

X-ray 영상의 Intensity 분포도를 이용한 플립칩 솔더범프 접합패턴 오차검출 연구

A Study on Bonding Pattern Error Detecting of Flip-chip Solder Bump using the Intensity Distribution Map of X-ray Image

*송춘삼¹, #김종형², 조성만³, 김주현⁴

*Chun-Sam Song¹, #Jong-Hyeong Kim(johnkim@snut.ac.kr)², Sung Man Cho³, Joo-Hyun Kim⁴

¹ 서울테크노파크, ² 서울산업대학교 기계자동차공학부, ³ 서울산업대학교 나노생산기술연구소, ⁴ 국민대학교 기계자동차공학부

Key words : Flip-chip, X-ray, Nondestructive inspection

1. 서론

일반적으로 반도체 칩이 고집적화 및 고속화 되면서 외부단자와의 연결을 기존의 골드 와이어 본딩 기술의 기술적 한계를 극복하기 위한 기술로서 플립칩 기술이 있다.

플립칩이란 반도체 칩 표면의 입출력패드에 솔더(solder), 금(Au), 납(Pb) 또는 은(Ag)과 같은 무른 금속으로 만들어진 솔더범프(solder bump)가 형성되어 있고, 와이어나 리드 등을 사용하지 않은 상태에서 범프가 아래로 향하도록(face down)하여 인쇄회로기판 또는 메인보드에 직접 본딩한 반도체 칩을 일컬으며 반도체 칩을 결합할 때 뒤집는다는 의미에서 플립칩(flip chip)이라고 부른다. Fig. 1은 플립칩 반도체 패키지의 일반적인 구조를 개략적으로 나타낸 단면도이고, 플립칩 반도체 패키지의 구조는 다음과 같다.

반도체칩의 상부표면에는 칩보호막 및 칩보호막을 통해 열려진 다수의 입출력패드가 형성되어 있다. 그리고 이 입출력패드에 범프금속과 솔더범프가 형성되어 있다. 그리고 솔더범프는 PCB 기판의 솔더레지스트(solder resist)를 통해 열려진 기판패드와 결합되어 있다. 그리고 반도체 칩과 기판 사이에는 기계적인 응력 및 외부 환경으로부터 보호하기 위해 에폭시 등으로 된 언더필부재가 마련되어 있다. 그리고 반도체칩과 전기적으로 연결된 기판의 반대면에 외부인쇄회로기판 등에 전기적으로 연결하기 위한 솔더볼(solder ball, 또는 BGA(Ball Grid Array)라고도 함)이 있다.

이러한 구조를 갖는 플립칩 반도체 패키지기술은 면배열이 가능하기 때문에 고집적화, 다핀화 및 소형화가 가능하게 된다. 또한, 전기적 거리가 짧기 때문에 전기적 신호가 빠른 반도체 칩에 적용할 수 있다는 장점 등이 있다⁽¹⁾.

현재 플립칩의 주요 기술로는 접합관련 공정 및 기술, 범핑 기술, UBM 프로세스 기술을 들 수 있다. 그러나 플립칩 형상에 맞추어진 검사 기술은 연구가 부족한 실정이다. 칩 외부로 와이어를 연결하여 전기적 신호를 통하는 기존의 칩과는 달리 플립칩은 Die 위에 형성된 볼을 통해서 Die와 PCB간의 전기적으로 연결하여 연결부위가 내부로 감추어진 형태이기 때문에 접합부를 관찰하기 위해서는 칩을 절삭하여 단면을 확인할 수밖에 없다⁽²⁻⁵⁾. 따라서 플립칩 형상에 맞추어진 검사기술의 연구가 요구된다.

현재 2차원이나 3차원 형상 및 치수측정으로 가장 일반적으로 사용되는 레이저 및 시각에 의한 검사 측정 기술은 외부의 조명에 대하여 대상 물체의 표면이 반사광에 의하여 상을 얻는 것이므로, 조명 조건이나 대상 물체의 표면 반사 특성에 의하여 영상의 특성이 민감하게 변화되고, 특히 표면이 정반사 성분이 강한 경우 대상 물체의 자세 변화에 따라 영상에 큰 변화가 있기 때문에 대상 물체 표면의 반사 특성에 따른 신뢰성 문제를 가진다.

