

## 고전력 LED용 적층형 LTCC 패키징의 ZnO 조성 변화가 방열 특성에 미치는 영향

김우정 · 김형수 · 신대규 · 이희철<sup>†</sup>

한국산업기술대학교 신소재공학과

### Effects of ZnO Composition on the Thermal Emission Properties for LTCC Type of High Power LED Package

Woojeong Kim, Hyung Soo Kim, Daegyul Shin, and Hee Chul Lee<sup>†</sup>

Dept. of Advanced Materials Engineering, Korea Polytechnic University Jeongwang-Dong, Siheung-City, Gyeonggi-Do, Korea

(2012년 8월 31일 접수: 2012년 9월 25일 수정: 2012년 10월 30일 게재확정)

**초 록:** 신뢰성이 우수하며, 소형화가 가능하고, 우수한 열전도도의 은 전극을 이용할 수 있는 LTCC (Low temperature co-fired ceramic) 패키징은 환경 및 열에 약한 플라스틱 패키징을 대체할 것으로 기대받고 있다. 현재 LTCC 패키징의 원료 분말로는 주로  $Al_2O_3$ 을 사용하는데, 본 연구에서는  $Al_2O_3$ 보다 열전도도가 2배 우수한 ZnO를 일부 첨가 또는 대체한 조성 변화를 통하여 패키징의 열 특성 변화에 대해 연구하였다. 소량의 ZnO를 첨가하여 열전도도가 최대 25%까지 상승하는 결과가 나타났으며, 이 결과로 LED 수명이 증가할 것으로 예상된다. ANSYS 시뮬레이션 결과 열 유속의 값이 ZnO가 첨가된 경우 최대 56% 증가함을 확인할 수 있었다. 실제 LED 패키징을 제작하여 측정된 결과도 ZnO를 첨가한 LTCC 패키징은  $Al_2O_3$ 로만 이루어진 패키징보다 열저항이 최대 14.9% 감소하였다.

**Abstract:** LTCC (Low temperature co-fired ceramic) package have been paid much attention due its good reliability, miniaturization, and application of silver paste with complex wiring and printing. Therefore, LTCC package has been expected to replace vulnerable plastic package in the field of high power LED device. Currently, LTCC ceramic package is mainly made up of aluminum oxide powder. In this study, zinc oxide powder is added or replaced for the fabrication of LTCC ceramic body. By adding small amount of ZnO, thermal conductivity of the LTCC ceramic body could be remarkably increased by 25% leading to the extension of LED life time. The LTCC package structure with composition including ZnO has an increased thermal flux by 56% as a result of ANSYS simulation. Actually, the fabricated LED package with the addition of ZnO exhibits a decreased thermal resistivity by 14.9%.

**Keywords:** LED, Package, LTCC, Thermal conductivity

## 1. 서 론

LED의 기술 발전속도가 급격하게 빨라지게 됨에 따라 기존에 정보표시소자로 주로 사용되던 LED는 그 응용분야를 크게 확대하면서 녹색성장의 새로운 동력으로서 신시장을 창출할 꿈의 광원으로서 주목 받고 있다.<sup>1)</sup> LED 칩은 지속적인 발전을 통하여 광 효율 증가로 인한 칩의 면적 및 구동 전류가 증가함에 따라 칩을 외부 환경으로부터 보호하며, LED로부터 발생하는 열을 대기로 방출시킬 필요가 있다. 따라서, 열전도도가 우수한 물질 개발과 설계로 접합 온도를 낮추어 LED 수명을 연장하는 LED 패키징 기술이 중요해지고 있다. LED 패키징의 열

전달은 열전도에 의존하고 있다.<sup>2-4)</sup> 따라서 LED 패키징을 구성하는 소재는 열전도도가 우수한 재료로 선택하여야 하며, 전기적 해석방법을 도입하여 소재 접합간의 열저항을 최대한 낮추는 것이 고전력 LED 칩의 수명 연장에 중요하다. 세라믹 적층 패키징은 패키징 바디가 세라믹 조성으로 이루어져 있으므로, 기존에 사용되었던 PPA (PolyPhthalAmide)에 비하여 열전도도가 6배 정도 우수하며 열팽창계수가 LED 칩과 유사하고, 무기물 소재로써 자외선에도 매우 안정하므로 자외선에 약한 플라스틱 패키징을 대신하여 UV LED에도 적용이 가능하다.<sup>5,6)</sup> 또한 1000°C 이하에서 소결이 가능한 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) 공법 도입으로 열전도도가 급속 중에

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: eechnul@kpu.ac.kr

© 2012, The Korean Microelectronics and Packaging Society

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.

