

Bírálat

Bojtor András

„The complex physics of photoinduced charge carriers in novel materials”

című PhD dolgozatáról

Bojtor András doktori munkájában új típusú félvezetőkben – elsősorban perovszkitokban – fény hatására generálódó töltéshordozók tulajdonságainak kísérleti vizsgálatával foglalkozott. A témában írt doktori értekezése öt érdemi fejezetből áll, amelyeket a Bevezetés és az Összefoglalás fejezetek keretez.

A bibliográfiával együtt 116 oldal dolgozatot angolul írta, szép kiállítású, olvasmányos munka, elütések, sajtóhibák elvéve fordulnak elő. Számomra különösen értékes, hogy a bemutatott ábrák nagyon szépek, informatívak, az ábra aláírásokkal együtt könnyen értelmezhetők. A dolgozatban 200 publikációra hivatkozik, ez is mutatja, hogy a jelölt elmélyült a témában, tanulmányozta a releváns irodalmat.

Az Elméleti háttér (Theoretical background) fejezetben röviden ismerteti az anyagok sávszerkezetének kialakulását, az állapotösszefüggés és a töltéshordozók leírását. Ezután részletesen foglalkozik a jelenleg intenzíven kutatott széles tilos sávú perovszkit félvezető anyagok kristályszerkezetével, tulajdonságaival és lehetséges alkalmazásaikkal. A töltéshordozók generációs és rekombinációs folyamatait mutatja be a félvezetők esetében. Bemutatja nagyon röviden azon mérési módszerek hátterét, amelyekkel a fotonok által keltett töltéshordozók tulajdonságainak vizsgálatára alkalmazott. Ez a tömören, de világosan megfogalmazott fejezet nagymértékben segíti a további fejezetek, a jelölt által végzett munka megértését.

A következő, Kísérleti módszerek (Experimental methods) fejezetben részletesen ismerteti a mérési módszereket és mérési összeállításokat, amelyeket a széles tilos sávú félvezetők vizsgálatára használt. Az általa is fejlesztett módszere, mikrohullámú technikák kiválóan alkalmasak töltéshordozók mennyiségének és élettartamának vizsgálatára. Különösen értékes a coplanar waveguide alapú mérési módszer megvalósítása és alkalmazása. A kristályszerkezet átalakulása, a fázisváltozások jól nyomon követhetőek az egyes mintákban mind a fotovezetésben, mind a töltéshordozó élettartamban.

A mikrohullámú mérésekhez kapcsolódó kérdéseim:

- *Van-e jelentősége, hogy a kristályos minták hogyan, milyen orientációval helyezkednek el a mikrohullámú elektromágneses térben – a fő kristálytani tengelyek merőlegesek vagy párhuzamosak az elektromos vagy mágneses erőterre?*
- *A mikrohullámú energia egy része a mintában disszipálódik. Befolyásolja ez a minta lokális hőmérsékletét a vizsgált anyagrészben?*

Ennek a fejezetnek a végén ismerteti, hogy milyen mintákon végezte a kísérleteit: három különböző módon előállított szerves és egy szervesetlen perovszkit kristályt valamint két széles tilos sávú vegyületfélvezetőt tanulmányozott.

A mintákhoz tartozó kérdéseim:

- *Vizsgálta-e a perovszkit kristályok szerkezetét, egykristályosságát, az esetlegesen jelen lévő kristályhibákat alkalmas anyagvizsgáló módszerekkel? A vizsgált minták homogén összetételűek, vagy esetleg eltérő összetételű fázisok is jelen lehetnek a mintákban? Előfordulhatnak-e eltérő kristálmódosulatok is az egyes mintákban?*
- *A nominálisan azonos összetételű, de más-más módszerrel előállított minták esetében mennyire összehasonlíthatók a mérések?*

A következő fejezetekben kísérletileg vizsgálja a töltéshordozók dinamikáját szerves és szervetlen perovszkit mintákon. Az organikus perovszkitokon mért hőmérsékletfüggő fotovezetés és töltéshordozó élettartam méréseknél különösen érdekesek a gyors lehűtéssel kapott befagyasztott állapot vizsgálata.

Kérdéseim:

- *Az 56. oldal utolsó bekezdésében leírtakat kérem világítsa meg jobban. („The photoconductivity of the quenched sample is higher in the orthorhombic phase and the same in the tetragonal and cubic phases as the slowly cooled sample. I believe the increased photoconductivity is caused by the presence of smaller domains with ferroelectric ordering. The lower symmetry of the material increases the photoconductivity.”)*
- *Mennyire reprodukálhatóak ezek az eredmények, ha több, azonos összetételű és szerkezetű mintát hasonlítunk össze? Mennyire függenek a mért értékek az adott minta szerkezeti tökéletlenségétől, a mintákban található eltérő hibastruktúráktól?*

A CsPbBr₃ perovszkit minták esetében is megállapítja, hogy a rekombináció a tilos sávban esetlegesen megtalálható csapdák energiájától és mennyiségüktől függ alapvetően. A nagyon hosszú (msec nagyságrendű) rekombinációs időt a csapdaszintek hatásával magyarázza.

Kérdéseim:

- *A mérésekből lehet-e következtetést levonni a rekombinációban szerepet játszó csapdák milyenségéről vagy elhelyezkedésükről a tilos sávban?*
- *Kérem értékelje a mérési eredményeit a vizsgált félvezető anyagok lehetséges alkalmazásainak szempontjából. Milyen alkalmazásokban és mely itt vizsgált anyagtulajdonság miatt lehet érdekes perovszkitok alkalmazása?*

Hosszú idejű fotovezetés, rétegellenállás és töltéshordozó mobilitás vizsgálatokat elvégezte a szélessávú amorf vékonyréteg IndiumGalliumCinkOxid és GalliumOxid félvezető anyagokon is. A szisztematikus mérési eljárás nagyban segítheti ezen anyagok felhasználását pl. a különböző technológiákkal előállított anyagok releváns összehasonlítása, minősítése révén.

- *Hogyan látja a kapott eredmények fényében is ezen anyagok elektronikai alkalmazhatóságát? Milyen alkalmazásokban jelenthetnek számottevő előrelépést a hagyományos félvezetőkhez képest?*
- *Milyen lehetőséget lát a kidolgozott mérési eljárások félvezető fizikai és technológiai ipari hasznosítására?*

A jelölt a disszertációban bemutatott eredményeit öt tézispontban foglalja össze. Mindegyik tézispontban megjelenik a jelölt által fejlesztett újszerű mérési módszer és az azzal vizsgált mintákon elért tudományos eredmény. Számomra egyformán értékesek a metodikai fejlesztései és a választott anyagcsaládon bemutatott új megállapításai. A tézispontokat négy első szerzős nemzetközi tudományos publikáció (ezek közül egy még beadás alatt áll) támasztja alá. Mind az öt tézispontot elfogadom a jelölt új, saját tudományos eredményének.

A feltett kérdéseim alapján nem kérdőjelezik meg a bemutatott munka értékeit, a válaszok inkább csak a jobb megértést szolgálhatják.

Mindezek alapján megállapítom, hogy Bojtor András munkája megfelel a BME Természettudományi Kar Fizikai Tudományok Doktori Iskola követelményeinek, a nyilvános vita és sikeres védelem esetén a PhD fokozat megítélését javaslom.

Budapest, 2024.11.21

Battistig Gábor
MTA doktora, egyetemi tanár