

가시광선을 이용한 불투과 평면창의 평행도 및 상대적 표면형상 동시측정

김연수[†] · 김현숙

국방과학연구소 기술연구본부

Ⓣ 305-600 대전시 유성우체국 사서함 35-5

(2002년 1월 15일 받음, 2002년 2월 21일 수정본 받음)

기존의 가시광선 Twyman-Green 간섭계를 이용하여 불투과 평면창의 평행도 및 상대적 표면형상 오차를 동시에 정밀하게 측정할 수 있는 새로운 방법을 제시하고, 적외선 변조전달성능(MTF) 측정장비용 필터에 대하여 시험적으로 측정된 결과를 기술하였다.

주제어 : Nontransparent window testing, Relative surface figure measurement, Twyman-green interferometer.

I. 서 론

전방관측 적외선 장비(Forward Looking InfraRed)등에 쓰이는 적외선용 평면창¹이나 적외선 변조전달성능(MTF) 측정장비등에 쓰이는 필터등과 같은 평면창은 적외선이 투과하는 광로상에 놓이게 되며, 이들의 평행도 및 표면형상 오차등은 광파면을 왜곡시켜 광학장비나 측정장비의 성능에 영향을 주게 된다. 또한 반도체용 실리콘 웨이퍼와 같은 금속성 창도 초정밀의 양면 평행도를 요구한다.

가시광선을 투과하는 평면창의 표면형상 측정은 보통 가시광선 레이저로 구성되는 간섭계를 이용하며, 단면의 표면형상뿐 아니라 가시광선 투과 후의 광파면을 측정할 수 있어 평면창이 광학계의 성능에 미치는 영향을 정확히 알 수 있다.^{2,3} 그러나 적외선이나 금속 창은 가시광선이 투과하지 못하므로, 그림 1과 같이 가시광선 레이저로 구성되는 종래의 간섭계로는 기준거울에 상대적인 단면의 표면형상만을 측정할 수 있을 뿐, 광파면에 대한 종합적인 분석을 동시에 할 수 없는 단점이 있으며 이로 인하여 평면창의 광학적 성능을 정확히 파악할 수 없게 된다.

이와같은 단점을 보완할 수 있는 방안으로서 적외선 평면창을 투과하는 적외선 레이저로 구성된 간섭계를 이용하면 단면의 표면형상뿐 아니라 적외선 광선 투과후의 광파면도 측정할 수 있다. 그러나 적외선 레이저 간섭계의 경우, 빛이 보이지 않으므로 간섭계 자체의 광학정렬이 어려울 뿐만 아니라, 적외선 매질에 따라 별도의 레이저 간섭계를 이용해야 하는 단점이 남게 된다.

이와같이 적외선 레이저를 이용하는 단점을 해결하기 위한 방안으로, 본 논문에서는 가시광선 레이저를 이용하여 적외선용 평면창의 적외선광 투과후의 광파면을 측정할 수 있는 방법을 소개한다. 이 측정 방법은 가시광선 불투과 평면창의 양면 평행도 및 상대적 표면형상 오차를 동시에 측정할 수 있는

방법으로, 평면창을 투과한 적외선의 광파면을 측정하는 것과 동일하다. 본 측정 간섭계는 Twyman-Green 간섭계의 광로를 개조한 측정계로 간섭계의 구성 및 정렬이 간단하다.

II. 측정계 구성

그림 2는 He-Ne 레이저로 구성되는 불투과 평면창의 평행도 및 상대적 표면형상 동시 측정 광학계이다. M1은 반투과 거울이며, M2~M5는 전반사 거울이다. 그림에서 레이저 간섭계의 출력 광선의 경로를 보면, 반투과 거울 M1에서 빔이 둘로 분할되어, 거울 M2를 경유하는 광선과 거울 M3, M4,

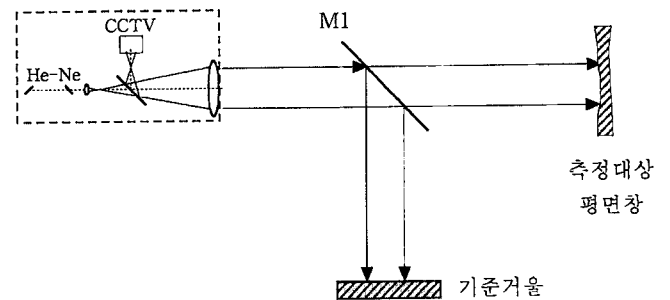


그림 1. 일반적인 평면도 측정 간섭계 구성.

