

## **Doktori bírálatra adott válaszok**

Szeretném megköszönni Dr. Budai Juditnak, hogy elvállalta a PhD értekezésem bírálatát. A bírálatot a szűk határidő ellenére időben megkaptam, így lehetővé vált a nyilvános védés megtartása a december 16-20 idősávban. A megjegyzéseket és feltett kérdéseket jogosnak tartom, ezekre legjobb tudásom szerint válaszoltam. A kérdések nagyban hozzájárultak számomra is több kérdés mélyebb megértésében és ezek bemutatása érzésem szerint javítja a dolgozat bemutatásának színvonalát is. Köszönöm továbbá, hogy a bíráló javasolja a PhD fokozat megítélését sikeres védés esetén.

Jelmagyarázat: *a bírálói kérdések feketén, dőlt betűkkel szerepelnek. Ezeket könnyebb olvashatóság miatt átírtam a PDF formátumú bírálatból, az esetleges elgépelések nem szándékosak.* **A válaszok kékek és félkövérek.**

*A dolgozat benyújtásakor az egyik tudományos közlemény még előkészítés alatt volt, de az eltelt időben már ez a publikáció is elfogadásra került, megjelent (<https://doi.org/10.3390/nano14211742>) csak némileg eltérő címmel, de a vonatkozó fejezet és a megjelent publikáció ábra anyagát összevetve azonos tartalommal.*

**A bíráló jól látta, a tézis témájához kapcsolódóan megjelent egy további publikáció (<https://doi.org/10.3390/nano14211742>) a dolgozat benyújtását követően. A megjelent publikáció a dolgozatban bemutatott eredményekhez és az említett fejezethez kötődik, ahogy azt a bíráló megállapította. A megjelent publikáció azonban nem a dolgozatban említett, előkészítés alatt álló tudományos közlemény, hanem egy további közlemény. A dolgozat írásakor előkészítés alatt álló technikai jellegű publikáció azóta beadásra került az IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement folyóiratba, viszont még nem került elfogadásra. Jelenleg a folyóirat választ várjuk. A közlemény címe változott a dolgozat beadása óta, jelenleg a „A Versatile System for Photoconductance Decay Measurement Across a Wide Range of Semiconductor Materials” címet viseli. A benyújtott kézirat megtekinthető az Arxivon: <https://arxiv.org/abs/2411.16892>.**

*1.: Mi a különbség a TRMCD – transient microwave photoconductivity decay és a  $\mu$ PCD – microwave photoconductivity decay méréstechnikák között? Amennyiben ugyanazt jelölik, szerencsés lett volna csak az egyiket használni az értekezésben.*

**A két méréstechnika megegyezik. Ideálisabb lett volna csak az egyik használata. Ezt tovább rontja a megfigyelés, hogy a  $\mu$ PCD kifejezés feloldás nélkül szerepel a szövegben, csupán a rövidítések összegzésénél van definiálva. A TRMCD a tudományban általánosan használt szakszerű kifejezés, a  $\mu$ PCD a Semilab által használt terminológia, melyet a napi laborgyakorlatban átvettünk. A megjegyzést ezért nagyon köszönöm és az előadásomban igyekezni fogok a TRMCD következetes használatára.**

*2.: A 4.1-es alfejezetben két hőmérsékleti tartomány is megjelenik, mint vizsgálati tartomány: 4-270K, illetve 4-300K – melyiket kell valós tartománynak elfogadnunk?*

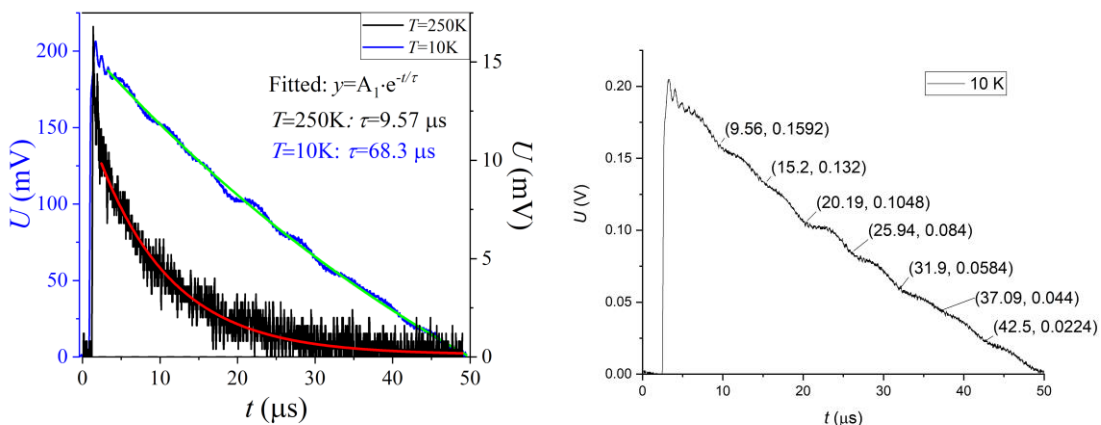
A prezentált eredmények többsége a 4-270K tartományon lett mérve. A mérési elrendezés 4-300K tartományú méréseket tesz lehetővé. Mivel a legtöbb mérés során a minta a 270K hőmérsékletet érte el, így került a 270K érték a szövegbe. A legmagasabb hőmérséklet, melyen a hőmérséklet függő vizsgálatok során mérést végeztünk, 276.6K volt. A hőmérséklettartomány mérésről mérésre kis mértékben változott. Pontosabb megfogalmazás lett volna a mérési elrendezés hőmérséklet tartományára leírni a 4-300K tartományt, valamint a mérések során változó, ennél alacsonyabb maximális hőmérséklet kiemelése, mely általában 270K volt.

