

광삼각법을 이용한 고반사 BGA 볼의 정밀 높이 측정 방법

3D Accuracy Enhancement of BGA Shiny Round Ball Using Optical Triangulation Method

주병권^{1,✉}, 조택동²
Byeong Gwon Joo^{1,✉} and Taik Dong Cho²

¹ 인텍플러스 개발부 (Department of Research and Development, Intekplus Co., Ltd.)

² 충남대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam University)

✉ Corresponding author: bgjoo@intekplus.com, Tel: +82-42-930-9981

Manuscript received: 2015.4.17. / Revised: 2015.7.22. / Accepted: 2015.7.22.

The further development of information, communication and digital media technologies requires the use of advanced, miniaturized semiconductor chips that operate at a high frequency. Die bonding and wire bonding methods for semiconductor packaging have been replaced by direct attachment to the substrate after forming a bump on the chip. However, the height of the bump or ball is an important factor for defects during assembly. This paper proposes an algorithm to measure the height of the bumps or balls in semiconductor packaging with greater accuracy. The performance of the proposed algorithm is experimentally validated. Non-contact 3D measurements of a shiny round ball is quite difficult, and it is not easy to obtain accurate data. This paper thus proposes an optical method and technique to improve the measurement accuracy.

KEYWORDS: Shiny round ball (고반사 둥근볼), Die bonding (다이 접착), Wire bonding (와이어 접착) Semiconductor packageing (반도체 패키징), BGA (볼 그리드 배열)

1. 서론

정보통신과 디지털 미디어 기술의 발전과 더불어 높은 주파수를 갖는 소형화된 반도체 칩들의 개발이 활발해 지고 있다. 기존의 die bonding과 wire bonding 방식의 패키징 방법에서 칩에 범프를 형성한 후 substrate에 직접 붙이는 형태로 그 방법이 변화 되고 있다. 종래의 wire bonding 방식은 주파수가 높아짐으로 인해 Fig. 1과 같이 노이즈, 전력 소모량, 패키지의 크기 등이 커지게 되므로 최근

소형화 및 고속화되고 있는 전자제품의 발전 추세를 따라갈 수 없다. 따라서, 볼(ball)을 형성한 후 이를 직접 회로기판에 붙일 수 있도록 반도체 패키징 방식이 BGA(Ball Grid Array) 형태로 변화되었고, 부품의 소형화에 따라 점점 그 크기 및 피치가 작아지고 있다.

BGA 패키지 제작 공정에서 형성된 볼(ball)을 회로기판 혹은 substrate에 부착을 할 때 볼의 형상에 결함이 있거나, 높이가 동일 평면상에 존재하지 않을 경우 회로기판과 정확하게 연결되지 못하

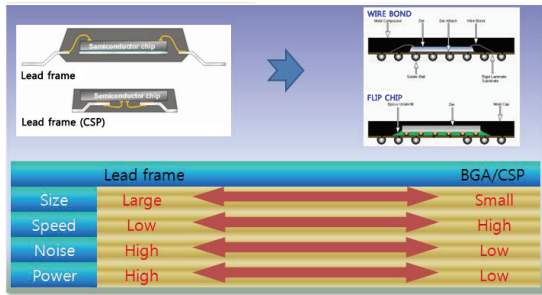


Fig. 1 Semiconductor packaging developing trend⁹

여 불량을 유발하게 된다. 따라서, 정확한 높이 측정을 통해 사전에 불의 불량 유무를 검사하는 것이 무엇보다도 중요시 되고 있다.

볼(ball)을 형성하는 방법은 여러 가지가 있으며, 볼의 크기와 피치가 작아짐에 따라 볼을 형성하는 제작 공정 또한 변화해 가고 있다. 일반적으로 솔더 범프를 만든 후 리플로워(reflower) 공정을 통과 함으로써⁹ 볼을 형성하도록 하는 방법이 많이 사용되는데, 이때 형성된 볼의 형상은 상단부가 구면이며 또한 표면이 유리면처럼 고반사 특성을 갖는 볼이 되어 광학적 검사에 많은 어려움이 수반 된다. 본 논문에서는 이러한 고반사(shiny) 구면형상(Round type)의 볼 높이를 측정하는 보다 효율적인 방법을 제시하고, 실험을 통해 개선 효과를 검증하였다.

