편광을 이용한 동시위상천이 간섭계의 광학계 정렬에 따른 위상천이 오차 분석

Analysis of phase error caused by optical alignment in simultaneous PSI

*이동원 [1,2], #김재완 [2], 한재원 [1], 김종안 [2]

*D.W Lee[1,2], #J.W. Kim(jaewan@kriss.re.kr)[2] , J.W. Hahn[2], J.A. Kim[2]

[1] 연세대학교 기계공학과, [2] 한국 표준과학연구원 길이센터

Key words : Simultaneous phase shift interferometer, Dynamic interferometry, Phase error, Pixelated phase mask, Misalignment

1. 서론

스마트폰이나 MEMS 와 같은 소형 전자장비의 증가추세에 따라 회로를 집약화 할 수 있는 반도체 적층기술이 주목받고 있다. 적층구조의 PCB 범퍼 및 wafer 공정에서는 기존의 2 차원 검사 대신 3 차원 검사로 양불을 판정한다. 또한 공정수율을 위해서 빠른 측정속도와 고분해능을 갖춘 3 차원 검사의 중요성이 대두되고 있다.

기존에 널리 쓰이는 측정방식 중 백색광 간섭주사 방식(White Light Scanning Interferometry, WLSI)은 Z 축 주사(scanning)가 필요하기 때문에 검사속도에 한계가 있으며 따라서 표준화 검사에만 주로 사용된다. 모아레(Moire) 방식의 경우 빠른 측정이 가능하지만 분해능이 낮아 검사대상에 한계가 있다.

위상천이 간섭계 (Phase Shifting Interferometry) 는 레이저의 파면 (wave-front) 의 위상을 통해 형상을 측정하는 방식으로 나노미터 이하의 분해능을 갖추고 있다. 위상천이 간섭계에서는 기준거울의 병진 운동으로 동일한 광원의 신호를 위상천이 시킨 수 개의 신호를 해석함으로써 측정대상의 형상을 복원해 낸다. 동시 위상천이 간섭계 (Simultaneous phase shifting interferometry)는 기준거울의 병진운동 대신 측정광의 편광을 일련의 과정을 통해 변형시켜 위상천이를 구현하는 방식으로 단 한번의 촬영만으로 형상을 복원할 수 있어 고속촬영이 가능하다. 특히 화소 위상 마스크를 이용한 동시 위상천이 간섭방식은 다른 동시 위상천이 방식에 비해 구성이 간편하고 수차가 적어 적층 구조물의 실공정에서 쓰일 수 있을 것으로 기대되고 있다.[1]

위상 마스크와 디지털 카메라 화소는 크기가 수 마이크로 대이므로 정렬이 조금만 틀어져도 신호의 위상천이량이 크게 변하며 해석 형상도 변한다. 본 연구에서는 위상 마스크와 카메라 센서의 정렬에 따른 측정신호의 위상천이량을 예측해보고 카메라에서의 신호를 측정한 후 시뮬레이션과 결과값의 비교를 통해 카메라에서의 센서와 마스크의 정렬상태를 추측해보았다.

2. 이론

위상 마스크를 이용한 동시 위상천이 간섭계에서 사용하는 카메라는 그림 1 과 같이 각 화소 전방에 4 가지 평광판으로 구성된 마스크가 놓여 있다. 마스크의 각 편광 소자와 카메라의 화소는 일대일로 대응된다. 카메라 화소와 마스크의 정렬이 x 축, y 축에서 각각 dx, dy 만큼 틀어졌을 때 1.(b)에서와 같이 위상천이된 빛이 센서에 교차로 분포하게 된다.

