

300mm 대구경 웨이퍼의 다이 시프트 측정

이재향¹, 이혜진², 박성준^{1*}

¹한국교통대학교 기계공학과, ²한국생산기술연구원

Die Shift Measurement of 300mm Large Diameter Wafer

Jae-Hyang Lee¹, Hye-Jin Lee², Sung-Jun Park^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation

²Korea Institute of Industrial Technology

요약 오늘날 반도체 분야의 산업에서는 데이터 처리 속도가 빠르고 대용량 데이터 처리 수행 능력을 갖는 반도체 기술 개발이 활발히 진행 되고 있다. 반도체 제작에서 패키징 공정은 칩을 외부 환경으로부터 보호 하고 접속 단자 간 전력을 공급하기 위해 진행되는 공정이다. 근래에는 생산성이 높은 웨이퍼 레벨 패키지 공정이 주로 사용되고 있다. 웨이퍼 레벨 패키지 공정에서 웨이퍼 상의 모든 실리콘 다이는 몰딩 공정 중에 높은 몰딩 압력과 고온의 열 영향을 받는다. 실리콘 다이에 작용하는 몰딩 압력 및 열 영향은 다이 시프트 및 웨이퍼 휨 현상을 초래하며, 이러한 다이 시프트 및 웨이퍼 휨 현상은 후속 공정으로 칩 하부에 구리 배선 제작을 하는데 있어 배선 위치 정밀도의 문제를 발생시킨다. 따라서 본 연구에서는 다이 시프트 최소화를 위한 공정 개발을 목적으로 다이 시프트 측정 데이터를 수집하기 위해 다이 시프트 비전 검사 장비를 구축 하였다.

Abstract In today's semiconductor industry, manufacturing technology is being developed for the purpose of processing large amounts of data and improving the speed of data processing. The packaging process in semiconductor manufacturing is utilized for the purpose of protecting the chips from the external environment and supplying electric power between the terminals. Nowadays, the WLP (Wafer-Level Packaging) process is mainly used in semiconductor manufacturing because of its high productivity. All of the silicon dies on the wafer are subjected to a high pressure and temperature during the molding process, so that die shift and warpage inevitably occur. This phenomenon deteriorates the positioning accuracy in the subsequent re-distribution layer (RDL) process. In this study, in order to minimize the die shift, a vision inspection system is developed to collect the die shift measurement data.

Keywords : WLP(Wafer Level Package), Die Shift, Warpage, Vision Inspection

1. 서론

최근 스마트 폰과 같은 휴대용 모바일 전자 통신 기기 사용이 선호되고 그 활용 분야가 다양해지면서 초 소형화, 초 경량화, 고기능복합화 기반의 제품성능의 구현이 필수적이게 되었다.[1] 고성능 복합 기능 수행이 가능한 전자 통신 기기 구현을 위해서 반도체(semiconductor) 분야의 시장에서는 처리 속도가 빠르고 대용량 데이터에

대한 요구를 수행할 수 있는 반도체 기술 개발이 제조 공정 전 분야에서 활발히 진행 되고 있다.[2]

반도체 산업 특성상 각각의 제조과정에 투입되는 장비의 가격은 대당 최소 수 천만 원에서 최대 20억 원을 초과한다. 국내 반도체 시장은 반도체 장비의 약 80%, 반도체 재료의 약 45%를 수입에 의존해 오고 있는 가운데 중국은 '10년 부터 반도체 산업을 7대 전략적 신흥산업으로 정해 육성하고 있으며 '15년부터는 막대한 자본

본 논문은 "300mm 대응 대구경 다층구조의 복합 패키지 공정 및 장비 기술 개발" 사업의 일환으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sung-Jun Park(Korea National University of Transportation)

Tel: +82-43-841-5130 email: park@ut.ac.kr

Received March 31, 2016

Revised May 11, 2016

Accepted June 2, 2016

Published June 30, 2016

력을 바탕으로 반도체시장 진출을 가속화하고 있다. 이는 중장기적인 측면에서 국내외 반도체 시장에 큰 위협이 예상된다.