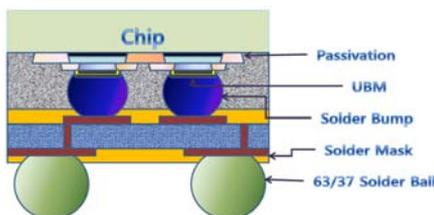


Fig. 1 Schematic of Flip-chip

또한 대상 물체의 표면에 대한 정보만을 얻을 수 있으므로, 다른 물체에 의해 가려지거나 내부에 존재하는 부분에 대한 정보는 얻을 수가 없는 제약이 있어 플립칩과 같이 전기적 연결부위가 내부로 감추어진 형태의 반도체 검사에는 적합하지 못하다. 이를 위해서는 X-ray 영상을 사용함으로써 위의 시각 검사를 사용하는 방법의 제약점들을 극복할 수 있다.

따라서 본 연구는 X-ray를 이용하여 플립칩의 접합부를 칩의 손상 없이 검사할 수 있는 비파괴 검사 시스템을 구현 한다. 이때 투과된 X-ray의 Intensity 분포도를 이용하여 플립칩 솔더 범프의 접합패턴 형상을 칩의 손상 없이 모니터링 하고, 분포도의 형상에 따라 솔더범프 접합패턴 중 불량접합(단락 또는 브릿지)을 검출 할 수 있는 시스템을 구현하여 실제 접합된 플립칩에 적용하여 평가하고자 한다.

2. 시스템 원리

X-ray 영상은 일반적으로 물체의 표면에 반사되는 빛의 밝기 값을 CCD에서 감광하여 얻어지는 카메라 검사방법과는 달리 Fig. 2에서와 같이 X-ray가 물체를 투과하면서 감쇄되는 정도를 감광하여 영상을 얻는다. 즉 카메라에서 얻어진 gray 영상은 물체의 표면에서 반사된 빛의 양을 나타내는 반면, X-ray 영상에서의 Intensity는 X-ray의 투과량, 즉 물체의 두께에 대한 정보를 나타낸다.

발생된 X-ray의 Intensity는 어떤 물질을 투과함에 따라 지수적으로 감쇄되는 성질을 갖는데, 이 때 X-ray의 감쇄 정도는 X-ray의 강도와 대상 물질의 물성치, 그리고 투과된 거리에 따라 결정되며, 이는 식 (1)의 X-ray 감쇄식으로 표현된다. 이 감쇄식은 X-ray 감쇄 계수가 μ 인 물질을 입사 X-ray 강도 I_0 로 z 만큼의 두께를 통과한 후의 X-ray 강도 I 를 나타낸 식이다⁽⁶⁾.

$$I = I_0 e^{-\mu z} = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho z} \quad (1)$$

- z : X-ray가 투과되는 대상 물질의 두께
- I_0 : 입사 X-ray의 강도.
- I : 투과 후 X-ray의 강도.
- μ : 선형 감쇄 계수 (X-ray 광량, 파장, 대상 물질의 종류, 밀도 등에 따라 결정)
- ρ : 밀도
- μ/ρ : 질량 흡수 계수

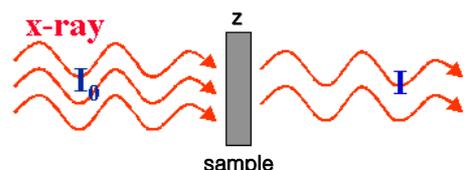


Fig. 2 Attenuation characteristics of X-ray Beam

3. 투과된 X-ray의 Intensity 분포도 추출 과정

투과된 X-ray의 intensity분포도를 이용하여 플립칩 접합부의 형상을 모니터링 하기 위해 Fig. 3과 같은 프로세스를 진행한다. 우선 X-ray를 이용하여 접합된 플립칩의 영상을 획득한다. 획득된 영상에서 각각의 RGB 픽셀값의 평균치를 통해 gray의 형태로

