

열전도성 플라스틱을 적용한 자동차 LED 전조등 방열구조 연구

김형진^{1,2}, 이동규², 박현정², 양희석³, 나필선³, 곽준섭^{2,a}

¹ (주) 서광 부설연구소

² 순천대학교 대학원 인쇄전자공학과

³ (재)전남테크노파크 신소재기술산업지원화센터

Design and Fabrication of Heat Sink for Vehicle LED Headlamp Using Thermally-Conductive Plastics

Hyeong Jin Kim^{1,2}, Dong Kyu Lee², Hyun Jung Park², Hoe Seok Yang³, Pil Sun Na³, and Joon Seop Kwak^{2,a}

¹ Seo Gwang, Department of Research & Development, Jangseoung 515-862, Korea

² Department of Printed Electronics Engineering, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

³ Jeonnam TechnoPark, Advanced Materials Industrialization Center, Suncheon 540-856, Korea

(Received June 25, 2015; Revised July 24, 2015; Accepted July 24, 2015)

Abstract: Since LEDs (light emitting diodes) have many advantages as a light source in vehicle headlamp, such as good reliability, energy and space saving, and flexible headlamp design. On the other hand, the dependence of its performance and life on temperature have great influence on its practical use. In this study, design and fabrication of heat sink for vehicle LED headlamp were performed using thermally-conductive plastics. This study focused on the effective heat sink structure with limited space in the vehicle LED headlamp. We designed two different prototype of heat sink by thermal simulation using SolidWorks program, which had excellent temperature characteristics. The two different prototype of heat sink were fabricated by injection molding with thermally-conductive plastics. The results showed that LED T_j (junction temperature) of sample B (model 1) and sample C (model 1, 2) was below then 165°C when applying the thermally-conductive plastics in heat sink of vehicle LED headlamp.

Keywords: Light-emitting diodes, LED light, LED headlamp for vehicle, Heat sink

1. 서 론

자동차 전조등 광원은 1900년대에 최초로 텅스텐을

사용하고부터, 할로겐, HID (high intensity discharge)까지 많은 발전을 거듭해왔다 [1,2].

최근 LED는 친환경적, 반영구적인 수명 특성으로 인해 자동차 전조등에 적용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 일본에서 최초로 양산 자동차에 LED 전조등 적용을 시작으로 유럽과 미국의 여러 자동차사에서 적용을 하고 있다 [3-5].

자동차 전조등에 LED를 광원으로 사용할 경우, 기

a. Corresponding author; jskwak@sunchon.ac.kr

Copyright ©2015 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

존 광원에 비해 낮은 소비 전력을 사용하며 소형화와 경량화 설계가 가능해 자유도가 높은 디자인 설계와 에너지 절약효과를 얻을 수 있다. 자동차 전조등에 LED 광원이 성공적으로 적용되기 위해서는 방열설계 기술 및 방열 재료의 경량화가 요구된다. 자동차 LED 전조등은 자동차 엔진에서 발생하는 열과 라디에이터 등에서 발생하는 열로 인해 높은 온도에 노출되어 있다. 이런 밀폐된 전조등의 내부에 배치된 LED 소자가 열화 되면 광량이 감소하고, 수명이 단축된다 [6]. 따라서, 방열 구조 설계기술의 적용으로 열 저항 3 K/W 이하 수준의 방열 시스템이 필요하며, 방열핀, 방열판, 적용에 따른 방열 시스템의 소재 경량화도 매우 중요하다.

자동차 LED 전조등의 방열설계는 중요한 요소이며 방열성능이 우수하고 열전도도가 높은 금속재질을 heat sink로 사용하는 연구가 많이 진행되고 있으나 [7-9], 열전도도 특성이 우수한 플라스틱 수지를 이용한 heat sink에 관한 연구는 미비한 실정이다.

본 논문에서는 SolidWorks 프로그램을 이용하여 자동차 전조등의 제한적인 공간에 효과적인 방열구조를 가지는 heat sink의 방열설계 및 열 해석을 진행하였다. 열 해석을 통하여 온도 특성과 사출성이 우수한 2개의 모델을 기반으로 자동차 LED 전조등 heat sink를 제작하였다. 열전도성 플라스틱을 사용한 자동차 LED 전조등 heat sink는 LED T_j 가 165°C 이하의 방열 특성을 나타내었으며, 이는 자동차 LED 전조등에 열전도성 플라스틱 소재의 heat sink 적용이 가능함을 보여준다.

