



Foglalatba illeszthető LED-modulok hűtőszelvényeinek termikus vizsgálata

– Poppe András, Kollár Ernő, Tóth Zoltán, Simonovics János –

A foglalatba illeszthető LED-modulok fejlesztése felkeltette az igényt az ilyen modulok hűtésére szolgáló hűtőszelvények, hűtőbordák termikus minősítése iránt. E feladat kapcsán a gyártók természetes próbálkozása, az alkatrész szintű LED termikus mérési szabványoknak egy teljes LED-modul + hűtőszelvény rendszerre történő alkalmazása lehet, de ekkor ismerni kell az alkalmazott LED-ek teljes kisugárzott optikai teljesítményét. Annak érdekében, hogy ne kelljen ezt meghatározni, a hűtőszelvények termikus minősítő mérései során célszerű a LED-modulokat termikus viselkedésük szempontjából jól képviselő termikus helyettesítő modult használni, amelyben LED-ek helyett pl. szilíciumdiódák vagy tranzisztorok a hőforrások. Jelen írásunkban egy ilyen ún. termikus dummy modult mutatunk be, majd ismertetjük az ezen modul segítségével végzett mérések eredményeit, és azt a módszert, amelynek a segítségével a mérési eredményekből megállapítható a hűtőbordák hőellenállása.

1. Bevezetés

Nem sokkal a foglalatokkal rendelkező LED-modulokra vonatkozó termék szabványok (mint pl. az ún. Zhaga "könyvek" [1], [2]) megjelenése után igény jelentkezett arra, hogy az ilyen LED-es fényforrások hűtésére szánt szerelvények termikus jellemzésére standard módszerek alakuljanak ki. Természetesen korábban is voltak próbálkozások arra, hogy hűtőszelvényeket termikus szempontból jól jellemezzenek, de jobbára azért, hogy rendszerszintű termikus szimulátorok számára modellezni lehessen azokat.

A tokozott félvezető eszközök és hűtőszelvények ilyen, termikus tranziens mérései alapján készített, ún. kompakt termikus modellezésének alap gondolata már régről ismert [3]. E szerint a modellek paramétereit az ún. struktúrafüggvények segítségével állapítottuk

meg. Jóllehet, ezen korai publikációnk alapján jól számszerűsíthető modelleket mutattunk be, nem létezett még semmilyen szabványos módszer arra, hogyan válasszuk szét egymástól a félvezető eszköz tokozásának, a termikus határfelületi anyagnak, és a hűtőbordának a rész-hőellenállásait. Jóllehet, egy nem túl régi cikk [4] chip-on-board (CoB) technikával szerelt, LED-mátrixok hűtésére szánt hűtőbordák optimalizálásával, és így ezen hűtőbordák modellezésével foglalkozik, a cikkben közölt eredmények azonban az egész LED-mátrix + hűtőszelvény rendszerre jellemzőek, így a cikk sajnos nem ad semmiféle számszerű eredményt magára a hűtőbordára vonatkozólag. Ezért az ott leírtak nem szolgálnak hasznos iránymutatással a foglalatba illeszthető LED-modulok hűtő szerelvényeinek termikus karakterizálása tekintetében.

Jelen írásunk célja az, hogy felvázoljunk egy, a foglalatba illeszthető LED-modulok hűtőszelvényeinek termikus minősítésére alkalmas, számszerű eredményeket szolgáltató mérési eljárást. Ugyan ezt az eljárást a GE egy konkrét LED-modul családjának [5] tagjaihoz tervezett hűtőbordák számára hoztuk létre, a mérési módszer általánosan használható hasonló LED-modulcsaládok hűtőszelvényeinek esetében is.

