

**FÜGGŐLEGESEN RENDEZETT SZÉN  
NANOCSSÖVEK CCVD ELŐÁLLÍTÁSA SORÁN  
ALKALMAZOTT PARAMÉTEREK HATÁSA A  
SZERKEZETRE**

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**SZABÓ ANNA**

**Témavezetők**

Dr. Hernádi Klára, egyetemi tanár

Dr. Pap Zsolt, tudományos munkatárs



**Környezettudományi Doktori Iskola**

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

**Szeged**

**2021**

## 1. Bevezetés és célkitűzés

Az elmúlt 30 évben a kiemelkedő fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkező szén nanocsövek kutatása fontos szerepet kapott az anyagtudományban. Jó hővezető képesség, nagy szakítószilárdság és speciális elektromos tulajdonságok jellemzik ezeket az anyagokat, ezért számos területen alkalmazhatók, mint például különböző elektrokémiai felhasználásban, valamint kompozit anyagok készítésében. A szén nanocsövek vizsgálatának egyik ága a függőlegesen rendezett szén nanocsövek (Vertically Aligned Carbon Nanotube – VACNT), amelyeket az irodalomban gyakran szén nanocső erdőknek is neveznek, ezt a struktúrát először egy pekingi csoportnak sikerült előállítania 1996-ban. Azok a szén nanocső erdők, melyeket vezető szubsztrátokon is előállítanak, kiemelkedő elektronikus tulajdonságokkal rendelkeznek, így lehetőség van alkalmazni őket különböző elektronikai eszközökben.

Doktori munkám során célul tűztem ki, hogy különböző vezető szubsztrátokon (alumínium, titán) vizsgáljam a szén nanocső erdők növekedését. Ennek érdekében, a katalizátor tinta koncentrációjának és arányának hatását kívántam vizsgálni a két különböző szubsztráton. Tanulmányozni kívántam még, hogy a rétegépítés milyen hatással van a szén nanocső erdők növekedésére, ezért egy egyszerű rétegépítési módszert (dip-coating) és egy összetettebb technikát (PLD (Pulsed Laser Deposition - Impulzuszéres leválasztási technika)) kívántam alkalmazni. Céлом volt még, hogy a CCVD (Catalytic Chemical Vapour Deposition, katalitikus kémiai gőzfázisú leválasztás) szintézis során alkalmazott paraméterek hatását is vizsgáljam (reakcióidő, vízgőz, különböző szénforrások), hogy miként befolyásolják a szén nanocső erdők magasságát és orientáltságát. Ezen felül célul tűztem ki, hogy nitrogén tartalmú szerves vegyületek jelenlétében állítsak elő szén nanocső erdőket és vizsgáljam a nitrogén beépülést a szén nanocsövek szerkezetébe és információt nyerjek a szerkezetük megváltozásáról. Ennek érdekében két különböző módszert kívántam

alkalmazni, melyek a buborékoltatásos, illetve injektálásos technikák, valamint vizsgálni kívántam a hidrogén, a különböző nitrogén tartalmú vegyületek, és a rétegépítés hatását a nitrogén beépülésére a szén nanocsövekbe. Végül pedig szerettem volna tanulmányozni, hogy lehetséges-e kompozit kialakítsa a fém-oxidok és szén nanocső erdők között, ezért vizsgáltam ennek lehetőségét ALD (Atomic Layer Deposition - Atomi rétegleválasztás) módszer alkalmazásával, TiO<sub>2</sub> és ZnO kompozitba vitelén keresztül szén nanocső erdőkkel.

