

이중 몰딩에 의한 백색 LED의 광추출 효율 향상

장민석^{1,2}, 김완호¹, 강영래¹, 김기현¹, 송상빈¹, 김진혁², 김재필^{1,a}

¹ 한국광기술원 신광원조명사업단

² 전남대학교 신소재공학부

Enhancement of Light Extraction in White LED by Double Molding

Min-Suk Jang^{1,2}, Wan-Ho Kim¹, Young-Rea Kang¹, Ki-Hyun Kim¹,
Sang-Bin Song¹, Jin-Hyuk Kim², and Jae-Pil Kim^{1,a}

¹ Korea Photonics Technology Institute, New Lighting Solution R&DB Sector, Gwangju 500-799, Korea

² School of Materials Science & Engineering, Chonnam University, Gwangju 500-757, Korea

(Received July 30, 2012; Revised September 14, 2012; Accepted September 19, 2012)

Abstract: Chip on board type white light emitting diode on metal core printed circuit board with high thixotropy silicone is fabricated by vacuum printing encapsulation system. Encapsulant is chosen by taking into account experimental results from differential scanning calorimeter, shearing strength, and optical transmittance. We have observed that radiant flux and package efficacy are increased from 336 mW to 450 mW and from 11.9 lm/W to 36.2 lm/W as single dome diameter is varied from 2.2 mm to 2.8 mm, respectively. Double encapsulation structure with 2.8 mm of dome diameter shows further significant enhancement of radiant flux and package efficacy to 667 mW and 52.4 lm/W, which are 417 mW and 34.8 lm/W at single encapsulation structure, respectively.

Keywords: High thixotropy silicone, Vacuum printing encapsulation system, LED, Double encapsulation

1. 서 론

LED (light emitting diode)는 고효율, 저전력, 장수명 등의 친환경적인 특성뿐만 아니라 인간 중심의 감성적 조명 구현이 용이한 특성으로 인해 21세기의 빛으로 평가받고 있다 [1,2]. LED로 백색을 구현하는 방법에는 UV LED에 Red (R), Green (G), Blue (B) 형광체를 도포하는 방법, 청색 LED에 YAG (yttrium aluminium garnet)과 같은 단일 형광체를 이용하는 방법, 그리고 RGB 각각의 LED를 조합하는 방법이

있다 [3].

일반적으로 백열등이나 형광등 또는 가로등과 같은 일반 조명 대체용 LED는 청색 LED에 황색 형광체를 혼합하여 도포하는 방식을 채택하고 있는데, 광 효율을 올리기 위하여 다양한 형태의 형광체 도포 방식이 개발되고 있다 [4-7]. 현재 대표적으로 사용되고 있는 형광체 도포 방식은 dispensing, conformal, remote 도포 방식이 있다. Dispensing 방식은 가장 간편하면서 널리 사용되고 있는 형광체 도포 방식으로 반사컵 부분에 형광체를 도포하여 건조하는 방식이다. 이는 두께의 불균일성에 의해 빛의 균제도가 떨어지고, 형광체가 칩 주위에 분산되어 있으므로 열화 및 광 전환 효율이 저하되는 단점이 있다. Conformal 도포 방

a. Corresponding author: jpkim@kopti.re.kr

식은 칩 주위에 형광체를 균일하게 도포하여 지향각에 따른 색 온도 편차를 줄일 수 있으나, 칩에서 방출되는 빛의 위치 및 양에 따라 상단부와 측면부의 형광체 두께가 다르게 도포되어야 하고, 칩과 형광체가 접촉되어 있기 때문에 dispensing 방식보다 광 전환 효율이 감소한다는 단점이 있다. 상기의 두 가지 방식은 칩 위에 바로 형광체를 코팅하기 때문에 청색 LED에서 발생하는 빛의 상당 부분이 손실된다. 이로 인하여 최근에는 remote 형광체 도포 방식이 각광받고 있다. Remote 도포 방식은 형광체가 칩 표면에 있는 것이 아니라 일정 공간을 두고 봉지층 상부에 형광체 막을 생성시켜 백색광을 만드는 방식이다. 이는 LED에서 발생하는 빛의 손실이 적으므로, 다른 형광체 도포 방식이 적용된 백색 LED에 비해 효율이 높은 장점이 있을 뿐만 아니라 색 온도 균일성도 우수한 방식이다 [8-10].

