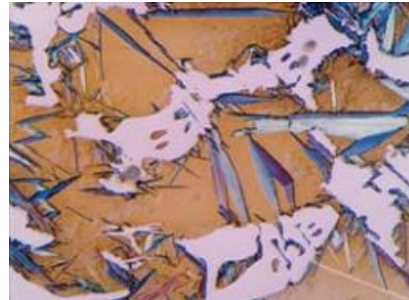


Példák

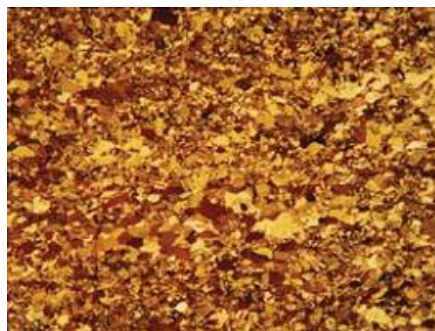
Rétegfelépítés, Rétegvastagság



Szerkezeti felépítés



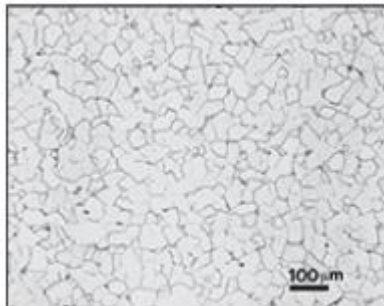
deformálódás mértéke/lágyítás



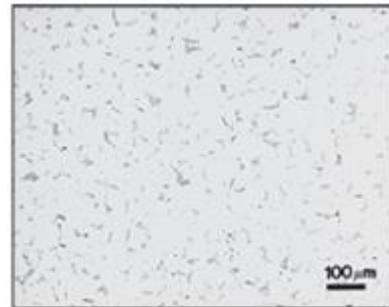
- kell a képekre a mikronbár

Marató oldatok összehasonlítása

- Ferrites acél
- 3% Nital** - Ferritszemcsehatárokat és cementitet emel ki



4% Pikral - Cementitet emel ki



Beraha - Szemcsefelületeket színez a krisztallográfiai szemcsebeállítástól függően
Ez valójában nem maratás, hanem rétegleválasztás



MARATÓ OLDATOK ÖSSZEHAONLÍTÁSA



Hegesztési varrat

Hbz*

Bázis



*Hőbeáramlási zóna

A varratot 3%-os Nitallal maratták (fent), ez kívánivalókat hagy maga után.

Ezzel szemben a Klemml szerinti marató anyag (lent) jó kontrasztot mutat. A hőbeáramlási zóna és a bázisanyag nagyon erős elhatárolódása látszik.

(A_{c1} hőmérséklet).

■ Q. E. D