

파장주사간섭계를 이용한 실리콘 웨이퍼의 절대 두께 측정

Wavelength Scanning Interferometry for Absolute Thickness Measurements of Thin-Silicon Wafer

*#김영식¹, Angela Davies², 이윤우¹

*#YS. Ghim¹(young.ghim@kriss.re.kr), A. Davies², YW. Lee¹

¹한국표준과학연구원 우주광학센터, ²노스캐롤라이나 대학교

Key words : wavelength scanning interferometry, absolute thickness, silicon wafer

1. 서론

실리콘 웨이퍼는 반도체를 포함한 핸드폰, 태양전지 등 광범위하게 다양한 분야에서 핵심 소재로 사용되고 있다. 뿐만 아니라 제품의 소형화 및 경량화 추세로 인하여 요구되는 웨이퍼의 두께가 점차 얇아지고 있다. 웨이퍼의 대량 생산 및 가격 인하를 위한 검수과정은 제조과정만큼 매우 중요하게 여겨진다. 이는 사전에 불량을 방지하여 수율 및 품질 향상의 효과를 가져오므로 꼭 필요한 과정이기 때문이다.

웨이퍼의 두께 및 평탄도는 웨이퍼의 특성을 평가하는 중요한 항목들로서 이를 측정하기 위해 많은 방법들이 연구되고 있다. 가장 손쉬운 방법은 마이크로 미터를 이용해 직접 측정하는 것이다. 하지만 직접 접촉을 통한 기계적인 측정 방법이다 보니 샘플에 대한 파손의 위험이 뒤따르는 단점이 존재한다. 따라서 간섭계를 이용한 비접촉식 측정 방법을 많이 이용하고 있다. 실리콘 웨이퍼에 투과성이 강한 적외선 광원을 사용하여 두께를 비롯한 평탄도를 측정하는 연구가 많이 진행되었지만 주로 상대적인 변화 량만을 측정하였다 [1,2].

본 논문에서는 파장주사간섭계를 이용하여 얇은 실리콘 웨이퍼의 절대 두께를 매우 정밀하게 측정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 현재 범용적으로 널리 사용되고 있는 푸리에 기법을 이용한 측정 방법의 경우, 측정 가능한 웨이퍼의 최소 두께는 변조 가능한

파장 범위에 제한을 받게 된다. 한 예로, 1550 nm 의 중심파장을 갖고 4 nm 의 변조 폭을 갖고 있는 광원을 사용하는 파장주사간섭계의 경우에는 170 μm 이하의 두께를 측정할 수 없게 된다. 뿐만 아니라 저분해능으로만 절대 두께 측정이 가능하다. 따라서 고분해능으로 측정을 하기 위해서는 위상 값에 대한 분석이 필요하지만 2π 모호성으로 인해 상대적인 두께의 변화 량만이 측정이 가능하다.

본 논문에서는 사용되는 광원의 파장 폭에 영향을 받지 않으면서 매우 얇은 두께를 가진 실리콘 웨이퍼의 절대 두께를 기존의 푸리에 분석 방법[3]보다 더 정밀하게 측정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 파장주사간섭계를 이용한 웨이퍼의 절대 두께 측정 방법

그림 1 은 Zygo 에서 상용화되어 판매되고 있는 피조 간섭계 구조로 적외선 광원을 1548 nm 에서부터 1552nm 까지 4 nm 의 파장을 변조시킬 수 있도록 되어 있다 [4].

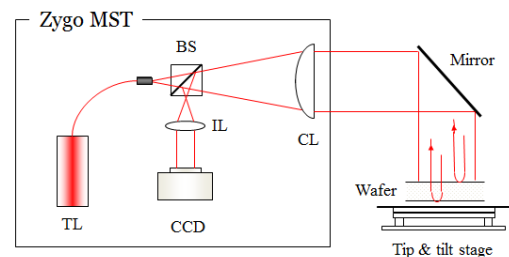


Fig. 1 A schematic diagram of a commercial

wavelength scanning interferometer developed by Zygo; TL: Tunable Laser, BS: beam splitter, CL: collimating lens, IL: imaging lens, CCD: charge coupled device

주요 측정 원리는 반사광측정법을 이용하여 광원의 파장에 따른 시편의 절대 반사율과 이론적인 반사율과의 비교를 통해 웨이퍼의 절대 두께를 측정하게 된다. 두께에 따른 웨이퍼의 이론적 절대 반사율 $\Re^T(d;k)_{sam}$ 은 식 1 과 같이 주어진다 [5].

