

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

  
**3 VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK**  
**3-02 VÁKUUMTECHNIKA**

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET  
VIETAB00

 BMEETT  
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

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/m<sup>2</sup>
- 10<sup>5</sup> Pa = 1 bar = 750 torr
- 1 torr = 1 mmHg = ~ 133 Pa



 BMEETT

vákuum párolgatás

umtechnika

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 <sup>3</sup> -ben (~)	24 db	$2,4 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{16}$
<b>Teniszlabda analógia</b>				
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 $\mu$ s	3 ns

---

---

---

---

---

---

---

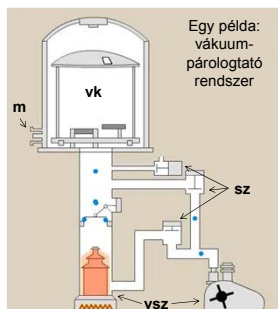
---

---

---

## 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 <sup>-5</sup> Pa	10 <sup>-5</sup> – 1 Pa	1 - 10 <sup>5</sup> 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

---

---

---

---

---

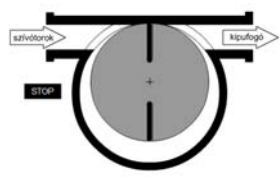
---

---


---

## ROTÁCIÓS ELŐVÁKUUM-SZIVATTYÚK FORGÓ-CSÚSZÓ LAPÁTOS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:  
10<sup>5</sup> 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

---

---

---

---

---

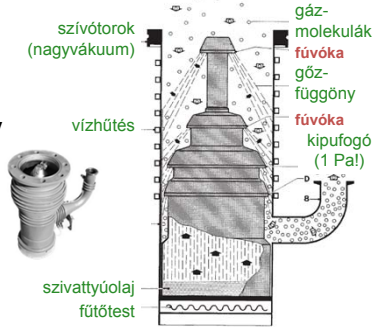
---

---

---

## NAGYVÁKUUM SZIVATTYÚK I. OLAJDIFFÚZIÓS SZIVATTYÚ

Működési tartomány:  
~1 Pa -> 10<sup>-7</sup> 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:  
 $\sim 10^{-2}$  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 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 <sup>-6</sup> Pa	10 <sup>-6</sup> – 1 Pa	1 - 10 <sup>5</sup> Pa	Nyomás-tartomány / Vákuummérés elve
			kapacitív (10 Pa-10 <sup>6</sup> Pa)
			Pirani (10 <sup>-1</sup> Pa-10 <sup>3</sup> Pa)
			ionizációs (10 <sup>-8</sup> Pa-10 <sup>-1</sup> Pa)

---

---

---

---

---

---

---

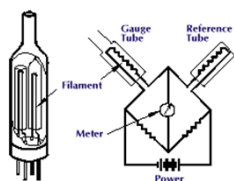
---

---

---

## 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

---

---

---

---

---

---

---

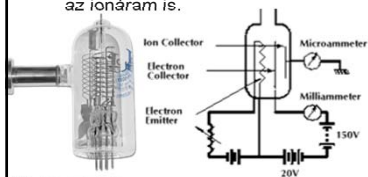
---

---

---

## 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

---

---

---

---

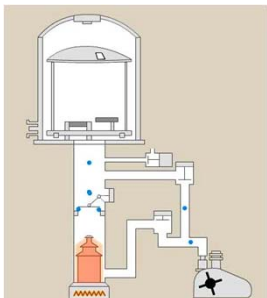
---

---

---

---

## VÁKUUPÁROLOGTATÓ FELÉPÍTÉSE



Vákuupárologtató felépítése  
(ETT Virtual Laboratory)



Nagykapacitású (mértű) változat

---

---

---

---

---

---

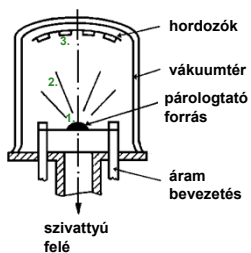
---

---

## 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 ériék el.

BMEETT Vákuumtechnika 20/27

---

---

---

---

---

---

---

---

## A PÁROLOGTATÓ FORRÁSOK IRÁNYKARAKTERISZTIKÁJA

Elektronsugaras párologtató forrás

Pontforrás

Más iránykarakterisztikák  
Fényforrások,  
lámpatestek:

Antennák:

BMEETT Vákuumtechnika 21/27

---

---

---

---

---

---

---

---

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

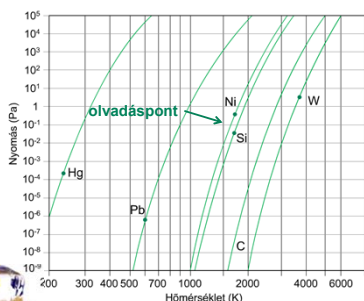
## EGYES ELEMÉK EGYENSÚLYI GŐZNYOMÁSA

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.

---

---

---

---

---

---

---

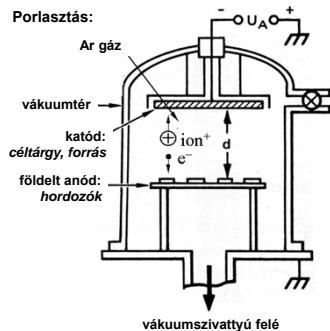
---

---

---

## 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.

---

---

---

---

---

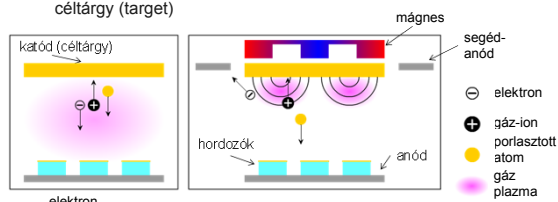
---

---

---

## 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)



---

---

---

---

---

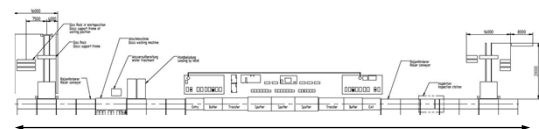
---

---

---

## 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



---

---

---

---

---

---

---

---