3.: Miért tetszőleges egységben vannak a  $\Delta G$  adatok megadva, ha azok egy feszültség adatsor illesztéséből származnak és az exponens előtti amplitúdót jelentik?

Az amplitúdó értékek azért vannak tetszőleges egységben, mert az amplitúdó a vizsgált anyag mennyiségétől függ egy geometriai vagy kitöltési faktoron keresztül. A tetszőleges egység jelzi, hogy az egyes minták fotovezetésének abszolút összehasonlítására nem alkalmas a módszer az anyag mennyiségére és a hasonló gerjesztésre vonatkozó feltételek teljesülése nélkül. Az eredmények így a hőmérsékletfüggő trendek alakulását mutatják be.

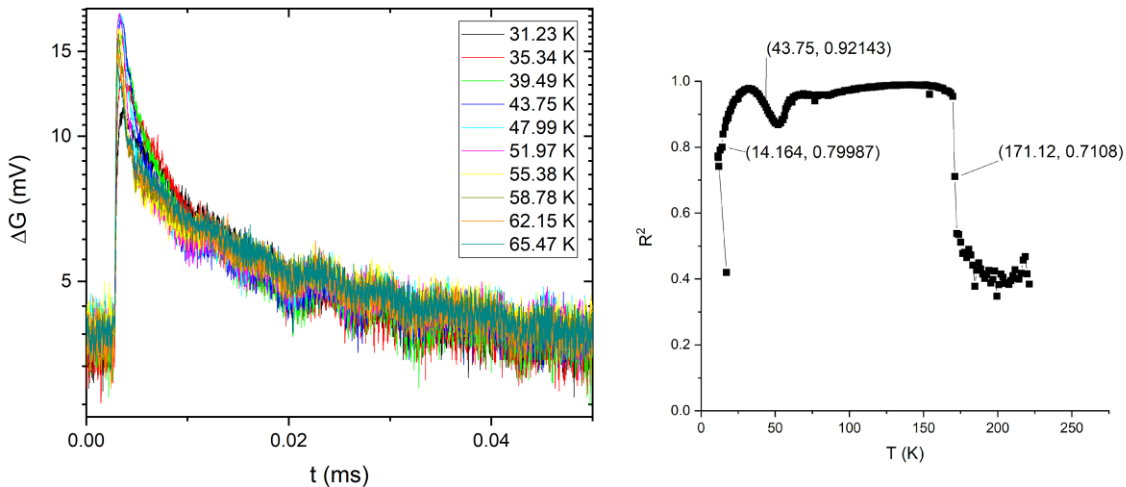
4.: A 4.3-as ábrán a 10K-es hőmérsékletre tartozó görbén egy határozott hullámmás figyelhető meg. Mi állhat ennek a hátterében?

Köszönöm szépen a bíráló értékes megfigyelését, és hogy felhívta a figyelmet erre a kérdésre. A megfigyelt zaj egyértelműen a mérési elrendezés elektronikájából ered. A periódusideje  $\approx 5\mu\text{s}$  és mivel kiátlagolva is látjuk, ezért egyértelműen fázisban van (vagy akár koherens) a gerjesztő lézer repetíciós frekvenciájával. Bár ezt a jelenséget nem vizsgáltuk behatóan, legvalószínűbb, hogy a méréshez használt üreg frekvenciájára visszacsabályozó elektronikából, pontosabban annak időállandójából származik. A mérés során, a mikrohullámú forrás frekvenciáját egy visszacsabató elektronika (az ún. AFC vagy *Automatic Frequency Control*) igyekszik mindig az üreg sajátfrekvenciáján tartani. A gerjesztő fényimpulzus egyben az üreg sajátfrekvenciáját is megváltoztatja kismértékben, ezért az AFC működésbe lép. Ez okozhatja a megfigyelt jelenséget.



5.: A 4.4-es ábrán a töltéshordozó élettartamban pontosan ott figyelhető meg egy jelentős csökkenés, ahol a  $\Delta G$  amplitúdóban kiugrás van. Ez egy valós csökkenés, vagy esetleg valamiféle korreláció az illesztési paraméterek között? Amennyiben valódi változás, mi állhat a háttérében?

