

Óbudai Egyetem

Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

# Rádiófrekvenciás porlasztással előállított szilícium és szilíciumnitrid vékonyrétegek vizsgálata

*PhD értekezés tézisei*

**Hegedüs Nikolett**

Témavezetők:

**Dr. Balázs Csaba, DSc**

**Dr. Balázs Katalin, Phd**



Budapest, 2023

# 1. Bevezetés, tudományos előzmények

Vékonyrétegeknek azokat a hordozóra (pl.: üvegre vagy szilícium szeletre) leválasztott anyagokat nevezzük, melyek vastagsága néhány nm-től 500 nm-ig terjed. A vékonyréteg technológia mára életünk nélkülözhetetlen részévé vált, hiszen a modern vékonyrétegek a legkülönbözőbb területeken segítik mindennapjainkat a tükröződésálló szemüveglencsétől kezdve, a kopásálló mágneses adattároló eszközökön keresztül a hőszigetelő ablaküvegekig.

A szilíciumnitrid ( $\text{SiN}_x$ ) és hidrogénezett szilíciumnitrid ( $\text{SiN}_x\text{:H}$ ) vékonyrétegek napjainkban kiemelt tudományos érdeklődésnek örvendenek. Ennek oka az optikai és mechanikai tulajdonságaik széleskörű hangolhatósága, ezzel alkalmassá téve őket a legkülönbözőbb felhasználási területekre (pl. optoelektronikai eszközök, mikroelektromechanikai rendszerek, üvegbevonat). A rétegek legelterjedtebb előállítási módszere a kémiai gőzfázisú leválasztás (CVD) és annak különféle módosulatai. A CVD hátránya, hogy az előállított  $\text{SiN}_x$  rétegek mindig tartalmaznak kis mennyiségű hidrogént a prekursor gázok hidrogéntartalma miatt. A módszer másik hátránya, hogy a kamrában lévő hidrogén mennyisége közvetlenül nem, csak a prekursor gázok arányán keresztül szabályozható. A rádiófrekvenciás (RF) porlasztás a felsorolt hátrányok kiküszöbölésére alkalmas előállítási módszer. Előnye a hidrogénmentes  $\text{SiN}_x$  leválasztás lehetősége, a hidrogéntartalom szabályozhatósága, illetve a költséghatékonyság. Az RF porlasztás további erőssége, hogy nem igényli toxikus gázok (pl.: ammónia vagy szilán) használatát, és könnyen felskálázható ipari méretekre.

A hidrogénezett szilícium ( $\text{Si:H}$ ) vékonyrétegek esetében kísérleti tapasztalat, hogy a rétegekbe beépült hidrogén mennyisége a kamrába adagolt  $\text{H}_2$  áram helyett a plazmaárammal arányos. Ennek az összefüggésnek a háttere azonban még nem tisztázott. A kutatásaimban céлом volt a  $\text{Si:H}$  vékonyrétegek leválasztásának Berg-moddellel történő leírása, a modellben szereplő anyagállandók meghatározása.

Az  $\text{SiN}_x$  vékonyrétegek tulajdonságai tovább javíthatók, amennyiben a leválasztás során hidrogén helyett oxigént adagolunk a kamrába. Az oxigén hatására szilíciumoxinitrid ( $\text{SiO}_x\text{N}_y$ ) vékonyréteg alakul ki. Az  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  vékonyrétegek főbb tulajdonságai elemi összetételüktől, vagyis a Si mátrixba ágyazott oxigén és nitrogén atomok koncentrációjától függ. A rétegek elemi összetétele a leválasztási paraméterek függvénye, ezért a közöttük lévő kapcsolat megértése elengedhetetlen. A reaktív porlasztás esetében széleskörűen alkalmazott modell a Berg-modell, amely egy elterjedt

módszer a leválasztási technológia és annak kimenetelének modellezésére. Jelenlegi szakirodalmi ismereteink szerint a Berg-modell alkalmazhatóságának feltétele, hogy a céltárgyon csak egy vékony (a modell feltételezése szerint egy molekulasornyi) vegyülréteg alakul ki. Ennek következtében a Berg-moddell az  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  vékonyréteg porlasztása csupán egy szűk reaktív gázáram tartományban írható le. Kutatómunkámban a lehető legszélesebb elemi összetételt lefedő kombinatorikus  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  vékonyrétegek vizsgálatával, a leválasztásuk Berg-moddellal való leírásával foglalkoztam, és a feltárt összefüggésekből új tudományos eredményeket fogalmaztam meg.

