

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK



## 4 RÉTEGTECHNOLÓGIÁK

### 4-03 VÁKUUMTECHNIKA ÉS VÉKONYRÉTEGTECHNOLÓGIA

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIÁVIETAB01



BMEETT  
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS  
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

1

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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  $\text{N/m}^2$
- $10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar} = 750 \text{ torr}$
- $1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg} \approx 133 \text{ Pa}$



ultra nagy-vákuum  $10^{-10}$  nagy-vákuum  $10^{-5}$  elő-vákuum  $10^5 \text{ Pa}$

**vákuum párolgató** vákuumtechnika vékonyrétegek

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

2

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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	$10^{-10} \text{ Pa}$	$10^{-5} \text{ Pa}$	$1 \text{ Pa}$	$10^5 \text{ Pa}$ légkör
Átlagos szabad úthossz (~)	50.000 km	500 m	5 mm	50 nm
Részecskék 1 mm <sup>3</sup> -ben (~)	24 db	$2,4 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{16}$

Teniszlabda analógia

Teniszlabdák távolsága (~)	80 km			1 m
Ütközések közötti útvonal hossza (~)	$10^{13} \text{ km}$ 1 fényév	$10^8 \text{ km}$	1.000 km	10 m

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

3

---

---

---

---

---

---

---

---

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

## A VÁKUUM SZEREPE II. TISZTASÁG ÉS FELÜLETI MONORÉTEG

- A párologó részecskék reagálhatnak a gázmolekulákkal és kémiai szennyezhetik a leválasztott réteget -> **a nagyobb vákuum előny**
- A gázmolekulák adszorbeálódnak a hordozó és a vákuumtér felületein. Glimmeléssel (gázkiűléssel) 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

4

---

---

---

---

---

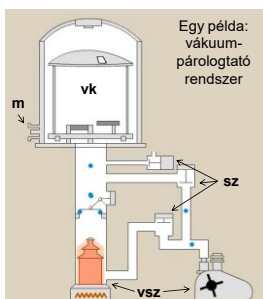
---

---

---

## 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)



5

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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)

6

---

---

---

---

---

---

---

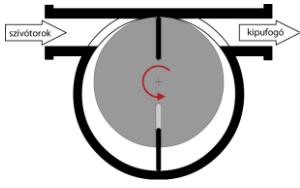
---

# 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:

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



**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 7/51

7

---

---

---

---

---

---

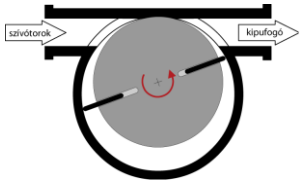
---

---

## 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:

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



**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 8/51

8

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 vákuumtérbe juthatnak.



**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 9/51

9

---

---

---

---

---

---

---

---

# 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,

Fordulat/perc értékek összevetésképp:

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

Fő hátránya:

- viszonylag drága.

Pl. a BME-ETT-n:

- elektronmikroszkóp (2. fokozatként)



Vákuumtechnika vékonyrétegek

10/51

10

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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):

Kémiaailag megkötik vagy fizikailag elnyelik a részecskéket.



Vákuumtechnika vékonyrétegek

11/51

11

---

---

---

---

---

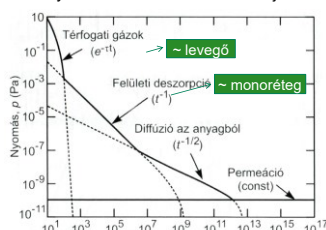
---

---

---

## 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

12/51



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

**Permeabilitás:** áteresztőképesség

12

---

---

---

---

---

---

---

---

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

Vákuumtechnika vékonyrétegek 13/51

---

---

---

---

---

---

---

---

13

## 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.

Vákuumtechnika vékonyrétegek 14/51

---

---

---

---

---

---

---

---

14

## VÉKONYRÉTEG FELVITELI MÓDSZEREK PÉLDÁK

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

Vákuumtechnika vékonyrétegek 15/51

---

---

---

---

---

---

---

---

15

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

## VÉKONYRÉTEGEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK BERENDEZÉSEI

A tömeggyártásban

Lencsebevonat készítése

A kutatásban

Molekulasugaras epitaxia

<http://nanofabric@re.usc.edu/lab/mbe/MC1.jpg>

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

16/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

16

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

17/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

17

---

---

---

---

---

---

---

---

## VÁKUUMPÁROLOGTATÓ FELEPÍTÉSE

Vákuumpárologtató felépítése (ETT Virtual Laboratory)

