### MÓDOSÍTOTT TITANÁT NANOCSÖVEK SZERKEZETE ÉS STABILITÁSA: IONCSERE, ADALÉKOLÁS ÉS HETEROSTRUKTÚRÁK

Ph.D. értekezés tézisei

### **BUCHHOLCZ BALÁZS**

Témavezető:

Dr. Kónya Zoltán

Kémia Doktori Iskola

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2019

### 1. Előzmények és célok

Napjaink környezeti kihívásaira, mint a növekvő légköri CO<sub>2</sub> koncentráció, vagy a fosszilis energiahordozóink kimerülése, az anyagtudomány is keresi a megoldást. A nanotechnológia egy viszonylag új szemlélet, ami a tér valamelyik irányában 100 nm-nél kisebb kiterjedésű, illetve méretcsökkentés hatására a tömbi fázistól eltérő fizikai, kémiai tulajdonságokat mutató anyagokkal foglalkozik. Ilyenek lehetnek a kvantum pöttyök, nanoszálak és -csövek, az egy-, vagy néhány atomi réteg vastagságú síkok, valamint a hierarchikus nanoszerkezetek. Az ilyen struktúrák számos kedvező tulajdonságuk miatt felhasználhatók a szenzorika, energiatárolás, orvosi biotechnológia, vagy a heterogén katalízis területén.

Az alkáli hidrotermális titanát nanocsövek előállításáról szóló publikációt *Kasuga* közölte 1998-ban, ami a szén nanocsöveknek köszönhetően a tubuláris nanostruktúrák évtizedének tekinthető. Ezek a feltekeredett, réteges szerkezetű anyagok 100-200 nm-es hosszúsággal, 10-12 nm-es átmérővel, valamint 200-300 m<sup>2</sup>/g-os fajlagos felülettel rendelkeznek. Tekintettel arra, hogy a protonált titanát nanocsövek (TiONT) hőkezelés határa a különböző szerkezetű titán-dioxiddá alakíthatók át, célszerű felhasználása szempontjából a TiO<sub>2</sub>-dal analóg módon tanulmányozni.

A TiO<sub>2</sub> *Fujishima* és *Honda* 1972-ben bemutatott fotoelektrokémiai tanulmánya óta az egyik legtöbbet vizsgált félvezető, különös tekintettel a heterogén fotokatalízis területén. A TiO<sub>2</sub> csak UV-fény besugárzásának hatására aktív, de különböző módosításokkal – mint pl. az adalékolás vagy a heterostruktúrák kialakítása – működése a látható fény tartományába tolható.

Az Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszéken már másfél évtizede folynak titanát nanocsövekkel kapcsolatos kutatások. Ebbe bekapcsolódva kezdtem el ioncserélt, adalékolt, valamint heterostruktúrákat alkotó protonált titanát nanocsövek előállításával, stabilitásvizsgálatával, valamint fotokatalitikus hasznosítási lehetőségeivel foglalkozni. Doktori munkám során az alábbi témakörök ismeretanyagának bővítésével foglalkoztam:

- Bizmuttal és/vagy antimonnal ioncserélt TiONT előállítása, valamint hőstabilitásának vizsgálata a szerkezet és morfológia szempontjából.
- TiONT termikus és ionimplantációs nitrogénadalékolás lehetőségeinek vizsgálata, a szerkezetbe épített nitrogén kémiai környezetének tanulmányozása, az adalékolás

és az azt követő hőkezelések szerkezetre és morfológiára gyakorolt hatásának felderítése.

 Bizmut- és antimon-oxiklorid/TiONT heterostruktúrák előállítása az oxiklorid immobilizálásával a nanocsövek felületén. Az kompozitok hőstabilitásának vizsgálata, valamint tesztelésük fotokatalitikus metilnarancs elszíntelenítéséi reakciókban

### 2. Kísérleti rész

Titanát nanocsövek előállításához 50 g TiO<sub>2</sub>-ot kevertettünk 10 M-os NaOH oldatban, majd a szuszpenziót PTFE betétes acélautoklávban tartottuk 130 °C-on 24 órán át, 3 RPM-es forgatás mellett. Az így kapott terméket pH semlegesre mostuk, majd 0,01 M-os sósavval protonáltuk 1 héten át. A protonált nanocsöveket kloridion-mentesre mostuk, majd 60 °C-on szárítottuk 2 napon át.