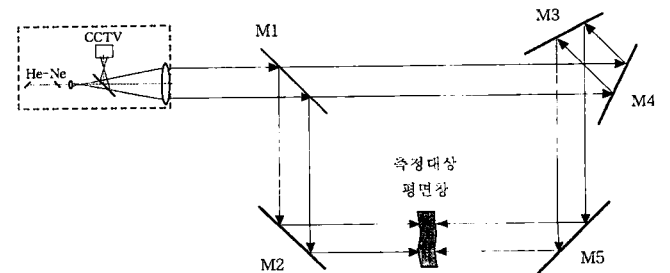


그림 2. 가시광선 불투과 평면창의 상대적 평행도 및 표면형상 동시측정 광학계.

[†]E-mail: ykim@add.re.kr

M5를 경유하는 광선으로 나뉘게 되며 측정대상 평면상의 같은 위치에서 만난다. 또 광학계 구조상 지면방향의 광선의 위치는 변화가 없으므로, 간섭계의 출력광선들이 거울 M1에서 둘로 분할된 후 시계방향의 광선들과 반시계 방향의 광선들이 정확히 일치하는 측정 광학계가 된다. 따라서 광학계는 평면상의 한쪽 면을 기준으로 다른쪽 면을 상대적으로 측정하는 상대적 평행도 및 표면형상 측정 광학계가 된다.

이 측정 방식은 가시광선 불투과 평면상을 가시광선 투과 평면상처럼 광 투과후의 광파면을 측정하는 것과 동일하다. 측정계로 측정된 상대적 표면형상 측정 광파면을 $W(r,\psi)$ 라면, 이를 평면상을 통과한 후의 적외선 광파면 $W'(r,\psi)$ 으로 환산하면

$$W'(r,\psi) = n(\lambda)W(r,\psi)/\lambda'$$

가 된다. 여기서 λ 는 적외선 사용파장을 나타내며, 적외선 평면상 매질의 굴절율은 $n(\lambda')$ 라 하고 균일한 굴절율 분포를 갖는다고 가정한다.

이와같은 측정 광학계는 그림 2의 거울 M3, M4 대신 오각 프리즘을 사용하여 그림 3과 같이 구성 할 수도 있고, 그림 4와 같이 3개의 거울로도 구성이 가능하다.

III. 측정시험 및 결과

그림 3의 측정계를 이용하여 적외선 변조전달성능(MTF) 측정장비에 사용되는 적외선 필터를 측정하였다. 필터의 재질은 실리콘, 두께 1.0mm 정도이며 4.0 μ m 파장만을 투과하도록 코팅되어 있다.

간섭계는 He-Ne 레이저 간섭계로 출력은 평행광으로 나오며, 광학계 구조상 빔 직경은 상하방향으로 크기가 변하게 된다. 따라서 광학계의 광축정렬은 측정대상 평면상이 놓일 위치에 스크린을 설치하고, 스크린 상에서 빔 직경이 일치하도록 거울들을 조정한다. 스크린을 치우고 편홀을 스크린의 위치에 놓은 후, 간섭계의 모니터를 보면서 양방향으로 진행하는 빛에 의하여 형성된 두 편홀의 상이 일치하도록 미세조정을 수행한다. 편홀의 위치를 이동하면서 정렬을 확인한 후, 정렬이 완성되면 편홀을 제거하고 간섭무늬를 확인한다. 간섭무늬는 전화면에 걸쳐 1개 이하가 되도록 정렬하며, 광학 정렬 후 얻은 간섭무늬는 그림 5와 같이 나타난다. 이후 측정하고

