

Válasz
Zsoldos Ibolya, MTA doktora bírálataira

Tisztelettel köszönöm Zsoldos Ibolya, MTA doktora részletes bírálatát, a bírálatban megfogalmazott kedvező értékelését. A nyilvános vitára és a dolgozat elfogadására tett javaslatát külön köszönöm.

A Bíráló kérdéseire az alábbiakban adok választ:

B1. A fejezet elején a szakirodalomból felvázolt, a témához kapcsolódó kutatási munkák eredményeivel való összehasonlítás hiányzik a leírásból, azzal együtt, hogy az említett szakirodalmi eredmények későbbiek a saját eredményeknél, hiszen tény, hogy $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{MWCNT}$ nanokompozitokat elsőként az értekezés szerzője állított elő. Magyarázat nélkül esetleg az ellenkezőjét gondolhatja az olvasó. $\hat{o}$

V1. Köszönöm a Bírálónak eredményeim pozitív értékelését. Javasolataim alapján, az akkori MTA MFA Kerámia és Kompozitok osztályán 2001-ben kezdtük meg a különféle nano- és mikroméretű szén módosulatokkal adalékolt szilícium-nitrid kerámiák előállítását és vizsgálatát. Úttörő munkát végeztünk, amikor először használtunk szén nanocsöveket szilícium-nitrid mátrixú kerámia erősítésére.

Mindenképpen hangsúlyoznám, hogy a kerámia alapú nanokompozitok kutatása akkor még nagyon új területnek számított. A kaliforniai UC Davis egyetem kutatóinak először 2003-ban sikerült szén nanocsövekkel erősíteni az alumíniumoxid mátrixot, és mindezt oly módon, hogy a mátrix szívósságát jelentősen megnövelték (G.-D. Zhan, J. D. Kuntz, J. Wan, A. K. Mukherjee, *Single-wall carbon nanotubes as attractive toughening agents in alumina based nanocomposites*, *Nature Materials*, Vol. 2, 2003, 38-42). Ugyanakkor, a szigetelő tulajdonságú alumíniumoxid mátrixot szén nanocső adalékolással elektromosan vezető kompozittá alakították át (G.-D. Zhan J. D. Kuntz, J. E. Garay, A. K. Mukherjee, *Electrical properties of nanoceramics reinforced with ropes of single-walled carbon nanotubes*, *Appl. Phys. Lett.* Vol. 83, Nr. 6, 11 Aug. 2003). Kutatócsoportunk eredményei egy másik anyagrendszeren a $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{MWCNT}$ vonatkozásában, az amerikai eredményekhez képest mindössze három hónapos késéssel jelentek meg. A $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{MWCNT}$ anyagfejlesztéshez tartozó tevékenységünk eredményeiből már 2003-ban megjelentettem első referált cikkünket (C. Balázs, Z. Kónya, F. Wéber, L.P. Biro, P. Arató, *Preparation and characterization of carbon nanotube reinforced silicon nitride composites*, *Mat Sci Eng C* 23 (2003) 1133-37), melyet egy-két év leforgása alatt friss eredményeket (mechanikai, elektromos, termikus és tribológiai vizsgálatokra vonatkozóan) tartalmazó, újabb 12 referált cikk követett.

Egyetértek azzal, hogy a dolgozatban nemcsak az egyes fejezetek előtt érdemes az irodalmi munkák bemutatására kitérni, hanem a saját eredményeim újdonságtartalmát, relevanciáját hangsúlyozni lehet az irodalmi adatokkal összehasonlításban az eredmények bemutatásánál is. Az alábbi példákkal hangsúlyozni szeretném, hogy az értekezésben, több esetben is éltem ezzel a lehetőséggel az mellett, hogy minden fejezet elején egy átfogó irodalmi áttekintéssel indítottam a kutatási téma bemutatását:

41. oldal

Az 1500°C -on SPS szinterelt nanokompozitok mechanikai viselkedése jó egyezést mutat Ceja-Cardenas és mtsai. munkájával [43]. Ami az 1600°C -on szinterelt mintákat illeti, ($3.36\text{g}/\text{cm}^3$ - $3.32\text{g}/\text{cm}^3$ - $3.37\text{g}/\text{cm}^3$ a 3, 5 és 10 perc hőtartással előállított minták sűrűségei)

egy minimális keménység csökkenést tapasztaltunk, annak ellenére, hogy a látszólagos sűrűség megnövekedett a 10 perc hőntartás során (5. Táblázat).⁶

42. oldal

A pasupleti és mtsai 1m% MWCNT hozzáadással az alapmátrixnál 37.5%-al jobb törési szívóssággal rendelkező Si₃N₄/MWCNT nanokompozitot állítottak elő [27]. Megmutatták a kompozitok R-görbe szívóssági jellegét és azt is kimutatták, hogy a repedésterjedés elhajlása a fű szívóssági mechanizmus. A mi esetünkben nem találtunk szívóssági mechanizmusokat. Erre az lehet a magyarázat, hogy a kompozitok esetében viszonylag magas a porozitás tartalom (80-95% relatív sűrűségűek a minták), fűként abban az esetben, amikor a kompozit 3m% MWCNT-t tartalmaz (80% relatív sűrűség). A magas porozitás tartalom az MWCNT agglomerációjának tudható be.⁶

46. oldal

A jól ismert, hogy a szilícium-nitrid egy szigetelőanyag és különlegesen kis elektromos vezetőképességgel rendelkezik, a fajlagos vezetőképessége mintegy 10⁻¹² S/m. Méréseinkben azt találtuk, hogy a MWCNT tartalom növelésével az elektromos vezetőképesség nő. Tatami és mtsai. 1.8m% MWCNT és GPS szintereléssel 2.8 S/m, melegsajtolással (HP) 79 S/m és HIP szintereléssel 30 S/m elektromos vezetőképességű szilícium-nitrid nanokompozitokat állítottak elő [9].⁶

B2. 25-26. oldal: Azt írja, hogy a grafit, korom, MWCNT adalékok (különösen az MWCNT adalék) jelentősen fékezik a szinterelés sebességét. Hivatkozik az 1.sz. táblázatra, de ebben a táblázatban sűrűségadatok szerepelnek, pedig még a táblázat címe is szinterelési sebességet fogalmaz meg. Hogyan magyarázható ezekkel a sűrűségadatokkal a szinterelési sebesség csökkenése?

V2. Köszönöm a Bíráló megjegyzését. Ebben a konkrét esetben a szinterelési sebesség az egyes kompozit minták tömörségi (szintereltségi) fokára utal, mivel a megnevezés valóban félreérthető ezért pontosításra szorul. Minden egyes nanokompozit esetében azonos szinterelési paramétereket, azonos fűtési, hőntartási és hűlési időt (GPS vagy HIP szinterelt minták) alkalmaztunk. Ez azt is jelenti, hogy minden mintának ugyanannyi idő állt rendelkezésére a 100%-os tömörség eléréséhez. Ehhez képest a hozzáadott korom, grafit vagy szén nanocső esetében lassul a kompozit minta szinterelődése és jelentősen eltérő porozitású (sűrűségű) kompozitok jöttek létre. Tehát a szinterelési sebesség alatt az egyes mintára vonatkozó egységnyi idő alatt kialakult porozitás mennyiséget értem, amelyet a minta relatív sűrűségével jellemeztem. A mátrixhoz hozzáadott karbon nanofázisok közül kiemelkedik a többfalú szén nanocső (MWCNT) jelentős kompozit szinterelési sebesség (vagy sűrűség) csökkentő hatása, a grafittal és korommal összehasonlításban is.

3. 33. oldalon a plazmaszintereléssel előállított nanokompozitok bevezetőjében azt írja, hogy vákuumban, 50 vagy 100 MPa nyomást egytengelyű nyomást alkalmazunk a szinterelési ciklus kezdetétől a végéig.⁶ Magyarázza meg, hogyan szerepelhet együtt a vákuum a nagy nyomás alkalmazásával?

