

Volk János téziseiben összefoglalt eredményeit a bíráló bizottság az alábbiak szerint fogadja el új tudományos eredménynek:

T1. Új eljárást dolgozott ki ZnO nanoszálak homoepitaxiális növesztésére, mellyel nagyfokú geometriai homogenitás mellett, előre definiált mintázatokban hozhatók létre hangolható átmérőjű és hosszúságú egykristályok. A területszelektív nedveskémiai növesztés ötvözi az elektronsugaras direkt írásos technikát az alulról felfelé történő hidrotermális növesztéssel. A homoepitaxiálisan növesztett kristályok átmérőjét a 90– 330 nm tartományban változtatta, melynek során a hatszög alapú hasábok át mérőjében sikerült 2%-nál alacsonyabb relatív szórást elérni.

T2. Az egykristályos ZnO hordozóra kidolgozott területszelektív növesztési eljárást sikerrel alkalmazta a gyakorlati felhasználások szempontjából kedvezőbb alternatív anyagokra is. Kutatócsoportjának tagjai közreműködésével a felületre növeszthető nanoszálak kristálytani és geometriai tulajdonságai szempontjából hat különböző minőségű magréteg/hordozó kombinációt (ZnO egykristály, ALD ZnO/MOCVD GaN/zafír, PLD ZnO/zafír, PLD ZnO/Si, PLD ZnO/ionporlasztott Pt/zafír és RF porlasztott ZnO/Si) hasonlított össze. Kvantitatív röntgendiffrakciós analízissel bizonyította, hogy a ZnO nanoszálak kristályszerkezetét és orientációját a hordozó felületének kristálytani szerkezete határozza meg és ennek megfelelően egy adott alkalmazás által megkövetelt geometriai minőség elérése a ZnO magréteg helyes megválasztásával lehetséges.

T3. Kutatócsoportjának tagjai és japán partnerei közreműködésével új, nagy felületen is alkalmazható módszereket dolgozott ki rendezett, szubmikrométer rácsállandóval jellemezhető, ZnO nanoszál tömbök növesztésére.

- a) ZnO kristályok területszelektív növesztésére mikrogömb fotolitográfiai módszer használatát kezdeményezte. A különböző méretű kolloid részecskék átmérőjének (180 - 700 nm) a 200 nm vastag előhívott fotoreziszt morfológiájára gyakorolt hatását vizsgálva megállapította, hogy a rendezett lyukakkal perforált mintázat rácsállandója nem lehet kisebb a megvilágító hullámhossznál, azaz a vizsgált esetben 405 nm-nél. Pásztázó elektronmikroszkópiás vizsgálatokkal igazolta, hogy a nanogömb fotolitográfia során a mintázat minősége nem romlik, sőt, enyhe javulás is bekövetkezhet. A növesztett ZnO kristályok nagyfokú átmérő-homogenitással jellemezhetők: 691 ± 11 nm átmérőjű gömbök esetén a lyukak átmérője 379 ± 5 nm-nek, míg a növesztett kristályok átmérője 460 ± 22 nm-nek adódott.
- b) ZnO kristályok területszelektív növesztésére nanoimprint litográfiai módszer használatát kezdeményezte. A rendezett szerkezetet sikerült optoelektronikai alkalmazások számára előnyös átlátszó és elektromosan jól vezető epitaxiális magréteg felületén létrehozni, 200 nm-es rácsállandóval jellemezhető laterális periodicitással.

T4. Két új statikus módszert dolgozott ki hordozón álló vertikális nanoszálak hajlítási modulusának meghatározására.

- a.) A pásztázó elektronmikroszkópban végzett kísérlet során a nanoszál felső végét egy mikromanipulátorra rögzített, előzőleg kalibrált atomerő-mikroszkóp hegyével hajlította meg, mellyel egyidejűleg mérte a nanoszál elhajlását, ill. a tú elmozdulását.
- b.) Az atomerő-mikroszkópban végzett kísérlet során a hajlításhoz egy előzőleg laterális válaszjelre kalibrált szondát használt, monitorozva közben a mintatartó elmozdulását és a laterális erőjeleket.

