



Hidrogénezett szilíciumnitrid vékonyrétegek fejlesztése

Hegedüs Nikolett¹

Témavezetők:

Dr. Balázs Csaba² és Dr. Balázs Katalin²

¹ Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola, 7. félév

² ELKH, Energiatudományi Kutatóközpont

Alkalmazási területek

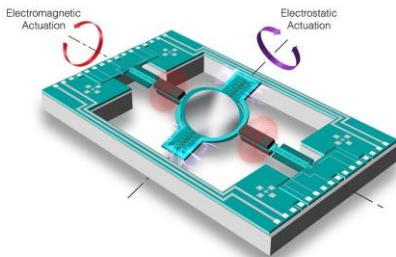


SILICON SOLAR CELL



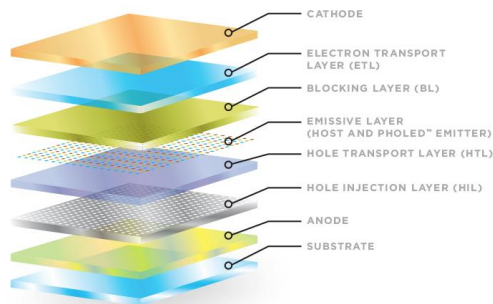
Antireflexiós tulajdonságú
passzíváló réteg

MICROELEKTROMECHANICAL SYSTEM



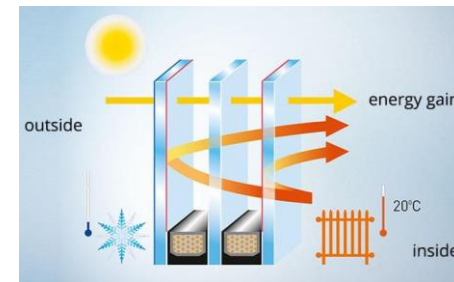
Védő és passzíváló réteg,
valamint maró stop réteg

ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE



Átlátszó védőréteg

HEAT INSULATING GLASS UNIT

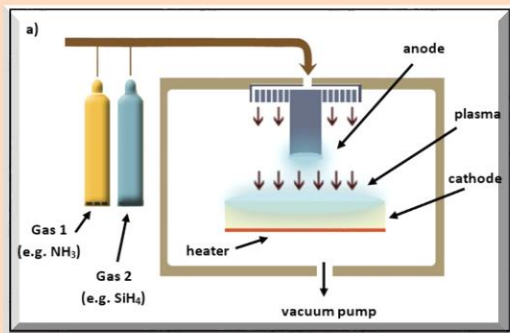


Felső szigetelő réteg

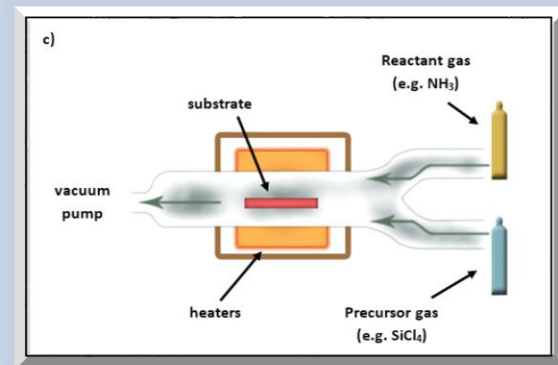
SiNx:H vékonyrétegek leválasztása



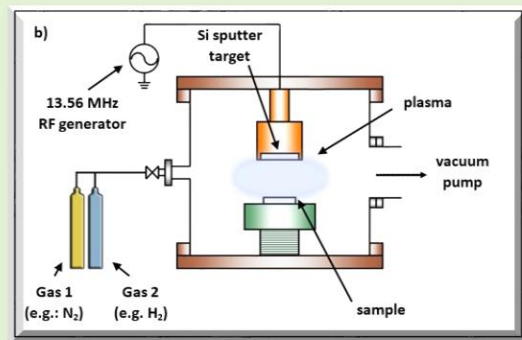
Plazmával segített kémiai gőzfázisú leválasztás