## 2. Célkitűzések

A PhD munkám egyik célkitűzése az RF porlasztással előállított különböző szilíciumnitrid ( $\text{SiN}_x$  és  $\text{SiN}_x\text{:H}$ ) vékonyrétegek tulajdonságainak vizsgálata a porlasztási paraméterek függvényében. Kutatómunkám másik célkitűzése az  $\text{Si:H}$  és  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  vékonyrétegek épülésének Berg-modellezése.

A fentiek alapján a következő konkrét kutatásai célokat fogalmaztam meg:

- a leválasztott  $\text{SiN}_x$  és  $\text{SiN}_x\text{:H}$  rétegek szerkezetének, törésmutatójának, elnyelési együtthatójának és leválasztási sebességének jellemzése az alkalmazott  $\text{H}_2$  áram függvényében,
- az  $\text{SiN}_x\text{:H}$  rétegek hidrogéntartalmának és kötési konfigurációjának vizsgálata, különös tekintettel a hidrogénkötésekre és a hidrogénatomok rezgési módusaira,
- a leválasztott  $\text{SiN}_x\text{:H}$  rétegek viselkedésének vizsgálata a hőkezelés hatására,
- a reaktív porlasztást leíró Berg-modell kidolgozása a  $\text{Si:H}$  rétegekbe beépült hidrogén leírásához, valamint a különböző sztöchiometriájú  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  vékonyrétegek rétegépülésének értelmezéséhez.

### 3. Alkalmazott módszerek

RF porlasztással Si céltárgy, valamint nitrogén- és hidrogéngáz segítségével  $\text{SiN}_x$  és  $\text{SiN}_x\text{:H}$  vékonyrétegeket állítottam elő. A szisztematikus kísérletsorozatban a hidrogéngáz nyomását 0 mbar és  $7.9 \cdot 10^{-4}$  mbar között változtattam, a többi leválasztási paramétert pedig állandó értéken tartottam. A rétegek szerkezetét és vastagságát transzmissziós elektronmikroszkópia segítségével vizsgáltam. A kapott eredmények alapján meghatároztam és értelmeztem a rétegek leválasztási sebességének alakulását az alkalmazott hidrogénáram függvényében. A rétegek optikai tulajdonságait spektroszkópiai ellipszometria segítségével vizsgáltam. Az  $\text{SiN}_x$  és  $\text{SiN}_x\text{:H}$  vékonyrétegek kötési konfigurációját, különös tekintettel az Si-H és N-H kötésekhez tartozó rezgési módusokra Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiával vizsgáltam. A rétegek teljes hidrogéntartalmáról, valamint annak hidrogénáramtól való függéséről a Rutherford visszaszórásos spektrometria és rugalmasan aktivált atommagok detektálásának módszerével tájékozódtam. Az  $\text{SiN}_x\text{:H}$  rétegeket 320 K és 330 K között négy különböző hőmérsékleten hőkezelttem. A rétegek felületén hőkezelés előtt, illetve után pásztázó elektronmikroszkópia segítségével morfológiai vizsgálatokat végeztem. A felület megváltozásának hátterében álló reakció aktivációs energiáját az Arrhenius-módszerrel határoztam meg.

RF porlasztással Si céltárgyból, Ar és  $\text{H}_2$  atmoszférával Si:H vékonyrétegeket választottunk le a hidrogén parciális nyomását  $1.6 \cdot 10^{-5}$  és  $6 \cdot 10^{-5}$  mbar között változtatva. A kamrába vezetett  $\text{H}_2$  mennyiségén kívül a leválasztás minden egyéb paramétere valamennyi minta esetén megegyezett. A hidrogén Si:H vékonyrétegekbe való beépülését a Berg-modell segítségével értelmeztem. A különböző hidrogénáramok melletti leválasztások kísérleti adataiból és a Berg-modell egyenleteiből meghatároztam a Si:H rétegek porlasztását jellemző anyagi állandókat.