Nagykapacitású (méretű) változat

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

18/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

18

---

---

---

---

---

---

---

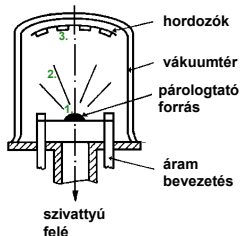
---

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

## A VÁKUUMPÁROLOGTATÁS FOLYAMATA

A vákuumpárolgatás során három fontos folyamat megy végbe:

- 1. Párolgás:**  
a párolgatatandó 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



BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

19/51

19

---

---

---

---

---

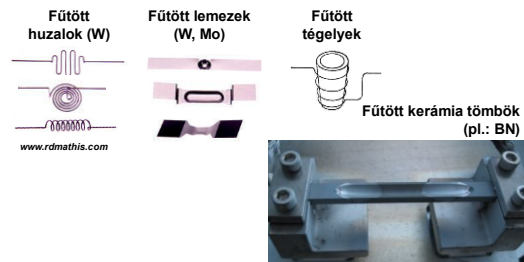
---

---

---

## ÁRAMMAL KÖZVETLENÜL ÉS KÖZVETETTEN HEVÍTETT FORRÁSOK

Cél: a tömbanyag részecskékre bontása -> hevítés



BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

20/51

20

---

---

---

---

---

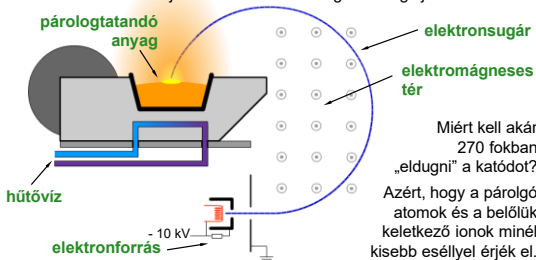
---

---

---

## ELEKTRONSUGARAS FŰTÉSŰ PÁROLOGTATÓFORRÁS

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



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

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

21/51

21

---

---

---

---

---

---

---

---

## VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

### A PÁROLOGTATÓ FORRÁSOK IRÁNYKARAKTERISZTIKÁJA

**Elektronsugaras párologtató forrás**

Porlasztó

**Pontforrás**

z irány

**Más iránykarakterisztikák**  
Fényforrások, lámpatestek:

**Antennák:**

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

22/51

22

---

---

---

---

---

---

---

---

### EGYES ELEMOK EGYENSÚLYI GŐZNYOMÁSA

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

**Fontos:**  
Az anyagok az olvadáspontjuk alatti hőmérsékleten is párolognak!

Lásd pl. jégkocka...

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

23/51

23

---

---

---

---

---

---

---

---

### IONOKKAL SEGÍTETT RÉTEGLELVÁLASZTÁS

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

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

24/51

24

---

---

---

---

---

---

---

---

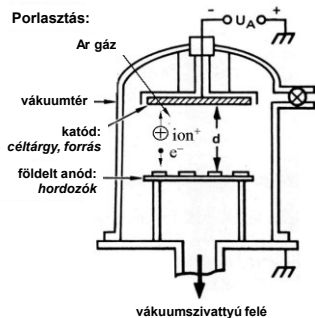


# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

## VÉKONYRÉTEGEK ELŐÁLLÍTÁSA VÁKUUM PORLASZTÁSSAL

### A forrásanyag atomjaira bontása:

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



BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

25/51

25

## 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.

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

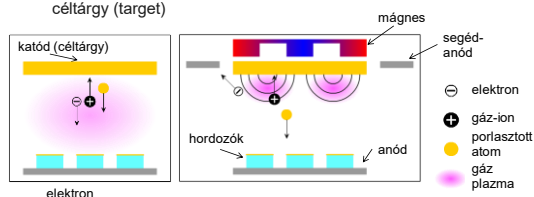
26/51

26

## A VÁKUUMPORLASZTÁS GYAKORLATI MEGVALÓSÍTÁSAI

### Magnetronos porlasztás:

- a plazmát állandó mágnessel és segédanóddal a ún. célanyag közelében alakítják ki,
- a hatékonyabb ionkeltés miatt gyorsabban porlasztódik a célanyag (target)



BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

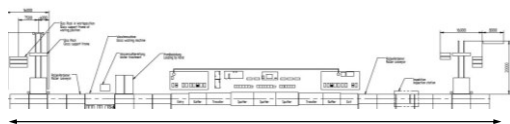
27/51

27

## 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 zsírpumpán keresztül vezetik be



18 méter

Vákuumtechnika vékonyrétegek

28/51

WE CONNECT CLIPS AND SYSTEMS

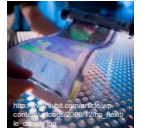
28

## HOL TALÁLUNK VÉKONYRÉTEGET?

### Antireflexiós réteg



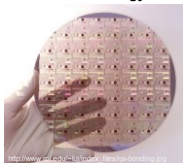
## Hajlékony kijelző



### Optikai bevonatok



## IC gyártás



## Napelemek



29/51

WE CONNECT CLIPS AND SYSTEMS

29

## VÉKONYRÉTEGEK FUNKCIÓJA

- **optikai** (pl. anti-reflexió és bevonat lencséken, tükrön)
- **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**

