

## BÍRÁLAT

Kukovecz Ákos

### "EGYDIMENZIÓS NANOSZERKEZETEK ÉS HÁLÓZATAIK LÉTREHOZÁSA, MÓDOSÍTÁSA ÉS NÉHÁNY FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGE"

című doktori értekezéséről.

A nanoszerkezetű anyagok kutatása egyrészt számos új jelenség felismerését, valamint többféle ígéretes gyakorlati alkalmazást tesz lehetővé.

Ezek a kutatások az utóbbi mintegy két évtizedben azért is kaptak lendületet, mivel a nanométeres mérettartományú anyagi rendszerek közül már több laboratóriumi, vagy ipari mennyiségben is elérhető. Továbbá a nano-anyagok kezelésének eszközei, alapvető vizsgálati módszerei, már egyre szélesedő körben rendelkezésre állnak. Kukovecz Ákos doktori munkája is ezekre a lehetőségekre épül és ezekhez a kutatásokhoz nyújt lényeges hozzájárulást. Az értekezés témaválasztását ezért korszerűnek és jövőbe mutatónak tartom.

A dolgozat tartalmi része 132 oldalból áll és hat fejezetre tagozódik, melyből a 6. fejezet mutatja be Kukovecz Ákos kutatómunkájának eredményeit. A dolgozatban a 12 oldalas *Bevezetés*-t az *Irodalmi áttekintés* (22 oldal), a *Célkitűzések* (fél oldal) és a *Kísérleti eszközök és módszerek* (6 oldal) c. fejezetek követik. A dolgozat lényegi tartalmi része, a 6. *Eredmények és értékelésük* c. fejezetben (85 oldal) található. Az eredményeket összesen 75 darab, általában 4-6 részből álló kompozit-ábra és 10 táblázat is illusztrálja. A dolgozatot az *Összefoglalás* (5 oldal) c. fejezet, továbbá a köszönetnyilvánítás és a nagyszámú irodalmi utalás (a saját közleményekkel együtt 482 tétel) zárja.

**Külsőalak, nyelvezet, szerkesztés.** A dolgozat megjelenése esztétikus, nagyszámú színes ábrával, grafikonnal illusztrált. A munka megfogalmazása világos, a szakmai szövegek stílusában íródott. Zavaró viszont, hogy nagyon sokszor fordulnak elő betűszavak, rövidítések. Ezekről áttekintést kapunk ugyan már az első oldalon, de mivel közel 70 van belőlük, nehézkessé teszik a folyamatos olvasást.

A dolgozat szerkezete túlzottan széttagolt. A kétféle anyagi rendszer, és a módosított változataik, a számos vizsgálat és végül a filc-rétegeken tanulmányozott effektusok könnyen áttekinthető szerkezetbe foglalása, érthetően, megnehezítette a Jelölt dolgát, és még fokozottabban nehezíti meg olvasó helyzetét is. Például, már az Irodalmi rész is 7 fő- és további 9 alfejezetből áll, az Eredmények pedig a 4 nagyobb fejezeten belül 20 számozott alfejezetre tagoltak. Véleményem szerint néhány kevésbé jelentős rész rövidebb vagy összevont tárgyalása, esetleg elhagyása, nem csökkentette volna az Értekezés értékét.

#### Értékelés

**2. Bevezetés.** Kilenc számozott alfejezetben általános, és hasznos történeti áttekintést nyújt a nano-anyagok és az 1D részecskékből felépülő hálózatok szerkezetéről és tulajdonságairól.

**3. Irodalmi áttekintés.** Elismerésre méltó a Jelölt törekvése a korábbi ismeretek széleskörű, bemutatására. A leírtakból (is) kitűnik, hogy a dolgozatban szereplő kutatásoknak számos előzménye megjelent a szakirodalomban. Említi, hogy csak a munka egy részének témájában, nevezetesen a szén nanocsövekről, eddig már több mint 130 ezer közlemény jelent meg.

E körülmény nehezíti a teljes körű átlátást, az újdonság-tartalom egyértelmű megítélését. A Jelölt az eredményei ugyanakkor igen rangos nemzetközi folyóiratokban jelentek meg és nagyszámú visszhangra is találtak. Ezen folyóiratok szerkesztőinek és szakértő bírálóinak, továbbá a dolgozatait idéző kutatóknak a pozitív véleményére bizton hagyatkozhatunk.

Az Irodalmi áttekintés, a szén nanocsövek és egydimenziós titanátok előállítása és vizsgálata mellett, az elvégzett kutatómunkához kapcsolódóan, a mechanokémia, a kísérlettervezés, a mesterséges ideghálózatok és a dielektromos spektroszkópia alapjait, valamint a pórusos felületek nedvesedését és száradását érinti. Ezek az alfejezetek önmagukban fontos, de egymástól teljesen elkülönülő információkat tartalmaznak.

Részben hiányolható az irodalmi áttekintés kritikai hangvétele, a publikált ismeretek jelentőségük szerinti értékelése, a hiányzó ismeretek feltárása. Az egyes dolgozatoknak a felsorolása, adatainak feleslegesen pontos, receptszerű ismertetése inkább zavaró, mintsem a lényegre irányító.