V3. A plazmaszinterelés (Spark Plasma Sintering, SPS), egy korszerű egyidejű egytengelyű mechanikai nyomással és pulzáló árammal támogatott szinterelési eljárás. A módszer alapja, hogy ideiglenesen nagy hőmérsékletű plazma jön létre a portest szemcséi között. Ennek az az oka, hogy nagy elektromos impulzusok hatására a szemcsék között elektromos ívkisülés jön létre, ami különböző effektusokat okoz (szikraplazma, Joule-hő, szikra indukált nyomás, elektromos tér diffúzió). Az SPS technika gyorsabb fűtést biztosít és sokkal kevesebb szinterelési időt igényel, mint a hagyományos technikák. Az általunk használt egyik típusú

berendezésben, FCT Systeme (GmbH HP D 5/2) 1500°C, 1600°C és 1700°C, 3-10 perc, 50 MPa mechanikai nyomáson szintereltünk szilícium-nitrid nanokompozitokat. A másik berendezés, Dr. Sinter 2050 (Sumitomo Coal Mining), melyet 1500°C és 1650°C-on, 3 és 5 perc tartási idővel 50MPa vagy 100MPa mechanikai nyomáson használtuk.

B3. A 2. oldalon a Shetty-képlettel bizonyára baj van. Először is nem néz ki jól egy tudományos dolgozatban, ha egy képletet két sorba törnek, különösen, ha rövid a képlet. Ezen kívül, ha a

$$K=0.0899(HP/4l)^{1/2}$$

összefüggésben H keménység mértékegysége MPa, a P terhelés pedig N, akkor hogy lehet a K törési szívósság mértékegysége MPa $^{1/2}$? Kérdésként merül még fel, hogy az a repedéshossz is a nevezőben van-e, ha igen, akkor ilyen egy sorban való felírásnál az egész nevezőt zárójelbe kell tenni.

V3. Köszönöm a Bíráló észrevételét. Valóban nem szerencsés tördelni a képletet ezért javítom, hogy egy sorban jelenjen meg:

$$K= 0.0899 (HP/4l)^{0.5},$$

ahol a H a keménység (GPa), P az indentációs terhelés (N) és l = c -a az indentációs repedéshossz (μ m). A képletet a *D.K. Shetty, IG. Wright, PN. Mincer, AH. Clauser, Indentation fracture of WC-Co cermets, J.Mater.Sci. 20 (1985) 1873.* és több, az irodalmi hivatkozásban is jelzett kézirat alapján használtam fel.

B4. A leírás egyértelmű, egyedül a 7. táblázat szorult bővebb magyarázatra: miért van, hogy a 3. mosás utáni nagyobb W tartalomnál a relatív hiba nagyobb? Mit ért relatív hiba alatt? A tömegszázalékok összege oszloponként 100%-ra jön ki, de a feltüntetett H , Na és W tartalom mellett mi van az O tartalommal?

