



Hidrogénezett szilíciumnitrid vékonyrétegek fejlesztése

Hegedüs Nikolett¹

Témavezetők:

Dr. Balácsi Csaba² és Dr. Balácsi Katalin²

¹ Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola, 8. félév

² ELKH, Energiatudományi Kutatóközpont

Alkalmazási területek

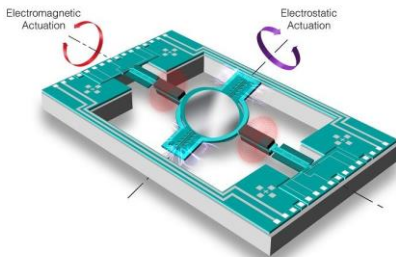


SILICON SOLAR CELL



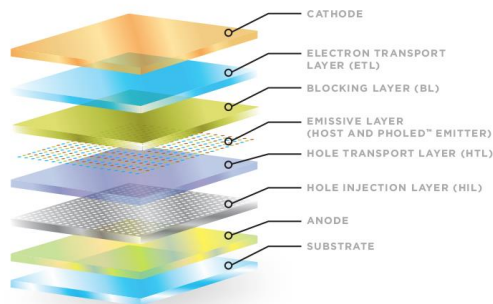
Antireflexiós tulajdonságú
passzíváló réteg

MICROELEKTROMECHANICAL SYSTEM



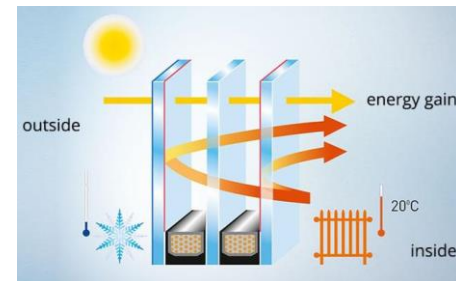
Védő és passzíváló réteg,
valamint maró stop réteg

ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE



Átlátszó védőréteg

HEAT INSULATING GLASS UNIT

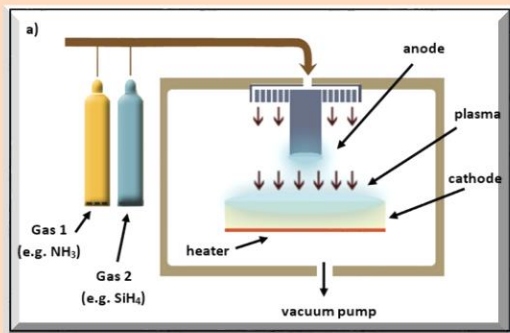


Felső szigetelő réteg

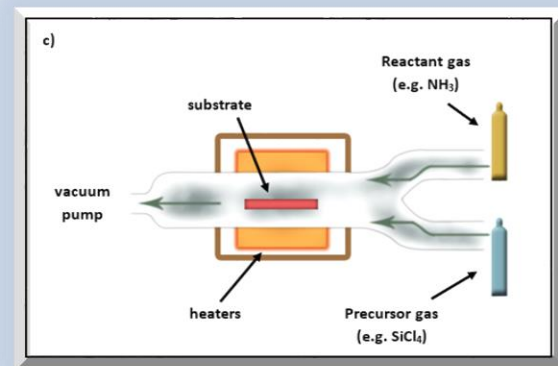
SiNx:H vékonyrétegek leválasztása



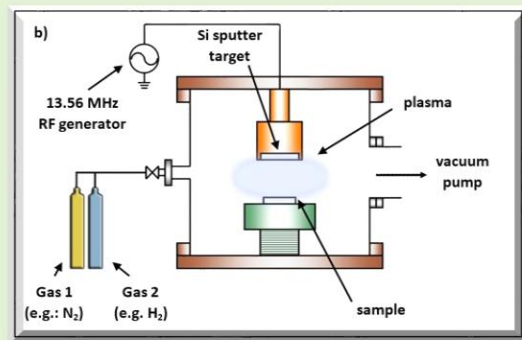
Plazmával segített kémiai gőzfázisú leválasztás