Az illesztés  $R^2$  értékében kis mértékű beesés figyelhető meg 32K és 70K között, de ennek a minimuma nem esik egybe a megfigyelt jelenséggel. A rekombinációs idő és fotovezetés szélsőértéke 44K, míg az illesztési paraméter lokális minimuma 52K hőmérsékleten figyelhető meg. A lecsengési görbéket vizsgálva megfigyelhető, hogy a fotovezetés értéke 44K körül a legnagyobb, a maximális érték csökken ettől a ponttól távolodva. Az illesztés minősége a  $\text{MAPbCl}_3$  minta esetén a 14-171K tartományon kívül nem ideális, a  $\text{MAPbBr}_3$  esetén az egész tartomány jó illesztést mutat,  $\text{MAPbI}_3$  minta esetén a fázisátalakulás hőmérséklete fölött nagy mértékben csökken az illesztés minősége. Az összes mintánál csökken az ortorombos-tetragonális fázisátalakulás hőmérséklete fölött az illesztés  $R^2$  értéke, mely leginkább a kisebb jelszintekből adódhat. Az effektus véleményem szerint valós változás, a rekombinációs folyamat és optikai gerjesztés hőmérsékletfüggése állhat mögötte.



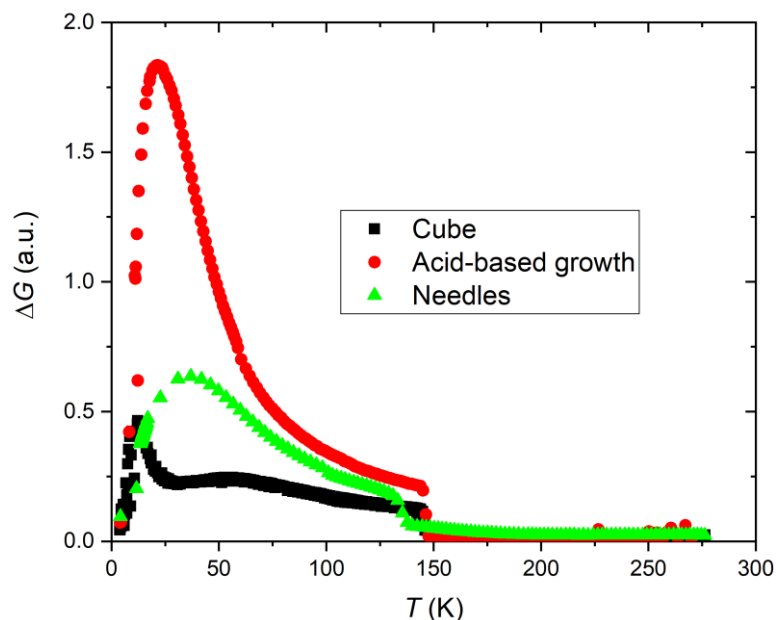
6.: A 4.1-es táblázat alatti második bekezdésben (A small drop...) azt írja a jelölt, hogy egy kis esés figyelhető meg a klór és a bróm tartalmú minták esetén az ortorombos-tetragonális fázisátmenetnél – de az a mondatból nem derül ki, hogy melyik mennyiség esetén kell keresnünk ezt a változást. A vonatkozó cikk alapján az élettartam görbéket kell vizsgálnunk, bár a publikáció alapján a bróm és a jód tartalmú minták esetén van ilyen kis esés. Kérem, pontosítsa, hogy melyik görbék esetén kell az esést keresnünk, a hőmérséklet növelés vagy csökkenése esetén beszélhetünk esésről és kérem, tisztázza a vonatkozó publikációval való ellentmondást.

A bírálónak igaza van a publikáció és az értekezés közti ellentmondás, valamint a megfogalmazás pontatlanságának tekintetében. A kis esést a hőmérséklet csökkenése esetén lehet megfigyelni, ez a megfogalmazás inkonzisztens azzal az igyekezettel, hogy a folyamatokat növekvő hőmérsékletet figyelembe véve írjam le. A Figure 4.4 megnevezésű ábrán látható, hogy mind a három vizsgált minta esetén jelentősen kisebb a megfigyelt fotovezetés a fázisátalakulás hőmérséklete fölött, mint alatt. Emellett a mért rekombinációs idő a

fázisátalakulás környezetében kisebb a brómot és klórt tartalmazó minták esetén az ortorombos fázisban, mint a tetragonális fázisban, míg a jódot tartalmazó minta esetén a tetragonális fázisban figyelhetünk meg rövidebb rekombinációs időket. A publikációban volt hibás az említett jelenséget mutató anyagok felsorolása. Érdekes ezen a ponton megjegyezni, hogy a klórt és jódot tartalmazó minták esetén rögzített görbék illesztése lényegesen pontatlanabb a fázisátalakulás hőmérséklete fölött, mint alatt, a brómot tartalmazó minta esetén kisebb az illesztés pontosságának romlása.

