

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK


3 VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK
3-02 VÁKUUMTECHNIKA

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET
VIETAB00

 BMEETT
ELECTRONIC TECHNOLOGY TRENDS

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

TARTALOM

- a vákuum fogalma és szerepe
- vákuumszivattyúk
- a vákuum mérése
- vékonyréteg leválasztási technológiák
 - vákuumpárolgatás
 - párolgató források
 - portasztás

 BMEETT

Vákuumtechnika

2/27

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

A VÁKUUM FOGALMA, MÉRTÉKEGYSÉGEI

- DIN 28400 szabvány szerinti definíció: 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



10⁻¹⁰ Pa 10⁻⁵ Pa 1 Pa 10⁵ Pa

ultra nagy-vákuum nagy-vákuum elő-vákuum

 BMEETT

vákuum párolgatás vákuumtechnika

3/27

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÁKUUM SZEREPE I. ÁTLAGOS SZABAD ÚTHOSSZ

- A gáz részecskéinek 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

Levegőre számított értékek

Nyomás	10^{-10} Pa	10^{-5} Pa	1 Pa	10^5 Pa légkör
Átlagos szabad úthossz (~)	50.000 km	500 m	5 mm	50 nm
Részecskék 1 mm ³ -ben (~)	24 db	$2,4 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{16}$
Teniszlabda analógia				
Teniszlabdák távolsága (~)	80 km			1 m
Ütközések közötti útvonal hossza (~)	10^{13} km 1 fényév	10^6 km	1.000 km	10 m



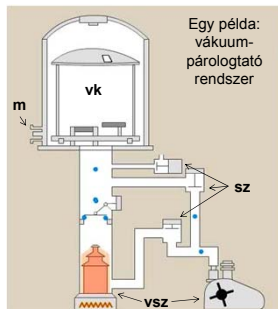
A VÁKUUM SZEREPE II. TISZTASÁG ÉS FELÜLETI MONORÉTEG

- A párolgó 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)



VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

VÁKUUMSZIVATTYÚK



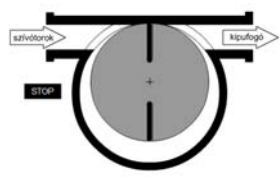
- 3 fő elven működő (és számtalan konkrét konstrukciójú) szivattyúk léteznek:
 - Elv.1: térfogat-leválasztás elve (többnyire elővákuumra)
 - Elv.2: hajtóközeges és impulzus-átadási elvű (nagyvákuumra)
 - Elv.3: gáz-megkötő elvű (többnyire tisztaságot növelnek).

< 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)


BMEETT Vákuumtechnika 7/27

ROTÁCIÓS ELŐVÁKUUM-SZIVATTYÚK FORGÓ-CSÚSZÓ LAPÁTOS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:
10⁵ Pa -> ~0.1 Pa



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



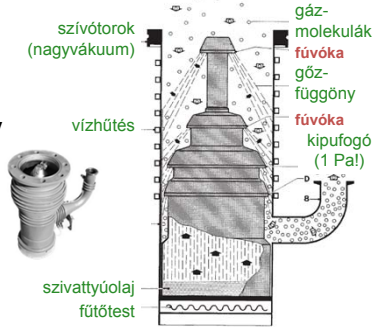
A BME-ETT-n:

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

BMEETT Vákuumtechnika 8/27

NAGYVÁKUUM SZIVATTYÚK I. 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.

BMEETT Vákuumtechnika 9/27

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

NAGYVÁKUUM SZIVATTYÚK II. TURBOMOLEKULÁRIS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:
 $\sim 10^{-2} \text{ Pa} \rightarrow 10^{-8} \text{ Pa}$

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 összevetésképp:

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

Pl. a BME-ETT-n:

- **elektronmikroszkóp (2. fokozatként)**

BMEETT Vákuumtechnika 10/27

GÁZMEGKÖTŐ SZIVATTYÚK A VÁKUUM ÉS A TISZTASÁG NÖVELÉSE

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):

Kémiaileg megkötik vagy fizikailag elnyelik a részecskéket.

BMEETT Vákuumtechnika 11/27

MI KORLÁTOZZA AZ ELÉRHETŐ LEGJOBB VÁKUUMOT?

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



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

Permeabilitás: átteresztőképesség

BMEETT Vákuumtechnika 12/27

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÁKUUMMÉRÉS

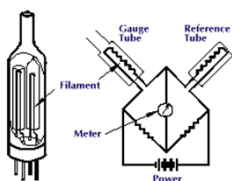
- a nyomás mérésére számtalan elv és konstrukció létezik - nyomástartománytól, pontossági igénytől, környezettől, ártól stb. függően lehet választani
- egy nagyvákuum-rendszerbe minimum két mérő szükséges (külön az elő- és nagyvákuumra)

Fő vákuummérő elvek az egyes nyomástartományokban

< 10 ⁻⁶ Pa	10 ⁻⁶ – 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)

VÁKUUMMÉRÉSI ELV PÉLDA I. 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.

