

저결맞음 간섭계를 이용한 메조영역의 미세형상측정 Meso-scale surface measurement using the low-coherence interferometry

*유준호¹, #김승우²
*J. H. You¹, #S-W. Kim(swk@kaist.ac.kr)²
KAIST BUPE 연구단

Key words : Meso-measurement technology, Low-coherence interferometry, PCB bump

1. 서론

최근 디지털 기술이나 정보통신관련 전자제품의 기술 발전으로 고주파수 영역에서의 빠른 데이터 처리속도를 가지는 소형화 및 고집적화된 부품 및 모듈, 기관 등의 필요성이 커지고 있다. 이에 따라 전자 부품의 패키지형태가 SOP, QFP, BGA 에서 CSP, 웨이퍼 레벨패키지, 플립칩패키지로 점차 발전해가고 있다. 따라서 칩과 패키지 조립공정에서 기존의 방식인 다이본딩이나 와이어본딩 방식에서 칩에 범프를 형성한 후, 와이어를 사용하지 않고 범프를 통하여 칩과 패키지가 연결되도록 하여 칩과 패키지간의 거리를 짧게 하여 전기적 특성을 향상시키고 집적도를 높인 와이어리스 패키징 방식으로 전환되고 있다.

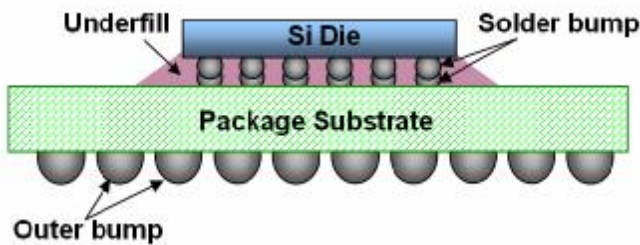


Fig. 1 The assembly of wafer chip and package substrate

이러한 칩과 패키지 조립공정에서 대량생산과 높은 수율을 얻기 위해서, 측정영역은 수십 밀리미터이고 정밀도는 수백 나노미터에서 수 마이크로미터를 갖는 메조측정기술(Meso-Measurement Technology)이 절대적으로 요구되고 있다. 또한 평판 디스플레이분야와 차세대 주역이 될 MEMS, 마이크로시스템등 다양한 분야에서 메조측정기술의 수요가 증대되고 있다. 이렇게 측정기술의 새로운 영역으로 주목받고 있는 메조측정기술은 마이크로와 마크로의 중간을 의미 하는 것으로 그 측정영역과 정밀도를 간단히 정리하면 아래와 같다.[1]

Table 1 The classification of measurement technologies in terms of measurement range and precision

측정기술	마이크로 (Micro)	메조 (Meso)	마크로 (Macro)
측정범위	수 mm	수십 mm	100 mm 이상
정밀도	0.1 ~ 10 um	1 ~ 10 um	~ 100 um

메조측정을 위한 기술로는 공초점광학현미경, 모아레, 자동초점광학현미경, 백색광 간섭계등의 기술이 있다. 모아레 측정기술은 주로 마크로영역의 측정에 주로 활용되었으나, 최근 미세격자를 이용하여 마이크로영역까지 활용범위를 넓혀 가고 있고 백색광 간섭계의 경우 원래 마이크로의 영역에서 측정문제를 담당하였는데, 최근 메조측정영역으로 확장되어 가고 있는 추세이다. 이에 본 연구에서는 저결맞음 간섭계(백색광간섭계)를 이용하여 메조측정기술을 구현하여 칩패키징 분야의 표면형상측정에 적용하였다.

2. 저결맞음 주사 간섭계

1990 년 이후부터 활발히 연구된 저결맞음 혹은 백색광 주사 간섭계는 단색광의 위상 모호성 및 다중 반사에 의한 단점을 극복하기 위해서 개발되어 왔으며 주로 수백 μm 의 측정영역에 대해 수 μm 의 단차를 갖는 형상을 nm 수준의 분해능으로 측정할 수 있다. 1972년 P.A. Flournoy[2]에 의해서 2.5 μm 에서 500 μm 까지의 필름 두께를 측정할 수 있는 백색광 간섭계가 상용화된 이래, 1982년 N. Balasubramanian[3]에 의해서 형상측정 알고리즘이 개발이 되었다, 1990년대 이후에 들어 와서 대영역 형상측정에 백색광 간섭계 원리를 조금씩 적용하였는데, Dresel[4]은 거친 표면을 갖는 금속의 표면형상을 측정하기 위해서 트와이만-그린(Twyman-Gree)간섭계를 구현하였고 Windecker[5]는 FOV(Field of view)가 14 mm x 10 mm 까지 확장 가능한 줌기능 가진 백색광 주사 간섭계를 개발하였고, 2000년도 이후, Colonna, Groot[6]는 넓은 광대역폭을 갖는 적외선 광원을 이용한 저결맞음 간섭계를 개발하여 정밀산업부품들의 평탄도, 평행도, 두께를 측정하였다. 본 연구에서는 할로겐 램프나 발광다이오드와 같은 저결맞음 특성을 갖는 광원을 사용하여 FOV가 23 mm x 17 mm 까지 확장 가능한 트와이만-그린 간섭계를 구현하여 PCB substrate 및 웨이퍼 범퍼의 표면형상을 측정하였다.

