

# 웨이퍼 본딩 검사를 위한 대면적 균일 조명 광학계 설계

## Design of a wide and uniformly illuminating optical system for wafer bonding inspection.

\*김진환<sup>1</sup>, 권원식<sup>1</sup>, 이형철<sup>1</sup>, #김경수<sup>1</sup>, 김수현<sup>1</sup>

\*J. Kim<sup>1</sup>, W. S. Kwon<sup>1</sup>, H. C. Lee<sup>1</sup>, #K.-S. Kim(kyungsookim@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>, S. Kim<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국과학기술원 기계공학과

Key words : wide area, uniformly illuminating, wafer bonding inspection.

### 1. 서론

최신 전자기자들은 사용자들의 요구에 따라 점차 소형화 방향으로 개발되고 있다. 그와 더불어 소자부피의 감소, 기기 기능의 향상, 소비전력의 저감 또한 이슈로 나타나고 있다. 이를 해결할 수 있는 방법으로 웨이퍼 패키지 기술이 대두되고 있으며, 이는 시장 경쟁력 또한 갖추고 있는 기술이다. 하지만, 여러 장의 웨이퍼를 적층시킬 경우, 웨이퍼 간의 접합면이 불안정하여 에어 갭이 발생하기도 하며, 공정상에서 나타날 수 있는 스크래치나 크랙 등이 웨이퍼를 손상시켜 제품 완성도를 떨어뜨릴 수 있다.

이를 확인하기 위해 웨이퍼 내부나 후면 등을 면밀히 분석하는 장치들이 요구되며, 실제 다양한 방법을 이용한 제품들이 존재한다. 가장 보편적으로 쓰이는 적외선 방식은 비접촉식에 기법이 간단하나 정밀도가 낮다는 단점이 있다. X-ray 방식은 정밀도가 높으나 시간이 오래 걸리고, 초음파 방식은 침투 액에 의한 샘플의 손상이라는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 새로운 방법으로, 웨이퍼 투과가 가능한 1,000nm 레이저를 이용한 검사 시스템 개발이 필요하다. 레이저 본딩 검사 방법은 비파괴적이고 검출력도

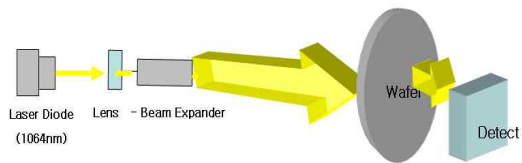


Fig. 1 Schematic of laser wafer bonding inspection system [1].

30um로 높으며 출력 또한 안정적이기 때문에 기존 방식들의 단점들을 많이 보완할 수 있다[1]. 레이저 본딩 검사 시스템은 Figure. 1과 같이 생각할 수 있다. 레이저 다이오드에서 나오는 빔은 Beam expander를 이용하여 대면적으로 넓어지게 되어 웨이퍼에 조명된다. 웨이퍼에 고른 레이저를 비춰주기 위해 레이저 다이오드의 가우시안 분포가 균일 분포로 바뀌어야 한다. 본 논문에서는 레이저 웨이퍼 검사 시스템을 위한 대면적 균일 조명 광학계 설계를 위해 (1) 비구면 렌즈 설계를 이용한 방법과 (2) 구면렌즈를 이용한 방법을 제시하고자 한다.

### 2. 대면적 균일 조명 광학계 설계

#### 2.1 비구면 렌즈 설계 방법.

그림 2는 비구면 렌즈를 이용하여 가우시안 분포 입사 빔을 균일 분포 출사 빔으로 바뀌는 과정을 나타내고 있다. 두 빔의 에너지가 같다고 가정하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\text{입사 빔 에너지} : A = \int_0^x P e^{-2R^2/W^2} 2\pi R dR$$

$$\text{출사 빔 에너지} : B = H\pi S^2$$

$$S \text{와 } x \text{ 관계식} : S = K\sqrt{1 - e^{-2x^2/W^2}}$$

이를 이용하여 원하는 폭으로 입사 빔의 가우시

Table 1 Comparison of wafer inspection systems.

|      | 초음파 장비     | X-ray 장비   | IR 장비      | LD 장비 |
|------|------------|------------|------------|-------|
| 파괴여부 | 파괴         | 비파괴        | 비파괴        | 비파괴   |
| 검사시간 | 많음         | 많음         | 적음         | 적음    |
| 해상도  | 높음         | 높음         | 낮음         | 높음    |
| 특징   | 속도도 샘플링 요구 | 복잡함 방사능 노출 | 간편함 검출력 낮음 | 안정적   |

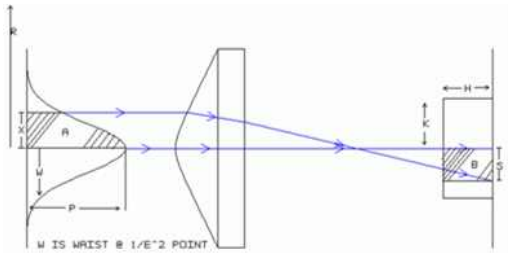


Fig. 2 Schematic of a gaussian to top-hat beam shaper [2].

