

대면적 백색광 간섭계의 3차원 높이 연산 고속화 알고리즘 개발

심재환*, 고국원*

*선문대학교 정보통신공학과

e-mail:kuks2309@sunmoon.ac.kr

Development of High Speed 3D height Measurement for White light Scanning Interferometer

JaeHwan Sim*, KukWon Ko**

***Department of Information and Communication Engineering,
Sunmoon University

요 약

본 연구에서는 대면적 백색광 간섭계의 개발과 개발 되어진 대면적 백색광 간섭계의 고속화를 위하여 Multi-PC를 이용한 동기화 이미지 획득 및 이미지 분할연산과 최적의 Multi-Thread 구성을 통한 영역분할 ROI 알고리즘에 대한 연구결과를 기술하였다.

1. 서론

오늘날 반도체 시장은 제품의 경량화와 소형화, 고속화에 따라서 급격한 발전을 이루고 있으며 반도체 또한 초 소형화로 개발되어지고 있다.

이에 따라 반도체 검사장비 업체에서는 검사장비에서의 검사방법 및 신속성, 정확성, 반복성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

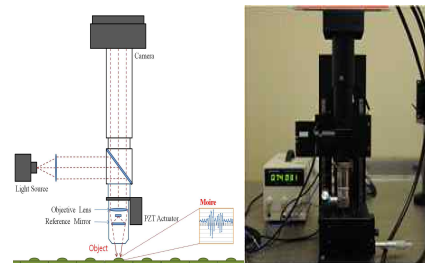
반도체의 검사방법에는 반도체의 형상과 표면에 따라서 크게 Confocal 방식과 Phase Shifting 방식 그리고 White light Scanning 방식으로 나누어지게 된다. 이 중에 W.S.I(White light Scanning Interferometer)는 Phase Shifting 방식에서 높이를 구하는 과정의 위상 모호성을 극복하기 위해 개발되었으며 1990년 이후 W.S.I(White light Scanning Interferometer)의 상용화 개발이 이루어지면서 반도체의 고속 정확한 미세패턴, 미세형상 측정연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 이러한 W.S.I(White light Scanning Interferometer)에 대면적 Camera를 적용하여 넓은 범위의 F.O.V를 검사하고 Multi-PC를 이용한 동기화 이미지 획득과 영역분할 연산, 최적의 Multi-Thread 구성을 통한 영역분할 ROI 알고리즘을 적용하여 고속화 및 정확성에 중점을 두어 최적의 실험 환경과 양품의 Bump시편을 가지고 연구한 결과에 대하여 기술하였다.

2. 대면적 백색광 간섭계의 원리

단색광의 광원을 사용하는 Phase Shifting 방식의 검사방법은 사용되는 광원의 파장범위를 넘어서는 경우, 위상의 모호성을 가지게 된다.

이러한 위상의 모호성을 극복하기 위해 개발된 백색광 간섭계는 광원으로부터 시작된 빛의 파장과 Camera로 향하는 빛의 파장으로 분광 된다. Object로 향하는 빛의 파장은 Lens를 통하여 Object에 집광 되고 집광된 빛의 파장은 다시 반사되어 Camera로 향하는 빛의 파장과 만나게 되는데 이때 Camera로 향하는 빛의 파장과 Object에서 반사되어 나온 빛의 파장이 동일경로 상에 있게 되면 간섭이 발생하게 된다. 이렇게 발생된 간섭을 이용하여, Z축의 미세조정으로 간섭을 이동 시키며 이미지를 정밀 스캔하게 되면 3차원 높이 측정이 가능하게 된다.