따라서 이러한 반도체 산업의 해외 의존도를 낮추고 기술 경쟁력을 갖추기 위해 반도체 기술의 국산화를 위한 국내 연구가 진행 되고 있다.

반도체 기술 공정 중 패키징(packaging)은 반도체 칩(chip)을 외부 환경으로부터 물리적으로 보호하고 단자 간에 상호 배선 및 전력 공급을 위해 포장하는 공정으로 과거 목적은 외부 환경으로부터의 칩 보호가 주를 이루었던 반면 근래에는 저항을 최소화하는 상호 접속 기능과 성능 향상을 위한 열관리 능력, 패키지 통합 기능 등 반도체 기능을 극대화 하면서도 생산비용을 절감하려는 데 집중되어 있다.

이러한 주안점에 맞춰 반도체 패키징은 웨이퍼 전체를 한꺼번에 공정하는 웨이퍼 레벨 패키지(WLP : Wafer Level Package)기술이 개발 되면서 과거의 웨이퍼 형태의 집적 회로를 개개의 칩 상태로 분리한 후 패키징을 하는 다이 레벨 패키지(DLP : Die Level Package)보다 생산성 증대 및 제조 원가 감소 효과를 보았으며 최근에는 더 높은 생산성을 위한 웨이퍼 대구경화 기술 개발을 목적으로 200 mm 웨이퍼에 이어 300 mm, 450 mm 웨이퍼 대응 반도체 장비 개발에 대한 연구가 진행 되고 있다.

대구경 WLP 기술 공정 개발이 진행 되면서 몰딩 압력, 열 변형 등에 의한 웨이퍼 휨(warpage)과 다이 시프트(die shift)문제가 크게 발생하게 되는데, 후속공정으로 칩 하부에 구리배선제작(RDL:Re-distribution Layer)을 하는데 있어 배선 위치 정밀도의 문제가 발생하게 된다.[2, 3]

따라서 본 연구에서는 다이 시프트 최소화를 위한 공정 개발을 목적으로 머신 비전(machine vision)[4-5]을 활용하여 다이 시프트를 측정하여 피드백(feed back)을 제공하고자 300 mm 웨이퍼 대응 다이 시프트 비전 검사(die shift vision inspection) 장비를 구축하여 측정 데이터를 분석 및 고찰 하고자 하였다.

2. 본론

2.1 다이 시프트 비전 검사 기법 연구

다이 시프트 비전 검사를 위한 CCD 카메라(camera) 및 렌즈(lens)의 최고의 조건은 웨이퍼 전 면적을 한 번에 촬영하면서 최소 μm 수준의 다이 시프트 관측성능을 갖는 것이지만 그러한 비전 검사 장비를 구축하기 위해서는 상당한 예산이 요구된다.

따라서 FOV(Field of View)를 최소화 하고 화소(pixel)당 분해능(resolution)을 높이는 방향으로 연구를 진행하였으며 최종적으로 다이의 정점(vertex)영역의 이미지를 수집하여 정점의 좌표와 회전각(rotation angle) 값을 비전 검사 기법을 통해 계산하고 앞서 구한 데이터를 활용하여 다이 중심 좌표(center coordinate)를 계산하고 다이 시프트를 측정하는 다이 시프트 비전 검사 기법 연구를 진행하였다.

다이 크기는 $5 \times 5 \text{ mm}$ 를 대상으로 비전 검사 기법 연구를 진행 하였으며 선정된 CCD 카메라, 렌즈 사양 및 FOV, 분해능을 Table 1에 나타내었다.

수집된 본딩(bonding) 다이 중심 좌표와 몰딩(molding) 다이 중심 좌표간의 거리 계산을 통해 다이 시프트를 측정할 수 있다. 또한 본딩 다이와 몰딩 다이 회전각 도 비교를 통해 몰딩 공정에 의한 회전 각도를 알 수 있다. Fig. 1의 비전 검사 알고리즘을 적용한 이미지를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 좌측은 본딩 다이 우측은 몰딩 다이 이미지이다.