Table 2 Specification of lens for aspheric lens method.

| LENS           | Collimation lens 1 | Collimation lens 2 | Shaping lens 1 (spherical) | Shaping lens 1 (aspheric) |
|----------------|--------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| Radius R1 (mm) | ∞                  | ∞                  | 229.79                     | 4.58821                   |
| Radius R2 (mm) | 14                 | 20.6               | 54.388                     | ∞                         |
| Thickness (mm) | 2                  | 9                  | 15                         | 15                        |
| Diameter (mm)  | 9                  | 30                 | 48                         | 31.81250                  |
| Conic const.   | -                  | -                  | -                          | -0.99476                  |

안 분포를 균일한 분포로 변경할 수 있다. Zemax와 Lighttools를 이용한 시뮬레이션 과정은 다음과 같다. 먼저 시스템 설계 시 사용되는 레이저 다이오드를 모델링한 후, 시준 렌즈를 이용하여 빔을 평행하게 한다. 원하는 출사 빔의 직경을 정한 후, 구면 렌즈와 비구면 렌즈를 설계하여 균일 정도가 높아 지도록 시뮬레이션을 하였다. 평가 기준으로 정한 균일 정도는 다음과 같으며,

$$U = 100\% \left(1 - \frac{\sigma_L}{L_{ave}}\right)$$

이 때  $\sigma_L$ 은 standard deviation,  $L_{ave}$ 는 measuring luminance의 average 값을 나타낸다. 우리가 정한 최종 빔 직경은 300mm이고, 이에 맞춰 최적화된 렌즈 정보는 Table 2와 같다. 비구면 렌즈의 4차 이상은 본 논문에 적지 않았다. 균일 정도는 83.26%로 확인되었다.

## 2.2 구면렌즈 설계 방법.

비구면 설계 방법을 이용할 경우 높은 균일 정도를 얻을 수 있으며 장치 크기를 줄일 수 있다는 장점이 있지만, 형상 오차에 대한 민감도가 크기 때문에 매우 정교한 렌즈 가공 기술이 요구되며, 렌즈 제작비용이 많이 든다. 이에 반해 구면 렌즈는

Table 3 Specification of each lens for spherical lens method.

| LENS           | Collimation lens 1 | Collimation lens 2 | Shaping lens 1 |
|----------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Radius R1 (mm) | ∞                  | ∞                  | 229.79         |
| Radius R2 (mm) | 14                 | 20.6               | 54.388         |
| Thickness (mm) | 2                  | 9                  | 15             |
| Diameter (mm)  | 9                  | 30                 | 48             |

비교적 저렴하고 사용하기 편하기 때문에 설계 필요성이 있다.

구면 렌즈를 이용한 방법 역시 입사 빔과 출사 빔의 에너지 손실이 없다는 가정하였으며, 입사 빔에서의 출발지점 x와 출사 빔에서의 도착지점 X사이의 관계식을 구함으로써 균일화가 가능하였다. Beam expander를 설계하여 레이저 다이오드 빔을 최대한 넓은 후, Beam shaper를 설계하여 균일 정도를 향상시켰다. 최적화된 렌즈 정보는 Table 3과 같이 나타났으며, 이에 대한 균일 정도는 84.4%가 나타났다. 하지만 구면 렌즈 설계 방법은 장치가 커질 수 있다는 단점이 있다. 이 문제는 평면거울을 이용하여 빔의 진행 방향을 z자 형태로 접음으로써 해결할 수 있다. 추가 시뮬레이션 결과 장치 길이 635 mm를 404mm로 줄일 수 있다는 가능성을 확인하였다.

## 3. 결론

본 연구를 통해 비구면 설계 방법과 구면 설계 방법 모두 80%이상의 균일 정도를 갖는 대면적 균일 조영 광학계 설계가 가능하다는 것을 확인하였다.

## 후기

본 연구는 산업 원천 기술 개발 사업 및 교육인적 자원부 BK21 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 장동영, 반창우, 임영환, 홍석기, "본딩 웨이퍼 분석 시스템 개발," 대한기계학회논문 A, **33**(9), 969-975, 2009.
2. <http://www.zemax.com/>