2. BGA 정밀 높이 측정에 대한 연구 동향

반도체 패키지의 형태가 BGA 및 CSP 형태로 변화함에 따라 정밀 높이 측정을 위한 다양한 방법론의 연구가 진행되고 있다.

Table 1은 여러가지 다양한 비접촉 3차원 측정에 대한 특징을 보여준다.

Choi, W. Y.¹ 등은 슬릿빔을 이용한 3D 데이터의 정밀 높이 측정을 위해 2D 영상을 기반으로 정확한 볼의 중심점을 찾는 알고리즘을 제안하였다. 라인스캔형태의 3D 검사의 경우 스테이지를 이동하면서 3차원 데이터를 획득하기 때문에 2D 영상과 3D 데이터를 각각 획득해야 함으로 2D와 3D를 일치시키는데 오차를 수반하게 된다. 또한, 본 논문에서 다루고 있는 고반사 볼의 경우 3D 데이터가 본 논문에서 설명하는 이유로 인해 불형대로 측정되지 않음으로 이러한 방법으로는 볼의 정확한 높이를 측정하는데 다소 문제가 있다.

Table 1 Compare features of 3D inspection methods

Inspection method	Feature
Slit beam method	-Line scan inspection -Very fast inspection -High accuracy
Moire interferometry	-Area scan inspection -Fast inspection -High accuracy
White light interferometry	-Small area inspection -Slow inspection -Very high accuracy
Stereo	-Area scan inspection -Fast inspection -Low accuracy

Kim, M. Y.^{2,5}은 모아레 간섭을 이용하여 BGA 볼의 정밀 높이 측정을 하였다. 고반사 볼 및 반사도가 다른 볼의 높이를 측정하고자 4방향에 대한 모아레 격자를 프로젝션하여 얻어진 각각의 데이터를 융합하여 고반사 BGA 볼의 높이를 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 모아레 격자를 4방향으로 설치함으로써 반사특성이 다양한 볼의 높이 측정에 매우 유용하나 측정시간이 다소 오래 걸리고, 비용이 많이 드는 단점을 가지고 있다.

Ko, K. W.³ 등은 백색광 간섭계(White Light Interferometry)의 많은 계산량과 좁은 검사영역을 확대 하고자 하드웨어 기반의 동기화장치 및 고해상도 카메라에 대한 사용방법을 제안하였다. 백색광 광학계는 동축 광원과 빛의 간섭특성을 이용함으로써 고반사 특성의 볼에 대해 측정 정밀도가 매우 높다. 그러나, 좁은 검사 영역 및 계산시간, 진동에 대한 취약성으로 반도체 패키지의 전수 검사를 위해서는 좋은 방법이라 할 수 없다. 이러한 단점을 보완하고자 Koo, Y. M.⁴ 등은 대시야 백색광 간섭계에 대한 광학계를 제안하였으나 여전히 검사속도가 반도체검사 장비에 사용하기에는 충분하지 못하다.

Lee, S. S., Park, Y. S.⁶⁻⁸ 등은 스테레오 영상기반으로 BGA 볼의 높이를 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 스테레오 영상은 보정에 따는 오차와 정확한 대응점을 찾아야 하는 문제로 인해 측정 정밀도가 다소 떨어진다.

본 논문에서는 구현하기가 다소 쉽고 비용이 저렴하며, 상대적으로 빠르고 정밀한 측정이 용이한 슬릿빔을 기반으로 한 고반사 구면형상의 BGA 볼에 대한 높이를 보다 정확하게 측정하는 방법을 제안한다.