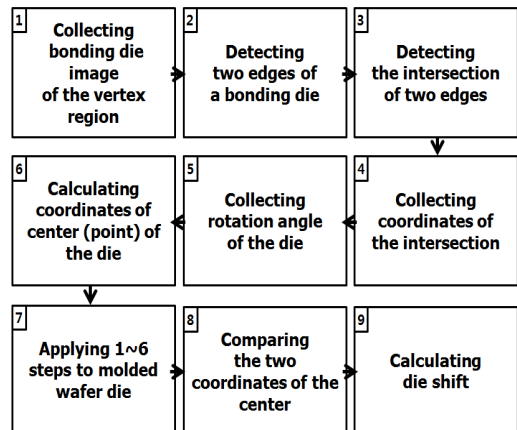


Fig. 1. Vision inspection techniques and die shift measurement algorithm

Table 1. Specification for vision inspection

| Spec. | Value |
|-----------------------|----------------|
| Interface | IEEE 1394b |
| CCD Camera resolution | 1388 × 1038 mm |
| Sensor size | Type 1/2 |
| Lens resolution | 2.4 μm |
| FOV | 3.2 × 2.4 mm |
| Die size | 5 × 5 mm |
| Die to die distance | 1 mm |

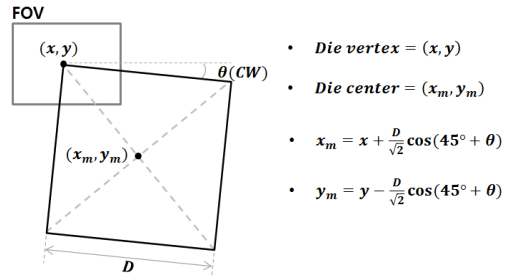


Fig. 3. Die shift measurement formula

2.2 다이 시프트 측정 장비 구축

앞서 연구된 비전 검사 기법을 적용 시켜 300 mm 웨이퍼 대응 다이 시프트 비전 검사를 위해 CCD 카메라, X-Y 리니어 스테이지, 로터리 스테이지, 웨이퍼 척 으로 구성된 시스템을 구축 하였다. Fig. 4는 구축된 장비의 모습이다.

이미지 수집을 위한 CCD 카메라 및 렌즈 사양 및 FOV는 앞서 Table 1에 나타내었으며 Test 촬영 이미지 (a) 및 수집된 본딩, 몰딩 다이 이미지(b) 예시를 Fig. 5에 나타내었다. 렌즈 초점 거리는 65 mm 이며 CCD 카메라에 매뉴얼 스테이지를 장착 하여 관측될 웨이퍼 다이와 초점을 맞출 수 있도록 설계 하였다.

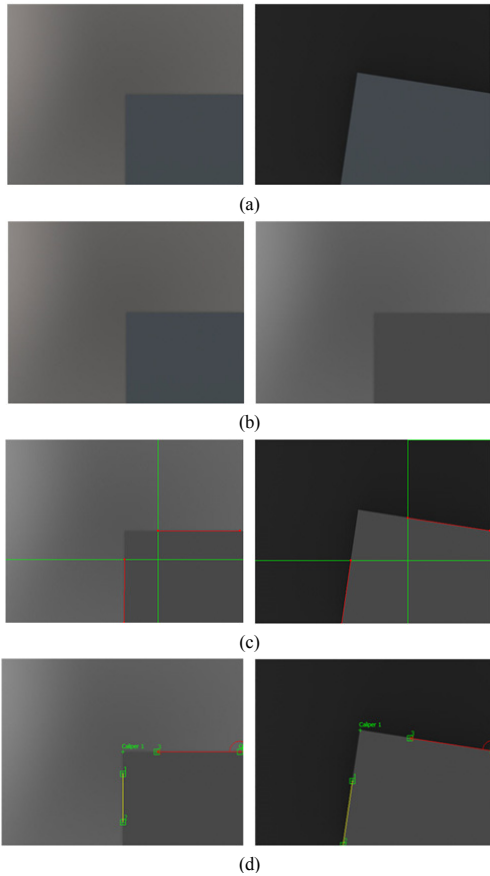


Fig. 2. Vision inspection techniques (a) Collecting die image of vertex region (b) Image characteristics conversion(32bit→8bit) (c) Detecting two edges of die (d) Detecting intersection of two edges and collecting rotation angle of die

Fig. 3에는 수집된 다이 정점좌표(x,y)와 회전각(θ)을 변수로 다이 중심좌표(xm,ym)를 계산하는 공식을 도식적, 수식적으로 나타내었다.