2. 실험 방법

2.1 자동차 LED 전조등 heat sink 구조

LED는 열에 취약하므로 이에 대한 대비가 중요하며, 이는 소비전력과 수명과도 직결된다. LED 전조등의 방열시스템에서 중요한 것은 heat sink의 구조설계이다. LED에서 발생하는 열은 LED package → PCB → Thermal Interface Materials → Heat sink를 거쳐서 최종적으로 대기로 방출된다. Heat sink는 외부의 대류조건과 온도조건 등에 의해서 방열 성능이 크게 좌우된다.

그림 1은 본 연구에서 적용한 자동차 LED 전조등의 heat sink 외각 크기로 폭 (Width) 50 mm, 깊이

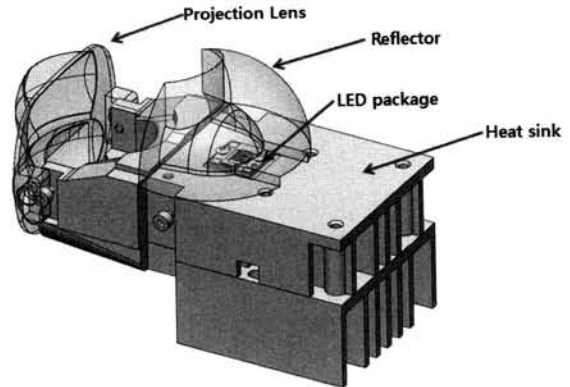


Fig. 1. Schematic diagram of low beam module for Vehicle LED headlamp.

(Depth) 100 mm, 높이 (Height) 100 mm로 설정하였고, LED 전조등을 일체형 heat sink 구조로 설계하였다.

2.2 시뮬레이션 조건

Table 1. Specification of LED.

Predicted Product Performance 1,000 mA DC Operation Case Temperature $T_c=25^\circ\text{C}$	
Luminous flux (min)	1,120 lm
Luminous flux (min)	1,250 lm
Luminous intensity	390 cd
Thermal resistance junction to board	2.1 K/W

Table 2. Parameters applied in simulation.

Model name	Properties
Heat sink material	Al 6063-T5
LED package power	12 W
Convection coefficient	5 W/m ² ·K
Ambient temperature	105°C

LED 전조등은 방열시스템 공간이 제한적이며 국부적으로 발생하는 열을 heat sink 구조 설계를 통해 LED T_j 175°C 이하로 관리해야지만 수명과 성능을 보장할 수 있다. 본 논문에서는 LED T_j 를 175°C의 6% 가량 감소시킨 약 165°C 이하로 설정하였고, 사용된 LED package는 OSRAM사에서 개발된 자동차 전조등

용 고출력 백색 5칩 LED를 사용하였다 [10]. LED에 대한 제원은 표 1과 같다.

표 2는 열 해석에 적용된 재질 및 시뮬레이션 조건을 나타내고 있다. 주변온도 378.15 K (약 105°C), 대류계수 5 W/m²·K, LED 소비전력 12 W의 조건으로 설정하였다. 모듈설계를 위해 3D PLM (Product Lifecycle Management) 도구인 SolidWorks를 사용하여 설계하였고, 열 해석은 SolidWorks의 thermal simulation을 활용하였다.

2.3 자동차 LED 전조등 heat sink 제작 및 측정 방법

열전도성 플라스틱 (thermally-conductive plastics)은 엔지니어링 플라스틱 (engineering plastics)의 한 종류로서, 열전도성이 우수한 플라스틱을 말하며 기존 플라스틱에 비해 5~100배까지 높은 열전도도를 가지고 있다. 열전도율이 다른 3종의 열전도성 플라스틱을 원료를 가지고 자동차 LED 전조등 heat sink를 제작하였다.