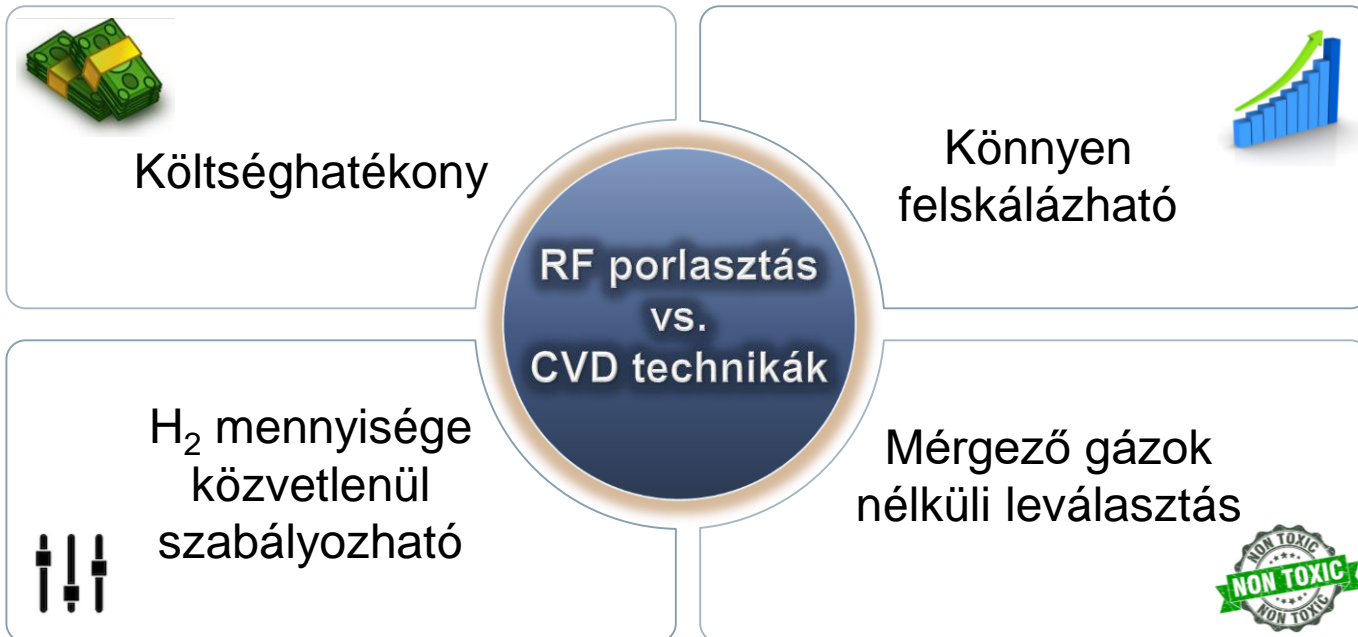


Atomi rétegleválasztás



Rádiófrekvenciás porlasztás



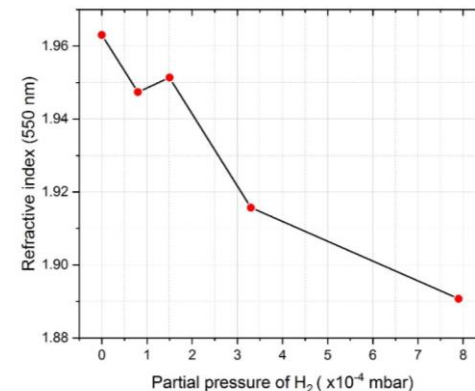
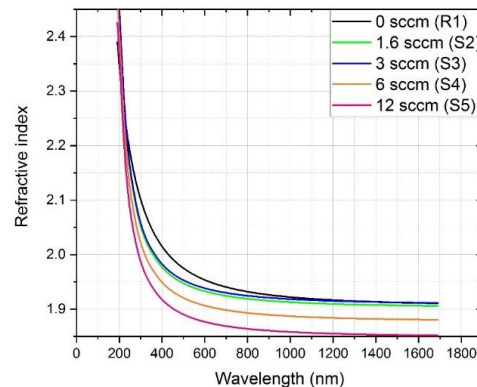
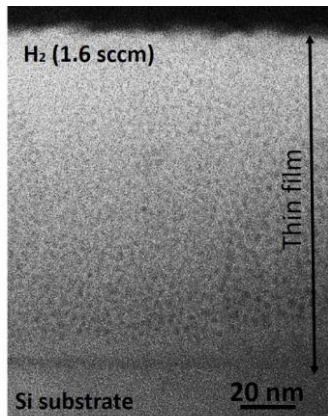
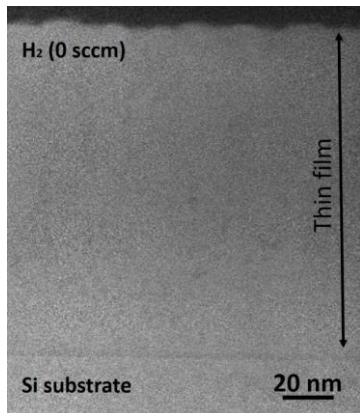