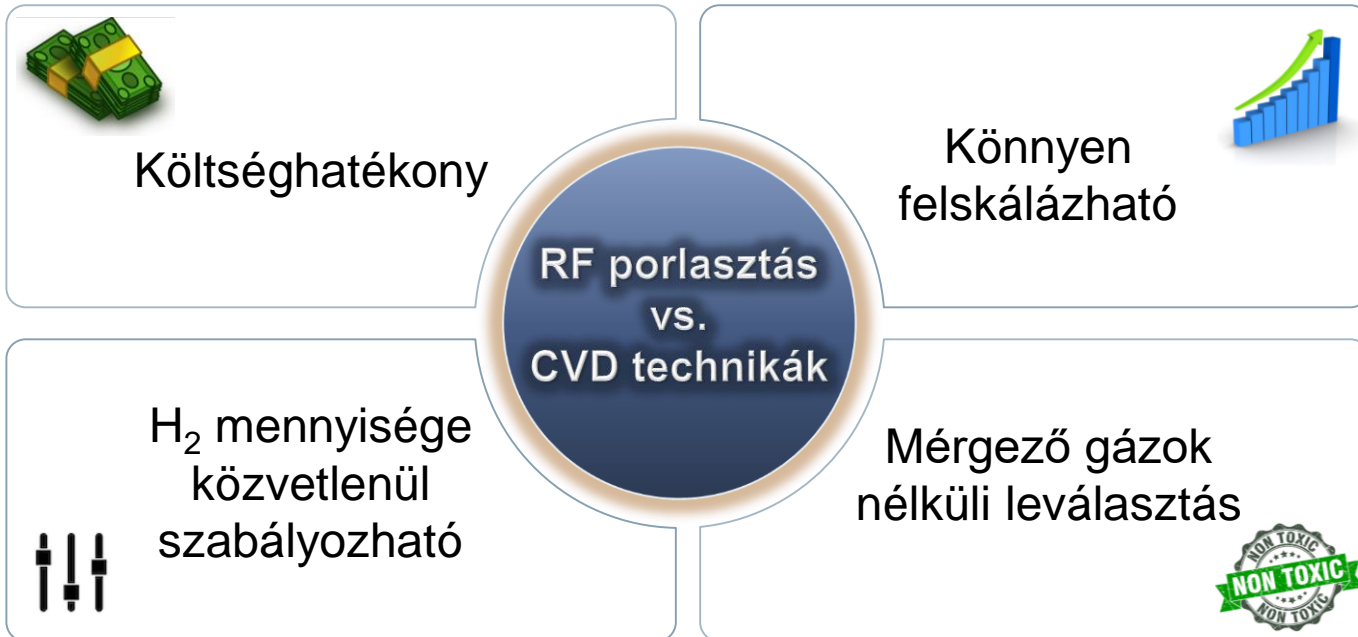


Atomi rétegleválasztás



Rádiófrekvenciás porlasztás



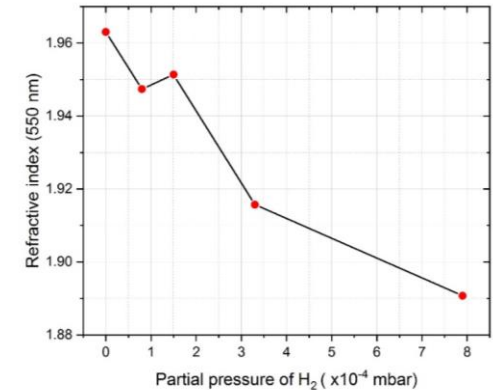
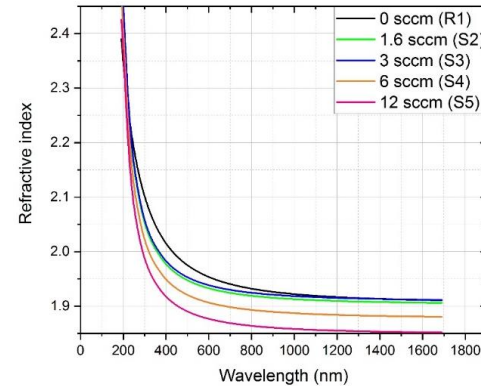
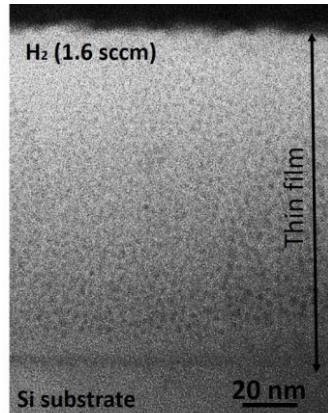
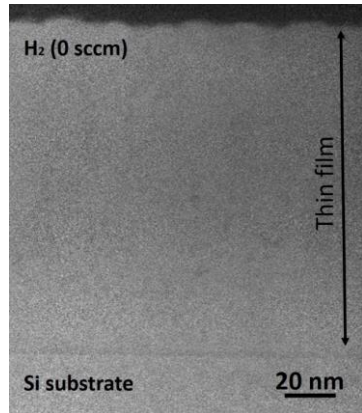


Korábbi eredmények I.



