

LED 패키지를 위한 사각 형상의 마이크로 렌즈

임창현*, 정원규, 최석문, 오용수 (삼성전기)

Rectangular Microlens array for Multi Chip LED Packaing

C. H. Lim, W. K. Jeung, S. M. Choi, Y. S. Oh (Samsung Electro-Mechanics Co., LTD)

ABSTRACT

A new rectangular shape microlens array having high sag for solid-state lighting is presented. Proposed microlens, which has high sag, over 375 μm and large diameter, over 3 mm can enormously enhance output optical extraction efficiency. Rectangular shape of microlens can maximize the fill factor of light-emitting-diode (LED) package and minimize the optical loss at the same time. This wafer level microlens array is fabricated on LED package. It has many advantages in optical properties, low cost, high aligning accuracy, and mass production.

Key Words: Rectangular lens (사각 렌즈), Sag (렌즈 높이), extraction efficiency (추출 효율), LED (LED), Package (패키지)

1. 서론

지난 수십 년간, LED는 빠른 응답 속도, 반영구적 수명, 저전압과 저전류로의 구동 가능성 등의 장점으로 인해 차세대 광원으로써 각광을 받아 오고 있다. 그렇지만 이러한 장점에도 불구하고 기존의 광원을 대체하기에는 광효율, 가격, 휘도 등과 같은 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 다양한 분야에서 이러한 문제점들을 해결하고자 노력하고 있다. 그 중 가장 대표적인 것은 광효율과 가격이다. 기존의 LED 패키지(package) 분야에서도 광효율과 빔특성의 광학적 특성에 관계된 문제점을 해결하기 위해 플라스틱 사출 방식 등으로 제작한 굴절 렌즈를 사용해오고 있다 [1]. 그렇지만 이러한 기존의 방식들은 정밀도, 가격, 양산성, 다중 칩으로의 확장이 어렵다는 한계를 지니고 있다. 집적된 마이크로 렌즈 어레이(microlens array) 구조와 LED 패키지를 통한 웨이퍼 단위의 공정으로 기존의 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 광효율 등의 LED 패키지의 광학적 성능을 향상시킬 수 있다.

많은 연구 분야에서 MEMS (Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용하여 웨이퍼 단위의 공정이 가능한 마이크로 렌즈 어레이를 실현하고자 한다. 그렇지만 기존의 렌즈 구조들은 렌즈 높이

(sag)가 수십 μm 에 불과하다는 단점을 지니고 있다 [2,3]. 조명용과 같은 고출력의 LED에서는 수백 μm 의 수준의 렌즈 구조가 필요하다. 기존의 다양한 마이크로 렌즈 제작 방식 중 그레이스케일(gray scale) 노광 방식은 그레이 수준의 한계로 인해서 수백 μm 의 높은 sag로의 적용이 불가능하다 [2]. E-beam 노광, 이온 빔 라이팅 등의 방법들도 시도되었지만, 이 방식들 역시 수백 μm sag의 마이크로 렌즈 구조를 얻기에는 적합하지 않다 [3]. 건식 식각과 습식 식각의 방식을 사용하여 제작하는 방식도 있지만, sag 문제뿐 아니라 렌즈 표면의 조도 측면에서도 적합하지 않은 방식이다 [4]. 그러므로 본 연구에서는 점도가 높은 감광제의 복수 코팅 후, 열을 가하는 reflow 방식을 사용하여 낮은 가격의 쉬운 공정을 통해 높은 sag의 마이크로 렌즈 구조를 실현하고자 한다.

2. 본론

2.1 렌즈 디자인

웨이퍼 단위의 패키지 공정이 가능한 실리콘 공정을 LED 패키지 공정에 적용할 경우, 실리콘 식각의 특성상 LED 칩이 위치하게 되는 캐비티

(cavity)는 사각 형상을 나타내게 된다. 여기서 사각 형상의 마이크로 렌즈 구조는 기존의 원형의 렌즈 구조에 비해 패키지의 캐비티와 형상의 일치를 가져올 수 있다는 장점을 지니게 된다. 즉, LED 패키지에서 발생하게 되는 광학 손실을 최소화하여 광추출 효율의 증대를 가져올 수 있다. 그림 1에서 (A)와 (B)의 부분은 사각 형상의 캐비티에 내접하는 렌즈와 외접하는 렌즈를 적용하였을 경우 발생하는 광학 손실 영역을 나타낸다. (A)와 같은 내접원의 경우에는 채움 계수가 1보다 작기 때문에 칩에서 발광하는 빛의 일부가 렌즈를 거치게 않게 되므로 광효율이 줄어들게 된다. 내접원의 경우 캐비티와 원의 길이에 관계없이 0.785의 채움 계수를 갖게 된다. (B)와 같은 외접원의 경우에는 우선 렌즈의 크기가 캐비티보다 큰 것이 단점이다. 또한 LED 칩에서 나온 빛은 일반적으로 패키지 안에서 여러 번의 반사를 거치게 된다. 이 때, 외접 렌즈는 캐비티의 형상보다 크기 때문에 그림 1(B)의 영역에서 반사를 통해 빛의 일정 부분이 흡수되기 때문에 손실이 발생하게 되는 것이다.

