

공초점 원리를 이용한 현미경 자동초점조절 시스템

Microscope autofocusing system using confocal principle

박정재, 김승우

한국과학기술원 기계공학과

naoki@pem.kaist.ac.kr

현미경을 이용한 자동화된 검사 공정에 있어서 무엇보다 중요한 과정은 초점조절이며, 피 측정물의 선명한 현미경 영상을 얻기 위한 빠르고 신뢰도가 높은 자동초점조절 방법들은 일련의 검사공정에 있어서 필수 불가결한 요소로 자리 매김하고 있다. 일반적으로 널리 사용되고 있는 수동형(passive) 자동초점조절 방법은 측정물체 표면의 영상대비 정보를 이용하는 방법으로 구성이 비교적 간단하지만, 최대 대비 위치를 찾기 위한 주사과정이 필요하므로 시간 소요가 크고, 시편에 대한 의존도가 높다는 단점이 있다. 반면, 능동형(active) 방법은 보조광원을 사용하여 방향성이 실린 정보를 이용하기 때문에 수동형 방법에 비해 빠른 초점조절이 가능하지만, 별도의 검출기가 필요하고 광축 정렬이 매우 어렵다는 단점을 갖는다⁽¹⁾.

본 논문에서는 핀홀(pinhole)대신 광섬유를 사용하는 공초점 현미경 구조와 하나의 광섬유가 광원과 검출기의 역할을 동시에 수행하는 reciprocal scheme을 적용함으로써 간결하게 시스템을 구성하면서 광축 정렬을 용이하게 하였으며, 광원 변조를 통해 방향 정보가 실린 초점 오차 신호를 획득함으로써 빠른 초점조절을 가능하게 하였다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 자동초점조절 시스템을 나타낸다. LD에서 출발한 광은 2x1 coupler를 거쳐서 PZT에 고정되어 있는 광섬유 끝단으로 전파되고, 일정한 주파수와 진폭을 갖는 사인 파형으로 변조된다. 무한보정 광학계를 거쳐 측정 시편 표면에서 반사된 광은 다시 같은 경로를 통해 광섬유 끝단으로 입사되고, 광검출기를 통해 검출된다. 그림 2는 광축 방향의 위치에 따라

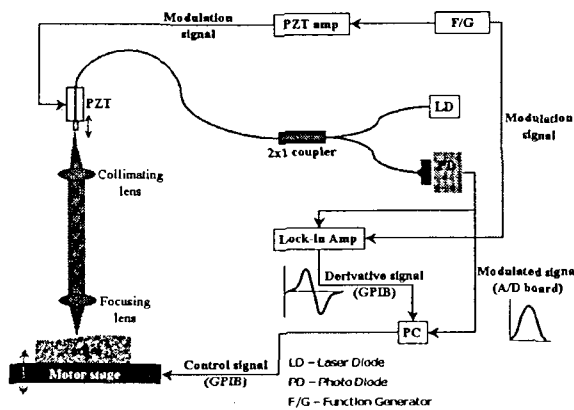


그림 1 시스템 구성도

일정한 변조 신호가 반사되어 나오는 파형의 변화를 보여주며, 종방향 특성곡선은 reciprocal scheme이 적용된 광섬유 공초점 현미경 구조에 대해서 수식적으로 유도 가능하다⁽²⁾. 반사된 변조신호는 위치에 따라 진폭의 변화를 갖게되며, 초점 위치를 지날 때 위상 반전이 이루어진다. 변조 신호와 반사된 변조 신호는 lock-in amp.의 두 입력으로 들어가게 되고, 반사된 변조 신호에 실려 있는 초점 위치에 대한 방향정보와 거리정보를 DC신호로 추출해내게 된다. 그림 3은 lock-in amp.

