

대면적 미세형상의 고속 측정기술

Fast and large-area measurement for a microscopic surface

*유준호¹, #김승우²

*J. You, #S-W. Kim (swk@kaist.ac.kr)²

KAIST 기계공학과 정밀측정연구실

Key words : Low-coherence interferometry, Large-area measurement, Micro-electronics

1. 서론

측정기술의 동향은 측정기술을 요구하는 산업적 수요와 밀접한 관계를 가지고 있다. 최근 다양한 최첨단 산업분야에서 대면적 미세형상의 고속측정 기술들이 요구되고 있다[1]. 예를 들면, Flat Panel Display 산업의 핵심부품인 BLU(Back Light Unit)의 복합 도광판 및 통합 광학필름과 그 제품들을 제작하기 위한 금형들이 대형화 및 미세 피치화로 진행이 되면서 대면적 미세피치의 측정기술이 요구되고 있고, 반도체 칩제조공정을 보면 그 패키지형태가 CSP, 웨이퍼레벨패키지, 플리칩패키지로 점차 발전해감에 따라, 기존의 와이어본딩 방식대신 범프를 이용한 직접연결방식을 채택하고 있다. 특히 이러한 현상은 정보통신관련 전자제품에서 고주파수 영역에서 빠른 데이터 처리속도가 요구되는 부품이 주류를 이루면서 범프 대 범프의 직접연결방식을 통해서 전기적 특성 및 집적도를 향상시키고 있다. 따라서 이러한 칩제조공정에서도 범프의 Coplanarity 를 측정하기 위해서 대면적의 고속측정기술이 요구되고 있다. 이러한 산업분야들에서는 기존의 오프라인의 측정기술들이 아닌 인라인 실시간 측정을 통한 검사기술을 요구하고 있고, 이러한 요구를 충족시키기 위해서 대면적의 고속측정기술들이 절실히 필요로 하고 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 측정기술을 분류하면 아래 그림 1 과 같이 측정정밀도는 수백 nm 이고 측정영역을 수십 mm 이다.

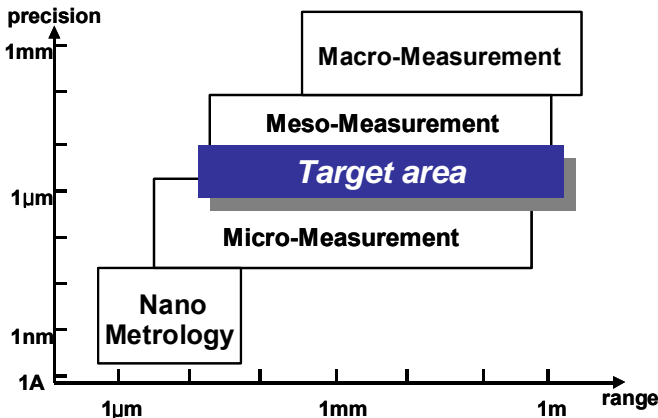


Fig. 1 Classification of measurement technologies

이러한 산업적 수요를 위한 측정기술의 동향을 살펴보면 대표적으로 모아레, 공초점현미경, 백색광 주사 간섭계가 있다. 모아레를 이용한 측정기술은 마이크로 미터 수준의 미세형상측정을 위해서 투영격자를 미세화하고 위상천이 개념을 도입하였고[2], 공초점 현미경기술은, 점 측정의 한계를 극복하고 대면적 미세형상측정을 위해서 마이크로 핀홀 배열이나 마이크로 렌즈 배열을 적용하여 수십 mm의 대면적 형상을 측정하였고[3], 백색광간섭계 역시 기존의 현미경 구조의 간섭계의 틀에 벗어나서 트와이만 그린 구조의 간섭계를 채용하여 금속표면측정을 시도하였다.[4] 각각 다른 기술들은 고유의 장단점이 있어 그 수요에 따라서 다른 경쟁력을 보유하고 있다.

본 논문에서는 대면적 백색광 주사 간섭계를 이용하여 대면적 미세형상의 고속측정 측정관점에서 간섭계 및 측정 알고리즘에 대해서 논하고자 한다.