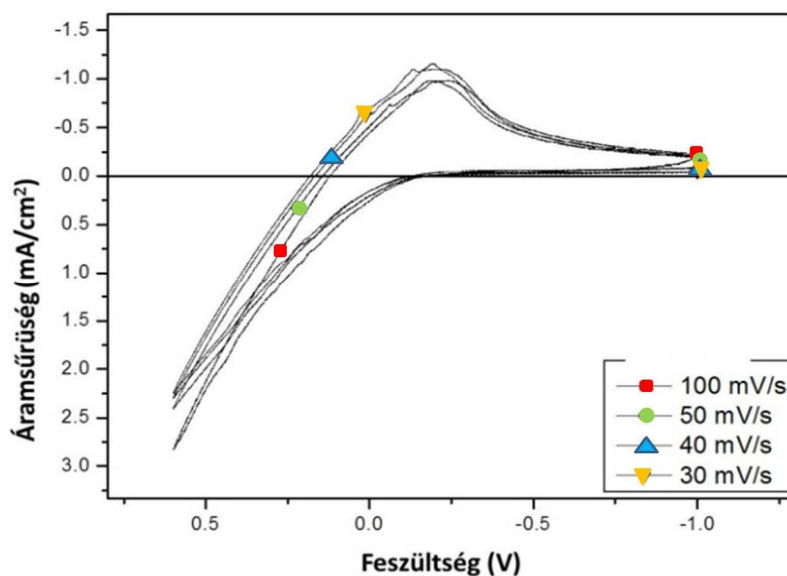
V4. A prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA, PGNA) egy roncsolásmentes nukleáris analitikai módszer minták elem és izotóp összetételének meghatározására. A pormintáinkat neutronnyalábbba helyeztük és a sugárzásos neutronbefogásból keletkező γ -fotonokat detektáltuk. A mérést az MTA Izotópkutató Intézetében, több témában is együttműködő kollégák végezték (Balázi C, Shen Z, Kónya Z, Kasztovszky Z, Wéber F, Vértessy Z, Biró LP, Kiricsi I, Arató P, *Processing of carbon nanotube reinforced silicon nitride composites by spark plasma sintering, Composites Sci Technol* 65 (5) (2005) 727, és . C. Balázi, E.O. Zayim, *Preparation and characterisation of WO₃.1/3H₂O thin film, Mat Sci Forum* 537-538(2007) 113.) A legtöbb minta esetén nincs szükség minta előkészítésre. A neutronaktivációs analízissel (NAA) ellentétben a besugárzás és a mérés egy időben zajlik, azaz az eredmények szinte azonnal rendelkezésre állnak. A minta a mérés után néhány órával már biztonságosan újra felhasználható (http://www.iki.kfki.hu/index_hu.shtml).

A prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) teljeskörű hibaanalízise fontos lépés a módszer validálásában. A hatásfok, a spektroszkópiai adatok és a mért spektrumok hibáit végigvezetve kapjuk a koncentrációk hibáit, akár egyetlen mérésből is. A relatív mérés során a hibatagok egy része kiesik, vagy járuléka jelentősen csökken, különös tekintettel a hatásfok arányok hibájára, amennyiben a korrelációkat is figyelembe vették az IKI kollégái. Algoritmust vezettek be a koncentrációk és azok hibáinak teljeskörű számítására. A Bíráló által kért relatív hiba az Δ uncertainty meghatározásáról a PGAA módszer esetében további pontosításokat találunk a következő irodalmi hivatkozásban: Zs. Révay: *Calculation of*

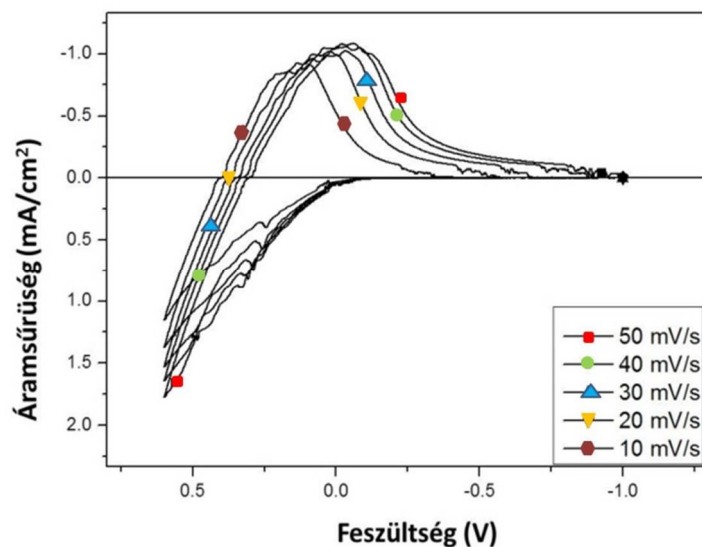
PGAA módszerrel meghatározott W tartalom és a mérések relatív hibája között nincs összefüggés. A nanokompozitok összetételének meghatározásakor feltételezzük, hogy valamennyi komponens megjelenik a spektrumban. Az elemek tömegarányát a csúcsterületek, a csúcshatásfokok és a parciális hatáskeresztmetszetek arányából számítottuk. Ez utóbbiakat az ismert spektroszkópiai adatkönyvtárból vették a kollégák. Az elemek koncentrációértékeit az egyes vonalakból számított tömegek súlyozott átlaga alapján határoztuk meg. A gyakorlatban a kimutatási határok nagyságrendekkel különböznek az egyes elemekre. Az érzékenyen mérhető elemeket (pl. B, Cd, Hg, Sm, Gd) már 0.01 ppm mennyiségben, míg a rosszul mérhetőket (Be, C, O) csak főkomponensként lehet mérni. Mintánk esetében az oxigén rosszul mérhető, ezért annak elhagyásával a H, Na, W 100%-ra normált értékeit figyelhetjük meg a 7. táblázatban. Továbbá fontos volt megállapítani a Na/W arányát, amely a mosások hatására 0,0063-ról (2. mosás) 0.0029-re (3. mosás) csökkent.