$$\Re^T(d;k)_{sam} = \left| \frac{r[1 - \exp(-j2knd)]}{1 - r^2 \exp(-j2knd)} \right|^2 \quad (1)$$

이때, $r=(1-n)/(1+n)$, n 과 d 는 웨이퍼의 굴절률과 두께, k 는 파수, 그리고 공기의 굴절률은 1 로 가정을 한다. 실험적으로 측정한 웨이퍼의 절대 반사율을 $\Re^E(k)_{sam}$ 이라 하면 두께 d 는 식 2 의 오차함수 $\zeta(d)$ 를 최소화 시키는 값을 찾음으로써 구해진다.

$$\zeta(d) = \sum_{i=1}^M \left| \Re^T_i(d;k_i)_{sam} - \Re^E_i(k_i)_{sam} \right|^m \quad (2)$$

위의 오차 함수는 각각의 픽셀에 대한 함수이므로 얻어진 2D 영상의 모든 픽셀에 대해서 최적화 과정을 수행을 하게 되면 삼차원 두께 값을 얻을 수 있게 된다. 여기서 m 은 다양한 정수 값을 가질 수 있는데 실험적으로 $m=2$ 일 때 최적의 결과 값을 보였다.

3. 결론

본 논문에서 제안한 방법을 이용해 평균 두께가 대략 200 μm 와 60 μm 인 두 개의 샘플에 대해서 두께를 측정해 보았다. 그림 2(c)에서 보는 바와 같이 60 μm 의 아주 얇은 두께를 갖는 웨이퍼의 두께도 측정이 가능함이 확인되었다. 기존의 푸리에 방법의 경우에는 측정 가능한 범위가 사용하는 광원의 파장 대역에 의해 결정되므로 60 μm 와 같은 얇은 웨이퍼의 두께는 측정이 불가능할 뿐만 아니라 그림 2(b-1)에서와 같이 웨이퍼의 상대적인 두께 변화 량만을 측정하게 된다. 반면에 본

방법은 그림 2(b-2)와 2(c)에서 보듯이 절대 두께의 측정이 가능함이 확인되었다.

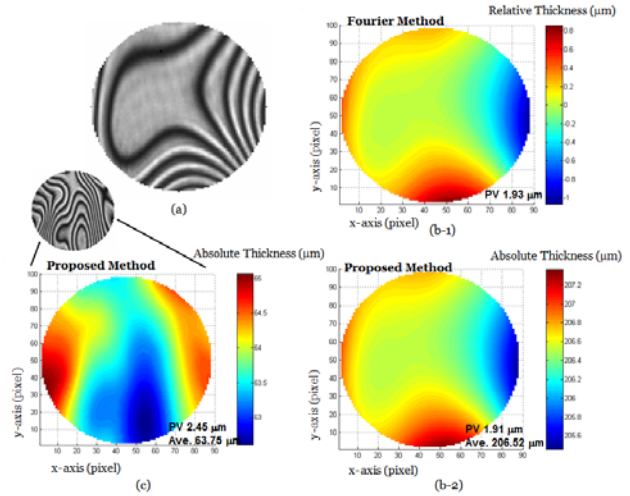


Fig. 2 Exemplary measurement results: (a) an interferogram of specimen with $\sim 200 \mu\text{m}$ thickness viewed in monochromatic light, (b-1) the relative thickness map of (a) measured with the Fourier method, (b-2) the absolute thickness map of (a) measured with the proposed method, and (c) an interferogram of specimen with $\sim 60 \mu\text{m}$ thickness variation and its 3-D absolute thickness map profile (1 pixel = 110 μm)

참고문헌

1. T.L. Schmitz, A. Davies, and C. J. Evans, "Silicon wafer thickness variation measurements using the National Institute of Standards and Technology infrared interferometer," *Opt. Eng.* **42**, 2281-2290, 2003
2. L.L. Deck, "Multiple surface phase shifting interferometry," *Proc. SPIE* **4451**, 424-431, 2001
3. L.L. Deck, "Fourier-transform phase-shifting interferometry," *Appl. Opt.* **42**, 2354-2365, 2003
4. This is the Zygo VeriFire MST™ (<http://www.zygo.com/?/met/interferometers/veri-fire/mst>)
5. H.G. Tompkins and W.A. McGahan, *Spectroscopic Ellipsometry and Reflectometry: A User's Guide* (Wiley, NewYork), 1999