2. A mérés alap gondolata

Ahogy azt korábbi konferenciaközleményünkben [3] részletesen leírtuk, hűtőbordák termikus impedanciáját nagyon jól meghatározhatjuk egy, a hűtőbordára szerelt tokozott félvezető eszköz termikus tranziens mérése segítségével. Ennek lényege az, hogy a félvezető eszközön egy disszipáció egységugrást létrehozva mérjük a félvezető lapka felületi hőmérsékletének időbeli megváltozását. Eből a hőmérsékleti tranziensből megállapítható a környezet felé történő hőátadás egy

Foglalatba illeszthető LED-modulok hűtőszerezvényeinek termikus vizsgálata



részletes hálózati modellje, amelyet az ún. struktúrafüggvény reprezentál.

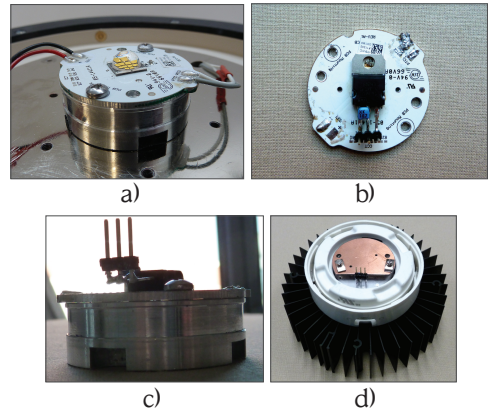
A LED-ek mint félvezető eszközök termikus transziens mérése esetében a valós termikus impedancia meghatározását az nehezíti, hogy az alkalmazott disszipáció ugrás meghatározásához ismerni kell a LED által kibocsátott fény teljesítményét is. E problémára kínáltak megoldást a LED-ek termikus méréseire vonatkozó új JEDEC szabványok [6], [7], [8], amelyeknek rövid magyar nyelvű ismertetése a 2012-2013-as Világítástechnikai Évkönyvben jelent meg [9]. A legnagyobb probléma, hogy ezek a szabványok LED-tokokra vonatkoznak. E szabványok szerint a mérés számára szolgáló termikus környezetet, a mérendő LED-tokot hordozó ismert hőmérsékletű hideg lemez jelenti, míg a hűtőbordával ellátott LED-modulok esetében a működésre jellemző termikus mérési környezetet az ún. JEDEC 1 köblábas álló levegős kamrához hasonló, de annál nagyobb kiterjedésű természetes konvekciós környezet jelentené.

2.1. Termikus helyettesítő modul alkalmazása

A fent vázolt mérés technikai probléma megoldására (tehát hogy ne hideglemezen, hanem természetes konvekciós környezetben mérjünk, és ne kelljen a LED-modul kisugárzott optikai teljesítményét megmérni) megoldás lehet, ha egy olyan ún. termikus dummy modult készítünk, amelynek mechanikai struktúrája a lehető legjobban hasonlít a szóban forgó LED-modulok szerkezetére, de LED-ek helyett konvencionális szilícium eszköz (pl. egy teljesítmény tranzisztor) található a modulban. Fontos, hogy ez a szilíciumeszköz annyi hő disszipáljon, mint amennyi a LED-modul veszteségi hője, és a modul és a hűtőborda közötti termikus határfelületen a hőáramfluxus eloszlása feleljen meg az eredeti LED-modul esetében tapasztalható eloszlásnak. Az 1. ábrán az általunk vizsgált LED-modul és az azt helyettesítő termikus dummy modul fényképe látható.

A LED-nek szilíciumeszközzel történő helyettesítése lehetővé teszi, hogy a termikus méréseket a diszkrét szilícium félvezető eszközökre vonatkozó szabványok szerinti módon végezhessük el, így nem kell foglalkozunk az optikai teljesítménnyel.

Egy teljesítménytranzisztor alkalmazása azzal az előnnyel is jár, hogy annak disszipációja az emitter áram és a kollektor-bázis feszültség alkalmas megválasztásával tág határok közt állítható, így a termikus helyettesítő modullal az eredeti LED-modulcsalád különböző teljesítmény szintű tagjai is helyettesíthetők. A méréseink során használt berendezés (Mentor Graphics MicReD T3Ster [10]) segítségével akár 100 W disszipáció is beállítható egy tranzisztor esetében.