Korábbi eredmények I.



CVD technikával készített rétegekhez hasonló optikai tulajdonságok érhetők el

Hidrogén mennyiségének növelése → csökkenő törésmutató

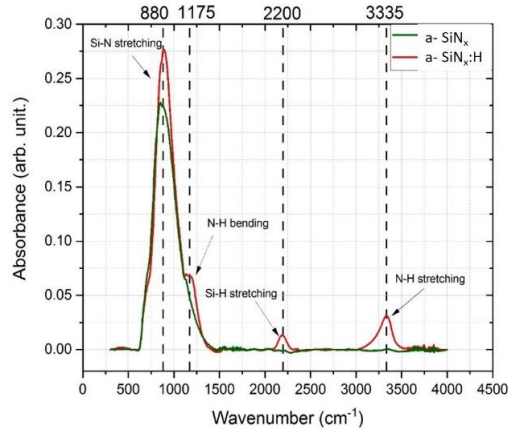


Amorf szerkezet kristályos fázisok nélkül

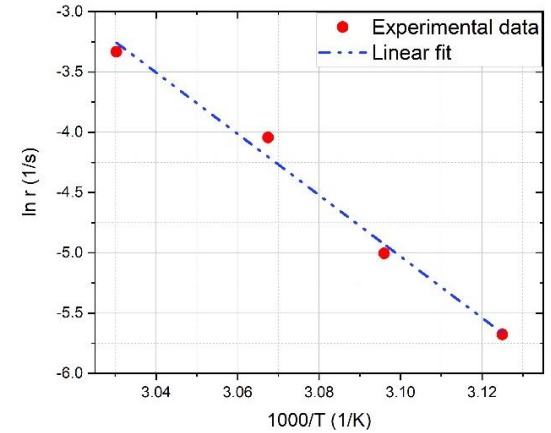
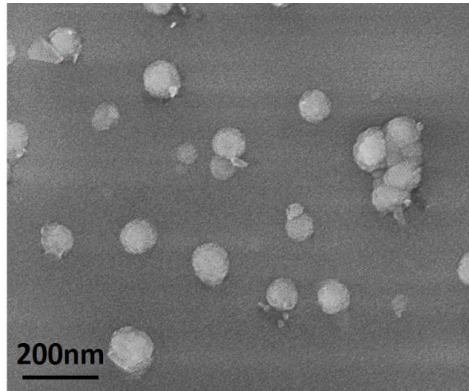
Hidrogénezés hatására nanométer nagyságrendű pórusok alakulnak ki

N. Hegedüs, et al., Examination of the Hydrogen Incorporation into Radio Frequency-Sputtered Hydrogenated SiNx Thin Films, Coatings 2021, 11, 54.

Korábbi eredmények I.



