

BÍRÁLAT

MTA doktori értekezés

szerző

Molnár György

Cím :

**MÉRETFÜGGŐ FIZIKAI JELENSÉGEK VÁKUUMPÁROLOGTATÁSSAL KÉSZÜLT
NANOSZERKEZETEBEN**

Bíráló:

Erdélyi Zoltán

tanszékvezető egyetemi tanár, az MTA doktora
Debreceni Egyetem, Szilárdtest Fizikai Tanszék

Debrecen, 2018. február 28.

BÍRÁLAT

Molnár György MTA doktori értekezéséről

MÉRETFÜGGŐ FIZIKAI JELENSÉGEK VÁKUUMPÁROLOGTATÁSSAL KÉSZÜLT NANOSZERKEZETEK BEN

Molnár György nanoszerkezetek vákuumpárologtatással történő előállítását és azok vizsgálatát tűzte ki értekezésének céljául. Az értekezésben igen nagyszámú szerkezet előállítása került bemutatásra. Első pillanatra akár meglepő is lehet, hogy „mintakészítést” tesz valaki egy MTA doktori értekezés központi témájává. Azonban aki egy kicsit is járatos a mai modern anyagtudományban és technológiában, az tudja, hogy a megfelelő szerkezetek létrehozása nem intézhető el annyival, hogy „csak egy mintakészítés”. Nem rutin eljárásokról van szó, még ha a berendezés jól bevált eszköz is. A „recept” kidolgozása és megvalósítása komoly hozzáértést, a folyamatok mély értését kívánja meg. Molnár György értekezése ezt hően tükrözi.

Az értekezés egy szép kísérleti munkásság főbb eredményeit foglalja össze, azokat beillesztve a „történelmi korokba”. Ez annyit tesz, hogy minden egyes rendszer esetében világosan leírásra került, hogy miért kezdték el vizsgálni, és miért pont akkor. Lehet, hogy pl. valami az ezredfordulón technológiailag ígéretes volt, s ezért akkor elkezdték azt vizsgálni, jöllehet azóta kiderült, hogy esetleg mégsem vált be az alkalmazásokban. Mindez segíti az olvasót eligazodni, és ugyanakkor rendszert is teremt a sok vizsgált szerkezet között.

Kijelenthető, hogy a *téma minden vonatkozásában megfelel annak, hogy egy MTA doktori értekezés alapjául szolgáljon.*

Összességében elmondható, hogy a benyújtott értekezés maradéktalanul eleget tesz az elvárásoknak.

AZ ÉRTEKEZÉS SZERKEZETE, TARTALMI ÉSZREVÉTELEK

A magyar nyelven íródott értekezés tartalomjegyzékkel, majd egy Bevezetés és célkitűzések című fejezettel kezdődik. Maga az értekezés tizenkét számozott fejezetre tagolódik, melyek mindegyike több alfejezetet is tartalmaz.

Az értekezés első számozott fejezete a nanotechnológia, a szilicidok, a szilárdfázisú reakciók, a deformáció indukálta önszerveződés fogalmaiba vezeti be az olvasót, némi történelmi áttekintést is adva. A második fejezet az alapvető kísérleti módszereket mutatja be, értelemszerűen elsősorban a vákuumpárologtatásra fókuszálva, míg az előállított szerkezeteket vizsgáló, minősítő eljárásokról rövidebb emlékeztetőt kap az olvasó.

Az ezt követő 3-11. fejezetek a tudományos munkát és azok eredményeit foglalják össze. Szinte egy kibővített tézisfüzetként is felfoghatók, annyire szorosan követi egy mást a tézisfüzet és az értekezés szerkezete.

Az utolsó, tizenkettedik számozott fejezet az Új tudományos eredmények – tézispontok címet viseli, melyet a Publikációs jegyzék, a Köszönetnyilvánítás és a Hivatkozások követnek. Az értekezés összesen 134 számozott oldal terjedelmű.

BÍRÁLAT

Molnár György MTA doktori értekezéséről

MÉRETFÜGGŐ FIZIKAI JELENSÉGEK VÁKUUMPÁROLOGTATÁSSAL KÉSZÜLT NANOSZERKEZETEBEN

Az értekezés szerkezete logikus, jól szerkesztett, könnyen követhető. Maga az értekezés könnyen olvasható, nyelvezete kellemes. Talán csak egy-két helyen éreztem, hogy egy-egy idegen eredetű szó helyett gördülékenyebb lett volna a magyar megfelelője.

Az értekezés gondosan szerkesztett, talán annyit kivetni valót találhatunk, hogy bár az ábrák olvashatók, de egy-két ábra kissé kicsire sikerült, valamint a mikroszkópos képeket a nyomtatás nem mindig tudta kellő mértékben visszaadni. Ezen felül számomra szokatlan volt, hogy az új fejezetek címei nem kaptak némi hangsúlyosabb megkülönböztetést az alfejezetek címeitől – szinte azonos betűmérettel és típussal kerültek szedésre. Ez kissé nehezítette a visszalapozás során a tájékozódást is.