7.: Vizsgálta-e a jelölt a 4.5-ös fejezetben megjelenő különböző rendezettségű minták abszorpciós / szórási tulajdonságait a gerjesztési hullámhosszra? A minták fényképe alapján a túszerű minta vékonyabb, mint a másik két minta, ugyanakkor matt felületű, így várhatóan mások az optikai tulajdonságai, más mélységig jut el benne a gerjesztő fény, más az elnyelt fényteljesítmény. Okozhatja-e ez a túszerű minta esetén megfigyelt kisebb fotovezetést?

Nem, sajnálatos módon a bemutatott mintákon nem végeztünk további optikai vizsgálatokat. A kisebb fotovezetés valószínűleg részben vagy teljesen a bíráló által felvetett okból figyelhető meg a túszerű minta esetén a savas alapú előállításához képest. A fotovezetés ortorombos fázisban mutatott tendenciáinak összehasonlítása érdekében a tetragonális fázisban megfigyelt fotovezetés alapján normáltuk az adatsorokat. Azért nem a maximális értékre normáltunk, mert így úgy gondoltuk, jobban megfigyelhetőek a hőmérsékletfüggő hatások. A normalizálás nélkül gyűjtött adatok az alábbi grafikonon figyelhetőek meg:



8.: Vizsgálta-e a jelölt valamilyen módszerrel a minták rendezettségét / kristályossági fokát? A bróm tartalmú minták esetén még van az olvasónak valamilyen elképzelése a fényképek alapján a szerkezet rendezettségére vonatkozóan, de a jód tartalmú minták esetén – fénykép hiányában – még csak a külső megjelenés alapján sem tudunk következtetni.

Nem, sajnos nem végeztem XRD/SEM/mikroszkóp méréseket a vizsgált mintákon. A kutatócsoport, mely a mintákat előállította a hasonló mintákon végzett kutatásait előzőleg már több alkalommal publikálta, ezekben XRD és SEM képeket is közöltek. Mivel ezeket már elvégezték előzőleg, így ezeken a mintákon ilyen mérések nem készültek. A jódot tartalmazó mintákról nem készült kép, utólag erre már nem is adódott lehetőség. Azonban nincs semmi okunk azt feltételezni, hogy a csoport által jól bejáratott, jó minőségű kristályelőállítás más minőségű mintákat eredményezett volna, mint a korábbiak.

9.: Az 5.3-as ábrán bemutatott fotolumineszcencia lecsengési görbe illesztéséhez kétkomponensű exponenciális függvényt használt a jelölt. Véleménye szerint milyen fizikai folyamatok köthetők a két szignifikánsan eltérő időállandójú lecsengéshez (3ns vs 50ns)?

A méréseket és illesztést Hidetsugu Shiozawa végezte a Prágai Heyrovski intézetben. A cézium ólom bromid perovszkit minták tranziens fotolumineszcencia méréssel folytatott vizsgálatok során jellemzően több exponenst szoktak illeszteni a lecsengésre. Ennek oka, hogy nem egyetlen folyamat felelős a radiatív rekombinációért. Érdeemes továbbá azt is megjegyezni, hogy a többi rekombinációs folyamathoz hasonlóan a radiatív rekombináció is függ a nem-egyensúlyi töltéshordozó koncentrációtól, ami a vizsgált töltéshordozó koncentráció tartomány függvényében több exponens alkalmazását teheti szükségessé. Több rekombinációs folyamat háttere lehet például egy tömbi radiatív rekombináció és egy felületi hibahelyek vagy szórás események által segített rekombinációs folyamat, melyeknek különböző karakterisztikus ideje lehet (<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b01171>, <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.1c06394>, <https://doi.org/10.1039/C9TC06630F>). Alacsony hőmérsékleten folytatott PL mérések során megfigyelték továbbá a lumineszcencia jel spektrumában egy második csúcsot, melyet a csapdázódott töltéshordozók rekombinációs folyamatával kötöttek össze(<https://doi.org/10.1039/C8NR01109E>). A fotolumineszcencia vizsgálatok egy friss publikáció alapján a CsPbBr<sub>3</sub> mintákban jelen lévő rendkívül hosszú karakterisztikus idővel rendelkező, csapdázott töltéshordozók megfigyelésére is alkalmasak lehetnek (<https://doi.org/10.1021/acsenergylett.4c02404>). Összegezve az irodalmi eredmények alapján a két eltérő időállandójú komponens mögött az állhat, hogy a rekombinációs folyamat több csatornán keresztül történhet, melyek az exciton relaxációhoz és a hibahelyek vagy szórás események által segített rekombinációhoz köthetőek.

