

파장 주사 간섭법을 이용한 반도체 Mask Glass의 광학적 두께 정밀 측정 Measurement of Absolute Optical Thickness Distribution of Semiconductor Wafer Using a Wavelength Tuning Interferometer

*#김양진¹, Kenichi Hibino², Youichi Bitou², Sonko Osawa², Naohiko Sugita³, Mamoru Mitsuishi³

**Y. J. Kim¹, K. Hibino², Y. Bitou², S. Osawa², N. Sugita³, M. Mitsuishi³

¹ 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부, ² AIST, ³ 도쿄대학 대학원 공학계연구과

Key words : Optical interferometer, Phase shifting, Wavelength tuning, Optical thickness distribution, Precision measurement

1. 서론

반도체 칩의 위에 형성되는 패턴의 미세화와 가격 저렴화를 위해 웨이퍼와 패턴의 원판이 되는 Photo Mask는 대규격화되고 세션화되어 왔다. 따라서 Mask Glass에 요구되는 표면 평탄도와 광학적 두께 분포, 굴절률의 균일성도 더욱 엄격하게 요구되고 있다. 더욱 높은 신뢰성을 위해 초정밀 측정을 통해 부품을 평가할 필요가 있다. 하지만, 실리콘 웨이퍼와 Mask Glass의 표면형상과 광학적 두께 분포를 nm오더로 정밀하게 측정하는 기술은 아직 개발되어 있지 않다. 현재, 주사형 터널 현미경 (STM)와 원자간력 현미경(AFM)은 종분해능이 0.1 nm이상으로 고분해능이지만, 점계측이라는 단점을 지니고 있고, Dynamic Range도 10³정도로 매우 낮다는 문제점을 가지고 있다. 계측수법으로는 측정 대상을 파손하지 않기 위해서 비접촉하여야 할 것, 계측 시간을 단축하기 위해 면계측하여야 할 것, 그리고 nm오더의 분해능을 가지고 있을 것이 요구된다. 본 연구에서는 위의 요구 조건을 만족하는 계측 수법으로 광간섭 계측법에 착목하였다.

Mask Glass와 웨이퍼의 광학적 두께와 기하학적인 두께는 백색 광 간섭법과 공초점 현미경을 조합한 시스템과 시료의 회전과 파장주사를 조합한 시스템에 의해서 측정되고 있어지만 두 방법 모두 점계측이다. 표면 형상과 광학적 두께 분포의 계측 수법으로 파장주사간섭법의 주파수 측정이 있지만 이산적 Fourier변환에 의한 위상 변화량의 분해능 제약이라는 문제점으로 측정 정확도는 3 μm정도이며 초정밀 측정에 요구되는 고분해능의 조건을 만족시키지 못하고 있다.

이러한 배경으로부터 본 연구에서는 반도체 Mask Glass의 광학적 두께를 Fizeau 간섭계에 위상 Shift법과 Fourier해석법을 적용하여 정밀 측정하는 것을 목적으로 파장주사 구동 장치의 변환시에 발생하는 파장의 Shift를 보정하였다. 측정 결과로부터 다면 간섭의 Crosstalk에 기인하는 2 μmPV의 계통 오차가 발견되어 시파장과 종파장에서의 광학적 두께의 편차량을 이용하여 계통 오차를 통계적인 관점에서 제거하였다. 이 방법을 이용하여 중심 파장 637 nm에서의 광학적 두께 분포를 결정하여 측정 오차를 평가하였다.

2. 측정 원리

그림1은 다면 간섭계를 나타내고 있다.

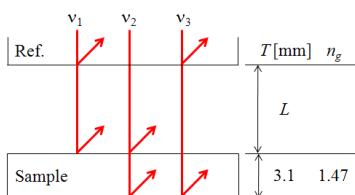


Fig.1 Multi-layer Interference System

광원 파장을 주사할 때 각각의 간섭 무늬의 위상 변화 속도는 서로 간섭하는 광파의 광경로차를 D라고 했을 때 다음의 식(1)과 같이 표현된다.

$$\nu_k = \frac{D}{\lambda^2} \left(\frac{d\lambda}{dt} \right) \quad (1)$$

시료 표리면에서의 반사광이 만드는 간섭 무늬의 위상에 대해서 생각하면, 광학적 두께 nT는 광원 파장 λ의 배수로 다음의 식(2) 표현된다.

$$n_i T_i = \frac{\lambda_i}{2} (N_i + \epsilon_i) \quad (2)$$

식(2)에서 N_i는 각 파장(i=1,2)의 정수, ε_i는 소수이다. 시파장과 종파장에 관한 식을 변형하면 다음의 식(3)과 같은 식이 얻어진다.

$$n_g T = \frac{\lambda_s}{2} (N_1 - N_2 + \epsilon_1 - \epsilon_2) \quad (3)$$

위의 식에서 λ_s를 합성 파장이라고 하며 주파수 측정의 분해능을 결정하는 변수이며 다음의 식(4)와 같이 표현된다.

$$\lambda_s = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (4)$$

시파장 λ₁과 종파장 λ₂에서의 파수 부분 ε₁, ε₂의 값을 간섭광 강도 변화에 위상 Shift Algorithm을 이용하여 분리하여 측정한다. 그 결과와 이산 Fourier 변환에서부터 간섭 무늬 차수 ΔN을 결정한다. 이 측정 방법으로 ΔN+Δε의 값을 높은 정확도로 구하여 광학적 두께 분포의 절대값과 시료 표면까지의 거리를 고분해능으로 측정할 수 있다.

3. 간섭계 시스템

그림2는 구경 310 mm의 Fizeau간섭계를 나타낸다. NewFocus사 제작의 중심파장 637 nm, 주사폭 10 nm, 출력 10 mW의 Litman공진기형 다이오드 레이저를 광원으로 측정하였다. Mask Glass의 치수는 175 mm×175 mm×3.1 mm이다. 측정 시료는 실온 20.7도의 항온 실험실의 기계 스테이지에서 참조면 아래로 13.7 mm에 수평으로 놓아 두고 측정 전에 24시간 방치하였다.

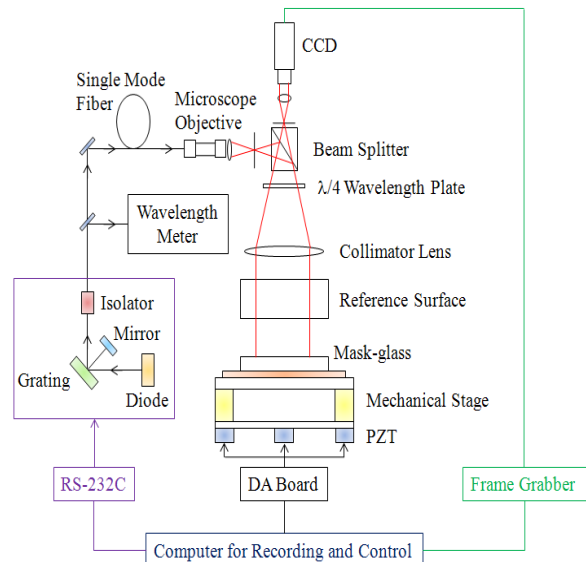


Fig.2 Optical System

4. 측정 실험

치수 175 mm×175 mm×3.1 mm의 반도체 Mask Glass를 측정 시료로 사용하였다. 표1에 실험 조건을 나타낸다.

Table 1 Experimental Condition

$\Delta\lambda_{phase1}(\text{nm})$	632.0068 ~ 632.1143
$\Delta\lambda_{frequency}(\text{nm})$	632.0705 ~ 641.4827
$\Delta\lambda_{phase2}(\text{nm})$	641.4374 ~ 641.5279
공기 간격 (mm)	13.69
온도(°C)	20.77

위상 측정에서 37장, 주파수 측정에서 2621장의 Image를 등파수 간격으로 촬영하였다. 파장 주사의 구동 장치를 PZT장치에서 Picomotor장치로 바꿀 때, 파장의 Shift가 발생한다. 이 오차를 파장계로 측정하여 위상 ϵ_1 에 보정값을 대입하는 것에 의해서 보정했다. 그림3에 관측된 간섭 무늬를 나타낸다.

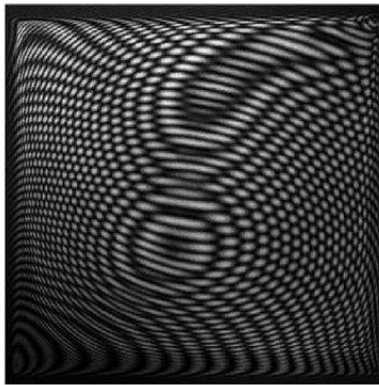


Fig.3 Interferogram

참조면과 시료의 표리면으로부터의 반사광에 의해서 3종류의 간섭 무늬가 형성된다. 이 중에서 표리면의 반사광이 만드는 동심원상의 간섭 무늬가 본 연구의 측정 대상이 된다. 135 mm×135 mm의 범위를 해석했다.

그림4에 거리를 직접 구하는 방법에 의한 광학적 두께의 분포를 나타낸다.

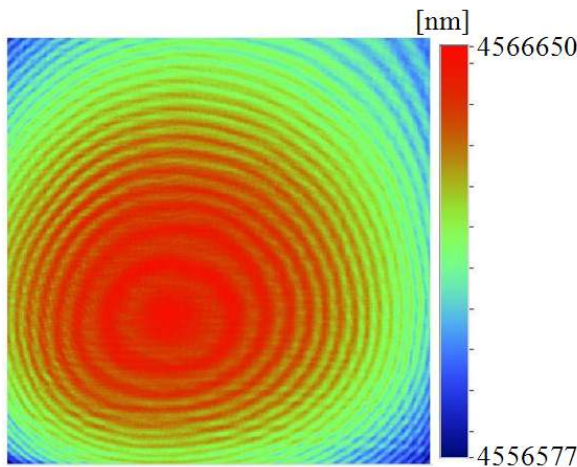


Fig.4 Optical Thickness Distribution(meas.)

초기/중기 위상값은 각각의 파장에서의 광학적 두께의 편차분을 나타내고 있기 때문에 중심 파장 637 nm에서의 광학적 두께의 편차분($n_g T$)을 고려하여 계산하였다. 1픽셀의 간격은 300 μm 이다. 동심원상으로 현저하게 나타나는 계통 오차는 광학적 두께를 표현하고 있는 식(3)에서 $\epsilon_1 - \epsilon_2$ 의 값에서 보이는 같은 동심원상의 계통 오차가 합성 파장 λ_s 에 의해서 증폭되어, 광학적 두께 분포에

영향을 끼치고 있기 때문에 나타나는 오차이다. 계통 오차를 제거하기 위해서 광학적 두께 분포의 구성 성분에 대해서 고찰하였다. 광학적 두께 분포 $n_g T$ 는 광학적 두께의 편차분에 일정 성분 $n_g T_0$ 를 더한 값이기 때문에 양자의 차의 공간 적분값이 최소가 되도록 일정 성분 $n_g T_0$ 의 값을 결정했다.

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [(n_g T)_i - (n_g (T' + T_0))_i]^2 = \sigma^2 \quad (5)$$

여기서 M은 픽셀의 수를 나타낸다. 이 때 최소자승법에 의한 일치의 표준편차는 0.6 μm 이었다.

마지막으로 식(5)로부터 구한 광학적 두께 분포의 일정 성분 광학적 두께의 편차분을 더하여 최종적으로 광학적 두께 분포의 절대값을 결정하였다. 그림5에 그 결과를 나타낸다.

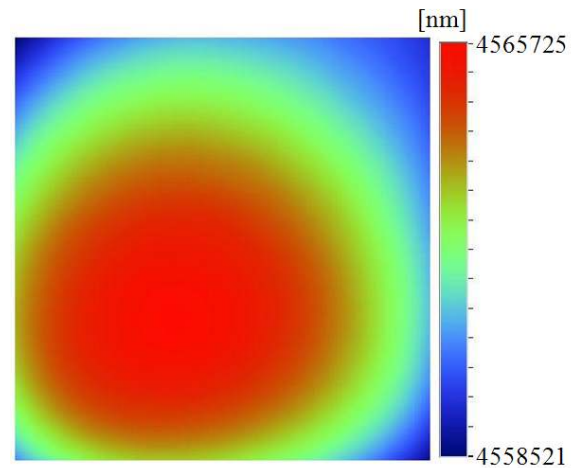


Fig.5 Final Optical Thickness Distribution

5. 고찰

측정된 광학적 두께 분포의 측정 정확도는 다음과 같은 식(6)처럼 합성 파장과 간섭 무늬 차수의 불확실성으로 평가되어진다.

$$\frac{\delta(n_g T)}{n_g T} = \frac{\delta\lambda_s}{\lambda_s} + \frac{\delta(N_1 - N_2 + \epsilon_1 - \epsilon_2)}{N_1 - N_2 + \epsilon_1 - \epsilon_2} \quad (6)$$

파장계의 측정 정확도는 10^{-7} 이고, 위상 측정 정확도가 2 nm인 점으로부터 측정된 광학적 두께의 측정 정확도는 190 nm이다. 그 외의 측정 오차로 Crosstalk에 의한 오차가 존재하고 있기 때문에 최소자승법에 의한 통계적인 합치의 표준 오차는 측정 정확도보다 큰 0.6 μm 이었다.

6. 결론

- 1) Mask Glass의 광학적 두께 분포가 Fizeau형 파장 주사 간섭계에 의해서 측정되었다.
- 2) 간섭계에서 발생하는 계통 오차를 최소자승법에 의해서 감소되는 것이 확인되었다.
- 3) 최종적으로 제안하는 광학적 두께 분포와 실험에 의해서 얻어진 광학적 두께 분포 간의 일치도의 표준 오차 $\sigma = 0.6 \mu\text{m}$ 이었다.
- 4) 측정 정확도를 제한하는 주요한 원인은 참조면-시료 표리면간의 간섭에서 발생하는 간섭 무늬 신호로부터의 Crosstalk이다.

참고문헌

[1] T.Fukano and I.Yamaguchi, "Simultaneous measurement of thickness and refractive indices of multiple layers by a low-coherence confocal interference microscope", Opt.Lett., **21**,1942-1944(1996).

[2] G.Coppola, P.Ferraro, M.Iodice, and S.D.Nicola, "Method for measuring the refractive index and the thickness of transparent plates with a lateral-shear, wavelength scanning interferometer," Appl.Opt., **42**,3882-3887(2003).