

## Opponensi vélemény Nemcsics Ákos: „III-V –based Low-dimensional Structures” című MTA doktori értekezéséről.

A disszertáció témája a III-V vegyületfélvezető anyagú alacsonydimenziós struktúrák, ezen belül első sorban ezen struktúrák előállításának technológiája és az elkészült struktúrák vizsgálata. A nanotechnika és ezen belül a nanoelektronika korunk nagy kihívása, ezen témakörben nemzetközileg intenzív kutatómunka folyik, számos kutatóhelyen. A nanoelektronikai kutatásoknak az ad nagy ösztönző erőt, hogy a mindennapi életünket az utóbbi időkben forradalmasító mikroelektronika alapját képező félvezető eszközök méretcsökkentésének tovább folytatása és így az egyre többre képes mikroelektronikai áramkörök létrehozása a közeljövőben már valószínűleg akadályokba fog ütközni. A további fejlődés biztosítására elengedhetetlen új, kvantumelektronikai elven működő nanoeszközök létrehozása. A vizsgált dolgozat témája, eredményei ezen kutatások körébe sorolhatók, így a téma korszerűsége és aktualitása minden kétségen felül áll.

A dolgozat öt fejezetből áll. Az első fejezet egy rövid bevezetés, a választott téma áttekintését adja. A dolgozat majdnem felét teszi ki a második fejezet, amely a választott téma tudományos és technológiai háttérét ismerteti. Habár a fejezet végén a szerző ismerteti saját új tudományos eredményeit is a sűrűsített elektronikus vizsgálatokkal kapcsolatban, ez a fejezet aránytalanul nagy a többihez képest, és abban több közismert alapismeretet is részletesen tárgyal. Ennek következtében a dolgozat második felében kissé összezsúfolódik a saját kutatások ismertetése. A 4. fejezet például mindössze öt oldalból áll. A harmadik fejezet a kétdimenziós nanostruktúrák előállításával és vizsgálatával foglalkozik tíz-oldalnyi terjedelemben. A negyedik fejezet a szerzőnek az egydimenziós nanostruktúrák technológiájának és mérésének területén végzett kutatásait foglalja össze meglehetősen röviden. Az ötödik fejezet pedig a zérus dimenziójú nanostruktúrák vagy kvantumpöttyök, kvantumpontok technológiájának és mérésének kutatását ismerteti a csepp epitaxiás kvantumpontokkal és kvantumgyűrűkkel kapcsolatban. Ez egy lényegesen hosszabb és jelentősebb fejezet (37 oldal), eredményeit három tétel (5., 6. és 7.) is tartalmazza. Ezt a fejezetet a dolgozat legértékesebb részének tartom. A záró megjegyzésekből úgy tűnik, hogy a szerzőnek is ez a véleménye. A dolgozat végén bő, 286 tételből álló irodalomjegyzék található, mely a téma nemzetközi irodalmát ismerteti, köztük a szerző saját publikációit is. Kár hogy ebben a listában nem szerepelnek a publikációk címei. Mint ahogy azt a habitusvizsgálat is megállapította, a szerző kiemelkedő publikációs tevékenységet folytatott, mely messze kielégíti az akadémia doktora cím elnyerésével kapcsolatos követelményeket. A szerző további érdeme, hogy kutatásait széles nemzetközi együttműködésben végezte. A publikációi tipikusan többszerzősek, a szerzőtársak jelentős része külföldi kutató. További érdeme a nanoelektronikai kutatásokhoz nélkülözhetetlen molekulasugaras epitaxia technológiájának honi megalapításában kifejtett tevékenysége.

Ilyen szakmai háttér mellett a dolgozat maga kicsit gyengébbre sikerült. Dicséretes, hogy a dolgozat angol nyelven készült el, így a téma művelői és első sorban a külföldi kutatótársak is jól felhasználhatják. Ez a tény azonban a problémák egyik forrása is. A szöveget sok elírás, szerkesztési hiba (a szövegszerkesztő bosszúja stb.) rontja el. Több olyan mondat is van, ahol hiányzik az állítmány, ezt bepótolandó találtam olyat is, ahol kettő is van. Előfordult az alany hiánya is. A többesszám-egyesszám egyeztetések is olykor hibásak, jelző és határozó összecserélése előfordul stb. Oldalanként akár két-három hiba is előfordulhat. Az értekezés kinyomtatott változatán nehezebb lenne változtatni, meg kisebb a publicitása is, viszont az elektronikus változatát okvetlenül szükséges lenne egy nyelvi lektor bevonásával kijavítani, hiszen ez a változat az interneten keresztül széles körben

hozzáférhető. A dolgozatban alig található képlet, a magyarázatok szinte kizárólag kvalitatívak. Ez betudható a kutatási terület jellegzetességének is. Egyszerűbb, becslésre szolgáló kvantitatív modellek megalkotása hasznos lett volna. A 2. fejezet végén röviden megemlítsük, hogy a RHEED jelek kiértékelésére szolgáló számítógép program. Ez a szerző saját munkája, vagy a szerzőtársé? A tézispontokban ez nem szerepel.