## 2. Kísérleti módszerek és eljárások

Kísérleteim során szén nanocső erdőket állítottam elő CCVD módszerrel. A szubsztrátokra a rétegépítés két módszerrel történt, az első esetben a dip-coatinggal, ahol a katalizátor oldat vas(III)-nitrátot és kobalt(II)-nitrátot tartalmazott. Míg a PLD során a pasztillák Fe- és Co-oxidból készültek. A rétegépítés után történt a szintézis, ahol is alumínium szubsztrát esetében a szintézis hőmérséklet 640°C volt, míg a titán szubsztrátnál 700°C-ot alkalmaztam. A reakcióidő a két szubsztrát alkalmazása során eltért, az alumínium szubsztráton 15 perc, míg a titán szubsztráton 30 perc volt. Abban az esetekben, amikor nitrogénnel dopoltam a szén nanocső erdőket, különböző nitrogén tartalmú vegyületeket alkalmaztam, melyek az alábbiak voltak: NH<sub>3</sub>, acetonitril (ACN), tripropilamin (TPA). Valamint a különböző szénforrások az alábbiak voltak: acetone, etanol, pálinka, ciklohexán, dietil-éter, valamint etil-acetát.

A szén nanocső erdők magasságának és szerkezetének meghatározására pásztázó elektronmikroszkópot (SEM: Hitachi S-4700 Type II FE-SEM) alkalmaztunk.

A szén nanocsövek átmérőjének és felszámának meghatározására transzmissziós elektronmikroszkópot (TEM: FEI Tecnai17G2 20 X-TWIN) alkalmaztunk.

A kompozitokat, valamint a nitrogén beépülést energiadiszipatív spektroszkópiával (EDX: HITACHI S-4700 Röntec QX2 ) vizsgáltuk.

A szén nanocső erdők grafitosságának és az adott szén struktúra szabályosságának meghatározására Raman spektroszkópot (Thermo Scientific DXR) alkalmaztunk.

A szén nanocső erdők és a szubsztrát közötti elektromos kapcsolatot ciklikus voltammetriával határoztuk meg.

A szén nanocsővekbe beépített nitrogén vizsgálatára fotoelektron spektroszkópiát (XPS: Specs Phoibos 150 MCD) alkalmaztunk.

### **3. Új tudományos eredmények**

**T1. A rétegépítés során alkalmazott katalizátor tinta koncentrációja és a fém arány befolyásolja a szén nanocső erdők magasságát és szerkezetét a szintézisek során alumínium és titán szubsztrát esetében.**

**T1.1.** Különböző katalizátor koncentrációkat és arányokat alkalmaztunk a vékonyréteg kialakítása során, mellyel bizonyítottuk, hogy az alumínium és titán szubsztrát esetében a legalkalmasabb katalizátor koncentráció a 0,11 M, míg a legideálisabb katalizátor arány a Fe:Co = 2:3, mely eltér a szakirodalomban leggyakrabban alkalmazott Fe:Co = 1:1 aránytól. Ezen paraméterek alkalmazásával érhető el a legmagasabb szén nanocső erdők az alumínium és a titán szubsztráton.

**T1.2.** Alumínium szubsztráton a különböző koncentrációkkal előállított mintákon ciklikus voltammetriás méréseket végeztünk, amellyel bizonyítottuk, hogy a szubsztrát és a szén nanocsővek között elektromos kapcsolat van, valamint a legnagyobb töltéskapacitást a 0,11 M koncentráció alkalmazása mellett volt megfigyelhető, így igazoltuk, hogy ezen koncentráció esetében érhető el az elektrokémiaileg legnagyobb felület.

**T1.3.** A két különböző szubsztráton előállított szén nanocső erdők esetében a vizsgált paraméterek (katalizátor tinta koncentrációja és a fémek aránya) összehasonlításával bizonyítottuk, hogy az alumínium szubsztrát alkalmazása során magasabb szén nanocső erdőket lehetséges elérni, mint a titán szubsztráttal, így egy olcsóbb szubsztrát alkalmazásával lehetőség nyílik a szén nanocső erdők költséghatékony előállítására.

