

# 되먹임 회로로 제어하는 Michelson 레이저 간섭계를 이용한 Nano-scale 미세변위 측정

안성준<sup>1\*</sup>, 오태식<sup>2</sup>, 안승준<sup>3</sup>

## Nano-scale high-accuracy displacement measurement using the Michelson laser interferometer controlled with a feedback circuit

Seong-Joon Ahn<sup>1\*</sup>, Tae-Sik Oh<sup>2</sup> and Seung-Joon Ahn<sup>3</sup>

**요 약** 되먹임 회로로 제어하는 새로운 Michelson형 레이저 간섭계를 제작하여 특성을 평가하였다. 새로운 Michelson형 레이저 간섭계는 압전 특성이 잘 알려진 PZT에 인가된 되먹임 회로의 인가전압을 직접적으로 측정함으로써 미세변위를 측정할 수 있는 간편한 측정 장치이다. 본 연구에서 제작한 Michelson형 레이저 간섭계의 신뢰성과 정밀도를 평가하기 위하여 실리콘 membrane의 단차를 측정한 결과 SEM으로 관찰한 값과 잘 일치함을 알 수 있었다.

**Abstract** A novel Michelson interferometer controlled with a feedback circuit(MIFC) has been developed and its performance has been evaluated. This new interferometer can measure the displacement of the sample by directly reading the feedback bias applied to the PZT whose piezoelectric characteristic is known. The experimental result showed that the step height the silicon membrane measured by using MIFC was actually same with the value measured by SEM, which confirms that MIFC is an easy and accurate method for the nano-scale displacement measurement

**Key words** : Michelson Interferometer, Feedback Circuit, PZT, SEM, Silicon Membrane

### 1. 서론

생산기술이 급속히 발전됨에 따라 생산 시스템 및 공정의 자동화가 요구되고 있다. 생산 시스템 및 공정의 자동화를 위하여 많은 정밀한 부품들이 필요하며 각 부품의 신뢰성과 정밀도는 자동화를 실현할 수 있는 가장 중요한 관리 인자(parameter)이다. 부품에 대한 정밀도를 관리하기 위해서는 정확한 측정기술이 필요하다. 고 정밀의 측정기술은 크게 linear variable differential transformer (LVDT)[1, 2]와 같은 접촉식 측정방법[3, 4]과 레이저 간

섭계[5-7]와 같은 비접촉식 측정방법[8]으로 대별된다. 접촉식 측정방법은 probe를 직접 표면에 접촉시켜 측정을 하는 방법으로 표면의 상태를 그대로 알 수 있기 때문에 신뢰성이 높은 특징이 있지만 측정물의 표면에 압력이 가해지므로 표면이 손상될 수 있는 문제점이 있다. 그러나 비접촉식 측정방법은 표면이 손상되는 문제점도 피할 수 있을 뿐 아니라 정밀도 역시 nano-scale까지 정밀하게 측정이 가능하여 최근에 이르러 여러 분야에서 다양하게 사용되고 있다.

레이저 간섭계는 레이저의 간섭현상을 이용하여 미세한 변위나 정밀한 운동을 측정하는 시스템으로써 표준기의 길이측정 및 측정기기의 오차측정을 위해 사용될 뿐 아니라 정밀기기에서는 그 내부에 장착되어 calibration point를 검출하는 위치 검출기로 사용되고 있다. 레이저 간섭계를 이용하는 광학적인 측정방법은 시스템이 비교적 간단하고 장비의 가격이 저렴할 뿐 아니라  $\sim 10^{-8}$  m까지의 길이변형이나 형상오차를 실시간으로 측정할 수 있는 장점이 있다. 특히 레이저 간섭계는 고도의 정밀도가 요구되는 반도체 소자 제조에 있어서 집적화된 회로 패턴을 탑재한 웨이퍼와 마스크의 위치 결정을 위한 변위

이 논문은 2006년도 정부(교육인적자원부 학술연구조성사업비)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-331-D00231).

<sup>1</sup>선문대학교 공과대학 정보통신공학부/차세대반도체기술연구소

<sup>2</sup>선문대학교 공과대학 전자공학부

<sup>3</sup>선문대학교 자연과학대학 신소재과학과/차세대반도체기술연구소

\*교신저자: 안성준(sjahn0@sunmoon.ac.kr)

측정 제어 시스템으로 아주 적합하다. 소자의 크기가 축소되고 회로 패턴의 design rule이 높아질수록 위치 결정의 정밀도가 선형적으로 증가하게 된다. 0.1 μm의 패턴을 가공하기 위해서는 0.01 μm의 측정 분해능이 필요하다.