서 가장 우수한 Ag paste를 thermal via가 형성된 부분에 삽입 후 동시에 소성하여 열저항을 낮추는 것이 가능하게 되었다.

본 논문에서는 LTCC 소재에 일반적으로 사용되는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 glass의 혼합 조성에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>보다 열전도도가 2배 우수하며, 동일 순도 대비 원가가 절반인 ZnO를 첨가 및 대체함으로써 열전도도가 향상되는 결과를 얻었다. 조성별로 green sheet을 제작한 후에 소결하여 물리적, 전기적 특성, 열전도도를 측정하였고, ANSYS 시뮬레이터로 조성별 패키징의 온도 구배 및 열 유동을 관찰한 후 최종적으로 조성별 LED 칩을 실장한 패키징을 제작하여 T3ster로 열저항을 실측했다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. LTCC 기판 조성 변화

본 실험에서 사용된 LTCC 분말은 E-Glass사의 EG111 C2이며, 첨가제 및 필러로 사용된 ZnO powder는 고순도 화학 제품으로 순도 99.9% 를 사용하였으며, glass powder는 E-Glass사의 EG111를 사용하였다.

본 논문에서는 Table 1의 총 5가지 조성에 대한 실험을 진행하였다. ZnO 첨가량의 % 양은 LTCC 전체 조성을 100%로 하였을 때의 상대적인 양을 의미한다.

### 2.2. LTCC 기판 소재 특성평가

각 조성별 온도별 시편의 결정과 입계상을 동정하기 위하여 XRD(X-ray Diffractometer)를 사용하여 측정하였고, 시편의 표면 및 단면들은 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 관찰하였다. 열 전도도 측정을 위한 각 시편은 가로 및 세로 0.99 mm 정사각형 모양으로, 두께는 1 mm 이하로 준비한 후에 LFA447 NANO FLASH (NETZSCH, 독일)의 제품을 사용하여 열전도도를 측정하였다.

### 2.3. LTCC LED Package 모델링

세라믹 바디의 조성에 따른 열적 특성을 알아보기 위해 모델링을 통한 열 분석을 진행하였다. 모델링에 사용된 프로그램은 ANSYS Workbench 12.1이며, 세라믹 패키징은 Fig. 1과 같이 구조를 설정하였으며, Table 2와 같은

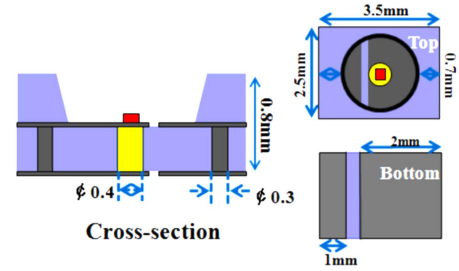


Fig. 1. LTCC ceramic package structure for ANSYS computational simulation.

Table 2. Physical Properties used in the simulation model

Material	Thermal Conductivity (W/m·k)	
LED Chip	130	
Die attach (Ag Epoxy)	20	
Ag (pattern & Via)	429	
Base LTCC	2.533	
LTCC Package (Sintered 830°C)	ZnO 4.7%	3.329
	ZnO 9%	3.293
	ZnO 16%	3.414
ZnO LTCC	3.38	
Solder (Sn)	63	
MCPCB	201	

조건을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

### 2.4. LTCC LED package 제작<sup>7)</sup>

LTCC LED 패키징 전체 제조 공정은 Table 1의 조성에 따른 재료의 혼합, tape casting, 적층, 펀칭, pattern 인쇄 및 via 충전, 절단, 가소, 및 소결 순으로 진행하였다.

