

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK


MŰEGYETEM 1782

3 VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

3-01 VÉKONYRÉTEG TECHNOLÓGIA

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET
VIETAB00

 BMEETT
ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA TANTÁRSZÉK

BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

TARTALOM

- vékonyréteg alkalmazások
- mennyire vékony réteg a vékonyréteg?
- funkciók, anyagok
- optikai vékonyrétegek
- kopásálló rétegek, védőrétegek
- a vékonyréteg kialakulása a hordozón
- **vékonyréteg integrált áramkörök, összeköttetések**
 - rétegfelviteli módszerek
 - mintázat kialakítása
- következő alkalom: vékonyrétegek előállítása


 BMEETT

Vékonyréteg technológia

2/26


WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

HOL TALÁLUNK VÉKONYRÉTEGET?

Antireflexiós réteg
Standard Lenses Treated Lenses

Images © Kasei, Lens


Optikai bevonatok


http://img.diodedirect.com/images_dioptico-goptical-thin-film-coatings-01163.jpg

IC gyártás

<http://www.itt.com.sg/2014/02/18/Thin-Film-Bonding.jpg>

Hajlékony kijelző

<http://www.hat.com/news/2014/02/18/Thin-Film-Display-Technology-01163.jpg>

Napelemek

<http://img.magazine-files.worldpress.com/2010/04/Win-Sm-solar-r1001.jpg>

 BMEETT

Vékonyréteg technológia

3/26

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

Vékonyréteg technológia

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

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.

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

VÉKONYRÉTEG ANYAGOK

- tiszta fémrétegek, pl.:
 - arany (pl. vezetőréteg kialakítása)
 - alumínium (pl. képcsőben, IC gyártásban vezetőréteg, tükörként)
 - réz (pl. vezetkezős 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 réteggként)

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

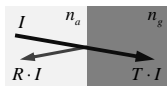
OPTIKAI VÉKONYRÉTEGEK

- 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



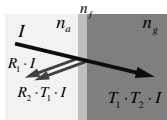
OPTIKAI VÉKONYRÉTEGEK FUNKCIÓJÁNAK FIZIKAI ALAPJAI

- 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_2 réteg)
- Interferencia
 - $\lambda/4$ vastagságú vékonyrétegekkel
 - λ hullámhossz környezetében működő szűrő, tükrő állítható elő



Merőleges beesés esetén:

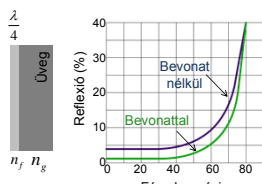
$$R = \left(\frac{n_a - n_g}{n_a + n_g} \right)^2; T \approx 1 - R$$



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

OPTIKAI VÉKONYRÉTEG STRUKTÚRÁK ANTIREFLEXIÓS RÉTEGEK

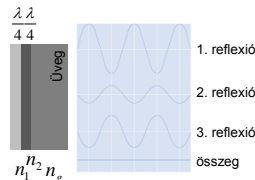
Egyrétegű lambda-negyedes struktúra



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

Fény beesési szöge (fok)
Pl.: MgF_2 - $n_f = 1,38 > \text{optimális}$

Kétretegű lambda-negyedes struktúra



Optimális n_1 és n_2 számítása: $\frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{n_a}{n_g}$
Pl.:
 $n_1 = 1,38\text{-re } (MgF_2)$ $n_{2 \text{ opt}} \rightarrow 1,70$
 $n_2 = 1,76 (Al_2O_3)$

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

OPTIKAI VÉKONYRÉTEG STRUKTÚRÁK SPECIÁLIS TÜKRÖK

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

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

QWS: Quarter-Wave Stack

BMEETT Vékonyréteg technológia 10/26

OPTIKAI VÉKONYRÉTEG STRUKTÚRÁK FABRY-PEROT SZÜRŐ

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

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

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

BMEETT Vékonyréteg technológia 11/26

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

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

BMEETT Vékonyréteg technológia 12/26

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

A VÉKONYRÉTEG KIALAKULÁSA A HORDOZÓN

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

50 x 50 nm

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

BMEETT Vékonyréteg technológia 13/26

VÉKONYRÉTEG FELVITELI MÓDSZEREK PÉLDÁK

- vákuumtechnológiák
 - **vákuum-párolgatás**
 - (vákuum-)porlasztás
 - részletek → következő előadás (Vákuumtechnika)
 - MBE (Molecular Beam Epitaxy),
 - CVD (Chemical Vapour Deposition),
 - PECVD (Plasma Enhanced CVD)
- galvanizálás