30/51

## THE CONNECT CLIPS AND SYSTEMS

30

# 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 anyaga)
- félvezető rétegek, pl.:
  - amorf Si (vékonyréteg tranzisztorként LCD-ben, napelemben)
  - polikristályos Si
- dielektrikumok, pl.:
  - MgF<sub>2</sub> (optikai anti-reflexiós réteggént)

31

---

---

---

---

---

---

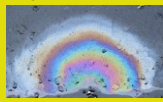
---

---

## 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
- 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



32

---

---

---

---

---

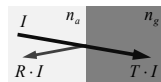
---

---

---

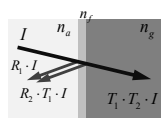
## OPTIKAI VÉKONYRÉTEGEK FUNKCIÓJÁNAK FIZIKAI ALAPJAI

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



Merőleges beesés esetén:

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



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

33

---

---

---

---

---

---

---

---

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

## OPTIKAI VÉKONYRÉTEG STRUKTÚRÁK ANTIREFLEXIÓS RÉTEGEK

**Egyrétegű lambda-negyedes struktúra**

Reflexió (%)

Fény beesési szöge (fok)

Pl.:  $MgF_2$  -  $n_1 = 1,38 > \text{optimális}$

**Kétrétegű lambda-negyedes struktúra**

1. reflexió

2. reflexió

3. reflexió

összeg

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

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

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 34/51

34

## OPTIKAI VÉKONYRÉTEG STRUKTÚRÁK SPECIÁLIS TÜKRÖK

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

Beeső fény

Visszavert fény

Levegő  $n_a$

$\lambda/4$  réteg  $n_L$

$\lambda/4$  réteg  $n_H$

$\lambda/4$  réteg  $n_L$

$\lambda/4$  réteg  $n_H$

$\lambda/4$  réteg  $n_L$

$\lambda/4$  réteg  $n_H$

Hordozó  $n_g$

Áteresztett fény

QWS: Quarter-Wave Stack

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

Reflexió (%)

Hullámhossz (nm)

27 pár

49 pár

100 pár

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 35/51

35

## OPTIKAI VÉKONYRÉTEG STRUKTÚRÁK FABRY-PEROT SZŰRŐ

Üveg

QWS

Réteg

QWS

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

Példa:  $\lambda = 1064$  nm-re tervezett **szűrő** átbocsátóképessége. FWHM = 10 nm, de akár 1 nm is lehetne

FWHM

Transzmisszió (%)

Hullámhossz (nm)

FWHM: Full Width at Half Maximum, azaz a sáv szélessége a maximumérték felénél

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 36/51

36

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

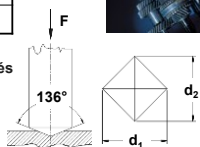
## KOPÁSÁLLÓ RÉTEGEK

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

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



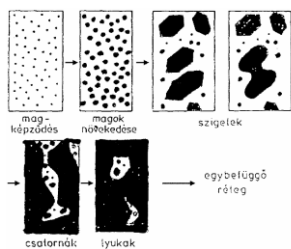
BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

37/51

37

## A VÉKONYRÉTEG KIALAKULÁSA A HORDOZÓN



BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

38/51

38

## 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  $\alpha$ ,  $\Delta R = \alpha \cdot \Delta T \cdot R$ )
  - anyagok: többnyire ötvözetek, pl.: Ni-Cr ( $R_{20} = 100..200 \Omega$ ,  $\alpha = \pm 50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ), Cr-Si, Ta<sub>2</sub>N

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

39/51

39

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

**Thin film resistors**

Resistivity of thin films is higher than that of bulk ones due to the shorter average free path of electron caused by collision not only on metal ions but on film borders as well.