### 2.5. LED package의 열 측정

열저항을 확인하기 위해 전기적 열 측정법을 이용하였다. 각 조성별 LED package를 T3ster의 항온조 내에 thermal grease 및 tape를 이용하여 시료의 바닥과 밀착되도록 장착시킨 후 3 mA의 전류를 흘려 전압의 변화량을 측정하여 열저항을 구하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1. 조성에 따른 결정상 분석

Table 1의 조성에 따라 제작한 LTCC 기판 소재를 830°C의 온도에서 소결하였을 때의 각 결정상의 XRD 패턴을 Fig. 2에 나타내었다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 ZnO 결정상이 주요상으로 나타나고 있으나, glass에서 결정화된 SiO<sub>2</sub> 결정상이나, glass가 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 ZnO와 반응하여 생성된 이차상이 일부

Table 1. The LTCC compositions considered in this study

NO	Main (LTCC) composition		Additives
	Filler	Glass	ZnO
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (50%)	50%	-
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (47.6%)	47.6%	4.7%
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (45.4%)	45.4%	9%
4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (41.6%)	41.6%	16%
5	ZnO (50%)	50%	-

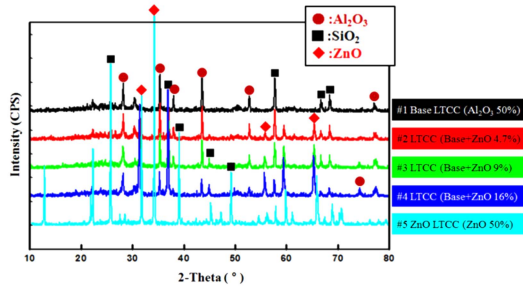


Fig. 2. XRD patterns of LTCC samples sintered at 830°C with different compositions.

관찰되었다.

3.2. 조성/소결 온도에 따른 표면, 단면 관찰

조성에 따른 표면 및 단면 사진을 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. Glass의 액상 소결된 부분과 필러로 사용된 파우더 상을 관찰할 수 있었다. 표면에서 ZnO 함량이 증가함에 따라 액상부분이 감소되어 표면에 파우더 입자가 증가되었다. 이는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 비해 녹는 점이 낮은 ZnO에 의해 glass의 T<sub>g</sub> 값이 낮아지면서 반응한 것으로 판단된다. 동일 온도에서는 ZnO 함량이 높아질 때 기공이 증가함을 볼 수 있다.

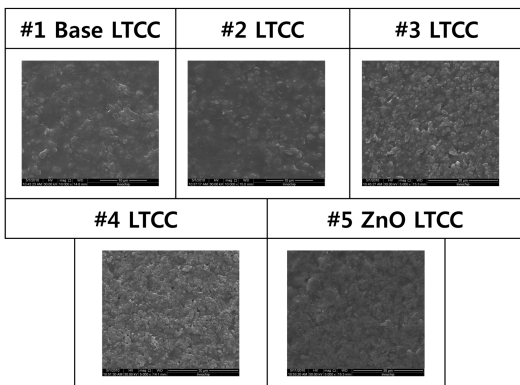


Fig. 3. Planar SEM images of LTCC substrates sintered at 830°C with different compositions.

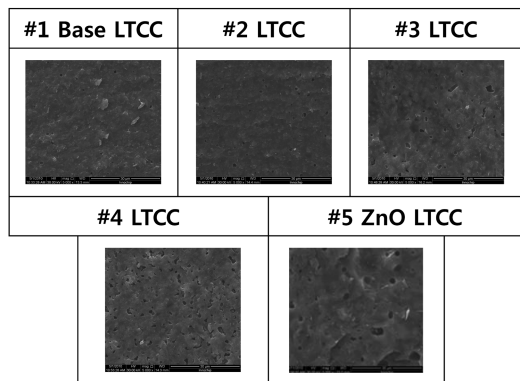


Fig. 4. Cross-sectional SEM images of LTCC substrates sintered at 830°C with different compositions.

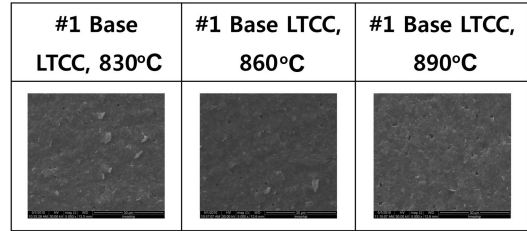


Fig. 5. Cross-sectional SEM images of LTCC substrates sintered at various temperatures.

