

# 위상마스크를 사용하는 동시위상천이 간섭계의 위상천이 값 측정 및 보정방법

## Measurement and Correction of Phase Shift in Simultaneous Phase Shifting Interferometer Using Pixelated Phase Mask

\*이동원<sup>1,2</sup>, #김재완<sup>2</sup>, 한재원<sup>1</sup>, 김종안<sup>2</sup>

\*D. W. Lee<sup>1,2</sup>, #J. W. Kim<sup>2</sup>, J. W. Hahn<sup>1</sup>, J. A. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 기계공학과, <sup>2</sup>한국표준과학연구원 길이센터

Key words : Metrology, Interferometry, Spatial Phase Shifting, Phase Shift Measurement

### 1. 서론

스마트 폰과 같은 소형 전자장비 수요의 증가로 적층형 회로의 생산 및 관련연구가 가속화 되어가고 있으며 이에 따라 웨이퍼 범퍼의 형상측정에 대한 필요성도 증대하고 있다. 웨이퍼 범퍼 검사에 적용할 수 있는 대표적인 비접촉식 나노구조 검사기술로는 공초점 현미경, 백색광 주사 간섭계, 위상천이 간섭계가 있다. 이중 공초점 현미경, 백색광 주사 간섭계는 3D 형상 획득 과정에 기계적인 방식의 스캔이 필요하기 때문에 검사속도에 제한을 받는다. [1] 위상천이 간섭계에서는 기계적인 제어가 없이 3D 형상을 얻을 수 있다. 특히 위상마스크를 사용한 동시위상천이 간섭계는 진동에 강하며, 광학계 구조가 복잡하지 않고[2], 고속검사가 가능하다.

위상마스크를 사용한 동시위상천이 간섭계에서는 미세 선편광 소자의 배열로 구성된 위상마스크를 통해 위상천이를 발생시킨다. 위상마스크와 디지털 카메라의 정렬은 위상마스크의 각 선편광 소자와 디지털 카메라의 각 화소가 일대일 대응되도록 해야 한다. 이렇게 구성된 간섭계에서의 각 신호별 위상천이 간격은 90°이지만 위상마스크와 카메라 센서간의 정렬오차, 미세 선편광 소자의 편광각 오차등의 요인으로 인해 위상천이량에 오차가 발생한다.

본 연구에서는 위상마스크를 사용하는 동시위상천이 간섭계에서 위상천이의 오차값을 측정하는 방법과 측정된 값을 이용해서 해석

형상의 오차를 알고리즘적으로 보정하는 방법에 대해서 제시한다.

### 2. 위상천이 값의 측정

위상천이 간섭계에서 카메라에서 획득하는 간섭신호를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$I_k = a_0 + a_1 \cos(\theta + \phi_k)$$

$a_0, a_1$ 은 간섭을 일으키는 두 빛의 광량에 의해 결정되는 값이며  $\theta$ 는 두 빛의 광경로차,  $\phi_k$ 는 위상천이량이다. 위상마스크를 사용한 동시위상천이 간섭계는 위상 마스크의 편광변화에 따라 위상천이의 크기가 결정된다. 빛의 편광변화에 의해 일어난다. 위상마스크는 편광각이 각각 45°씩 차이나는 네 종류의 편광소자로 구성되어 있으며 각 신호의 위상천이량  $\phi_k$ 는 편광각의 2 배이다. [2] 따라서 이상적인  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ 는 각각 90°, 180°, 270°, 0°이지만 서론에서 언급했던 바와 같은 요인으로 오차가 발생한다.