1. ábra. a) Az eredeti LED-modul meghajtó elektronika nélküli „magja”, b) A modul bipoláris tranzisztorral szerelt hordozó lemeze, c) A termikus helyettesítő modul teljes „magja”, d) A teljes termikus helyettesítő modul és egy hűtőborda

2.2. A hővezetési út egyezése

Mivel a termikus helyettesítő modul és az eredeti LED-modul szerkezete – a félvezetőeszköztől eltekintve – azonos, és hűtőbordák a mechanikai csatlakozó felületei azonosak, azt vártuk, hogy mind a termikus helyettesítő modulból, mind egy tényleges LED-modulból

Foglatatba illeszthető LED-modulok hűtőszervelvényeinek termikus vizsgálata

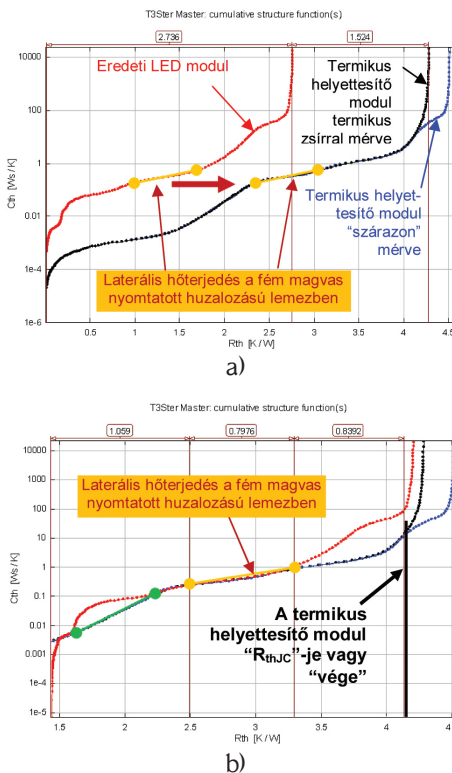
azonos módon történik a hűtőborda irányában a hőátadás. Ezt a feltevésünket egy eredeti LED-modul, és a termikus helyettesítő modul termikus tranziens mérésével igazoltuk. Mindkét modult hideg lemezre szerelve kétszer mértük úgy, hogy az egyik esetben termikus zsírral szereltük a modulokat a hideg lemezre, a másik esetben pedig „szárazon”, termikus zsír alkalmazása nélkül. Ez a „dupla” mérés a termikus határfelület tulajdonságaival megfelel a JEDEC JESD51-I4 szabvány szerinti ún. transient dual interface módszernek, amely a teljesítmény félvezetők junction-to-case (a pn átmenettől a tok hűtőfelületéig terjedő) hőellenállásának mérésére szolgáló legújabb szabvány [11].

Az eredeti LED-modul és a termikus helyettesítő modul junction hőmérsékelt tranzienseiből megállapított $Z_{th}(t)$ termikus impedanciagörbéket ún. struktúra függvényekké konvertáltuk. Ezek a hővezetési út „térképének” tekinthető függvényeken jól azonosíthatóak a modulok egymásnak pontosan megfeleltethető szakaszai (2. ábra).

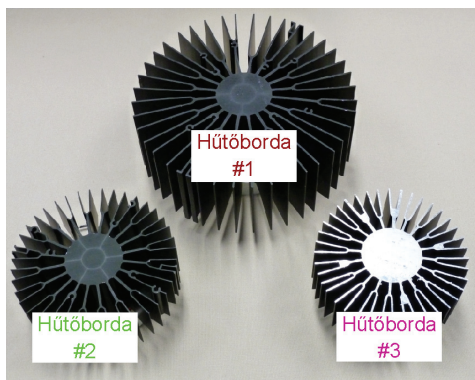
3. Mérési eredmények

Három különböző hűtőbordát vizsgáltunk a termikus helyettesítő modul segítségével egy olyan állólevegős kamrában, amely hőtechnikai tulajdonságai tekintetében megfelel a szabványos egy köblábas JEDEC kamrának, de annál nagyobb méretű volt. A vizsgált hűtőborda + termikus helyettesítő modul szerelvényeket a kamra közepén függesztettük be. A vizsgált hűtőbordák (3. ábra) méretükben és a termikus csatlakozó felületük megmunkálásában különböztek.

