

나노미터대역의 미소진동변위측정을 위한 마이켈슨형현미간섭계의 구성

강정철, 김철수, 정성

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《첨단과학기술분야에서 세계적경쟁력을 가진 기술들을 개발하기 위한 투쟁을 힘있게 벌려야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 39페이지)

나노미터대역의 미소진동측정은 각종 정밀전자요소들의 특성을 평가하는데서 중요한 문제로 나선다. 시간평균홀로그래피간섭법과 스펙클간섭법과 같은 전마당측정법에서는 나노미터대역의 진동변위를 측정하기 위하여 위상밀림기술과 주파수밀림기술, 반송무늬상관을 리용하고있다.[1-3] 그러나 이 모든 방법들은 고착된 측정조건을 전제로 한것들이다.

논문에서는 마이켈슨형의 현미간섭계를 구성하고 간섭무늬의 대조도를 실시간평가하는 방법으로 측정광학계의 력학적인 안정성을 판정하여 진동물체면의 특정한 점의 진동특성을 나노미터의 정확도로 측정할수 있는 실험적인 기초를 마련하였다.

1. 미소진동측정용 마이켈슨형현미간섭계의 구성

진동물체로부터 반사되어나오는 레이자빛에 의하여 형성된 시간평균간섭무늬를 실시간기록하기 위한 마이켈슨형현미간섭계의 구성도는 그림 1과 같다.

그림 1에서 레이자(《Sanyo DL3147-165 diode laser》; 650nm, 7mW)로부터 오는 빛은 공간과파기의 작용을 하는 바늘구멍(직경 $15\mu\text{m}$)을 사이에 둔 MO(확대배율 20배)와 TO($f=75\text{mm}$, $f/4$)로 구성된 평행광속계와 편광자를 지난다. 마이켈슨형의 현미광학계는 BS와 2개의 MO(확대배율 4배), M_R 와 M_V 로 구성되어있다. M_V 는 압전박막에 부착되어있으며 함수신호발생기에서 오는 신호로 구동된다. 이 신호의 세기는 컴퓨터로 조종되는 가변저항기에 의하여 조절된다. MO는 레이자빛을 M_R 와 M_V 에 집초시키며 M_R 와 M_V 의 특정한 점에서 반사된 빛은 간섭무늬를 형성한다. 이때 영상은 IO에 의하여 SCR에 맺힌다. CCD(8bit, 화소크기 $4.65\mu\text{m}$)가 이 영상을 포착한다. 간섭무늬를 CCD에 직접 맺히게 할

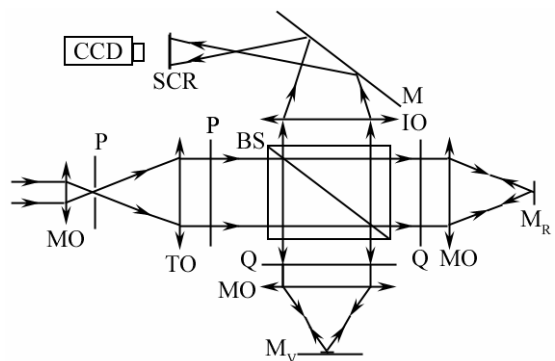


그림 1. 마이켈슨형현미간섭계의 구성도
MO—현미경대물렌즈, TO—망원경대물렌즈,
BS—빛분할기, M_R —기준거울, M_V —진동거울,
Q—반파장판, IO—렌즈, SCR—비침판,
CCD—촬영기, P—편광자, M—반사거울

수도 있지만 이 경우에는 진동물체에 의하여 형성된 간섭무늬의 대조도가 안정하지 못하다.

그것은 진동거울에서 오는 빛이 CCD의 영상주사신호와 동기되기때문이다.

대조도는 광학계의 반파장판 Q들을 회전시켜 가능한껏 높일수 있다. 측정광학계는 진동방지탁우에 설치되어있다.

진동측정에 리용한 실험구성도는 그림 2와 같다.

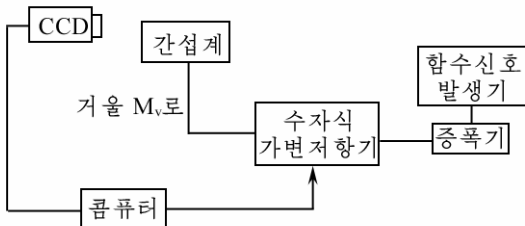


그림 2. 진동측정에 리용한 실험구성도

구동전압은 수자식가변저항기(《AD532》)에 의하여 컴퓨터로 정밀하게 조종된다. 각이한 주파수에서 진동모드는 시간평균홀로그래피법으로 확정하였으며 이에 기초하여 거울을 불일 위치를 확정하였다.

실험에서 리용한 물체는 공진상태에서 진동하는 PZT판이다. 구동전압을 증가시키면 진폭이 같이 증가하며 이때 무늬대조도는 령차베셀함수에 따라 변한다.