Bizmuttal és/vagy antimonnal ioncserét TiONT előállításához 2 g nanocsövet 100 ml ioncserét vízben ultrahangos kezeléssel homogenizáltuk, majd bizmut-acetátot, antimonacetátot, vagy mindkettőt adtunk hozzá. Minden esetben 10 m/m% fém került a rendszerbe (a harmadik esetben 5-5 m/m% Bi és Sb). A reakcióelegyet 24 órán át kevertettük, majd szűrtük. A visszamaradó acetát-ionokat ioncserélt vízzel mostuk ki a rendszerből. Termékeinket 2 napon át 60 °C-on szárítottuk. Az ioncserélt nanocsöveket 1 órás hőkezeléseknek vetettük alá 600, 750 és 900 °C-os hőmérsékleten.

A TiONT termikus nitrogénadalékolásához 12 g karbamidot és 1 g TiONT-t helyeztünk el egymástól elszeparálva egy 0,4 dm<sup>3</sup>-es PTFE betétes acélautoklávban. A zárt rendszert 200 °C-on tartva a karbamid hőbomlásából származó ammóniagáz szolgált nitrogénforrásként, az adalékolási idő 2, 4, 8, 12 és 24 óra volt. Mind az adalékolt, mind a kiindulási nanocsöveket 1 órás hőkezelésnek vetettük alá 400-900 °C közötti hőmérsékleteken.

Az ionbombázást egy röntgen fotoelektron spektrométer analitikai kamrájában hajtottuk végre nagy tisztaságú N<sub>2</sub>-nel táplált Kratos MacroBeam ionágyú segítségével. Az ionágyú nyalábátmérője 2 mm. Az ágyú a felületet 8x8 mm<sup>2</sup>-en pásztázza. Az ionnyaláb és a minta felületének normálisa által bezárt szög 55° volt. A N<sub>2</sub><sup>+</sup> ionokat 3 kV gyorsítófeszültséggel gyorsítottuk, a becsapódó ionok energiája 1,5 keV.

A plazmakezeléseket egy XPS-hez csatolt rozsdamentes acélból készült mintaelőkészítő kamrában (<1x 10<sup>-4</sup> Pa alapnyomás) végeztük el. A nagy tisztaságú N<sub>2</sub> vagy NH<sub>3</sub> áramlási

sebességét egy szelep szabályozza, amellyel a nyomást 5-7 Pa-ra állítottuk. Az előkészítő kamrához csatlakoztatott réztekercsre, 100 W konstans rádiófrekvenciás teljesítményt kapcsoltunk 13,56 MHz-es frekvenciával. A bias feszültség a negatív tartományban 100 és 300 V közötti érték. A kezeléseket 5-30 perces tartományokban végeztük.

TiONT hordozott bizmut-oxikloridot csapadékképződési reakcióban állítottunk elő. 1 g TiONT-t 50 ml ioncserélt vízben szuszpendáltunk ultrahangos kezeléssel 2 órán át, majd hozzáadtuk a rendszerhez a bizmut(III)-kloridot. A Ti:Bi atomarányt az egyik esetben 10:1, a másikban 100:1 értékre állítottuk be. A reakcióelegyet 24 órán át kevertettük, szűrtük, illetve ioncserélt vízzel mostuk addig, míg a szűrlet kloridion-mentes nem lett. Az így kapott pormintákat 60 °C-on szárítottuk 48 órán át. A referenciaként használt tömbi fázisú BiOC1 előállításához 2 g prekurzor sót kevertettünk 200 ml ioncserét vízben 24 órán át, majd az így kapott fehér csapadékot a fenti módon szűrtük, mostuk és szárítottuk. A mintákat 1 órán át tartó hőkezeléseknek vetettük alá statikus kemencében 200-900 °C-os hőmérséklet tartományban, 100 °C-onként emelve a hőmérsékletet.

