

[illegible]

Vákuumtechnika

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

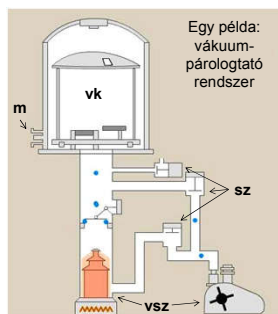
A VÁKUUM SZEREPE II. TISZTASÁG ÉS FELÜLETI MONORÉTEG

- 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	300 μ s	3 ns

VÁKUUMRENDSZEREK FŐ ALKATRÉSZEK

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



VÁKUUMSZIVATTYÚK

- 3 fő elven működő (és számtalan konkrét konstrukciójú) szivattyúk léteznek:
 - Elv.1: térfogat-leválasztás elve (többnyire elővákuumra)
 - Elv.2: hajtóközegek és impulzus-átadási elvű (nagyvákuumra)
 - Elv.3: gáz-megkötő elvű (többnyire tisztaságot növelnek).

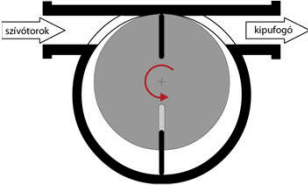

$< 10^{-5}$ Pa	$10^{-5} - 1$ Pa	$1 - 10^5$ Pa	Nyomás-tartomány / szivattyú (elv)
		←	forgó-csúszó lapátos (Elv.1)
←			olajdiffúziós (Elv.2)
←	←		turbó-molekuláris (Elv.2)
←	←	←	hidegcsapda („krió”) (Elv.3)

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

ROTÁCIÓS ELŐVÁKUUM-SZIVATTYÚK FORGÓ-CSÚSZÓ LAPÁTOS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:
 $10^5 \text{ Pa} \rightarrow \sim 0.1 \text{ Pa}$

Működési elv:
Ciklikusan magába szívja, majd elkülöníti a beszívott gáz, azután kiüríti.

A BME-ETT-n:

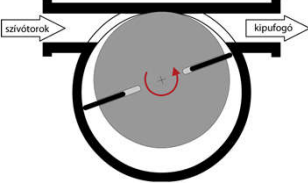

- vákuumpárologtató (1. fokozatként)
- elektronmikroszkóp (1. fokozatként)
- vákuummal rögzítő mintatartó asztal

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 7/46

ROTÁCIÓS ELŐVÁKUUM-SZIVATTYÚK FORGÓ-CSÚSZÓ LAPÁTOS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:
 $10^5 \text{ Pa} \rightarrow \sim 0.1 \text{ Pa}$

Működési elv:
Ciklikusan magába szívja, majd elkülöníti a beszívott gáz, azután kiüríti.

A BME-ETT-n:

- vákuumpárologtató (1. fokozatként)
- elektronmikroszkóp (1. fokozatként)
- vákuummal rögzítő mintatartó asztal

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 8/46

NAGYVÁKUUM SZIVATTYÚK I. OLAJDIFFÚZIÓS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:
 $\sim 1 \text{ Pa} \rightarrow 10^{-7} \text{ Pa}$

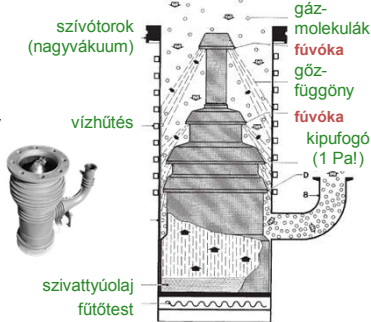
Működési elv:
A gáz bediffundál az olajgőzbe, amely nagy sebességgel áramlik.

Fő előnyei:

- nagy szívósebesség,
- viszonylag olcsó,
- tartós és megbízható.

Fő hátránya:

- az olajgőzök a vákuumterbe juthatnak.



BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 9/46

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

NAGYVÁKUUM SZIVATTYÚK II. TURBOMOLEKULÁRIS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:

$\sim 10^{-2}$ Pa $\rightarrow 10^{-8}$ Pa

Működési elv:

A gáz részecskéi impulzust kapnak a nagy sebességgel forgó lapátoktól.