B5. A bizonyítások egyetlen szépséghibája, hogy a 47-48. ábrákon az áram-sűrűség-feszültség diagramokon a különböző feszültségekhez tartozó görbék azonosítása, jelölése nehezen, vagy nem látható, célszerű lett volna nagyobb diagramokat mutatni.

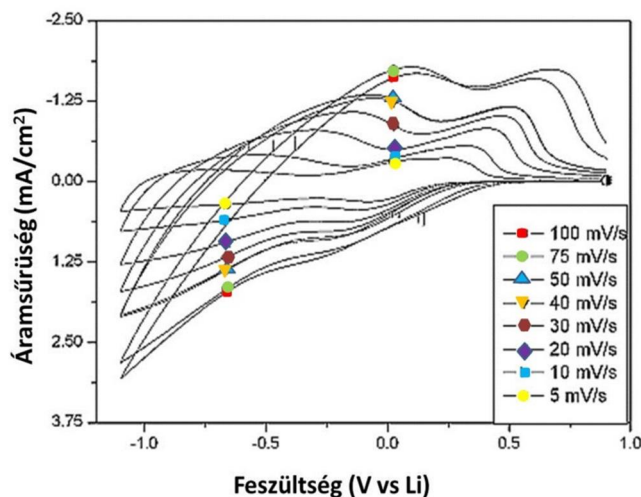
V5. Köszönöm a Bíráló észrevételét. Az értekezésben igyekeztem a mérési eredményeket az olvasó számára érthető és élvezhető módon bemutatni. Úgy döntöttem, hogy színes jelöléseket használok az irodalomból átvett sematikus ábrákon, de a saját eredmények bemutatásakor is. Ez sajnos elmaradt a 47-48. ábrák esetében, ezért az alábbiakban pótoltam a hiányt. Remélem, hogy az új ábrák segítenek az olvasónak a mérési eredmények jobb átláthatóságában és értelmezésében is.



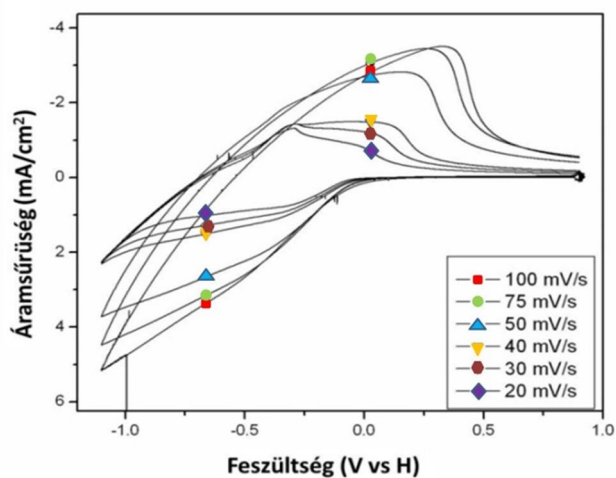
47a. ábra A $\text{WO}_{3.1}/3\text{H}_2\text{O}$ ciklikus voltammetria görbéi különböző feszültségek esetében 1M LiClO_4/PC elektrolitban, 2 mosási lépés után.