본 연구에서는 비교적 장치가 간단하며 정확도가 높은 Michelson형 레이저 간섭계를 제작하여 간섭계의 측정 정밀도를 평가하였으며 이를 이용하여 실리콘 membranc의 단차 변위를 측정하였다.

## 2. 실험 및 실험방법

그림 1(a)는 되먹임 회로(feedback circuit)의 제어 시스템을 이용하여 nano-scale의 미세변위를 측정하기 위한 Michelson형 레이저 간섭계의 계략도이다. Michelson형 레이저 간섭계는 진동을 방지하기 위하여 광학 테이블(Newport XSV-44) 위에 설치하였다. 간섭계의 광원으로는 s-polarization된 출력이 5 mW, 파장이 632.8 nm인 Melles Griot 사의 He-Ne 레이저를 사용하였다. 특히, 측정의 정밀도와 검출기를 통하여 획득한 간섭신호의 signal to noise(S/N) ratio를 높이기 위하여 주파수가 안정화된 레이저를 사용하였다. 그리고 빔 확대기(beam expander)로 레이저를 평행 광으로 만들어 레이저 빔의 divergence를 줄임으로써 검출기(혹은 스크린)에서 균일한 상과 안정적인 신호를 얻도록 하였다.

본 실험에 사용한 광 분할기(beam splitter)는 파장이 632.8 nm, 편광이 s-polarization, 입사각이 45°인 레이저 빔의 강도가 50:50으로 나누어지도록 설계·제작되었으며 분할된 레이저 빔을 간섭계 양쪽 팔의 반사경 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> 쪽으로 분할시키는 역할을 한다. 반사경 M<sub>1</sub>과 M<sub>2</sub>는 파장이 632.8 nm인 광파에 대하여 높은 반사율을 가지는 거울로서 반사경 M<sub>1</sub>은 측정하고자 하는 시료(혹은 시료 자체가 반사율이 높은 경우 시료를 반사경으로 사용함)에 부착하며 반사경 M<sub>2</sub>는 되먹임 회로와 연결된 piezoelectric transducer (PZT)의 끝에 부착시켰다. 반사경 M<sub>1</sub>과 M<sub>2</sub>에서 반사된 레이저 빔은 광 분할기를 거쳐 검출기(스크린)에서 관찰할 수 있다. 그림 1(b)는 검출기의 위치에 스크린을 놓아 관찰한 간섭무늬의 사진이다.

스크린의 임의의 한 점에서 관찰된 간섭무늬의 빔 강도, I는 He-Ne 레이저에서 나온 빔이 간섭계의 서로 다른 팔을 왕복하면서 스크린에서 다시 서로 만나 일으키는 간섭현상에 의해 결정되며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{2\pi \cdot \Delta\ell}{\lambda}\right) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta_L) \quad (1)$$

여기서 I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>는 간섭계의 각 팔에서 진행되는 레이저 빔의 강도이고, Δℓ은 각 팔을 거쳐 온 레이저 빔들의 이동거리 차이(OPD : optical path difference)이다.

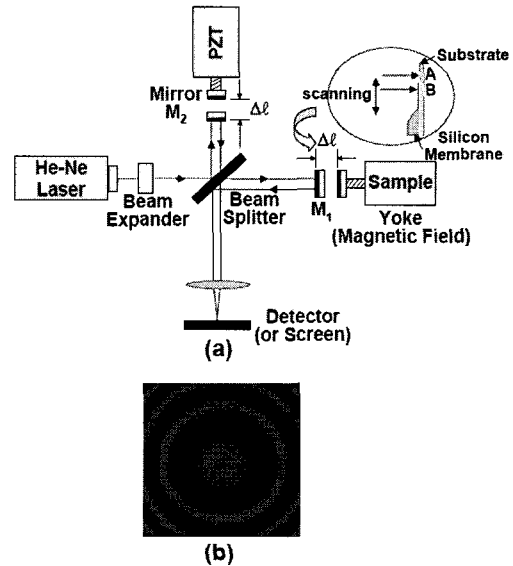


그림 1. 되먹임 회로의 제어 시스템을 이용한 nano-scale의 미세변위 측정용 Michelson형 레이저 간섭계의 계략도(a)와 스크린에서 관찰한 간섭무늬 사진(b).