Négy mintából álló kombinatorikus  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  vékonyréteg sorozatot választottunk le 13.56 MHz frekvenciájú RF porlasztás segítségével, 1.5, 1.62, 1.8 és 1.95 kV gyorsítófeszültséget alkalmazva. Céltárgyként Si-t, míg porlasztó és reaktív gázként Ar-t,  $\text{N}_2$ -t és  $\text{O}_2$ -t használtunk. A porlasztás kombinatorikus jellegét a lemezen lévő 1.5 mm szélességű rés léptető motorral történő mozgatásával értük el, miközben a leválasztókamrába áramoltatott  $\text{O}_2$  mennyiségét folyamatosan változtattuk. A vékonyrétegek leválasztását a Berg-moddellel írtam le, két megközelítést alkalmazva. Először a kombinatorikus minták első mérési pontjainak adatai és a hozzájuk tartozó hőmérséklet

és parciális nyomás értékek segítségével a Berg-modell alapján illesztéssel meghatároztam az  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  vékonyréteg épülést jellemző anyagi állandókat. Ezután, tekintve, hogy a leválasztási hőmérséklet és az  $\text{O}_2$  parciális nyomás változása a porlasztás során nem ismert, e két paraméter értékét a minták valamennyi mérési pontjára meghatároztam az anyagi állandók eredményét felhasználva.

## 4. Tézisek

### 1. Tézis

Igazoltam, hogy nitrogén- és hidrogéngáz keverékéből rádiófrekvenciás (RF) porlasztás alkalmazásával szilícium céltárgyból szilíciumnitrid és hidrogénezett szilíciumnitrid vékonyrétegek állíthatók elő 2 kV porlasztási feszültség és  $2,5 \cdot 10^{-2}$  mbar teljes kamranyomás mellett. Megmutattam, hogy a hidrogéngáz parciális nyomásának  $0,5 \cdot 10^{-4}$  mbar és  $7,9 \cdot 10^{-4}$  mbar közötti változtatásával a vékonyrétegek hidrogéntartalma 6,8 és 12,4 at% között szabályozható. [S1] [S2] [S3]

### 2. Tézis

Bizonyítottam, hogy RF porlasztással leválasztott  $\text{SiN}_x\text{:H}$  vékonyrétegek spektroszkópiai ellipszometriai viselkedése leírható sztöchiometrikus szilíciumnitridből, kristályos szilíciumból és üregből álló Bruggemann-típusú effektív közeg közelítés modellel. [S3]

2a) Megmutattam, hogy a 2 kV porlasztási feszültség,  $2,5 \cdot 10^{-2}$  mbar teljes kamranyomás leválasztási paraméterek, illetve  $0,5 \cdot 10^{-4}$  mbar és  $7,9 \cdot 10^{-4}$  mbar közötti hidrogén parciális nyomás mellett direkt kapcsolat található a rétegbe épült hidrogén mennyisége és a réteg porozitása között. A vizsgált 6,8 és 12,4 at% között változó hidrogéntartalom mellett a rétegbe épült hidrogén mennyiségének függvényében a réteg porozitása nő, 9,4 és 15,4% között változó üregtartalmat eredményezve.

2b) Igazoltam, hogy a vizsgált 0 sccm-től 12 sccm-ig terjedő hidrogénáram tartományon a leválasztott vékonyréteg törésmutatója a szilícium napelem cellák szempontjából fontos 633 nm hullámhosszon 1,87 és 1,95 között, míg a bevonatos üvegtermékek optikai viselkedése szempontjából fontos 550 nm-en 1,88 és 1,96 között hangolható.

2c) Igazoltam, hogy a rétegek elnyelési együtthatója 550 nm-en  $1,74 \cdot 10^{-3}$  -ról  $2,18 \cdot 10^{-5}$  -re csökken a hidrogénáram növelése mellett, mely értékek teljesítik az iparban alkalmazott szilícium napelem cellák és bevonatos üvegtermékek optikai viselkedése szempontjából a legfeljebb 0,02 fényelnyelési együtthatót előíró kritériumot.