CVD technikával készített rétegekhez hasonló optikai tulajdonságok érhetők el

Hidrogén mennyiségének növelése → csökkenő törésmutató

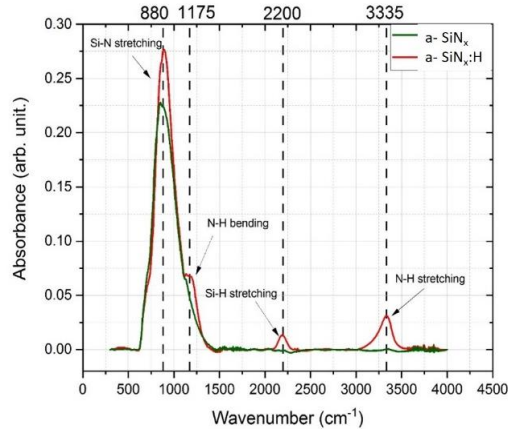


Amorf szerkezet kristályos fázisok nélkül

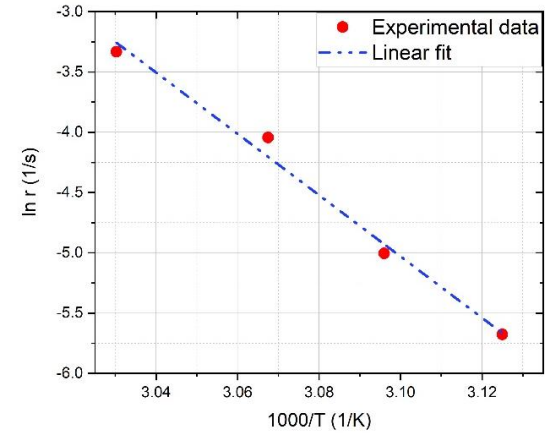
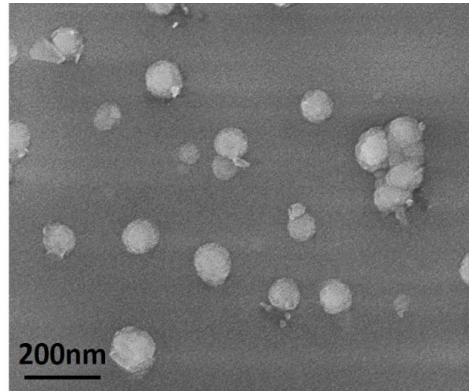
Hidrogénezés hatására nanométer nagyságrendű pórusok alakulnak ki