전환한 영상을 얻는다. 이때 RGB영상이 변환되어 얻어진 명암영상의 명암도(즉, 밝고 어두운 정도)는 인텐시티(intensity)값으로 나타내게 된다. Fig. 4 (a)는 X-ray로부터 획득한 영상이며, 이를 gray(intensity)의 형태로 전환한 영상이 Fig. 4 (b)이다.

gray(intensity) 형태로 전환한 영상은 X-ray 영상의 특성상 노이즈를 많이 포함하고 있는 영상이므로 노이즈 제거 과정이 필요하다. 특히 고주파 노이즈는 영상의 gray(intensity) 값의 미분치를 이용한 에지나 모서리 같은 형상 정보를 얻는 과정에서 에리 인자로 나타나기 때문에 제거되어야 한다. 고주파 노이즈를 제거하기 위하여 median 필터링을 사용하였는데 median 필터는 주변의 픽셀데이터를 스캔한 후 중간 값을 표현하는 필터링으로 모서리는 최대한 보존 하면서 고주파 노이즈를 줄여주는 효과가 있다. Fig. 4 (c)는 고주파 노이즈가 제거된 영상이다.

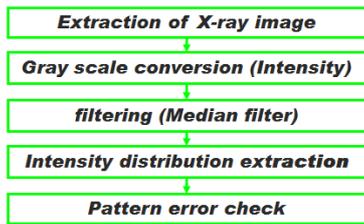
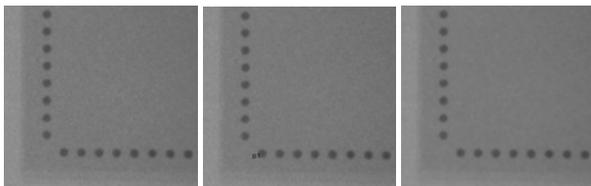


Fig. 3 Bonding pattern error detection process



(a) Original image (b) Gray(intensity) image (c) Median filtering image

Fig. 4 Extraction of solder bump image

4. Intensity의 분포도를 이용한 솔더볼 접합패턴 형상오차검출

Fig. 4와 같이 노이즈가 제거된 영상을 통하여 intensity분포도를 얻을 수 있다. 플립칩 접합부의 특정한 부분이나 축을 기준으로 intensity값을 나열하면 일정한 그래프 형태를 보여준다. 이때 원점 포인트에 해당하는 지점이 intensity분포도에서 픽셀0에 해당되며, 축방향을 따라 오른쪽으로 갈수록 축상에 위치한 해당 픽셀에 대응되는 intensity를 나타내면 intensity분포도가 얻어지게 된다. 이때 엑스선이 투과하면서 엑스선의 intensity는 지속적으로 감쇄하기 때문에 비교적 어두운 픽셀에 대응되는 intensity 값은 작게 나타나며 밝은 영역에서의 intensity 값은 크게 나타난다. 따라서 솔더볼프가 접합된 위치에서 어두운 영역은 투과거리가 길고 재료의 밀도차이 때문에 어렵게 나타나게 된 것이며 인텐시티 값이 작게 나타난다. 반면에 솔더볼프가 없거나 솔더볼프가 접합되지 않은 위치에서는 투과거리가 짧고 재료의 밀도차이 때문에 비교적 밝게 나타나게 되며 인텐시티 값이 크게 나타나게 된다. 그러므로 엑스선검사결과 얻어진 인텐시티분포가 표준 인텐시티분포(정상적으로 접합된 플립칩 솔더볼프에 대한 최적의 인텐시티분포)와 동등한 패턴을 나타내면 정상적으로 접합이 이루어졌음을 알 수 있으며, 어느 픽셀의 위치에서 인텐시티분포패턴의 양상이 틀리면 해당 위치에서의 솔더볼프의 접합에 이상이 있음을 알 수가 있다.