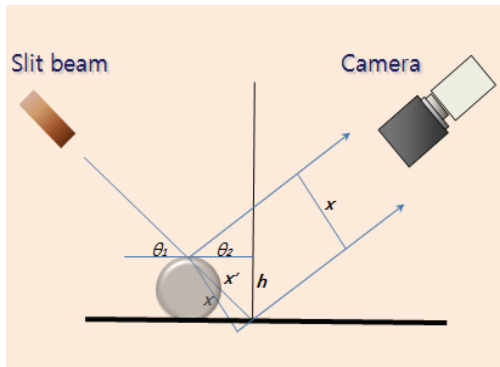


Fig. 2 Specular reflected optic system for slit beam method

3. 슬릿빔을 이용한 고반사 BGA 볼(Ball)의 정밀 높이 측정방법

슬릿빔 주사법은 레이저 다이오드의 출력단에 원통형 렌즈나 거울, 프리즘 등을 부착하여 레이저 광을 라인형태로 만들어 사용한다. 그러나 레이저는 특성상 스펙클 형태의 잡음(speckle noise) 존재하여 영상처리상에서 정확한 위치를 찾는 데 불리하게 작용한다. 따라서 본 논문에서는 백색광을 슬릿형태의 투영광학계를 통과시켜 슬릿광을 만들어 정밀도를 향상시키도록 하였다. 또한, 고반사 볼(shiny ball)을 보다 용이하게 측정하기 위해 카메라와 슬릿빔을 동일하게 기울여 Fig. 2와 같이 경면반사 광학계를 구성하였다.

$$h = x' \sin \theta_1 \tag{1}$$

$$x' = \frac{x}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \tag{2}$$

$$h = \frac{x \sin \theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \tag{3}$$

Fig. 2에서의 높이 h는 식(3)과 같이 계산된다. 영상에서 슬릿빔의 중심위치를 찾는 것은 측정 정밀도를 높이는 데 아주 중요하다. 본 논문에서는 일반적으로 많이 사용하는 가우시안분포의 슬릿빔에 대한 무게중심을 찾는 COG(Center of Gravity) 알고리즘¹⁰ 사용하였다.

3.1 슬릿빔과 고반사 볼(shiny ball)의 광학적 특성

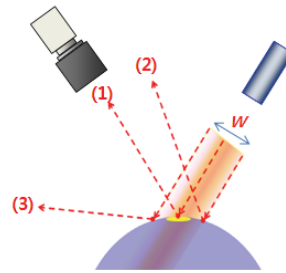


Fig. 3 Optical characteristic of shiny ball

앞서 기술한 바와 같이 일반적으로 슬릿빔을 사용하는 광삼각 측정방법의 경우 슬릿빔의 광원으로 레이저를 사용하는 경우가 많다. 그러나, 레이저의 경우 스펙클노이즈가 많아 정밀 측정을 하는 데는 상대적으로 불리하다. 그러므로 본 논문에서는 백색광원을 슬릿형태로 제작된 투영판에 통과시킨 후 렌즈로 포커싱하여 스펙클노이즈가 없는 슬릿빔을 만들었다. 이때 슬릿빔의 폭이 작을수록 측정을 아주 정밀하게 할 수 있다. 그러나, 빛의 회절특성으로 인해 폭을 줄이는데는 광학적인 어려움과 많은 비용이 수반된다. 본 논문에서는 6 μ m 폭의 투영판을 노광하여 슬릿형태로 제작하고, 이 투영판을 통과한 빛을 렌즈로 집광하여 폭 80 μ m의 슬릿빔 조명광학계를 구성하였다. 이렇게 만들어진 슬릿빔은 중심에서 가장 밝은 가우시안 분포를 갖게 되며, 스펙클노이즈도 존재하지 않는다. 그러나, 레이저 슬릿빔에 비해 제작 비용이 많이 들고, 슬릿 폭이 작아 조명에 대한 투과 효율이 떨어져 보다 강한 조명광을 만들기 어렵다는 단점이 있다. 슬릿빔을 80 μ m의 폭으로 가늘게는 만들었으나, 측정하고자 하는 볼(ball)의 직경이 200~300 μ m 수준으로 여전히 정밀 측정을 수행하기에 슬릿빔의 폭이 두껍다

이러한 이유로 슬릿빔을 볼면에 투영하였을 경우 Fig. 3과 같이 슬릿빔의 가우시안 특성과 빛의 반사 특성으로 슬릿빔의 중심이 볼의 최상단(Top)에 위치할 때 광의 분포가 가장 크게 된다. 이러한 특성을 이용하여 본 논문에서는 볼의 상단의 위치를 보다 정확하게 찾아 정밀도와 반복능을 향상 시키기 위한 알고리즘을 제안 한다.