그리고 δ<sub>L</sub>은 OPD에 해당하는 두 광의 위상차(phase difference)로서 다음과 같이 정의된다.

$$\delta_L = \frac{2\pi \cdot \Delta\ell}{\lambda} \quad (2)$$

만일 M<sub>1</sub>이 앞뒤로 움직이게 되면 Δℓ이 변하므로, 식 (1)에 의해 스크린에 나타나는 레이저 빔의 강도가 변하게 된다. 간섭무늬의 전체적인 움직임으로 보면, Δℓ의 변화에 따라 간섭무늬가 안쪽 또는 바깥쪽으로 이동하는 현상이 나타난다. 그러므로 스크린의 어떤 한 점에서 간섭무늬가 이동한 수를 세면 Δℓ이 얼마나 변했는지 알 수 있다.

그림 1에서 외부의 영향에 의한 시료의 길이(박막의

경우는 두께)변화를  $d$ 라고 하면,  $\Delta l$ 은 그 두 배인  $2d$ 가 된다. 그 이유는 레이저 빔이  $M_1$ 으로 향하는 경로를 왕복하기 때문이다. 그런데 간섭무늬가 한 개 이동하려면  $\Delta l$ 이 광원의 파장만큼 증가 또는 감소해야 한다. 그러므로 시료의 길이(두께) 변화가 광원 파장의 반인  $\lambda/2$ 를 넘을 때마다 간섭무늬의 이동 숫자가 하나씩 증가하게 된다. 따라서 이동한 간섭무늬의 수를  $N$ 과 시료의 길이(두께) 변화  $d$ 는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$N = \frac{d}{\lambda/2} \quad (3)$$

이러한 관계를 이용하여, 이동한 간섭무늬의 수  $N$ 을 측정하면, 외부의 영향에 의한 시료의 길이(두께)변화의 크기를 측정할 수 있다. 식(3) 대신에 식(1)을 활용하여 레이저 빔의 강도 변화로부터 직접  $\delta_L$ 의 변화를 알아내고, 다시 식(2)를 활용하여  $\Delta l$ 과  $d$ 를 알아낼 수도 있다.

그림 2는 레이저 간섭계의 성능을 평가하기 위하여 제작된 실리콘 membrane의 SEM 사진이다. 본 연구에서 제작된 Michelson형 레이저 간섭계를 이용하여 정확히 모양을 알고 있는 실리콘 membrane의 단차 변위를 측정함으로써 간섭계의 분해능을 평가하였다. 실리콘 membrane 시료(sample)는 p-type boron diffusion,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  thin film deposition, photo lithography, wet etching 등과 같은 기본적인 반도체 공정을 차례로 적용하여 그림 2와 같은 모양으로 2020 nm의 얇은 실리콘 membrane[9]을 제작하였다.

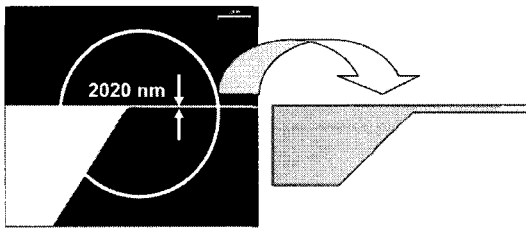


그림 2. 두께를 측정하기 위하여 반도체 공정으로 간섭계의 성능평가를 위해 제작된 실리콘 membrane의 SEM 사진.

### 3. 결과 및 토의

Michelson형 레이저 간섭계는 높은 결맞음(coherence)을 가지는 레이저 빔을 광 분할기를 이용하여 두 개의 빔으로 분리한 다음 하나의 빔(기준 빔)은 광 분할기로부터