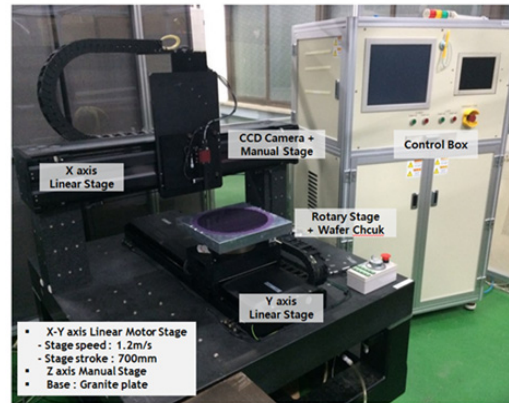


Fig. 4. Die shift vision inspection equipment setup

300 mm 웨이퍼 면적에 대하여 본딩 다이, 몰딩 다이 이미지 수집을 위한 프로그램 알고리즘으로는 최초 X-Y 리니어 스테이지 및 로터리 스테이지를 기준 정 위치(home position)으로 이동 시키는 호밍(homing) 작업이 진행 되고 본딩 다이의 이미지를 관심 영역에 대하여 수집한다.

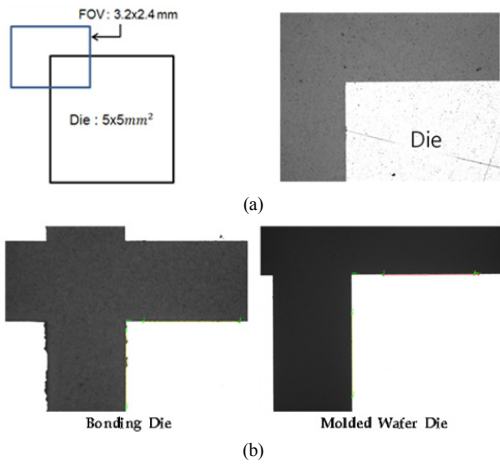


Fig. 5. Collected die images (a) FOV and test image (b) Bonding and molding die image

몰딩 후 EMC 표면 그라인딩(grinding) 작업이 끝난 몰딩 다이 이미지를 수집한 뒤 앞서 연구된 비전 검사 기법을 활용하여 각 다이의 중심 좌표를 계산하고 중심 좌표 간의 변위 계산을 통해 다이 시프트를 측정한다.

구동 알고리즘을 토대로 NI LabVIEW Programing Tool을 활용하여 다이 시프트 비전 검사 장비 구동 프로그램을 코딩 하였다. 비전 검사 기법 알고리즘은 NI LabVIEW 계열의 NI 머신 비전을 활용하여 다이 정점 및 중심 위치 정보를 수집 하는데 이용 되었다.

2.3 다이 시프트 측정

앞서 구축된 다이 시프트 비전 검사 장비를 활용하여 다이 시프트 측정 실험을 진행 하였다.

비전 검사를 위한 측정 대상의 정보는 Table 2에 정리 하였고 다이 시프트 측정을 위한 4개의 관심 선 영역(interested line)은 Fig. 6 (a)에 나타내었다.

1차 측정은 테스트를 위해 몰딩 두께 450 μm 을 대상으로 2회(#1 웨이퍼, #2 웨이퍼) 수행 하였다.