라인스캔방식의 측정에 있어서 피치의 이송량에 따라 대상체의 스캔(측정) 위치가 변화되므로 요구되는 정확한 위치를 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 이런 이유로 원호 혹은 커브 피팅과 같은 데이터 처리기법을 사용하여 볼의 정점의 높

이를 보간하여 찾거나 2D 영상으로부터 중심점을 구하고¹ 이에 해당하는 3D 높이 데이터를 취함으로써 정확한 볼의 중심점을 찾는다. 그러나, 고반사 볼의 경우 본 논문에서 설명하고 있는 슬릿빔의 폭을 충분히 작게 만들 수 없는 이유와 볼면의 반사특성으로 인해 측정 데이터가 구면 형태로 측정 되지 않는 문제가 있어, 측정된 데이터로부터 볼 상단면의 높이를 정확하게 찾을 수 있는 방법이 요구되며, 이를 위해 가우시안 분포의 슬릿빔과 고반사 볼(shiny ball) 사이의 광학적 특성 및 관계에 대한 해석이 필요하다.

3.2 고반사 볼(shiny ball)에 대한 슬릿빔의 광학적 모델링

볼에 투영된 가우시안 분포의 슬릿빔은 Fig. 4와 같이 투영 위치에 따른 반사특성을 갖는다. 그림에서 나타내듯이 고반사 둥근 볼(Shiny round ball)의 경우 볼의 최상단면에 있는 빛만을 경면반사하여 카메라에 입사 하게 된다.

$$\begin{aligned}
 h &= X \sin \theta \\
 l &= X \cos \theta + \Delta P \\
 \tan \theta_1 &= \frac{h}{l} = \frac{h}{X \cos \theta + \Delta P} \\
 \therefore \theta_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{h}{X \cos \theta + \Delta P} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$\theta = \theta_1$ 일 때 슬릿빔 중심에서 실제 볼 높이

그러므로 슬릿빔의 폭이 두꺼울수록 카메라에 입사하는 빛은 피치 이송에 따라 슬릿빔의 반사 위치가 달라지므로 초기에 설정된 슬릿빔의 각도(θ)가 변화하게 된다. 이로 인해 둥근 볼이 둥글게 측정되지 않고 점점 높이가 변화하는 형태로 측정된다.

식(4)는 슬릿빔의 위치에 따른 각도변화를 나타내고 있다. Fig. 5는 피치 이송에 따른 슬릿빔의 반사 특성 및 영상면에 촬상되는 형태를 나타내고 있다. 피치 이송에 따라 슬릿빔의 중심은 이동하고 있으나, 실제적으로 볼의 중심에서 반사된 빛만이 카메라에 입사됨으로 같은 높이가 점차적으로 낮게 측정되는 현상이 나타나게 된다. 이러한 이유로 슬릿빔을 측정 물체에 대해 충분히 작게 만들어져야 하나 현실적으로 많은 비용과 기술적 어려움이 수반된다. 따라서 폭이 충분히 작지 않은 슬릿빔에 대한 정밀도 향상 방법은 매우 중요하며,