**T2. A rétegépítés során alkalmazott módszerek (dip-coating, PLD) befolyásolják a szén nanocső erdők növekedését a szintézisek során.**

**2.1.** Bizonyítottam, hogy a dip-coating rétegépítési módszer alkalmazása során nem szükséges a szubsztrát hőkezelése, melynek hatására hordozó oxid réteg alakulhat ki a szubsztrát felületén, így lehetőség van a szintézis egyszerűsítésére, valamint a szén nanocső erdők direkt előállítására a szubsztráton, mely előnyös lehet az elektrokémiai felhasználások során, mivel a szigetelő oxid réteg hiánya elősegíti a szén nanocsővek közvetlen kapcsolatát a szubsztráttal.

**2.2.** Megállapítottam, hogy a PLD rétegépítési módszer alkalmazása során az alumínium-oxid jelenléte nem feltétlenül szükséges a titán szubsztráton a szén nanocső erdők kialakításához, ellentétben azzal, hogy az irodalomban gyakran alkalmazzák ezen hordozó réteget, ami hátrányosan befolyásolhatja az elektromos kapcsolat kialakulását a szén nanocsővek és a szubsztrát között.

**T3. A CCVD szintézis során alkalmazott paraméterek (reakcióidő, vízgőz áramlási sebessége, különböző szénforrások) befolyásolják a szén nanocső erdők növekedését az előállításuk során.**

**3.1.** Megállapítottam, hogy alumínium szubsztráton a legideálisabb vízgőzzel telített nitrogén áramlási sebesség  $30 \text{ cm}^3/\text{perc}$ , mellyel a legmagasabb szén nanocső erdő figyelhető meg a SEM felvételek alapján, valamint titán szubsztráton nem szükséges vízgőz jelenléte a rendszerben a szén nanocső erdő struktúra kialakulása során, így egyszerűsíthető a szintézis.

**3.2.** A szintézisek alatt az alumínium szubsztrát esetében 5-20 perc intervallumon és a titán szubsztrát alkalmazása során pedig 10-50 perc tartományban vizsgáltam a szén nanocső erdők előállítását. Amelyből bizonyítottam, hogy az alumínium szubsztráton 15 perc, míg a titán szubsztráton a 30 perc az ideális reakcióidő, valamint azt, hogy az előbbi esetében magasabb szén nanocső erdők keletkeznek a szubsztrát felületén, illetve a reakcióidő csökkentésével lehetőség van csökkenteni a szén nanocső erdők magasságát (alumínium esetében  $6,7 \text{ }\mu\text{m}$ , míg titán szubsztrát alkalmazása során  $3,0 \text{ }\mu\text{m}$ , mely számottevően alacsonynak számít az irodalmi adatok alapján).

**3.3.** Megállapítottam, hogy  $700^\circ\text{C}$ -on, vízgőz hiányában és 30 perc reakció idő alkalmazása mellett az etilén szénforrás távollétében az általam alkalmazott egyéb szénforrások (aceton, etanol, pálinka, ciklohexán, dietil-éter és etil-acetát) felhasználásakor csak a ciklohexán jelenlétében figyelhető meg szén nanocső erdő a titán szubsztrát felületén, míg a többi szénforrás esetében csak rendezetlen szén nanocsövek alakultak ki a titán szubsztráton.

**T4. A nitrogén beépülés vizsgálata során alkalmazott paraméterek (különböző nitrogén tartalmú vegyületek, a rétegépítési módszerek alkalmazása, hidrogén hatása, a nitrogén betáplálásának módszere) befolyásolják a szén nanocső erdők növekedését a szintézisek során, valamint a nitrogén beépülését a szén nanocsövekbe.**

**4.1.** Megállapítottam, hogy a különböző nitrogén tartalmú vegyületek acetonos oldatának ( $\text{NH}_3$ , ACN, TPA) alkalmazása során csak a TPA-aceton jelenlétében alakul ki a szubsztrát felületén a szén nanocső erdőre jellemző struktúra, míg a többi nitrogén tartalmú vegyület esetében csak szén nanocsövek figyelhetők meg a SEM felvételeken.