10.: Mi a kapcsolat az 5.2-es ábrán látható adatok és az 5.5-ös ábrán látható adatok között? Az 5.2-es ábrán a ~20K-hez tartozó görbe maximuma 1.7mV, az 5.5-ös ábrán a 20K-hez tartozó görbe – a 100K-es görbe általi takarás ellenére jól megállapítható módon – 20-30 mV feletti értékeket is elér (ezt megerősíti az 5.6-os ábra is). A dolgozat szövege és az 5.5-ös ábrán látható fénykép alapján mindkét esetben kb. 2mm x 2mm-es kristályon történt a mérés. Ehhez kötődően: az 5.4-es ábráról leolvasható, hogy a minta jelenléte 10mV-os jelszint eltolódást jelent, és a teljes hőmérséklet tartományon pár mV-nyi jelszint eltérést okoz a minta hőmérsékletének változása. Ezt az 5.2-es ábra adataival összevetve nem győzi meg az olvasót arról, hogy nem a hőmérséklet hatása jelenik meg a hosszú élettartam értékekben – viszont ha az 5.5-ös ábra adataival vetjük a görbékét össze, akkor

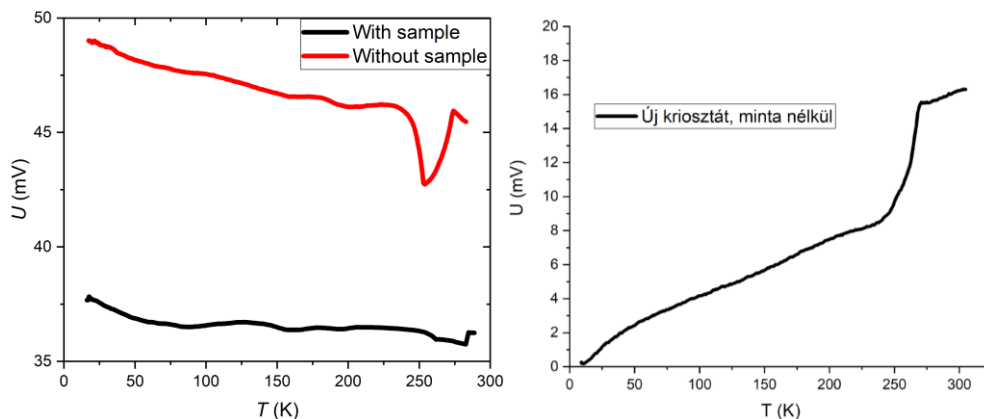
egyből kizárhatjuk, hogy a hosszú élettartam a minta hőmérsékletének változásától függ. Kérem tisztázza a helyzetet.

Az 5.2 és 5.5 ábra között két jelentős különbség van. Egyrészt a mérés részleteiben volt különbség, mivel a gerjesztés során használt pulzus energia kisebb az 5.2 ábrán, mint az 5.5 ábrán, valamint a az 5.5 ábrán bemutatott eredmény esetén lényegesen több átlagolás történt a megfelelő jel-zaj arány eléréséhez. A másik, lényegesebb eltérés a mintában figyelhető meg: a két ábrán nem ugyanaz a minta szerepel. Így a két ábra közötti különbség a mintában, az alkalmazott optikai gerjesztésben és az adatgyűjtésben rejlik.

A bírálónak igaza van abban, hogy a hőmérsékletváltozás hatásával összevethető mértékű a megfigyelt effektus az 5.2 ábrán. Azonban fontos hozzátenni, hogy a hőmérséklet függvényében a reflexió változása nem monoton, így, ha ebből fakadna a megfigyelt jel, az a mérésünk során a hőmérséklet tartománytól függően növekedést vagy csökkenést mutatna a reflektált jelben. Ez a kiértékelés során hibás értékek jelenlétéhez vezetne a rekombinációs folyamat karakterisztikus idejében. Az 5.5 és 5.2 ábrák egymás mellé rakva így még egy érvet szolgáltatnak amellet, hogy nem a hőmérséklet változása okozza a megfigyelt relaxációt. Mind a dolgozatban, mind a megjelent publikációkban nagy hangsúlyt helyeztünk arra, hogy a termikus effektusok jelenlétét megvizsgáljuk. A fentiek okán kiderült, hogy ezeket ki is zárhatjuk.

11.: Még mindig az 5.4-es ábránál maradva: a rendszer minta nélküli reflexióját vizsgálva kb. 250K környékén egy éles minimumot látunk. Ez valódi beesés, vagy mérési zaj/pontatlanság – mi állhat a minimum hátterében?