백색 LED 광원은 보다 높은 발열성 및 광 효율을 달성하기 위하여 많은 공정 기술 개발이 이루어지고 있다. 대표적인 방식으로는 COB (chip on board) LED 패키징 기술이 있다. COB LED 패키징 기술은 평면상의 기판 위에 칩을 실장하여 돔형의 봉지층을 구현함으로써 광 추출 효율을 향상시키고, 칩 집합부에서 발생된 열이 칩 밖으로 원활하게 방출되는 효과가 있다. 그로인해 발열로 인한 효율 저하와 색 좌표가 변하는 요인을 개선할 수 있는 기술이다. 돔형의 봉지층을 구현하기 위해서 대표적인 방법은 vacuum printing, compression molding, injection molding이 있다. 그 중 VPES (vacuum printing encapsulation system) 봉지공법은 기존의 렌즈 장착 후 봉지재를 충전하는 공정을 단순화하여, 렌즈 장착 필요 없이 단일 공정으로 돔 형상 구현이 용이하므로 대량 양산 체제, 공정시간, 원가절감, 공정처리 속도, 불량률 저하에 큰 장점이 있어 최근 COB 패키징 기술로 사용되고 있다 [11,12]. 하지만 VPES 봉지공법 기술은 평면상 기판에 돔 형상 구현을 위하여 고딕소성의 실리콘 봉지재를 사용해야 하기 때문에 굴절률 및 투과율이 낮아 효율 저하가 일어난다는 단점이 있다. 이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 봉지 직경 및 remote 형광체 도포 방법을 이용하여 성형 방법에 따른 광학 특성 및 광 추출 효율 향상을 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1 백색 LED 광원 제작 및 실험

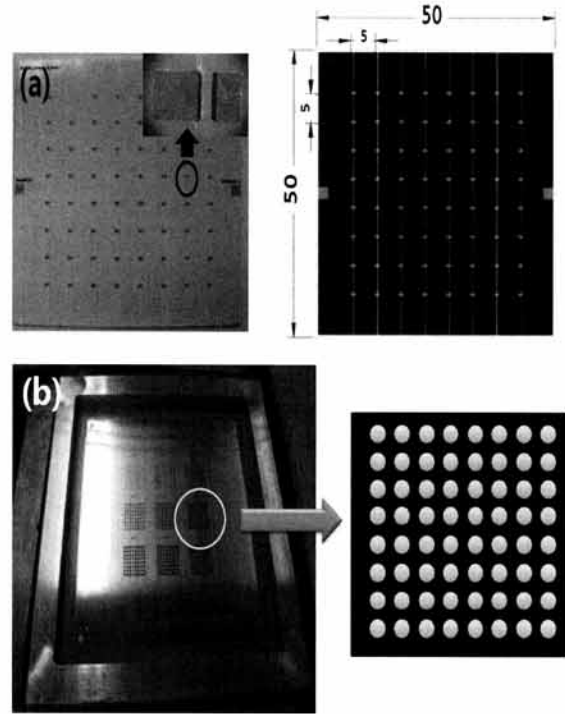


Fig. 1. (a) Schematic diagram of COB type LED package, (b) metal mask adopted in VPES.

Table 1. Materials adopted in white LED.

	Division	Special feature
Chip	Blue	Wavelength 457±1 nm
Adhesive	Ag epoxy	Thermal resistance 3 W/m · K
Encapsulant	Silicone	Thixotropic index 4.0
Phosphor	YAG	Emission wavelength 572 nm
Package	COB type	MCPCB

본 연구에서는 COB 기술을 적용하여 백색 LED 광원을 제작하였다. 직병렬로 설계된 평면상 50 mm × 50 mm 크기의 metal core printed circuit board (MCPCB) 기판에 고 열전도성의 접착제를 이용하여 64개의 칩을 실장한 후 메탈마스크가 장착되어있는 Sanyu Rec.사의 VPES-HA IV 장비를 이용하여 VPES 봉지공법을 적용, 봉지층 직경 및 성형 방법에

따른 봉지공정을 수행하였으며, 봉지공정 후 150℃ 오븐에 2시간 동안 경화시켰다.

그림 1은 패키지 설계도면 및 VPES 공법에 사용된 메탈마스크의 구조이다.

표 1은 LED 패키지에 적용한 칩과 재료의 주요 사항이다. 칩은 Cree사의 457±1 nm 파장의 블루칩을 사용하였고, 접착제는 3 W/m·K의 열 저항을 가지는 Sumitomo사 T-3100을 사용하였다. 봉지재료는 디 메칠계의 고틱소성의 Sanyu Rec.사의 VS-9301 (굴절률=1.41) 실리콘 봉지재를 사용하였으며, 형광체는 Nemoto사의 YAG 4-3-2를 5 wt% 첨가하여 봉지하였다.