Fordulatszám:

akár 100.000 fordulat / perc



Fő előnyei:

- olaj nélküli, tiszta működés,
- nagy szívósebesség,

Fő hátránya:

- viszonylag drága.

Fordulat/perc értékek összetételként:

- mosógép centrifuga: 1.200-ig
- NYHL CNC-fűrő: 150.000-ig !!!

Pl. a BME-ETT-n:

- elektronmikroszkóp (2. fokozatként)



Vákuumtechnika vékonyrétegek

10/46

GÁZMEGKÖTŐ SZIVATTYÚK A VÁKUUM ÉS A TISZTASÁG NÖVELESE

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):

Kémiailag megkötik vagy fizikailag elnyelik a részecskéket.

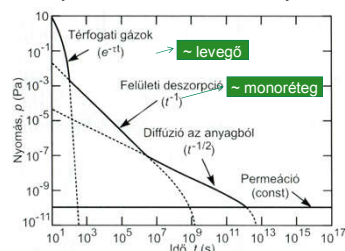


Vákuumtechnika vékonyrétegek

11/46

MI KORLÁTOZZA AZ ELÉRHETŐ LEGJOBB VÁKUUMOT?

Vagyis minek a leszívását végzik a szivattyúk a vákuum különböző szintjein?



Forrás: Bohátka S., Vákuumfizika és -technika, ELFT, 2008, J. F. O'Hanlon, J Wiley & Sons, NY, 1988 alapján



Vákuumtechnika vékonyrétegek

12/46

Permeáció: az a folyamat, amelynek során egy gáz vagy folyadék áthatol egy pórusmentes szilárd anyagon. (Adszorpció \Rightarrow diffúzió \Rightarrow deszorpció.)

Permeabilitás: áteresztőképesség



Vákuumtechnika

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

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 (10^1 Pa- 10^6 Pa)
			Pirani (10^{-1} Pa- 10^3 Pa)
			ionizációs (10^{-8} Pa- 10^{-1} Pa)

MI A VÉKONYRÉTEG?

- több, egymásnak néha ellentmondó definíció létezik,
- de mi az olyan, többnyire félvezető, üveg vagy hajlékony fólia hordozóra *leválasztott* réteget értünk alatta, amely:
 - jellemzően vákuumtechnológiával készült,
 - vastagsága pár nm-től pár um-ig terjed,
 - gyakran a tömbi anyagtól eltérő optikai és/vagy vezetési tulajdonságokat mutatnak és az a tulajdonságuk akár kihasználható.

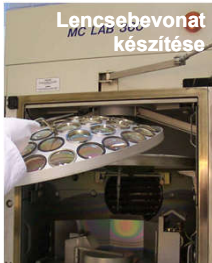
VÉKONYRÉTEG FELVITELI MÓDSZEREK PÉLDÁK

- **vákuumtechnológiák**
 - **vákuum-párolgatás**
 - (vákuum-)porlasztás
 - MBE (Molecular Beam Epitaxy, I. később),
 - CVD (Chemical Vapour Deposition, I. később),
 - PECVD (Plasma Enhanced CVD, I. később)
- Galvanizálás (I. később)

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

VÉKONYRÉTEGEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK BERENDEZÉSEI

A tömeggyártásban



A kutatásban



Vákuumtechnika vékonyrétegek

16/46

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

A VÁKUUMPÁROLOGTATÁS 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. O_2 , Ar) töltenek;
- a leválasztandó anyag atomjaira vagy molekuláira (atomcsoportjaira) bontásának módszerei:
 - párologtatás: hevítéssel
 - porlasztás: ionokkal való bombázással

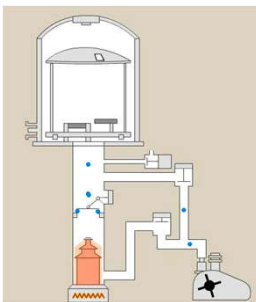


Vákuumtechnika vékonyrétegek

17/46

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

VÁKUUMPÁROLOGTATÓ FELÉPÍTÉSE



Vákuumpárologtató felépítése
(ETT Virtual Laboratory)