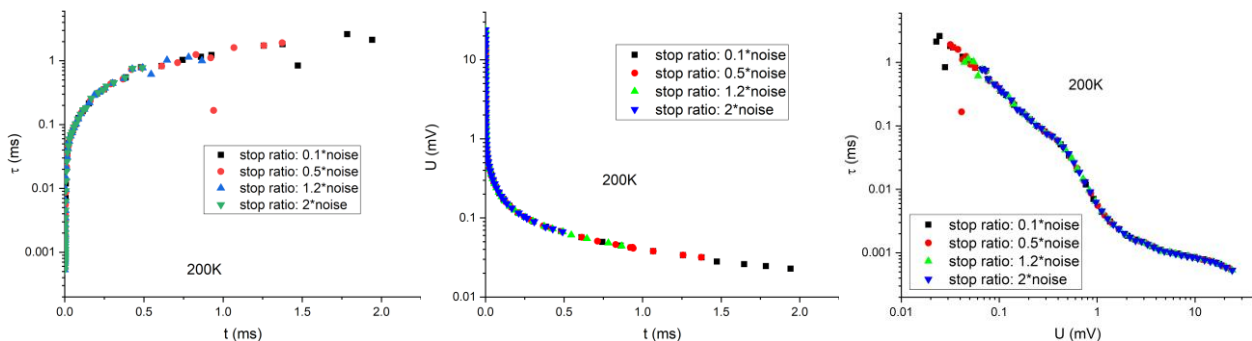
A jelenség valós és reprodukálható hasonló rendszereken. A mérések elvégzése óta egy új kriosztátot üzemeltünk be a laboratóriumban, mely szélesebb hőmérséklettartományon folytatott méréseket tesz lehetővé. A mérési elrendezés hasonló koplánáris hullámvezetővel, hasonló konstrukcióban lett megvalósítva, de nem ugyanazokkal az elemekkel és még fejlesztés alatt van. Az alábbi két grafikonon a mérések megvalósítására használt és az új kriosztátban megvalósított elrendezéssel felvett hőmérsékletfüggő mikrohullámú reflexió látható:



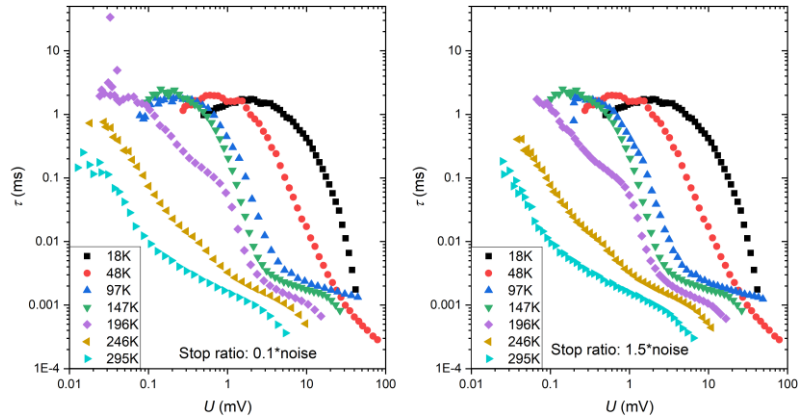
Megfigyelhető a két grafikonon, hogy a hőmérsékletfüggő változás minta nélkül hasonló hőmérséklet tartományon jelentkeznek. Fontos különbség a két mérés között, hogy a régi kriosztátban végzett mérés hűtés során lett felvéve, míg az új kriosztát esetén a hőmérséklet növekedett a mérés folyamán. A változást valószínűleg tartom, pontos eredetének meghatározása a rendelkezésre álló információk alapján nem lehetséges, de a potenciális hatások listáját meg lehet határozni. A beépített elemek, melyek felelősek lehetnek az effektusért, a koplánáris hullámvezető, az SMD ellenállások, melyek az 50Ω lezárást biztosítják, valamint a vákuumrendszer. Amennyiben a mérés elkezdésénél a nyomás nem elég alacsony, az effektusban szerepe lehet a hűtés hatására kicsapódó és megfagyó anyagoknak, melyek a mikrohullámú reflexiót kis mértékben megváltoztathatják. A koplánáris hullámvezetőnek vagy SMD ellenállásoknak a hőmérsékletfüggő viselkedése is okozhatja a hatást, azonban sajnálatos módon az egyes elemek hőmérsékletfüggő viselkedéséről nem rendelkezem információval. Az SMD ellenállásokat gyártó cégek specifikációi alapján a legvalószínűbb magyarázatnak az SMD ellenállás hőmérsékletfüggő értékét tartom. A CPW-t lezáró SMD-k ellenállásának kis mértékű változása a hőmérséklet függvényében a CPW mikrohullámú reflexiójában változást eredményezhet. Egy másik érdekesség, hogy ebbe a tartományba esik a forrasztáshoz használt ón átkristályosodási jelensége, az úgynevezett "ónpestis", ami szintén okozhat hasonló effektusokat.

12.: Az 5.5-ös ábrán látható, a vonatkozó publikációban pedig még feltűnőbb, hogy a 200K-hez tartozó lecsengési görbe 4 ms-ig tart, de a görbék alapján számolt élettartam adatok csak 1 ms-ig vannak bemutatva. Laikusként a lecsengési görbék jel/zaj viszonya 2 ms-ig még nem tűnik olyan rossznak, hogy ne próbálnék meg az élettartam adatok kiszámolásával/bemutatásával. (Hasonló figyelhető meg a 294 K-hez tartozó adatok esetén is, bár ott tényleg hamar a zajba vész a lecsengési görbe.) Milyen élettartamok adódnak a 200 K-es mérés esetén hosszabb mérési időknél? Befolyásolná-e ez az 5.6.a ábrán látható dinamika görbéket, illetve a nagy élettartammal jellemezhető plató kialakulását?

