

A fotoindukált töltéshordozók komplex fizikája újszerű anyagokban

Összefoglaló

András Bojtor

Témavezető: Simon Ferenc

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Vállalati szakértő: Paráda Gábor

Semilab Félvezető Fizikai Laboratórium Zrt.

Budapest, 2024

A félvezetők modern technológiánk alapvető építőkövei. A félvezetőket többek között vékonyréteg-tranzisztorokban, fénykibocsátó diódákban és napelemekben használják. Az ipar és a tudományos közösség folyamatosan új anyagokat és gyártási módszereket keres, amelyek hatékonyabb, megbízhatóbb és költséghatékonyabb eszközöket eredményeznek. A félvezetőkben bekövetkező fotoindukált változások megfigyelése széles hőmérséklet tartományon a töltéshordozók gerjesztéséért és rekombinációjáért felelős folyamatok mélyebb megértéséhez vezet. A megfigyelt rekombinációs dinamikáért felelős fizikai folyamatok megértésével a kívánt tulajdonságokkal rendelkező anyagokra összpontosítható a kutatási tevékenység. A széles tiltott sávú félvezetők jellemzése és összehasonlítása nehézségekbe ütközhet a fém-oxid félvezetőkben jelenlévő perzisztens fotovezetés miatt. A perzisztens fotovezetést mutató minták megbízható jellemzése és összehasonlítása fontos az ilyen anyagokon alapuló eszközök fejlesztése, valamint az elhúzódó gerjesztési és relaxációs folyamatot irányító fizikai folyamatok megértése szempontjából. Dolgozatomban a fémhalogenid perovszkitok hőmérsékletfüggő töltéshordozó élettartamának mérését és a fém oxid félvezetőkben megfigyelt perzisztens fotovezetést mutatom be.

Két mérési elrendezést fejlesztettem a hőmérsékletfüggő töltéshordozó-rekombinációs dinamika vizsgálatára. Mindkét elrendezés a vizsgált minta által reflektált mikrohullámú jel változásainak detektálásán alapul. A visszavert mikrohullámú jel változása arányos a töltéshordozó sűrűség változással, így a mikrohullámú jel mérésével megfigyelhető a rekombinációs folyamat. Az egyik rendszer egy koplanáris hullámvezetőt, a másik pedig nagy jósági tényezőjű mikrohullámú üreget foglal magába. Az üreg alapú eszköz a nagy jósági tényezőjű mikrohullámú üreget és egy kereskedelmi forgalomban kapható elektron spin rezonancia spektrométer mikrohullámú hídjában található automatikus frekvencia állítót tartalmaz. Az üreg lehetővé teszi a minta gyors hűtését. A koplanáris hullámvezetőt alkalmazó rendszer tetszőleges geometriájú minta mérésére alkalmas, a hűtés egy hideg ujjon keresztül történik. A szondázó elektromágneses sugárzás frekvenciája széles tartományban hangolható, így változtatható az anyagba való behatolási mélysége. A koplanáris hullámvezetőn alapuló rendszer rendelkezik egy referenciakarral, amely a megvilágítás nélkül megfigyelhető mikrohullámú jelet kioltja, megakadályozva a mérés telítődését és növelve a jel-zaj arányt.

Dolgozatomban a metilammónium-ólom-halogenidekben és cézium-ólom-bromidban optikailag gerjesztett töltéshordozók rekombinációs dinamikáját mutatom be a hőmérséklet függvényében. Ultrahosszú töltéshordozó rekombinációs időket figyeltem meg a metilammónium-ólom-halogenid egykristályokban az orthorombos fázisban, melyek közül a leghosszabb megfigyelt rekombinációs idő több mint $68 \mu\text{s}$ volt a MAPbBr_3 perovszkitban. A metilammónium-ólom-halogenidekben a rendezetlenség hatását tovább vizsgáltam hőmérsékletfüggő rekombinációs idő mérések segítségével különböző morfológiájú mintákon, és összehasonlítottam a kristály lassú és gyors hűtése esetén megfigyelhető rekombinációs időt és a fotovezetést. Ezekből a mérésekből megállapítottam, hogy a szemcsék közti határok növekedése csökkenti a rekombinációs időt. A CsPbBr_3 perovszkit egykristályban ultrahosszú töltéshordozó rekombinációs időket figyeltem meg. Kizártam megfigyelt relaxáció melegítésből származását, összehasonlítottam az eredményeket tranziens fotolumineszcencia méréssel, és az eredmények alátámasztására állandósult állapotú fotovezetési méréseket végeztem. Szimuláció segítségével elemeztem a hőmérséklet- és gerjesztési teljesítmény függő töltéshordozó rekombinációs dinamikát. Az eredmények alapján az ultrahosszú töltéshordozó rekombinációs időt a töltéshordozók csapdázódása okozza, mely korlátozza a rekombinációs folyamatot.

Mérési protokollt dolgoztam ki a perzisztens fotovezetés jelenségét mutató minták összehasonlítására. A módszer demonstrálására egy Indium-gallium-cink-oxid vékonyréteg mintasort hasonlítottam össze egy gerjesztés-relaxáció ciklus segítségével. Bemutattam a mérések reprodukálhatóságát, és összehasonlítottam a mintasorozatban megfigyelt tendenciákat az irodalomban található információkkal.