KÉRDÉSEK

1. FEJEZETHEZ

Azt írja, hogy a vékonyréteg szilárdfázisú reakciók leírása nem lezárt terület még ma sem. Ezzel messzemenően egyet tudok érteni. Az értekezést olvasva végig az az érzésem volt, hogy a szilárdfázisú reakciók tárgyalása során túlzottan élesen elkülönül a nukleáció és a diffúzió/reakció kontrollált folyamat. Mintha a kettő egymás alternatívája lenne, holott sokak véleménye szerint inkább egymást követik. A klasszikus, fenomenológikus lineáris-parabolikus törvény szerint is először lineáris a folyamat, majd az megy át parabolikusba (négyzetgyökösbe). Ez az, amit hagyományosan reakció és diffúzió kontrollnak szoktak nevezni. A lineáris, reakció kontrollált részt sokan éppen a nukleációval azonosítják, még nem összefüggő a reakcióréteg. Majd amint azzá lesz, már parabolikusba vált, a diffúzió kontrollálja a növekedését. Ezzel még inkább összevonják a nukleáció és a reakció kontrollált szakaszokat.

Ezzel a képpel, mármint ami a kinetikát illeti, én csak részben tudok egyetérteni, mert ennyire nem általánosíthatók a folyamatok, nem húzható rá ez a séma minden rendszerre és folyamatra. Pl. munkatársainkkal mi is rámutattunk, hogy a lineáris kinetika megfigyelhető tiszta diffúzió esetén is, ami idővel parabolikusba megy át (pl. Balogh Z et al. APL 92:(14) Paper 143104 (2008)), de összefüggő termékfázis is növekedhet lineárishoz közeli és parabolikus kinetika szerint is egyazon rendszerben (pl. Párditka et al., SCRIPTA MAT. 149: pp. 36-39 (2018)).

- Mi a véleménye egy olyan vékonyréteg nukleációs és növekedési képről, miszerint minden folyamat a termékfázis nukleációjával kezdődik, ami a kezdeti határfelületnél egyre növekedő nukleuszsűrűséget eredményez, majd, amikor a nukleuszok összenőnek réteggé, azután beszélhetünk a termékréteg kvázi stacionárius növekedéséről? (Kivéve, ha a termékfázist is legyártjuk a mintakészítésnél a határfelületen, mert akkor az első szakasz kimarad.) Ennek kinetikája pedig már ismét sok mindentől függhet.
- Ha a fenti kép elfogadható, akkor véleménye szerint a saját kísérleteiben nukleációs növekedési módként azonosított esetekben elképzelhető-e, hogy hosszabb hőkezelések

BÍRÁLAT

Molnár György MTA doktori értekezéséről

MÉRETFÜGGŐ FIZIKAI JELENSÉGEK VÁKUUMPÁROLOGTATÁSSAL KÉSZÜLT NANOSZERKEZETEKBE

esetében folytonos rétegek (még ha durva határfelületűek is) jöttek volna létre, melyek időben vastagodtak volna?

- Ebben a fejezetben és később is említi, hogy létezik egy küszöbhőmérséklet, ami felett a reakció beindul. Természetesen, ha pl. egy termékfázis csak egy bizonyos hőmérséklet felett létezik, akkor ez egyértelmű, de nem arról van inkább szó, hogy a hőmérséklet indukált diffúziós, reaktív diffúziós folyamatok sokszor a hőmérséklettől exponenciálisan függenek, és ez az oka, hogy akár csak 20-30 fokkal megnövelve a hőmérsékletet a folyamatok lényegesen begyorsulnak, küszöbhőmérséklet látszatát keltve?

Megjegyzések:

- Diffúziós állandót használ a szövegben. Diffúzióval foglalkozók inkább együttthatónak szeretik nevezni, mert a diffúziót leíró mennyiség minden csak nem állandó, függ a hőmérséklettől, összetételtől, nyomástól stb.
- 12. oldal: „Ha az α -t és γ -t megfelelőképpen végtelennek és nullának választjuk”. Nem egynek és nullának?

3. FEJEZETHEZ

- A 37. oldal utolsó bekezdésében leírt mintakészítési mód célja nem világos. Csupán a 40. oldal tetején kapunk némi ötletet arra vonatkozólag, hogy miért így készültek a minták, miért nem maratták le a természetes oxidot HF-ben, miért maratták le később a Ti réteget stb. Részletezze, kérem, az egyes lépések célját!