봉지재의 물성 평가를 위하여 Perkin Elmer사의 Pyris Diamond DSC (differential scanning calorimeter) 를 이용하여 경화 반응을 측정하였으며, 봉지층과 기관과의 전단 강도는 Dage사의 Series 4000을 이용하여 측정하였다. 그 후 UV-VIS Spectrophotometer를 이용하여 봉지재의 투과율을 측정하였다.

봉지층 형상에 따른 광 출력 및 광학 특성은 Instrument System사의 CAS-140CT를 이용하여 측정하였으며, 지향각은 PSI사의 PSI-LG 1.3 Goniophotometer를 이용하여 측정하였다.

2.2 VPES에 의한 봉지층 성형

일반적인 COB 패키지 제작은 렌즈 장착 후 injection 방법을 이용하여 봉지재를 충전하는 방법과 광학 렌즈를 성형하여 만드는 방법이 있다. 이러한 방법은 봉지층의 형상에 따라 렌즈와 패키지의 구조가 바뀌어야 한다는 단점이 있고, 대량 양산이 어렵고, 공정 수율이 낮은 어려움이 있다.

반면 VPES 봉지공법은 봉지층 직경에 따라 형상 구현이 가능하며, 빠른 공정처리 속도, 짧은 공정시간, 낮은 공정 불량율, 대량 양산 등의 장점이 있다.

그림 2는 VPES 봉지공법을 이용한 패키지 성형 모식도를 나타내었다. VPES 봉지공법은 진공 챔버 안에서 고틱소성 봉지재를 메탈마스크 위에 도포한 후 squeegee를 이용하여 봉지재를 밀어 기관 위에 봉지재를 충전하는 방법이다. 이러한 방법은 진공 챔버 안에서 이루어지므로 봉지재의 기포 발생률을 감소시킬 수 있으며, 두 번째 squeegee를 이용하여 봉지층의 높이를 일정 수준까지 조절할 수 있다는 장점이 있다 [13].

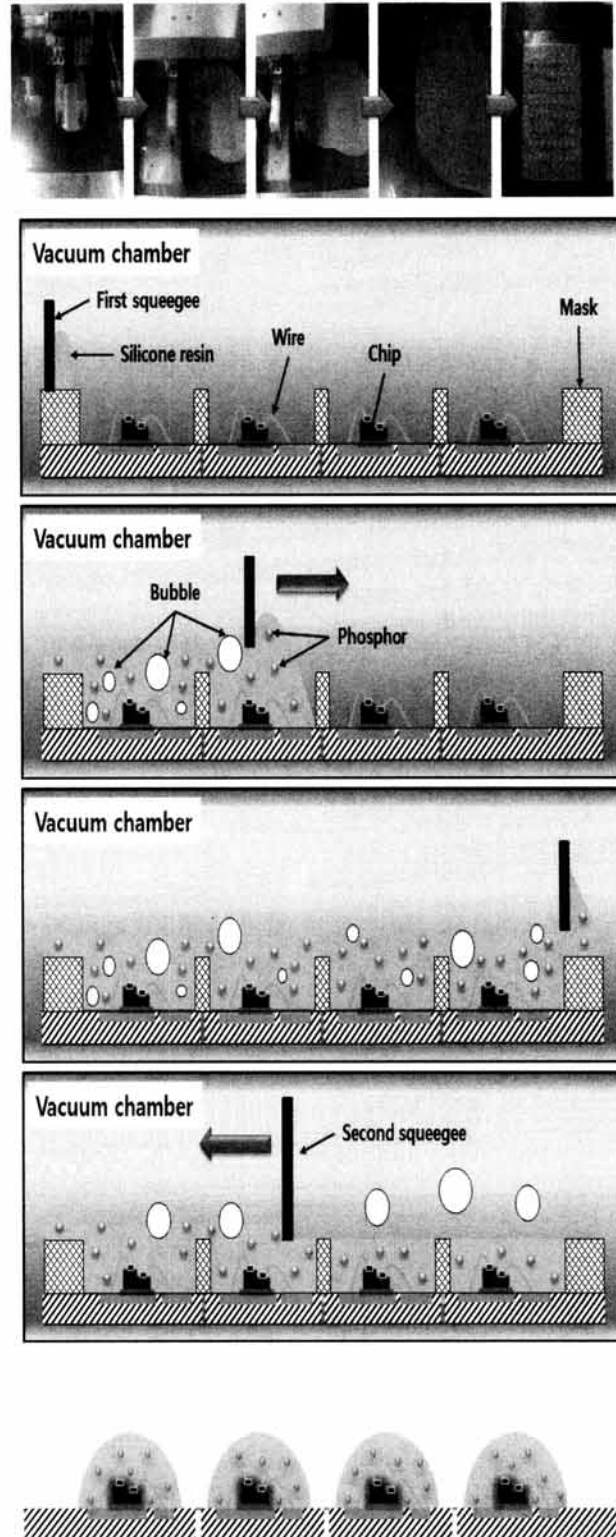


Fig. 2. Schematic diagram of package fabrication by VPES method.

