

연마된 실리콘 웨이퍼의 표면형상 측정을 위한 진동 둔감 광 간섭계 Vibration desensitized interferometer for profile measurement of polished silicon wafer

*권택민¹, #김승우², 김학용³ 이은상⁴ 이상열⁵

*T. M. Kwon¹, #S. W. Kim(swk@kaist.ac.kr)², H. Y. Kim³ E. S. Lee⁴, S. R. Lee⁵

¹ 한국과학기술원 기계공학과, ² 한국과학기술원 기계공학과, ³ U.C Irvine, ⁴ 인하대학교 기계공학과, ⁵ TIC 덕흥

Key words : interferometer, profile measurement, common path, spatial phase shifter

1. 서론

웨이퍼의 패턴 제작 시 주로 리소그래피 방법을 이용하기 때문에 웨이퍼의 표면이 평탄하지 않으면 패턴제작시 왜곡이 발생한다. 따라서 웨이퍼는 표면 평탄도가 중요하며 웨이퍼의 표면 형상을 측정하는 기술이 필요하다. 현재 상용화된 표면형상 측정방법으로는 첫째로 촉침(stylus)을 접촉시켜서 측정하는 방법이 있다.⁽¹⁾ 이는 측정 분해능과 정밀도가 높은 장점이 있지만 시편과 직접 접촉하므로 시편오염이 일어나며 전 영역을 측정하기 위해서는 비교적 많은 시간이 필요한 단점이 있다. 다른 방법으로는 정전용량 센서를 이용한 방법으로서⁽²⁾ 축전판(capacitor)을 웨이퍼에 접근시켜 표면형상에 따라 정전용량이 변하는 것을 관찰하여 측정하는 방법이다. 이 방법 역시 측정 분해능과 정밀도가 높지만 촉침식과 마찬가지로 전 영역을 측정하기 위해서는 마찬가지로 많은 시간이 필요하다. 전체 영역을 한번에 측정할 수 있는 방법으로는 광 간섭계, 그중에서도 피조(Fizeau) 간섭계⁽³⁾를 이용하는 방법이 있다. 이 방법은 높은 측정 분해능과 정밀도 그리고 측정이 빠르다는 장점이 있지만 진동에 민감한 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 진동 민감성을 극복한 광간섭 방법을 이용하여 실리콘 웨이퍼의 표면형상을 측정하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 진동에 둔감한 점회절 간섭계

2.1 점회절 간섭계

본 장에서는 진동에 둔감한 광 간섭계 제작을 위한 광섬유 점회절 간섭계 (fiber point-diffraction interferometer)와 공간위상천이기(spatial phase shifter)의 원리를 설명한다.

2.1.1 점회절 간섭계의 기본 원리

점회절 간섭계⁽⁴⁾의 구성은 Fig.1 에 나타낸 것과 같다. 광원은 중심파장 635nm의 레이저 다이오드를 이용하였다. 광원을 출발한 파면은 반파장 위상지연기(HWP), 편광분할기(PBS), 사분파장 지연기(QWP)를 거쳐 광분할기(BS)에 도달한다. 이 광분할기에서 반사된 파면은 직경 100mm의 시준렌즈(Collimating Lens)를 통해 평면파로 확대되어 웨이퍼 표면위에 조사된다. 파면은 웨이퍼 윗면에서 반사되며 이때 웨이퍼 표면형상정보를 포함하게 된다. 이 파면은 다시 광분할기에 입사하여 투과되고 반사되면서 두 부분으로 나뉜다. 반사된 파면은 QWP를 거쳐 다시 PBS로 입사되는데 이 때 이 파면은 전체경로에서 QWP를 두 번 지나게 되므로 결과적으로 편광방향이 90° 회전하게 된다. 따라서 다시 PBS에 입사한 이 파면은 모두 반사된다. 이 반사된 파면은 HWP를 거쳐 렌즈를 통해 단일모드광섬유(SMF)에 집광된다. 집광되는 과정에서 많은 광손실이 일어나는데 이러한 이유로 광분할기에서 반사가 많이 일어나도록 (R 90%) 설정해 주었다. 광섬유에 입사된 파면은 광섬유를 거치면서 고주파 성분이 제거되어 결과적으로 웨이퍼 표면형상정보를 담고 있던 파면은 구면파로 변화된다. 따라서 이 파면은 기준파면으로 사용된다. 광섬유를 빠져나간 이 기준파면은 또 다른 PBS에 입사된다. 한편 광분할기(R 90%)에서 투과한 파면은 QWP와 미러, 코너큐브를 거쳐 PBS에 입사하는데 이 파면은 웨이퍼의 표면형상정보를 가지고 있

으므로 측정파면으로 사용된다. 기준파면과 측정파면은 PBS에 입사한 뒤 각각 반사되고 투과되어 같은 방향으로 정렬되고 HWP를 거쳐 공간위상천이기장치로 입사된다.