2d) Rámutattam, hogy a törésmutató és az elnyelési együttható növekvő hidrogén parciális nyomás mellett tapasztalt csökkenése a rétegek növekvő porozitásának és a sztöchiometriájukat jellemző Si/N atom arány csökkenésének együttes eredménye.

### 3. Tézis

Megvizsgáltam a leválasztott  $\text{SiN}_x$  és  $\text{SiN}_x\text{:H}$  vékonyrétegek kötési konfigurációját. Mérésekkel igazoltam, hogy a hidrogén nélkül porlasztott vékonyréteg a Si-N kötésekön kívüli egyéb kötések elhanyagolható mértékben tartalmaz (tipikusan  $<2\%$ ). Ugyanakkor a nitrogén/hidrogén atmoszférában porlasztott vékonyrétegekben a Si-N kötések száma hidrogénezés hatására csökken a kialakuló Si-H, illetve N-H kötések miatt. [S3]

3a) Rámutattam, hogy a hidrogénezett vékonyrétegekben az  $\text{NSi}_2\text{Si-H}$  monohidrid kötést reprezentáló rezgési mód kimutatható, ugyanakkor a rétegekben lévő Si-atomokhoz kötő hidrogénatomok döntő többségükben dihidrid ( $\text{N}_2\text{Si-H}_2$ ) formában vannak jelen.

3b) Megmutattam, hogy az N-H kötések esetében nagyobb a  $\text{Si}_2\text{N-H}$  monohidrid rezgési módusok aránya, mint az Si-H kötésekre vonatkozóan, azonban a nitrogénhez kötődő hidrogénatomok többsége  $(\text{Si}_2\text{N-H})_n$  polimer molekulák formájában van jelen a rétegben.

3c) Megvizsgáltam az  $\text{SiN}_x\text{:H}$  rétegek teljes hidrogéntartalmát, valamint a Lanford-Rand módszer alapján megbecsültem az  $\text{SiN}_x\text{:H}$  vékonyrétegbe épült hidrogén mennyiségét. A mérések és a számítások alapján megmutattam, hogy a leválasztott vékonyrétegekben lévő hidrogén jelentős része az üregekben molekuláris formában van jelen.

### 4. Tézis

Igazoltam a más vékonyrétegeknél ismert, hőkezelés hatására történő felületi hólyagképződés kialakulását  $\text{SiN}_x\text{:H}$  rétegek esetén 0,9 – 6 sccm hidrogénáram és 320-330 K hőkezelési hőmérséklet mellett. Ennél magasabb hidrogénáram (12 sccm) átlagosan 60-70 nm nagyságú hólyagok képződését okozta már a vékonyréteg leválasztása során. [S2] [S3]

4a) Az Arrhenius-módszer segítségével megmutattam, hogy a rétegek felületi hólyagképződés jelenségért felelős reakciók aktivációs energiája jellemzően  $2,19 \pm 0,17$  eV, mely kisebb, mint az N-H (3,25 eV) és az Si-H (3,09 eV) kötési energiák.



4b) Igazoltam, hogy a jelenség háttérében a hidrogén kötési konfiguráció megváltozásának összetett folyamata áll. Mérések alapján leírtam a hólyagképződés mechanizmusát; a rétegekben lévő monohidrid kötések egy része az üregek felülete mentén átalakul dihidrid-kötésekké, majd az üregek felületén polimer molekulák képződnek, melynek hatására a vékonyrétegekben lévő üregek mérete megnő. Az üregek belső felületén felgyűlő dihidrid kötésekől és polimer molekulákból ezután a hidrogénatomok az üregek belsejébe kerülnek, ahol molekuláris hidrogén képződik. A hőkezelés hatására a molekuláris formában lévő hidrogén tágulni kezd, majd egy kritikus ponton elhagyja a vékonyréteget, ezzel eredményezve a felület hólyagosodását.

