《연구논문》 Korean Journal of Optics and Photonics, Vol. 25, No. 4, August 2014, pp. 221-224 ISSN : 1225-6285(Print)
DOI: http://dx.doi.org/10.3807/KJOP.2014.25.4.221 ISSN : 2287-321X(Online)

Improved Thermal Resistance of an LED Package Interfaced with an Epoxy Composite of Diamond Powder Suspended in H_2O_2

Bong-Man Choi, Seong-Hun Hong, Yong-Beom Jeong, Ki-Bo Kim, Seung-Gol Lee, Se-Geun Park, and Beom-Hoan O†

School of Information and Communication Engineering, Inha University, 253 Younghyun-dong, Nam-gu, Inchon 402-751, Korea

(Received June 16, 2014; Revised manuscript July 23, 2014; Accepted July 28, 2014)

We present a method for manufacturing a TIM used for packaging a high-power LED. In this method a mixture of diamond powder and hydrogen peroxide is used as a filler epoxy. The thermal resistance of the TIM with hydrogen peroxide was improved by about 30% over the thermal resistance of the TIM without hydrogen peroxide. We demonstrate that as a result the heat generated from the chip is easily dissipated through the TIM.

Keywords: Light emitting diode (LED), Thermal Interface Material (TIM), Thermal resistance, Thermal bypass
OCIS codes: (230.0230) Optical devices; (230.3670) Light-emitting diodes

과산화수소 적용 TIM의 LED 패키지 열특성 개선효과

최봉만 · 홍성훈 · 정용범 · 김기보 · 이승걸 · 박세근 · 오범환†

인하대학교 정보통신공학과, LED PD 연구팀
㊞ 402-751 인천광역시 남구 용현동 253

(2014년 6월 16일 받음, 2014년 7월 23일 수정본 받음, 2014년 7월 28일 게재 확정)

고출력 LED 소자의 활용이 많아지면서, 온도상승 문제를 극복하고 신뢰성을 향상해야 하는 요구가 높아짐에 따라 광원 패키지의 방열이 매우 중요해졌다. 패키지에 칩을 접합하는 열전달 물질(TIM, Thermal Interface Material)은 열전도도가 높은 물질과 폴리머를 혼합하여 재료 자체의 열전달 특성을 향상시키는 방안이 사용되어 왔으나, 실제 패키지의 열 특성은 칩 부착계면의 높은 열저항으로 인해 기대에 미치지 못하고 있다. 본 연구는 diamond 분말과 epoxy의 혼합으로 열 특성을 개선함에 있어서, 과산화수소를 적용하면서도 기포를 효율적으로 제거하여, 각 계면의 친화성을 높이고 전체 점도를 낮추어 diamond 분말의 분산을 촉진하고, 결과적으로 대부분의 경우에 전체 열 저항을 약 30% 이상 개선하였다.

Keywords: 발광 다이오드, 열전달물질, 열저항, 열우회 경로
OCIS codes: (230.0230) Optical devices; (230.3670) Light-emitting diodes

I. 서 론

LED 광원은 전력 소비가 적고 수명이 길며 친환경적으로 인식되어, LCD Backlight 및 각종 조명 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 특히, 기존 조명을 대체하면서 고출력, 고효율의 LED 광원이 요구되고, 온도상승에 따른 소자의 신뢰성 저하가 우려됨에 따라 LED의 발열과 방열 문제는 중요한 문제로 부각되고 있다. LED 소자에서 발생한 열은 소자의 광속과 수명을 단축시키고, LED를 적용한 제품의 주변 회로에 영향을 미쳐 신뢰성을 떨어뜨린다. LED의 방열 기술은 LED가 실장 된 PCB기판에 히트싱크를 부착하는 방식이 보편적으로 사용되며, 효율적인 방열을 도모하기 위해 광원의 배열을 다양하게 변형하거나, 광원과 기판 사이의 열 전달물질(TIM, Thermal Interface Material)을 개선하는 연구가 진행되어 왔다.[1] 일반적으로 solder, silver paste, thermal epoxy 등이 TIM으로 사용되고 있으며,[2] 기존 TIM 중 solder는 열팽창계수(CTE, Coefficient of Thermal Expansion)가 높기 때문에 solder 접합부에 신뢰성에 문제가 발생할 수 있고, silver paste는 계면 열저항이 높아 방열 성능이 떨어진다. 또한 thermal epoxy는 재료 자체의 열전도도가 상대적으로 낮기도