Az antimon-oxiklorid/TiONT rendszereket szolvotermális módszerrel állítottuk elő. Minden esetben a hordozóra vonatkoztatva 15 m/m% Sb-nak megfelelő mennyiségű antimon(III)-kloridot kevertettünk etilénglikol és víz 0,28 dm<sup>3</sup> 50:50 v/v%-os elegyében. A rendszer pH-ját 6 M-os NaOH vizes oldat cseppenként adagolásával állítottuk be 1-2 (ekkor nem volt szükség lúgra), 4-5 valamint 8-9 közé. Egy óra kevertetés után az elegyet egy 0,4 dm<sup>3</sup>es PTFE betétes rozsdamentes acélautoklávba töltöttük és 12 órán át 120 °C-on tartottuk. Az így előállított sárga színű terméket desztillált vízzel mostuk addig, míg a szűrlet már nem tartalmazott klorid-ionokat. A fenti kísérleteket anatáz TiO<sub>2</sub> hordozóval is megismételtük. A mintákat 60 °C-on szárítottuk 24 órán át. Az szolvotermális szintézissel előállított termékeket és a referencia TiONT-t és TiO<sub>2</sub>-ot 1 órás hőkezelésnek vetettük alá 100-400 °C közötti hőmérsékleteken.

A minták morfológiáját transzmissziós és pásztázó elektronmikroszkópiával, szerkezetét röntgen diffraktometriával, területhatárolt elektrondiffrakcióval és Raman spektroszkópiával vizsgáltuk. Elemanalitikai célokra energiadiszperzív röntgenspektrometriát, az egyes elemek kémiai környezetének tanulmányozására pedig röntgen fotoelektron spektroszkópiát használtunk. Fajlagos felület és pórustérfogat meghatározásához nitrogénadszorpciós méréseket végeztünk. Az egyes félvezetők fényelnyelését diffúz reflexiós infravörös spektroszkópiával vizsgáltuk. A felületi funkcióscsoportok meghatározása diffúz reflexiós fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával történt.

Mintáink fotokatalitikus aktivitását metilnarancs elszíntelenítési reakciókban vizsgáltuk UV-látható, valamint látható fény besugárzása mellett. A festékkoncentrációt UV-látható spektrofotometriás mérésekkel határoztuk meg.

### 3. Új tudományos eredmények

## 1. Elsőként állítottunk elő bizmuttal és/vagy antimonnal ioncserélt titanát nanocsöveket, illetve vizsgáltuk hőstabilitásukat.

- 1.1. A titanát nanocsövek ioncserélő képességét kihasználva bizmut- és antimon-acetát prekurzorokkal juttattunk bizmut és/vagy antimon ionokat titanát nanocsövekbe. Az ioncsere sikerességéről EDS, TEM és XRD vizsgálatokkal győződtünk meg.
- 1.2. TEM vizsgálatokkal igazoltuk, hogy a bizmut elősegíti a csöves morfológia hőmérsékletindukált összeomlását: 600 °C-os hőkezelés hatására 20-30 nm-es részecskék képződnek a TiONT-ből. XRD és Raman spektroszkópiás vizsgálatokkal tanulmányoztuk a 600, 750 és 900 °C-on hőkezelt trititanát szerkezetváltozását. Kimutattuk, hogy a bizmut ioncsere elősegíti a trititanát-anatáz-rutil TiO<sub>2</sub>-fázisátalakulást a kiindulási TiONT-hez képest. 900 °C-os hőkezelés után az anatáz maradéktalanul rutil TiO<sub>2</sub>-dá alakult át.
- 1.3. TEM vizsgálatokkal igazoltuk, hogy az antimon jelenléte késlelteti a csöves morfológia hőmérséklet-indukált összeomlását; 600 °C-os hőkezelés hatására még mindig találhatók nanocsövek a mintában, valamint a 600 °C-on hőkezelt TiONT esetében tapasztaltakhoz képest nagyobb oldalaránnyal rendelkező nanorudak jellemzik az anyag morfológiáját. 600, 750 és 900 °C-on hőkezelt antimon-tartalmú trititanát nanocsövek XRD és Raman spektroszkópiás vizsgálatával kimutattuk, hogy 600 °C-on a trititanátból B-TiO<sub>2</sub> is képződik az anatáz mellett, valamint az antimon ioncsere hatására 900 °C-on az anatázrutil fázisátalakulás kisebb mértékű a kiindulási nanocsövek esetében tapasztaltakéhoz képest. A B-TiO<sub>2</sub> képződése az Sb<sup>3+</sup> kedvező ionméretének tulajdonítható, ez okozza az alkálifém-ionokat tartalmazó trititanáthoz hasonló stabilitást és fázisátalakulás tulajdonságokat.
- 1.4. Kimutattuk, hogy 600-900 °C-os hőkezelés hatására a 10 m/m% Bi-ot tartalmazó rendszer esetében a bizmut bizmut-titanát nanorészecskék formájában szegregálódik a felületen, melyek mérete 2,5-3 nm között változik. A 900 °C-on kalcinált minta esetében egyértelműen kimutattuk, hogy rutil TiO<sub>2</sub>/Bi<sub>2</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>11</sub> alakult ki, ami fotokatalízis területén már ismert heterostruktúra. Kísérleteink során egy egyszerű előállítási lehetőséget dolgoztunk ki az ilyen anyagok előállítására.

