

단일 광섬유에 의한 광포획을 이용한 nano-CMM 용 프로브 개발에 관한 연구

Study on Development of the Fiber Optical Trapping Probe using Single Optical Fiber for nano-CMM

*#엄상인¹, 타카야 야스히로²

*#S. I. Eom(sieom@elm.mech.tohoku.ac.jp)¹, Y. Takaya²

¹Tohoku University, ²Osaka University

Key words : Fiber optical trapping, probing technique, nano-CMM

1. 서론

최근, 초정밀 가공기술이나 MEMS 기술등 마이크로 가공 기술이 발전함에 따라 마이크로 부품의 제작이 가능하게 되었다[1]. 그러나, 이러한 마이크로 부품을 삼차원적으로 계측하는 기술은 아직 충분히 확립되어 있지 않은 상태이다. 특히 높은 형상비를 가지고 있거나, 급사면 형상의 마이크로 구조의 계측방법에 관한 연구는 아직도 진행중인 상태이다.

일반적으로 기계부품의 형상평가에는 CMM (Coordinate Measuring Machine: CMM, 3 차원측정기)가 이용된다. CMM을 이용한 측정에서는 프로브구가 측정대상의 표면에 접촉하여 접촉점의 공간상의 좌표를 읽어내고, 이를 이용하여 피측정물의 표면형상을 측정한다. 마이크로 부품의 3 차원 형상평가에는 나노미터 수준의 분해능을 가지는 CMM, 즉 nano-CMM 이 요구된다. 이러한 nano-CMM 개발의 핵심기술로서 필요한 위치 검출 프로브는 직경 50 μ m 이하, 위치 검출 분해능 10nm 이하, 접촉시 측정력 10³N 이하의 사양이 요구되어 진다[2].

이와같은 사양을 만족하는 nano-CMM 용 프로브를 위해 본 연구에서는 광섬유 광포획 프로브(Fiber Optical Trapping Probe)를 제안한다[3,4]. 광섬유에 의한 광포획 프로브는 직경 수 μ m 광섬유의 선단을 고 N.A. (Numerical Aperture) 렌즈와 동등한 광방사장을 생성하도록 디자인한 뒤, 진구도가 높은 마이크로 구를 광포획하여 프로브로 이용하는 기술을 말한다.

2. 광섬유 광포획 프로브의 원리

단일 광섬유를 이용한 광포획의 원리를 그림 1에 나타내었다. 일반적인 광포획에서는 고 N.A. 렌즈를 이용하여 레이저를 집광 시키면, 초점 부근에서 광포획이 일어난다. 그러나 단일 광섬유를 이용한 광포획에서는 고 N.A. 렌즈와 동등한 광방사장을 생성하도록 특수하게 디자인된 광섬유 선단에서 조사하는 빛에 의해 광포획이 일어난다. 이와같은 광섬유 광포획을 이용한 프로브의 위치검출 원리를 그림 2에 나타내었다. 레이저광은 광섬유 내부를 통과하여 선단에서 출사한다. 이 출사광에 의한 광방사압에 의해 직경 8 μ m의 마이크로 구가 광포획된다. 또한 마이크로 구의 표면에서 산란, 반사한 빛은 광섬유 선단으로 재입사하여

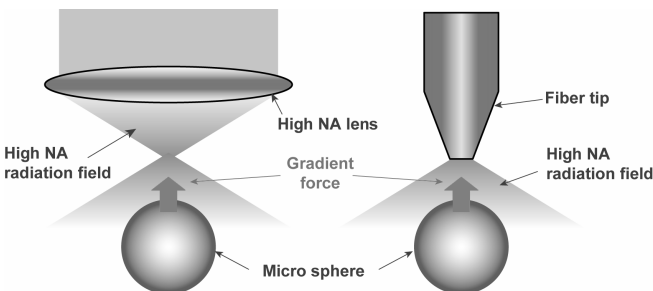


Fig. 1 Principle of fiber optical trapping

광섬유 내부에서 전파된다. 이렇게 전파된 빛은 광섬유의 반대쪽에 설치된 검출기에 의해 검출된다. 프로브가 피측정물의 표면에 접촉하지 않은 상태에서는 그림 2의 Position A에서 처럼 프로브의 중심이 광섬유의 축상에 존재 하지만, 프로브가 측정대상의 표면에 접촉하게 되면 그림 2의 Position B와 같이 프로브의 중심이 광섬유 축상에서 벗어나게 되고, 이로 인해 광섬유로 재입사하는 광량이 변하게 된다. 이와 같은 광량변화를 프로브의 접촉신호로 이용하여 위치검출 프로브로 이용하는 것이 가능하다.