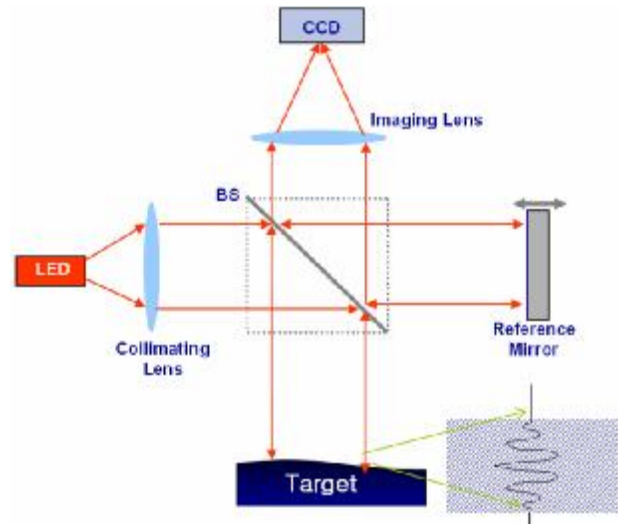


Fig. 2 The scheme of the Twyman-Green interferometry

그림 2 를 통해서 백색광 주사 간섭계의 원리를 간단히 설명을 하면, 발광 다이오드로부터 출발한 빛은 시준렌즈를 지나 광분할기(BS)에 의해서 진폭분리가 되어 기준면과 측정면으로 진행한 후, 각 면에서 반사되어 CCD 상에서 간섭무늬를 생성하게 된다. 이때, 기준면 혹은 측정면을 기계적으로 광축 방향으로 구동시켜면서 백색광 간섭무늬를 획득하게 된다.

$$I_w = I_o \left\{ 1 + g \frac{\sin[\Delta k(h-z)]}{\Delta k(h-z)} \cos[2k_c(h-z) - j_o] \right\} \quad (1)$$

식(1)는 간섭무늬 신호를 나타내는 식으로 이 식에서 보는 것과 같이 $h-z$ 즉, 기준면과 측정면의 광경로차가 일치할 때 간섭무늬의 가시도가 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 이렇게 얻은 간섭무늬를 통해 수 nm 급의 고정밀도를 요구하는 시편에 대해서는 푸리에 분석[7] 방법으로 높이 데이터를 구할 수 있으나, 본 연구의 측정대상들은 수십 mm의 측정 영역에 대해서 수백 nm의 정밀도를 요구하고 또한 인라인 적용을 위해서 초고속 데이터 처리를 요구하고 있어 상대적으로 계산량이 적은 위상정점검출 알고리즘을 적용하였다.

3. 실험 및 측정 결과

측정에 앞서 메조측정기술을 구현하기 위해 측정대상에 대한 광학적 특성을 분석하였고 이를 바탕으로 구현될 간섭계의 광학부품 및 광원에 대한 최적값을 찾아내기 위해서 다양한 실험을 수행하였다. 기본 구성으로는 트와이만-그린 간섭계 원리를 적용하고 4 메가바이트급의 대용량 CCD 카메라를 사용하여 16 mm x 12 mm의 측정영역을 여러 조각들의 정합방법 없이 한번에 대영역 측정이 가능하도록 구성하였다. 광원으로는 시편의 특성에 따라 백색광 및 LED 광원을 사용하였다. 간섭무늬 획득하기 위한 구동기로는 수 백 μm 행정을 갖는 PZT (Piezo Electric Transducer)를 사용하였다.. 그림 3은 PCB substrate의 측정결과로서 PCB 범프의 높이는 약 35 μm 이고, 범프형태는 윗면이 둥근 모양이다.