## 2. Titanát nanocsövek termikus nitrogénadalékolási módszerének kidolgozása, az adalékolt szerkezetek stabilitásvizsgálata.

- 2.1. Saját tervezésű reaktorban karbamid hőbomlásából in situ módon felszabaduló ammóniagáz használatával nitrogénnel adalékoltunk titanát nanocsöveket 200 °C-os hőmérsékleten, 2-24 órán át. TEM és XRD vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy 8 órás adalékolási idő hatására a titanát nanocsövek részben felaprózódnak, melynek során kevert anatáz-trititanát fázist jön létre. 12 órás adalékolás hatására kocka és oktaéder formájú, anatáz szerkezetű TiO2 képződik, melynek kristályossági foka 24 órás szintézisidővel nő. Kísérleti elrendezésünkkel minden eddiginél alacsonyabb állítottunk elő nitrogénnel hőmérsékleten adalékolt TiO<sub>2</sub>-ot ammóniagáz felhasználásával.
- 2.2. EDS analízissel kimutattuk, hogy 2-24 órás adalékolás idővel 0,11-6,6 at% között változik a minták nitrogéntartalma. XPS és DRIFTS vizsgálatok segítségével megállapítottuk, hogy a 24 órán át adalékolt minta esetében a nitrogén intersticiális pozícióban van jelen a TiO<sub>2</sub> szerkezetében, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> és NH<sub>2</sub> formájában.
- 2.3. A 400 és 900 °C között elvégzett hőstabilitás vizsgálatokkal kimutattuk, hogy az adalékolási idő növelése elősegíti a kiindulási nanocsövek morfológiai átalakulását nanorudak, majd kisebb nanorészecskék irányába. A jelenséget TEM és SEM felvételek alapján számított részecskehossz, valamint kerekdedség érték változásával számszerűsítettük és egymással egybevágó karakterisztikát kaptunk.
- 2.4. XRD vizsgálatokkal kimutattuk, hogy az adalékolási idő növelésével az anatáz TiO<sub>2</sub> (101) krisztallitok mérete is növekszik, mely a hőkezelési hőmérséklet emelése szintén elősegít. Kimutattuk, hogy a 900 °C-os hőkezelés hatására az adalékolási idő növelésével az anatáz-rutil fázisátalakulás egyre előrehaladottabb. A kiindulási TiONT esetében ~5 m/m%, 24 órás adalékolás után ~40 m/m% a rutil tömegfrakció.
- 2.5. A különböző adalékolási idők és hőkezelési hőmérsékletek szerkezetre és morfológiára gyakorolt hatásait egy fázisdiagramban foglaltuk össze, melynek használata a jövőben megkönnyítheti a különböző szerkezetű és morfológiájú nitrogénnel adalékolt titán-oxid nanoszerkezetek tervezett előállítását.

### 3. Titanát nanocsövek nitrogénadalékolása különböző ionimplantációs módszerekkel.

- 3.1. Elsőként adagoltunk titanát nanocsöveket nitrogénnel nitrogénion bombázással, valamint nitrogén- és ammóniaplazma kezeléssel.
- 3.2. XPS vizsgálatokkal tanulmányoztuk a felületi nitrogén mennyiségét és kémiai környezetét. N<sub>2</sub><sup>+</sup> bombázással 1,1 at% N<sub>2</sub> plazmával 7,0 at%, NH<sub>3</sub> plazmával pedig 18,6 at% nitrogént építettünk a mintákba, mely minden esetben szubsztitúciós és intersticiális pozícióban fordult elő.
- 3.3. Ammóniaplazma segítségével minden eddiginél nagyobb mennyiségű, 8-10 at%. szubsztitúciós nitrogént juttattunk titanát nanocsövekbe. DRIFTS vizsgálatokkal felületi NH4<sup>+</sup>, CH2 és CH3 csoportok jelenlétét is kimutattuk.
- 3.4. XRD és SEM vizsgálatokkal kimutattuk, hogy a termikus adalékolási módszerekkel ellentétben az ammóniaplazma kezelés nem módosítja a TiONT szerkezetét és morfológiáját.