Nagykapacitású (mértű) változat



Vákuumtechnika vékonyrétegek

18/46

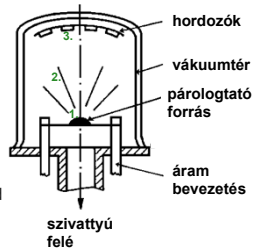
WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÁKUUMPÁROLOGTATÁS FOLYAMATA

A vákuumpárologtatás során három fontos folyamat megy végbe:

1. **Párolgás:**
a párologtatandó tömbanyagot atomjaira bontjuk hevítéssel
2. **Anyagáramlás:**
a részecskék egyenes vonalban, egyenletesen áramolnak
3. **Kondenzáció (lecsapódás):**
az atomok lecsapódnak a hordozón, először szigeteket, majd összefüggő réteget alkotva

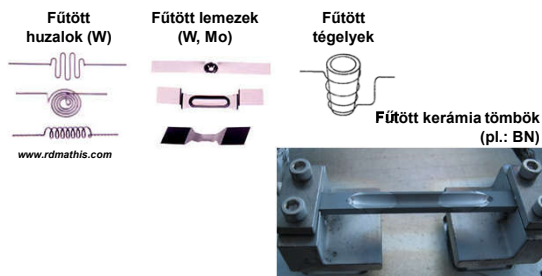


Vákuumtechnika vékonyrétegek

19/46

ÁRAMMAL KÖZVETLENÜL ÉS KÖZVETETTEN HEVÍTETT FORRÁSOK

Cél: a tömbanyag részecskékre bontása -> **hevítés**

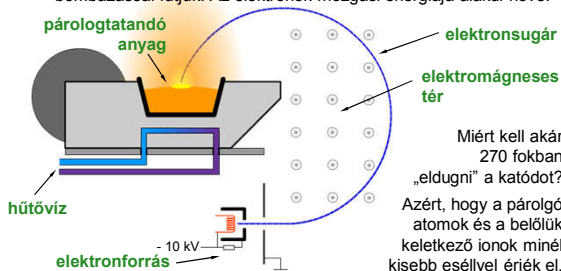


Vákuumtechnika vékonyrétegek

20/46

ELEKTRONSUGARAS FŰTÉSŰ PÁROLOGTATÓFORRÁS

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



Vákuumtechnika vékonyrétegek

21/46

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A PÁROLOGTATÓ FORRÁSOK IRÁNYKARAKTERISZTIKÁJA

Elektronsugaras párologtató forrás

Porlasztó

Pontforrás

z irány

Más iránykarakterisztikák
Fényforrások, lámpatestek:

Antennák:

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 22/46

EGYES ELEMOK EGYENSÜLYI GŐZNYOMÁSA

Az egyes anyagok párolgási sebessége a hőmérséklettől és a nyomástól függ.

Fontos:
Az anyagok az olvadáspontjuk alatti hőmérsékleten is párolognak!

Lásd pl. jégkocka...

Nyomás (Pa)

Hőmérséklet (K)

olvadáspont

Hg, Pb, C, Si, Ni, W

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 23/46

IONOKKAL SEGÍTETT RÉTEGLEVÁLASZTÁS

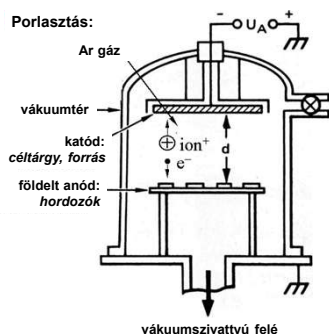
- a hordozó felületét meghatározott energiájú ionok bombázzák a rétegleválasztás közben,
- így a felületen adszorbeálódott, de még a helyüket kereső atomokat eltávolítjuk,
- csak azok az atomok maradnak a felületen, amelyek már meglévő atom-szigethez kapcsolódnak.
- Végeredményben egy tömörebb, mechanikailag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