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

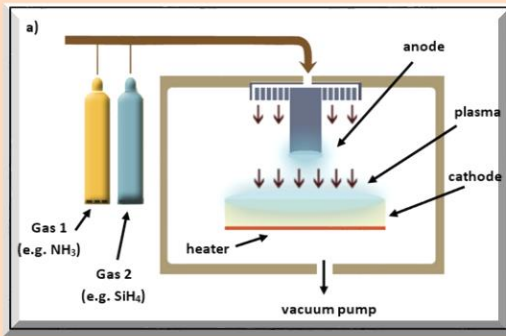


Az Arrhenius-egyenletből számított aktivációs energia (~2.2 eV) molekuláris hidrogén távozására utal

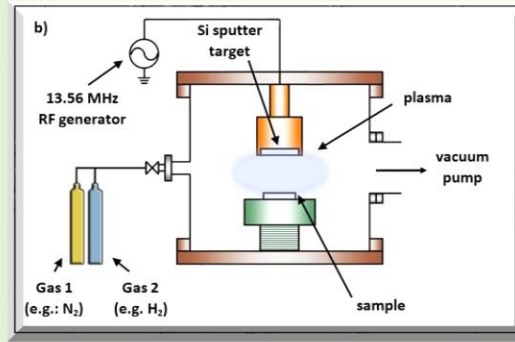
Si-N, Si-H és N-H
vegyértékrezgésekhez
tartozó csúcsok

Molekuláris formában
beépült hidrogén jelenléte
(ERDA)

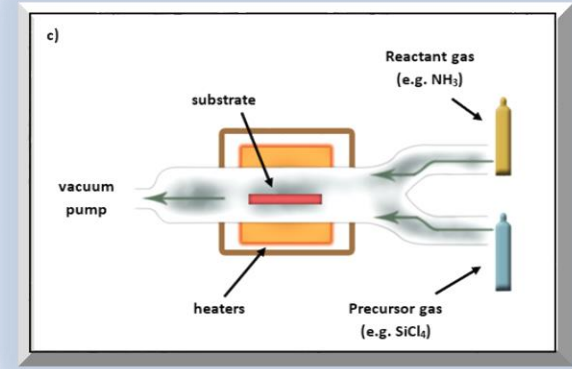
Kémiai gőzfázisú leválasztás



Fizikai gőzfázisú leválasztás porlasztás



Atomi rétegleválasztás



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

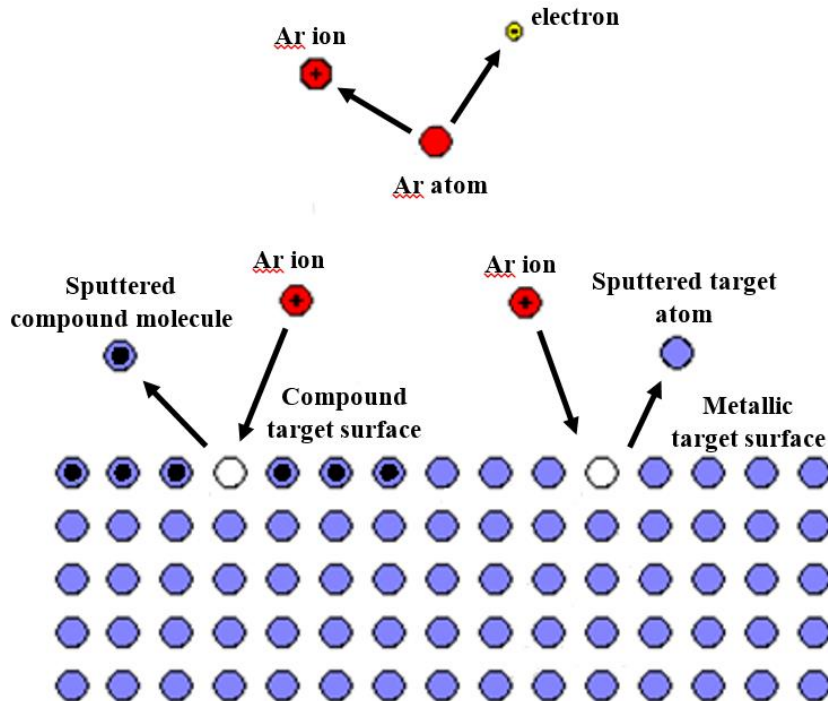
Korábbi eredmények II.