47b. ábra A $\text{WO}_3 \cdot 1/3\text{H}_2\text{O}$ ciklikus voltammeteria görbái különböző $\dot{V}$ feszültségek esetében $1\text{M LiClO}_4/\text{PC}$ elektrolitban, 3 mosási lépés után.



48a. ábra. A $h\text{-WO}_3$ vékonyréteg ciklikus voltammeteriai görbái a különböző $\dot{V}$ feszültségek alkalmazása mellett $1\text{M-os LiClO}_4/\text{PC}$ elektrolitban.



48b. ábra. A $h\text{-WO}_3$ vékonyréteg ciklikus voltammeteriai görbái különböző $\dot{V}$ feszültségek alkalmazása mellett $1\text{M-os HCl}/\text{PC}$ -ban.

B6. Összesen annyi kiegészítést érdemelne, hogy tisztázzuk, tojánhéjat, mint alapanyagot, valamint mechanokémiai eljárást használtak-e más kutatók is HAp előállítására, hiszen konkrétan ez a tény nincs megemlítve a dolgozatban. (WOS adatbázisban nincs ilyen találat.)

V6. A tojánhéjat már korábban is használták hidroxiapatit előállítására. A 2007-ben közzétett eljárás szerint készítettünk tojánhéjból bolygó majd attritor malom segítségével foszforsav hozzáadásával nanoszerkezetű hidroxiapatitot. Az értekezésben leírt előállítási módszer szerint hidroxiapatitot állítottunk elő tojánhéjból hőkezeléssel kinyert CaO és H₃PO₄ együttes malmozásával és utóhőkezelés alkalmazásával (C. Balácsi, F. Wéber, Z. Kövér, E. Horváth, C. Németh, *Preparation of calcium phosphate bioceramics from natural resources, J Eur Ceram Soc* 27 (2-3) (2007) 1601). Ebben a közleményben hivatkoztam két korábbi közleményre, amelyek hasonló, de nem azonos eljárással állítottak elő hidroxiapatitot tojánhéjból. Az egyik ilyen módszert Rivera és mtsai írták le (Eric M. Rivera, *Synthesis of hydroxyapatite from eggshells, Materials Letters* 41 (1999) 128.) ahol az előzetesen hőkezelt tojánhéjat hidrotermális módszerrel (foszfát oldatban, 1050 °C-on, 3 óráig) és utóhőkezeléssel alakították át hidroxiapatittá. A másik hivatkozott irodalmi munkában, Lee és mtsa (Lee, S.J. , Oh, S.H., *Fabrication of calcium phosphate bioceramics by using eggshell and phosphoric acid, Materials Letters*; 57, 29 (2003) 4570.) kisebb eltérésekkel (a kiégetett tojánhéj és foszforsav 10 órás malmozása bolygómalomban, a termék utóhőkezelése 1200°C-on, 2 óráig), de lényegében hasonló módszerrel állított elő hidroxiapatitot.

KÉRDÉSEK:

K1. A Si₃N₄/MWCNT nanokompozitoknál melyik az a legelőnyösebb tulajdonság, vagy tulajdonság kombináció, amely miatt legcélszerűbben alkalmazásba vonható a nanokompozit?