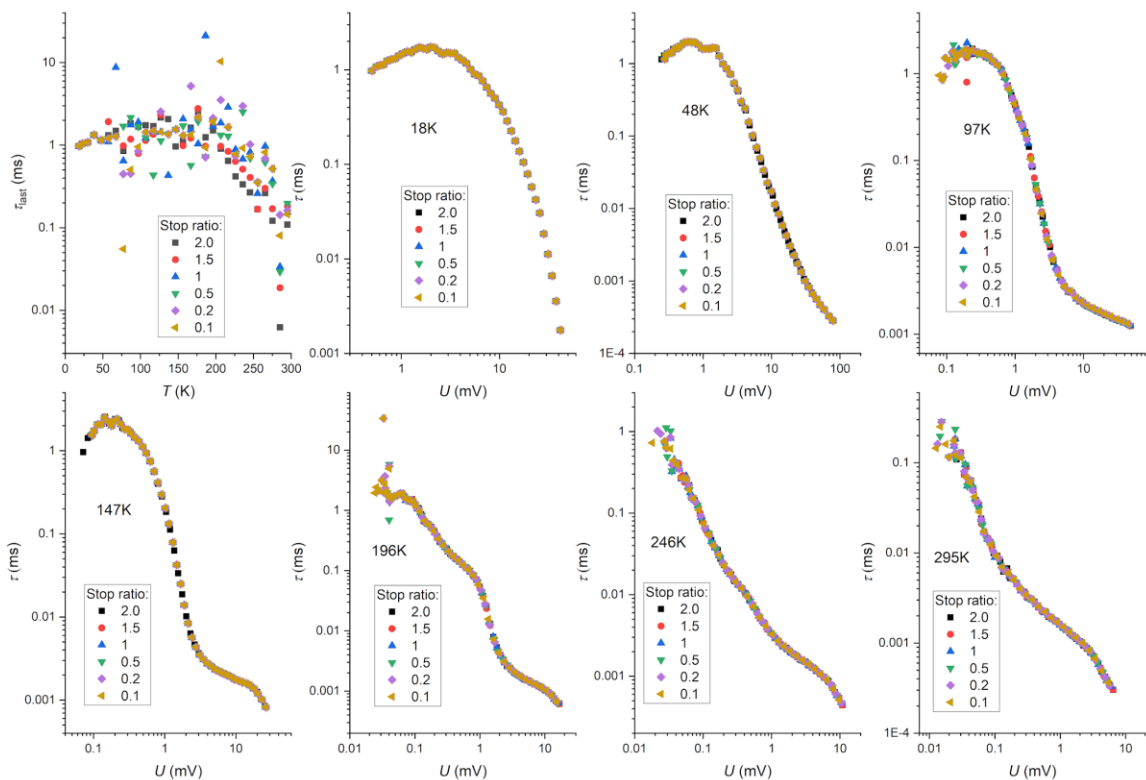
Az illesztést egy automatikus folyamatként folytattuk le, melyben az illesztés alsó határát a zajszinthez rögzítettük. Ezt *stop ratio* elnevezéssel a zaj legmagasabb értékének valahányszorosaként állíthatjuk be. Az illesztés optimalizációjával lehetne még növelni az illesztett tartományt. Az alább bemutatott grafikonok tanulsága szerint a Bírálónak igaza van, az illesztési határokat tovább optimalizálva 2ms-ig még ki lehet nyerni adatokat a lecsengési görbéből. Az így végzett illesztés segítségével a leghosszabb rekombinációs idő 200K hőmérsékleten 2.6ms.



Az 5.6 ábrán bemutatott görbét kis mértékben befolyásolná a további optimalizálás. Amennyiben az illesztést kiterjesztjük a zajhoz közelebbi jelszinteket megengedve az alábbi görbéket kapjuk ugyanazokra az adatsorokra illetve (az  $1.5 \cdot \text{zaj}$  értékhez tartozó görbék találhatóak a doktori értekezésben és publikációban):



Ahogy az ábrákon is látható, kis mértékben ugyan nő a kinyerhető leghosszabb rekombinációs idő értéke, azonban az utolsó pár pont zajosabb. A plató ugyanúgy kialakul az optimalizáció után, azonban a 200K fölött tapasztalt csökkenés zajosabb ebben az esetben.



13.: Mivel magyarázza, hogy a megvilágító teljesítmény szakaszos emelésekor a 6.2-es ábra alapján a mozgékonyág nem monoton módon növekszik, hanem a fénytelsítmény növelését követően csak kisebb visszaesés után kezd el ismét növekedni?