LED 전조등의 신뢰성을 증명하기 위해서는 혹독한 환경에서 테스트가 진행되어야 한다. 자동차 전조등은 혹서기 시 주위 환경의 온도는 약 40°C, 엔진 룸의 온도는 약 90°C 수준이다. LED 전조등의 방열 성능 평가는 차량 엔진룸 보다 혹독한 환경을 조성하기 위해서 오븐을 105°C로 설정하여 진행하였다. 자동차용 LED package에 소비전력 12 W를 공급 후 4개의 접촉식 thermocouples를 이용하여 LED package의 soldering point, Al plate, heat sink의 방열핀, ambient temperature, 총 4군데를 측정하였다.

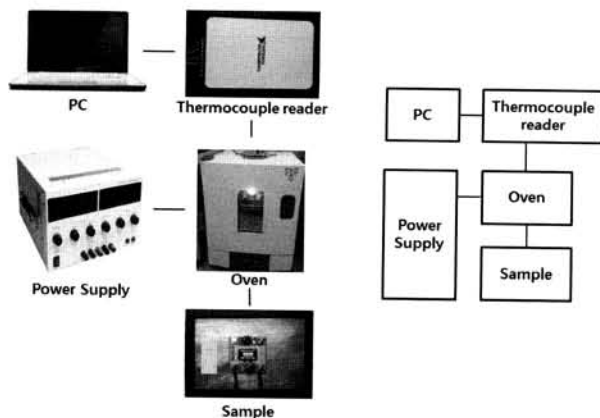


Fig. 2. Prototype measuring equipment and experimental diagram.

3. 결과 및 고찰

3.1 Heat sink 형상에 따른 시뮬레이션 결과

차량용 LED 전조등의 heat sink 구조 외각 사이즈는 제한적인 공간으로 50×100×100 mm³ (W×D×H)로 설정하였다. Heat sink 형상은 총 4가지의 모델을 가지고 열 해석을 진행하였다.

그림 3은 설계된 4가지 heat sink의 열 해석 결과를 보여주고 있다. 열 해석 결과 rectangle 형상인 model 1의 heat sink가 다른 형상에 비해 177°C로 우수한 온도 특성을 보였다.

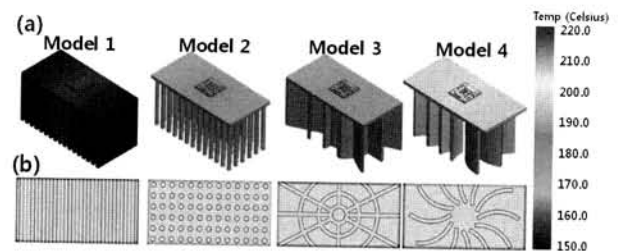


Fig. 3. Temperature contour of various heat sink model for ambient temperature at 105°C. (a) Temperature contour of various type of heat sink and (b) various shapes of heat sink used.

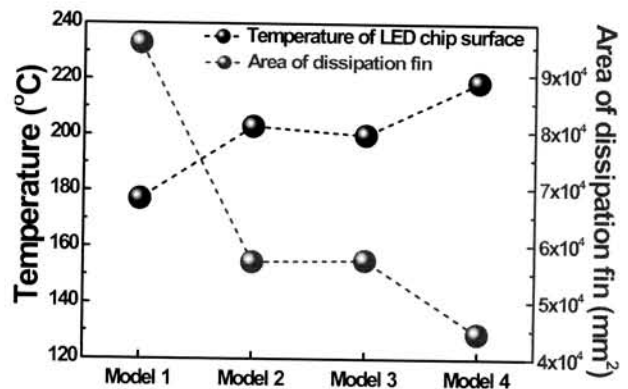


Fig. 4. Various heat sink thermal simulation results at 105°C and area of dissipation fin for each model.

그림 4는 여러 가지 형상들의 열 해석 결과와 방열핀 면적을 그래프화 하여 비교하였다. Rectangle 형상의 model 1의 방열 핀 면적이 95,594 mm²으로 가장 넓었고, 차례대로 model 2는 56,968 mm², model 3

은 57,273 mm², model 4는 44,403 mm²으로 측정되었다. 최종으로 자동차 LED 전조등 heat sink의 sample 제작은 온도 특성과 사출성형이 우수한 model 1과 사출성이 우수한 model 2를 토대로 제작하였다.

3.2 자동차 LED 전조등 heat sink 제작 및 측정

그림 5는 사출된 3종의 열전도성 플라스틱의 heat sink와 열전도율을 보여주고 있다.