†E-mail: obh@inha.ac.kr
Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

하고, 계면 열저항도 높아 열 특성이 좋지 않다.[3] 최근에는 기존 재료의 단점을 보완하기 위하여 열전도도가 높은 물질(CNT, Graphene, Diamond powder)과 폴리머를 혼합하는 방식과 더불어 소자와 PCB 기판의 접촉면에 pattern을 주입하는 방법을 통해 계면 열 저항을 감소시키는 연구도 진행 중이다.[4, 5, 6, 7]

본 연구는 diamond 분말과 epoxy의 혼합 시에 과산화수소 용액을 사용하여 LED 소자의 열 특성을 개선하는 결과를 제시한다. 기존 TIM 시료와 본 공정을 적용한 TIM 시료를 비교하여 LED 광원과 기판의 접착 시 유발되는 계면 열저항의 영향이 큰 것을 확인하고, 과산화수소 용액을 적용하여 실험 전반의 경우에 전체 열저항을 약 30% 이상 개선한 결과를 보고한다.

II. 실험: 공정 및 측정

사용되는 TIM 시료는 diamond 분말(앵기스, HYPREZ IG)과 epoxy (국도화학, YD-115)를 혼합하여 diamond 분말의 농도가 다른 5가지 TIM을 준비하였다. 사용된 diamond 분말은 크기가 250 nm, 1 μm, 2 μm인 분말을 각각 4 : 2 : 1(wt%) 비율로 혼합하고, 이 혼성분말은 diamond의 무게농도가 0%, 10%, 20%, 30%, 50% (wt%)가 되도록 epoxy와 혼합하고, 경화제 (G-0930)와 epoxy를 3 : 7(wt%)로 교반하여 TIM 시료를 제작하였다.

제작된 TIM 시료의 재료 자체의 고유 열저항과 기판에 실장된 경우의 열저항을 비교하기 위하여 세 가지 비교 시료군을 준비하였다. 첫 번째 시료군 A(bulk)는 교반된 TIM시료를 20 × 20 × 2 mm^3인 틀에 넣은 후 Hot-plate를 이용하여 100℃에서 90분 동안 경화시켜 bulk 형태로 준비하였고, 두 번째 시료군 A는 PCB 기판 (SEOUL SEMICONDUCTOR, STAR, 19.9mm × 19.9mm)에 초음파를 적용하며 교반된 혼합물 TIM을 도포함으로 LED 소자(SEOUL SEMICONDUCTOR, N42182, ϕ6.0 mm × 5.08 mm)를 약 300psi의 압력을 2분간 인가하며 실장 한다. 그 후, Hot-plate를 이용하여 100℃에서 90분동안 경화 시켰다.[8] 과산화수소를 적용한 세 번째 TIM 시료군 B는 diamond 분말과 과산화수소 용액을 1 : 1(wt%)로 혼합한 후, 앞의 과정과 동일하게 시료를 제작하였으며, 그림 1은 과산화수소를 적용한 TIM을 사용하여 PCB 기판에 LED 소자를 실장하는 모식도이다. 측면에 초음파를 적용하는 별도의 장치를 탑재하고 있다. 이는 경화 초기에 추가적인 초음파 적용으로 경화개시 과정에서 발생되는 기포를 효과적으로 제거한다.

표 1은 위에서 서술한 각 sample의 조성 및 wt%를 명시하였다.

시료 A bulk는 접촉식 열전도도 측정기 (MV100PR)을 이용하여 열전도도를 측정하였고, 이 결과를 열저항율로 환산하였다. 열저항율은 실제 bonding에 적용된 TIM의 높이와 면적(d = 5 μm, R = ϕ6.0 mm)을 고려하여 A bulk의 열저항율을 구하였다. 표 2에 측정된 열전도도 수치와 환산된 열저항율 수치를 정리하였다.

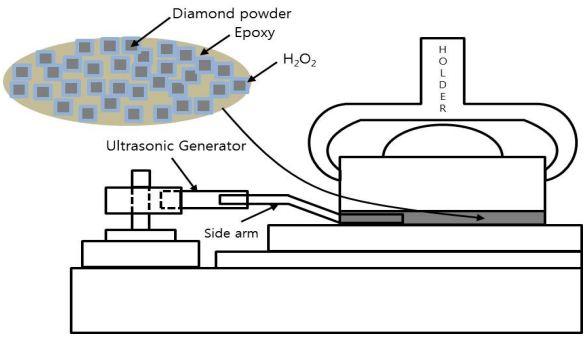

FIG. 1. Schematic of LED Package bonding process.