일정한 거리에 고정되어 있는 고정거울( $M_2$ )에서 반사시키고 다른 하나의 빔(측정 빔)은 측정물(시료)에 부착된 거울( $M_1$ )에서 반사시켜 관측점에서 다시 합성된다. 이때 합성된 빔에서 기준 빔은 항상 일정한 위상을 갖는 반면 측정 빔은 측정물의 길이변화에 따라 위상이 변하게 된다. 합성된 빔은 기준 빔과 측정 빔의 위상차에 의하여 간섭이 일어나며 간섭무늬의 강도는 식(1)과 같이 표현할 수 있으며 식(3)에서 알 수 있듯이 간섭무늬의 수를 세는 방식으로 길이변화를 측정하는 방법은 길이변화  $d$ 에  $\lambda/2$  이상의 변화가 있을 때마다 그 변화를 검출할 수가 있게 된다. 그러므로 이 방법을 사용하게 되면, 그 분해능은 평균적으로  $\lambda/4$  정도로 제한이 생기게 되고, 최악의 경우는  $\lambda/2$ 까지도 측정 오차가 있을 수 있다. 그림 1과 같이 He-Ne 레이저를 사용하는 경우, 광원의 파장은 632.8 nm이므로, 변위 측정의 분해능은 평균적으로 0.15  $\mu\text{m}$  정도가 될 것이다.

실제로 레이저 간섭계에 여러 가지 부가적인 장치들을 추가하고 적절한 신호처리 방법을 병행하면 간섭계의 분해능을 파장의 수십 분의 일까지 개선시킬 수 있다. 물론 이론적으로는 식(1)에서 나타난 바와 같이 레이저 빔의 강도 변화를 아주 정확하게 측정한다면, 분해능을 무한히 향상시킬 수 있을 것이다. 그러나 식(1)에서 나타나는 cosine 함수의 선형성, 전자회로의 교란신호, 전압신호의 A/D 변환 시 분해능 등을 고려할 때, 분해능을 0.03  $\mu\text{m}$  보다 더 좋게 만들기는 어렵다[10].

또한, 레이저 빔의 강도 변화를 길이변화의 크기로 환산해야 하는 과정도 거쳐야 하는데, 이때도 오차가 크게 발생할 수 있다. 예를 들어, cosine 함수 내부의  $\delta_L$ 이  $n\pi$ 의 값 근방에 있을 경우 ( $n$ 은 정수), cosine 함수의 변화율은 0 에 가깝게 된다(그림 3 참조).

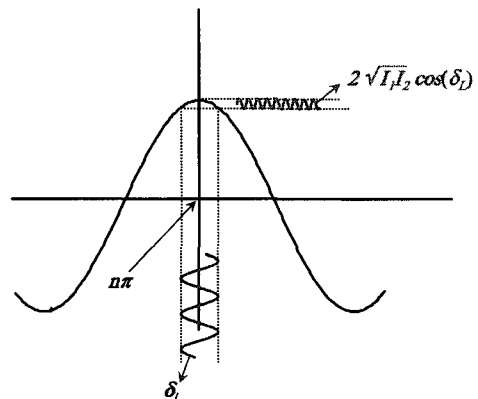


그림 3.  $\delta_L$ 이  $n\pi$ 의 근처에서 변할 때 레이저 간섭계의 출력 변화.

그림에서  $x$ 축은 길이변화에 따른 위상의 변화  $\delta_L$ 이고,  $y$ 축은 식(1)에서 광의 세기 변화를 나타내는  $2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta_L)$ 이다.  $\delta_L$ 의 값이  $\pi$ 의 정수배가 될 때  $\cos(\delta_L)$ 은 1 또는 -1의 값을 가지는데, 이 때 그 지점에서 cosine 함수의 변화율은 0이다. 따라서  $\delta_L$ 이 이 근방에서 그림 3과 같이 변하고 있다면, 레이저 빔의 강도 변화  $2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta_L)$ 는 그림에서 표시된 것과 같이 매우 작은 변화로서 나타나게 될 것이다. 이 근방에서는 sample의 길이변형이 많이 일어나더라도, 레이저 빔의 강도 변화가 별로 없기 때문에 그것을 감지하기 어렵다는 것이다. 이것을 다시 생각하면, 레이저 빔의 강도 변화를 시료의 길이변형으로 환산하는 것 역시 쉽지 않으며 오차가 발생할 가능성이 크다는 뜻이 된다. 만일, 최첨단 장치들의 도움을 받을 경우에는 위에서 설명한 이러한 단점들을 극복하고 1 nm 정도의 분해능을 가진 간섭계도 만들 수 있다[11]. 또한 레이저 간섭계가 아닌 백색광 간섭계를 사용해도 1 nm 정도의 변위측정이 가능하다[12, 13]. 그러나 이러한 장치들은 대부분 매우 복잡한 구조 및 신호처리 알고리즘을 필요로 하거나, 측정범위가 매우 작은 문제들을 가지고 있어서 시료의 미세한 길이변형을 측정하기에 불편함을 가지고 있다.