Fig. 5는 소결온도에 따른 단면 사진으로 소결 온도가 상승함에 따라 미세 기공이 증가하였다.

3.3. 조성별 열전도도 특성 결과

각 조성 및 소결 온도 변화에 따라 제작된 LTCC 기판들에 대해 LFA447 NANO FLASH 장비를 사용하여 열전도도를 측정하여 정리한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 기본 물질에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>보다 ZnO가 2배 우수한 열전도도를 가졌기 때문에 ZnO를 소량 첨가하여도 열전도도가 크게 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 주로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 이루어진 LTCC 기판은 대략 2.6 W/m·k의 열전도도를 나타낸 반면, ZnO를 포함하는 기판들은 3.3~3.4 W/m·k 범위의 열전도도를 나타내었다. 하지만, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 없는 주로 ZnO으로 이루어진 #5 ZnO 50% LTCC 기판은 ZnO를 소량 포함하는 #2~#4 (ZnO 4.7~16%) LTCC 기판들보다 높은 열전도도를 갖지 않았다. 이 현상은 미세 구조관찰에서 glass가 용점이 낮은 ZnO Filler 위에 액상소결되었고, 다수의 기공이 발생하면서 ZnO에 의한 전도도 상승분을 상쇄하였기 때문으로 판단된다. 소결 온도에 따라서는 열전도도가 크게 변화하지 않았다.

3.4. ANSYS 전산모사 결과

열전도도가 상승함에 따라서 LED 열 방출에 기여하는

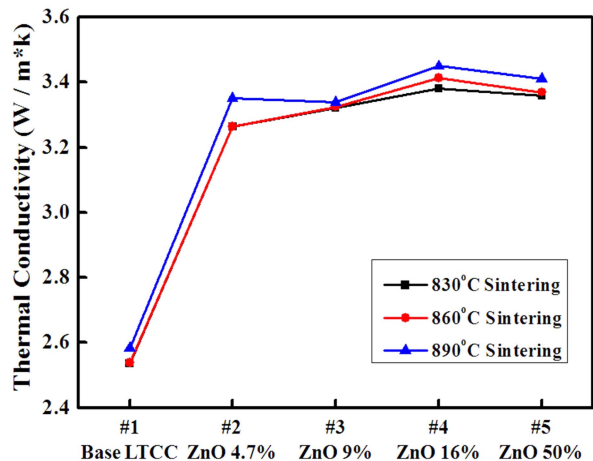


Fig. 6. Variation of thermal conductivity of LTCC substrates with composition and sintering temperature.

지를 확인 하기 위해 Fig. 7과 같은 구조로 모델링한 후에 식(1) 및 식(2)를 사용하여 ANSYS 전산모사를 실시하였다.

$$\rho c(+V_x+V_y+V_z) = q+(K_x)+(K_y)+(K_z) \quad (1)$$

식 (1)에서  $\rho$ 는 밀도,  $c$ 는 비열,  $T$ 는 온도,  $V$ 는 질량평균 유속성분,  $q$ 는 단위체적당 에너지 발생률,  $K$ 는 각 방향의 열전도도를 나타낸다.

$$(\rho\Phi) + d\dot{v}(\rho\Phi - \Gamma\Phi \text{grad } \Phi) = S\Phi \quad (2)$$

식 (2)는 Navier-Stokes 방정식으로 는 의존변수,  $\Gamma\Phi$ 와  $S\Phi$  확산계수와 열원에 대한 함수이고,  $\rho$ 는 물질 밀도를 나타내는 벡터요소이다.