A hűtőbordákhoz csatlakoztatott termikus helyettesítő modulra vonatkozó mérési eredményeket a 4., 5., 6. és 7. ábrán mutatjuk be. A mérések kiértékelésekor a legkisebb hőellenállású összeállítást, a termikus pasztával (termikus zsírral) a hideg lemezre szerelt mérő modult tekintettük referenciának (fekete görbe a 4. ábrán).

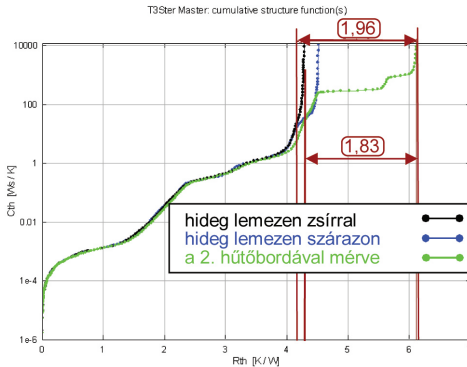


2. ábra. Egy eredeti LED-modul és a termikus helyettesítő modul kumulatív struktúra függvényei
a) a mérésekből közvetlenül származtatott görbék a hővezetési út jellegzetes elemeivel,
b) az egymásnak megfelelő szakaszok illesztve

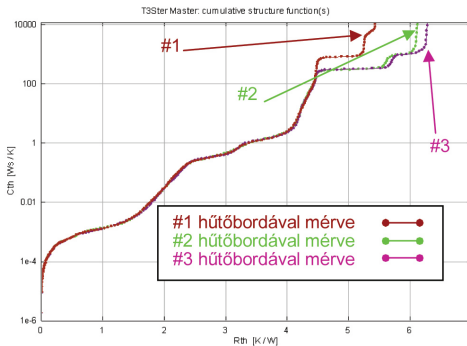


3. ábra. A vizsgált LED-modul hűtőbordák

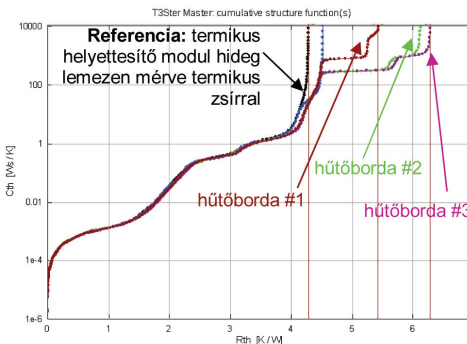
Foglatatba illeszthető LED-modulok hűtőszerezvényeinek termikus vizsgálata



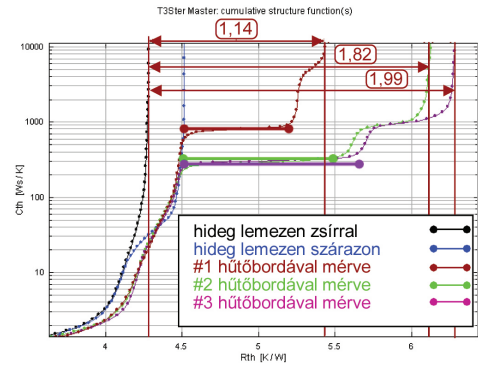
4. ábra. A 2. sz. hűtőbordához csatlakoztatott termikus helyettesítő modul (zöld görbe) és hideg lemezen termikus zsírral (fekete görbe) és szárazon, termikus zsír nélkül (kék görbe) mért helyettesítő modul struktúrafüggvényei



5. ábra. A termikus helyettesítő modul mindhárom hűtőbordával mért struktúrafüggvényei



6. ábra. A hideg lemezen (termikus zsírral, illetve szárazon) és a hűtőbordákkal mért termikus helyettesítő modul struktúrafüggvényei. A hideg lemezen termikus zsírral mért görbét tekintjük referenciának



7. ábra. A 6. ábra nagyított részlete.