본 연구에서는 미세변위를 nano-scale의 정밀도로 측정하기 위하여 단순한 Michelson 간섭계와는 달리 간섭계의 한쪽 반사경( $M_2$ )을 되먹임 회로와 연결된 PZT의 끝에 부착시켜 측정의 정밀도를 개선시켰다. 전반사 거울,  $M_2$ 가 부착된 PZT는 검출기에서 수신된 간섭신호를 되먹임 신호로 받아서 레이저 간섭계의 두 팔 사이의 광경로를 일정하게 유지한다. 즉 시료가 외부에서 인가되는 조건에 따라 시료의 길이가 늘어나거나 수축하여 미세한 변형이 일어나면, PZT는 PZT drive를 통하여 PZT에 전압을 공급함으로써 시료의 변형된 길이를 보상해 광경로가 일정하게 유지되도록 한다. 따라서 되먹임 신호에 의하여 PZT에 인가된 되먹임 회로의 전압을 측정하여 shift된 간섭무늬의 개수를 알 수 있으며 이것으로부터 시료의 변형된 길이를 산출하였다. 만일 PZT의 특성이 잘 알려져 있는 것이라면, PZT에 가해진 전압의 크기를 알면 PZT의 길이변형을 알 수 있으므로, 시료의 미세변형도 알 수 있게 된다.

기존의 일반적인 Michelson 간섭계에 비교하여 이 방법은 그 구성이 간단할 뿐 아니라 시스템에서의 광경로 차이가 항상 일정하게 유지되기 때문에, 초기에 두 광의 위상차  $\delta_L$ 을  $\pi/2$ 의 홀수 배에 위치하도록 간섭계를 조

절해 놓으면  $\delta_L = (n + 1/2)\pi$ 가 측정 과정 내내 그대로 유지가 된다(그림 4 참조).

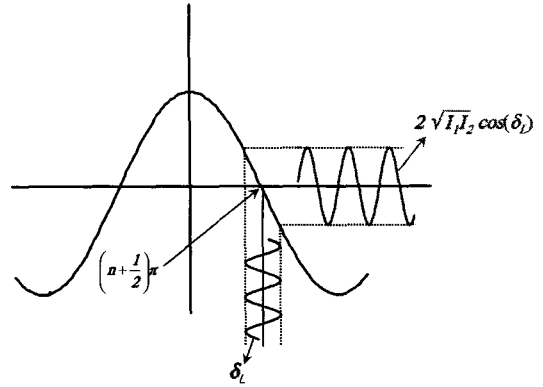


그림 4.  $\delta_L$ 이  $(n + 1/2)\pi$  근처에서 변할 때 레이저 간섭계의 출력 변화.

그림 4의 경우는 그림 3과 달리 cosine 함수의 변화율의 크기가 0이 아니라 1이 되는 지점의 근처에서  $\delta_L$ 이 변화하게 되므로, 그림과 같이 레이저 빔의 강도 변화도 상당히 크게 나타나게 된다. 그러므로 간섭계는 시료의 작은 길이변형에도 민감하게 반응을 할 수 있으므로 감도(sensitivity)가 높아지게 된다. 보통 감도가 높아지면 측정 가능한 범위(dynamic range)가 줄어드는 것이 일반적인 센서의 특징인데, 이 경우에는 PZT에 의해 전체 시스템의 측정 가능한 범위가 결정되므로 PZT만 특성이 좋은 것을 시스템에 사용할 경우, 이러한 문제점은 해결할 수가 있다.

또한  $\delta_L = (n + 1/2)\pi$  근처에서 cosine 함수의 선형성(linearity) 역시  $\delta_L = n\pi$  영역에 비해 월등히 우수하므로 전체적으로 되먹임 회로의 동작에도 좋은 영향을 주게 된다. 그리고 PZT에 인가된 전압으로부터 바로 시료의 길이변형을 알 수 있으므로, 신호처리 측면에서도 일반적인 광학 간섭계들에 비해 매우 간편해진다. 그림 5는 간섭계의 한쪽 팔에 있는 PZT에 전압을 인가하여 PZT의 길이변화에 따른 간섭무늬의 shift를 관찰한 실험으로 ~11.0 V의 인가전압에 대하여 ~5.5 개의 간섭무늬가 이동한 것을 알 수 있다. 그림 6은 여러 가지 전압을 PZT에 인가하여 인가전압에 따른 PZT의 길이변화 특성으로 시스템에 사용한 PZT의 길이변화 상수가 0.162  $\mu$  m/V임을 알 수 있었다[10].