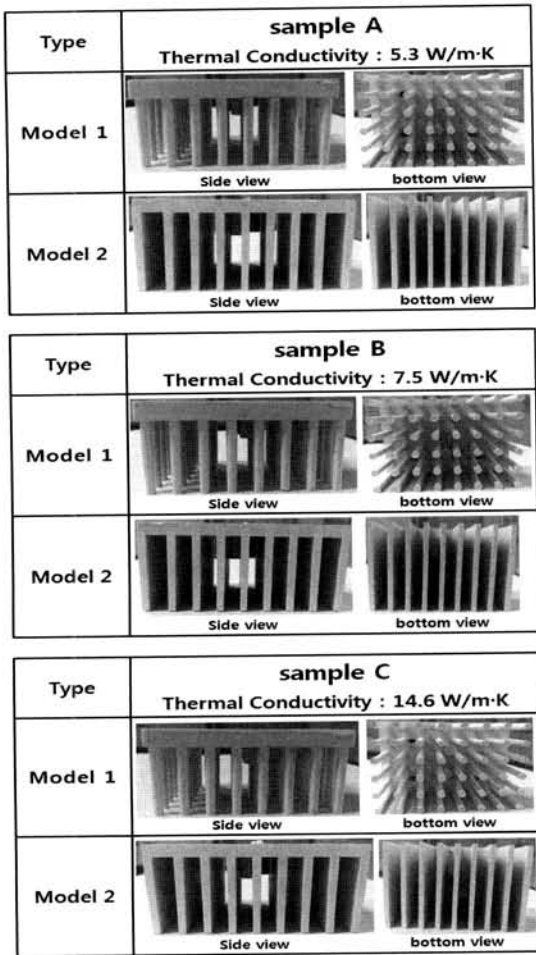


Fig. 5. Three kinds of injection molding thermally-conductive plastics sample.

사출을 진행하기 전 열전도성 플라스틱은 80°C oven에서 8시간 건조 후 사출하였다. 측정은 2.3절에 설명된 방법으로 접촉식 thermocouples를 사용하여 LED package의 soldering point 등 총 4군데를 측정

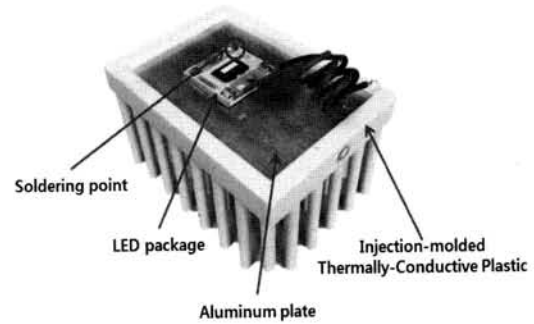


Fig. 6. The soldering point the injection molding sample.

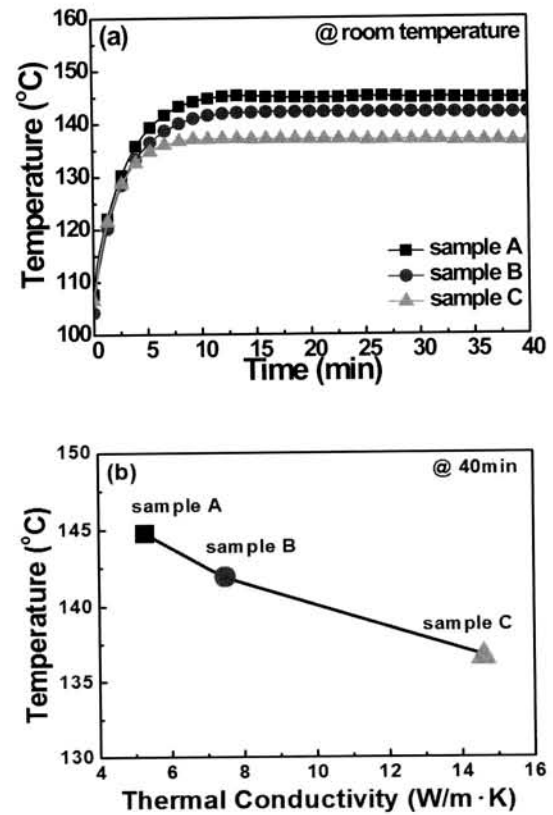


Fig. 7. Soldering point temperature measurement for the various model 1 type heat sink.