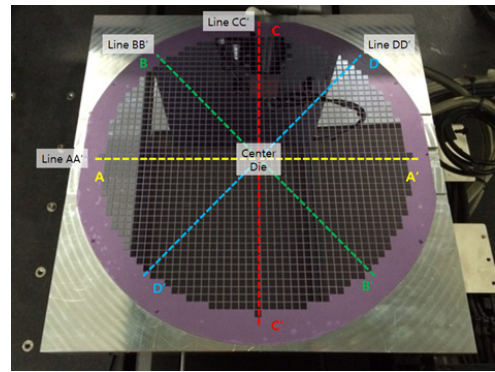
2차 측정에서는 1차 측정 결과 분석을 토대로 측정 방법을 보완 하여 몰딩 두께에 따른 다이 시프트 변화를 관측하고자 500 μm, 550 μm 몰딩 두께로 측정을 각 1회씩 추가 진행 하였으며 그 결과를 비교 및 분석 하였다.

다이 시프트 비전 검사 장비의 테스트를 위해 1차적으로 몰딩두께 450 μm 의 #1 웨이퍼 와 #2 웨이퍼에 대하여 다이 시프트 측정을 진행 하였다.

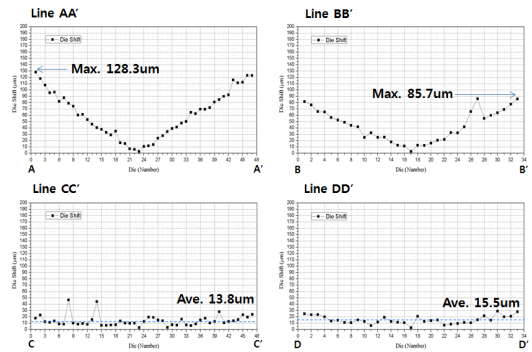
#1 웨이퍼 와 #2 웨이퍼 에 대한 다이 시프트 그래프를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 먼저 #1 웨이퍼 그래프를 보면 Line CC'와 Line DD'에서는 각각 평균 13.8 μm, 15.5 μm 로 전체적으로 낮은 다이 시프트 량을 보였으며 Line AA'와 Line BB'에서는 외곽 방향으로 갈수록 다이 시프트가 증가하는 경향을 확인하였고 각각 최대 128.3 μm, 85.7 μm의 다이 시프트 량을 확인할 수 있다.

Table 2. Specification for wafer

| Spec. | Value | | |
|------------------------|----------|--------|--------|
| Wafer size | 300 mm | | |
| Die size | 5 × 5 mm | | |
| Die to die distance | 1 mm | | |
| Molded wafer thickness | 450 μm | 500 μm | 550 μm |



(a)



(b)

Fig. 6. #1 Wafer die shift (a) Interested line (b) Die shift graph

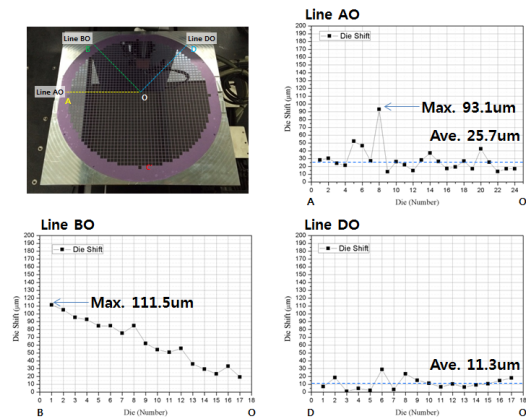


Fig. 7. #2 Wafer die shift graph

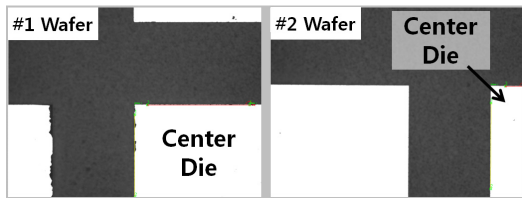


Fig. 8. Comparison of center die

Table 3. Comparison of center die shift

| Interested line | Die shift |
|-----------------|---------------------|
| Line AA' | 12.58 μm |
| Line BB' | 9.87 μm |
| Line CC' | 10.80 μm |
| Line DD' | 10.62 μm |

또한 직관적으로 Line AA'와 Line CC' 그리고 Line BB'와 Line DD'가 같은 경향을 보일 것으로 예측 하였으나 오히려 Line AA'와 Line BB' 그리고 Line CC'와 Line DD'가 같은 경향을 보이는 것을 확인하였다.