~65 °C-on történő hőkezelés következtében a felületen 100 nm nagyságrendű hólyagok alakulnak ki

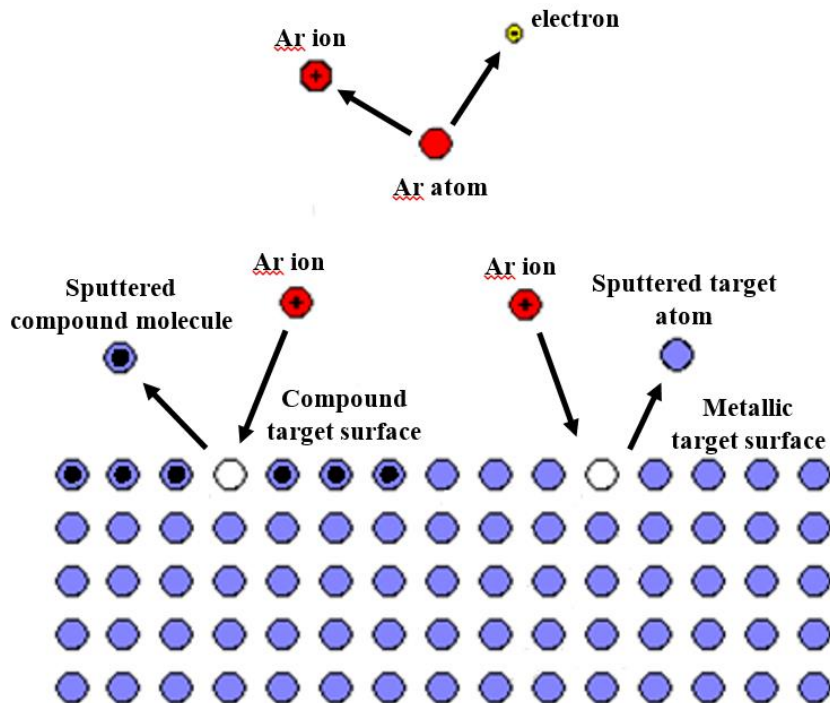


Az Arrhenius-egyenletből számított aktivációs energia (~2.2 eV) molekuláris hidrogén távozására utal

Si-N, Si-H és N-H
vegyértékrezgésekhez
tartozó csúcsok

Molekuláris formában
beépült hidrogén jelenléte
(ERDA)

Korábbi eredmények II.



Y_c

Ar ion porlasztási tényezője
kompozit felületre

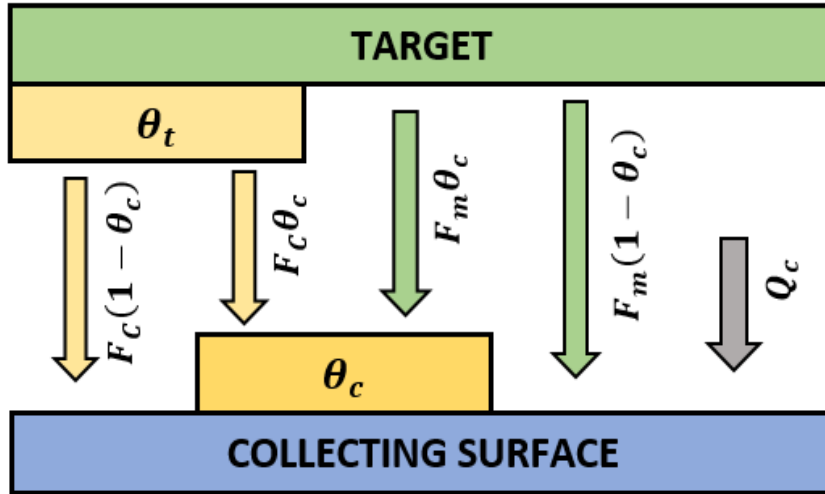
α

A reaktív gázmolekula és a
targetatom kölcsönhatási
valószínűsége

Y_m

Ar ion porlasztási tényezője
fém felületre

Korábbi eredmények II.

