

Bírálati vélemény Volk János  
RENDEZETT CINK-OXID NANOSZÁLAK  
című doktori értekezéséről\_

Manapság az alacsony-dimenziós rendszerekkel való foglalkozás egyre intenzívebb. A tömbtől eltérő tulajdonságok és az ebből is eredeztethető alkalmazási lehetőségek széles skálája foglalkoztatja az alapkutatókat és az innovációs szférákat egyaránt. A 2D rendszerek az ún. kvantumvölgyek integrálása a félvezető eszközökbe már szinte mindennapos. A 0D rendszerek, az ún. kvantumpontok akár kolloidális, akár szilárdtest felületére növesztett szintén részei már a technológiának. A nanoszálak, sérülékenyséjük okán jobbra még kutatási szinten állnak. Ezen a területen végzett kiváló kutató munkát a jelölt, amit a dolgozatában tárgyal.

Volk János a dolgozatában a rendezett ZnO nanoszálak növesztésével és vizsgálatával foglalkozik, melyet a saját kutatóhelyén és nemzetközi kooperációban végzett. A 117 oldalas dolgozat 8 fejezetre tagolódik. A bevezetés után egy 15 oldalas szakirodalmi áttekintés következik, melyben a következő részek megértéséhez szükséges háttérinformációkat adja meg. Itt a geometriai, mechanikai és az elektromos tulajdonságokat, majd a technológiát tárgyalja. Ez után a kísérletek eszközeit mutatja be. Innen kezdve a saját munka és eredmények tárgyalásával folytatódik mintegy ötven oldal erejéig. Itt van szó a ZnO nanoszálak előállításáról és ezek vizsgálatáról. Ezt zárja egy összefoglaló a tézisekkel majd a függelék következik. A dolgozatot 182 tételes irodalomjegyzék zárja.

A dolgozat LaTeX-el íródott, mely garantálja az áttekinthető, rendezett külalakot. A dolgozat színvonalát emeli a sok szép kivitelű, informatív ábra. A szerző az eredményeit hét tézisben foglalja össze. A téziseket 14 folyóirat- ill. konferencia-publikációval támasztja alá. A folyóirat cikkek közül 5 igen magas impaktal rendelkeznek. Példaképpen említendő pl. a Nature Communications. Ezen magas impaktú folyóiratpublikációk közül kettőben első-szerző. Összességében megállapítható, hogy a dolgozat formai és tartalmi szempontból teljes mértékben kielégíti a benyújtáshoz szükséges feltételeket.

A továbbiakban a bíráló a dolgozathoz fűzött kérdései és megjegyzései következnek.

A ZnO nanoszálak előállítására első ízben kristályos ZnO hordozón történt, ahol a szerző a 29. oldalon azt írja: „Célom az volt, hogy kémiai tisztítással és hőkezeléssel atomi lépcsőkkel fedett, rekonstrukciótól mentes felületet hozzak létre.” A kérdés: hogyan próbálta elérni a rekonstrukció-mentes felületet? Ezt hogyan ellenőrizte?

A következő oldalon, a 4.2. ábrán a szerző szép felvételeken mutatja a felületkezelés utáni állapotot, ahol ezt írja: „Zn-poláros felület esetén a teraszos felület lépcsői  $c/2$ , míg az O-poláros oldalon  $c$  magasságúak.” Mi ennek a különbözőségnek az oka?

A rákövetkező oldalon a 4.4. ábrára utaló szövegben ez olvasható: „A különböző polaritású felületen (Zn és O), különböző növesztési ablakmérettel, rácsállandóval és növesztési körülmények között keletkezett ZnO nanorúd-tömbökről készült montázs...” A képhez tartozó aláírásban nem található utalás a felület polaritására. (Területszelektív nedveskémiai módszerrel (SA-WCG) ZnO egykristályra növesztett nanoszerkezetekről készült SEM (a-e), ill. TEM (f) felvételek.)