A struktúra függvényeken színes vízszintes vonallal jelölt részek a hűtőborda és a mérő modul közötti átmeneti hőellenállásoknak felelnek meg. Az ábra tetején külön jelöltük, hogy a referenciához képest hány K/W-tal nagyobb az egyes hűtőbordákkal szerelt összeállítás teljes hőellenállása

Az összes többi mérési összeállítás esetében az ezen referenciához képest bekövetkező hőellenállás-növekmény, az adott hűtési megoldás (hűtőborda geometria és felületi megmunkálás) jószágát jelzi: minél kisebb a növekmény, annál hatékonyabb a hűtés. A 4. ábrán a referenciagörbe szingularitása és a 2. sz. hűtőbordával szerelt összeállításhoz tartozó struktúrafüggvény (zöld görbe) szingularitása közötti különbség 1,83 K/W. Az ábrán jelöltük a mérő modulra értelmezett $R_{th/C}$ hőellenállásnak megfelelő pozíciót (ami a kék és a fekete görbék elválási pontja). Ehhez képest a zöld görbe szingularitása 1,96 K/W-tal nagyobb hőellenállás értéknél van. E két szám különbsége, 0,13 K/W a hűtőborda és a mérő modul közötti átmeneti hőellenállásnak felel meg. Ennek értéke a használt termikus határfelületi anyag fajtájától (termikus zsír, a modul aljára ragasztott elasztikus ún. thermal pad anyag stb), illetve a modult és a hűtőbordát összeszorító erőtől is függ. A struktúra függvények előnye abban is megmutatkozik, hogy segítségükkel ezen (mérésről mérésre nehezen reprodukálható) átmeneti hőellenállás értéke is meghatározható és amennyiben szükséges, az



adatkiértékelésnél figyelembe vehető. Az 5. ábrán a vizsgált három hűtőbordára vonatkozó mérési eredményeket láthatjuk, struktúrafüggvények formájában. A hűtőbordák jóságának számszerű összehasonlítását segíti, ha megint összevetjük a hozzájuk tartozó struktúrafüggvényeket a referenciagörbével (6. ábra és 7. ábra).

Ezek alapján a legjobb hűtés az 1. számú, nagy hűtőbordával érhető el, a referenciához képest 1,14 K/W hőellenállás-növekménnyel. A legnagyobb, közel 2 K/W értékű hőellenállás-növekményt a 3. számú hűtőbordánál tapasztaltuk. Ugyan a 2. és 3. számú hűtőbordák geometriája nagyon hasonló volt, de a LED-modulhoz (illetve esetünkben a mérést szolgáló termikus helyettesítő modulhoz) csatlakozó felületük megmunkálása különbözött. A 7. ábrán jól látszik, hogy ennek jelentős hatása van az adott hűtőborda hőellenállására.

4. Összefoglalás

A foglalatba illeszthető LED-modulok termikus környezetének mérésével való vizsgálatához előnyös az, ha az ilyen modulokat helyettesítjük egy azokat termikus szempontból jól reprezentáló, de szilíciumdiódával vagy tranzisztorral szerelt, a LED-modullal azonos mechanikai kialakítású modullal. Ennek egy nagy előnye, hogy a termikus helyettesítő modul révén a hőellenállás mérése során nincs szükség a kiságázzott optikai teljesítmény mérésére.