본 연구에서는 그림 1.(a)의 기준축에 나타난 축 중 x-y 축의 정렬 오차와 신호의 위상천이가 어떻게 관계되는지를 알아보고자 했다. 카메라 센서의 면적과 위상 마스크의 각 화소의 크기가 같고 수차가 없다고 가정했을 때 정렬이 x 축, y 축에서 각각 dx, dy 만큼

틀어진다면 각 신호의 상대적인 위상 Ø 는 다음과 같다. 단 dx, dy 는 그림 1.(b)에서와 같이 한 개의 배열의 크기를 1 이라고 놓았을 때의 상대적인 값이다.

$$\phi_1 = \tan^{-1}\left(\frac{dy-dx}{1-dx-dy}\right)\phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{dx+dy-1}{dx-dy}\right)$$
$$\phi_3 = \tan^{-1}\left(\frac{dx-dy}{dx+dy-1}\right)\phi_4 = \tan^{-1}\left(\frac{1-dx-dy}{dy-dx}\right)$$

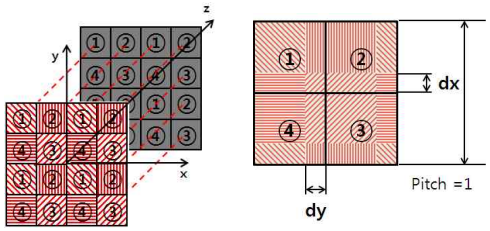

Fig1. (a) Classification of CCD sensor by correspondence micro-polarizer angle (b) Beam distribution upon CCD sensor when there is X-Y misalignment between sensor and mask. Striped pattern indicates area of beam distributed.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

그림 2.는 dx 가 0 으로 고정되어있는 상태에서 dy 가 변할때의 각 화소에서의 신호의 상대적인 위상을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 y 축은 이상적인 정렬에서의 최대 광도가 1 일 때를 기준으로 한 상대적인 광도값이다.

그래프에서 알 수 있듯이, 한 축의 정렬이 틀어짐에 따라 위상이 대칭적으로 변한다. 네 종류의 신호 중 두 개씩 위상차가 180 ° 로 일정한데 이는 각 신호의 위상 $Ø_1$ 과 $Ø_3$, $Ø_2$ 과 $Ø_4$ 의 식을 비교해봐도 알 수 있다.

또한 dy 가 증가함에 따라 광도의 대비가 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 3.은 dx 와 dy 의 변화에 따라 변하는 위상의 크기를 3 차원 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 dx=dy 가 같을 때의 위상천이량은 이상적인 조건, 즉 dx=dy=0 일 때의 값과 동일하다. 다만 dx 와 dy 값이 같더라도 광도의 대비는 dx 및 dy 의 값이 증가함에 따라 떨어진다.

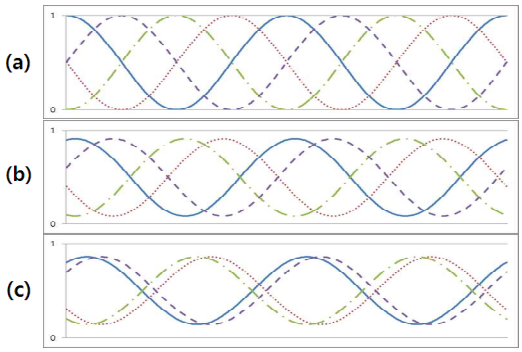

Fig2. Phase distribution according to y-displacement with no x-displacement. (a)dy=0 (b)dy=0.2 (c)dy=0.4

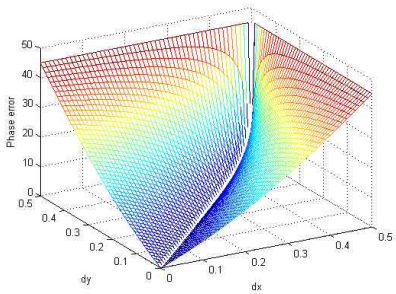

Fig3. Change of phase shift due to x and y displacement

4. 결론

위상 마스크와 정렬되어 있는 CCD 카메라에서 x 축과 y 축의 정렬 오차가 있을 경우 신호의 대비가 떨어질 수 있으며 위상천이량은 x 축과 y 축 정렬오차의 절대값이 아닌 두 값의 상대량에 따라 변한다. 실제 측정결과와의 비교는 차후 논의한다.

참고문헌

1. James E. Millerd, Neal J. Brock, John B. Hayes, Michael B. North-Morris, Matt Novak, James C. Wyant - “Pixelated phase-mask dynamic interferometer” Proc. SPIE 5531, Interferometry XII: Techniques and Analysis, 304 (August 2, 2004)