Table 1은 LightTool 시뮬레이터(simulator)를 사용하여 마이크로 렌즈의 sag에 따른 광효율의 변화를 나타낸 시뮬레이션 결과이다. 렌즈 구조가 없는 패키지와 sag가 500 μm 인 렌즈가 있는 패키지는 광효율의 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 또한 렌즈의 sag가 일정 수준 이상이면 광효율은 sag의 변화에 민감하게 변하지 않는다는 것도 알 수 있다. 본 시뮬레이션 결과에서는 sag가 375 μm 이상의 경우에는 광효율의 증가가 미비하다는 것을 보여주고 있다. 그림 2는 빔특성의 개선을 보여준다. 특히 조명용의 광원에서는 균일한 빔특성이 중요한 요소 중 하나이다. 렌즈가 없는 경우의 패키지의 빔특성과 sag 375 μm 의 렌즈가 있는 경우의 빔특성의 차이를 확인할 수 있다.

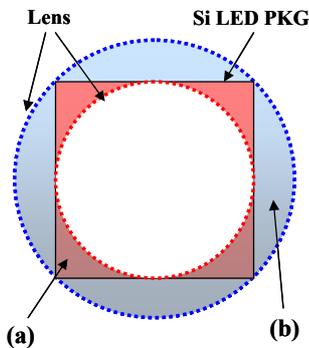


Fig. 1 Schematic view of optical loss of circular lens

Table. 1 Extraction efficiency of LED package vs. lens sag

Lens Sag (μm)	$\eta_{\text{ext}}(\%)$
Without lens	75.6
300	88
375	96
500	98

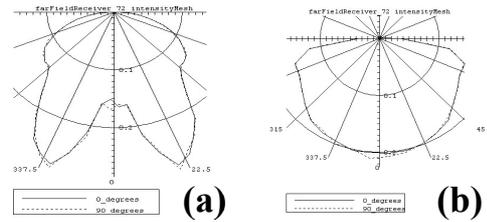


Fig. 2 Emission angle of LED package (a) without lens (b) with microlens array of 375 μm sag

2.2 렌즈 제작

그림 3은 MEMS 기술과 복제 기술을 사용하여 사각 형상의 마이크로 렌즈 어레이를 제작하는 과정을 도식적으로 나타내고 있다. 우선, TOK의 HM3000 감광제를 실리콘 웨이퍼 위에 멀티 코팅(multi coating)을 실시한다. 사진 묘화 과정(lithography)을 거친 후, 판형 가열장치(hot plate)를 통해 열을 가하는 reflow 공정을 통해 사각 렌즈 형상을 제작한다. 그림 4는 이러한 공정을 통해 제작된 마이크로 렌즈 어레이의 광학 사진을 나타내고 있다. 이를 통해 웨이퍼 단위의 패키지 공정이 가능하게 된다. 감광제로 제작된 렌즈 구조에 니켈(Ni) 도금을 위한 씨앗층(seed layer)를 스퍼터링을 통해 증착한 후, 1mm 두께의 니켈(Ni) 도금을 실시하여 마이크로 렌즈 구조의 서브 마스터(sub master)를 제작한다. 마지막으로 Minuta tech의 MIN-HR-1 광학용 폴리머를 사용하여 복제 기술(replication)로 마이크로 렌즈 어레이를 제작한다. 본 공정에서 사용된 폴리머는 자외선 조사로 인해 경화되는 특징을 지닌다. 일반적으로 LED 칩에서 열이 발생하게 되는데, 자외선 경화 폴리머의 경우 열 경화성 폴리머에 비해서 열적 특성이 우수하다. 이런 과정을 거쳐 제작된 웨이퍼 단위의 렌즈 구조는 LED 칩이 실장된 패키지 구조와 웨이퍼 단위의 패키징이 가능하게 되고, 이는 낮은 공정 비용, 높은 양산성, 높은 정밀도 등의 많은 장점을 지니게 된다.