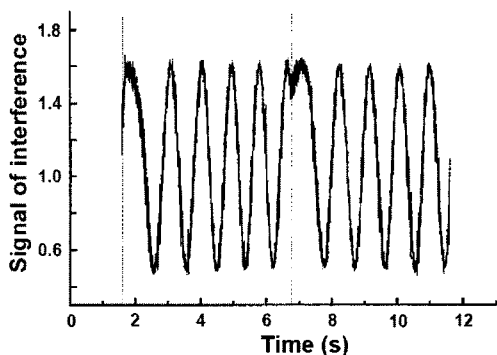


그림 5. PZT의 인가전압(~11.0 V)에 따른 간섭무늬의 shift.

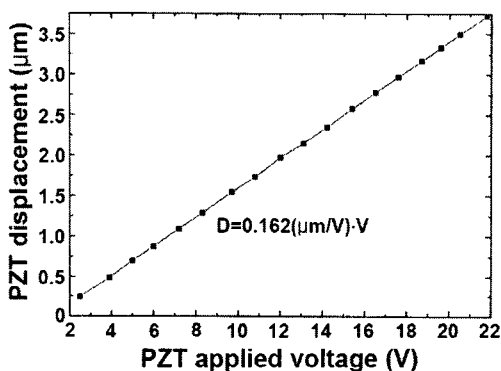


그림 6. 여러 가지의 PZT 인가전압에 따른 PZT의 길이변화 특성.

그림 6에서 알 수 있듯이 PZT에 인가된 전압  $V_{PZT}$ 로부터 측정대상의 두께 변화를 식(4)와 같이 환산하여 알아낼 수 있다.

$$d = D \cdot V_{PZT} = 162 \cdot V_{PZT} \text{ (nm)} \quad (4)$$

본 연구에서 제작된 Michelson 레이저 간섭계의 PZT 입력전압(feedback voltage)은 0.1 V씩 제어되기 때문에 16.2 nm의 분해능을 가지고 측정할 수가 있으며 제작된 실리콘 membrane의 단차를 측정한 결과 12.5 V의 PZT 입력전압(~6.5개의 간섭무늬가 이동)을 얻었다. 이 값은 길이로 환산할 경우 2015 nm이며 SEM으로 측정된 값(그림 2 참조) 2020 nm와 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

시료의 미세변위를 측정하기 위하여 레이저 간섭계를

이용하는 광학적인 방법은  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  m까지의 길이변형을 측정할 수 있으며 실시간으로 길이변형을 측정할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 측정의 정밀도를 높이기 위하여 되먹임 회로에 의해 광경로를 보상해 주는 방식의 비교적 장치가 간단하며 정확도가 높은 Michelson형 레이저 간섭계를 제작하였다.

