

OPPONENSI VÉLEMÉNY KRISZTIÁN DÁVID " DEVELOPMENT OF
RECOMBINATION LIFETIME MEASUREMENT METHODS FOR
PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS" CÍMŰ PHD ÉRTEKEZÉSÉRŐL

A téma (a napelemek és méréstechnikájuk fejlesztése) fontossága és aktualitása megkérdőjelezhetetlen. A kutatás jelentőségét tovább növeli, hogy ipari méréstechnikafejlesztéshez is kötődik a terület nemzetközi szinten is kiemelkedő hazai céges képviselőjénél. A napelemekkel kapcsolatos technológiafejlesztés a lehetséges anyagok, szerkezetek, azok gyártási és mérési módszereinek sokszínűsége következtében egy soha véget nem érő folyamat, amely végeláthatatlan fejlesztési lehetőségeket és potenciált hordoz. A tézispontokhoz kapcsolódóan a dolgozatban két elsőszerzős publikáció van megadva (tématerülettől függően Q2-Q3 és Q1-Q2 besorolású) impakt faktoros folyóiratokban, valamint egy konferenciaközleményben. Szerepel még két közlemény "in preparation" megjegyzéssel. A jelölt a publikációk terén teljesíti a védéshez szükséges követelményeket.

A dolgozat szövege szabatos angolsággal íródott. Alig tartalmaz hibát, elírást. Ebben vélhetően szerepet játszottak a házi védés után implementált javítások is. A külalakon látszik, hogy LaTeX szövegszerkesztővel készült, ami mindig jót tesz a dokumentumok esztétikájának. A bemásolt ábrák felbontása az én elektronikus változatomban néhol kívánni valót hagy maga után, de ez lehetett a pdf konverzió következménye is. Nagyon tetszik, hogy a képletek végén megfelelően használja az írásjeleket, ami az ő szemszögéből nyilvánvalónak tűnhet, de általában sajnos nem az. Elsősorban ugyancsak a LaTeX környezetnek köszönhetően a képletek külalakja is megnyerő. A jelöléseket és változókat jól elmagyarázza, de a mértékegységeket csak elvétele adja meg. A számértékek megadásánál ezek sokszor egybe vannak írva a mértékegységgel szóköz nélkül.

Az elméleti háttér a második fejezetben mindegy 25 oldalban taglalja kitérve a napelemek működésére, valamint a töltéshordozók tulajdonságaira, elsősorban a rekombinációs folyamatokra. A harmadik fejezetben bemutatja a kísérleti módszereket, a PCD (photoconductance decay) mérés különböző változatait és a kísérleti összeállítást a töltéshordozó élettartam mérésére, a mérések kiértékelési módszereit, és további, a dolgozatban használt mérési módszereket, mint a négytűs mérés és a szeletvastagság mérésére szolgáló eszköz. Ugyanebben a fejezetben a vizsgált mintákat is bemutatja. A tudomány állásának és az irodalmi

hátternek a feltárására 211 irodalmi hivatkozást használ, ami jól mutatja a témában való jártasságát.

Az érdemi rész a 47. oldalon kezdődik és a 91. oldalon fejeződik be, ami szűken alkalmas az eredmények kifejtésére. Ebben nyilván szerepet játszanak a dolgozatra vonatkozó hivatalos terjedelmi korlátok. A 4. fejezetben egy saját fejlesztésű kalibrációs és validációs eljárást mutat be, az 5. fejezetben a rekombinációs dinamikával foglalkozik, ahol többek között optimalizálja a megvilágítás hullámhosszát, míg a 6. fejezet a töltéshordozó élettartam és mozgékonyosság együttes meghatározásának új módszeréről szól. Az érdemi fejezetek kapcsán öt tézispontot fogalmaz meg, amelyek egy-egy publikációhoz köthetők – ezek közül három megjelent, kettő „in preparation” megjelöléssel szerepel a publikációs listában.