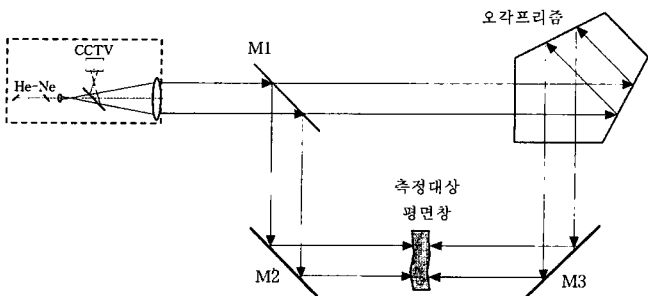


그림 3. 오각 프리즘을 이용한 가시광선 불투과 창의 양면 평행도 및 표면형상 동시 측정 광학계

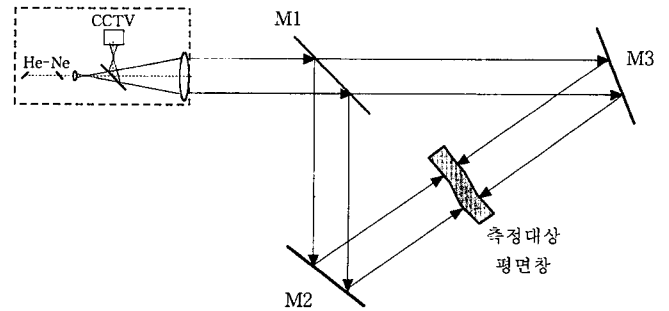


그림 4. 3개의 거울을 이용한 가시광선 불투과 창의 양면 평행도 및 표면형상 동시 측정 광학계.

자 하는 평면 상을 측정위치에 놓고 측정하면 상대적 표면형상을 측정된 광파면을 얻을 수 있다. 그림 6과 그림 7은 필터의 양면 각각의 표면형상을 측정된 그림으로 측정하고자 하는 필터 면의 반대쪽 광로에 기준 평면거울을 놓고 측정된 것이며, 그림 8은 양면의 상대적 표면형상을 측정된 그림이다.

그림 6에서 측정된 필터 한쪽 면에 대한 광파면의 Zernike 계수는 defocus가 0.83 λ , 비점수차가 5.43 λ , 코마가 4.01 λ , 구면수차가 1.98 λ 정도임을 알 수 있었다. 여기서 λ 는 본 측정간섭계에 사용된 광원인 He-Ne 레이저의 파장인 0.63 μ m이다. 그림 7에서 측정된 필터 반대쪽면에 대한 광파면의 Zernike 계수는 defocus가 3.13 λ , 비점수차가 3.7 λ , 코마가 9.27 λ , 구면수차가 13.13 λ 정도임을 알 수 있었다. 이와같이 기존의 간섭적 측정방법으로 단면을 번갈아서 측정하게 되면 두 면간의

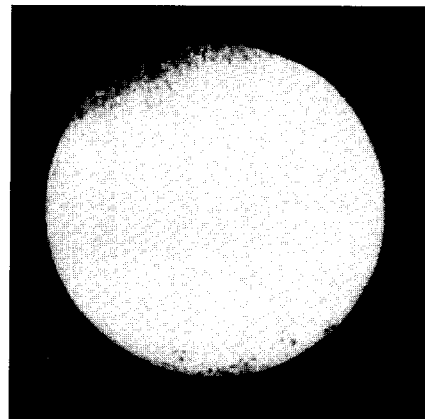


그림 5. 광학계 정렬 후 모니터상에 나타난 간섭무늬 화면.

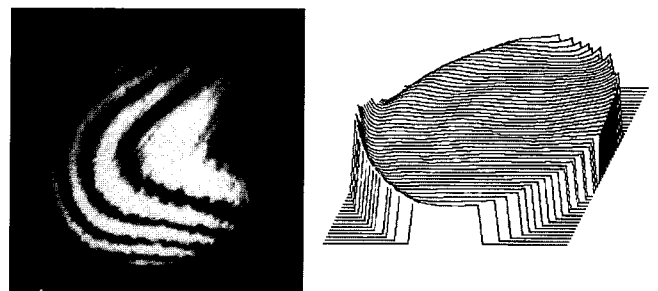


그림 6. 필터 한쪽 면의 간섭무늬와 광파면 형상.