**4.2.** Bebizonyítottam, hogy a rétegépítési módszer hatással van a nitrogén beépülésre a szén nanocsövekbe: a PLD módszer alkalmazása során EDX mérések alapján feltételezhető nitrogén beépülés a szén nanocsövekbe, aminek oka valószínűsíthetően a szubsztrát felületén jelenlévő alumínium-oxid hordozó réteg jelenléte.

**4.3.** Bebizonyítottam, hogy a hidrogén jelenléte elégséges csak a redukációs fázisban, ebben az esetben figyelhető meg a legmagasabb szén nanocső erdő a SEM felvételeken. Ezenfelül ez a rövid hidrogén jelenlét feltételezhetően a legideálisabb a nitrogén beépülésre a szén nanocsövekbe, az EDX mérések alapján.

**4.4.** Megállapítottam, hogy a nitrogén tartalmú vegyületek bejuttatására alkalmazott módszerek (buborékoltatás, injektálás) közül az injektálás módszere eredményesebb a nitrogén beépítésére a szén nanocsövekbe. EDX és XPS mérések alapján igazoltuk a nitrogén beépülést a szén nanocsövekbe, valamint TEM felvételek segítségével a bambusz szerkezetet, mely a nitrogénnel dópolt szén nanocsövekre jellemző struktúra. Ezenfelül bizonyítottuk, hogy a fenti paraméterek mellett kiemelkedően alacsony, mindössze  $1,6 \mu\text{m}$  magasságú szén nanocső erdők kialakulása lehetséges.

**T5. A szén nanocső erdők fém-oxidokkal való kompozit kialakítása során alkalmazott ALD módszer lehetővé teszi, hogy a szén nanocső erdőket felépítő szén nanocsöveket is dekoráljuk a fém-oxidokkal.**

**5.1.** Bebizonyítottam, hogy ALD módszerrel lehetséges a szén nanocső erdőket ZnO-dal és TiO<sub>2</sub>-dal dekorálni. SEM és TEM felvételek és Raman spektroszkópiás mérések segítségével igazoltuk, hogy a kompozit képződés nemcsak a szén nanocső erdők külső felületén játszódik le, hanem a szén nanocső erdőket felépítő (belső) szén nanocsöveken is megjelennek a fém-oxidok.

#### **4. Az értekezés alapjául szolgáló közlemények**

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10064918

##### **Az értekezés témájához tartozó közlemények:**

[1] **A. Szabo**, E. Kecsenovity, Z. Pápa, T. Gyulavari, K. Nemeth, E. Horvath, K. Hernadi: *Influence of synthesis parameters on CCVD growth of vertically aligned carbon nanotubes over aluminum substrate*  
Scientific Reports, 7 (2017) 9557.

**IF = 4,122**

**Hivatkozások: 27 (21)**

[2] **A. Szabó**, P. Andricevic, Z. Pápa, T. Gyulavári, K. Németh, E. Horváth, L. Forró, K. Hernadi: *Growth of CNT Forests on Titanium Based Layers, Detailed Study of Catalysts*  
Frontiers in Chemistry, 6 (2018) 593.

**IF = 3,782**

**Hivatkozások: 4 (0)**

[3] **A. Szabó**, L.P. Bakos, D. Karajz, T. Gyulavári, Z.R. Tóth, Z. Pap, I.M. Szilágyi, T. Igricz, B. Parditka, Z. Erdélyi, K. Hernadi: *Decoration of Vertically Aligned Carbon Nanotubes with Semiconductor Nanoparticles Using Atomic Layer Deposition*  
Materials, 12 (2019) 1095.

**IF = 3,057**

**Hivatkozások: 5 (2)**

[4] **A. Szabó**, T. Gyulavári, Zs.-R. Tóth, Zs. Pápa, J. Budai, K. Hernadi: *The effect of various substrates and catalyst layer deposition on the incorporation of nitrogen into carbon nanotube forest structures*,  
Thin Solid Films, 709 (2020) 138194.