A legfontosabb eredménynek azt tartom, hogy olyan kerámia alapú nanokompozitot állítottunk elő, amely egyidejűleg jó elektromos vezetőképességgel és jó szilárdsággal rendelkezik. A kifejlesztett szilícium-nitrid alapú nanokompozit esetében a tényleges értékek: 10 S/m és 450 MPa szilárdság. Ez a hasznosítás szempontjából annyit jelent, hogy a Si₃N₄/MWCNT potenciálisan alkalmazható szikramentes csapágyak anyagaként, pld. bányászati és repülőgépi alkatrészekben. Egy másik, az anyagfejlesztésünkkel közvetlenül kapcsolatos és az irodalomban már megvalósított hasznosulás, lényegében az MWCNT hozzáadásával elért szilícium-nitrid mátrix elektromos vezetésén alapul, amely lehetővé teszi a kerámiák szikraforgácsolással való mikro-megmunkálását (ehhez minimálisan 0,3-10 S/m elektromos vezetőképesség szükséges). Nemrégiben Malek és mtsai (O. Malek, J. González-Julián, J. Vleugels, W. Vanderauwera, B. Lauwers and M. Belmonte, *Carbon nanofillers for machining insulating ceramics, Materials Today, October (2011) Vol. 14 Nr. 10, 496.*) megmutatták, hogy a szén nanocsövekkel erősített szilícium-nitrid kompozit elektromos vezetőképessége lehetővé teszi a szikraforgácsolást (electrical discharge machining, EDM), amely esetében az elektromos ívkisülés segítségével megmunkálható a kerámia felülete. A szilícium-nitrid kerámia szigetelő tulajdonsága miatt ez eddig nem volt megvalósítható. Ez a felismerés egyedülálló lehetőségeket biztosíthat új alkalmazások számára, ahol lehetőségünk lesz bonyolult alakzatok kialakítására is a szinterelt kerámiából. A kerámiák feldolgozása területén ez egy áttörésnek számít.

K2. Mi a magyarázata annak, hogy együttesen használta az aranyrészecskéket és a MWCNT adalékot h-WO₃ nanokompozit előállításánál? Meg lehet-e mondani, hogy mennyire erősíti a kétféle adalék egymás hatását a gázérzékelés javításánál? Tudható-e külön-külön milyen hatása van a kétféle adaléknak? Szükség van-e mindkét adalékra?

Méréseink során azt tapasztaltuk, hogy a h-WO₃ 250°C-on 100 ppb NO₂ jelenlétében is válaszjelet ad. Ellenben szobahőmérsékleten teljesen eltűnt a h-WO₃ azon tulajdonsága, hogy érzékelje az NO₂ gázt. Másfelől az MWCNT bizonyítottan válaszjelet ad szobahőmérsékleten is NO₂ gáz jelenlétében (C. Bittencourt, A. Felten, E.H. Espinosa, R. Ionescu, E. Llobet, X. Correig, J.-J. Pireaux, WO₃ films modified with functionalised multi-wall carbon nanotubes: Morphological, compositional and gas response studies, *Sensors and Actuators B* 115 (2006) 33).

Az arany nanorészecskékkal dekorált MWCNT viszont jelentős javulást mutat az NO₂ gáz detektálása esetén és még erősebb jelet kaphatunk adott koncentrációknál (E.H. Espinosa, R. Ionescu, C. Bittencourt, A. Felten, R. Erni, G. Van Tendeloo, J.-J. Pireaux, E. Llobet, Metal-decorated multi-wall carbon nanotubes for low temperature gas sensing, *Thin Solid Films* 515 (2007) 8322.)

A WO₃/Au-dekorált MWCNT hibrid nanokompozitok szobahőmérsékleten felvett válaszjelénél, azt tapasztalták a spanyol kollégák, hogy a WO₃ mátrixhoz (1/100) MWCNT hozzáadásával a WO₃ alaplátrix érzékelő tulajdonsága feljavítható. Megállapították azt is, hogy az optimális bekeverési arány Au-dekorált MWCNT:WO₃ 1:500, hiszen más tömegarányoknál (pld. 1:1000) nem adott jelet a szenzor.

Szenzor	NO ₂ (25°C)
WO ₃	--
MWCNT	+
MWCNT / WO ₃ (1/100)	++
MWCNT / WO ₃ (1/1000)	-

(C. Bittencourt, A. Felten, E.H. Espinosa, R. Ionescu, E. Llobet, X. Correig, J.-J. Pireaux, WO₃ films modified with functionalised multi-wall carbon nanotubes: Morphological, compositional and gas response studies, *Sensors and Actuators B* 115 (2006) 33).