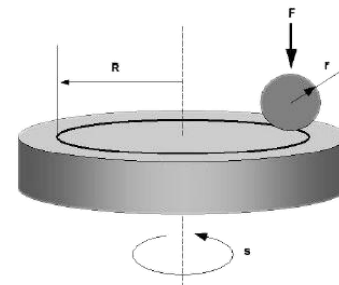
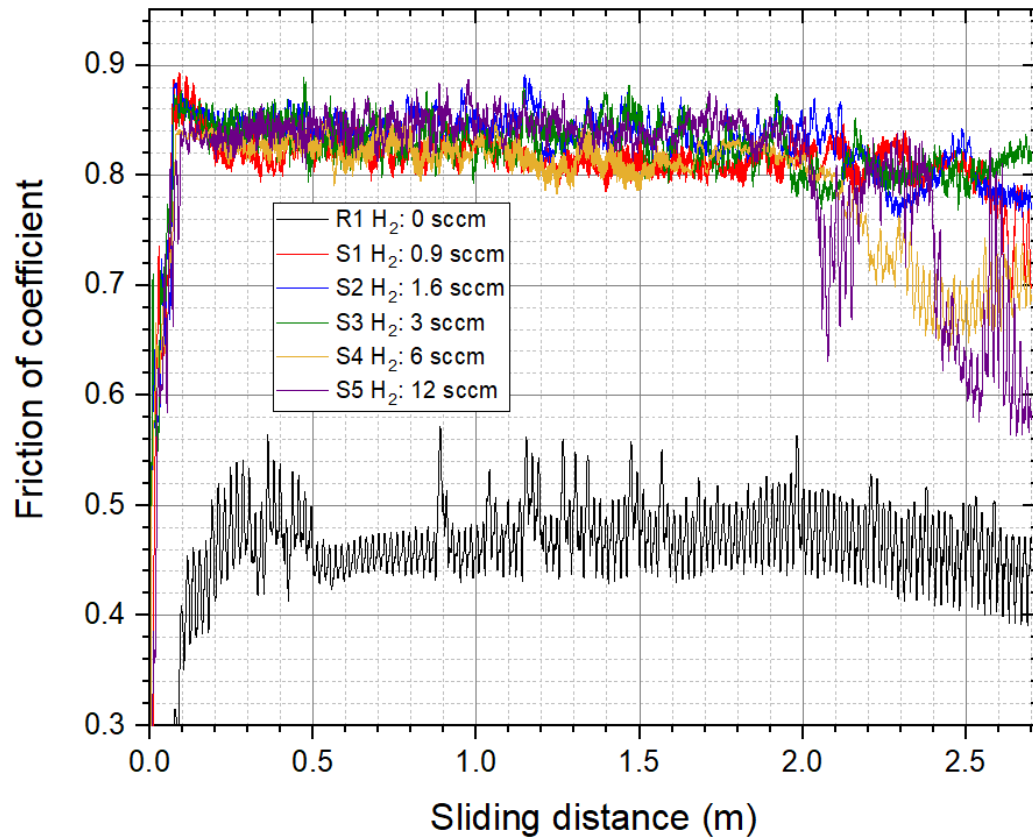


