

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK



4 RÉTEGTECHNOLÓGIÁK

4-02 VÁKUUMTECHNIKA ÉS VÉKONYRÉTEG
TECHNOLÓGIA

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET

VIETAB00

A háttérszín jelentése: IMSc anyag

 BMEETT
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK

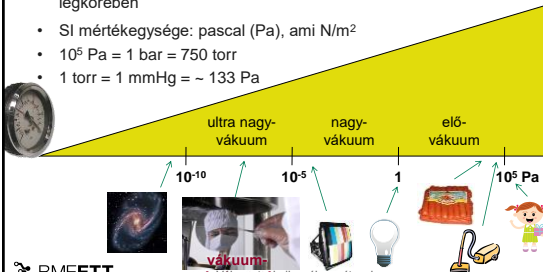
BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

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 N/m²
- 10⁵ Pa = 1 bar = 750 torr
- 1 torr = 1 mmHg = ~ 133 Pa



ultra nagy-
vákuum nagy-
vákuum elő-
vákuum

10⁻¹⁰ 10⁻⁵ 1 10⁵ Pa

 BMEETT

vákuum-
párolgatás

vakuumtechnika vékonyrétegek

2/51

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 Pa	10 ⁻⁵ Pa	1 Pa	10 ⁵ Pa légtér
Átlagos szabad úthossz (~)	50.000 km	500 m	5 mm	50 nm
Részecskék 1 mm ³ -ben (~)	24 db	2,4 · 10 ⁶	2,4 · 10 ¹¹	2,4 · 10 ¹⁶

Teniszlabda analógia

Teniszlabdák távolsága (~)	80 km			1 m
Ütközések közötti útvonal hossza (~)	10 ¹³ km 1 fényév	10 ⁸ km	1.000 km	10 m

 BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

3/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

3

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÁKUUM SZEREPE II. TISZTASÁG ÉS FELÜLETI MONORÉTEG

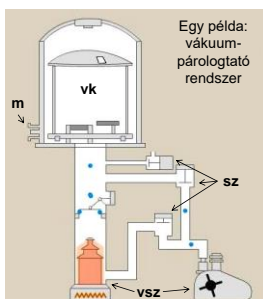
- A párolgó részecskék reagálhatnak a gázmolekulákkal és kémiaiilag szennyezhetik a leválasztott réteget -> **a nagyobb vákuum előny**
- A gázmolekulák adszorbeálódnak a hordozó és a vákuumtér felületein. Glimmeléssel (gázkisüléssel) eltávolíthatók a felületekről, de **a felületi monoréteg a nyomás és a hőmérséklet alapján adódó idő alatt újraépül.**

Nyomás	10^{-10} Pa	10^{-5} Pa	1 Pa	10^2 Pa
A monoréteg kialakulásához szükséges idő (~)	1 hónap	30 s	300 μ 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	$1 - 10^2$ 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:
~ 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 összehasonlításra:
• mosógép centrifuga: 1.200-ig
• NYHL CNC-fúró: 150.000-ig !!!

Pl. a BME-ETT-n:
• elektronmikroszkóp (2. fokozatként)



BMEETT
Vákuumtechnika vékonyrétegek
10/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

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):
Kémiaileg megkötik vagy fizikailag elnyelik a részecskéket.

BMEETT
Vákuumtechnika vékonyrétegek
11/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

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, 1998 alapján

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

Permeabilitás: áteresztőképesség



BMEETT
Vákuumtechnika vékonyrétegek
12/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

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)

BMEETT 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.

BMEETT 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)

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 15/51

15

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

VÉKONYRÉTEGEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK BERENDEZÉSEI

A tömeggyártásban

Lencsebevonat készítése

A kutatásban

Molekulasugaras epitaxia

<http://nanofabric.usc.edu/lab/mbc/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 FELÉPÍTÉSE

Vákuumpárologtató felépítése (ETT Virtual Laboratory)

Nagykapacitású (mértű) változat

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

18/51

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

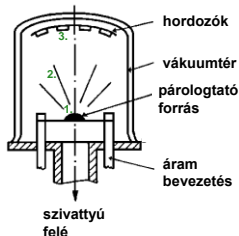
18

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

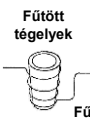
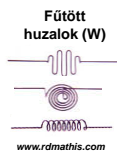
Vákuumtechnika vékonyrétegek

19/51

19

ÁRAMMAL KÖZVETLENÜL ÉS KÖZVETETTEN HEVÍTETT FORRÁSOK

Cél: a tömbanyag részecskékre bontása -> hevítés



Fűtött kerámia tömbök (pl.: BN)



BMEETT

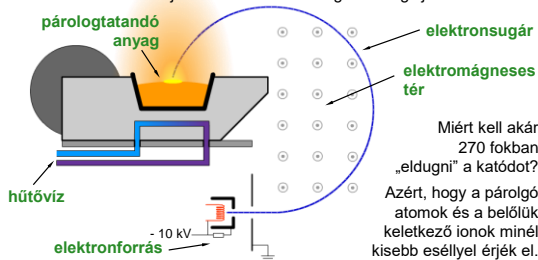
Vákuumtechnika vékonyrétegek

20/51

20

ELEKTRONSUGARAS FŰTÉSŰ PÁROLOGTATÓFORRÁS

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



BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

21/51

21

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A PÁROLOGTATÓ FORRÁSOK IRÁNYKARAKTERISZTIKÁJA

Elektronsugaras párologtató forrás

Porlasztó

Pontforrás

z irány

Más iránykarakteristikák
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

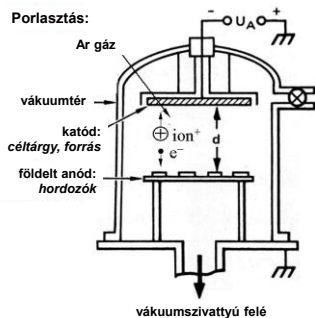
24

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 (ún. target) és hordozót tartó anódlemez közötti elektromágneses tér okozza.

BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek

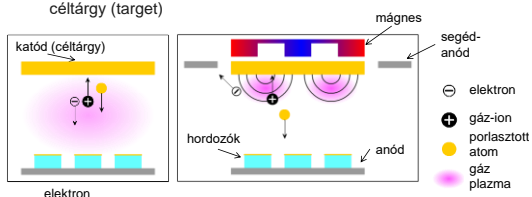
26/51

26

A VÁKUUMPORLASZTÁS GYAKORLATI MEGVALÓSÍTÁSAI

Magnetronos porlasztás:

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



BMEETT

Vákuumtechnika vékonyrétegek


27/51

27

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÁKUUMPORLASZTÁS AUTOMATIZÁLÁSA

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



18 méter


BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 28/51

28

HOL TALÁLUNK VÉKONYRÉTEGET?


Antireflexiós réteg

Standard Lenses Standard Lenses



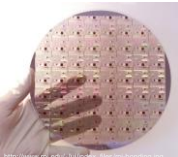
Images: C. Kozma, L. Kozma

Optikai bevonatok




http://img.de.mindustry.com/asset/glossy/270_44402.jpg
http://img.de.mindustry.com/asset/glossy/270_44402.jpg

IC gyártás




<http://www.fab.com/Products/Manufacturing.asp>

Hajlékony kijelző



Images: C. Kozma, L. Kozma

Napelemek



http://img.de.mindustry.com/asset/glossy/270_44402.jpg
http://img.de.mindustry.com/asset/glossy/270_44402.jpg

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 29/51

29

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**

BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 30/51

30

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

VÉKONYRÉTEG ANYAGOK

- tiszta fémrétegek, pl.:
 - arany (pl. vezetőréteg kialakítása)
 - alumínium (pl. képcsőben, IC gyártásban vezetőréteg, 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.:
 - MgF₂ (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

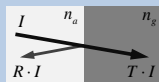
Olajfilm víz felületén



32

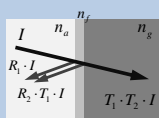
OPTIKAI VÉKONYRÉTEGEK FUNKCIÓJÁNAK FIZIKAI ALAPJAI

- 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 (MgF₂ réteg)
- Interferencia
 - $\lambda/4$ vastagságú vékonyrétegekkel
 - λ 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)

n_f n_g

n_f optimum = $\sqrt{n_a \cdot n_g}$

Pl.: MgF_2 - $n_f = 1,38 > \text{optimalis}$

Kétrétegű lambda-negyedes struktúra

Reflexió (%)

Fény beesési szöge (fok)

n_1 n_2 n_g

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

Pl.: $n_1 = 1,38\text{-re (MgF}_2\text{)}$ $n_2 \text{ opt.} > 1,70$
 $n_2 = 1,76 \text{ (Al}_2\text{O}_3\text{)}$

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

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

Reflexió (%)

Hullámhossz (nm)

QWS: Quarter-Wave Stack

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

<http://www.omicon.de/>

50 x 50 nm

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

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 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

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

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

Thin film

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

m : electron mass
 n : average electron speed
 q : electron charge
 n : pieces of electrons per volume unit
 v : thickness of thin film layer
 λ : 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 100Ω -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

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 $500 \mu m$
- 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

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

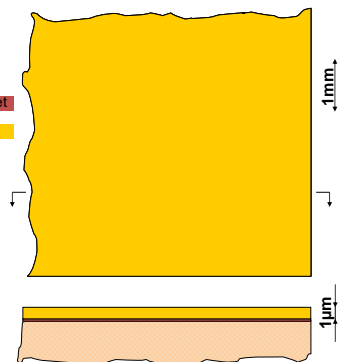
43

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...

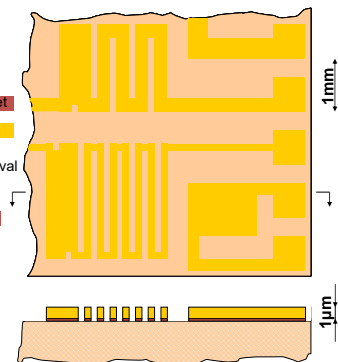
...leválasztjuk az ellenállás réteget

... 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
cilinder R
meander R

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

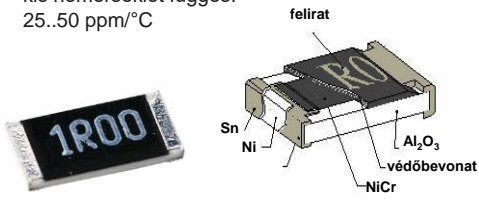
BMEETT Vákuumtechnika vékonyrétegek 48/51

48

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

DISZKRÉT ALKATRÉSZEK NiCr VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁSOK

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



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



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