A kiértékeléshez mindkét esetben egy kétszegmensű mechanikai modellt alkalmazott. A Castigliano- tételből levezetett analitikus formula helyességét végeselem-szimulációval validálta. A produktívabbnak bizonyuló b) módszer szerint a ZnO nanoszálak [0001] kristálytani irányhoz tartozó hajlítási modulus- értéke $108 \pm 17 \text{ GPa}$.

T5. Japán kutatótársaival együttműködve, katódlumineszcenciás analízis révén kimutatta, hogy:

- a.) A Zn-poláros egykristályra növesztett, csonkolt gúla alakú, felülről egy (0001), oldalról hat $\{1\bar{1}00\}$ kristálytani sík által körülhatárolt kristály egy nagyobb növekedési sebességű magból (+c-zóna) és egy lassabban fejlődő köpenyből (m-zóna) áll. A hosszanti tengellyel párhuzamosan és az arra merőlegesen vágott keresztmetszeteken végzett sávélközelin a nospektroszkópiai vizsgálat szintén kimutatta, hogy a +c-zónára jellemző donorkoncentráció lényegesen alacsonyabb ($2,8 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) a köpenyben mérhető ($8,2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) mennyiségnél;
- b.) a mikromanipulátorral hajlított nanoszálak esetén a ZnO-ra jellemző uniaxiális tilos sáv deformációs potenciál végtelenhez tartó görbületi sugár mellett ($R^{-1} \rightarrow 0$) az $a_{cc} = -1,7 \text{ eV}$ értékhez konvergál. A nanoszálakra jellemző rugalmassági határ $\epsilon_{ccN,0} = 0,040$ értéknek adódott. A nagyobb névleges deformáció hatására a nanoszálak vagy képlekeny alakváltozást, vagy törést szenvednek.

T6. Si mikrotechnológiával kompatibilis új eljárásokat dolgozott ki különböző konfigurációjú, polimerbe ágyazott ZnO nanoszál alapú tapintásérzékelő előállítására. Az eljárások a standard mikrotechnológiai lépéseket a nanoszálak alulról felfelé történő nedveskémiai növesztésével ötvözik.

- a.) Munkatársai közreműködésével elsőként hozott létre alulról radiálisan kontaktált ZnO nanoszál alapú tapintásérzékelőt. Az 5080 dpi laterális sűrűségű 8×8 méretű tömbben elhelyezkedő erővezérelt tranzisztor-mátrixot atomierő-mikroszkóppal minősítette, melynek során laterális irányú hajlítási erő hatására az átfolyó áramerősség nagyságában több esetben is sikerült jelentős változást rögzíteni.
- b.) Új eljárást dolgozott ki axiálisan kontaktált ZnO nanoszál alapú tapintásérzékelőre. A 10×25 méretű tömbbe rendezett nanoszál alapú eszközön egy nyomóforma segítségével minden korábbinál nagyobb, 1000 dpi laterális taktilis felbontást demonstrált.

T7. Kísérletileg elsőként demonstrált egy inverz módon tervezett kétdimenziós aperiodikus fotonikus kristályt. A $2,1 \mu\text{m}$ magas és 200 nm átmérőjű ZnO oszlopokkal megvalósított optikai funkció egy felülethez közeli, levegőben terjedő 633 nm hullámhosszú lézerefény fókuszálása volt $30 \mu\text{m}$ -es névleges fókusz távolság mellett. A struktúra alapját egy 300 nm rácsállandóval jellemezhető háromszögrács jelenti, melynek 71×3 pontja vagy egy oszlopot (1), vagy egy vakanciát (0) tartalmaz attól függően, hogy az adott optikai funkcióra optimalizált genetikai algoritmus milyen bináris mátrixot eredményez. Az optikai mérések alapján a vízszintes síkban fókuszált nyaláb legkisebb átmérője $1,02 \mu\text{m}$ -nek adódott, ami 1:18-as foltméret-konverciónak felel meg.