Eredmények: $Y_c = 0.51$
 $\alpha = 0.003$
 $Y_m = 0.98$

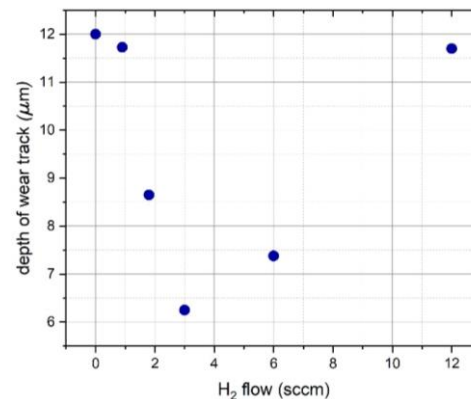
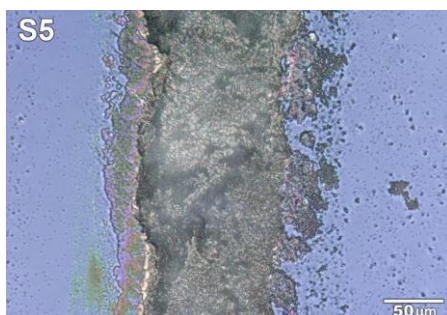
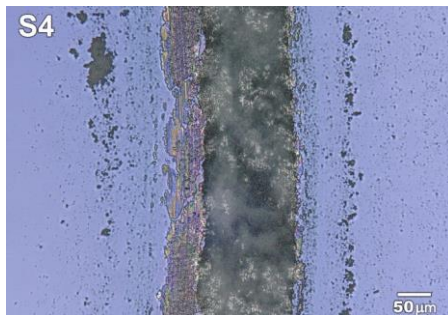
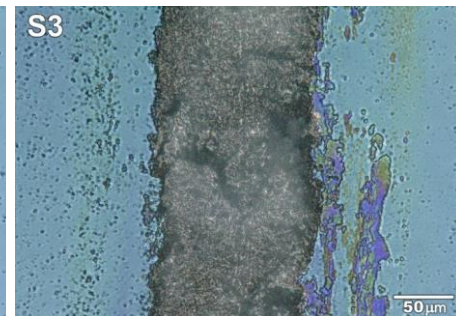
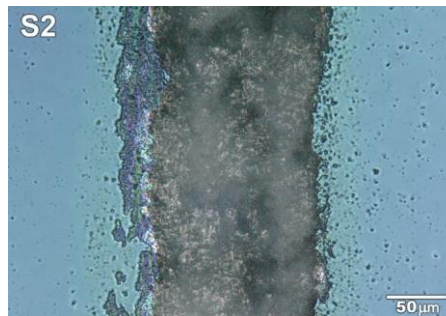
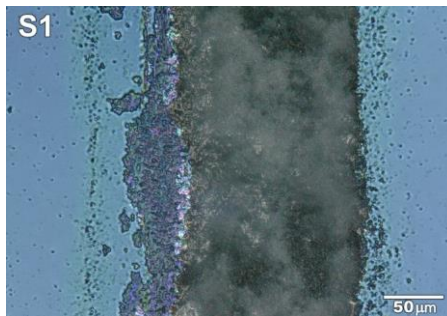
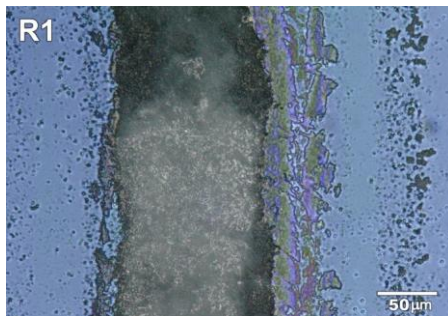
3 különböző porlasztásra alkalmazva:
 3 egyenletből álló, 3-ismeretlenes egyenletrendszer

$$Y_c \cdot D_{tot} \frac{J}{q} + \alpha \cdot 2FD_{tot} - Y_m Y_c \cdot \frac{J^2}{q^2} A_t - \alpha Y_c \cdot \left(4F \frac{J}{q} A_t + F(1-\theta_c) A_c \frac{J}{q} \right) - \alpha^2 \cdot F^2 (1-\theta_c) A_c = 0$$