3. 결과 및 고찰

3.1 봉지재 물성 및 특성 평가

본 연구에 사용된 패키지는 평면상의 COB 형태의 MCPCB 패키지로써 유동성 있는 봉지재를 사용해서는 LED 칩을 봉지할 수 없다. 이를 해결하기 위하여 고딕소성의 봉지재를 진공 챔버 안에서 프린팅하는 VPES 봉지공법을 도입하였다. 평면상의 패키지에 봉지재를 프린팅하여 봉지층을 형성하였을 경우 중요한 특성중의 하나는 봉지층과 기판과의 접착력이다. 일반적인 패키지는 컵 형태의 리플렉터를 가지고 있기 때문에 접착력이 큰 문제가 되지 않지만 본 연구에 사용된 패키지는 평면 형태이기 때문에 접착력이 약하면 기판으로부터 봉지층이 쉽게 떨어져 신뢰성이 저하되는 단점이 있다 [14]. 따라서 봉지층과 기판과의 접착력을 조사하기 위하여 고딕소성의 Sanyu Rec. 사 봉지재와 Shinetsu사 봉지재를 선정하여 경화온도를 확인한 후 경화시간에 따른 전단강도 변화를 조사하였다.

그림 3은 두 가지 봉지재에 대한 경화 반응을 알아보기 위하여 DSC 장비로 온도에 따른 경화 반응을 분석한 결과이다. 분석 결과 Sanyu Rec.사의 봉지재가 Shinetsu사의 봉지재보다 좁은 온도 범위 내에서 경화 반응이 빠르게 일어남을 알 수 있었고, Shinetsu사 봉지재는 넓은 온도 범위에서 경화 반응이 느리게 일어남을 알 수 있었다. 상기 결과를 바탕으로 경화 반응이 끝나는 150°C를 경화 조건으로 실험하였다.

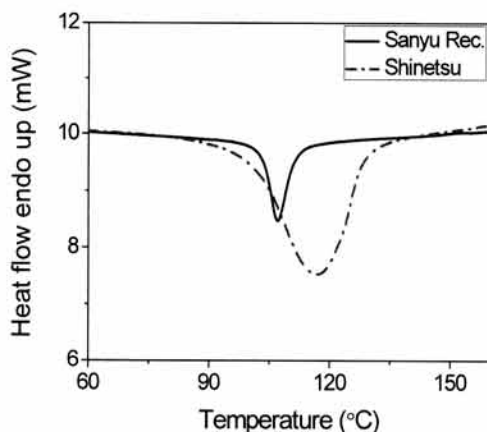


Fig. 3. The curing reaction of encapsulant.

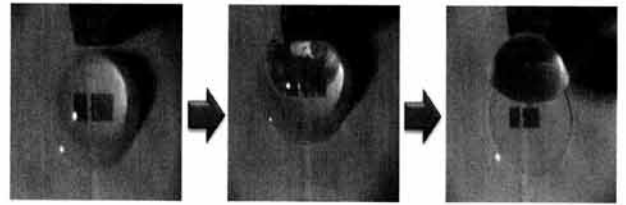


Fig. 4. Measurement process of shearing strength.

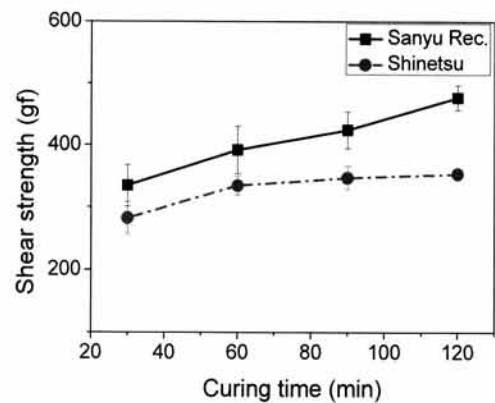


Fig. 5. Shear strengths as a function of curing time.