## 4. Bizmut-oxiklorid/titanát nanocső heterostruktúrák előállítása, hőstabilitásának és fotokatalitikus tulajdonságainak vizsgálata.

- 4.1. Elsőként állítottunk elő titanát nanocső hordozós bizmut-oxiklorid nanorészecskéket. A TEM felvételek alapján csapadékképződési reakcióban képződött BiOCl nanorészecskék átlagos átmérője ~5 nm, melyek az XRD vizsgálatok szerint tetragonális szerkezetűek.
- 4.2. XRD és TEM vizsgálatokkal kimutattuk, hogy 400 °C-os hőkezelés hatására a TiONTből anatáz nanocsövek képződtek. A hordozott nanorészecskék ~10 nm-esre nőttek, kristályos szerkezetük pedig megszűnt. XPS vizsgálatokkal kimutattuk, hogy a BiOCl részleges hőbomlása mellett még továbbra is található Bi, O és Cl összetételű komponens a rendszerben. A DR-UV-Vis vizsgálatokból arra következtettünk, hogy a fázisátalakulás során Bi<sup>3+</sup> oldódott az anatáz TiO<sub>2</sub> szerkezetébe, ami az abszorpciós spektrumának vöröseltolódását eredményezte.
- 4.3. A 200 és 900 °C között elvégzett hőstabilitás vizsgálatok során XRD mérések segítségével kimutattuk, hogy 100:1 Ti:Bi atomarány esetében a bizmut-ioncsere esetéhez hasonlóan előrehaladott a trititanát-anatáz-rutil fázisátalakulás a kiindulási TiONT-hez képest. A 100:10 Ti:Bi atomarány a tetragonális BiOCl nanorészecskék kialakulásának kedvez, a szerkezet stabilitása pedig a kiindulási TiONT-vel összemérhető. Utóbbi minta esetében 300-400 °C-os hőkezelések után a BiOCl amorfizációja valószínűsíthető a diffraktogramok alapján.

4.4. A 400 °C-on hőkezelt, 100:10 Ti:Bi atomaránnyal rendelkező minta látható fény besugárzásának hatására a szerves modellvegyületként használt metilnarancs 88%-át elbontotta. Javaslatot tettünk a folyamat mechanizmusára, miszerint a látható fényben mutatott aktivitásért a TiO<sub>2</sub> szerkezetébe oldódott Bi<sup>3+</sup>, valamint a BiOCl felületén adszorbeálódó metilnarancs festékérzékenyítő hatása lehet felelős. A BiOCl és TiO<sub>2</sub> között elektrontranszfer is lehetséges, melynek iránya még nem tisztázott.