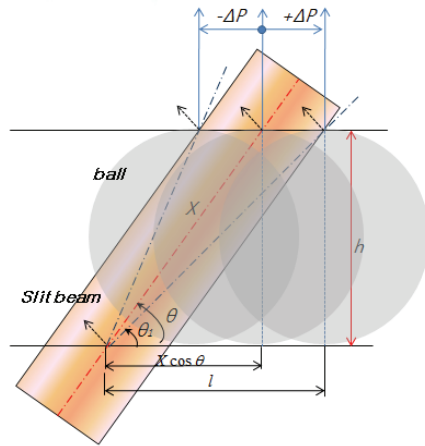


Fig. 4 Optical modeling for slit beam and ball

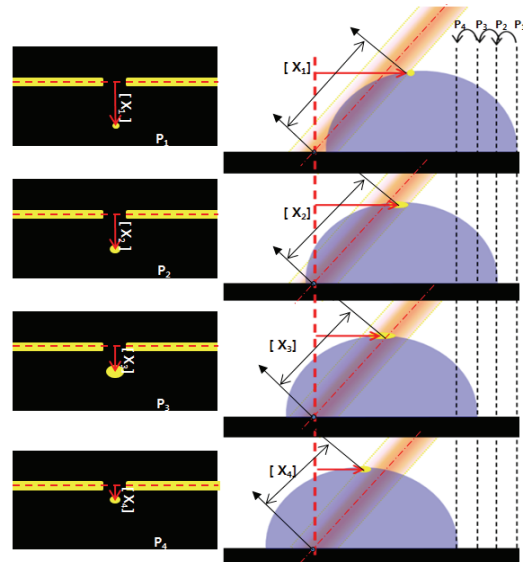


Fig. 5 Reflection characteristic of slit beam as scan position

위에서 모델링한 슬릿빔과 둥근볼의 반사 특성을 이용하면 측정 오차를 현저히 줄일 수 있다.

3.3 제안하는 정밀 높이 측정방법

본 논문에서는 고반사 둥근볼의 높이측정을 함에 있어 폭이 상대적으로 두꺼운 슬릿빔을 사용하여도 볼 상단(top)면의 위치를 정확하게 찾아 측정 정밀도를 향상시키기 위한 방법을 제안한다. 이를 위해 측정 위치에 따른 슬릿빔의 밝기분포를 나타내는 Intensity Map을 구성하고, 이 위치의 높이값

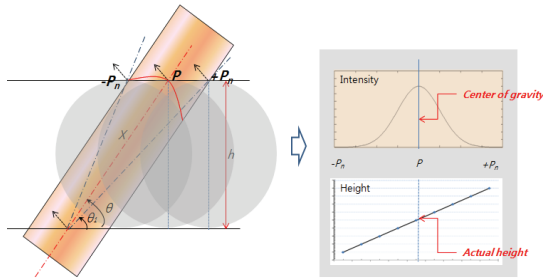


Fig. 6 Relationship between intensity and height map

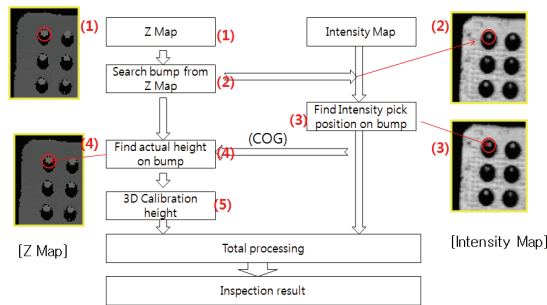


Fig. 7 Proposed algorithm

을 얻어진 Z Map으로 부터 보간하여 볼 상단면의 높이값을 산출한다.

슬릿빔은 폭 방향에 대해 가우시안 분포의 광 특성을 나타냄으로 측정 피치 이송에 따라 Fig. 6 과 같은 밝기 분포(intensity map)를 형성 한다. 또한, 이에 따른 높이값의 변화를 Fig. 6에서 볼 수 있다. 여기서 높이 값이 점진적으로 변화하는 이유는 식(4)에서 모델링한 바와 같이 슬릿빔 폭내에서 반사되는 위치가 달라짐으로 측정값이 점진적으로 증가 혹은 감소하게 나타난다. 이때 밝기 분포값이 가장 큰 위치가 볼의 최상단면의 정확한 높이 임을 알 수 있다.

Fig. 7은 본 논문에서 제안하는 정밀 볼 높이 측정 알고리즘이다. 슬릿빔의 밝기정보(Intensity Map)으로부터 볼의 상단 위치를 정확하게 찾고, 이에 대응하는 높이정보를 측정된 높이값(Z Map) 으로부터 찾음으로써 둥근 볼의 측정 정밀도와 반복특성을 향상 시킨다.

4. 실험 및 고찰

제안된 알고리즘의 반복특성을 실험하기 위해 Fig. 8과 같은 3차원 측정 시스템을 구성하였다.