TABLE 1. Composition of A bulk, A and B

	Content of H2O2 (wt%)	Content of Diamond powder (wt%)			Content of Epoxy (wt%)	Content of Hardener (wt%)
		250 nm	1㎛	2㎛		
		4	2	1		
A bulk and A	0	0 %			70	30
	0	10 %			63	27
	0	30 %			49	21
	0	50 %			35	15
B	10%	0 %			70	30
	10%	10 %			63	27
	30%	30 %			49	21
	50%	50 %			35	15

TABLE 2. Arrange table of Thermal conductivity and Thermal resistivity

Content of Diamond (wt%)	Thermal Conductivity (W/m·K)	Thermal Resistivity (m·K/W)
0	0.6701	3.787405
10	0.187	1.056924
30	0.0258	0.145822
50	0.0157	0.088736

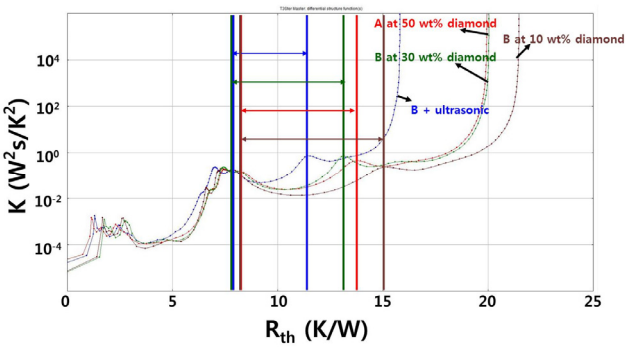

FIG. 2. Typical results of the structure function, which is measured by Thermal Resistance Structure Analyzer (T3-ster).

LED 광원과 기판에 기존의 TIM을 도포한 시료군(A)과 과산화수소를 적용한 TIM 시료군(B)의 열저항은 열저항 측정기(T3-ster)를 이용하여 측정하였다. 그림 2는 열저항 측정기로 측정된 구조함수이다. 이 구조함수의 x축은 LED package부터 Heat-sink까지의 누적 열저항이며, 각 화살표 구간은 TIM의 열저항이다.

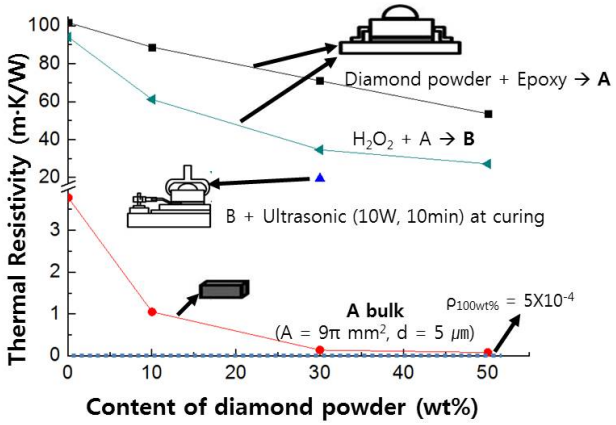

FIG. 3. Thermal resistance of the TIM by content of diamond powder and experimental methods.

각 Peak 간의 간격은 계면 열저항을 포함하는 각 재료의 열저항을 나타내므로 이를 이용하여 각 TIM 시료의 열저항을 구하고, 이를 열저항율로 환산하여 그림 3에 나타내었다.

III. 결 과

시료군 A(bulk)의 그래프는 diamond 분말의 함유량 증가에 따라 TIM의 고유 열저항이 감소하는 것을 전형적으로 보여준다. 시료군 A(bulk)의 결과에서, diamond 함유량이 0wt%일 때의 열 저항율은 3.787 m · K/W로 일반적인 epoxy 열저항율과 비슷하고, 함유량이 증가함에 따라 고유 열저항율은 0 m · K/W에 근접할 정도로 열특성이 우수할 수 있을 것으로 보이지만, 시료군 A의 결과는 그렇지 못함을 보여준다. 시료군 A의 그래프는 시료군 A(bulk)와 동일한 기존의 TIM을 사용하여 LED 칩을 기판에 실장한 경우의 열저항율 변화로서, 계면 열저항에 의해 그 수치범위가 약 101 ~ 53 m · K/W에 이르고 있다. 시료군 B의 그래프는 과산화수소를 적용한 TIM의 열저항율 변화로서, 94 m · K/W 이하이며, 시료군 A의 열저항율과 비교하여, 대부분의 경우에, 약 30% 정도 이상의 개선 효과를 보이고 있다. 특히 diamond 함유량이 30wt%일 때의 시료군 B의 열저항율은 34.743 m · K/W로 같은 함유량의 시료군 A의 열저항율 71.119 m · K/W 대비 약 52%정도 개선되었다. 이는 과산화수소의 diamond 표면 개질 효과에 의해, epoxy와 diamond 분말표면의 친화력이 향상되고 epoxy 내에서 diamond 분말간에 뭉쳐있는 현상이 개선되었으며, diamond 분말의 표면과 epoxy 계면 사이에 형성되기 쉬운 기포가 효율적으로 제거되었고, 전체적으로 epoxy와 혼합된 TIM의 점도가 낮아져서 diamond 분말의 분산도 개선되어 전체 영역에 diamond 분말이 고르게 분포되었기 때문으로 판단된다. 그림 4는 주사 전자 현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)을 이용하여 두 종류의 TIM 시료의 절단면을 관찰한 결과로써, 그림 4(a)는 기존의 시료군 A 이고, 그림 4(b)는 과산화수소를 적용한 TIM 시료군 B이다.