A vékonyréteg leválasztások esetében volt polikristályos és nem polikristályos is. Az utóbbi esetben lehetett-e tudni, meghatározni a felület milyen termináltságú?

A szerző megállapítja: „megfigyelhető, hogy a PMMA felett szabadon nőtt kristályszegek enyhén kúpos alakú, ami kisebb vagy nagyobb mértékben mindegyik hasonló technikával növesztett nanoszálra jellemző.” Továbbá: „kísérletekből az is kiderült, hogy a nanoszálak hossza a növesztési idővel és az oldat töménységével növelhető.” Valamint: „A nanoszálak oldalirányú megvastagodása ezeken túl még függ a nanoszálak közötti távolságtól is” A megfigyelések szerint ez a kónuszosság összefüggésben van a növekedés kinetikájával, de szerepe lehet-e itt további effektusnak is?

A 38. oldalon szerepel: „A kísérletsorozatot Zn-poláros (0001) ZnO egykristállyal végeztük el különböző névleges átmérőjű (180, 350, 430, 500, 700 nm) polisztírol kolloid (MicroParticle) felhasználásával.” Miért éppen ez a felület? Van ennek jelentősége?

Az 5.1. fejezet a nanoszálak rugalmasságának mérésével foglalkozik. Az olvasót egyszerűen lenyűgözi az a technika ahogyan az AFM tú nanoszálon való elmozdulását megakadályozza, ékesen bizonyítva, hogy a szerző a kísérletek területen való jártasságát.

A nanoszál erős hajlítása után maradandó deformációt szenved. „Visszagörbítés” esetén változik-e a kiinduló elektromos sáv szerkezet? Volt-e erre CL kísérlet? Ha nem, mi a véleménye?

A hajlítási kísérleteknél a merevbefogást illetően volt-e befolyása annak, hogy a hordozó kristályos, polikristályos vagy egyéb tulajdonsága volt?

A 75. oldalon írja a szerző: „SEM felvételen látszik, hogy gyakoriak a mikrorepedések a magréteg és a növesztett kristály közötti átmeneteknél”. Mi a véleménye hogyan javítható ill. lenne el kerülhető a jelenség?

A 6. fejezet alkalmazás-orientált projektje, a nanoszál-alapú elektromechanikus szenzorikai fejlesztés, megmutatta, hogy a szerző sikeresen megbírkózik egy ilyen sok-szereplős munkában való aktív részvétellel ill. eredményes koordinálásával.

Végezetül a tézisekről:

Az 1. tézis: Az újszerű epitaxiás ZnO nanoszál növesztésre vonatkozó tézist elfogadom.

A 2. tézis: A tézis a különböző hordozóra növesztett vékonyréteg ZnO és az erre növesztett nanoszál tulajdonságainak összefüggéséről szól, melyet szintén elfogadom.

A 3. tézis: Ez a nagy felületeken létrehozható alternatív template-kkel foglalkozik, mely a kísérletek tanúsága szerint működik, tehát elfogadom.

A 4. tézis: A hajlítási kísérletekkel és az eredményes modulus meghatározásával foglalkozik. A tézist elfogadom.

Az 5. tézis: A tézis a hajlításnak kitett struktúra elektronikus sáv szerkezet paramétereinek meghatározására irányul. A tézist elfogadom.

A 6. tézis: Si technológiával kompatibilis technika kialakítása taktilisérzékelő létrehozására, továbbá ezek mérése. A tézist elfogadom.

A 7. tézis: Elsőként demonstrálta az inverz módon tervezett ZnO oszlopokkal létrehozott fononikus kristályt. A tézist elfogadom.

A munka nyilvános vitára bocsátását javaslom. Eredményes védelem esetén a cím megítélését támogatom.

Nemcsics Ákos MTA-Doktora  
egyetemi tanár

Budapest, 2024 szeptember