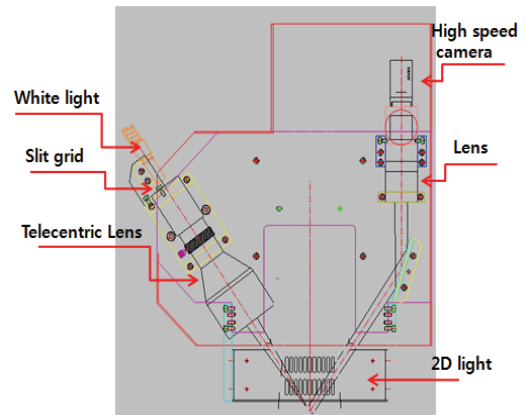


Fig. 8 3D Optical measurement system

Table 2 Specification of optical component

Item	Specification	Remark
Camera	2048 x 1024(2M) Area scan camera	ROI partial scan
Slit beam lens	Telecentric 0.25X	
Slit grid	6μm slit grid	
Illumination	White light	Optical fiber
Slit beam width	80μm	
2D light	RGB LED illumination	

본 실험에서 사용된 각 광학 부품의 사양은 Table 2와 같다. 스펙클노이즈 문제가 발생하는 레이저대신 광원을 백색광 LED를 사용하고 슬릿형태의 투영판을 노광하여 제작 하였다. 렌즈를 이용하여 투영된 슬릿광을 집광 함으로서 약 80μm 폭의 슬릿빔을 제작 하였다.

또한, 렌즈의 화각으로 인해 광손실이 발생하여 카메라 좌우간의 밝기 차이가 발생하지 않도록 텔레센트릭 렌즈를 사용하여 양단의 밝기 차이를 줄이고자 하였다. 이렇게 구성된 실험장치를 이용하여 지름 250μm, 높이 150μm인 BGA 둥근볼(round ball)을 측정하였다. 기존의 일반적인 방법인 측정된 볼면의 값 중 최대 최소값을 제외한 나머지 데이터의 평균값을 취하는 방법과 제안된 알고리즘에 의한 방법으로 각각 10회 반복 측정하여 반복정밀도에 대한 비교평가를 시행 하였다.

Fig. 9는 높이 측정 결과를 나타내고 있다. 높이 측정결과 둥근(Round)형태의 볼이 슬릿빔의 폭과 반사특성으로 인해 둥근모양으로 측정되지 않고 높이값이 점점 변화하는 경향을 나타내고 있다. 이 측정값으로부터 본 논문에서 제안한 밝기 정보

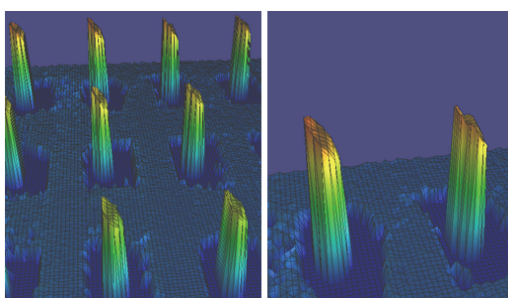


Fig. 9 The Result of height measurement(Z Map)

Table 3 Measurement data for BGA round ball

unit: μm

	Proposed algorithm	Conventional algorithm
1	151.13	145.76
2	149.26	167.00
3	153.06	162.48
4	152.66	148.28
5	148.18	154.07
6	151.80	166.03
7	151.14	145.43
8	151.07	163.76
9	152.93	164.03
10	148.81	145.00
Standard deviation	1.74	9.36
Average	151.00	156.18

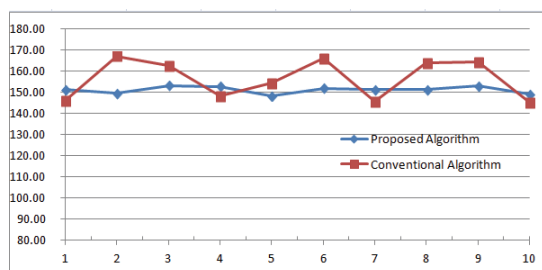


Fig. 10 Measurement graph for BGA round ball

(Intensity)를 이용한 볼의 최상단 높이 추출 알고리즘을 적용하여 높이값을 측정하였다.