Rétegtulajdonság	CVD	PVD	ALD
Keménység (GPa)	13 – 23 [1]	8 – 23 [2]	-
Young modulus (GPa)	256 [3]	100 – 210 [2]	-
Hővezető képesség ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	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]

*N. Hegedüs, et al., Silicon nitride and hydrogenated silicon nitride: A Review of Fabrication Methods and Applications, **Materials** 2021, 14, 19.*

Berg modellezés



Y_c

Ar ion porlasztási tényezője
kompozit felületre

α

A reaktív gázmolekula és a
targetatom kölcsönhatási
valószínűsége

Y_m

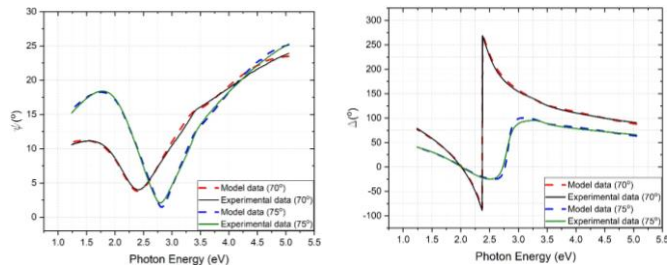
Ar ion porlasztási tényezője
fém felületre

Mintakészítés



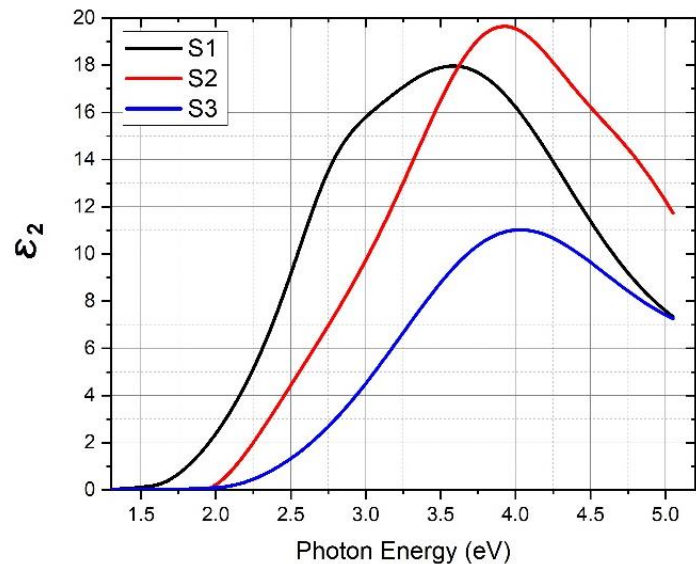
#	$P_{\text{össz}}$ (Pa)	H_2 flow (sccm)	t (s)	d (nm)	C_H (at%)
S1	2	0.4	420	48	10.8
S2	2	0.8	420	51	14.7
S3	2	1.5	420	56	17.6

Ellipszometriai modellezés (Tauc-Lorentz modell):

