

Volk János: Rendezett Cink-Oxid Nanoszálak c. értekezésének

Bírálata

A vizsgált dolgozat egy 8 fejezetet tartalmazó, 110 oldalas értekezés, amelyből az első 7 fejezet a téma általános tematikai ismertetése. A 8. fejezet tartalmazza a 7 tézispontot a kapcsolódó irodalmi hivatkozásokkal, valamint a kapott eredmények hasznosításával kapcsolatos megállapításokat.

A dolgozat Függelékkel és a témához kapcsolódó közel teljes irodalom-jegyzékkel egészül ki.

1. Fejezet. Bevezetés. A fejezet először fém-oxid elektronika általános tulajdonságaival, ezen belül is ezek várható jövőjével foglalkozik, tekintettel a magában foglaló különféle érzékelőkkel. Tárgyalja ezen kívül a hangolható széles tilos-sáv előnyeit, valamint a ferromágnesesség és a piezoelektromosság terén jelentkező előnyöket.

2. Fejezet. A jelölt egy irodalmi áttekintés áttekintést ad a dolgozatban szereplő módszerekről és egyes további kiegészítő információkról, kristálytani felépítésekről, valamint ennek mechanikai és piezoelektromos tulajdonságairól, beleértve megnyúlás vizsgálatát. Ezt követően az eszköz félvezető tulajdonságait mutatja be az adalékolások és a hibahelyek szemszögéből, majd a fém-ZnO átmenetek, a Shottky-diódák, valamint piezo-effektusok tárgyalása után a ZnO nanoszálakkal, mint mechanikai feszültséggel vezérelt tranzisztoroknak a robotikai alkalmazásaival is foglalkozik, benne a humán protézisek lehetőségeivel is. Végül részletes leírást ad a dolgozatban alapvető szerepet játszó nedves kémiai növesztéseket illetően.

3. A harmadik fejezet a munka során gyakran alkalmazott Pásztázó elektronmikroszkópiás technikák (Scanning) és pásztázó tűszondás mérésekkel (AFM-atomierő-mikroszkópia) foglalkozik.

4.-7. Fejezetek. Ezek a fejezetek tárgyalják az olvasó számára fontos ZnO nanoszálak növesztése, a nanoszálak vizsgálata, a nanoszál alapú elekromechanikai rendszerek, valamint az inverz módon tervezett aperiodikus fotonikus kristály részletes leírását

Az aperiodikus fotonikus kristály tárgyalásával foglalkozó részben a bírálót a „tervezett rendben” növesztett ZnO nanorudaknak a lézernyalábot „fókuszáló” képessége fogta meg, amikor is önkénytelenül a „Galton-deszkára” kellett gondolnia.

Kérdésem tehát a jelölthöz (bár megválaszolásához nem ragaszkodom), hogy egy adott, megvalósítandó függvény szerint létrehozott „nanoszál-Galtondeszka” nem alkalmazható-e egy analóg értéket hordozó lézernyalábnak a - mondjuk így - „processzálására”, vagyis egy végtelenül gyors analog művelet-végrehajtónak a megvalósítására? Ez ugyanis hihetetlenül gyors számítási sebességet eredményezhetne....

8.1 Fejezet. Tézisek

1. Tézis. ZnO szál növesztése a nedveskémiai és az elektronsugaras direkt írásos technika ötvözésével.

A jelölt új eljárást dolgozott ki ZnO nanoszálak növesztésére, amelyekkel előre definiált hangolható átmérőjű és hosszúságú nanoszálak hozhatók létre. Az eljárás nedveskémiai növesztést és elektronsugaras direkt írásos technikát alkalmaz, amellyel a szálak átmérőjében sikerült 2%-nál kisebb szórást elérni.

A jelölt a dolgozatban ismerteti a felhasznált anyagokat, a technológia egyes lépéseit, a kapott nanoszálak jellemző paramétereit és azok eloszlását, továbbá a munka rendkívül sok apró, de fontos részletét, ami a jelölt rendkívül magas szintű jártasságát igazolja az adott témában

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

2. Tézis. Nanoszál növesztése vékonyrétegre

A jelölt az egykristályos hordozóra növesztett ZnO szálak hat különféle alternatív változatának vizsgálatával igazolta, hogy a kapott minták kristályszerkezetét és orientációját elsődlegesen a hordozó felületének kristálytani szerkezete határozza meg.

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

3. Tézis. Alternatív mintázási módszerek

A tézis lényegében a finom mintázat létrehozásának két különböző módszerét mutatja be, nevezetesen a mikrogömbök alkalmazásának módszerét (a), valamint a nanoimprint eljárást (b).

Az első technológiai megoldásnál a mintázat nem közvetlen leképezéssel, hanem egy közbenső lépés beiktatásával finomítható. A művelet lépéseit a 4.10 ábra mutatja be, amelyen mint látható, a ZnO felületre lehelyezett kolloid részecskék megfelelő összenyomásával nanogömbök jöttek létre amelyek ezt követően mint egyedi gömblencsék fókuszálják a fényt az alattuk levő fotoérzékeny rétegre. A módszert a jelölt egy elsőszerzős cikkben ismertette.