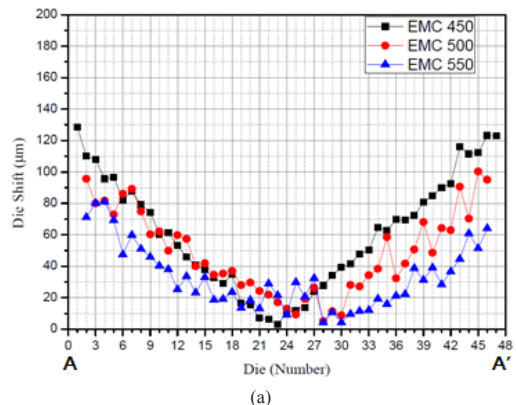
#2 웨이퍼 에서는 웨이퍼 다이 이미지 수집이 제대로 이루어지지 않아 측정할 수 있는 구간은 Line AO, Line BO, Line DO 의 세 영역뿐이었다. 세 영역에 대한 비교 분석은 #1 웨이퍼에 대한 내용과 비슷하게 Line BO, DO 가 상이한 경향을 보이고 있으며 Line BO에서 외곽방향으로 다이 시프트 량이 증가하고 최대 111.5 μm 의 다이 시프트가 발생했음을 확인 하였다. 1차 다이 시프트 테스트 측정 데이터를 기반으로 이미지 수집이 제대로 이루어지지 않은데 대한 원인 분석과 카메라 측정 오차에 대한 분석을 진행 하여 측정 방법을 보완하고 몰딩 두께에

따른 다이 시프트 2차 측정을 진행 하고자 하였다.

이미지 수집 문제 원인 분석을 위한 테스트로 다이 시프트 비전 검사 장비를 활용하여 1차 측정 과정에서 수집된 #1 본딩 웨이퍼 와 #2 본딩 웨이퍼 의 중심 다이 간의 비교를 진행 하고 변위를 측정 하여 보았다. Fig. 8 은 1차 측정의 #1 본딩 웨이퍼 와 #2 본딩 웨이퍼 의 중심 다이 이미지를 나타내고 있다. #1 웨이퍼 의 중심 다이를 기준으로 최초 X-Y 스테이지의 정 위치를 지정 후 이미지를 수집 하였다. 정 위치의 변화 없이 #2 본딩 웨이퍼 의 중심 다이 이미지 또한 수집 하여 비교 한 결과 각 중심 다이 간에 약 1240 μm 의 변위가 발생하고 있음을 확인 하였다.

이로 인해 발생하는 가장 큰 문제점은 웨이퍼 다이 이미지 수집 이었다. 1차 측정 과정에서 #1 웨이퍼의 정 위치를 그대로 #2 웨이퍼에 사용하면서 측정 대상 다이가 FOV 에서 벗어나게 되는 결과를 불러와 제대로 수집 되지 않은 이미지가 많았다. 이는 앞서 언급한 #2 웨이퍼에서 측정할 수 있는 영역이 Line AO, Line BO, Line DO 의 세 영역뿐인 것에 대한 원인으로 판단되어진다.

다음은 본딩 공정 오차에 의해 중심 다이의 위치가 웨이퍼 정 중앙에 위치할 수 없는 원인이 될 수 있다는 점이다. 해석적으로 중심 다이는 몰딩 중 중심에 위치 해 있어 가장 큰 압력(pressure)를 받지만 다이에 작용하는 압력 편차(pressure deviation)의 값이 작아 다이 시프트 량이 거의 없고 중심 다이를 중심으로 좌우로 같은 경향을 보이게 된다.[6] 그러나 실제 공정에서 본딩 오차에 의해 중심 다이가 웨이퍼 중심에 위치하지 못하게 되면서 1차 측정에서의 분석과 같이 구간별로 상이한 경향을 보이므로 본딩 공정의 최적화 또는 대응방안이 필요하다.