ANSYS는 FEA(Finite Element Analysis)와 FVM(Finite Volume Method)의 방법으로 반복적인 과정에 의해 전산 모사하게 되며, 열 해석 수행의 순서는 기하학적으로 설계된 패키징 모델을 불러와서 메쉬를 자동으로 설정한 후에 접촉부분을 지정하고 열전도도 등의 재료 물성 값을

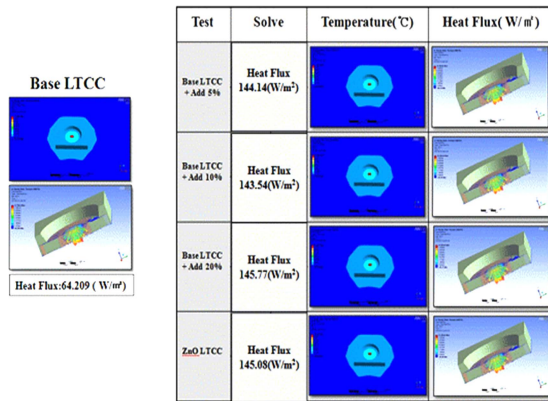


Fig. 7. Variation of thermal flux simulated for samples with different compositions.

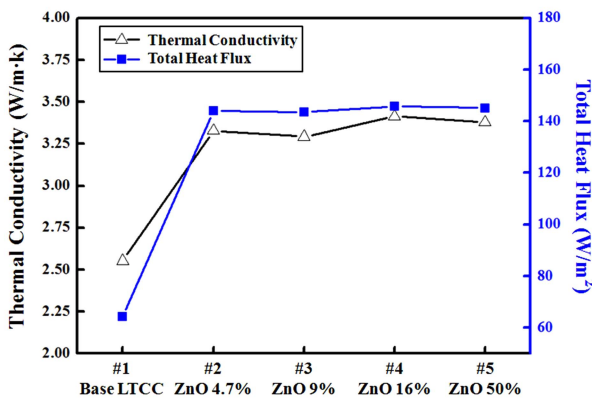


Fig. 8. Relationship of thermal conductivity and heat flux as a result of computational simulation.

입력하여 각 종류에 따른 LED 최대 온도 및 열 유속을 구한다. 모사된 LED 최대 온도는 각 LTCC가 큰 차이를 나타내지 않았지만, 열 유속의 경우 #1 Base LTCC의 경우 64.209(W/m²) 이었고, #4 ZnO 16% LTCC는 145.77 (W/m²)으로 최대 56% 상승된 결과가 나타났다. 이 결과에 따라 ZnO를 첨가할 경우 thermal via 외에 세라믹 버디의 열전도도가 상승되어 열이 편중되지 않고 전도되어 대기로 열 방사가 증가함으로써 열저항이 감소 될 것으로 예상된다.

열전도도와 열유동에 관한 관계는 거의 비례 상관관계로 본 연구에서 사용된 조성에 대한 두 변수의 전산모사 값은 Fig. 8에 정리하여 나타내었다.

### 3.5. LTCC LED Package 열 측정

전산모사를 통하여 열전도도가 높은 물질로 LED 패키징을 제작할 경우에는 열 유동이 증가하여 열저항이 감소될 것으로 결과가 나타났다. 이를 바탕으로 실제 LED Chip을 실장하기 위해 각 조성별 LTCC 패키징의 Ag패턴 위에 Ni, Au무전해 도금을 하여 LED칩을 Ag epoxy로 실장하고, Au Wire-bonding을 통하여 전기적 통로를 연결하여 열저항 측정을 위한 시료를 제작 하였다. 정확한 온도 감응 계수를 구하기 위해 3 mA의 감지전류를 각 조성별 LED Package에 인가하여 주변온도와 열적 평형 상태를 유지한 후에 온도변화에 따른 순방향 전압 곡선의 변화를 측정하였다. 측정된 각 조성별 온도 감응계수는 Base LTCC, ZnO를 4.7%, 9%, 16% 첨가한 LTCC, ZnO LTCC에 대한 순으로 각각 2.938(mV/°C), 2.959(mV/°C), 2.976(mV/°C), 2.997(mV/°C), 2.996(mV/°C)로 나타났다. 각 조성별 전체 열저항 및 패키징만의 열저항 변화를 정리하여 Fig. 9에 나타내었다. Base LTCC, ZnO를 4.7%, 9%, 및 16% 첨가한 LTCC, ZnO LTCC에 대한 전체 열저항은 각각 86.214(K/W), 84.923(K/W), 84.186(K/W), 77.478(K/W), 78.12(K/W)로 측정되었다. 각 조성별 LED 패키징과 LED 칩이 접합되는 부분의 via와 정확히 접합