## 5. Antimon-oxiklorid/titán-oxid heterostruktúrák előállítása, és fotokatalitikus tulajdonságainak vizsgálata.

- 5.1. Elsőként állítottunk elő antimon-oxiklorid/titanát nanocső, valamint antimonoxiklorid/titán-dioxid heterostruktúrákat. A pH-kontrollált szolvotermális reakciókban a nanocsövek felületén 8-11 nm-es részecskéket sikerült immobilizálni, míg a TiO<sub>2</sub> esetében nem tapasztaltunk felületi nanorészecske képződést a TEM vizsgálatok szerint.
- 5.2. Az egyes heterostruktúrákat 100-400 °C közötti hőmérsékleten hőkezeléseknek vetettük alá, majd XRD vizsgálatokkal tanulmányoztuk a nanoszerkezetek változását. Elsőként mutattuk ki, hogy az egyes titán-oxidok esetünkben a titanát nanocső és az anatáz TiO<sub>2</sub> jelenlétében egymástól eltérő szerkezettel rendelkező antimon-oxikloridok alakulnak ki. Kísérleti eredményeinket az irodalmi ismereteinkkel kiegészítve javaslatot tettünk az egyes rendszerek szerkezetének definiálására, közvetlenül a szolvotermális szintézis után. Eszerint TiONT hordozó esetében növekvő pH-val SbOCl vagy Sb<sub>4</sub>O<sub>5</sub>Cl<sub>2</sub> (pH = 1-2), Sb<sub>8</sub>O<sub>11</sub>Cl<sub>2</sub> vagy Sb<sub>8</sub>O<sub>11</sub>Cl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> (pH = 4-5), valamint α-Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (pH = 8-9), TiO<sub>2</sub>-dal pedig Sb<sub>8</sub>O<sub>11</sub>Cl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> (pH = 1-2), Sb<sub>8</sub>O<sub>11</sub>Cl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> (pH = 4-5), illetve α-Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> és β-Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (pH = 8-9) állítható elő.
- 5.3. DR-UV-Vis vizsgálatokból megállapítottuk, hogy a hőkezelések hatására a trititanát hordozó, valamint az oxikloridok folytonos szerkezeti átalakulásával az egyes anyagok fényelnyelése is megváltozik. A TiO<sub>2</sub> alapú minták abszorpciós spektrumain nem tapasztaltunk egymástól való szignifikáns eltérést.
- 5.4. Az egyes heterostruktúrák fotokatalitikus tulajdonságait metilnarancs elszíntelenítési reakciókban vizsgáltuk UV-látható fény besugárzása mellett. Kimutattuk, hogy a TiONT hordozós minták festékbontási reakcióinak látszólagos sebességi együtthatói nagyságrenddel nagyobbak a TiO<sub>2</sub> alapú anyagokéhoz képest, amennyiben antimonoxiklorid található a heterostruktúrában. A jelenség oka az, hogy a hőkezelések hatására folyamatosan változik mind a hordozó, mind az oxiklorid szerkezete.

### 4. A doktori értekezés alapját képző közlemények

### 1. Structure and stability of pristine and Bi and/or Sb decorated titanate nanotubes

A. Rónavári, **<u>B. Buchholcz</u>**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Journal of Molecular Structure, 1044, 2013, 104-108

IF2013: 1,599

2. Low temperature conversion of titanate nanotubes into nitrogen-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles

**<u>B. Buchholcz</u>**, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

CrystEngComm, 16, 2014, 7486-7494

IF2014: 4,034

# **3.** pH-regulated Antimony Oxychloride Nanoparticle Formation on Titanium Oxide Nanostructures: A Photocatalytically Active Heterojunction

**B. Buchholcz**, H. Haspel, T. Boldizsár, Á. Kukovecz, Z. Kónya

CrystEngComm, 19, 2017, 1408-1416

IF2017: 3,304

#### 4. Titania nanotube stabilized BiOCl nanoparticles in visible-light photocatalysis

B. Buchholcz, H. Haspel, A. Oszkó, Á. Kukovecz, Z. Kónya

RSC Advances, 7, 2017, 16410-16422

IF<sub>2017</sub>: 2,936

## 5. Morphology Conserving High Efficiency Nitrogen Doping of Titanate Nanotubes by NH<sub>3</sub> Plasma

B. Buchholcz, K. Plank, M. Mohai, Á. Kukovecz, J. Kiss, I. Bertóti, Z. Kónya

Topics in Catalysis, 61, 2018, 1263-1273

IF2017: 2,439

### 5. Előadások, poszterek, konferenciarészvételek

#### 1. Synthesis and characterization of nitrogen-doped titanate nanotubes

**<u>B. Buchholcz</u>**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Magyar Mikroszkópos Társaság, 2013, Siófok, előadás

#### 2. Preparation and modification of vanadium-oxide nanowires

M. Szabó, **<u>B. Buchholcz</u>**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Magyar Mikroszkópos Társaság, 2013, Siófok, előadás

#### 3. Structure and stability of pristine, Bi and/or Sb decorated titanate nanotubes

A. Rónavári, **<u>B. Buchholcz</u>**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Magyar Mikroszkópos Társaság, 2013, Siófok, előadás

## 4. Synthesis, structure and stability of pristine and Bi and/or Sb decorated titanate nanotubes

A. Rónavári, **B. Buchholcz**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

NANO-2013, 2013, Bukovel, poszter

5. Nitrogénnel adalékolt TiO<sub>2</sub> nanorészecskék alacsony hőmérsékletű előállítása titanát nanocsövekből

**<u>B. Buchholcz</u>**, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

XXXVI. kémiai Előadói Napok, 2013, Szeged, előadás

6. Photocatalytic activity of the different stoichiometry antimony-oxychloride decorated titanate nanotubes

**B. Buchholcz**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

SM-2013, 2013, Újvidék, előadás

7. Nitrogénnel adalékolt TiO<sub>2</sub> nanorészecskék alacsony hőmérsékletű előállítása titanát nanocsövekből

**<u>B. Buchholcz</u>**, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Termoanalitikai szeminárium, 2014, Szeged, előadás