**4. Célkitűzések.** A Szerző szerint „*A disszertációnak a konkrét feladata az, hogy egy logikusan egymásra épülő rendszerben összegezze a szén nanocsövekkel és egydimenziós titanát nanoszerkezetekkel kapcsolatos saját eredményeim összetartozó részeit.*” Vagyis, ahogy ez más értekezésekben is gyakran előfordul, nem fogalmazódnak meg a specifikus miértek.

Bár a munkában több utalás található erre, de éppen e fejezetben nem esik szó a témaválasztás indokairól, arról, hogy miért ezekre az anyagi rendszerekre és kutatási irányokra esett a Jelölt választása. Általánosan elmondható, hogy a felsorolt „célok” mind az anyagi rendszerek és módosított változataik, mind pedig a módszerek tekintetében nagyon széles kört foglalnak magukba. Köztük az összefüggések és az egymásra épülések is csak nehezen kitapinthatók. Egyetlen közös vonásuk az, hogy mind 1D nanoméretű CNT és titanát anyagi rendszerekkel foglalkoznak.

**5. Kísérleti eszközök és módszerek** fejezet röviden felsorolja és kiemeli a „hagyományos” vizsgálati módszerek jellemzőit. Külön fejezetben, tárgyalja a saját fejlesztésű, nevezetesen a gáz-permeabilitás, a nyomásfüggő elektromos-ellenállás és a párolgási profil mérésére szolgáló célrendszereket. Az utóbbinál az elrendezés vázlatát (réteg, kontaktusok, fűtőtest) hiányolom.

**6. Eredmények és értékelésük** mind a négy alfejezete, nevezetesen a (6.1) 1D nanoszerkezetek előállítása és jellemzése, (6.2) 1D anyagokból felépülő hálózatok tulajdonságainak hangolása, (6.3) Gáz-szilárd kölcsönhatások és a (6.4) Folyadék-szilárd kölcsönhatások (és 20 alpontja) egyaránt tartalmaz szignifikáns újdonságot az elért eredmény, vagy a kiértékelés, vagy mindkettő vonatkozásában. Ezek közül, a terjedelmekorlátok miatt, csak hármat emelek ki.

(1) A 6.1 alfejezetben kiemelkedő jelentőségűnek tartom a kísérlettervezés eredményes alkalmazását a többfalú CNT előállításánál 7 paraméter figyelembe vételével. Lényeges elemnek tartom, hogy a katalizátor minőségét és mennyiségét is bevonta a főhatás paraméterek körébe (a kísérletek száma így 128-ról 23-ra volt csökkenthető). Érdemi javulást ért el mind a termék minőségében, mind a kihozatalban.

(2) A Disszertáció legfontosabb új eredményének ismerem el 6.4. pontban ismertetett párolgási profil fogalmának bevezetését, analitikai felhasználásának tudományos megalapozását, és statisztikai kiértékelési módszer bevezetésével, a gyakorlati alkalmazhatóság bizonyítását sok különféle illékony oldószer azonosítására.

(3) A párolgási profil tanulmányozásának további kiemelkedő eredménye 6.4.2.4. pontban a víz anomális párolgási profiljának leírása és értelmezése nem funkcionizált CNT filmekben. Különleges, nem várt jelenség a víz elpárolgása közben a film vezetőképességének a száraz állapotot meghaladó megnövekedése. Négy különböző, az irodalmi ismeretekre támaszkodó modellel sem sikerült értelmezni a jelenséget. A titanát nanoszálakon megfigyeltekből merítve, a nem funkcionizált CNT szálakon néhány nanométeres vízréteg felület-indukált autódisszociatív szerkezetváltozásához rendelhető modellel viszont sikerült ezt Kukovecz Ákosnak értelmeznie.

Végül megemlítem, hogy a vizsgált CNT és titanát nano-anyagok, és a belőlük készült hálózatok (filc-vékonyrétegek), a Disszertációban is sokoldalúan bizonyítottan, nagyon komplex rendszerek, melyek számos új, nem várt tulajdonságot mutatnak. A leírtakkal összhangban azonban, számos hatás vár még további meggyőző értelmezésre.

Általános megjegyzésként elismerésre érdemesnek tartom Kukovecz Ákos törekvését a tárgyalt jelenségek kvantitatív leírására, döntően az irodalomból kimunkált, vagy saját modellek figyelembe vételével. Ezek hatékonysága azonban, főleg a bemenő adatok/tulajdonságok nem elég pontos, vagy nem teljes körű meghatározottsága miatt csökkenhet. Ilyenek lehetnek pl. a kiindulási nano-fázisok nem definiált kémiai és szerkezeti hibái és az esetleges szennyezők nem pontos ismerete.