3. 실험장치

실험장치의 구성도를 그림 3에 나타내었다. 광원으로는 Nd:YAG 레이저 ($\lambda=1064$ nm)를 이용하였다. 광원에서 나온 레이저는 파이버 커플러를 통과하여 싱글모드 광섬유에 입사한다. 광섬유를 통해 전파된 레이저는 증류수가 들어 있는 셀 속에 분산되어 있는 마이크로 구를 포획한다. 광섬유 선단을 통해 재입사한 빛은 반대쪽의 파워미터를 통해 측정된다. 실험장치는 셀 측면에 설치되어 있는 CCD 카

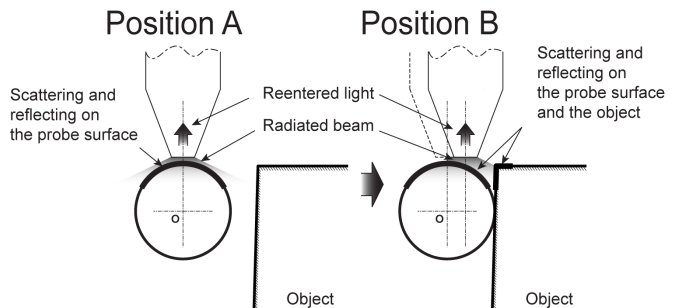


Fig. 2 Touching the probe sphere to an object changes the intensity of reentered light

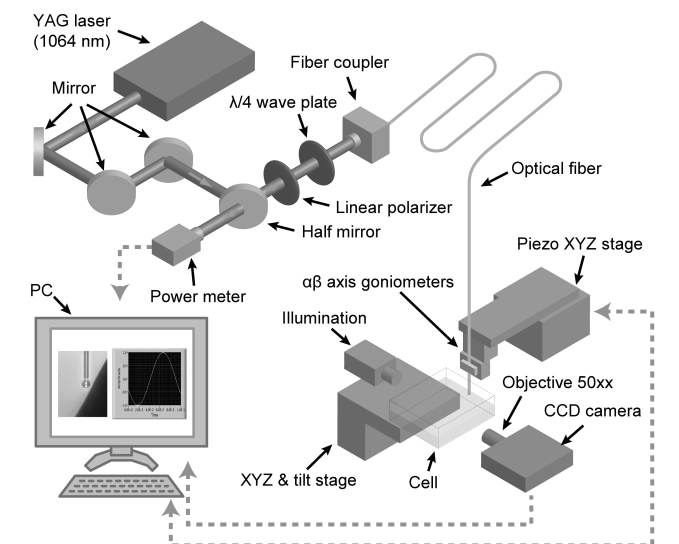


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental setup

메라를 통해 컴퓨터로 관측한다. 또한 파워미터의 신호와 피에조 스테이지는 LABVIEW 를 이용해 제작한 컨트롤러 프로그램으로 관리된다.

4. 단일 광섬유에 의한 3차원 광포획

3 절의 실험장치에서 설명한 것과 같이 광섬유 선단을 증류수가 들어 있는 셀 표면에 산포되어 있는 마이크로 구에 접근시켜 광섬유 선단에서 출사하는 빛의 광방사압으로 마이크로구를 광포획한다. 그림 4(a) 에서 보는것과 같이 셀 표면에 산포되어 있는 마이크로 구에 빛을 출사하고 있는 광섬유 선단을 접근 시키면 그림 4(b)와 같이 셀 표면의 마이크로 구가 광방사압에 의해 떠 올라 광섬유 선단에 포획된다. 이와 같이 마이크로 구가 광섬유 선단에 광포획된 상태에서는 광섬유를 이동 시키는 방법으로 마이크로 구의 위치를 3차원적으로 조종하는 것이 가능하다.

5. 광섬유 광포획 프로브의 접촉실험

2 절 광섬유 광포획의 원리에서 설명한것과 같이 제안된 프로브는 물체의 표면에 접촉하게 되면 프로브의 중심이 광섬유 축에서 벗어나서 상대적인 위치차이가 생기게 되고 그로 인해 발생한 재입사광의 변화를 측정하여 프로브의 접촉신호로 이용한다. 이 실험에서는 프로브를 직접 측정대상의 표면에 접촉시켜 접촉시의 프로브와 광섬유의 상대적 위치를 관측하여 2 절에서 설명한 내용을 실험적으로 증명한다.

우선 프로브가 측정대상의 표면에 수평방향으로 접촉할 때의 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)에 나타낸 것과 같이 프로브가 측정대상에 접촉하기 전에는 프로브의 중심이 광섬유 축상에 존재함을 알 수 있다. 그러나, 프로브가 측정대상의 표면에 접촉하게 되면 그림 5(b)에 나타낸 것과 같이 프로브의 중심은 더 이상 광섬유 축상에 존재하지 않고, 상대적인 위치 변화가 발생하게 된다.