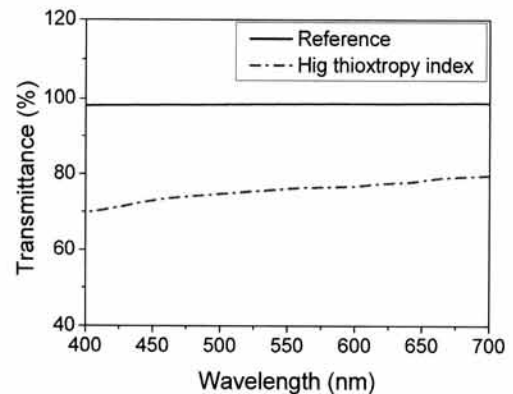


Fig. 6. Transmittances of encapsulant.

DSC 분석 결과를 바탕으로 전단강도 측정 방법과 경화 시간에 따른 전단강도 변화를 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 측정 방법은 기판 위에 봉지재를 프린팅하여 경화한 후 봉지층을 밀어 측정하였다.

그림 5는 경화 온도를 150°C로 고정된 후 시간에 따른 전단강도 변화를 관찰한 결과로 동일 온도 조건

에서 Sanyu Rec.사의 봉지재가 Shinetsu사 봉지재 보다 높은 전단강도를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 봉지재가 시간이 지남에 따라 봉지층이 기판 표면에 강하게 접착되었기 때문으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 전단강도가 높은 Sanyu Rec.사의 봉지재를 VPES 공정용 봉지재로 사용하였다. 봉지재의 빛 투과율은 광 추출 효율 및 내광성에 영향을 준다.

그림 6은 봉지재의 파장에 따른 투과율을 측정하기 위하여 굴절률 (R.I= 1.41)이 동일한 다우코닝사의 EG-6301 실리콘 봉지재와 본 연구에 사용된 고틱소성의 Sanyu Rec.사 봉지재를 UV-VIS spectrophotometer를 이용하여 400 nm~700 nm 영역에서 투과율을 측정한 결과이다. 경화는 150°C에서 2시간 동안 실시하였고, 시편은 3 mm 두께로 제작하였다. 측정 결과 본 연구에 사용된 457 nm 칩 파장에서 일반 실리콘 봉지재는 98%의 투과율을 나타내었고, 연구에 사용된 고틱소성의 봉지재는 73%의 빛 투과율을 보여 일반 실리콘 봉지재에 비하여 투과율이 낮은 결과를 나타내었다. 이는 틱소성을 증가시키기 위하여 나노 파티클을 첨가하기 때문에 봉지재 색깔이 불투명해져 투과율의 저하가 나타난 것이다.

3.2 봉지층 직경에 따른 광학 특성

봉지층의 형상은 광 추출 효율에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 [15]. 본 실험에서는 형상에 따른 광 추출 영향을 알아보기 위하여 2.2 mm, 2.8 mm, 3.4 mm 직경을 가지고 있는 VPES용 메탈 마스크로 패키지를 제작하여 광 출력 및 광학 특성을 측정하였다. 측정 조건은 26 V, 160 mA였으며, 5 wt%의 형광체를 첨가하였다. 그림 7에서 보인 바와 같이 봉지층 직경이 2.2 mm에서 2.8 mm로 커짐에 따라 광 출력과 광 추출 효율은 336 mW에서 450 mW로, 11.9 lm/W에서 36.2 lm/W로 각각 증가하였다. 3.4 mm 직경의 봉지층에서도 광 출력과 추출 효율이 621 mW와 52.6 lm/W로 증가함을 보였다. 상관색온도 (CCT)와 연색지수 (CRI)는 그림 8과 같이 봉지층 속에 함유된 형광체 양이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 봉지층 직경이 커짐에 따라 곡률 반경이 증가하여 광 추출 효율이 증가하고, 봉지층 속에 함유된 형광체 양 차이로 인하여, 에너지 전이 및 변환되는 형광체 양이 달라지기 때문으로 사료된다. 제작된 패키지의 봉지층 직경에 따른 지향각 평가를 위해 PSI-1.3 Goniophotometer를 이용하여 지향각을 측정하였다. 그 결과 그림 9에서와 같이 2.2 mm에서 지향각이 114°, 2.8 mm에서 120°, 3.4 mm에서