하였다. 사출된 3종의 열전도성 플라스틱의 열전도도 Quick Line-10 열전도율 측정기를 이용하여 측정하였다. 3종의 열전도성 플라스틱의 열전도도 측정 결과는 sample A-5.3 W/m·K, sample B-7.5 W/m·K, sample C-14.6 W/m·K로 측정되었다. 그림 7(a)는 105°C oven에서 model 1의 heat sink 온도 특성 결과와

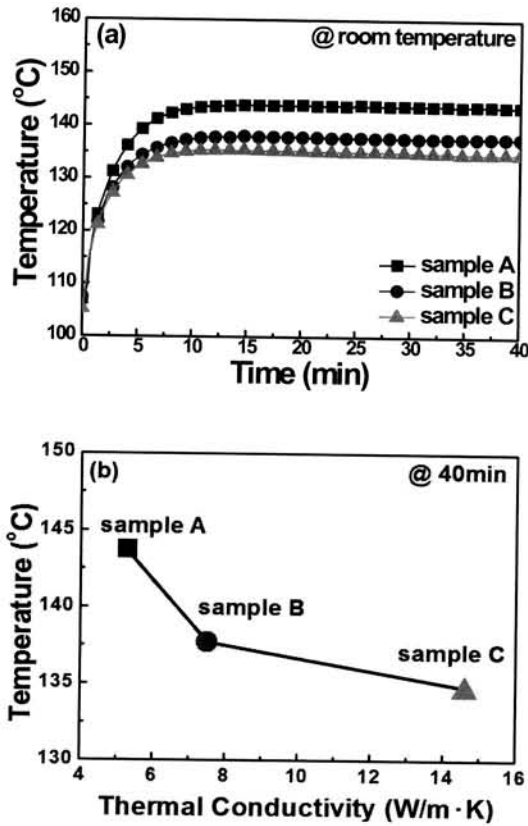


Fig. 8. Soldering point temperature measurement for the various model 2 heat sink.

(b)는 40분 후에 열전도율에 따른 각 샘플들의 온도 특성을 보여주고 있다. 열전도율이 5.3 W/m·K인 sample A는 약 19분 후에 144.7°C, 열전도율이 7.5 W/m·K인 sample B는 약 16분 후에 141.9°C, 마지막으로 열전도율이 14.6 W/m·K인 sample C는 약 10분 후 136.6°C의 온도 특성을 보였다. 그림 8(a)는 105°C oven에서 model 2 heat sink의 온도 특성 결과와 (b)는 40분 후에 열전도율에 따른 각 샘플들의 온도 특성을 보여주고 있다. 열전도율이 5.3 W/m·K인 sample A는 약 15분 후에 143.7°C, 열전도율이 7.5 W/m·K인 sample B는 약 13분 후 137.7°C, 마지막으로 열전도율이 14.6 W/m·K인 sample C는 11분 후 134.6°C의 온도 특성을 보였다. 이는 model 1과 model 2에서 나온 동일한 결과로 열전도성 플라스틱의 열전도율이 증가할수록 포화 온도에 도달하는 시간이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

LED는 p-n접합의 반도체 소자로 T_j 의 온도 관리가 매우 중요하다. 그렇지만 LED T_j 의 직접적인 측정은 불가능하다.

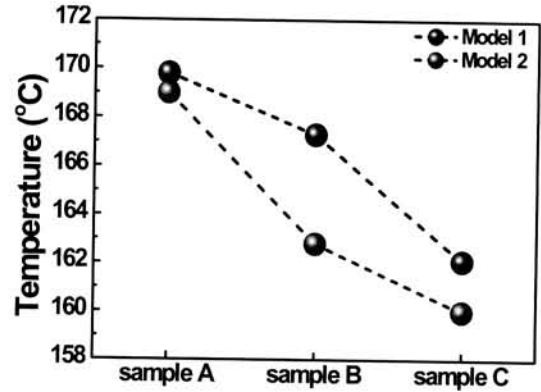


Fig. 9. Calculated junction temperature using Eq.(1).