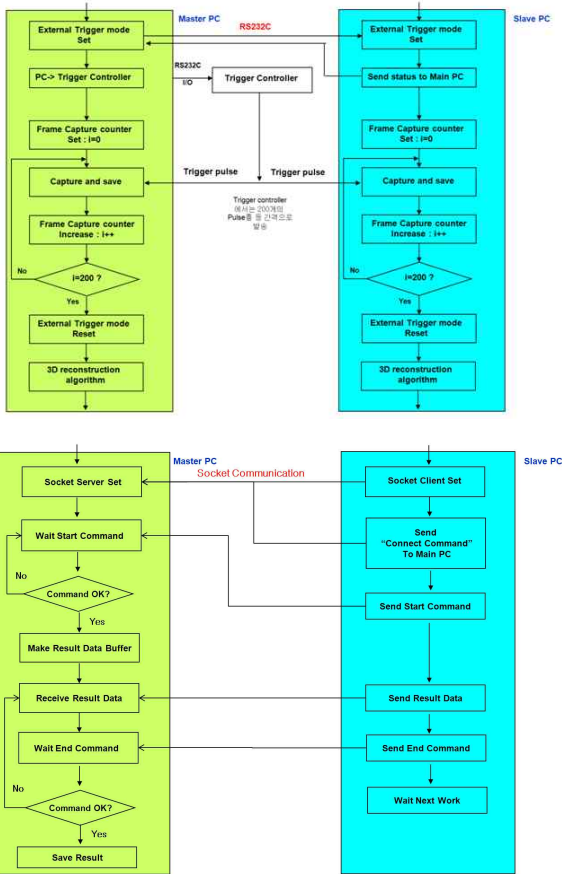
[그림 1] 백색광 간섭계의 원리 및 구성

위의 [그림 1]은 백색광 간섭계의 원리와 구성을 간단하게 나타낸 것이다.

3. 대면적 백색광 간섭계의 고속화 연구

본 연구에서 사용되는 대면적 카메라는 이미지의 크기가 4M이다. 이것은 기존의 사용되었던 640*480 이미지의 약 13배정도이며 이것을 3D Data를 추출해 내기 위하여 200장의 이미지를 Buffer에 저장한다면 이것은 800M의 메모리를 점유하게 된다. 또한 이러한 대용량의 메모리를 연산하고자 한다면 CPU에 적지 않은 부담을 줄 수 있고 연산시간 또한 증가하게 된다. 본 연구에서는 이러한 문제점들의 해결과 연산시간의 고속화를 위하여 아래의 알고리즘들을 제안하고자 한다.

3.1. Multi-PC의 원리 및 구성



[그림 2] Multi-PC Flow Chart

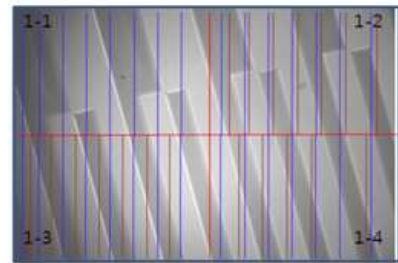
위 [그림 2]는 본 연구에서 제안한 Multi-PC의 Flow Chart이다.

외부 Trigger 신호모드를 셋팅하여 2대의 PC가 모두 Image Grab Status On이 되었는지 서로 확

인한다. 외부 Trigger 신호모드로 셋팅된 두 대의 PC는 Silicon사의 CLIO 보드를 이용하여 서로 동기화된 Image를 Grab한다. 동일한 시점에 획득되어진 이미지를 가진 2대의 PC는 이미지 영역의 1/2씩을 담당하고 3D Data 획득 연산을 시작, 연산이 끝나면 각각의 3D Data를 소켓통신을 이용하여 서로 간의 3D Data 연산이 끝났는지 확인한다. 이후 추출되어진 데이터를 Slave PC에서 Master PC로 연산 결과를 전송한다. Master PC에서는 Slave PC에서 전송된 결과와 현재 연산된 Master PC의 결과를 모아 결과를 출력한다.

이렇게 Multi-PC는 실제로 연산되어야 할 영역이 분할이 되기 때문에 연산속도의 향상이 분할된 영역만큼 증가 하는 것을 볼 수 있었다.

3.2. Multi-Thread의 원리 및 구성



[그림 3] Multi-Thread의 원리

위 [그림 3]은 본 연구에서 제안한 Multi-Thread의 원리를 간단하게 나타낸 것이다.

Multi-Thread는 위 [그림 3]에서 보이는 것과 같이 총 16개의 Thread로 구성이 되며 이는 4개의 Main Thread와 각 Main Thread 안에서는 4개씩의 Sub Thread를 가지고 있다. 이렇게 구성된 모든 영역은 각각의 Thread로 구성이 되어 동시에 Vertical 방향의 3D Data 추출연산을 시작을 하고 연산이 끝나면 각 Thread의 결과를 하나의 Buffer로 전송하고 이것이 Result Data로 추출되게 된다.

3.3. 최대 정점 Find Algorithm

$$I_{pv}[k] = |CpyI_{pv}[i] - CpyI_{pv}[i+1]| \cdot \dots \cdot <식-1>$$

위 <식-1>은 대면적 백색광 간섭계에서 3D Data를 구하기 위해 백색광 간섭계를 Z축 방향 미세제어기로 수직이동을 하면서 최대 200장의 이미지를 획득하고 이때 발생하는 간섭의 최대 정점을 찾아내는 Algorithm이다.