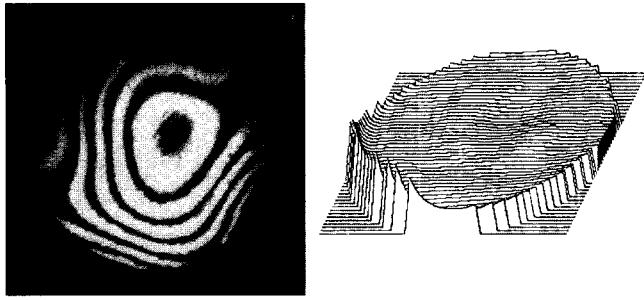


그림 7. 필터 뒷면쪽 면의 간섭무늬와 광파면 형상.

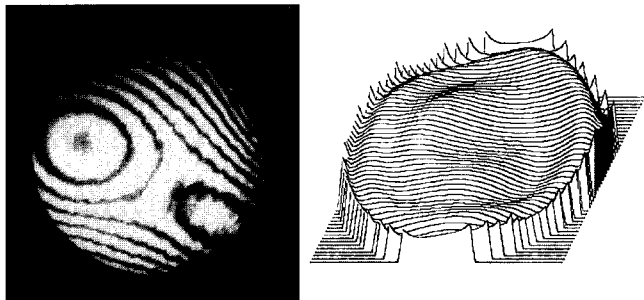


그림 8. 필터의 양면 동시측정 간섭무늬와 광파면 형상.

평행도를 알 수 없을 뿐 아니라 측정하고자 하는 위치를 정확히 일치시키기도 어려워 측정에 많은 오차가 발생한다. 그림 8에서 측정된 필터의 양면 상대적 광파면의 Zernike 계수는 tilt가 1.98λ , defocus가 -0.68λ , 비점수차가 0.69λ , 코마가 1.83λ , 구면수차가 -1.68λ 정도임을 알 수 있었다. 여기서 tilt

는 양면간의 평행도를 나타내는 항이며, 나머지 계수는 장의 한면을 기준으로 다른면의 상대적 형상오차를 나타낸다. 따라서 앞의 식을 이용하면, 평면장을 통과한 적외선 광파면의 Zernike 계수를 알 수 있다.

IV. 결 론

기존의 Twyman-Green 간섭계를 광로를 개조하여 가시광선 불투과 평면장의 평행도 및 상대적 표면형상 오차를 동시에 측정할 수 있는 새로운 방법을 제시하고, 적외선 변조전달성능(MTF) 측정장비용 필터에 대하여 시험적으로 측정된 결과를 기술하였다. 이 간섭계를 이용하면 He-Ne 레이저 광원으로 구성된 간섭계로 모든 가시광선 불투과 평면장의 상대적 표면형상 정밀측정이 가능할 뿐 아니라 긴 레이저빔의 양면 평행도 및 상대적 표면형상 오차, 광학 정렬된 한쌍의 레이저 미러의 상대적 표면형상 오차등도 용이하게 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김연수, 김현숙, 최세철, 김창우, 이윤우, 송재봉, 김병윤, "입력 광파면 왜곡에 따른 광학적 성능," 한국광학회지, 제 12권 3호, pp. 172-176, 2001.
- [2] D. Malacara, *Optical Shop Testing* (John Wiley and Sons, New York, USA, 1978), Chapter 2.
- [3] G. Schulz, J. Schwider, "Precise measurement of planeness," *Appl. Opt.*, vol. 6, no. 6, pp. 1077-1084, 1967.

Simultaneous measurement of the parallelism and the relative surface figure of a nontransparent plate using visible light

Yeon Soo Kim^{*} and Hyun Sook Kim

Agency for Defence Development, Daejeon 305-600, KOREA

^{*}E-mail: ykim@add.re.kr

(Received January 15, 2002 ; revised manuscript received February 21, 2002)

A test method that can measure the parallelism and the surface figure of a nontransparent plate using visible light is proposed. The testing system consists of a Twyman-Green interferometer. In addition, test results for the IR filter of IR MTF measuring system are described.

Classification code : SM.040.