Az eredeti LED-modul és a termikus helyettesítő modul hasonló viselkedésének igazolására a modulok mért $Z_{th}(t)$ termikus impedancia görbéiből származtatott struktúrafüggvényeket használtuk. A JESD51-14-es szabványban [11] definiált ún. „dual transient interface” módszer szerint, a struktúrafüggvények alkalmazásával meghatároztuk a termikus helyettesítő modul hőellenállását, valamint a modulhoz illesztett különböző hűtőbordák esetében

mért teljes hőellenállásokat, illetve a mérő modul és a hűtőbordák közötti határfelületi hőellenállás értékét. Ezek ismeretében az egyes hűtőbordák „jóságát” számszerűsíteni tudtuk. A struktúrafüggvények segítségével azt is ki tudjuk mutatni, hogy mennyiben járul hozzá a hűtőbordák geometriai kialakítása, illetve a LED-modulokhoz csatlakozó termikus illesztő felületük mechanikai megmunkálása a hűtőbordák teljes hőellenállásához. Ugyan méréseinket a GE egy konkrét, foglalatba illeszthető LED-modulja, és az ezen LED-modulcsaládhoz tervezett hűtőbordák segítségével végeztük, az itt bemutatott termikus minősítő eljárás teljesen általános, ezért az más LED-modulok esetében is alkalmazható.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1]. Zhaga Interface Specification Book 1: „Over-view and Common Information”, (Edition 1.6, September 2014)
- [2]. Zhaga Interface Specification Book 2: „Type A: Socketable with integrated control gear 70 mm diameter x 45 mm height circular light emitting surface, 57 mm minimum diameter”, (Edition 1.4, November 2014)
- [3]. G. Farkas, A. Poppe, E. Kollár, P. Stehouwer, „Dynamic Compact Models of Cooling Mounts for Fast Board Level Design”, In: Proceedings of the 19th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'03), San Jose, USA, 11-13 March 2003, pp. 255-262, DOI: 10.1109/STHERM.2003.1194371
- [4]. Bum-Sik Seo, Ki-Joung Lee, Jong-Kyung Yang, Young Seek Cho, and Dae-Hee Park, „Development and Characterization of Optimum Heat Sink for 30 W Chip on Board LED Down-Light”, Transactions on Electrical and Electronic Materials 13(6): pp. 292-296, 2012, DOI: 10.4313/TEEM.2012.13.6.292

**Foglalatba illeszthető LED-modulok
hűtőszerezvényeinek termikus vizsgálata**



- [5]. www.gelighting.com/LightingWeb/na/solutions/highlights/infusion-led-module/overview/
- [6]. JEDEC Standard JESD51-50, „Overview of Methodologies for the Thermal Measurement of Single- and Multi-Chip, Single- and Multi-PN Junction Light-Emitting Diodes (LEDs)”, (April 2012)
- [7]. JEDEC Standard JESD51-51, „Implementation of the Electrical Test Method for the Measurement of the Real Thermal Resistance and Impedance of Light-emitting Diodes with Exposed Cooling Surface”, (April 2012)
- [8]. JEDEC Standard JESD51-52, „Guidelines for Combining CIE 127-2007 Total Flux Measurements with Thermal Measurements of LEDs with Exposed Cooling Surface”, (April 2012)
- [9]. Poppe András: „Teljesítmény LED-ek új termikus mérési szabványai”, In: Barkóczi G., Bolvári G., Szabó F. (szerk.): „Világítástechnikai Évkönyv 2012-2013”, pp. 96-102
- [10]. www.mentor.com/products/mechanical/micred/t3ster
- [11]. JEDEC Standard JESD51-14 „Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction-To-Case of Semiconductor Devices with Heat Flow Through a Single Path”, (November 2010)



Világítástechnikai hulladékok (fénycsövek, lámpák és lámpatestek) ingyenes átvétele, begyűjtése és hasznosítása.



ELECTRO-COORD®
MAGYARORSZÁG

ELECTRO-COORD MAGYARORSZÁG NONPROFIT KFT.
1132 Budapest, Váci út 12. I. em. 1.
Tel: 30-222-2229

e-mail: iroda@electro-coord.hu, www.electro-coord.hu