### 8. Low-temperature conversion of titanate nanotubes into nitrogen-doped TiO<sub>2</sub>

**<u>B. Buchholcz</u>**, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

3<sup>rd</sup> nanoPT, 2015, Porto, poszter

## 9. Nitrogénnel adalékolt TiO<sub>2</sub> nanorészecskék alacsony hőmérsékletű előállítása titanát nanocsövekből

B. Buchholcz, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

XXXVIII. kémiai Előadói Napok, 2015, Szeged, előadás

### 10. Structure and stability of boron doped titanate nanotubes and nanowires

B. Buchholcz, E. Varga, T. Varga, J. Kiss, Z. Kónya

JVC-16, 2016, Portoros, előadás

### 11. Modified titanates for visible light photocatalysis

**<u>B. Buchholcz</u>**, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

YISAC-2016, 2016, Újvidék, előadás

**12.** Low-temperature N,F co-doping of layered titanate nanotubes and bulk anatase TiO<sub>2</sub>: a comparative study

B. Buchholcz, K. Plank, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

SIWAN7, 2016, Szeged, poszter

### 13. Synthesis of photoactive antimony oxyiodide hierarchical nanostructures

T. Boldizsár, **<u>B. Buchholcz</u>**, H. Haspel, Z. Kónya, Á. Kukovecz

SIWAN7, 2016, Szeged, poszter

### 14. pH-regulated Antimony Oxychloride Nanoparticle Formation on Titanium Oxide Nanostructures: A Photocatalytically Active Heterojunction

**<u>B. Buchholcz</u>**, H. Haspel, Á. Kukovecz, Z. Kónya

21st Topical Meeting of the ISE, 2017, Szeged, előadás

#### 15. Synthesis and characterization of new antimony-oxide based photocatalysts

A. Ochirkhuyag, **B. Buchholcz**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Magyar Mikroszkópos Társaság, 2017, Siófok, előadás

#### 16. Nitrogen doping of titania nanomaterials using thermal and plasma activation

**<u>B. Buchholcz</u>**, K. Plank, M. Mohai, Á. Kukovecz, J. Kiss, I. Bertóti, Z. Kónya ecoss33, 2017, Szeged, poszter

#### 17. Grafén-oxid hatása az aerob granulátumos szennyvíztisztítási technológiára

A. Kedves, **B. Buchholcz**, O. Kedves, L. Sánta, A, Rónavári, J. Halász, Z. Kónya

XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2018, Gödöllő, poszter

### 18. Titanát nanoszerkezetek fotoérzékenyítése alacsony hőmérsékletű N,F koadalékolással

K. Plank, **<u>B. Buchholcz</u>**, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Magyar Mikroszkópos Társaság, 2018, Siófok, előadás

### 19. Titanát nanocső alapú fotokatalizátorok előállítása: adalékolás és heterostruktúrák

B. Buchholcz, H. Haspel, K. Plank, Á. Kukovecz, Z. Kónya

Magyar Mikroszkópos Társaság, 2018, Siófok, előadás

#### 20. Synthesis of Au supported B-doped titanate nanotubes

B. Buchholcz, K. Plank, Á. Kukovecz, J. Kiss, Z. Kónya

SIWAN8, 2018, Szeged, poszter

### 21. Insight into the impact of graphene-oxide (GO) nanoparticles on aerobic granular sludge (AGS) under shock loading

A. Kedves, **B. Buchholcz**, T. Varga, A, Rónavári, J. Halász, Z. Kónya

SIWAN8, 2018, Szeged, poszter

### 6. Egyéb közlemények

### 1. Structure and stability of boron doped titanate nanotubes and nanowires

B. Buchholcz, E. Varga, T. Varga, K. Plank, J. Kiss, Z. Kónya

Vacuum, 138, 2017, 120-124

IF2017: 2,067

Összes referált közlemény: 6	ebből az értekezéshez kapcsolódik: 5
Összesített impakt faktor: 16,379	ebből az értekezéshez kapcsolódik: 14,312
Összes idegen hivatkozás: 20	ebből az értekezéshez tartozik: 17