

회절 광학 원리를 바탕으로 한 코히어런트 광인코더

Coherent optical encoders based on diffractive optical elements

이정아, 추우성, 오민철

부산대학교 전자공학과 나노바이오 광소자 연구실

jeongah@pusan.ac.kr

현재 널리 사용되고 있는 광인코더는 LED 광원과 서터 형태의 디스크를 이용, 디스크의 회전에 의한 빛의 점멸을 포토디텍터로 검출하여 모터의 회전각도 및 속도를 측정하는 것이 일반적이다. 이러한 인코더는 모터의 회전상태를 정밀하게 측정하기 위해서 반드시 필요한 장치이지만, 일반적인 형태의 광인코더의 경우 모터의 회전 속도가 증가함에 따라 분해능이 제한을 받게 되는 문제점이 있다. 이는 분해능을 높이기 위해 서터의 크기를 작게 가져갈 경우 서터를 통과한 빛의 회절 각이 커져 포토디텍터에서 on-off 신호를 정확히 분리하여 검출하는 것이 불가능해지기 때문이다. 또한 단순한 on-off 신호의 검출만으로는 모터의 회전 방향을 알아 낼 수 없기 때문에 회전 방향에 대한 정보를 가진 전기적 신호를 형성하기 위해 부가적인 회로가 필요하다는 단점도 가진다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고 보다 나은 성능의 광인코더를 구현하기 위해 코히어런트한 광원과 회절격자를 이용해 회절 광학 원리를 바탕으로 한 코히어런트 광인코더를 설계, 제작하였다.^{[1][2]} 코히어런트 광인코더란 공간적으로 코히어런트한 광원을 사용하여 회절격자에 의한 회절광을 이용하는 광인코더를 말한다. 여기서 공간적 코히어런트한 광원을 사용하는 광원의 각각 다른 지점에서의 위상이 서로 동일한 것을 뜻하며, 따라서 공간적으로 코히어런트한 광원을 사용해야만 빛의 간섭 및 회절이 발생할 수 있다. 현재 코히어런트한 광원으로는 LD (Laser Diode) 를 비롯한 많은 저가 제품이 일반적으로 사용되고 있고 회절격자 디스크의 경우에도 나노 임프린트 기술을 이용해 공정에 소요되는 시간과 비용을 대폭 줄일 수 있다.

본 연구에서 제안된 코히어런트 광인코더의 구조는 그림 1 과 같다. 회절 광학 원리를 이용하기 위해 코히어런트한 특성을 가지는 광원인 850 nm VCSEL (Vertical cavity surface emitting laser) 이 사용되었고, VCSEL에서 나온 빛을 26 $\mu\text{m} \times 600 \mu\text{m}$ 슬릿에 통과시켜 회절격자를 새겨 넣을 직사각형의 패턴 내부에만 빛이 맞도록 하였다. 슬릿은 알루미늄이 증착된 글래스 기판위에 AZ 5214 포토레지스트를 스핀 코팅하고 포토리소그래피 공정을 통해 슬릿 패턴을 전사한 후 알루미늄을 에칭하는 방식으로 제작되었다. 다음으로, 기존의 광인코더에서 사용된 서터 형태의 디스크를 대체할 회절격자의 설계가 이루어져야 한다. 회절격자의 주기에 따라 1차 오더의 회절광이 생기는 위치가 달라지고 주기가 같더라도 회절격자의 기울어진 각도에 따라 서로 다른 위치에 회절 광을 만들어낼 수 있으므로 여러 개의 상을 발생시키는 것이 가능해진다. 그림 2 와 같이 세 개의 50 $\mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$ 직사각형 어레이 중 첫 번째 열은 4 μm 주기의 격자를 넣어 Z 상을 발생시키고 두 번째, 세 번째 열은 주기 6 μm 의 격자를 각각 60°, -60° 기울여 넣음으로써 A 상, B 상이 서로 다른 위치에 발생하도록 하였다. 850 nm 의 파장을 가지는 광원은 4 μm , 6 μm 주기의 격자에 의해 각각 12.27°, 8.144° 의 회절 각을 가지는데, 만약 회절격자 디스크로부터 7 mm 떨어진 위치에 포토디텍터 어레이를 두면, 4 μm , 6 μm 격자에 의한 회절광은 0차 오더로부터 각각 1.52 mm, 1.00 mm 떨어진 곳에 위치하게 된다. 또한 6 μm 격자에 의한 회절도 패턴의 기울어진 각도가 다르므로 결과적으로 그림 3 과 같이 서로 다른 위치에 A 상, B 상, Z 상이 발생하게 되어 포토디텍터 어레이로부터 각 상의 신호를 검출할 수 있게 된다. 실제 회절격

자는 포토리소그래피 공정을 통해 제작되는데 먼저 글래스 기판위에 SU-8 2000 포토레지스트를 730 nm 정도의 두께로 스핀 코팅하고 hot plate에서 65 °C 2분, 95 °C 2분 간 소프트 베이킹 한다. 그 후, 설계된 회절격자 패턴대로 제작한 크롬 포토마스크를 이용해 포토리소그래피 공정을 진행한다. 40초간의 UV 노광 과정을 거치고 SU-8 developer에서 40초간 develop하면 포토마스크의 회절격자 패턴이 SU-8층에 전사된 것을 확인할 수 있다.