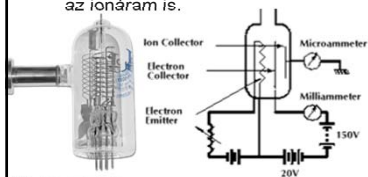


Milyen technológiával készíthetünk ilyen szenzort?

- Si alapon, MEMS
- fűtött huzal

VÁKUUMMÉRÉSI ELV PÉLDA II. IONIZÁCIÓS VÁKUUMMÉRŐ

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



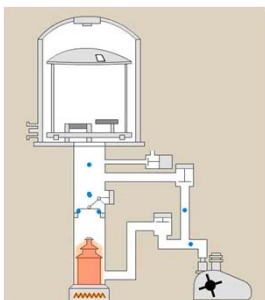
Röntgen a vákuummérőben? Igen, a nagysebességű elektronok röntgenfotonokat gerjeszhetnek az anódba csapódva. Ezek viszont sajnos elérik az ionkollektort is, amiben fotoelektronokat keltenek. Ezek árama hozzáadódik az ionáramhoz, ezzel rontják az vákuummérési tartomány alsó határát. Vesd össze: SEM-EDS !!!

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÁKUUPÁROLOGTATÁS 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

VÁKUUPÁROLOGTATÓ FELÉPÍTÉSE



Vákuupárologtató felépítése
(ETT Virtual Laboratory)

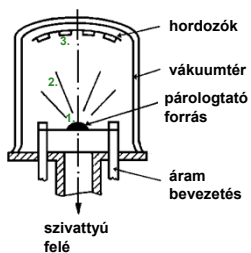


Nagykapacitású (mértű) változat

A VÁKUUPÁROLOGTATÁS FOLYAMATA

A vákuupárologtatás 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



VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

ÁRAMMAL KÖZVETLENÜL ÉS KÖZVETETTEN HEVÍTETT FORRÁSOK

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

Fűtött huzalok (W)

www.rdmathis.com

Fűtött lemezek (W, Mo)

Fűtött tégelyek

Fűtött kerámia tömbök (pl.: BN)

BMEETT Vákuumtechnika 19/27

ELEKTRONSUGARAS FŰTÉSŰ PÁROLOGTATÓFORRÁS

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

Miért kell akár 270 fokban „eldugni” a katódot?
Azért, hogy a párologó atomok és a belőlük keletkező ionok minél kisebb eséllyel érhék el.

BMEETT Vákuumtechnika 20/27

A PÁROLOGTATÓ FORRÁSOK IRÁNYKARAKTERISZTIKÁJA

Elektronsugaras párologtató forrás

z irány

Porlasztó

Pontforrás

Más iránykarakterisztikák
Fényforrások,
lámpatestek:

Antennák:

BMEETT Vákuumtechnika 21/27

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

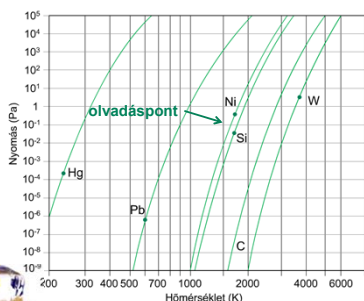
EGYES ELEMEL EGYENSÚLYI GŐZNYOMÁSA

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

Fontos:

Az anyagok az olvadáspontjuk alatti hőmérsékleten is párolognak!

Lásd pl. jégkocka...

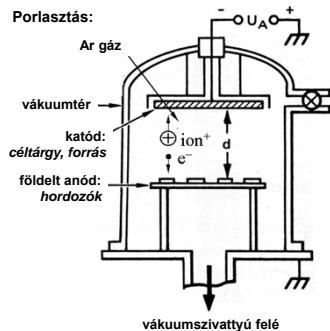


IONOKKAL SEGÍTETT RÉTEGLEVÁLASZTÁS

- 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**
- Ionokat gázkisüléssel (a gáz atomjainak, molekuláinak elektronokkal való ütköztetésével) hozunk létre



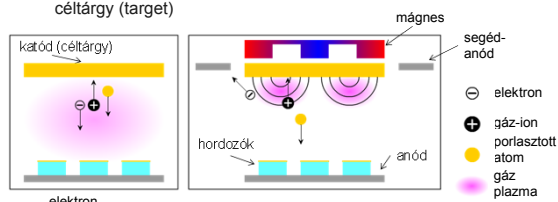
VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

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)



A VÁKUUMPORLASZTÁS AUTOMATIZÁLÁSA

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