**IF=2,183**

**Hivatkozások: 5 (5)**



[5] **A. Szabó**, L. Nánai, Zs. R. Tóth, K. Hernadi: *Simplification of the CCVD method used in the growth of carbon nanotube forests on titanium substrate*, Solid State Sciences, 117 (2021) 106648.

**IF=3,059**

**Hivatkozások: 1 (1)**

[6] **A. Szabó**, P. G. Szekeres, T. Gyulavári, Zs. R. Tóth, Zs. Pápa, Á. Szamosvölgyi, A. Sági, Z. Kónya, K. Hernadi: *Systematic investigation of experimental parameters on nitrogen incorporation into carbon nanotube forests*  
**major revision, Materials Research Bulletin**

**IF = 4,641**

**$\Sigma$ IF = 16,203**

**$\Sigma$ Idézetek 42 = (Független: 29)**

**Az értekezés témájához szorosan nem kapcsolódó, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények:**

[7] T. Szabó, R. Janovics, M. Túri, I. Futó, I. Papp, M. Braun, L. Rinyu, K. Németh, G. P. Szekeres, A. Kinka, **A. Szabó**, K. Hernádi, K. Hajdu, L. Nagy: *Isotope analytical characterization of carbon based nanocomposites*, Radiocarbon, 60(4) (2018) 1101-1114

**IF: 1,531**

**Hivatkozások: 2 (2)**

[8] N. Justh, B. Berke, K. László, L.P. Bakos, **A. Szabó**, K. Hernádi, and I.M. Szilágyi: *Preparation of Graphene Oxide/Semiconductor Oxide Composites by Using Atomic Layer Deposition*, Applied Surface Science, 453 (2018) 245-251

**IF: 5,155**

**Hivatkozások: 19 (15)**

[9] Zs. Pápa, E. Kecsenovity, J. Csontos, **A. Szabó**, Zs. Toth, J. Budai: *Ellipsometric Analysis of Aligned Carbon Nanotubes for Designing Catalytic Support Systems*,

Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 19 (2019) 395-399

**IF: 1,354**

**Hivatkozások: 1 (1)**

[10] T. Nagyné-Kovács, G. Shahnazarova, I. E. Lukács, **A. Szabó**, K. Hernádi, T. Igricz, K. László, I. M. Szilágyi, Gy. Pokol: *Effect of pH in the hydrothermal preparation of Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> nanostructures*,

Materials 12 (2019) 1728

**IF: 3,057**

**Hivatkozások: 8 (8)**

[11] L. Nánai, **A. Szabó**, T. Gyulavári, J. Budai, K. Hernadi: *Manual spray coating: A cheap and effective method to build catalyst layers for carbon nanotube forest growth*

Thin Solid Films, (2019) 137491.

**IF = 2,03**

**Hivatkozások: 2 (0)**

[12] T. Nagyné-Kovács, I. Endre Lukács, **A. Szabó**, K. Hernadi, T. Igricz, K. László, I. M. Szilágyi, Gy. Pokol: *Effect of pH in the hydrothermal preparation of monoclinic tungsten oxide*,

Journal of Solid State Chemistry, 281 (2020), 121044

**IF = 2,726**

**Hivatkozások: 7 (7)**

[13] L. P. Bakos, L. Sárvári, K. László, J. Mizsei, Z. Kónya, Gy. Halasi, K. Hernádi, **A. Szabó**, D. Berkesi, I. Bakos, I. M. Szilágyi: *Electric and photocatalytic properties of graphene oxide depending on the degree of its reduction*,

Nanomaterials 10 (11), (2020), 2313.