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 24/46

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

VÉKONYRÉTEGEK ELŐÁLLÍTÁSA VÁKUUM PORLASZTÁSSAL

- A forrásanyag atomjaira bontása:
Hevítés helyett **ionokkal való bombázással**
- Ionokat gázkiűléssel (a gáz atomjainak, molekuláinak elektronokkal való ütköztetésével) hozunk létre

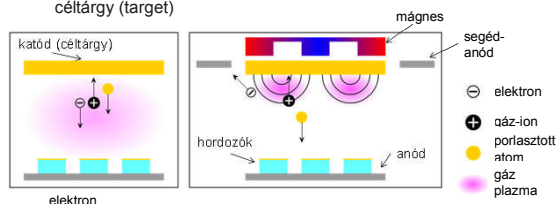


A VÁKUUMPORLASZTÁS ALAPELVE

- 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

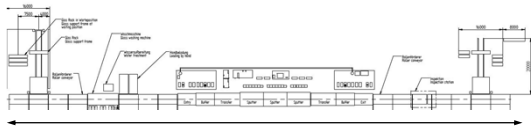
- **Magnetronos porlasztás:**
 - a plazmát állandó mágnessel és segédanóddal a ún. céltárgy közelében alakítják ki,
 - a hatékonyabb ionkeltés miatt gyorsabban porlasztódik a céltárgy (target)



VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

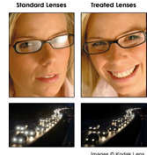
A VÁKUUMPORLASZTÁS AUTOMATIZÁLÁSA

- **Pl.: porlasztó gyártósor**
- kihívás egy általános gyártósorhoz képest:
 - tisztaszobai körülmények,
 - vákuumszisztem.
- az egymás után érkező mintákat a vákuum alatt levő porlasztótérbe zsiliprendszeren keresztül vezetik be

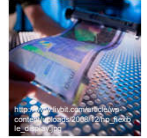


HOL TALÁLUNK VÉKONYRÉTEGET?

Antireflexiós réteg



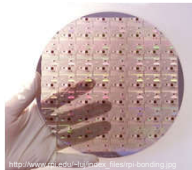
Hajlékony kijelző



Optikai bevonatok



IC gyártás



Napelemek



VÉKONYRÉTEGEK FUNKCIÓJA

- **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 **passzíválás** (pl. korrózió ellen)
- **öntisztító felületek** (pl. víz lepergetése)
- **dekoráció, művészet**

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

VÉKONYRÉTEG ANYAGOK

- tiszta fémrétegek, pl.:
 - arany (pl. vezetőrétég kialakítása)
 - alumínium (pl. képcsőben, IC gyártásban vezetőrétég, tükröként)
 - 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, pl.:
 - amorf Si (vékonyréteg tranzisztorként LCD-ben, napelemben)
 - polikristályos Si
- dielektrikumok, pl.:
 - MgF₂ (optikai anti-reflexiós réteggént)



Vákuumtechnika vékonyrétegek

31/46

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

OPTIKAI VÉKONYRÉTEGEK

- egy vagy több, a fény hullámhosszával egy nagyságrendbeli vastagságú (~párházas nm) rétegek alkotják
- a rétegszerkezetek anti-reflexiós, tükröző vagy éppen szűrő hatását az interferencia és a törésmutató különbségek okozzák
- ablaküveg bevonat – reflexió az infra (hő) tartományban
- hidegtükrös izzók – a látható fényt reflektálja, a hőt nem
- anti-reflexiós bevonatú szemüvegek, fényképező és mikroszkóp optikák

Olajfilm víz felületén



Vákuumtechnika vékonyrétegek

32/46

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

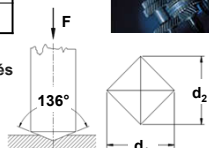
KOPÁSÁLLÓ RÉTEGEK

anyag	keménység, HV (Vickers-féle)	max. * T, °C	szín
TiN	2.300	600	arany-sárga
TiCN	3.000	400	kék-szürke
WC	2.200	300	szürke
CrN	1.750	700	kék-szürke
acél	~100-300		
Al	15		