3. Lát-e esélyt további érzékenység-javításra az arannyal dekorált MWCNT/h-WO₃ nanokompozitok esetében NO₂ gáz érzékelésénél? Elérhetőnek tartja-e az USA Környezetvédelmi és Természeti Erőforrások Minisztériuma által megkövetelt szabvány előírásait, az 53 ppb minimális mennyiség detektálását arannyal dekorált MWCNT/h-WO₃ nanokompozitok további kutatásaival?

Spanyol együttműködő partnereink (Univ. Rovire i Virgili, Tarragona) már régebben is előállítottak WO₃/MWCNT szenzorokat, amelyhez a nano-WO₃ porokat (ref. no. 55008-6) az Aldrich cégtől szereztek be. Az értekezésben bemutatott azonos módon előállított szenzorrétegekkel 500 ppb-ig tudták kimutatni a NO₂ gázt (C. Bittencourt et al, *Sensors and Actuators B* 115 (2006) 33). Az általunk előállított h-WO₃ felhasználásával a detektálási limit 100 ppb-re módosult. Ez számomra azt jelenti, hogy a hibrid kompozitokhoz használt anyagfajták megfelelő megválasztásával és a folyamatok optimalizálásával tovább csökkenthető a detektálási limit, akár 50 ppb is elérhető, pl. grafén adalék vagy egyfalú szén nanocső használatával. Ehhez további kutatások szükségesek.

K4. A cellulózacetát-HAp nanokompozit sebészeti vizsgálatainál milyen formában, hogyan került a nyúl koponyadefektus helyére a CA-HAp, azaz mi volt a hordozó?

Bizonyára félreérthetően fogalmaztam az adott bekezdéseknél ezért az alábbi pontosításokat teszem. A CA/HAp szálas implantátumok esetében *in vitro* tesztekkel mutattuk ki az oszteoblaszt sejtek adhézióját és növekedését. Összességében, a vizsgálataink arra utaltak, hogy mind a CA/HAp nanokompozit morfológiája, mind a szerkezete a fontos szerepet játszik a sejtek terjedésének és differenciálódásának megkönnyítésében, emellett fokozza az apatit mineralizációját. A kutatásaink eredményei alapján, az elektromos fonással előállított CA/HAp implantátumok ígéretes anyagfajták a csontregeneráció területén.

A Bíráló kérdése az *in vivo* kísérletekre vonatkozik, amelyek során a tojáshéjból előállított nanoszerkezetű HAp csontképzésre és regenerációra való alkalmassági tesztelését végeztük el (koreai együttműködésben). A kísérletek során a nyulak koponyájában két 8 mm-es kör alakú defektust hoztunk létre és 4 és 8 hétig tartó vizsgálatokban, az üresen hagyott, valamint a HAp-al feltöltött defektusokat hasonlítottuk össze. Az orvos kollégák a HAp porokat (graftokat) a nyulak saját vérplazmájával keverték össze és azzal együtt illesztették be a defektusba. Tehát a saját vérplazma volt a hordozó.

K5. Van-e tapasztalat, vagy szakvélemény arról, hogy a csontszövetek növekedésének kiváltása CA-HAp nanokompozittal minden szempontból hasznosabb, ajánlatosabb-e, mint más sebészeti módszerek, pl. egyedi implantátumok beültetése?

Igen, pl. esztétikai szempontnál a CA-HAp implantátum rögzítheti a szemgolyót és így kiküszöbölheti az implantátum elmozdulását, amely gyakran előfordul a sima polimer esetében. A HAp polimerhez való hozzáadásával gyorsíthatjuk a beültetés utáni gyógyulási folyamatot, azaz csontosodást hozhat létre, emellett a kompozit anyag rugalmasabb és szívósabb is lehet, mint a sima polimer implantátum.

Végezetül még egyszer köszönöm Zsoldos Ibolya MTA Doktorának az értekezés alapos áttanulmányozását és azt, hogy az értekezést és a téziseket elfogadásra méltónak találta.

Budapest, 2014. április 2.

Balácsi Csaba