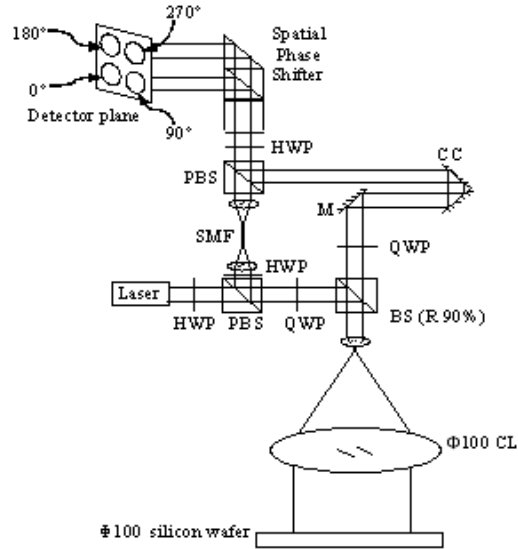


Fig. 1 system layout of fiber point-diffraction interferometer with spatial phase shifter

2.1.2 공간위상천이기의 기본원리

공간위상천이기 장치⁽⁵⁾는 한 개의 광분할기(Beam Splitter), 한 개의 사분파장 지연기($\lambda/4$ plate), 두 개의 편광분할기(Polarized Beam Splitter)로 이루어져 있고, 구성은 Fig.2 와 같이 되어 있다. 공간위상천이기장치에 입사된 파면은 먼저 광분할기를 거치면서 두 부분으로 나뉘게 된다. 이 나뉜 파면의 한쪽 성분은 편광 분할기를 거치면서 다시 두 부분으로 분할이 일어나는데 이때 편광분할기의 광학적 특성상 분할된 각 성분의 상대적인 위상 차이는 π 가 된다. 한편 광분할기에서 나뉜 다른 쪽 성분은 사분파장 지연기를 거치면서 $\pi/4$ 만큼의 위상지연이 일어나고 이것이 다시 편광분할기에 입사하면서 두 부분으로 나뉘는데 마찬가지로 각 성분의 상대적인 위상치는 π 가 된다. 결과적으로 입사된 파면은 네 번의 위상천이가 일어나면서 공간위상천이기를 빠져나가고 위상천이 크기는 각각 0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ 와 같다. 이와 같은 과정을 거치면서 별도의 위상천이를 위한 구동장치가 없어도 위상천이 된 파면을 실시간으로 동시에

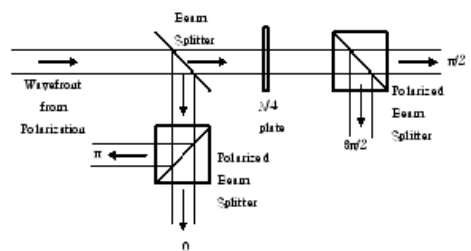


Fig. 2 Principle of spatial phase shifter : Smythe's principle

얻을 수 있다는 장점을 가지게 된다.

2.2 진동 둔감성 확보의 원리

위와 같은 시스템의 구성은 두 가지 요소에 의해 진동 둔감성이 확보된다. 첫째, 공통 경로를 사용하였다. 웨이퍼를 맞고 돌아온 파면을 광분할기를 사용하여 두 부분으로 나누고 각각을 공통파면으로부터 측정파면과 기준파면으로 사용한다. 즉 측정파면과 기준파면은 동일파면으로부터 만들어 진다. 따라서 웨이퍼의 정보를 담고 있는 파면이 진동에 영향을 받더라도 측정파면과 기준파면에 동일하게 적용된다. 따라서 두 파면의 간섭에서 광축 방향 진동성분 제거가 가능하다.

둘째, 위상 천이를 위해 공간위상천이장치를 사용하였다. 공간위상천이장치를 사용하였으므로 진동에 의한 영향이 위상천이된 네 개의 간섭무늬에 동시에 똑같이 영향을 끼친다. 또한 네 개의 위상천이된 간섭무늬를 동시에 획득할 수 있으므로 진동에 의해 발생하는 파면의 시간적 변화에 영향을 받지 않는다.

결과적으로 이 두 가지 요인에 의해 본 장치는 진동에 둔감한 4 개의 위상천이된 간섭무늬 획득이 가능해 진다. 그리고 이 4 개의 간섭무늬를 4-bucket 알고리즘을 사용하여 해석하면 웨이퍼의 표면형상 정보를 얻을 수 있다.

3. 측정결과

3.1 Φ100 실리콘 웨이퍼 표면형상 측정 결과

광섬유 점회절 간섭계를 이용하여 지름이 100mm 인 실리콘 웨이퍼 표면형상을 측정하였다. 얻어진 위상천이된 네 개의 간섭무늬는 Fig.3 과 같이 나타난다.

얻어진 간섭무늬를 4-bucket 알고리즘을 이용하여 해석하면 표면형상에 대한 데이터를 얻을 수 있다. 이와 같은 과정을 거쳐 얻어진 표면형상 정보는 Fig.4 와 같이 나타난다. 반복 측정은 총 15 회 시행하였고 측정결과 측정 시편의 최고점과 최저점을 나타내는 P.V 값은 7152±23.7nm, 제곱평균값인 RMS 값은 1376±2.0nm 로 각각 나타났다.

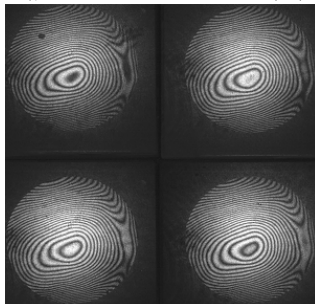


Fig. 3 4-phase shifted fringes

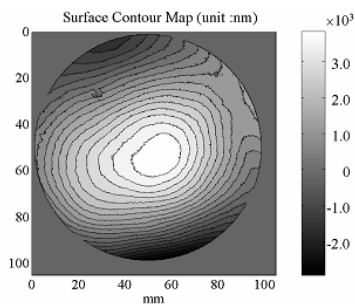


Fig. 4 Surface Contour Map (15 times repeated)

3.2 진동 둔감성 비교측정

본 간섭계의 진동에 대한 상대 둔감성을 알아보기 위해 동일한 대상을 동일조건에서 다른 간섭계로 반복 측정하

였다. 측정 대상물은 Φ100 인 실리콘 웨이퍼를 측정하였고, 진동 둔감성을 알아보기 위해 무방진 환경에서 측정 실험을 시행하였다. 측정 비교실험을 위해 본 간섭계와 피조 간섭계 (Fizeau Interferometer)를 사용하였다. 측정은 각각 15 회씩 반복하였으며 측정 결과 P.V 값은 피조 간섭계의 경우 7225±140.8nm, 점회절 간섭계의 경우 7152±23.7nm 로 측정되었다. 이 결과를 그래프로 나타내면 Fig.5 와 같이 나타난다. 그래프 비교에서 알 수 있듯이 점회절 간섭계 쪽의 편차가 피조간섭계에 비해 줄어든 것을 확인할 수 있다. 표준 편차 값은 임의(random)오차를 의미하는데 이 임의 오차값의 대부분이 진동에 의해 결정된다. 점회절 간섭계의 경우 표준 편차 값이 피조 간섭계로 측정된 것에 비해 약 6 배 정도 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이로부터 점회절 간섭계 시스템의 진동 상대 진동 둔감성을 확인할 수 있다.

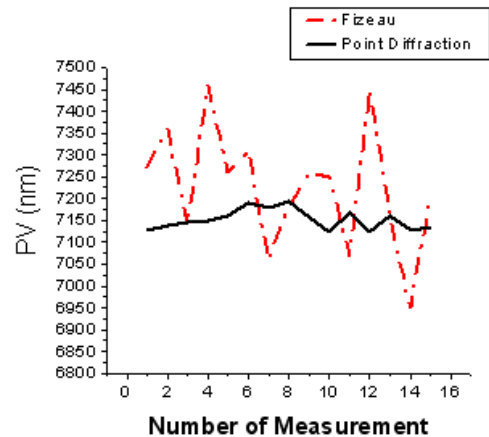


Fig. 5 Comparison repeated measurement between fizeau interferometer and point diffraction interferometer

4. 결론

점회절 간섭계를 사용하여 진동에 둔감한 광간섭계 시스템을 구성하였고 Φ100 실리콘 웨이퍼의 표면형상을 측정함으로써 그 성능을 시험해보았다. 다른 광간섭계와의 비교실험을 통해 본 간섭계의 상대 진동둔감성을 확인할 수 있었다. 향후에는 동일한 광간섭 시스템을 이용하여 지름이 300mm 인 실리콘 웨이퍼의 표면형상을 측정할 수 있는 시스템을 개발할 예정이다.

후기

본 연구는 산업 자원부가 주관하는 "지역산업 중점기술 개발사업"의 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. J.D.Garratt, "A new stylus instrument with a wide dynamic range for use in surface metrology" Precision Engineering, 4,pp,145-151,1982
2. C.D.Bugg, "Noncontact surface profiling using a novel capacitive technique: scanning capacitance microscopy", Proceedings of SPIE Vol 1573, pp 216-224, 1992.
3. Erik Novak et al "Laser Fizeau interferometer for silicon wafer site flatness testing" Proceedings of SPIE Vol 3619, pp 101-109, 1999
4. H. Kihm, S.-W. Kim, "Fiber-Diffraction interferometer for vibration desensitized" Optics Letters, 30(16) , p2059-2061,2005
5. H. Kihm, S.-W. Kim, "Spatial phase shifter for real-time optical interferometry" Proceedings of OSK 80 , p246-247, 2005