Kérdések

1. 10. oldal utolsó előtti bekezdés: az érthető, hogy monokristályos szilíciumból jobb napelemet lehet készíteni, de a kiindulási szelet mennyivel drágább így, mintha multikristályos szilíciumból készül?
2. 3.9. ábra: mennyire homogén a vastagság a marás után? Melyik ponton történik a vastagság mérése?
3. Ugyancsak a 3.9 ábrával kapcsolatos kérdés; a szövegben ez szerepel: "Following the acid etching, the surface is unpassivated, therefore the recombination is very intense there, resulting in an estimated surface recombination velocity of $S = 106 \text{ cm/s}$ ". A marás következtében hogyan változik a felület? Oxidréteg, érdesség, egyéb inhomogenitások, szennyezések? Ezek hogyan befolyásolják a rekombinációt? Számít-e ilyen szempontból, hogy mennyit állt levegőn a minta, azaz mennyi szénhidrogén szennyezés halmozódott fel a felületén?
4. A "Passivated cell structures" fejezet első bekezdése: "The passivation process involved depositing a thin intrinsic a-Si layer on the p/n-type wafer, followed by a thinner n/p-type a-Si layer." Milyen módon került leválasztásra az amorf szilíciumréteg? Számít-e, hogy porlasztással, kémiai gőzfázisú leválasztással, ion implantációval, vagy más módon készül?
5. 6.2. ábra: mi a jelentősége annak, hogy az impulzus lézer hullámhossza különböző a konstans gerjesztés hullámhosszánál? A 81. oldal utolsó előtti

bekezdésében utal rá a jelölt, hogy az abszorpció különböző, de mekkora lehet a különbség a tér lecsengésében mélységben a két esetben?

6. 83. oldal alja: "The final optics illuminates the sample surface with a 3cm diameter spot, maintaining photon flux variation below 10% within the spot (Figure 6.5)." Mekkora ez az inhomogenitás a szenzor által érzékelt felületen? Szemre sokkal jobbnak tűnik – és lehet, hogy ez az, ami igazán számít?
7. Mekkora a töltéshordozó élettartam mért értékében a hőmérséklet hatására bekövetkező különbség a 6.8a és b ábrakon a "38 Sun" görbék esetére?
8. 6.2. fejezet utolsó előtti bekezdése: "To minimize uncertainty, the thickness of the σ sh calibration wafers closely matched that of the tested samples, addressing skin-effect-related issues described in [199]" Mekkora ez a bizonytalanság, és mennyivel lehet csökkenteni?
9. 6.11. ábra: hogyan függ f értéke az adalékoltságtól?
10. "List of publications" fejezet: a két "in preparation" megjelölésű kézirat be lett-e nyújtva, hová, és hogyan áll az elfogadása?

Apróbb észrevételek

A 2.1.2 fejezetben a "PERC" többször is definiálva van.

17. oldal közepe: electrons and holes rapidly thermalizes > thermalize

A [105]-ös hivatkozásban hiányzik a szerzők listája.

2.35 képlet: tudom, hogy erre nincsen jó megoldás, de picit zavaró, hogy a képletben még törésmutatóként szereplő n a képlet alatti sorban már a plazma frekvencia képletében szereplő töltéshordozó sűrűségként szerepel. Dicséretes, hogy ezt a problémát az extinkciós együttható és a hullámszám esetében az irodalomban következetesen használt k -ra a kappa jelöléssel sikerült áthidalni.

"Photoluminescence (PL)" fejezet. A "PL" rövidítés a címben és közvetlenül alatta a szövegben is definiálva van. Ugyanitt a második bekezdésben: "and the emitted light is measured using a camera" - itt a spektroszkópián vagy a képalkotáson van a hangsúly? A "camera" az utóbbit sugallja.

Összefoglalás

A téma korszerű, előremutató és kiemelkedő fontosságú alkalmazásokhoz kötődik. A dolgozat igényes kivitelezésű, gondosan összeállított és tartalmas munka. A tézispontokban megfogalmazott eredményeket a jelölt saját, új eredményeinek fogadom el. A fentiek alapján a dolgozatot alkalmasnak tartom a nyilvános vitára, és sikeres védelem esetén a fokozat odaítélésére.

Budapest, 2025.05.14.



Petrik Péter
tudományos tanácsadó
egyetemi tanár
EK MFA, DE