## 5. Tézis

Elsőként írtam le az argon- és hidrogéngáz keverékéből és Si céltárgyból (99,99 % tisztaság) rádiófrekvenciás porlasztással előállított Si:H vékonyrétegek leválasztását és a hidrogén vékonyrétegbe való beépülését a Berg-modell segítségével. [S4]

5a) Vizsgálatokkal igazoltam, hogy 15 mA plazma áram és  $2 \cdot 10^{-2}$  mbar teljes kamranyomás mellett, a három különböző (0,4 sccm, 0,8 sccm és 1,5 sccm) hidrogénárammal porlasztott Si:H vékonyrétegek esetében a Berg-modell feltételezése teljesül; a céltárgy és a gyűjtőfelület vegyület részén jelenlévő Si atomok legfeljebb egy H atommal létesítenek kötést.

5b) A Berg-modell egyensúlyi állapotokat leíró egyenletei alapján megmutattam, hogy argon porlasztó gáz és tetszőleges anyagú céltárgy, valamint tetszőleges reaktív gáz használata esetén legalább három, különböző reaktív gázáramokkal porlasztott vékonyréteg vastagsága, elemi összetétele és a leválasztási paraméterek segítségével meghatározható az  $Y_m$  elemi leválasztási hozam, a céltárgy felületén kialakult vegyületréteg  $Y_c$  leválasztási hozama, valamint a reaktív gázrészecskék és a céltárgy részecskéi közötti reakció valószínűségét jellemző  $\alpha$  együttható értéke.

5c) A Berg-modellel számított eredményeim alapján Si:H vékonyrétegek reaktív porlasztására vonatkozóan meghatároztam a rétegépülést jellemző anyagi állandókat, köztük a szakirodalomból még nem ismert,  $Y_c$  és  $\alpha$  értékeit. Megmutattam, hogy az eredményül kapott  $Y_m = 0,98$  érték jó egyezést mutat a szakirodalomból ismert adattal ( $\sim 0,99$ ). Rámutattam, hogy az  $Y_c$ -re kapott 0,51 érték összemérhető a szokásos reaktív gázok (pl.: oxigén, nitrogén)

esetében jellemző, általában 0,5–0,7 közötti szakirodalmi adatokkal. Az  $\alpha$  paraméterre kapott 0,003 érték jelentősen alacsonyabb, mint az oxigénre, illetve nitrogénre vonatkozó, jellemzően 0,2-0,6 reakcióvalószínűségi érték, mely jó egyezést mutat azon ténnyel, miszerint minél kisebb a kérdéses részecske rendszáma, annál alacsonyabb a részecske és a céltárgy atomjai között fellépő reakció valószínűsége. Az alacsony  $\alpha$  paraméter magyarázatként szolgál a hidrogén szilícium vékonyrétegbe való korlátozott beépülésére.

## 6. Tézis

Módosítottam, és elsőként alkalmaztam a Berg-modellt olyan reaktív porlasztással előállított kombinatorikus  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  rétegek épülésének modellezésére, melyek leválasztása során a nitrogén reaktív gázáram jelentősen nagyobb a céltárgy felületét borító vékony vegyülete réteg kialakulásához szükséges mennyiségnél. Si céltárgy (99,99 % tisztaság), argon porlasztó gáz, és nitrogén, valamint oxigén reaktív gázok segítségével előállított kombinatorikus  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  rétegek vizsgálatával megmutattam, hogy az ilyen típusú rétegek leválasztása leírható a Berg-modell összefüggéseivel, amennyiben a modellezés során a leválasztást  $\text{SiN}_x$  céltárgyból, argon porlasztó gáz és oxigén reaktív gáz segítségével történő reaktív porlasztásnak tekintjük. [S5]

## 5. Saját publikációk listája

### Tézispontokhoz kapcsolódó publikációk:

[S1] **N. Hegedüs**, M. Furkó, K. Balázsi, Cs. Balázsi, *Környezetbarát energiatermelés, energiahatékonyság és közlekedés szempontjából kritikus üvegek, kerámiák és fémek*, **Anyagok Világa**, 2021, 14, 1. (folyóiratcikk)

[S2] **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**)

[S3] **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**)

[S4] **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**)