Tribológiai karakterizáció



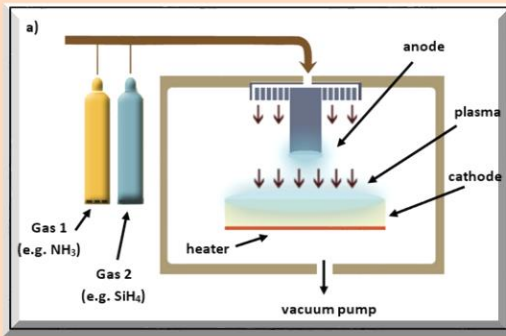
Tribológiai karakterizáció



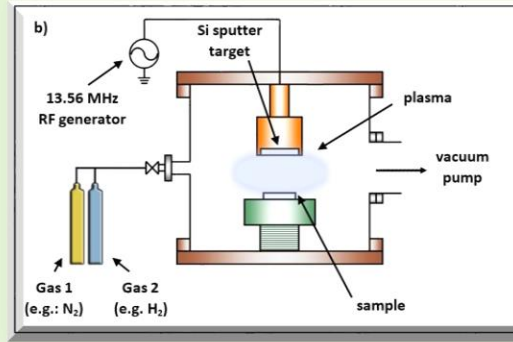
Review: SiNx és SiNx:H rétegek



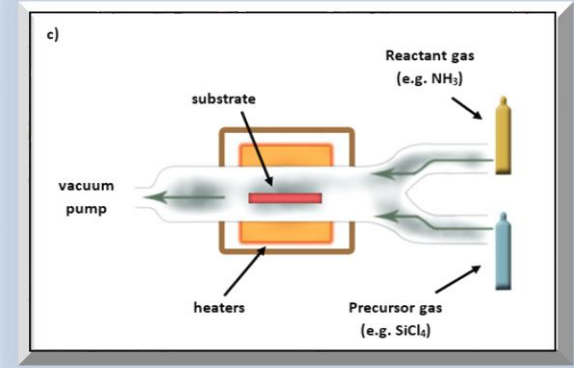
Kémiai gőzfázisú leválasztás



Fizikai gőzfázisú leválasztás porlasztás



Atomi rétegleválasztás



Főbb rétegtulajdonságok
(mechanikai, termális, optikai)
és azok kontrollálási módjainak összehasonlítása

Review: SiNx és SiNx:H rétegek



Rétegtulajdonság	CVD	PVD	ALD
Keménység (GPa)	13 – 23 [1]	8 – 23 [2]	-
Young modulus (GPa)	256 [3]	100 – 210 [2]	-
Hővezető képesség ($Wm^{-1}K^{-1}$)	0.8 - 3.2 [4] [5]	1.25 - 2.66 [6]	-
Törésmutató	1.6 - 3.35 [7]	1.6 - 3.2 [8] [9]	1.86 - 2.01 [10]

[1] King, S.; Chu, R.; Xu, G.; Huening, J., *Thin Solid Film*. 2010, 518, 4898–4907.

[2] Vila, M.; Cáceres, D.; Prieto, C. *J. Appl. Phys.* 2003, 94, 7868.

[3] Carlotti, G.; Colpani, P.; Piccolo, D.; Santucci, S.; Senez, V.; Socino, G.; Verdini, L., 2002, 414, 99–104.

[4] Bogner, M.; Hofer, A.; Benstetter, G.; Gruber, H.; Fu, R.Y., *Thin Solid Film*. 2015, 591, 267–270.

[5] Mastrangelo, C.H.; Tai, Y.; Muller, R.S., *Actuators A: Phys.* 1990, 23, 856–860.

[6] Marconnet, A.; Panzer, M.; Yerci, S.; Minissale, S.; Wang, X.; Zhang, X.; Negro, L.D.; Goodson, K.E., *Appl. Phys. Lett.* 2012, 100, 51908.

[7] Charifi, H.; Slaoui, A.; Stoquert, J.P.; Chaib, H.; Hannour, A., *World J. Condens. Matter Phys.* 2016, 6, 62473.

[8] Paule, E.; Elizalde, E.; Martínez-Duart, J.M.; Albella, J.M., *Vacuum* 1987, 37, 395–397.

[9] Signore, M.; Sytchkova, A.; Dimaio, D.; Cappello, A.; Rizzo, A., *Opt. Mater.* 2011, 34, 632–638.

[10] Jhang, P.-C.; Lu, C.-P.; Shieh, J.-Y.; Yang, L.-W.; Yang, T.; Chen, K.-C.; Lu, C.-Y., *Solid-state Electron.* 2017, 133, 10–16.



