

고속 나노 형상 측정을 위한 다채널 주파수 스캐닝 레이저

The Multichannel Frequency Scanning Laser for The High Speed Measurement of Nano Structure

장로마, 김재완*, 김종안*, 강주식*, 엄태봉*, 김재은, 박해웅
 한국과학기술원 물리학과, *한국표준과학연구원 기반표준본부
romestar@kaist.ac.kr

평판 디스플레이 시장에서 고해상도, 대면적화가 진행되면서 넓은 면적에 분포한 미세 구조물의 형상 측정에 대한 관심이 높아지고 있다. 넓게 분포한 미세 구조물의 형상을 측정하기 위해서는 일반적인 미세 구조 형상 측정에서 필요한 나노미터 이하의 정밀도뿐만 아니라 측정 속도가 고려해야 하는 중요한 요소이다. 특히, 생산과정에서 직접 미세 구조물의 형상을 측정하기 위해서는 비접촉 측정이 가능한 빠른 측정 장비가 절실히 필요하다.

표면의 미세 구조물 형상을 비접촉식으로 측정하는 장비에는 백색광주사간섭법(White-light Scanning Interferometry, WSI)⁽¹⁾이 널리 사용되고 있다. 이 방법은 현재 반도체나 TFT-LCD의 패널 생산 공정의 검사 장비 등에 사용되고 있다. WSI 방법은 측정 영역이 넓다는 장점이 있지만 기계적인 스캐닝을 필요로 하기 때문에 정밀도와 측정 속도를 함께 향상시키는 데는 한계가 있다.

우리는 차세대 디스플레이 공정에 적용할 수 있는 고속 측정을 구현하기 위해 위상천이간섭법(Phase Shift Interferometers, PSI)⁽²⁾을 기반으로 형상을 측정하는 광간섭기술을 개발하고 있다. 고속 측정을 구현하기 위해서는 속도 제한의 원인인 기계적인 구동부를 없애고 레이저 주파수를 변조하는 방식으로 대체할 필요가 있다. 개발하려는 광간섭기술의 목표를 달성하기 위해서는 주파수 간격이 일정한 4개 이상의 정확한 주파수 채널(상대 안정도($\Delta f/f$) 10^{-8} 이내)을 제공하며 전체 주파수 채널을 50 Hz 이상의 속도로 스캔할 수 있는 레이저가 광원으로 필요하다. 본 고에서는 이런 특성을 갖는 다채널 주파수 스캐닝 레이저의 원리를 설명하고 실험 결과를 보여주고자 한다.

레이저 다이오드(Laser Diode, LD)는 전류를 변조하여 빠른 속도로 주파수를 변화시킬 수 있고 가격 또한 저렴한 특징이 있다. LD의 온도와 전류만 조절하는 방법으로는 일반적으로 주파수를 10^{-5} 정도까지 안정시킬 수 있다. 본 연구의 목적에 부합하기 위해서는 폭이 25 GHz이고 주기는 50 Hz 이상으로 LD의 주파수를 스캔하면서 5 GHz의 일정한 간격으로 주파수가 10^{-8} 이내로 안정된 영역이 존재해야 한다. 패브리 페로 공진기(Fabry-Perot Cavity, FPC)는 자유 스펙트럼 영역(Free Spectral Range, FSR)만큼 일정한 간격의 주파수 기준을 제공하므로 FPC의 공진모드에 순차적으로 레이저 주파수를 안정시키는 방법으로 위상천이 간섭계를 구현한 연구도 Bitou 등이 보고하였다.⁽³⁾ Bitou의 방법은 전기적인 되먹임 방법으로 하나의 공진모드에 주파수를 안정화하고 영상을 얻은 후 안정을 깨어 다음 공진모드에 주파수를 안정하는 과정을 거쳐야 하므로 구현이 어려울 뿐만 아니라 고속측정에는 적합하지 않다. 우리는 그림 1과 같이 FPC의 공진모드에서 레이저로 되반사된 빛이 레이저의 주파수를 잠그는 현상(Injection locking)⁽⁴⁾을 이용하였다.