[S5] **N. Hegedüs**, Cs. Balázsi, T. Kolonits, D. Olasz, Gy. Sáfrán, M. Serényi, K. Balázsi, *Investigation of the RF Sputtering Process and the Properties of Deposited Silicon Oxynitride Layers under Varying Reactive Gas Conditions*, **Materials**, 2022, 15, 18. (folyóiratcikk, **IF = 3.601**)

### További publikációk:

[S6] Gy. Viktor, **N. Hegedüs**, Guardian Clarity TM: *Anti reflective physical vapor deposition coating on large area glass surface*, **MultiScience – XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference**, Miskolc, 2019, 2, 6. oldal

[S7] J.-P. Mueller, R. Vernhes, I. Szirbik, **N. Hegedus**, A. Chu, J. Butz, *Heat treatable coated article having antireflective coating(s) on substrate*, **Luxembourg Patent**, US 17/674,082, 2022 (szabadalom)

## Konferenciárészvételek (előadások, posztterek):

[T1] **N. Hegedüs**, Cs. Balázs, K. Balázs, *Szilíciumnitrid vékonyrétegek fejlesztése*, 2. **Finomkerámia Konferencia**, 2019. március 19, Budapest, Magyarország (szóbeli előadás)

[T2] **N. Hegedüs**, R. Lovics, Cs. Balázs, K. Balázs, *Hydrogen effect on the optical and mechanical properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> thin films*, **XVI. ECerS Conference**, 2019. június 16-20, Torinó, Olaszország, (poszter prezentáció)

[T3] **N. Hegedüs**, R. Lovics, M. Serényi, Zs. Fogarassy, P. Petrik, J. Mihály, Zs. Zolnai, Cs. Balázs, K. Balázs, *Hydrogen formation in Radio Frequency (RF) hydrogenated silicon nitride thin films*, **International Conference on Thin Films**, 2020. november 22-26, Budapest, Magyarország (szóbeli előadás)

[T4] **N. Hegedüs**, R. Lovics, M. Serényi, P. Petrik, Cs. Balázs, K. Balázs, *Interpretation of hydrogen incorporation into amorphous silicon by reactive sputtering*, **International Conference on Thin Films**, 2020. november 22-26, Budapest, Magyarország, (poszter prezentáció)

[T5] **N. Hegedüs**, Cs. Balázs, K. Balázs, *Hydrogen effect on the optical and mechanical properties of SiN thin films on Si wafers and glass*, **45th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites**, 2021. február 8-12, online konferencia (poszter prezentáció)

[T6] **N. Hegedüs**, Cs. Balázs, K. Balázs, *Examination of the Hydrogen Incorporation into Radio Frequency Sputtered Hydrogenated SiN<sub>x</sub> Thin Films*, **14<sup>th</sup> International Conference on Solid State Chemistry**, 2021. június 13-17, online konferencia (szóbeli előadás)

[T7] **N. Hegedüs**, Cs. Balázs, K. Balázs, *Examination of the Hydrogen Incorporation into Radio Frequency Sputtered Hydrogenated SiN<sub>x</sub> Thin Films*, **European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes**, 2021. szeptember 12-16, online konferencia (szóbeli előadás)

[T8] **N. Hegedüs**, Cs. Balázs, K. Balázs, *Silicon nitride and hydrogenated silicon nitride: Applications and fabrication methods*, **European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes**, 2021. szeptember 12-16, online konferencia (poszter prezentáció)

[T9] **N. Hegedüs**, Cs. Balázs, K. Balázs, *Examination of the hydrogen formation in Radio Frequency sputtered hydrogenated SiN<sub>x</sub> thin films*, **14th ECerS Conference for Young Scientists**

**in Ceramics, 2021 ECerS Students Speech Contest, final**, 2021. október 21-22., Novi Sad -> Magyarország képviselte a hallgatói előadói verseny döntőjében (szóbeli előadás)

[T10] **N. Hegedüs**, Cs. Balázs, K. Balázs, *Examination of the hydrogen formation in Radio Frequency sputtered hydrogenated SiN<sub>x</sub> thin films*, **Pan American Ceramics Congress and Ferroelectrics Meeting of Americas**, Panama, 2022. július 24-28, online konferencia (szóbeli előadás)