- A hidrogénezés hatására a réteg súrlódási együtthatója ~ 0.45 -ről 0.85 -ra nő a kamrába adagolt hidrogén mennyiségétől függetlenül.
- A kopásnyomok mélysége a hidrogénmennyiség függvényében először monoton csökkenést mutat, majd 3 sccm hidrogénmennyiségnél elérve minimumát a nagyobb hidrogénáramok mellett monoton nő
- A termikusan instabil hordozók miatt az elmúlt években egyre nagyobb érdeklődésnek örvendenek az alacsonyabb leválasztási hőmérsékleteket alkalmazó technológiák.
- A fejlesztések egy másik irányát az egyre jobb mechanikai tulajdonságok elérése jelöli ki, mely törekvést az egyre nagyobb kihívást jelentő környezeti feltételek mellett történő alkalmazások ösztönöztek.





- N. Hegedüs, Cs. Balázsi, K. Balázsi, Examination of the Hydrogen Incorporation into Radio Frequency Sputtered Hydrogenated SiNx Thin Films, **14th International Conference on Solid State Chemistry**, 13-17 June, 2021, online konferencia **(szóbeli előadás)**
- N. Hegedüs, Cs. Balázsi, K. Balázsi, Examination of the Hydrogen Incorporation into Radio Frequency-Sputtered Hydrogenated SiNx Thin Films, **European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes**, 2021. szeptember 12-16. **(szóbeli előadás)**
- N. Hegedüs, Cs. Balázsi and K. Balázsi, Silicon nitride and hydrogenated silicon nitride: Applications and fabrication methods, **European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes**, 2021. szeptember 12-16. **(poszter prezentáció)**
- N. Hegedüs, Cs. Balázsi, K. Balázsi, Examination of the hydrogen formation in Radio Frequency sputtered hydrogenated SiNx thin films, **14th ECerS Conference for Young Scientists in Ceramics, 2021 ECerS Students Speech Contest, final**, 2021. október 21-22., Novi Sad -> Magyarország képviselete **(szóbeli előadás)**



- N. Hegedüs, R. Lovics, M. Serényi, Zs. Zolnai, P. Petrik, J. Mihály, Cs. Balázsi, K. Balázsi, Examination of the Hydrogen Incorporation into Radio Frequency-Sputtered Hydrogenated SiNx Thin Films, **Coatings** 2021, 11, 54. **(folyóiratcikk, IF = 2.436)**
- N. Hegedüs, Cs. Balázsi and K. Balázsi: Silicon nitride and hydrogenated silicon nitride: A Review of Fabrication Methods and Applications, **Materials** 2021, 14, 19. **(folyóiratcikk, IF = 3.623)**
- N. Hegedüs, M. Furkó, K. Balázsi, C. Balázsi, Környezetbarát energiatermelés, energiahatékonyság és közlekedés szempontjából kritikus üvegek, kerámiák és fémek, **Anyagok Világa**, 2021, 14, 1. **(folyóiratcikk)**
- N. Hegedüs, R. Lovics, M. Serényi, Zs. Fogarassy, P. Petrik, J. Mihály, Zs. Zolnai, Cs. Balázsi, K. Balázsi, Hydrogen formation in Radio Frequency (RF) hydrogenated silicon nitride thin films, *cikk folyamatban*
- N. Hegedüs, Cs. Balázsi and K. Balázsi, Comparison of tribological properties of radio frequency-sputtered SiNx and SiNx:H thin films by Optical Microscopy, Scanning Electron Microscopy and Transmission Electron Microscopy, **Resolution & Discovery**, *cikk folyamatban*

Tervek a következő félévre



- Folyamatban lévő publikációk befejezése
- Abszolutórium megszerzése
- Disszertáció írás



Köszönetnyilvánítás



- Dr. Balácsi Csaba¹ (témavezetés)
- Dr. Balazsi Katalin¹ (témavezetés)
- Dr. Lovics Riku¹ (RF-porlasztás)
- Dr. Serényi Miklós¹ (RF-porlasztás, Berg modellezés)
- Dr. Mihály Judith² (FTIR-mérések)
- Dr. Petrik Péter¹ (SE-mérések)
- Dr. Zolnai Zsolt¹ (ERDA-mérések)

¹ ELKH, Energiatudományi Kutatóközpont

² ELKH, Természettudományi Kutatóközpont



Köszönöm a figyelmet!