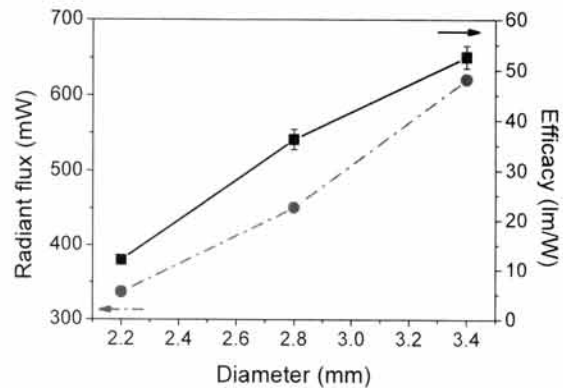
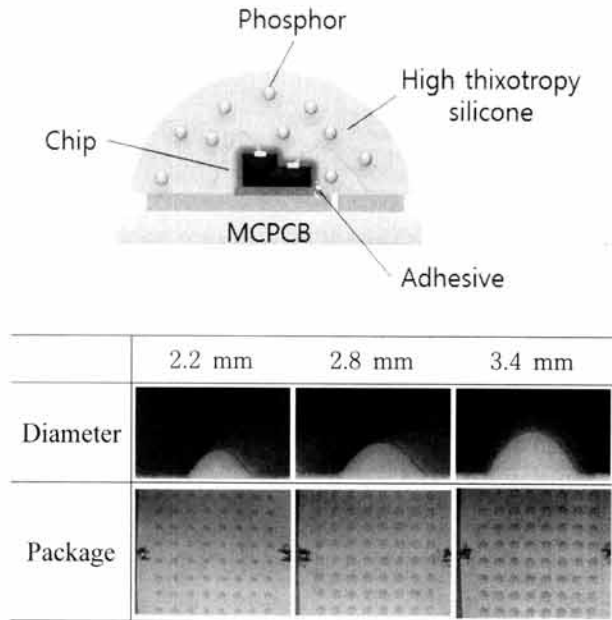


Fig. 7. Optical properties as a function of encapsulation layer shape and diameter.

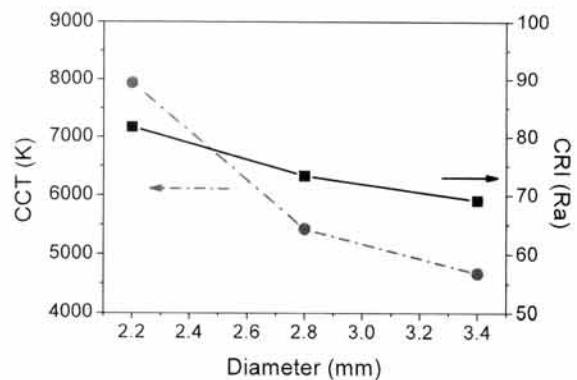


Fig. 8. Correlated color temperature and color rendering index as a function of encapsulation layer diameter.

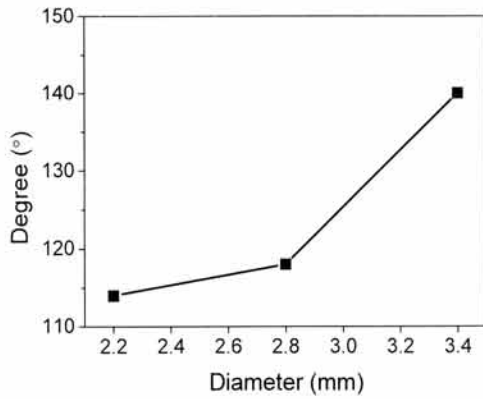


Fig. 9. Beam spread angle as a function of encapsulation layer diameter.

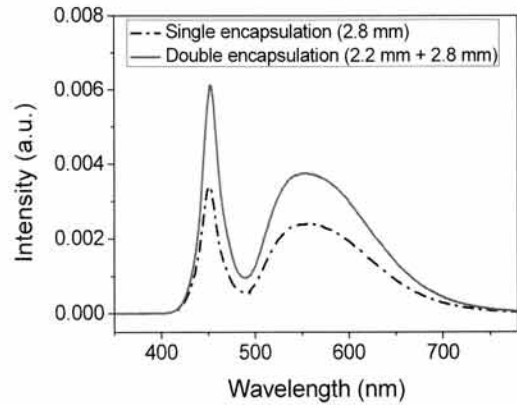


Fig. 11. Emission spectra from single and double encapsulation.

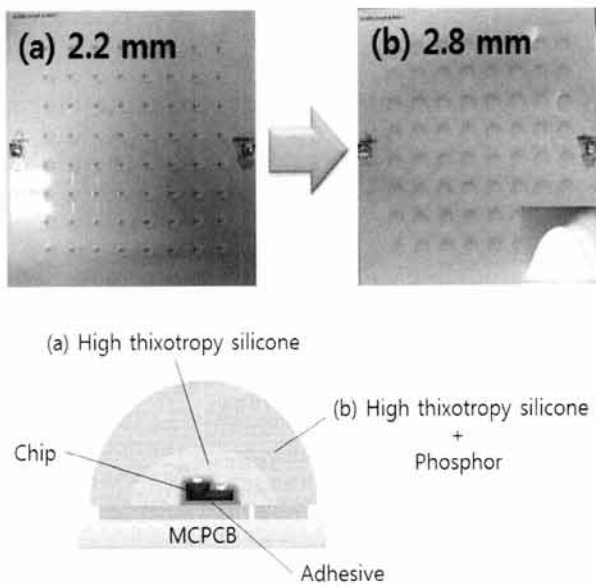


Fig. 10. Schematic diagram of the double encapsulation.