2. 측정 원리

백색광 주사 간섭계는 넓은 대역폭을 갖는 광원을 사용함으로써 수 μm 의 짧은 가간섭거리를 갖는 광학적 특성을 형상측정에 이용한다. 그림 2 는 백색광 주사 간섭계의 기본 원리를 보여준다. 백색광이 간섭계에 입사하면 광분할기에서 측정광과 기준광으로 분리되고 측정광과

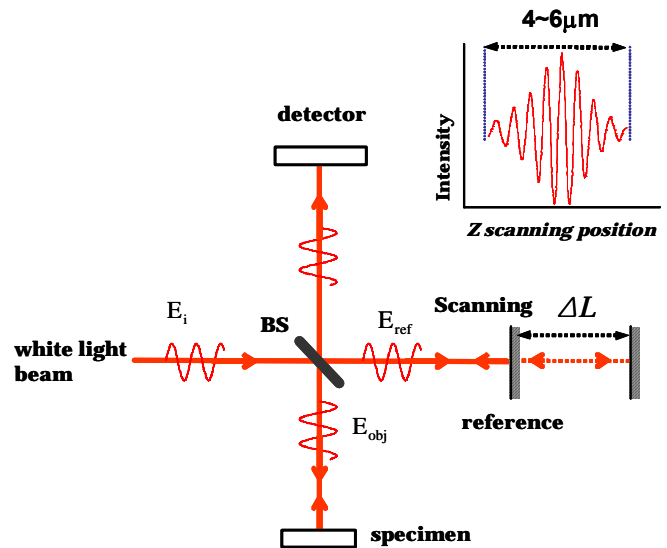


Fig. 2 Schematic of white-light scanning interferometry for large-area measurement.

기준광의 광경로차를 기계적 구동방법으로 생성시킴으로써 백색광 간섭신호를 얻게 된다.

대면적 미세형상 고속측정하기 위해서 두 가지 문제점들을 극복하여야 한다. 첫번째는 시야(Field of view)를 수십 mm 까지 확장하고 이를 고속스캔하는 것이 가능할 것인가의 하드웨어적인 측면과 두번째는 획득된 백색광 간섭신호를 얼마나 고속으로 처리할 수 있는 알고리즘을 구현하느냐의 소프트웨어의 문제이다. 하드웨어 측면에서 보면 본 연구에서는 대면적을 한번에 보기 위해서 기존의 Mirau, Linnk, Michelson 의 현미경구조가 아닌 Twyman-Green 간섭계를 채택하여 시야를 기존의 수백 μm 에서 수십 mm 까지 확장을 하였고 시야확장 및 측정대상의 반사특성으로 인해 발생하는 광량부족문제는 조명광학계를 집광효율이 우수한 평행빔을 생성하는 구조를 구현하여 극복하였다. 또한 고속측정을 위해서는 간섭신호의 안정적이면서 고속획득이 중요한 요소인데, 이를 위해 동기화 보드를 이용하여 카메라와 PZT 를 동기화시켰다. 또한 수백 μm 의 큰 단차를 갖는 시편의 고속측정을 위해서는 기준면을 이중으로 사용함으로써 전체 이송거리를 획기적으로 줄였다.

획득된 백색광 간섭신호를 고속으로 처리하는 측면에서 보면 기존의 수 nm 의 측정 정밀도를 갖는 Fourier analysis

방법으로 높이 데이터를 구할 수 있으나[5], 본 연구의 측정대상들은 수십 mm 의 측정 영역에 대해서 수백 nm 의 정밀도를 요구하고 또한 인라인 적용을 위해서 초고속 데이터 처리를 요구하고 있어 상대적으로 계산량이 적은 정점검출 알고리즘을 MMX 기술로 구현하였고, 알고리즘 처리방법도 순환적 구조로 설계함으로써 적은 양의 메모리만으로 대용량의 데이터를 처리하였다.

3. 실험 및 측정 결과

본 연구에서 제안된 시스템의 성능 검증을 위해서 Gold bumped wafer 및 PCB substrate 를 측정을 하였다. 시편의 수평 분해능에 따른 배율 조절을 위해서 줌기능 렌즈를 사용하였고 카메라는 144 fps 의 획득속도를 갖는 4 메가급의 CMOS 카메라를 사용하였다. 간섭무늬 획득을 위한 구동스테이지는 총 행정이 100 μm 이고 구동정밀도가 100 nm 의 PZT 를 사용하였다. 아래의 그림 3 은 PCB Substrate 를 측정 한 결과이다.

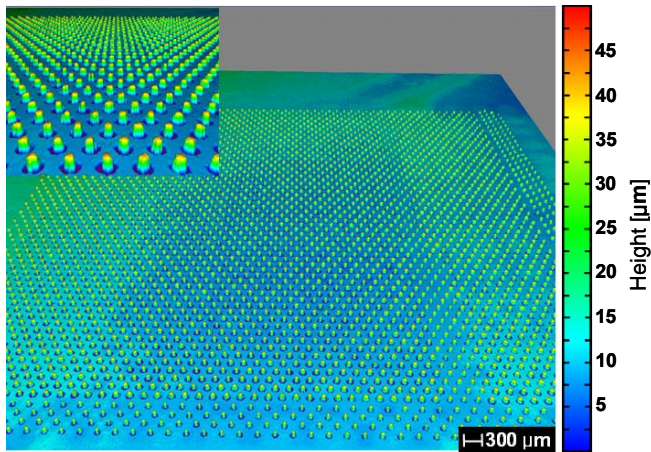


Fig. 3 Measurement result of a PCB substrate

반복성 실험을 위해 방진시스템을 제거한 후, 15 회 실험을 수행하였고. 시편내의 범프가운데 5 개의 범프에 대해서 높이의 평균(μ), 표준편차(σ)를 구하였다.