BMEETT Vékonyréteg technológia 14/26

VÉKONYRÉTEGEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK BERENDEZÉSEI

A tömeggyártásban

A kutatásban

BMEETT Vékonyréteg technológia 15/26

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

VÉKONYRÉTEG INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

- szigetelő (többnyire üveg) hordozón létrehozott, vékonyréteg ellenállásokat, kondenzátorokat, tranzistorokat 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 ($R_{25} = 100..200 \Omega$, $\alpha = \pm 50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$), Cr-Si, Ta₂N

VÉKONYRÉTEG INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK TERVEZÉS ÉS MÉRETEZÉS

- vékonyréteg ellenállások méretezése, előállítás
- $R = R_{25} \cdot l/d$, ahol R_{25} 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 $R_{25} \sim 150 \Omega$, 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 együtftutása

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 μm
- 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

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

TANTÁL (Ta) ALAPÚ VÉKONYRÉTEG INTEGRÁLT ÁRAMKÖRÖK

- egy vákuumciklusban előállítható vezetópálya, ellenállás, és kondenzátor:
 - huzalozás: Ta porlasztása Ar atmoszférában
 - ellenállás: Ta porlasztása N₂ atmoszférában -> Ta₂N
 - szigetelő: Ta porlasztása O₂ atmoszférában -> Ta₂O₅ -> (kondenzátor dielektrikum)
- tehát pusztán az vákuumkamrába engedett gáz változtatásával az áramkör különböző elemeit elő tudjuk állítani az ún. reaktív porlasztással

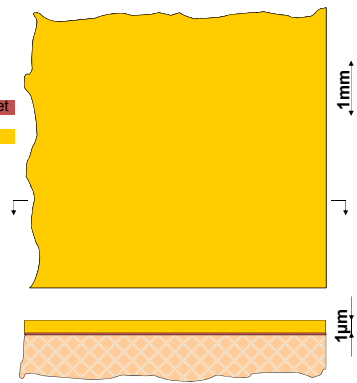
WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

PÉLDA VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSÁRA

1. Az üveg hordozóra...

...leválasztjuk az ellenállás réteget

...leválasztjuk a vezetóreteget



WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

PÉLDA VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSÁRA

1. Az üveg hordozóra...

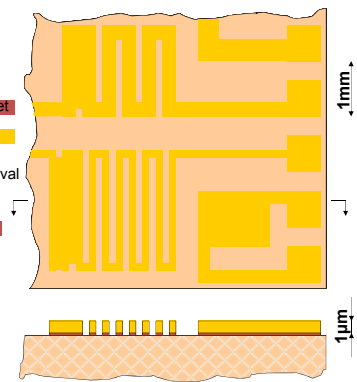
...leválasztjuk az ellenállás réteget

...leválasztjuk a vezetóreteget

2. Mintázatkialakítás fotolitográfiával

...maratjuk a vezetóreteget

...maratjuk az ellenállás réteget



WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

PÉLDA VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT KIALAKÍTÁSÁRA

1. Az üveg hordozóra...
 - ...leválasztjuk az ellenállás réteget
 - ...leválasztjuk a vezetőréteget
2. Mintázatkialakítás fotolitográfiával
 - ... maratjuk a vezetőréteget
 - ... maratjuk az ellenállás réteget
 - ... második fotolitográfiával...
 - ... maratjuk a vezetőréteget
3. Lézerrel értékbeállítunk

BMEETT Vékonyréteg technológia 22/26

VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁS HÁLÓZAT ÉRTÉKBEÁLLÍTÁS ELŐTT

vezetőpálya
értékbeállítható cylinder R
meander R

BMEETT Vékonyréteg technológia 23/26

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

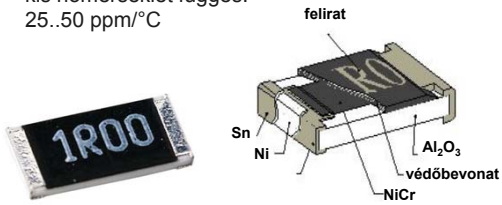
reziszt
hordozó
réteganyag

BMEETT Vékonyréteg technológia 24/26

VÉKONYRÉTEGEK ÉS ELŐÁLLÍTÁSUK

DISZKRÉT ALKATRÉSZEK NiCr VÉKONYRÉTEG ELLENÁLLÁSOK

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



BMEETT

Vékonyréteg technológia

25/26

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

KITEKINTÉS

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

napelem táblák



BMEETT

Vékonyréteg technológia

26/26

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS