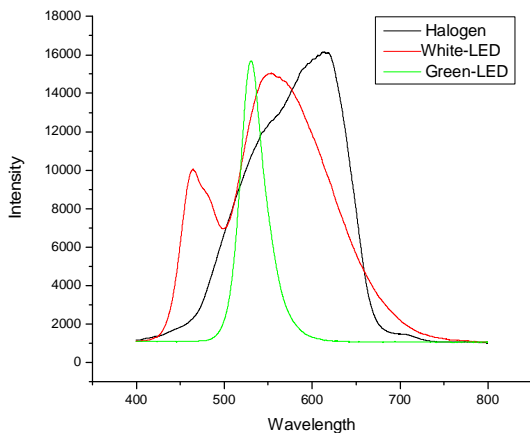


Fig. 3 The spectrum of light sources

이와 같은 실험을 위한 공압을 제거하여 지반의 진동이 테이블에 전달 되도록 한 후, 15 회 실험을 수행하였고 네모서리부분에서 각각 4 개의 대표범프와 중앙에서 1 개의 범프를 선정하여, 총 5 개의 범프에 대해서 높이의 평균(μ), 표준편차(σ)를 구하였다.

표 2 에서와 같이 1σ 값으로 300 nm 내외의 범위를 가짐을 알 수 있다.

Table 2 The experimental results of repeatability

	Bump 1	Bump 2	Bump 3	Bump 4	Bump 5
표준편차	0.191	0.317	0.275	0.141	0.353
평균	34.7	35.9	35.6	35.4	36.1

표 2 에서와 같이 1σ 값으로 300 nm 내외의 범위를 가짐을 알 수 있다.

4. 결론

메조측정기술을 구현을 위해서 저결맞음 광원과 트와이만-그린 간섭계를 기본으로 하는 측정시스템을 구현하였으며, PCB substrate 및 웨이퍼 범퍼등과 같이 메조측정기술을 필요로 하는 다양한 측정대상의 광학적 특성 및 광원의 연구를 통해, 측정대상들에 적합한 광원 및 광학계를 설계하였다. 이를 통해 대면적의 PCB substrate 및 웨이퍼 범프를 성공적으로 측정을 수행하였고, 반복능 실험도 수행하였다. 향후, 측정시스템 인라인화를 위해 초고속 측정 알고리즘 개발을 진행할 예정이다.

후기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구진흥과제(Creative Research Initiative, CRI)의 지원을 받아 한국과학기술원 BUPE(Billionth Uncertainty Precision Engineering) 연구단에서 수행하였습니다.

참고문헌

1. 김승우, "메조 측정기술의 산업적 중요성," 한국 정밀공학회지, **18**, 9-11, 2001.
2. P. A. Flournoy, R. W. McClure, and G. Wyntjes, "White-light interferometric thickness gauge," *Applied Optics*, **11**, 1907-1915, 1972.
3. N. Balsubramanian, "Optical system for surface topography measurement," U.S. patent #4340306, 1982.
4. T. Dresel, G. Häusler and, H. Venzke, "Three-dimensional sensing of rough surfaces by coherence radar," *Applied Optics*, **31**, 919-925, 1992.
5. R. Windecker, M. Fleischer and H. J. Tiziani, "White-light interferometry with an extended zoom range," *The Journal of Modern Optics*, **46**, 1123-1135, 1999
6. P. de Groot, J. Biegen, J. Clark, X. C. de Lega and D. Grigg, "Optical interferometry for measurement of the geometric dimensions of industrial parts," *Applied Optics*, **41**, 3853-3860, 2000.
7. P. de Groot and L. Deck, "Surface profiling by analysis of white-light interferograms in the spatial frequency domain," *The Journal of Modern Optics*, **42**, 389-401, 1995.

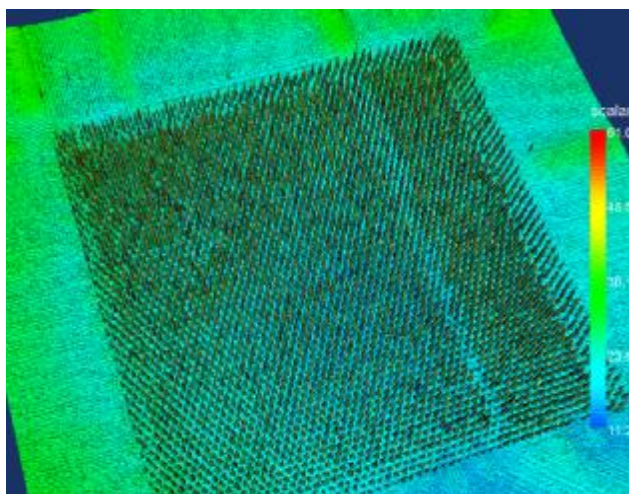


Fig. 4 The measurement result of the PCB substrate

반복능 실험을 위해 간섭계를 지지하는 광학 테이블에 방