

Opponensi vélemény

Csuti Péter

Világítódiodák fotometriai és színingermetriai jellemzése

című PhD értekezéséről

Témavezető: Dr. Schanda János[†] professzor emeritusz, a műszaki tudomány doktora

Konzulens: Dr. Hangos Katalin egyetemi tanár, a kémiai tudomány doktora

A dolgozat témája – LED-ek fotometriai és színtani jellemzésének egyes problémái – korszerű, máig időszerű.

A disszertáció 5 fejezetre tagolódik és összességében 98 oldal terjedelmű, ebből az érdemi rész 81 oldal, a többi tartalmi összefoglaló, tartalomjegyzék, irodalomjegyzék és mellékletek. A dolgozat 56 irodalmi hivatkozást tartalmaz, amelyből néhány a szerző saját, társszerzőkkel közös publikációja. Az 1. fejezet a munka háttérét, motivációját írja le, a 2. fejezet a dolgozat témájával kapcsolatos ismeretek áttekintését tartalmazza. A munka érdemi leírását – az 5. fejezetben megfogalmazott tézisekhez kapcsolódóan – a 3. és 4. fejezet tartalmazza. Az 1. fejezet utolsó szakaszát, az 1.4-es pontot (*Az értekezés szerkezete* címmel) feleslegesnek tartom. Nem olyan bonyolult e disszertáció szerkezete, hogy az olvasó a tartalomjegyzék alapján ne látná át azt. Ugyancsak feleslegesnek tartom az olyan bekezdéseket, amelyek pusztán arról szólnak, hogy utánuk mi következik. Az ilyenek felesleges helykitöltők, semmi érdemi információval nem szolgálnak.

A dolgozat számos, kifejezetten igényes kivitellű ábrát tartalmaz, a szerző ezeket egységes, magyar nyelvű feliratozással látta el. Dícséretesnek tartom a magyar szakmai nyelv használatát (pl. a "LED" mellett a "világítódioda" használatát). A dolgozat szövegének stílusa, szerkesztésének gondossága, helyesírása sajnos azonban nem egyenszilárdságú. Az első három fejezet kifejezetten nehézkes, nyakatekert fogalmazású részeket is tartalmaz, míg a 4. és 5. fejezet sokkal gondosabb munka ebből a szempontból.

A CIE által definiált klasszikus, f_l' spektrális vagy színeképi illesztetlenségi hiba a fotometriában általánosan használt metrika a fotometriai detektorok "jóságának" megadására, ami a széles hullámhossz-tartományban sugárzó, folytonos spektrális teljesítményeloszlású fényforrások esetén jó és hasznos, de az olyan, keskeny hullámhossz-tartományban sugárzó fényforrások, mint a színes LED-ek esetében nem jellemzi jól a fotométert, illetve annak mérési hibáját.

E problémakört a szerző pontosan, alaposan körüljárja. Első lépésként bevezeti a **valós fotometriai hibamutató** fogalmát, aminek a segítségével a LED mérésekre használt egyes fotométerek jól összehasonlíthatók. Ezt követően egy szisztematikusan kidolgozott, kísérletekkel és nagyszámú gyártói adatlap információjával is jól alátámasztott módon megtervezett, alkalmas kiegészítő metrikát, a **parciális spektrális illesztetlenségi hiba** bevezetését javasolja a szerző. Az ilyen mutatókkal jól becsülhető a valós fotometriai hiba nagysága.

Hasonló módon, a színes LED-ek alkalmazása vetette fel a CIE 1931-es 2°-os színinger megfeleltető függvényei használatának a problémáját: kísérleteivel feltárja a szerző, hogy bizonyos keskeny hullámhossz-tartományban sugárzó LED-ek esetén e függvények eredményeképpen adódó "objektív" színészlelet és a megfigyelők által tapasztalt színészlelet nem egyezik meg.

A szerző gondosan megtervezett és kivitelezett vizuális kísérletekkel vizsgálta a CIE klasszikus színinger megfeleltető függvényei és a Wold-féle LMS fundamentális színinger megfeleltető függvények közti különbségeket és megállapítja a klasszikus CIE CMF-ek használata okozta problémákat. A kísérletek eredményeit (a tervezéshez és a kivitelezéshez hasonló gondossággal) statisztikailag elemezve módot talált a szerző arra, hogy a **Wold-féle függvényeket módosítva** még jobb eredményeket érjen el, amelynek révén a kísérleti értékekhez még közelebb kerültek a számított

szinkordináták a CIE xy térnél jóval *egyenközőbb* CIE 1976-os UCS (u' , v') térben (széles spektrumú, színes ingerek esetében is). Ezzel a munkájával szerintem komolyan hozzájárult a szerző a CIE TC 1-36-os munkabizottság tevékenységéhez.

A fenti általános pozitívumok mellett azonban néhány konkrét kritikai megjegyzésem is van:

- A szerző a $V(\lambda)$ függvényre való hivatkozások során számos, egymástól eltérő elnevezést használ; célszerű lett volna ezeket egységesíteni. Sajnos ez a házi védekre benyújtott dolgozat verzióhoz képest nem változott.
- Egyéb terminus technicus-ok esetében is sok következetlenség figyelhető meg. Trivialitása miatt kirívó a "halogén izzólámpa" esete a kifejezés három összetevője írásmódjának szinte az összes elképzelhető változatával. A "spektrális teljesítményeloszlás" kifejezés az egy helyes írásmód mellett még további négy, helytelen írásmóddal szerepel a dolgozatban. A következetlen, kusza írásmódok egy másik kirívó példája az, amikor egy mondaton belül "színigeregvezető" és "színiger-egyeztetés" írásmódok is szerepelnek. Megjegyzendő azonban, hogy a "szíinger-" kezdetű összetételek kapcsán a jelölt mentségére szolgálhat az, hogy a magyar terminológia vonatkozásában sokszor irányadó forrásnak tekintett Világítástechnikai Kislexikon sem következetes. A zavaró helyesírási hibák és következetlenségek számossága meghaladja azt a mértéket, hogy egy bírálatban azokat fel lehessen sorolni. Ezirányú részletes észrevételeimet a jelölthöz dolgozata elektronikus változatába bejelölve külön eljuttattam.
- A LED működés fizikai alapjainak áttekintésével foglalkozó szakasz sokat javult a házi védekre benyújtott dolgozat változathoz képest, de továbbra is maradtak benne mind terminológiai, mind tartalmi problémák:
 - "vegyérték kötési sáv" helyett a magyar félvezetős szakma a "vegyérték sáv" megnevezést használja;
 - a félvezetőket nem szennyezzük, hanem adalékoljuk, ezért a "szennyezés", "szennyező" kifejezések "adalékolás", ill. "adalék" értelemben való használata hibás, kerülendő;
 - nem tudom értelmezni azt a mondatot, ami az elektronok nagyobb diffúziós hosszát összefüggésbe hozza a pn átmenet melegezésével.
- A dolgozat a konstans tiltott sáv szélességű pn átmenet, a *homo junction* működését kísérli meg leírni. Számomra fájó hiány a dolgozatban, hogy a szerző csak érintőlegesen szól a *hetero átmenetekről*, amelyek a mai, nagy hatékonyságú LED-ek működésének alapját képezik. (A mai többszörös kvantumvölgyes hetero átmenetes struktúra alapját a dupla hetero átmenetes struktúra jelentette.) E struktúrák lényegét jó lett volna egy-egy sematikus sávdiaagram segítségével szemléltetni (pl. a Schubert-féle LED könyv alapján). Jó lett volna megemlíteni, hogy a félvezető struktúrák jelentős különbsége ellenére is a Shockley-féle exponenciális dióda karakterisztika a mai modern LED struktúrák leírására is jól használható. A LED-ek átteintése során jó lett volna azok különböző hatások jellemzőit is megadni (pl. külső és belső kvantumhatások, kicsatolási hatások, energiakonverziós hatások), ha már a 2.18. ábrával hivatkozik is ezekre.
- A már említett helyesírási következetlenségek mellett apróbb szakmai következetlenségeket is tartalmaz a dolgozat – ezek egy alapos, kritikus átolvasást követő javítással elkerülhetőek lehettek volna. Például a 60. oldalom "spektrális sugársűrűség szerepel", mint mért jellemző, a 61. oldalon már "színképi-teljesítményeloszlás"-ról van szó, holott a szöveg mind a 60., mind pedig a 61. oldalon ugyanazzal a műszerrel, a PR-705 típusú spektroradiométerrel végzett, ugyanolyan jellegű mérést említ. Akkor mi volt a mért jellemző? (Az eredményeket bemutató ábrák [pl. a 4.1-es ábra] aláírásai és tengelyfelirataik sem segítenek a pontos értelmezésben, mert ugyanez az ellentmondás figyelhető meg egy-egy ábrán belül is.)
- Célszerű lett volna, ha az 5.2. szakasz címe "A tézisekhez szorosan kötődő publikációk", vagy a "Téziseket alátámasztó saját publikációk" lett volna a "Saját publikációk" címmel szemben, hiszen az MTMT adatbázis tanúsága szerint a jelölt saját publikációinak a száma (98 db) messze meghaladja az ezen szakaszban felsorolt publikációk számát (7 db). Egyébként a jelölt

publikációnak magas száma mellett kiemelendő azok jó idézettsége is (75 db független idézet). [E megjegyzésem igaz a jelölt tézisfüzetével kapcsolatban is.]

A dolgozatban leírtakkal kapcsolatban csak egyetlen kérdésem van: A PWM vezérléssel megoldott fényerőszabályozás esetén (4.3.1. fejezet, 67.-68. oldal) termikus drift nem volt megfigyelhető? A más és más kitűltési tényező mellett más és más az impulzus hőellenállás (*pulsed thermal resistance*), így a pn átmenet hőmérséklete is változhat, ami hatással van egy LED fényének spektrális teljesítményeloszlására, így az általa keltett színingerre is.

A fenti, főleg formai kérdéseket érintő kritikai megjegyzéseim ellenére az a véleményem, hogy **Csuti Péter dolgozata értékes munkát tükröz**. A dolgozatot és a dolgozatban ismertetett munkát a jelölt sajátjának tartom. Az elvégzett munka révén új tudományos eredmények születtek. A dolgozatban ismertetett munka publikáltsága meghaladja a Pannon Egyetem doktori szabályzatában a PhD cím odaítélésének feltételül megszabott szintet. A szerző a téziseit rangos nemzetközi publikációkkal jól alátámasztotta, ezen publikációk közül három impakt faktoros folyóirat cikk (szemben az elvárt 1 db cikkel).

A jelölt által megfogalmazott négy tézist változtatás nélkül, jelentős új tudományos eredménynek fogadom el.

A fentiek alapján, függetlenül a fent feltett kérdésekre adott választól, javaslom a dolgozat benyújtását és nyilvános vitára bocsátását, sikeres védelem esetén **javaslom a PhD fokozat megítélését**.



Dr. hab. Poppe András egyetemi docens, tanszékvezető
a műszaki tudomány kandidátusa
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke

Kelt Budapesten, 2017. március 29-én.