빛의 세기가  $I_0$  편광각이 수평축에 대해  $\frac{\phi_k}{2}$  rad 만큼 기울어진 선편광된 빛이 편광각이 수평축에 대해  $\psi$ 만큼 기울어진 선편광 소자를 지난 후의 빛의 세기는 다음과 같다.

$$I = I_0 \cos\left(\frac{\phi_k}{2} + \psi\right)$$

이때의  $\phi_k$ 는 오차를 포함한 위상천이 값이다.  $\phi_k$  측정을 위해 그림 1.에서와 같이 선편광된 빛을 위상마스크가 부착된 카메라에

입사시켰을 때 카메라에서의 신호를 관찰하는 실험을 수행했다. 카메라에 입사하는 빛의 기하광학적 조건을 실제 간섭계를 사용한 측정시와 유사하도록 집안렌즈와 대물렌즈로 구성된 현미경을 카메라와 선편광판 사이에 배치했으며  $\psi$  를  $0^\circ$  에서  $350^\circ$  의 범위에서  $10^\circ$  간격으로 회전시켜가면서 카메라 센서에서의 광량을 측정했고 최소자승법을 통해 각 화소에서의  $\phi_k$  를 구했다.

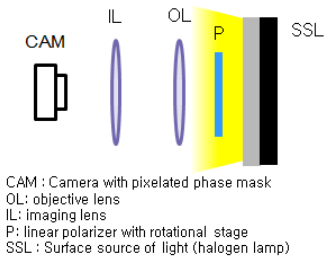


Fig.1 Experimental Setup

### 3. 측정값을 이용한 형상해석

측정된 각 화소 별  $\phi_k$  데이터 맵을 이용해 간섭무늬 영상으로부터 각 지점의 높이에 비례하는  $\theta$  를 구할 수 있다..

측정값의 신뢰성 및 보정효과를 확인하기 위해  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  값을 각각  $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 0^\circ$  로 설정한 경우와 측정으로 구한  $\theta$  값을 이용한 경우에 대해서 실제 형상측정결과를 비교하였다. 차이 비교를 용이하게 하기 위해 평면거울을 측정하였고 측정결과가 평면에서 얼마나 벗어나는지를 fig.2 와 3 에서 보여준다. 측정된  $\theta$  를 사용할 때  $\theta$  오차가 기존 방식에 비해 50%감소하는 것을 확인할 수 있었다.

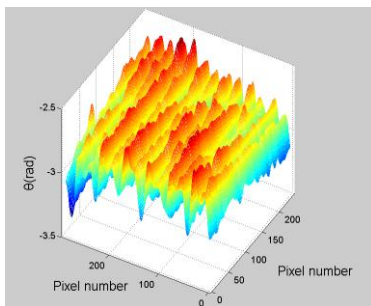


Fig.2 Result  $\theta$  by Previous Method

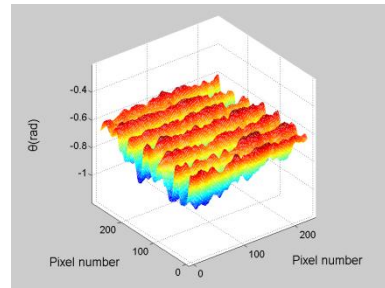


Fig.3 Result  $\theta$  by Suggested Method

### 4. 결론

위에서 제시한 위상천이 값 측정 및 이를 이용한 알고리즘적인 보정으로 평면거울에 대한 해석 오차가 50%로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 오차의 크기는 위상천이 간섭방식에서 다중과장 광원을 사용할 경우 잡음의 증폭 없이 수직축 측정영역을 확장시키는데 중요한 요소이므로 의의가 있다고 할 수 있겠다.

### 참고문헌

1. Chu-Shik Kang, Jong-Ahn Kim, Tae Bong Eom, Roma Jang, Hae Yong Park, Jae Wan Kim “High speed phase shifting interferometry using injection locking of the laser frequency to the resonant modes of a confocal Fabry-Perot cavity” OPTICS EXPRESS Vol. 17, No. 3 (2009)
2. N. Brock, J. Hayes, B. Kimbrough, J. Millerd, M. North-Morris, M. Novak, J. C. Wyant, “Dynamic interferometry,” Proc. SPIE **5875**, 58750F1-58750F10 (2005)