Table 3에서 볼 수 있듯이 표준편차에서 반복정밀도가 약 5배 이상 향상 되어 기존 알고리즘과 비교하여 매우 우수한 특성을 보인다. 이렇게 함으로서 라인스캔 방식에서 문제가 되는 스캔위치에 따른 편차와 슬릿빔의 폭이 상대적으로 크므로 인해 발생하는 오차를 현저히 줄일 수 있음을 검증하였다.

5. 결론

라인스캔방식의 측정에 있어서 피치의 이송량에 따라 대상체의 측정 위치가 변하기 때문에 요구되는 정확한 위치를 측정하기 위해서는 매우 조밀한 간격으로 측정을 해야만 한다. 측정 간격은 검사시간과 관계되는 것으로 적절한 간격을 설정하는 것이 매우 중요하다. 이런 이유로 검사시간을 고려하여 측정간격을 설정하고 여러 가지 데이터 처리기법을 사용하여 정확한 측정값을 추출한다. 특히, 볼(ball)과 같이 평면이 아닌 정점이 하나의 점으로 표현되는 경우 정확한 위치를 찾아내는 것은 측정 정밀도 향상에 매우 중요한 일이다. 또한, 슬릿빔을 이용한 3D 측정방법에서 슬릿빔의 폭을 작게 만들수록 정밀측정이 가능하나 비용 및 기술적 한계로 인해 원하는 수준의 슬릿빔 제작이 어렵다. 본 논문에서는 이러한 정밀측정에 있어 장애가 되는 요소들에 대해서 보다 정밀하게 측정할 수 있는 알고리즘을 제안 하였다. 이를 반도체 BGA 패키지 검사에 적용하여 고반사 둥근볼(Round ball)의 정확한 높이를 측정하였다. 또한, 슬릿빔의 가우시안 특성과 반사특성을 모델링하고, 이를 기반으로 정점을 정확하게 찾는 알고리즘을 제안하고 검증하였다. 그 결과 약 5배 이상의 반복특성이 향상됨을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 반도체 검사장비 전문기업인 ㈜인텍플러스 “반도체 외관검사기용 초고속 3D 검사장치 개발” 과제의 지원으로 수행 되었습니다.

REFERENCES

1. Choi, W., Park, Y., and Lee, J., “The Method of Precision Three Dimension Height Inspection by Laser Scan,” The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 9, No. 12, 2011.
2. Kim, M.-Y., “Three-Dimensional Machine Vision System Based on Moire Interferometry for the Ball Shape Inspection of Micro BGA Packages,” Journal of the Microelectronics and Packaging Society, Vol. 19, No. 1, pp. 81-87, 2012.
3. Ko, K. W., Sim, J. H., and Kim, M. Y., “A High-Speed White-Light Scanning Interferometer for Bump

- Inspection of Semiconductor Manufacture,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 30, No. 7, pp. 702-707, 2013.
4. Koo, Y. M. and Lee, K. H., “Development of 3D Inspection Equipment Using White Light Interferometer with Large FOV,” Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 6, pp. 694-699, 2012.
 5. Kim, H.-J., Yoon, D.-H., and Kim, H.-I., “3D Precision Measurement of Scanning Moire Using Line Scan Camera,” Korean Journal of Optics and Photonics, Vol. 19, No. 5, pp. 376-380, 2008.
 6. Park, Y.-S. and Kim, J.-S., “A Study on the Vision Inspection System for the Defects Detection of Micro-BGA Device,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 24, No. 4, pp. 44-56, 2007.
 7. Lee, S.-S., Park, Y. S., Kim, J. S., and Joo, H. N., “The Development of a Stereo Vision Algorithm for Height Measurement of Ball Peak Point of BGA Device,” Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Conference, pp. 431-436, 2005.
 8. Kim, J.-S. and Park, Y.-S., “A Study on the Measurement Algorithm for the Ball Height of BGA Device Using Stereo Vision,” Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 26-34, 2006.
 9. Amkor Technology, “Flip Chip Packaging Technology Solutions,” <http://www.amkor.com/go/Flip-Chip-Packaging> (Accessed 13 August 2015)
 10. Van Assen, H. C., Egmont-Petersen, M., and Reiber, J. H., “Accurate Object Localization in Gray Level Images Using the Center of Gravity Measure: Accuracy Versus Precision,” IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 11, No. 12, pp. 1379-1384, 2002.