완성된 회절격자를 마이크로 스테이지에 장착하여 제안된 광인코더의 특성을 측정해 보았다. VCSEL에서 나온 빛은 먼저 슬릿을 통과하게 되는데 이는 빛이 회절격자에 도달했을 때 빛의 크기가 커서 두 상이 동시에 on 이 되는 것을 막아주기 위해 필요하다. 회절격자에 의한 빛의 1차 회절광을 측정할 수 있도록 적절한 거리에 포토디텍터 어레이를 위치시킨 후 마이크로 스테이지를 천천히 이동시키면 그림 4 와 같은 출력을 얻을 수 있다. 회절격자 어레이가 이동함에 따라 회절광의 파위는 일정한 주기를 가지고 최대값과 최소값을 오가는 사인파형으로 나타나고 A, B상의 회절격자가 1/4주기 만큼 어긋나 있으므로 출력파형도 마찬가지로 90 ° 위상차를 가지게 된다. 각 상의 출력파워 변화를 비교하면 회절격자 디스크의 회전거리와 속도를 알 수 있고 이를 통해 모터의 회전상태를 파악하고 제어할 수 있다.

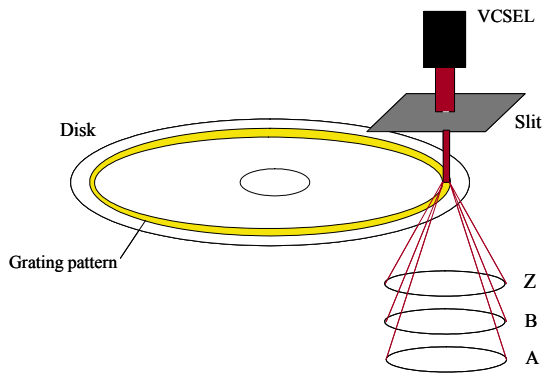


그림 1. 회절격자 디스크를 이용한 광인코더의 구조

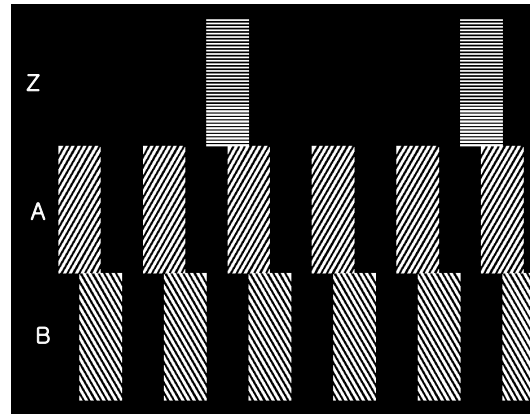


그림 2. 설계된 회절격자 패턴

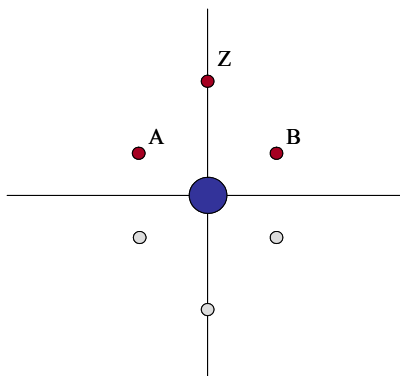


그림 3. 회절격자에 의한 1차 회절광의 위치

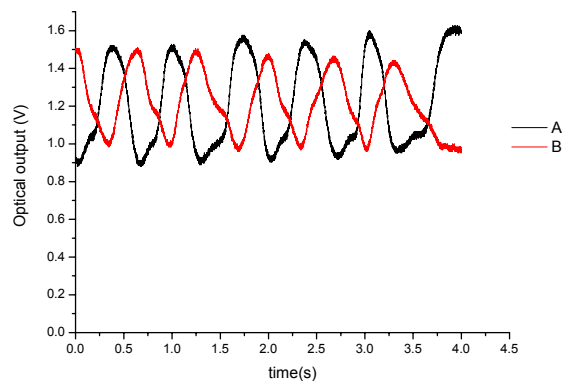


그림 4. 회절격자패턴의 이동에 따른 포토디텍터의 출력파형

References

1. Jun Akedo, Yoshiaki Kato, Hiroshi Kobayashi, Appl. Opt. 32, 2315 (1993)
2. Hiroshi Miyajima, Eiji Yamamoto, Kazuhisa Yanagisawa, Sens. Actuators B 60, 148 (1999)