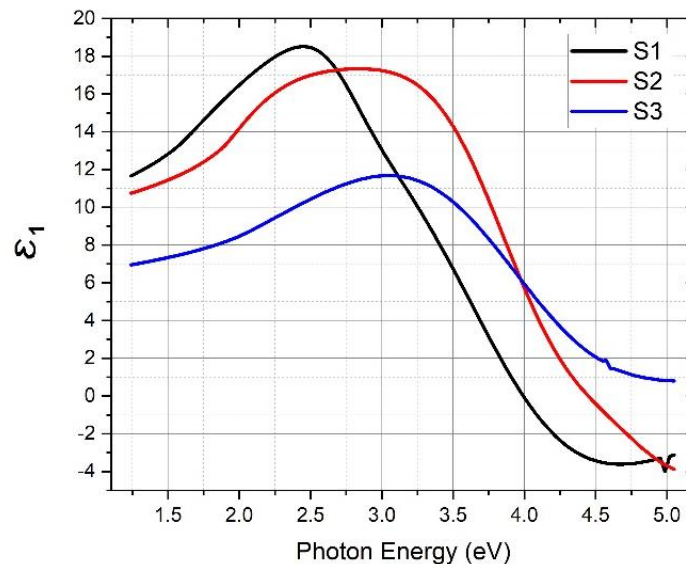


ERDA mérés

Komplex dielektromos állandó



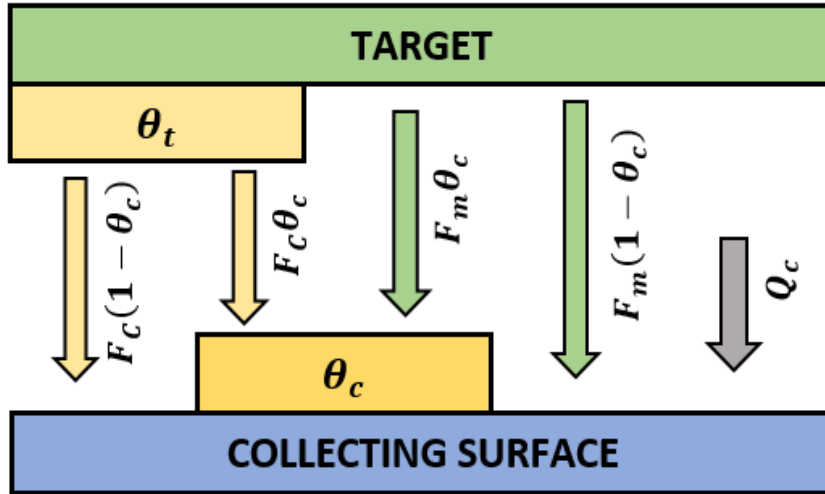
a)



b)

A vékonyrétegek komplex dielektromos állandójának
képzetes (a) és valós (b) része

Eredmények



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

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

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



- A hidrogén beépülésének folyamata RF porlasztás során leírható a Berg-moddal Si:H rétegek leválasztására vonatkozóan
- A modellezés a hidrogén atomok és a Si-céltárgy atomjai közötti reakció valószínűségére kis számot eredményeztek, mely utal a hidrogén rétegbe való korlátozott beépülésére
- A fentiek miatt a szilícium vegyületek, például SiO_2 vagy Si_3N_4 hidrogénezése RF porlasztással alacsony hidrogénmennyiség mellett célszerű





- 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, R. Lovics, M. Serényi, Zs. Zolnai, P. Petrik, Cs. Balázsi, K. Balázsi, Interpretation of hydrogen incorporation into radio frequency sputtered amorphous silicon based on Berg modelling, **Vacuum**, 2022, 202, 111164. (folyóiratcikk, **IF = 3.627**)
- 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, 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)
- N. Hegedüs, Cs. Balázsi, K. Balázsi, Examination of the hydrogen formation in Radio Frequency sputtered hydrogenated SiNx thin films, **Pan American Ceramics Congress and Ferroelectrics Meeting of Americas, PACC-FMAs**, Panama, 2022. július 24-28., (absztrakt elfogadva szóbeli előadás)

Tervek a következőkre vonatkozóan



- Folyamatban lévő publikáció befejezése
- Disszertáció befejezés
- Fokozatszerzési eljárás elindítása



Köszönetnyilvánítás



- Dr. Balázsi 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!