**IF: 5,076**

**Hivatkozások: 1 (1)**

[14] K. Ungvári, S. Mészáros, **A. Szabó**, K. Hernádi, Zs. Tóth: *In vitro biocompatibility test of multiwall carbon nanotubes with human osteoblast cells: potential application for bone implant interface reinforcement*,

Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 21 (2021) 2394-2403

**IF: 1,354**

**Hivatkozások: 0 (0)**

[15] A. Szabó & G. Kovács, A. Kovács, K. Hernadi: *Different pathways for synthesis of WO<sub>3</sub> and vertically aligned carbon nanotube-based nanostructures*,

Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 21 (2021) 2388-2393

**IF: 1,354**

**Hivatkozások: 0 (0)**

[16] T. Gyulavári, K. Kovács, K. Magyar, K. Baán, A. Szabó, G. Veréb, Zs. Pap, K. Hernadi: *Unexpected Link between the Template Purification Solvent and the Structure of Titanium Dioxide Hollow Spheres*,

Catalysts 11 (2021) 112

**IF: 4,146**

**Hivatkozások: 0 (0)**

[17] O. Kéri, E. Kocsis, D. A. Karajz, Zs. K. Nagy, B. Párditka, Z. Erdélyi, A. Szabó, K. Hernádi, I. M. Szilágyi: *Photocatalytic Crystalline and Amorphous TiO<sub>2</sub> Nanotubes Prepared by Electrospinning and Atomic Layer Deposition*,

Molecules 26, (2021), 5917.

**IF: 4,411**

**Hivatkozások: 0 (0)**

$$\sum \text{IF} = 32,194$$

$$\sum \sum \text{összIF} = 48,397$$

$$\sum \text{Idézettség} = 82 \text{ (független 63)}$$

### Konferencia kiadvány

(1) Anna Szabó, Zsuzsanna Pápa, Tamás Gyulavári, Krisztián Németh, Diána Nagy, Klára Hernádi: *Growth of CNT Forests on Titanium Substrates: Effect of Catalyst Ration and Hydrogen on the Incorporation of Nitrogen into Carbon Nanotube Structure*,

25<sup>th</sup> International Symposium on Analytical and Environmental Problems, ISBN 978-963-306-702-4 (403 – 407)

(2) Anna Szabó, Lilla Nánai, Zsejke-Réka Tóth, Klára Hernádi: *Production of CNT forests by a simple layer building method on a conductive substrate*,

26<sup>th</sup> International Symposium on Analytical and Environmental Problems, ISBN 978-963-306-771-0 (333 – 334)

**Nemzetközi és hazai konferencia-részvételek**

(1) **Szabó Anna**: Szén nanocső erdők CVD növesztése alumínium szubsztráton

SZTE-TTIK Tudományos Diákköri Konferencia

Szeged, Magyarország (2016) – szóbeli előadás (2. helyezés)

(2) **Szabó Anna**: Szén nanocső erdők CVD növesztése alumínium szubsztráton

XXXIII. OTDK Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Kémiai és Vegyipari Szekció

Miskolc, Magyarország (2017) – szóbeli előadás

(3) **Szabó Anna**: Szén nanocső erdők CVD növesztése alumínium szubsztráton

XVIII. Műszaki Tudományos Diákköri Konferencia

Temesvár, Románia (2017) – szóbeli előadás (különdíj)

(4) **Szabó Anna**, Kovács Anita, Gyulavári Tamás, Kovács Gábor, Pap Zsolt, Hernádi Klára:

*Synthesis and characterization of vertically aligned carbon nanotubes and CNT-WO<sub>3</sub>-based composites*

5<sup>th</sup> European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes

Prága, Csehország (2017) – poszter prezentáció

(5) Tibor Szabó, Róbert Janovics, Marianna Túri, István Futó, László Rinyu, Krisztián Németh,

Gergő Péter Szekeres, Anikó Kinka, **Anna Szabó**, Klára Hernádi, Kata Hajdu, László Nagy:

Isotope analytical characterization of carbon based nanocomposites,

2<sup>nd</sup> International Radiocarbon in the Environment Conference,

Debrecen, Magyarország (2017) – poszter prezentáció

(6) Kovács Gábor, **Szabó Anna**, Kovács Anita, Gyulavári Tamás, Pap Zsolt, Hernádi Klára:

*Függőlegesen rendezett szerkezetű szén nanocsövek és CNT-WO<sub>3</sub>-alapú kompozitjainak előállítása és jellemzése*

XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Déva, Románia (2017) – poszter prezentáció

(7) Klára Hernádi, **Anna Szabó**, Zsuzsanna Pápa, Tamás Gyulavári, Krisztián Németh, Judit Budai: *CCVD growth of vertically aligned carbon nanotubes over various substrates*

III. International Symposium on Nanoparticles/Nanomaterials and Applications

Lisszabon, Portugália (2018) – szóbeli előadás

(8) **Szabó Anna**, Pápa Zsuzsanna, Kecsenovity Egon, Csontos János, Toth Zsolt, Budai Judit: *Ellipsometric Analysis of Aligned Carbon Nanotubes*,

10<sup>th</sup> Workshop Ellipsometry (WSE 10)

Chemnitz, Németország (2018) – poszter prezentáció

(9) Klára Hernádi, **Anna Szabó**, Zsuzsanna Pápa, Tamás Gyulavári, Krisztián Németh, Zsolt Tóth, Judit Budai: *Challenges in The Growth of Vertically Aligned Carbon Nanotubes:*

*Substrate, Catalyst Layer, CVD Conditions and Much More*

Nanoworld Conference: Useful Science and Technology for a Just World

San Francisco, Amerikai Egyesült Államok (2018) – szóbeli előadás

(10) Krisztina Ungvari, Sandor Meszaros, Egon Kecsenovity, **Anna Szabó**, Zsolt Tóth, Kinga Turzo, Klára Hernádi: *Viability of Human Primary Osteoblast on Multi-walled Carbon Nanotubes*

96<sup>th</sup> General Session & Exhibition of the IADR IADR Pan European Regional Congress, London, Egyesült Királyság (2018) – poszter prezentáció

(11) **Anna Szabó**, Egon Kecsenovity, Zsuzsanna Pápa, Tamás Gyulavári, Krisztián Németh, Horvath Endre, Klára Hernádi: *CVD growth of Carbon Nanotube forests on aluminum substrate*

12<sup>th</sup> International Conference on Physics of Advanced Materials (ICPAM-12),

Kréta, Görögország (2018) – poszter prezentáció

(12) Lilla Nánai, **Anna Szabó**, Tamás Gyulavári, Klára Hernádi: *Catalyst layers built by spray-coating for carbon nanotube forests growth on titanium substrate*

16<sup>th</sup> International Conference Students for Students

Kolozsvár, Románia (2019) – szóbeli előadás

(13) Lilla Nánai, **Anna Szabó**, Tamás Gyulavári, Judit Budai, Klára Hernádi:

*Katalizátorréteg kialakítása kézi spray-coating módszerrel titán hordozón szén nanocső erdők szintéziséhez*

XXV. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Kolozsvár, Románia (2019) – poszter prezentáció

(14) **Anna Szabó**, Zsuzsanna Pápa, Tamás Gyulavári, Krisztián Németh, Diána Nagy, Klára

Hernádi: *Growth of CNT Forests on Titanium Substrates: Effect of Catalyst Ration and Hydrogen on the Incorporation of Nitrogen into Carbon Nanotube Structure,*

25<sup>th</sup> International Symposium on Analytical and Environmental Problems

Szeged, Magyarország (2019) – poszter prezentáció

(15) **Anna Szabó**, Lilla Nánai, Zsejke-Réka Tóth, Klára Hernádi: *Production of CNT forests by a simple layer building method on a conductive substrate,*

26<sup>th</sup> International Symposium on Analytical and Environmental Problems

online (2020) – poszter prezentáció

(16) Zsejke-Réka Tóth, János Kiss, Alexandra Feraru, **Anna Szabó**, Klára Hernádi, Emilia

Licarete, Lucian Baia, Klára Magyarai: *How can have a bioactive glass antibacterial and cell viability character simultaneously?*

31<sup>th</sup> Conference of the European Society for Biomaterials

online (2021) – poszter prezentáció