기존의 백색광 간섭계에서 사용되던 Moving Average Algorithm에서 보다 간략하게 구성을 하여 연산을 속도를 높였다.

3.4. 영역 분할 ROI Algorithm

반도체 검사장비에서 Object를 검사하는 데에 있어 연산속도를 향상시키기 위해서 ROI 기반의 Algorithm은 꼭 필요하다. 이것은 전체의 영역을 전부 연산 하는 것이 아니라 사용자가 필요한 부분만 연산하는 것을 주로 하며, 이 Algorithm을 이용하면 전체 연산에서 영역별 ROI 연산으로 연산량을 크게 줄일 수 있다.

영역분할 ROI Algorithm은 본 연구에 제안된 최대 정점 알고리즘을 사용하며 각각의 ROI별로 Thread를 적용하여 설정된 ROI의 개수만큼 동시에 3D Data 연산을 하게 된다. 아래의 [그림 4]는 ROI Algorithm을 이용하여 영역별 3D Data를 추출한 결과를 나타낸 것이다.



[그림 4] ROI Algorithm을 이용한 3D Data 연산

4. 대면적 백색광 간섭계 고속화 연구결과

4.1. Multi-PC 적용의 비교 및 결과

[표 1] Single-PC, Multi-PC 비교 및 결과

구분	CPU 모델	영역 선택	속도
Single PC	Intel- i7 980x	100%	3980ms
Multi-PC	Intel- i7 980x	50%	1980ms

위의 [표 1]은 Single-PC ,Multi-PC를 비교 하고 결과를 나타낸 표이다.

동일한 CPU Intel-i7 980x모델을 적용 하였을 때 Single-PC 와 Multi-PC 에서의 속도차이는 약 2배 정도의 연산속도 향상을 보였다.

4.2. Multi-Thread 적용의 비교 및 결과

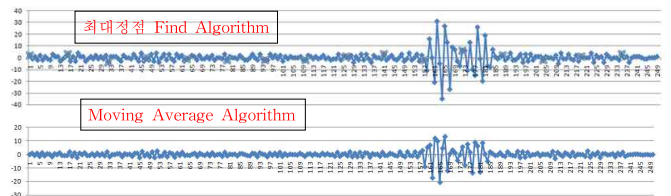
[표 2] Multi-Thread 비교 및 결과

Thread	영역선택	200 Image	100 Image	50 Image
16Thread	All	3980ms	1882ms	928ms
4+12 Thread		4175ms	1956ms	980ms
8+8 Thread		4220ms	2042ms	1015ms

위의 [표 2]는 Single-PC에서 Multi-Thread 적용을 하였을 때 속도비교 및 결과를 나타낸 것이다.

16 Thread를 한꺼번에 적용 하는 것과 4개를 먼저 적용하고12를 적용 하는 것 그리고 8개를 먼저 적용하고 8개를 적용 하는 것의 실험결과이며 이것으로 검사 속도가 100~300ms이상 차이가 나는 것을 확인 할 수 있다.

4.3. 최대 정점 Find Algorithm & 영역 분할 ROI Algorithm 적용의 비교 및 결과



[그림 5] 최대 정점 알고리즘의 비교

위의 [그림 5]는 본 연구에 제안된 최대 정점 Find Algorithm과 기존에 사용되었던 Moving Average Algorithm의 결과를 Graph로 나타낸 것이다.

두 개의 Graph모두 동일한 지점의 최대정점을 찾아낸 것을 알 수 있다.

$$I_i = \left(\sum_{k=i}^{k=i+Mask} I_{Gray}[k] \right) / Mask \quad \dots \text{<식-2>}$$

위의 <식-2>에 나타난 Moving Average Algorithm과 비교해 보았을 때 본 연구에서 제안된 Algorithm이 연산속도에서의 속도이득이 더욱 크다는 것을 알 수 있다.

[표 3] 최대 정점 Algorithm 과 ROI Algorithm 적용

구분	영역설정	Thread 개수	ROI범위
Single PC	40%	140 개	250*50
Multi-PC		70 개(PC당)	

위의 [표 3]은 최대 정점 Algorithm 과 ROI Algorithm을 동시 적용한 것이다.