Vickers keménységmérés

$$HV = F/A \approx \text{const.} \cdot F/d^2$$



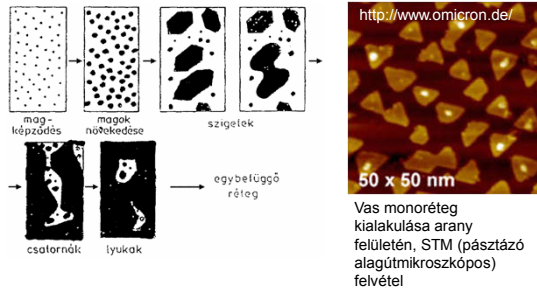
Vákuumtechnika vékonyrétegek

33/46

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÉKONYRÉTEG KIALAKULÁSA A HORDOZÓN



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

VÉKONYRÉTEG INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK TERVEZÉS ÉS MÉRTEZÉS

- 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
 - „csik” 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

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

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 $500\text{ }\mu\text{m}$
- mintázatkialakítás a rétegfelvitel utáni lépésben
 - **fotolitográfia** (mint a Si és NYHL technológiában – L. 2.5/5.1 tétel)
 - **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

TANTÁL (Ta) ALAPÚ VÉKONYRÉTEG INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

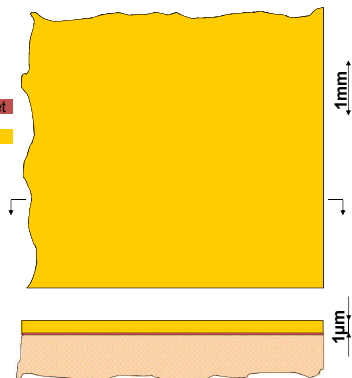
- egy vákuumciklusban előállítható vezetőpálya, ellenállás, és kondenzátor:
 - huzalozás: Ta porlasztása Ar atmoszférában
 - ellenállás: Ta porlasztása N_2 atmoszférában $\rightarrow \text{Ta}_2\text{N}$
 - szigetelő: Ta porlasztása O_2 atmoszférában $\rightarrow \text{Ta}_2\text{O}_5 \rightarrow$ (kondenzátor 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 vezetőréteget



VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

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

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 40/46

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

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 41/46

VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT ÉRTÉKBEÁLLÍTÁS ELŐTT

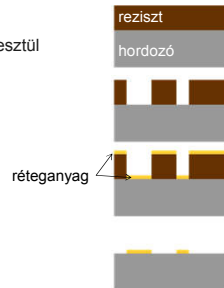
BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 42/46

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A FOTOLITOGRAFIA EGY SAJÁTOS MEGOLDÁSA A VÉKONYRÉTEG TECHNOLÓGIÁBAN

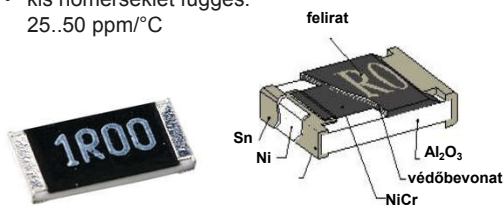
• LIFT-OFF technika

- 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



KITEKINTÉS

- hajlékony kijelzők
- napelemek hatásfokának növelése különböző anyagok alkalmazásával (amorf Si, CdTe stb.)
- nanotechnológia, pl.:
 - nm-es csíkszélesség
 - nagy magasság/szélesség arány



VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

TARTALOMJEGYZÉK

- Vákuumtechnika
 - a vákuum fogalma és szerepe
 - vákuumszivattyúk
 - a vákuum mérése
- Vékonyréteg technológia
 - vékonyréteg leválasztási technológiák
 - vákuumpárolgatás, párolgató források
 - porlasztás
- Vékonyréteg alkalmazások
 - funkciók, anyagok
 - optikai vékonyrétegek
 - kopásálló rétegek, védőrétegek
 - a vékonyréteg kialakulása a hordozón
 - vékonyréteg integrált áramkörök, összeköttetések



Vákuumtechnika vékonyrétegek

46/46

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS
