

펨토초 펄스 레이저를 이용한 실리콘 웨이퍼 두께 및 굴절률의 동시측정

Simultaneous Measurement of Geometrical Thickness and Refractive index of a Silicon Wafer by using Femtosecond Pulse Laser

*맹새롬^{1,2}, 박정재¹, 엄태봉¹, #진종한^{1,3}

*S. Maeng^{1,2}, J. Park¹, T. B. Eom¹, #J. Jin(jonghan@kriss.re.kr)^{1,3}

¹ 한국표준과학연구원(KRISS) 길이센터, ² 충남대학교 물리학과, ³ 과학기술연합대학원대학교(UST) 측정과학전공

Key words : Geometrical thickness, Refractive index, Silicon wafer

1. 서론

최근에 반도체 산업에서 적층형 반도체를 제안하면서 반도체 생산 공정에서 필수적으로 실리콘 웨이퍼 두께에 대한 측정 수요는 증가하고 있고, 측정 정밀도 또한 엄격해지고 있는 상황이다. 적층형 반도체는 단위 면적당 집적도가 높아 소형화, 두께가 박막화 되어 가고 있는 제품들의 추세에 따라 그 측정 수요 역시 증가하고 있다.

실리콘 웨이퍼를 측정하는 방법은 일반적으로 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있는데, 접촉식과 비접촉식 방법이다. 접촉식 방법은 사용법이 쉽고 빨리 측정할 수 있어서 많이 사용되는데, 대표적으로 스타일러스(stylus) 및 마이크로미터가 있다. 하지만 웨이퍼 표면에 대해 측정 중에 프로브의 물리적 접촉으로 인해 스크래치와 같은 손상을 줄 수 있는 단점이 있다. 반면, 물리적 접촉이 없는 비접촉식 방법에는 다양한 방법들이 있다. 대표적으로 광간섭계를 사용하여 측정하는 방법 및 정전용량형 센서를 사용하는 방법 등이 있는데, 이 방법들은 높은 측정 분해능을 구현할 수 있지만, 광학계들의 정렬 상태 및 외부 환경적 요인에 매우 민감하다는 단점이 있다.

한국표준과학연구원(KRISS)에서는 적외선 대역의 광 빔(optical comb)을 광원으로 사용하여 간섭 스펙트럼을 분석하여 실리콘 웨이퍼의 기하학적 두께 및 굴절률을 측정하는

연구가 진행 되었다. 그러나 파장 대역폭이 10 nm 에 제한되었기 때문에 측정 불확도가 1 μm 수준으로 표준 측정에 이용되기에는 한계가 있었다.

본 논문에서는 측정 분해능 및 불확도 향상을 위해서 파장 대역폭이 약 80 nm 갖는 펨토초 펄스 레이저 광원과 간섭 스펙트럼의 주기 검출을 위해 푸리에 영역 위상 분석 알고리즘을 적용하여 기존의 연구보다 10 배 이상 향상시키고자 한다.

2. 기본 이론

일반적으로 단색광 광원은 정확한 위상을 구하기 위해 간섭 신호는 Δ인 광경로차(optical path difference)을 변화시키는 위상 천이가 필요하다. 하지만 대역폭이 넓은 펨토초 펄스 레이저를 사용하게 되면 별도의 위상 천이 없이도 실시간으로 한번에 위상을 얻을 수 있다.

간섭신호는 식(1)과 같이 Δ에 따라 표현 된다.

$$I(\Delta) = I_0 \left\{ 1 + \gamma \cdot \cos\left(\frac{2\pi f}{c} \cdot \Delta\right) \right\} \quad (1)$$

여기서 I_0 는 배경광 강도, γ 는 가시도(visibility), c 는 빛의 속도, f 는 광원의 주파수 이다.

간섭무늬 스펙트럼은 광경로차에 따라

주파수가 다른 정현파의 신호가 얻어지며, 이를 푸리에 변환(Fourier transform)하고, 더 정확한 간섭 스펙트럼의 주기를 획득하기 위해 식(1)의 두 번째 항만 선택하여 역 푸리에 변환을 수행한다. 이렇게 얻어진 값에 자연 로그를 취하고, 허수부만 취하면 보다 정확하게 광경로차가 포함된 위상을 결정 할 수 있다.

3. 측정 방법 및 측정 결과

본 연구에서는 Fig. 1 과 같이 마이켈슨 간섭계를 구성하여 중심파장이 1550 nm 이며, 약 80 nm 의 파장 대역폭을 갖는 펄스 레이저를 광원으로 사용하였다. 간섭 스펙트럼은 0.02 nm 의 파장 분해능으로 광스펙트럼분석기(optical spectrum analyzer, OSA)를 이용하여 획득하였다. Figure 1 에서 광선 1 을 따라 생긴 공기중의 간섭 스펙트럼의 광경로차는 $A \equiv L_B + T + L_C - L_A$ 와 같이 표현할 수 있다. 이때 얻어진 간섭 스펙트럼은 Fig. 2(a)와 같다. 광선 2 를 따라 생긴 웨이퍼의 굴절률을 포함한 간섭 스펙트럼의 광경로차는 기준 거울(M1)과 웨이퍼 앞·뒷면에서 생기는 $B \equiv N \cdot T$, 기준 거울(M1)과 웨이퍼를 투과한 빛이 측정 거울(M2)에서 반사되어 나온 $C \equiv L_B + N \cdot T + L_C - L_A$ 와 같이 표현 할 수 있고, 이때 얻어진 간섭 스펙트럼은 Fig. 2(b)와 같다. 이렇게 얻어진 광경로차 A, B, C 를 정리하면 식(3)으로부터 실리콘 웨이퍼의 두께, T 와 굴절률, N 을 결정할 수 있다.

$$T = B - (C - A), \quad N = B/T \quad (3)$$

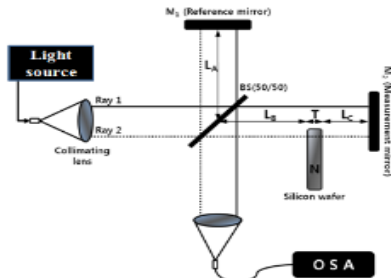


Fig. 1 Optical layout of the measurement system

본 실험 장치를 이용하여 두께가 320 μm 인 실리콘웨이퍼를 10 회 반복 측정하였다. 이때 측정된 평균 두께는 320.7 μm 이며, 측정 불확도는 48 nm (k=1)로 평가되었다. 이는 기존의 측정 방법에서 얻어지는 측정 분해능이 10 배 이상 향상되었다.

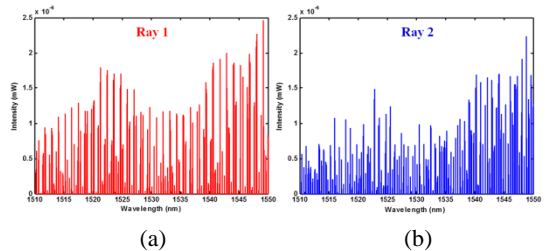


Fig. 2 Interference spectra obtained by the OSA : (a) interference spectrum of Ray 1, (b) interference spectrum of Ray 2

4. 결론

본 논문에서는 실리콘 웨이퍼의 기하학적 두께와 굴절률을 사전 정보 없이 실시간으로 측정하기 위해 약 80 nm 수전의 넓은 파장 대역폭을 갖는 펄스 레이저의 광 빔을 이용하여 측정하였다. OSA 를 사용하여 얻은 간섭 스펙트럼의 분석으로 광경로차 정보와 푸리에 영역 위상 분석 알고리즘을 적용하여 기존의 측정 분해능 보다 10 배 향상 시켰다.

후기

본 연구는 한국표준과학연구원 ‘기반표준측정확립 및 교정측정능력 향상’ 사업의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. M. J. Jansen, H. Haitjema, and P. H. J. Schelleknes, "A scanning wafer thickness and flatness interferometer," Proc. SPIE **5856**, 334-343, 2004.
2. J. Jin, J. W. Kim, C. -S. Kang, J. -A. Kim, and T. B. Eom, "Thickness and refractive index measurement of a silicon wafer based on an optical comb," Opt. Exp. **18**(17), 18339-18326, 2010.