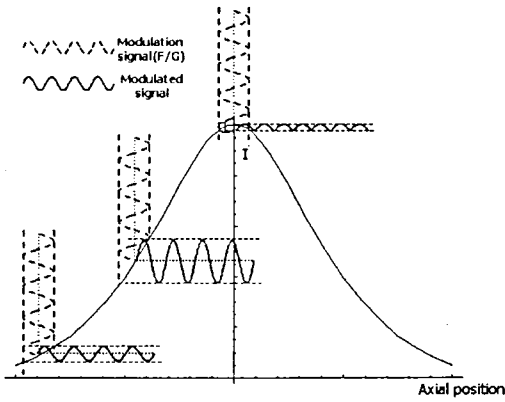


그림 2 종방향 특성곡선에서의 광원변조

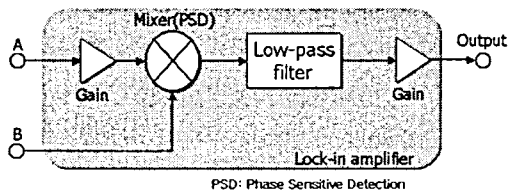


그림 3 Lock-in amp.상의 신호 처리

상의 신호 처리 과정을 보여주는데, 두 신호가 PSD를 통해 곱해진 뒤, low-pass filter를 통과하게 되면 종방향 특성곡선의 미분신호에 해당하는 초점 오차 신호를 얻을 수 있다.

그림 4는 시편으로 mirror를 사용하였을 때 얻은 종방향 특성곡선과 미분 신호를 나타낸다. 시편의 반사율과 기울기에 따라 신호의 크기는 크게 달라지게 되지만, 반사율이 상대적으로 작은 glass에 대해서도 적용이 가능한 신호를 얻을 수 있었다. 자동초점조절이 수행되는 영역은 미분 신호에서 선형적인 특성이 나타나는 20 μm 폭의 영역이며, 이 구간의 기울기가 초점조절의 민감도를 결정한다. 그림 5는 그림 4에 나타난 미분신호에 실려있는 노이즈(noise) 크기를 고려하여 초점영역을 설정하여 자동초점조절을 수행한 결과를 보여준다. 결과적으로, 초점조절이 완료된 상태에서 미분 신호는 설정된 초점영역 내로 수렴하였으며, 양 방향에서의 초점 위치 오차가 0.24 μm 으로 초점영역에 대한 오차 범위 내로 수렴하였다.

제시한 자동초점조절 시스템은 보다 간단한 구조로 빠른 자동초점조절을 수행할 수 있으며, 기존의 현미경 장치에 탑재가 용이하다. 또한 횡방향 스테이지를 도입함으로써 측정

시편의 높이 정보를 얻는 profiler로의 활용도

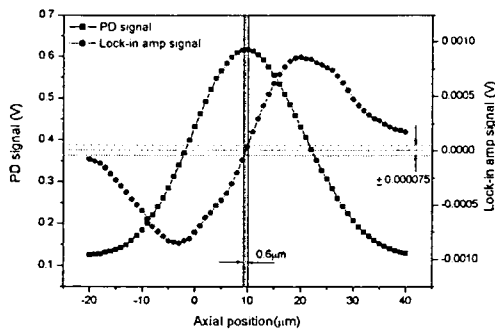


그림 4 Mirror에 대한 종방향 특성곡선 및 미분신호 가능하다.

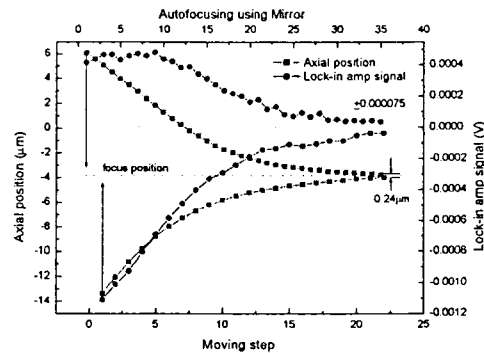


그림 5 Mirror에 대한 자동초점조절 결과

[참고문헌]

1. Ho-Jae Lee, "An Auto Focusing System for High Resolution Microscopes", 한국과학기술원 석사학위 논문(1995)
2. S.Kimura and T.Wilson, "Confocal scanning optical microscope using single-mode fiber for signal detection", Appl. Opt. 30(16), 2143-2150 (1991)