그림 6에 프로브가 측정대상의 표면에 수직방향으로 접촉할 때의 결과를 나타내었다. 프로브가 측정대상의 표면에 접촉하기 전에는 수평방향의 접촉실험에서의 결과와 동일하게 프로브의 중심이 광섬유 축상에 존재하고 있음이 그림 6(a)을 통해 확인이 가능하다. 그러나 프로브가 측정대상의 표면에 접촉하게 되면 프로브는 진행방향인 수직방향으로는 진행하지 못하고, 횡방향으로 미끄러지는 것을 그림 6(b)에서 확인할 수 있다. 이로 인해 수직방향의 접촉에서도 수평방향의 접촉에서와 마찬가지로 프로브가 측정대상에 접촉한 후로는 프로브의 중심이 광섬유 축상에 존재하지 않고, 상대적인 위치 변화가 발생하게 됨을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 단일 광섬유에 의해 광포획된 마이크로 구를 nano-CMM 용 프로브로 이용하는 것을 제안했다. 이를 위해 광섬유 선단에서 조사되는 빛이 고 N.A. 렌즈와 동등한 광방사장을 가지도록 디자인 하였다. 또한 이렇게 디자인된 광섬유를 이용하여 구성된 실험장치를 이용하여 단일 광섬유 선단에서 조사되는 빛에 의해 마이크로 구가 포획가능함을 실험적으로 증명하였다. 또한 광포획한 마이크로 구를 프로브로 이용하기 위해 측정대상의 표면에 대한 수평방향과 수직방향의 접촉실험에서, 프로브가 접촉할 경우 프로브의 중심이 광섬유 축에서 벗어나 상대적인 위치 변화가 발생함을 관측하였다. 프로브와 광섬유축과의 상대적인 위치 변화는 광섬유 선단으로 재입사하는 빛의 강도 변화의 요인이 되고, 이 강도 변화를 이용하여 프로브와 측정대상의 접촉을 확인하는 것이 가능하다.

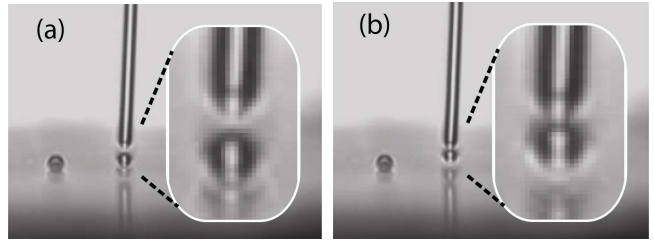


Fig. 4 CCD images of the single fiber optical trapping - (a) before and (b) after the trapping

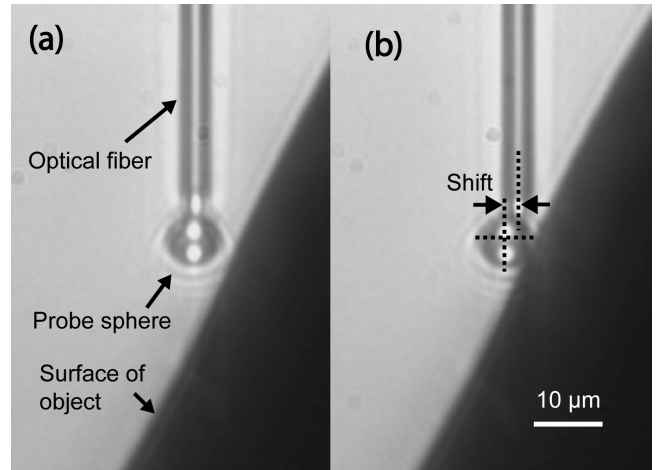


Fig. 5 CCD images of probe touching - (a) before and (b) after horizontal touching

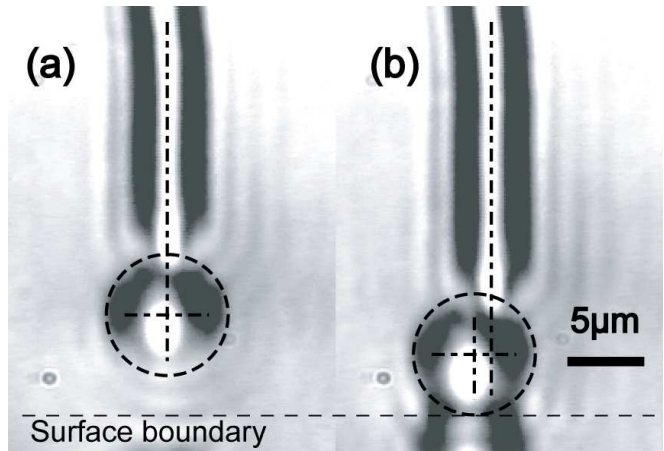


Fig. 6 CCD images of probe touching - (a) before and (b) after vertical touching

참고문헌

1. Dornfeld, D., Min, S. and Takeuchi, Y., "Recent advances in mechanical micromachining," *Annals of the CIRP*, **55**, 745-768, 2006
2. Takamasu, K., Ozawa, S., Asano, T., Suzuki, A., Furutani, R. and Ozono, S., "Basic Concepts of Nano-CMM (Coordinate Measuring Machine with Nanometer Resolution)," *The Japan - China Bilateral Symposium on Advanced Manufacturing Engineering*, 155, 1996
3. Eom, S.I., Takaya, Y. and Hayashi, T., "Novel contact probing method using single fiber optical trapping probe," *Precision Engineering*, **33**, 235-242, 2009
4. Eom, S.I., Hayashi, T. and Takaya, Y., "Fundamental study on the position detection signal analysis for the fibre optical trapping probe," *International Journal of Surface Science and Engineering*, **3**, 208-226, 2009