140°로 증가하였다. 이는 봉지층이 커짐에 따라 형광체양이 증가하여 빛에 대한 산란 효과를 증가시키고, 곡률 반경 또한 증가했기 때문으로 사료된다.

고딕소성의 봉지재는 투과율이 낮아 일반 실리콘 봉지재에 비하여 광 추출 효율이 낮다. 이러한 투과율의 단점을 극복하기 위하여 이중 봉지층 형성 방법을 통해 광 추출 효율을 개선하고자 하였다. 그림 10은 이중 봉지층 형성 방법을 이용하여 제작한 패키지의 그림 및 모식도이다. 형성 방법은 형광체를 섞지

Table 2. Optical properties at different encapsulant fabrication method.

	Single encapsulation	Double encapsulation
Power (W)	4	4.2
Current (A)	0.16	0.16
Voltage (V)	25.3	26.4
Radiant flux (mW)	417	667
Luminous Flux (lm)	141.4	222.1
X	0.342	0.334
Y	0.368	0.358
CCT (K)	5140	5429
CRI (Ra)	71.5	73.1
Efficacy (lm/W)	34.8	52.4

않은 봉지재를 이용하여 (a) 2.2 mm 직경으로 봉지층을 성형하여 경화시킨 후, (b) 형광체를 혼합한 봉지재를 2.8 mm 직경으로 봉지층을 재성형하여 패키지를 제작하고 광학특성을 측정하였다.

그림 11은 봉지층 성형 방법에 따른 발광 스펙트럼을 나타낸다. 발광 스펙트럼을 토대로 광학 특성을 확인 결과 표 2에서와 같이 직경 2.8 mm 단일 봉지층으로 제작한 패키지의 광출력이 417 mW였으며, 이중 봉지층으로 제작한 패키지는 667 mW로 광 출력이 향상되었다. 효율 또한 단일 봉지층일 때 34.8 lm/W, 이중 봉지층일 때는 52.4 lm/W로 증가하였다.

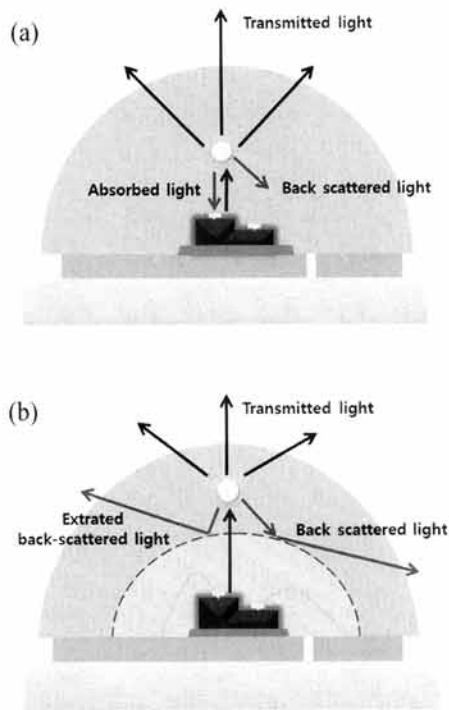


Fig. 12. Schematic diagrams of scattering property for (a) single and (b) double encapsulation.

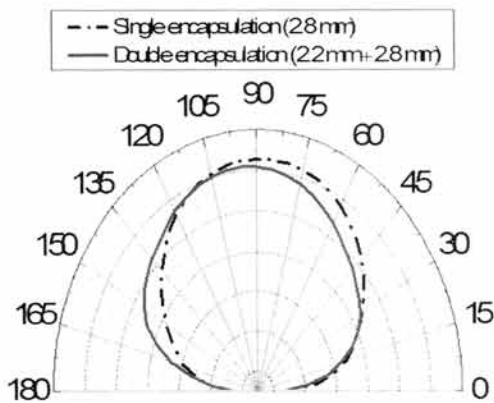


Fig. 13. Beam spread angles from single and double encapsulation.