Table 1 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 1 에서와 같이 1σ 값으로 300 nm 내외의 범위를 가짐을 알 수 있다. 또한 측정시간은 16mm x 12 mm 의 시야를 측정하는데 2 초의 시간이 소요된다. 그림 4 는 gold bumped wafer 를 측정 한 결과이다. 각 범프의 높이는 14~15 μm 이고, 범프 사이의 거리는 10 μm, 범프의 폭도 10 μm 이다. 이 시편의 특성을 보면 범프의 윗면이 제조공정의 영향으로 상당히 거친 면을 형성하고 있으면서 바닥에는 7 μm 정 후박이 존재한다. 따라서 범프의 높이는 후박의 윗면과 범프 윗면과의 단차가 된다. 범프의 거친 윗면을 측정하기 위해서 거친 면에서 가시도 좋은 백색광 간섭신호를 획득하기 위한 조명광학계 및 결상광학계의 광학적 파라미터들을 분석하였고 이를 간섭계에 반영하였다. 그림 5 는 범프의 co-planarity 를 측정 한 결과이다.

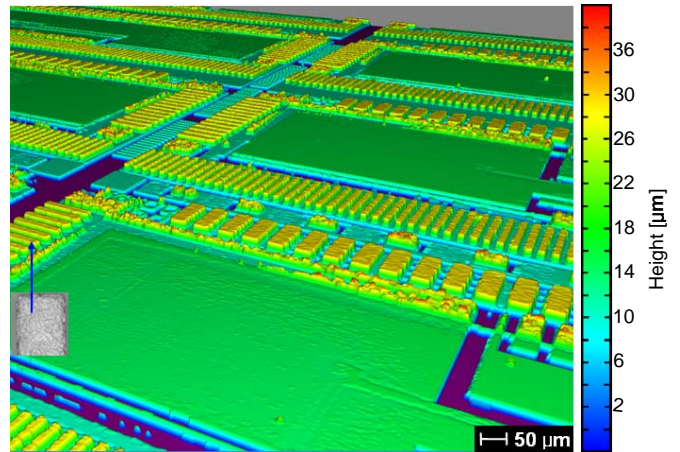


Fig. 4 Measurement result of gold bumps on a SiO2-coated wafer

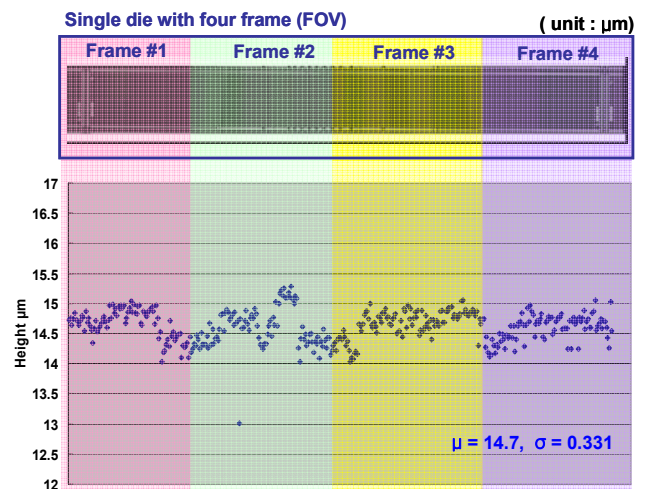


Fig. 5 Co-planarity of gold bumps height

4. 결론

본 연구에서는 최근 산업적 수요가 커지고 있는 대면적 미세형상측정기술을 개발하기 위해서 간섭계의 광학적 특성분석과 고속 데이터 처리를 위한 알고리즘 연구를 수행하여 성공적으로 측정을 수행하였다.

5. 후기

본 연구는 지식경제부 전략기술개발사업의 지원을 받아 한국과학기술원 정밀측정연구실에서 수행하였습니다.

Reference

1. 김승우, "메조 측정기술의 산업적 중요성," 한국 정밀공학회지, **18**, 9-11, 2001.
2. Choi, Y. B., Kim S. W., "Phase-shifting grating projection moiré topography," Optical Engineering, Vol. 37, No.3, pp. 1005-1010, (1998)
3. John Zabolitzky, "Device for measuring three dimensions a topographical shape of an object," U.S. patent #00876606, 2006.
4. T. Dresel, G. Häusler and, H. Venzke, "Three-dimensional sensing of rough surfaces by coherence radar," Applied Optics, **31**, 919-925, 1992.
5. 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.