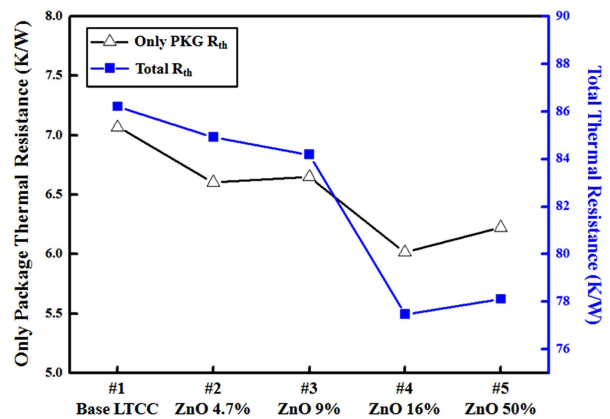


Fig. 9. Variation of total thermal resistance and only-package thermal resistance as a function of composition.

되기 위해서는 패키징 표면 조도가 낮아야 한다. 또한, Ag epoxy가 정확한 위치에 정량으로 도포되어 경화되면 병목현상이 없이 전도가 원활하게 되어 열저항이 감소한다. 각 조성에서 측정된 열저항은 각각 7.069(K/W), 6.604(K/W), 6.651(K/W), 6.016(K/W), 6.224(K/W)로 ZnO 16% 첨가된 조성의 LTCC가 가장 낮은 열저항을 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 상용화된 고전력 LED 패키징용 적층형 LTCC 기판의 세라믹 조성에서  $Al_2O_3$ 를 ZnO로 첨가 및 대체하여 물리적, 전기적 특성, 열전도도 상승에 따른 열저항 변화를 측정하고 전산모사 및 실제 시료를 제작하여 열특성을 예측 및 측정하여 분석하였다. 이에 따른 요약된 결론은 아래와 같다.

1. 열전도도는 ZnO를 소량 첨가함에도 최대 25% 상승되어 열저항 감소에 의한 수명 증가가 예상된다.
2. 각 조성별 ZnO 함량이 증가할수록 필러의 비표면적이 커졌고, ZnO LTCC에서는 입계 성장을 관찰 할 수 있었으며, 내부 기공은 소결 온도와 ZnO 함량이 높을수록 증가하였다.
3. ANSYS를 사용한 열 유동 전산모사에서는 Base LTCC( $Al_2O_3$  50%) 보다 ZnO를 16% 첨가한 LTCC의 열

방출량이 64.209( $w/m^2$ )에서 145.77( $w/m^2$ )으로 56% 상승되었다.

4. 열저항의 경우는 ZnO를 첨가할수록 열전도도가 상승하여 열저항이 감소하였으며, Base LTCC ( $Al_2O_3$  50%)와 ZnO를 16% 첨가한 LTCC를 비교 측정된 결과 7.069 (K/W)에서 6.016(K/W)로 14.89% 가량 열저항이 감소됨을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 장우진, 황명근, 박승욱, 이성남, 노재엽, 조현민, "LED 조명기술개론(in Korean)", 아진출판사 (2009).
2. M. Arik, C. Becker, S. Weaver and J. Petroski, "Thermal management of LEDs: package to system", Proc. SPIE 5187, 64 (2004).
3. Y. Gu, N. Narendran and J. P. Freyssonier, "White LED performance", Proc. SPIE 5530, 119 (2004).
4. H. W. Shin and H. S. Lee, "Variation of Thermal Resistance of LED Module Embedded by Thermal Via", J. Microelectron. Packag. Soc., 17(4), 95 (2010).
5. Application notes from Lumileds (www.lumileds.com)
6. Y. Wang, G. Zhang, Jusheng A, "Research of LTCC/Cu/Ag multilayer substrate in microelectronic packaging", Materials Science and Engineering B94, 48 (2002).
7. S. D. Park and H. G. Kang, "LTCC and LTCC-M Technologies for Multichip Module", J. Microelectron. Packag. Soc., 6(3), 25 (1999).