실험에 사용한 레이저 다이오드(Hitachi HL6344G)의 발진 파장은 635 nm이고 출력은 10 mW이다. FPC는 FSR가 5 GHz이고 온도 변화와 같은 환경변화에 대해서도 장기적으로 10^{-8} 이상의 주파수 기준을 제공할 수 있

어야 하므로 열팽창계수가 아주 낮은 유리 (Ultra-low-expansion glass, ULE[®]) 제작하였다. 열팽창계수를 고려하면 FPC의 온도를 0.1 °C 이내로 안정화하면 10⁻⁸ 이내로 공진 주파수가 안정된다. FPC에 공진된 모드만 레이저로 되먹임되도록 만들기 위해 FPC의 입사면에서 반사된 빛은 레이저로 돌아가지 않도록 그림 1과 같은 경로의 고차모드로 정렬하였다. 발진된 주파수의 변화를 확인하기 위해 광학단절기(optical isolator) 다음에 코팅을 하지 않은 두께가 5 mm인 평면 유리를 놓고 유리의 양면에서 반사된 빛의 간섭신호를 관찰하였다. 전류 조절장치의 전류에 따라 레이저의 파장이 변하고 FPC의 공진모드에서는 그림 2와 같이 파장이 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었다. 인젝션 록킹이 유지되는 영역은 FPC 공진 주파수 근처 600 MHz 정도이고 이때 FPC의 투과 신호도 공진상태를 유지함을 확인할 수 있었다. 그림 1과 같은 간단한 장치로는 각 채널의 주파수 안정도를 측정하기 어려우므로 정성적으로만 주파수가 안정되었음을 확인하였다. LD는 100 Hz 이상의 전류 변조에서도 인젝션 록킹이 유지되고 50 GHz의 영역에서 모드 건너뛰기(mode hopping)이 없이 구동할 수 있음을 확인하였다.

고속으로 표면의 미세 구조물 형상을 측정하기 위한 PSI의 광원으로 주파수 다채널 스캐닝 레이저를 개발하였다. 이는 고속 나노 형상 측정을 가능하게 하여 대면적 표면 형상 측정에 활용될 수 있다.

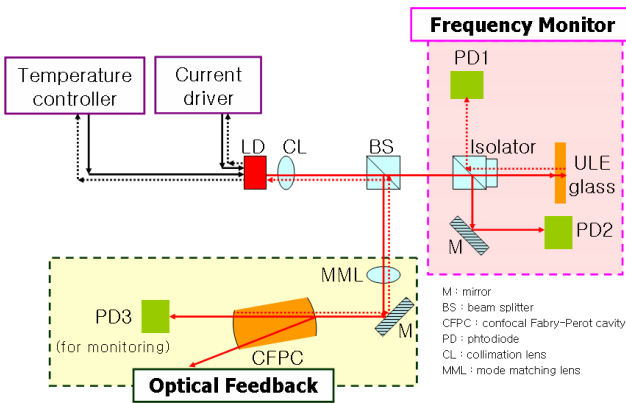


그림 1 . 실험 장치도

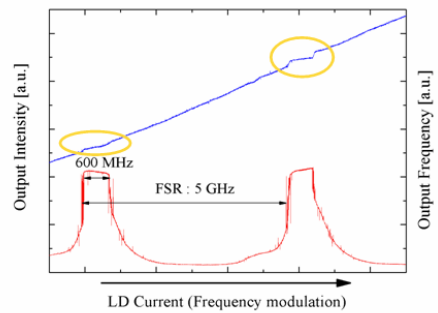


그림 2 . LD에 가해진 전류에 따른 주파수 곡선(상)와 FPC의 투과 곡선(하)

참고문헌

1. G. Kino and S. Chin, "The Mirau correlation microscope", *Appl. Opt.*, 29, 3775-3783 (1990).
2. D. Malacara, M. Servin, and Z. Malacara, "Interferogram analysis for optical testing", *Optical Engineering*, B.J.Thompson, ed., 61, 247-278 (1998).
3. Y. Bitou, H. Inaba, L. Hong F-, T. Takatsuji and A. Onae, "Phase-shifting interferometry with equal phase steps by use of a frequency-tunable diode laser and a Fabry-Perot cavity", *Appl. Opt.* 44, 5403-5407 (2005).
4. B. Dahamani, L. Hollberg, and R. Drullinger, "Frequency stabilization of semiconductor lasers by resonant optical feedback", *Opt. Lett.* 12, 876 (1987).