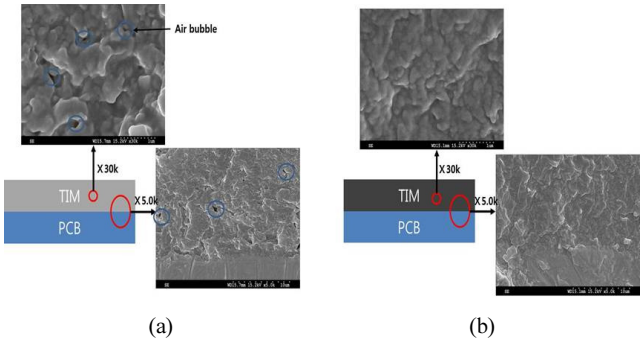

FIG. 4. SEM micrographs of cross section of TIM. (a) without H_2O_2, (b) with H_2O_2.

시료군 B의 경우에는 계면 사이의 기포가 제거되어 거의 보이지 않으며, 기판과의 계면 접합 강도도 높았다. 이로 인해 TIM 내의 diamond 분말 간에 열적 연결이 향상되어 유효한 열전달 경로(Thermal bypass)가 증가된 것으로 사료된다. 또한, 추가적으로 칩의 실장 경화 전에 10W 이하의 약한 초음파를 10분 정도 인가해 줌으로써 경화개시 과정에서 발생될 기포를 효과적으로 제거하고자 하였고, 이렇게 제작된 시료군 B의 30wt% 경우에, 열저항율은 약 19.657 m · K/W로 측정되어, 기존 시료군 B의 30wt% 열저항율 34.743 m · K/W 대비 약 44% 정도 추가적으로 감소하였다. 시료군 A의 경우도 시료군 B보다 다소 미약한 추가적인 개선 효과가 관측되었으며, 시료군 B보다는 개선되지 못하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 diamond 분말과 epoxy를 혼합하는 과정에 과산화수소 용액을 적용한 TIM을 제작하여 방열 특성을 개선한 결과를 보고하였다. 이 방식은 diamond 분말 표면을 개질하여 혼합물질 내의 diamond 분말의 분산을 개선하고, TIM precursor의 점도를 낮추어 접촉면과의 젖음성을 개선할 뿐 아니라, 내부의 기포 제거에도 도움을 주어, 대부분의 실험 조건 하에서 열저항이 약 30% 이상 개선되었다. 또한, 경화개시 직전의 추가적인 초음파 자극으로 열저항 개선효과(추가적인 44% 감소)도 얻었다. 과산화수소를 적용한 TIM precursor 방식은 LED 칩의 방열효과를 개선할 뿐 아니라 추후 다양한 응용분야에 적용 가능할 것으로 기대한다.

References

1. J. K. Kim, W. Nakayama, and S. K. Lee, “Characterization of a thermal interface material with heat spreader,” KSME, 45-46 (2010).
2. R. S. Prasher and J. C. Matayabas, Jr., “Thermal contact resistance of cured gel polymeric thermal interface material,” Proc. IEEE **27**, 702-709 (2004).
3. M. H. Shin and J. P. Kim, “Introduction to LED packaging technology,” Bookshill, 88-99, 978-89-5526-502-6 (2008).

4. K. M. F. Shahil and A. A. Balandin, “Thermal properties of grapheme and multilayer grapheme: Applications in thermal interface materials,” Elsevier **152**, 1331-1340 (2012).
5. W. S. Lee and J. Yu, “Comparative study of thermally conductive fillers in underfill for the electronic components,” Elsevier **14**, 1647-1653 (2005).
6. V. N. Mochalin and I. Neitzel, “Covalent incorporation of aminated nanodiamond into and epoxy polymer network,” ACSNANO **5**, 7494-7502 (2011).
7. K. Zhang, Y. Chai, M. M. F. Yuen, D. G. W. Xiao, and P. C. H. Chan, “Carbon nanotube thermal interface material for high-brightness light-emitting-diode cooling,” IOP **19**, 8-15 (2008).
8. SEOUL SEMICONDUCTOR Paper.