**Kritikai észrevételek.** Konkrét kritikám több mikroszerkezeti ábra rossz olvashatósága (pl. 27. és 29. ábrák), a számértékek ésszerű pontosságon túlmutató megadása (pl.48. oldalon a szénhozam 488,1 % és "jó egyezése" az 535,3 %-os értékkel), néhány ábra és táblázat hiányos feliratozása (pl. 29., 62. és 64. ábra, 10. táblázat). Pontatlan megfogalmazásokkal is találkozhatunk, pl. a 71. oldalon: „Az n-típusú dópolás elektronokat juttat a vezetési sávba, a p-típusú pedig *kiüríti* a vegyértéksávot.” Általános jellegű észrevételként hiányolom az utalásokat a részeredmények közötti kapcsolatra. Továbbá észrevételezem a XPS analitika alkalmazásának mellőzését is a döntően felületi jelenségekre irányuló kutatásokból, ami lényeges adalékkal járulhatott volna hozzá a vizsgált változások részletesebb megértéséhez és jellemzéséhez, például a szennyezők észlelésével, az őrlés okozta mechanokémiai történések leírásával, és az egyik legfontosabb kérdés, a nem-funkcionizált és funkcionizált CNT felületi karboxil és egyéb C-O kötéseinek kvantitatív meghatározásával.

### **Kérdések.**

(1) A titanát nanoszálak fotokatalitikus alkalmazásánál gyakran használt N-adalékoláskor a nitrogén többféle kémiai állapota és részvétele a tiltott-sáv csökkentésében erősen vitatott. Ismeretei szerint hova, (a legkülső felületre, rácsba, vagy rácsközi helyekre) épül be az alkalmazott karbamidos reakcióban felszabaduló NH<sub>3</sub>-ból a nitrogén? Mi az ismerete, vagy elképzelése a legvalószínűbb kémiai kötések szerkezetéről és a tilos sávot csökkentő hatásukról?

(2) Játsszik-e szerepet CNT leírt kötegesedése a párolgási profil (PP) vizsgálatokhoz készített filmek kialakításakor?

(3) Lehet-e kapcsolat a víz-adszorpció vezetőképesség növelő, általános jellegűnek bemutatott effektusa és a víznek a PP kísérleteknél észlelt, hasonló előjelű anomális hatása között. Van-e elképzelése, hogyan lehetne modellezni, és azzal független kísérletben eldönteni a vékony víz-film kialakulásával értelmezett vezetőképesség-növekedést, és így igazolni a javasolt mechanizmust (pl. úgy hogy a CNT szálak körül, nem-vezető mátrixból, nanopórusos csatornákat alakítunk ki).

**Tézisek.** A disszertációhoz mellékelt tézisfüzet az új tudományos eredményeket négy csoportban, 21 pontban mutatja be. Az egyes pontok többségükben szószerinti, átfedésben vannak a disszertáció végén található **Összefoglalás** egyes bekezdéseivel. Meg kellett állapítanom, hogy a tézispontok mindegyike tartalmaz új fajsúlyos, tézisként elfogadható megállapítást. Nem tudok egyetérteni viszont két tézis megfogalmazásával, melyek átírását szükségesnek tartom: a „1.6. *Kísérletileg bizonyítottuk, hogy ...*” valamint a „2.1. *Bizonyítottam, hogy ...*” esetekben elengedhetetlen megnevezni a módszert, megfigyelést, számítást stb., amely a kijelentett bizonyítás alapját képezte. Kérem e tézisek kiegészítését.

**Összefoglalás.** Kritikai észrevételeimet, amelyek döntően a Disszertáció szerkezeti felépítésére és az egyes részeredmények közötti összefüggések hiányára hívják fel a figyelmet, azért tartom fontosnak a bírálatban kiemelni, hogy a Jelölt a jövőben a magas színvonalú eredményeit didaktikus formában, pl. monográfiában összegezve tudja közvetíteni e fontos tudományterület iránt érdeklődőknek, kollégáinak, egyetemi hallgatóknak, doktoranduszoknak. A Disszertáció jelentős új tudományos eredményeket tartalmaz és egy célirányos, eredményes próbálkozás is megvalósult a CNT hálózatok analitikai alkalmazása területén.

**Az Értekezés alapján Kukovecz Ákost széleskörű fizikai-kémiai, fizikai és mechanikai, azaz összességében anyatudományi ismeretekkel rendelkező, kiválóan felkészült kutatónak ismertem meg. Számos új, a tudományterületet jelentősen gazdagító eredményt ért el két nanoméretű 1D anyag, a szén és titanát, számos jellemzőjének és a belőlük készült hálózatok (filc-vékonyrétegek) szerkezeti jellegzetességeinek feltárása területén, melyek meghatározó jelentőségűek az utóbbi, elsősorban szén nanocső-rétegek analitikai alkalmazásának megalapozásához is. Kutatásainak eredményeit több társszerzővel együtt 229 dolgozatban közölte, melyek rangos nemzetközi folyóiratokban jelentek meg és élénk érdeklődést váltottak ki a tudományterület művelőinek körében, amit az összes közleményére kapott mintegy 2800 hivatkozás is bizonyít.**

**A fentiek alapján Kukovecz Ákos értekezésének nyilvános vitára tűzését javaslom. Sikeres védés esetén a MTA Doktora cím odaítélését támogatom.**

2018. május 19.

Dr. Bertóti Imre  
a kémiai tudomány (MTA) doktora