이는 그림 12의 광학적인 계략도와 같이 (a) 단일 봉지층 일시 칩 주위에 분포되어 있는 형광체로 인하여 칩에서 나온 빛이 후방 산란되어 칩으로 재흡수가 일어나 광 추출 효율이 감소한 것으로 보이며, (b) 이중 봉지층은 칩 주위 투명 봉지층으로 인하여 칩에서 나오는 빛이 형광체를 통해 후방 산란되어도 봉지층

계면에서 다시 전반사가 일어나 칩으로의 재입사가 최소화되어 광 추출 효율이 증가된 것으로 사료된다.

또한 상기 영향으로 인하여 단일 봉지층은 넓은 영역에 분포되어 있는 형광체의 영향으로 산란 손실이 증가하여 광 전환 효율이 감소하였고, 이중 봉지층은 형광체의 산란 손실이 줄어들어 광 전환 효율이 증가한 것으로 사료된다. 지향각은 그림 13과 같이 단일 봉지층일때 140°, 이중 봉지층일때 145°로 유사한 측정치를 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 고텍소성 봉지재를 이용하여 MCPCB 기판에 COB 형태의 백색 LED를 VPES 봉지공법으로 제작하였다. VPES 공법에 사용된 마스크 직경에 따라 다른 봉지층 직경을 가지는 패키지를 제작할 수 있었으며, 광 추출 효율은 곡률 반경이 큰 3.4 mm의 직경에서 52.6 lm/W로 가장 높은 광 추출 효율을 나타내었다. 지향각은 2.2 mm 직경에서 114°였으며, 2.8 mm에서 120°, 3.4 mm 140°로 지향각이 증가하였다.

봉지층 성형 방법에 따라 광학 특성을 확인한 결과 단일 봉지층 방법과 이중 봉지층 방법에 의한 최대 광 효율은 2.8 mm 직경에서 단일 봉지층 34.8 lm/W였으며, 이중 봉지층은 52.4 lm/W로 봉지층 형성 방법에 따라 효율 변화를 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 산업원천 기술 개발 사업인 “고효율 고신뢰성 LED 패키징 소재 기술 개발” 사업의 지원으로 수행되었다.

REFERENCES

- [1] H. Kim, J. K. Youm, W. S. Chung, and H. J. Kim, *J. KIIEE*, 23, 22 (2009).
- [2] X. Qu, S. C. Wong, and C. K. Tse, *Proc. Industrial Electronics Society*, 1361 (2007).
- [3] B. H. Jeong, N. O. Kim, D. G. Kim, G. G. Oh, G. B. Cho, and K. Y. Lee, *J. KIIEE*, 23, 12 (2009).
- [4] Z. Liu, S. Liu, K. Wang, and X. Luo, *J. IEEE, Photonic Tech L*, 20, 24 (2008).

- [5] Z. Liu, S. Liu, K. Wang, and X. Luo, *J. Optoelectron, China*, 2, 119 (2009).
- [6] Z. Liu, S. Liu, K. Wang, and X. Luo, *J. IEEE, Photonic Tech L.*, 9, 1 (2009).
- [7] L. Zhu, X. H. Wang, P. T. Lai, and H. W. Choi, *J. IEEE, Photonic Tech L.*, 22, 7 (2010).
- [8] J. K. Kim, H. Luo, E. F. Schubert, J. H. Cho, C. S. Sone, and Y. J. Park, *J. Jpn. Appl. Phys.*, 44, 21 (2005).
- [9] H. T. Huang, C. C. Tsai, and Y. P. Huang, *J. Opt Express*, 18, 102 (2010).
- [10] K. Wang, D. Wu, F. Chen, Z. Lui, X. Luo, and S. Lui, *J. Opt Lett.*, 35, 11 (2010).
- [11] A. Okuno, N. Fujita, and Y. Ishikawa, *J. IEEE Adv. Packaging*, 22, 3 (1999).
- [12] A. Okuno, *J. IEEE, Compon Pack.*, A17, 1 (1994).
- [13] A. Okuno, *J. IEEE, Compon. Hybr.*, 17, 143 (1994).
- [14] M. S. Jang, Y. W. Kim, G. H. Shin, J. W. Park, and J. P. Hong, S. B. Song, and J. P. Kim, *J. Kor. KIIEE*, 25, 2 (2011).
- [15] Z. Liu, S. Liu, K. Wang, and X. Luo, *J. IEEE Photonic Tech L.*, 20, 24 (2008).
- [16] T. Nguyen, and G. S. Frank, *J. Lightwave Technol.*, 26, 21 (2008).
- [17] B. Braune, K. Petersen, J. Strauss, P. Kromotis, and M. Kaempf, *Proc. SPIE*, 6486 (2007).
- [18] S. C. Allen and A. J. Steckl, *J. Phys Lett.*, 92, 14 (2008).