Néhány, nem a szöveggel kapcsolatos megjegyzés:

A 2.1 ábrán a megengedett állapotok sűrűségére  $N$  szerepel, míg a szövegben a szokásos  $g$ .

A 15. oldal alján található képletbe, ha a szövegben megadott  $c=2$  és  $p=2$  értékeket behelyettesítjük, akkor  $f$ -re nem 1, hanem 2 adódik.

21. o. alul az Arrhenius törvény kitevőjében hiányzik a negatív előjel.

30. o. 2.4.1. első bekezdés alján az energia egysége fokban van megadva?

37.o. 2.19.b ábra azt illusztrálja, amikor az elektron részecske természete dominál. Akkor miért vonalas a spektrum?

41.o. A (2.4) képletben a gyökjel alatt valószínűleg hiba van, dimenzió nélküli számhoz (1) ad hozzá dimenziós (energia) mennyiséget.

43.o. 2.23 ábrán az ábraaláírással ellentétben nem  $N=36$  hanem  $N \times N=36$ , azaz  $N=6$

44.o. alulról 8. sorban a nem létező Fig.1.-re történik hivatkozás. Nem inkább a Fig. 2.18 lenne helyes?

47.o. A hiszterézis nagysága nem változik a hőmérsékletváltozás sebességének függvényében? Az oldal közepén elírás, Ga helyett Ge található.

49.o. A 2.28 ábrán a telt és üres körök nincsenek felcserélve? A 2.27. ábra szerint a telt körök As, az üresek In/Ga atomokat jelentenek. A szöveg szerint alacsony hőmérsékleten arzénben gazdag a felület, magas hőmérsékleten In/Ga-ban. Az ábrán pont az ellenkezője látható.

50.o. An helyett  $A_n$  írandó.

56.o.  $x$  az indium arányra vonatkozik?  $X$  értéke a szöveg szerint 0 és 0,4 között változott, míg az 57. o. szerint 3% és 30% között.

57.o. A 3.1 képlet szerint  $\tau_d$  idő dimenziójú, ugyanakkor a 3.1.2. fejezet utolsó két sorában közölt képlet szerint dimenzió nélküli, mivel  $a$  és  $c$  paraméterek is dimenzió nélküliként vannak megadva.

58.o. Oldal alján  $\tau_{GaAs}=2,61$  s, az 59. oldalon pedig  $\tau_{InGaAs}=2,61$  s van megadva, miközben a 3.1. ábra szerint  $\tau$  függ az In aránytól.

68.o. Hol van Table 1.? Csak nem a 4.2. ábra alján található vékony keskeny csík?

75.o. 5.2.2. fejezet. Hol van Fig.1.a.? A szövegnek a Fig.21.a. felelne meg, de az sokkal hátrébb található.

92.o. Szellemes az NH képződés leírása a Ga csepp nagyságának függvényében.

Kérdés, hogy a Ga cseppben az oldékonyság gyorsabban növekszik-e a méret csökkenésével, mint ahogyan a csepp térfogata csökken? Az nem játszik esetleges szerepet, hogy a cseppméret csökkenésével csökken a távolság a csepp közepe, azaz a kioldódás helye és a csepp pereme, azaz a kristályosodás helye között, ami növeli a GaAs molekulák diffúzióját?

97. és 98. oldalakon az 5.14. és 5.15. ábrák teteje alig látszik.

5.16. ábrán mit jelentenek a kék körök és fekete négyzetek? Szövegben, ábraaláírásban nincsen rá utalás.

102.o. 5.12.B ábrán a függőleges tengelyen  $\Delta E_g$  dimenziójára nm van megadva.

A tézisek vonatkozásában a 3. tézishoz hasonló részt a 3.3 fejezetben találtam. Ebben viszont több olyan dolgot nem találtam meg, mint amire a téziscsoport hivatkozik.

Ilyen például a felületi érdességi szám, a töltéshordozók élettartama, Hall mozgékonyság. Ha szerepelnek a megadott publikációban, miért nem szerepelnek a

dolgozatban? A 3.4. altézisben mi értendő önhasonló tulajdonság alatt? A 4. tézis egy kis fejezet egyszerű ténymagyarázatait tartalmazza. A többi tézisre nincsen megjegyzésem, azokat elfogadom.

Az itt felsorolt zömében formai problémák nem csökkentik a dolgozat mögött álló nagy kutatómunka értékét és a jelölt alkalmasságát az „Akadémia doktora” címre. Javaslom a dolgozat vitára bocsátását. A felsorolt problémák azonban mindenképpen kijavítandók.

Budapest, 2013.02.05

Zólogy Imre  
a műszaki tudomány doktora