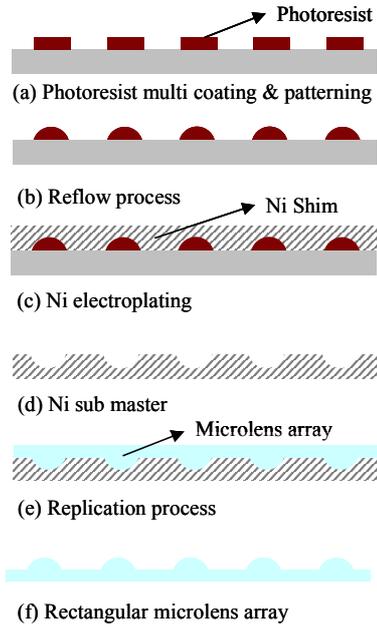


Fig. 3 Schematic view of fabrication process of microlens

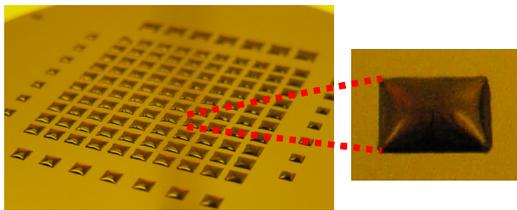


Fig. 4 Photograph images of wafer level rectangular microlens array and magnified view

2.3 측정 결과

그림 5 는 Tenor 의 P-15 표면 측정기(surface profiler)를 이용하여 측정한 마이크로 렌즈의 2D, 3D 측정 결과를 나타낸다. 그림 5 (a)에서 볼 수 있듯이, 마이크로 렌즈의 크기는 3 mm X 3 mm 이고 sag 는 375 μm 이다. 그림 5 (b)는 3 차원 측정 결과로써 사각형 렌즈의 전체적인 모습과 실린더 형상으로 측정된 렌즈의 모습을 볼 수 있다.

LED 패키지의 광학 효율은 J&C tech 의 Light Measurement System 을 이용하여 측정하였다. 렌즈 구조가 없는 패키지의 경우와 비교해서 본 논문의 렌즈를 적용하였을 경우 광효율이 향상되는 것을 알 수 있다.

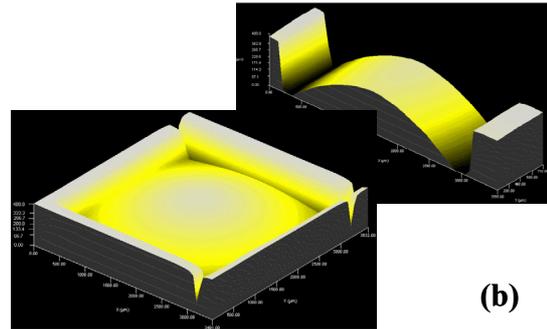
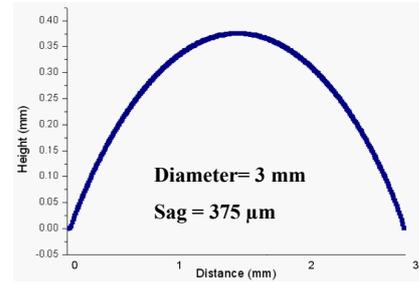


Fig. 5 Surface profiler image of rectangular microlens array (a) 2D graph and (b) 3D graph

3. 결론

본 논문에서는 LED 패키지 구조를 위한 새로운 형식의 마이크로 렌즈 어레이를 제안한다. 차세대 조명용 LED 패키지에 적합한 사각 렌즈는 높은 sag 를 지니고, 실리콘 공정에 쉽게 적용 가능하여 웨이퍼 단위의 패키지 공정이 가능하다. 기존의 원형 마이크로 렌즈 구조와 비교하여 LED 패키지의 광효율 증대 효과를 보여주고 있다.

참고문헌

1. H.W. Choi, C. Lin and E. Gu “GaN micro-light-emitting diode arrays with monolithically integrated sapphire microlenses” APPLIED PHYSICS LETTERS. Vol. 84, March 2004 pp.2253-2255
2. Michael R, Wang and Heng Su, “Laser direct-write gray-level mask and one-step etching for diffractive microlens fabrication” APPLIED OPTICS. Vol. 37, November 1998 pp.7568-7576
3. Yongqi Fu and Ngoi KokAnn Bryan, “Semiconductor Microlens Fabricated by One-Step Focused Ion Beam Direct Writing” IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING, Vol. 15, May 2002 pp.229-231
4. Y. S. Kim, J. H. Kim and J. H “Semiconductor microlenses fabricated by one-step wet etching,” Lasers and Electro-Optics, 2000 pp.213-214