비접촉식의 IR camera로 측정은 가능하지만 정확한 방사율 값을 도출하는데 한계가 있어 정확한 측정은 불가능하다.

본 논문에서는 LED package의 soldering point를 접촉식 thermocouples로 측정하여 아래 식 (1)을 이용하여 LED T_j 의 온도를 환산하였다.

$$T_{junction} = T_{Soldering\ Point} + P \times R_{LED} \quad (1)$$

위의 식 (1)에서 P 는 LED의 소비전력(W), R_{LED} 는 열저항 값으로 LED junction에서부터 LED package의 soldering point까지의 열저항 값을 나타낸다.

그림 9는 식 (1)을 이용하여 LED T_j 의 온도를 도출한 결과를 보여준다. 그 결과 175°C의 6% 가량 감소시킨 약 165°C의 온도를 만족하는 sample은 model 1의 sample B와 model 1, 2의 sample C가 만족하였다. 자연대류 조건에서 외부 공기의 대류 접촉 면적이 넓고, fin 사이를 통과하는 유체에 추가적인 저항이 발생하기 때문에 대류계수가 낮아져 model 2가 model 1의 heat sink보다 우수한 온도 특성 결과를 확인할 수 있었다. 열전도성 플라스틱은 열전도율에 따라 원료가 비싸다는 단점을 가지고 있다. 따라서 sample B의 원료를 사용하면 좀 더 저렴한 비용으로 175°C의 6% 가량 감소시킨 약 165°C의 온도를 만족하는 자동차 LED 전조등의 heat sink 제작이 가능할 것으로 사료된다. 또한 본 실험만으로 열전도성 플라스틱을 자동차 전조등의 방열소재로 선정하기 위해서는 LED 전조등의 projection lens, reflector, heat sink, 베이스 플레이트를 포함한 LED 전조등 전체 제품에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서 자동차 LED 전조등에 적용되는 heat sink 구조설계 및 열전도성 플라스틱의 소재를 이용하여 시뮬레이션과 자동차 LED 전조등 heat sink의 성능을 평가한 결과는 다음과 같다. 방열 특성이 우수한 모델 (model 1)과 사출성이 우수한 모델 (model 2)을 시뮬레이션을 통하여 자동차 LED 전조등 heat sink를 제작하였고, 각 sample의 온도 특성을 확인한 결과, sample B (model 1)는 162.8°C, sample C (model 1, 2)는 162.1°C, 160°C로 175°C의 6% 가량 감소시킨 약 165°C 이하의 온도를 만족하였다. Sample B의 model 1을 사용하면 저렴한 비용으로 자동차 LED 전조등 heat sink 제작이 가능할 것으로 사료되며, LED 전조등 전제 제품의 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발 사업 (기업부설연구소 신규설치) (No. C-01-93374)과 산업통상자원부의 출연금으로 수행한 지역혁신센터사업(RIC)과 2015년 순천대학교 학술연구비 공모과제로 연구되었음.

REFERENCES

- [1] R. Oliver, *SAE Technical Paper*, **800525** (1980).
- [2] R. Neumann, *SAE Technical Paper*, **940636** (1994).
- [3] T. Inaba, S. Watanabe, Y. Yamada, *SAE Technical Paper*, **2008-01-0339** (2008).
- [4] M. Hamm, W. Huhn, *SAE Technical Paper*, **2008-01-0337** (2008).
- [5] D. Decker and C. Neumann, *SAE Technical Paper*, **2008-01-0490**, (2008).
- [6] A. Anseri, W. Ince, M. Sayer, A. *SAE Technical Paper Series No. 2007-01-1037*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, **SP-2106** (2007).
- [7] S. H. Hwang, S. J. Park, and Y. L. Lee, *KAIS*, **11** 2317 (2010).
- [8] L. Kim, J. H. Choi, and M. W. Shin, *Thermochimica Acta*, **455** 21 (2007).
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2006.11.031>]
- [9] S. Liu, J. Yang, Z. Gan, and X. Luo, *International J. of Thermal Sciences*, **47**, 1086 (2008).
[DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2007.09.005>]
- [10] *OSRAM Opto Semiconductors*, LE UW U1A5 01 Datasheet, <http://www.osram-os.com> (2015).