Fig. 5에서와 같이 정상적으로 접합이 된 플립칩의 intensity분포도를 보면 일정한 그래프를 보이지만 Fig. 6과 같이 접합이 안 된 영역이나 솔더볼이 제거된 경우 인텐시티 분포도에서 밝은 인텐시티피크(intensity peak)의 분포패턴이 일부분 이상이 겹쳐진 것을 볼 수 있다. 또한 Fig. 7과 같이 서로 bridge된 솔더볼 같은 경우는 알파벳 "W"나 "M"자 형태로 그래프의 형상이 표현된다. 이렇게 표현된 intensity분포도를 정상적으로 접합된 플립칩의 intensity분포도와 매칭시켜 솔더볼의 접합패턴 오차를 자동

으로 검출할 수 있다.

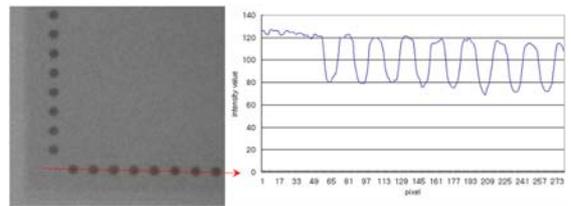


Fig. 5 Intensity distribution map (OK)

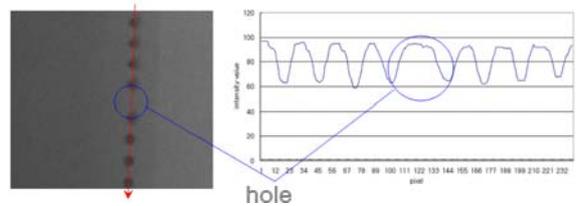


Fig. 6 Intensity distribution map (hole)

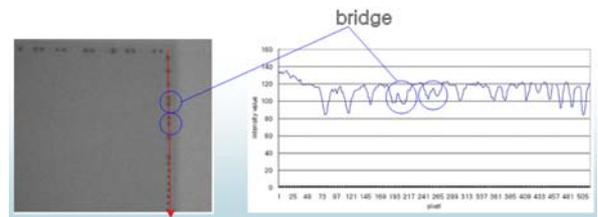


Fig. 7 Intensity distribution map (bridge)

5. 결론

본 연구에서는 X-ray를 통하여 칩의 손상 없이 플립칩 접합부의 형상오차를 검출해 내는 시스템을 구축하였다. 이때 투과된 X-ray의 Intensity 분포를 이용하여 솔더볼의 접합패턴 형상을 모니터링 할 수 있었고, Intensity 분포도의 형상에 따라 솔더볼 접합패턴 중 불량접합(단락, 브릿지 또는 과접합)을 검출할 수 있는 시스템을 구현하고 실제 접합된 플립칩에 적용하였다.

후기

본 연구는 서울산업대학교의 서울시 산학연 협력사업(10890)의 지원을 받았다.

참고문헌

1. R. K. Ulrich, and W. D. Brown: Advanced Electronic Packaging, Wiley-Interscience, 417~418, 2006.
2. Y.K. Ryu, H.S. Cho, "New optical measuring system for solder joint inspection ", Optics and Lasers in Engineering, Vol. 26, No.6, pp.487-514, 1997.
3. J.H. Kim, H.S. Cho and S.K. Kim, " Visual measurement of a 3-D plane by a cylindrical structure light", '93 Intelligent Robots and Systems, Yokohama, Japan, 1993.
4. K.W. Ko and H.S. Cho, "Solder joint inspection using a neural network and fuzzy rule-based classification method", IEEE Trans. On Electronics Packaging Manufacturing, Vol.23, No.2, pp.93-103, 2000.
5. J.A. Noble, R. Gupta, J. Mundy, A. Schmitz, and R.I.Hartely, "High precision x-ray stereo for automated 3D CAD based inspection", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol. 14, No.2, April, pp.292-302, 1998.
6. "Computed tomography details casting defects", Advanced Materials & Process, Nov.1990. pp54-66.