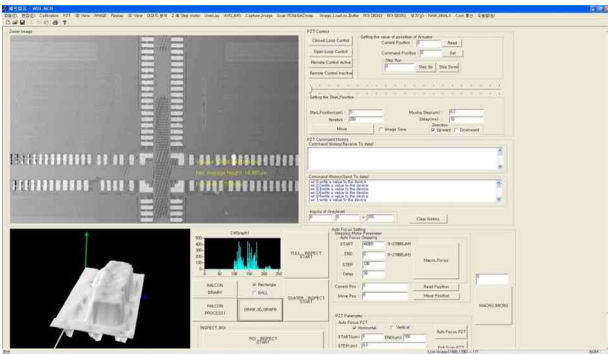
대부분 검사시편의 검사영역이 40% 이하인 것을 감안하여 전체영역의 40% 정도로 설정하였고 ROI의 범위는 임의로 250*50을 적용하였다.

[표 4] 최대 정점 Algorithm 과 ROI Algorithm 적용결과

구분	CPU 모델	영역 선택	속도
Single PC	Intel- i7 980x	100%	1655ms
Multi-PC	Intel- i7 980x	50%	799ms

위의 [표 4]는 최대 정점 Algorithm 과 ROI Algorithm 적용결과를 나타낸 것이다.

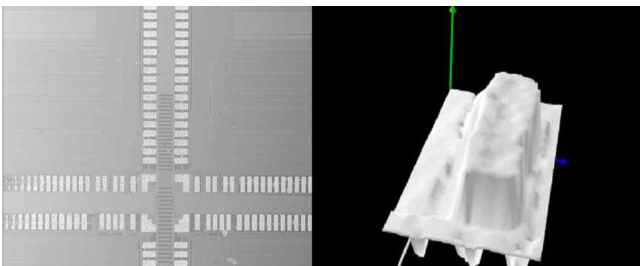
4.4. 제안된 Algorithm 적용의 최종결과



[그림 6] 제안된 Algorithm 적용결과

위의 [그림 6]은 Multi-PC, Multi-Thread, 최대정점 Find Algorithm, 영역분할 ROI Algorithm을 적용한 결과이다.

Z축 미세조정 컨트롤러와 통신을 위하여 RS-232C, Multi-PC 적용을 위한 Socket 통신이 적용되었으며 3D Graph표현을 하기 위하여 Halcon에서 제공되는 라이브러리를 사용하였다.



[그림 7] 제안된 Algorithm 적용의 검사결과

위의 [그림 7]은 구성된 대면적 백색광 간섭계에 본 연구에 제안된 알고리즘을 적용하여 검사한 결과를 3D Data와 3D Graph 로 추출하여 그림으로 나타낸 것이다.

5. 결론

본 연구에서 사용된 대면적 백색광 간섭계는 기존의 소면적 백색광 간섭계 보다 13배가 커진 이미지를 가지고 연산을 하게 되어 연산속도에 큰 영향을 미치게 된다.

하지만 위의 결과를 볼 때 대면적 백색광 간섭계를 사용하더라도 제안된 Algorithm을 적용하여 이미지의 연산영역을 분할하고 연산을 간소화 하며 검사시편의 검사영역을 최소화 하게 되면 이미지의 획득 시간과 3D Data 추출시간을 합하여 2초 이하의 고속 연산속도가 나오게 되는 것을 알 수 있었다.

6. 후기

본 연구는 지식경제부가 지원하는 충남 디스플레이 R&D클러스터사업단의 지원과 지식경제부의 부품소재기술개발 사업의 지원으로 진행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 조수용, "반도체 검사를 위한 백색광 위상 간섭계의 고속화에 관한 연구", 석사학위 논문, 선문대학교(2008)
- [2] Keith A. Nugent, "Interferogram analysis using an accurate fully automatic algorithm", Applied Optics, Vol. 24, No. 18, September 1985.
- [3] Akiro Ono, "Aspherical mirror testing with an area detector array", Applied Optics, Vol. 26, No. 10, 15 May 1987.
- [4] Keith A. Nugent, "Interferogram analysis using an accurate fully automatic algorithm", Applied Optics, Vol. 24, No. 18, September 1985.
- [5] B. S. Lee, C. Strand, "Profilometry with a coherence scanning microscope", Applied Optics, Vol. 29, No. 26, pp. 3784-3788, September 1990.
- [6] R. J. King, M. J. Downs, P.B. Clapham, K. W. Raine, and S. P. Talim, "A comparison of methods for accurate film thickness measurement," Journal of Physics E: Scientific Instruments, 5, pp. 445-449, 1972