A második módszer a nanoimprint eljárást alkalmazza, amelynek lényege, hogy a mintázatot tartalmazó dombor-nyomott maszkot a felvitt puha polimerbe nyomjuk, átképezve ilyen módon a mintázatot. A jelölt ezen megoldás kidolgozása során nagyszámú kombinációt vizsgált meg, amellyel meghatározhatók egyes rendkívül gazdaságos eljárások a ZnO szálak létrehozására. A kidolgozott imprint technológia lépéseit a 4.12 ábra mutatja be. A módszert az *Applied Physics Express* közölte le.

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

4. Tézis. Mechanikai minősítés

A ZnO nanoszálak mechanikai szilárdságának meghatározása nem könnyű feladat. A jelölt ennek megoldására az 5.2 ábrán jól látható elrendezést vezette be, amelynél a nanoszálak hajlítása egy pásztázó elektronmikroszkópban hitelesített pozíciójú AFM tű segítségével történik. A hajlítás során kapott nanoszál-elhajlás alapján jó adaatok voltak nyerhetők a keresett szilárdsági mutatóra. A pontosságot tovább növelte egy előzőleg laterális válaszjelre kalibrált szonda alkalmazásával. A jelölt idevonatkozó eredményeit a *Nanomaterials* folyóiratban első helyes szerzőként publikálta.

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

5. Tézis. Katódlumineszcencia mérések

A tézis állítása szerint a jelölt először mutatta ki, hogy a megfelelő gúla alakú nanoszál milyen tartományokra bontható, valamint, hogy ezek növekedési sebessége és donorkoncentrációja hogyan alakul, továbbá, hogy mikro-manipulátorral terhelt nanoszálak esetén a tilos sáv és rugalmassági határ milyen értékekkel jellemezhető.

A Japánban végzett munka két színvonalas japán szakfolyóiratban lett publikálva, ahol a jelölt, mint jelentős munkatárs, társszerzőként szerepel.

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

6. Tézis.

A 6. tézis a jelöltnek a ZnO nanoszál alapú elektromechanika terén elért eredményeit foglalja össze. Az egyidejűleg alakult PPKE Informatikai Karon hasonló (az egykori KFKI MFA-val közösen) hasonló kutatás indult el, de mikroelektronikai alapon. Így a részleteket jól ismerem. Ebben lényegében egy üregegen átívelő 4-lábú mikrohíddal próbálkoztunk. A feladat a 3D-s erőmérés volt. A jelölt ezt az optimalizált technológiájú ZnO szálak kötegével valósította meg. Nagyszerű munka tárul itt fel, rengeteg mikrotechnológiai lépéssel és különféle mérésekkel!

Külön megragadott az itt alkalmazott, a ZnO-szálak laterális hajlítását bemutató 6.6/a ábra, amely jól mutatja, hogy már milyen közel jár a tudomány a nanoméretű szerkezetek alkalmazásához. Ha fizika-tanár lennék, feltétlenül megmutatnám ezt az ábrát a fizika iránt érdeklődő középiskolás diákoknak!

Kérdésem ezzel kapcsolatban a jelölthöz, hogy az ezen ábrán jelölt hajlítások során volt-e valamilyen elváltozás struktúrán, ami az I-V görbén jelentkezne?

Külön említést érdemel a 6.1.2 alfejezetben tárgyalt mintakészítési eljárás, amely ez említett mikro-szálás koszorú „befedésével” egy felső támaszt valósít meg, ezzel is javítva az eszköz pontosságát.

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

7. Tézis. Aperiodikus fotonikus kristály

A tézis inverz módon tervezet aperiodikus fotonikus kristályokkal foglalkozik, melyekkel különböző hullámhosszú lézer fénynyalábok fókuszálhatóak. Az ebben elért eredményeit egy neves folyóiratban első-szerzőként publikálta.

A tézist új tudományos eredményként elfogadom.

A ZnO nanoszálak témakörében összesen 28 idézett, színvonalas folyóiratokban megjelent publikáció közül 14 közvetlenül kapcsolódik a fent tárgyalt tézispontokhoz.

8.2 fejezet. Hasznosítás és kitekintés

A jelöltnek a témában végzett munkája számos rangos nemzetközi projektben való részvételre és további tudományos együttműködésekre adott lehetőséget, ami már önmagában is igen hasznosnak tekinthető. További áttételes hasznosulásnak tekinthető, hogy a jelölt részt vett a posztgraduális képzésben

A ZnO nanoszálak iránti tudományos érdeklődés (egyébként a jelölt véleménye szerint is) időközben jelentősen csökkent, mivel ipari alkalmazására ez ideig nem került sor.

Összefoglalva a bíráló megállapításait, az értekezést megfelelő színvonalúnak találom, hogy a tézisek nyilvános megvédésére sor kerüljön.

Budapest, 2024. máj. 24.



.....

Kovács Ferenc
az MTA Doktora, professor emeritus
Pázmány Péter Katolikus Egyetem, ITK