간섭계의 한쪽 팔에 있는 PZT에 여러 가지 전압을 인가하여 PZT의 길이변화에 따른 간섭무늬의 shift를 관찰하였으며 인가전압에 따른 PZT의 길이변화 특성이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 제작된 Michelson형 레이저 간섭계의 PZT 분해능은 입력전압이 0.1 V씩 제어되기 때문에 16.2 nm의 분해능을 가지고 측정할 수가 있으며 측정의 신뢰성을 평가하기 위하여 반도체 공정으로 제작된 실리콘 membrane의 단차를 측정 한 결과 12.5 V의 PZT 입력전압을 얻었다. 이 값은 길이로 환산할 경우 2015 nm이며 SEM으로 측정된 값, 2020 nm와 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 현재 사용되고 있는 고 감도의 PZT는 5~10 mV까지 정밀하게 제어되기 때문에 이러한 고 감도의 PZT를 사용할 경우 간섭계의 측정 분해능을 nano-scale 까지 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] H. Chiriac, E. Hristoforou, M. Neagu, M. Pieptanariu, "Linear variable differential transformer sensor using glass-covered amorphous wires as active core", J. Mag. Mat., Vol. 215-216, pp. 759-761, 2000.
- [2] T. Meydan and G.W. Healey, "Linear variable differential transformer (LVDT): linear displacement transducer utilizing ferromagnetic amorphous metallic glass ribbons", Sensors and Actuators A, Vol. 32, Issue 1-3, pp. 582-587, 1992. 4.
- [3] L. Santinacci, Y. Zhang and P. Schmuki, "AFM scratching and metal deposition through insulating layers on silicon", Surface Science, Vol. 597, pp. 11-19, 2005. 8.
- [4] D.G. Chetwynd, X. Liu and S.T. Smith, "A controlled-force stylus displacement probe", Precision Engineering, Vol. 19, pp. 105-111, 1996.
- [5] V.K. Chhaniwal, A. Anand, C.S. Narayanamurthy, "Measurement of diffusion coefficient of transparent liquid solutions using Michelson interferometer", Optics and Lasers in Engineering, Vol. 42, pp. 9-20, 2004.
- [6] M.E. Mancenido, L.M. Zerbino, M. Garavaglia, "Analysis of a Young-Michelson tandem interferometer",

Optics and Lasers in Engineering, Vol. 40, pp. 133-141, 2003.

- [7] Jose A. Ferrari, Eugenio Garbusi, Erna M. Frins, "Modified Michelson interferometer with electrooptic phase control", Optics Communications, Vol. 209, pp. 245-253, 2002. 8.
- [8] Olga V. Yagodina, Elena B. Nikolskaya, Nina B. Shor, "Gas-gap sensors for the determination of nitrogen oxides and nitrites", Analytica Chimica Acta, Vol. 409, pp. 143-147, 2000.
- [9] H.S. Kim, D.W. Kim, S.J. Ahn, Y.C. Kim, S.S. Park, S.K. Choi, and D.Y. Kim, "The assembly of a fully functional microcolumn and its STEM-mode operation", J. the Korean Physical Society, Vol. 43, pp. 831-835, 2003. 11.
- [10] 김승우, "초정밀 길이측정을 위한 광기술", 기계저널, Vol. 41, pp. 57-63, 2001.
- [11] J. Park, J. Jo, S. Byun, J.W. Kim, T.B. Eom, and C.I. Eom, "Development of a two-dimensional nano-displacement measuring system utilizing a 2D combined optical and X-ray interferometer", J. the Korean Physical Society, Vol. 48, pp. 28-32, 2006. 1.
- [12] Emmett N. Leith, Gary J. Swanson, "Achromatic interferometers for white light optical processing and holography," Applied Optics, Vol. 19, pp. 638-645, 1980.
- [13] 김기홍, 김승우, "백색광 주사 간섭법을 이용한 박막의 두께 형상 측정법", 한국광학회지, Vol. 10, pp. 373-378, 1999. 10.

**안 성 준(Seong-Joon Ahn)**

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1992년 8월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1992년 9월 : 삼성전자 반도체 연구소 선임연구원

- 1996년 5월 : 한전전력연구원 선임연구원
- 현재 2002년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학부 부교수

<관심분야>

반도체 공정, 광섬유 통신 및 센서, 전자빔 기술, 레이저 미세가공, 접지기술

**오 태 식(Tae-Sik Oh)**

[정회원]



- 1985년 2월 : 성균관대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1990년 8월 : 경희대학교 산업정보대학원 전자공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교 나노과학공학과(공학박사)
- 1984년 12월 ~ 2003년 7월 : 삼성SDI 중앙연구소 수석연구원

- 2003년 7월 ~ 2006년 2월 : 삼성종합기술원 디스플레이 Lab 전문연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 공과대학 전자공학부 조교수

<관심분야>

전자빔 기술, 디스플레이 소자구조 해석/설계 및 평가, 나노재료 응용 소자기술

**안 승 준(Seung-Joon Ahn)**

[정회원]



- 1985년 2월 : 경북대학교 자연과학대학 물리학과(이학사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
- 1989년 2월~1997년 2월 : 삼성 전자 반도체연구소 선임연구원

- 1993년 3월~현재 : 선문대학교 자연과학대학 신소재과 학과 부교수

<관심분야>

반도체 공정 및 장비기술, 레이저 annealing, 레이저 미세가공, 전자빔 기술, 접지기술