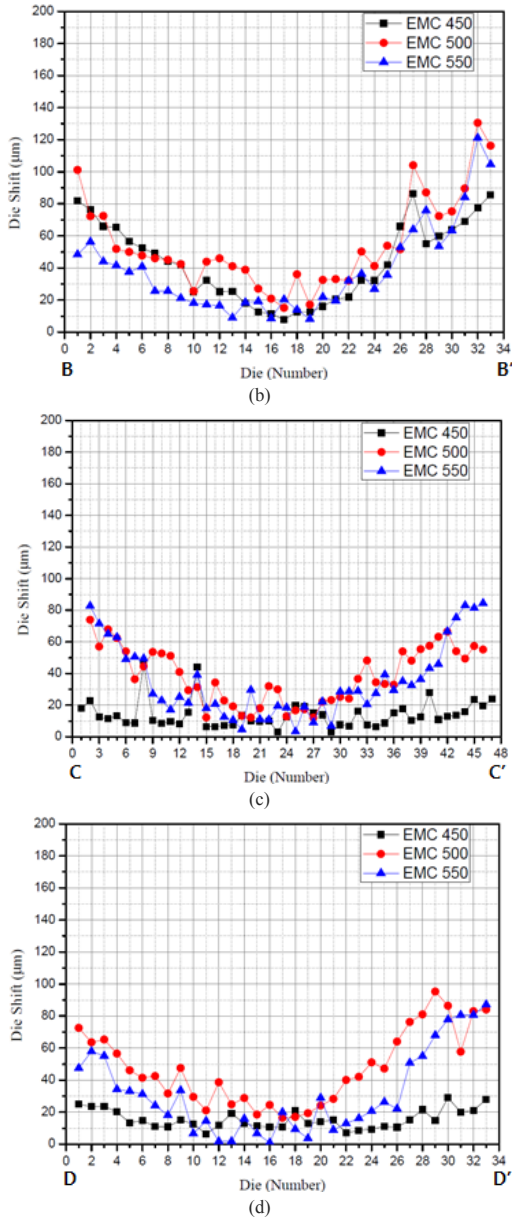


Fig. 9. Die shift graph in accordance with molded EMC thickness (a) Line AA' (b) Line BB' (c) Line CC' (d) Line DD'

다이 시프트 측정 오차를 분석하기 위해 1차 몰딩 두께 450 μm 측정에서 #1 웨이퍼에 대한 다이 시프트 측정 결과를 토대로 4개 관심 선 영역에서 중복 수집되는 중심 다이 이미지에 대한 다이 시프트를 비교 하여 Table 3에 나타내었다. 각 관심 선 영역에서 측정된 중

심 다이의 다이 시프트는 평균 10.9 μm 로 약 2.7 μm 의 오차를 보이고 있다. 이미지 수집에 대한 문제는 프로그램 구동에 있어 호밍 작업에서 본딩 오차를 추가로 고려해야 함을 의미 한다. 이를 해결하기 위해서는 각각의 시편의 고유의 정 위치를 지정해 주어야 하며 고유의 정 위치를 기준으로 몰딩 전 후의 이미지를 수집하고 비교 하여 다이 시프트를 측정해야 할 것이다.

보완 사항을 적용한 다이 시프트 비전 검사 장비를 통해 몰딩 두께에 따른 다이 시프트 영향을 평가하기 위해 2차 측정을 진행 하였다.

2차 측정에서 몰딩 두께 500 μm , 550 μm 에 대한 다이 시프트 측정을 진행하여 1차 측정의 #1 웨이퍼 다이 시프트 그래프와 함께 Fig. 9에 나타내었다. 그래프에서 전반적으로 다이 시프트는 중심에서 원주방향으로 멀어질수록 증가하는 경향을 확인할 수 있다. Line AA'와 Line BB'에서는 몰딩 두께의 영향은 낮은 수준으로 분석 되지만 Line CC'와 Line DD'에서는 다이 시프트가 외곽 영역에서 차이를 보이고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 300 mm 대구경 웨이퍼의 다이 시프트를 측정하기 위해 머신 비전을 활용한 다이 시프트 비전 검사 기법 연구를 수행 하였고 결론은 다음과 같다.

첫째, 다이 시프트 비전 검사를 위한 CCD 카메라 및 렌즈 최고의 조건은 웨이퍼 전 면적을 최소 μm 수준으로 관측할 수 있는 성능을 갖는 것이지만 상당한 예산이 요구되므로 FOV를 최소화 하여 분해능을 높이는 방안을 제시 하였다.

둘째, 이미지 프로세싱을 통해 수집된 위치 정보의 비교를 통해서 2.4 μm 의 분해능으로 다이 시프트를 측정할 수 있는 기법을 정립하였고 기법 연구를 토대로 300 mm 웨이퍼 대응 다이 시프트 비전 검사 장비를 구축 하였다.

셋째, #1 웨이퍼의 4개 관심 선 영역에서 중복으로 수집되는 중심 다이의 위치를 비교한 결과 평균 10.9 μm 로 약 2.7 μm 의 오차를 보이고 있으며 측정 분해능이 2.4 μm 인 것을 감안할 때 무시할 수 있는 수치로 판단 되어진다.

넷째, 몰딩 두께변화에 따라 일부 관심 선 영역에서

다이 시프트는 외곽 방향에서 약간의 차이를 보이고 있었고 각 관심 선 영역마다 다이 시프트가 클수록 몇몇의 오류 데이터가 있으나 이는 장비 개선 및 프로그래밍을 통해 최적화가 가능할 것으로 판단된다.

다섯째, 본 연구를 통해 구축된 다이 시프트 비전 검사 장비를 통해 다이 시프트 변화에 대한 경향 파악이 가능한 것으로 보이며 향후 장비 개선 및 프로그램 최적화를 통해 다이 시프트 매핑과 본딩 오차 분석 등이 가능하도록 하여 연구 과정에서 피드백을 제공하여 사전 보상 등의 다이 시프트 최적화 기술 연구를 수행 할 것으로 보인다.

References

- [1] H. Lee, "Semiconductor Packaging Technology Trends", *The magazine of the IEEK*, pp. 65-71, December, 2013.
- [2] S. M. Yeon, J. H. Park, D. K. Kwag, N. K. Lee, H. J. Lee, J. H. Kim, "Development of Molding Equipment for the Molding Processes of wafer level packaging", the *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 110, April, 2012.
- [3] J. H. Lee, S. J. Park, H. J. Lee, J. H. Park, "300mm molded wafer warpage analysis in accordance with die size", the *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 163, April, 2015.
- [4] N. Andres, B. C. Jang, "Development of a machine vision system for automotive part car seat frame inspection", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, pp. 1559-1564, April, 2011.
- [5] Y. K. Cho, S. J. Ha, J. S. Kim, M. W. Cho, "LED Die Bonder Inspection System Using Integrated Machine Visions", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, pp. 2624-2630, June, 2013.
- [6] J. H. Lee, H. J. Lee, J. H. Park, S. J. Park, "Pressure and shear rate in accordance with emc application area in wlp process", the *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, pp. 351, April, 2014.

이 재 향(Jae-Hyang Lee)

[정회원]



- 2013년 8월 : 한국교통대학교 공과대학 기계공학과 (공학사)
- 2015년 8월 : 한국교통대학교 공과대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 공과대학원 기계공학과 박사과정

<관심분야>

3D프린팅, Machine Vision

이 혜 진(Hye-Jin Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한국항공대학교 항공기계공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공공학과 (공학박사)
- 2004년 09월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 수석연구원

<관심분야>

미세 제조공정 시스템, 발전 플랜트 시스템 엔지니어링, 바이오-메디컬 부품 제조, 3D 프린팅 공정 시스템

박 성 준(Sung-Jun Park)

[정회원]



- 1993년 2월 : 연세대학교 공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 연세대학교 공과대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 연세대학교 공과대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2008년 2월 : 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

3D프린팅, 나노머시닝, 잉크젯프린팅, 마이크로 EDM, 공작기계