**Bulk**

Resistivity:  $\rho = \frac{2m v_{\lambda}}{q^2 n} \cdot \frac{1}{\lambda}$

**Thin film**

Resistivity:  $\rho = \frac{2m v_{\lambda}}{q^2 n} \cdot \frac{1}{\lambda \sqrt{(0.75 + 0.5 \ln \lambda/v)}}$

m: electron mass  
n: average electron speed  
q: electron charge  
n: pieces of electrons per volume unit  
v: thickness of thin film layer  
 $\lambda$ : mean free path of electrons

**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 40/51

40

---

---

---

---

---

---

---

---

**VÉKONYRÉTEG INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK 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
  - „csik” formájában max. pár 100  $\Omega$ -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 együftfutása

**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 41/51

41

---

---

---

---

---

---

---

---

**MINTÁZATKIALAKÍTÁSI MÓDSZEREK**

- mintázatkialakítás a rétegfelvitel közben
  - fémmaszkon** (a kívánt mintának megfelelő nyílásokon) keresztüli párolgatás
    - 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 – L. 2.5/5.1 tétel)
    - fő előny:** finomabb alakzatok
    - fő hátrány:** tisztaságra és technológiai paraméterekre érzékeny, összetett folyamat
  - közvetlen lézeres rétegeltávolítás
    - fő előny:** rugalmas technológia, a mintázat bármikor módosítható
    - fő hátrány:** alacsonyabb termelékenység

**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 42/51

42

---

---

---

---

---

---

---

---

# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

## TANTÁL (Ta) ALAPÚ VÉKONYRÉTEG INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

- egy vákuumciklusban előállítható vezetőpálya, ellenállás, és kondenzátor:
  - huzalozás: Ta porlasztása Ar atmoszférában
  - ellenállás: Ta porlasztása  $N_2$  atmoszférában  $\rightarrow Ta_2N$
  - szigetelő: Ta porlasztása  $O_2$  atmoszférában  $\rightarrow Ta_2O_5 \rightarrow$  (kondenzátor dielektrikum)
- tehát pusztán az vákuumkamrába engedett gáz változtatásával az áramkör különböző elemeit elő tudjuk állítani az ún. reaktív porlasztással

43

---

---

---

---

---

---

---

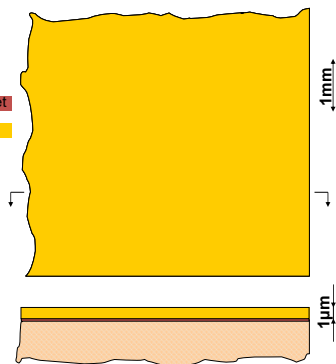
---

## PÉLDA VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSÁRA

1. Az üveg hordozóra...

...leválasztjuk az ellenállás réteget

...leválasztjuk a vezetőrétet



44

---

---

---

---

---

---

---

---

## PÉLDA VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSÁRA

1. Az üveg hordozóra...

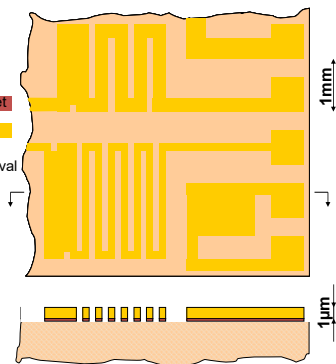
...leválasztjuk az ellenállás réteget

...leválasztjuk a vezetőrétet

2. Mintázatkialakítás fotolitográfiával

...maratjuk a vezetőrétet

...maratjuk az ellenállás réteget



45

---

---

---

---

---

---

---

---

# 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

... második fotolitográfiával...

... maratjuk a vezetőrétet

3. Lézerrel értékbeállítunk

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 46/51

46

---

---

---

---

---

---

---

---

**VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT ÉRTÉKBEÁLLÍTÁS ELŐTT**

vezetőpálya

értékbeállítható cylinder R

meander R

2 mm

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 47/51

47

---

---

---

---

---

---

---

---

**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

reziszt

hordozó

réteganyag

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 48/51

48

---

---

---

---

---

---

---

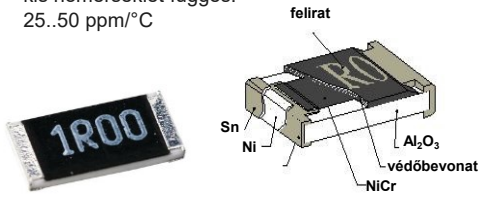
---



# VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

## DISZKRÉT ALKATRÉSZEK NiCr VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁSOK

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



The diagram shows a cross-section of a thin-film resistor. It consists of a substrate with a thin layer of NiCr (labeled 'NiCr') on top. Above the NiCr is a protective layer ('védőbevonat') made of  $Al_2O_3$ . The top surface is labeled 'felfirat' (top surface). The bottom surface is labeled 'Sn' and 'Ni'.

**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 49/51

49

---

---

---

---

---

---

---

## KITEKINTÉS

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



The photograph shows a large array of solar panels installed in a field, with the caption 'napelem táblák' (solar panel tables) above it.

**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 50/51

50

---

---

---

---

---

---

---

## 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

**BMEETT** Vákuumtechnika vékonyrétegek 51/51

51

---

---

---

---

---

---

---