실험에서 압전박막은 함수신호발생기(《Hewlett Packard HP-33120A》)와 신호증폭기(《NF Electronic Instruments 4005 Type》)에서 나오는 조화시누스전압에 의하여 구동된다. 구

2. 측정광학계의 력학적안정성 판정

나노대역의 미소진동을 실시간으로 평가하는데서 실험환경의 력학적인 안정성을 평가하는것이 대단히 중요하다.

우리는 진동박막의 간섭무늬대조도변화를 련속웨블레트변환을 리용하여 관측하였다. 련속웨블레트변환은 간섭무늬를 해석하여 위상을 얻는데 리용되고있다.[4] 웨블레트변환은 간섭무늬에 포함된 스펙클과 같은 잡음에 덜 예민하고 공간주파수가 비교적 낮은 무늬도 해석할수 있는 우점이 있다.

구동전압 0.55V, 주파수 1 300Hz에서 진동박막에 의하여 형성된 상대무늬대조도변화는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 박막이 진동할 때와 진동하지 않을 때 평가한 대조도의 요동은 다같이 0.000 23으로서 간섭무늬는 대단히 안정하였다. 요동은 측정환경의 력학적인 요동이나 레이자의 출력불안정성에 원인이 있다. 이 실험자료는 진동물체에 대해서도 측정환경이 대단히 안정하며 우리의 실험조건에서는 무늬대조도요동폭의 한계내에서 나노대역의 측정이 가능하다는것을 보여준다. 무늬대조도가 1에서 변하기 시작하여 우의 요동값의 3배이상 되는 0.000 7정도에서부터 측정이 가능하다. 이것은 1종의 령차베셀함수와 대비하면 우리의 실험조건에서 2~3nm정도의 진동폭에 대응되는 값이다.

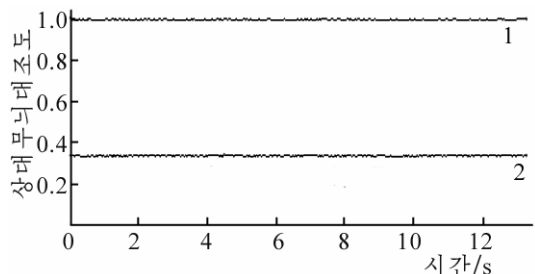


그림 3. 진동박막의 상대무늬대조도변화
1—박막이 진동하지 않을 때, 2—박막이 진동할 때

구동전압 0.55V, 주파수 1 300Hz에서 간섭무늬를 직접 CCD에 맺었을 때 진동박막에 의해 형성된 간섭무늬의 상대무늬대조도변화는 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는바와 같이 상대무늬대조도는 대단히 불안정하다. 이러한 불안정조건에서는 측정이 불가능하다. 그것은 진동거울에서 오는 빛이 CCD의 영상주사신호와 동기되기때문이다. 무늬대조도변화의 이러한 특성은 다른 주파수들에서도 나타났다.

따라서 우리는 실험에서 간섭무늬를 비침막에 투영하고 간접적으로 기록하도록 하였다.

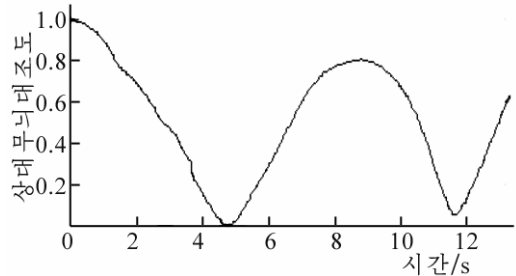


그림 4. 간섭무늬를 직접 CCD에 맺었을 때 진동박막이 형성하는 상대무늬대조도

맺는 말

미소진동측정을 위한 마이켈슨형의 현미간섭계에서 시간평균간섭무늬의 영상은 비침막에 맺였으며 이것을 CCD로 간접적으로 수감하였다.

상대무늬대조도의 평균2제곱변화폭은 물체가 진동하는 경우에도 0.000 23이하였다. 이 요동값은 우리의 실험조건에서 2~3nm정도의 진동폭에 대응하는 값이다.

참고 문헌

- [1] C. Joenthan; Appl. Opt., 32, 4658, 1991.
- [2] H. Atcha et al.; Meas. Sci. Technol., 5, 704, 1994.
- [3] N. Verrier et al.; Opt. Lett., 40, 411, 2015.
- [4] H. Niu et al.; Optics and Lasers in Engineering, 47, 1334, 2009.

주체106(2017)년 7월 5일 원고접수

Setup of Michelson-Type Microscopic Interferometer for Measurement of Small Vibration Amplitudes in Nanometer Range

Kang Jong Chol, Kim Chol Su and Jong Song

We set up a Michelson-type microscopic interferometer for measurement of small vibration amplitudes. The image of time-averaged interference fringe pattern was focused onto a screen and captured indirectly by CCD.

The fluctuation of relative fringe contrast was less than 0.000 23 in rms in our experimental condition even when the object is vibrating. It means that the change of relative fringe contrast as small as about 0.000 7 can be measured in our experimental condition, which corresponds to vibration amplitudes of 2 or 3nm.

Key words: time averaged interferometry, vibration measurement, wavelet transformation