6. FEJEZETHEZ

- „A kiinduló vas rétegek vastagsága rendre: 5 nm, 7,5 nm, ...” Ezek a rétegek folytonosak voltak mind? Vizsgálták a kiindulási rétegek morfológiáját?
- A szilárdfázisú reakció vastagságfüggését a kritikus nukleusmérettel magyarázták. A kísérleti eredményekből adtak egy becslést is erre a méreetre. Nem próbálták meg termodinamikai adatokból becsülni is ezt a méretet? Pl. CALPHAD adatbázisban fellelhető adatokból? Néha meglepő (kedvező) eredmények jönnek ki. (pl. M Ibrahim et al. ACTA MAT. 76: pp. 306-313 (2014))

7. FEJEZETHEZ

- 65. oldal: Azt írja, hogy „Fűtött Si használatával ez a nukleáció kontrollált folyamat kiküszöbölhető...”. Kapcsolódóan az 1. fejezethez írtakhoz és kérdésekhez, nem arról van inkább szó, hogy időben nagyon lerövidül a nukleációs szakasz, s így szinte eltűnik a későbbi folyamatokhoz képest?
- 66. oldal: „i.) 1,5 nm, 3 nm. 4,5 nm, ...”. A vékonyabbak biztosan nem folytonos rétegek. Ezeket nominális rétegvastagságnak kell érteni, úgy ahogyan egy későbbi fejezetben ezt le is írja?

BÍRÁLAT

Molnár György MTA doktori értekezéséről

MÉRETFÜGGŐ FIZIKAI JELENSÉGEK VÁKUUMPÁROLOGTATÁSSAL KÉSZÜLT NANOSZERKEZETEK BEN

- 66. oldal: Magas hőmérsékletű párologtatás hatását vizsgálta. Magas hőmérsékletű párologtatás esetén a felületre érkező atomok felületi diffúziója minden bizonnyal nagyon jelentős. Így nem értem, hogy mi volt iii.) szerepe, azaz a szobahőmérsékleten párologtatott vasréteg morfológiájának ellenőrzése. Ez véleményem szerint semmilyen referenciául nem szolgál i.)-hez és ii.)-hez, azaz a magas hőmérsékleten gyártott és tartott vasrétegek morfológiájának vizsgálatához. Ezért nem vonható le az a következtetés, hogy a vas-szilicid szigetessé válása nem a kezdeti vas eloszlás következménye. Szerintem iii.) nélkül is kijelenthető, hogy a felületi morfológia a vasatomok Si hordozón való felületi diffúziójával kapcsolatos.

8. FEJEZETHEZ

- 88. oldal, utolsó bekezdés: „Ez a geometriai jellemző a nukleáció kontrollált típusú, szilárdfázisú, szilicid-képző reakcióra.” Az 1. fejezethez írtakhoz kapcsolódóan, ez nem fogható fel úgy, hogy ez (a körök megjelenése) annak köszönhető, hogy a nukleáció egymástól távoli helyeken (ritkán) indul csak be, és azok terei nem lapolnak át? Ha pedig egy reakcióban nincsenek körök, akkor pedig sűrűn vannak nukleációs helyek, a tereik átlapolnak, a nukleuszok összenőnek? Az az érzése támad az embernek, hogy ha van elég anyag és idő, akkor a körök eltűnnek, és egy réteg keletkezik (még ha az nem is szép sima).

9. FEJEZETHEZ

- A 90-91. oldalon az szerepel, hogy a hordozóra az oxidot pedig kétféleképpen növesztették: 1100 fokon száraz oxigénben (100 nm), vagy kémiai oxidálással (2,5 nm). Erre Ge-ot extrém tiszta körülmények között kellett leválasztani, majd azt CVD-vel SiO₂-vel vonták be, ami szintén kémiai módszer. Mint tudjuk a kémiai módszerek nem éppen a legtisztábbak. Kérdésem, hogy a hordozóra növesztett oxid tisztasága, és vastagsága befolyásolta-e az eredményeket? Ha nem, akkor lehetséges, hogy ennek magyarázata az, hogy mindkét esetben CVD-vel készült a fedő oxidréteg és így az „semlegesítette” a tisztább oxidot?

Összegzőképpen elmondható, hogy a munka jól felépített, technikai és elméleti szempontból jól megalapozott háttéren nyugszik. Az értekezés jól átgondolt, szerkezete logikus. A benyújtott értekezés keretein belül végzett munka értékes, új tudományos eredményeket tartalmaz. Ezért a tézispontokat új tudományos eredményként ismerem el.

A tézisekhez kapcsolódó tudományos közlemények színvonala és száma meggyőző. Ezért az értekezés nyilvános vitára való bocsátását, valamint sikeres védelem esetén az MTA doktori cím odaítélését javaslom.

Debrecen, 2018. február 28.

.....
Erdélyi Zoltán