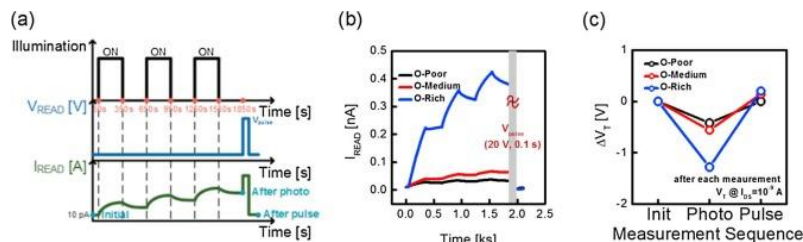


Az említett megfigyelés mögött az állhat, hogy a gerjesztő teljesítmény állítását követően gyorsan változnak az anyag fizikai tulajdonságai. A mérés során először egy vezetőképesség mérés történik a Van der Pauw módszer segítségével, majd ezt követi egy Hall állandó mérés, melyből a töltéshordozók mozgékonyaságát és koncentrációját lehet meghatározni. A mérés során a gerjesztés hatására a jelszint változik, így a mérési időtartam alatt, mely 20 perc, lényegében összeátlagoljuk a Hall mérés eredményét. Ennek a hatásnak köszönhetően a fényteltjesítmény változtatása utáni első mozgékonyaság eredményt nagyobb hibával kaphatjuk meg, ha a gyorsan változó tulajdonságokból következően a vezetőképesség és Hall mérés eltérő egyensúlyi állapotnál történik. Ez a probléma a mért fizikai effektus mivoltából származik.

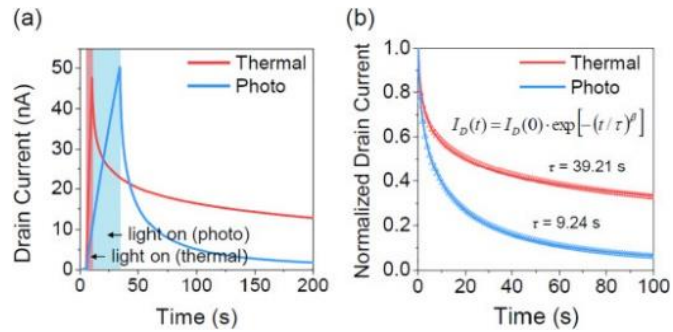
14.: Milyen egyéb olyan módszereket használ a félvezető ipar – ha vannak egyáltalán ilyenek –, amelyek segítségével a perzisztens fotovezetést mutató minták transzport paramétereinek mérése valósítható meg olyan módon, hogy a különböző mintákon végzett mérési eredmények összehasonlíthatóak? Ezek rövid bemutatása, felsorolása megerősítette volna az utolsó tézis pont újdonságtartalmát.

A gyártási folyamat során a perzisztens fotovezetés mérését megvalósítani nem lenne egyszerű a szükséges idő miatt. A megfigyelt változás akár napokig nyomon követhető, ami egy gyártósoron nem lehetséges. Legjobb tudomásom szerint a gyártás során a félvezetőiparban általánosan használt vizsgálati módszereket használják, mint az optikai mérések, mikrohullámú fotovezetés, és mikrohullámú fotoválasz mérések, melyek segítségével a növesztett rétegek minőségét és tisztaságát lehet ellenőrizni.

Az irodalomkutatásom során talált legtöbb perzisztens fotovezetés vizsgálat során vékonyréteg tranzisztorokon átfolyó áram méréseket és fotodetektorokon fotoáram méréseket folytattak idő függvényében optikai gerjesztés közben és azt követően a perzisztens fotovezetés megfigyelésének érdekében. A lecsengési görbék alapján a minta előállítás hatásának megfigyelését is elvégezték, mint például a hőkezelés és fotokémiai aktiválás hatása a perzisztens fotovezetés dinamikájára (<https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.03.081>), a minta növesztés során használt oxigén tartalom hatása a minta fotoválaszára (<https://doi.org/10.1016/j.sse.2017.10.028>), valamint a rétegvastagság hatását (<https://doi.org/10.3390/app7090885>). Ezeknek a méréseknek ugyan előnye, hogy a kész eszközhöz hasonló formában vizsgálható vele az anyag, ugyanakkor az eszköz előállítását igénylik. Az értekezésben prezentált mérés eggyel korábbi stádiumban, a mintaelőállítás során teszi lehetővé a vizsgálatot.



Amorf IGZO alapú TFT fotoválasza (<https://doi.org/10.1016/j.sse.2017.10.028>)



Két, különböző kezeléssel rendelkező IGZO TFT fotoválása (<https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.03.081>)

Találtam ugyan olyan publikációt, ahol a mozgékonyág és töltéshordozó koncentráció mérését végezték a gerjesztés és relaxáció alatt (<https://doi.org/10.1063/1.1459597>). Nem ismerek azonban olyan publikációt, ahol a megvilágítás alatt és a relaxáció során vizsgálták a mozgékonyág, töltéshordozó koncentráció és vezetőképesség változását és az elért maximális értéket, majd ezek alapján vizsgálták a mintakészítési folyamatot.

Budapest, 2024.12.07.

*Bojtor András*

Bojtor András