

비틀린 광섬유를 이용한 전류센서 민감도 향상

Sensitivity improvement of optical current sensor using a twisted optical fiber

추우성* , 송재은**, 김태흥**, 오민철*

*부산대학교 전자공학과 NB-Photonics Lab, **(주)정관(www.jeongkwan.co.kr)

E-mail : woosung@pusan.ac.kr

최근 반도체 부품 산업 중 리드 프레임 시장은 환경규제 정책으로 인해 납 대신 팔라듐-금(Pd-Au) 등의 합금도금들로 전환 중 이다. 납을 대체하는 물질들은 고가의 귀금속 이므로 도금에 대한 비용부담이 매우 크다. 따라서 초박막 도금이 요구 된다. 금속이온은 전류원의 파형 및 주파수에 따라 도금되어 지고 품질 또한 다르게 나타나므로 초박막 도금을 위해 초정밀, 초고속 펄스 제어가 가능한 전류원이 필요하다. 초정밀, 초고속 전류원을 만들기 위해서는 고속 전류를 측정하기 위한 전류센서가 필요하게 된다. 본 연구에서는 이를 위하여 광섬유 전류센서를 제작 실험 하였고 그 결과를 보고 한다.

광섬유 전류센서의 기본원리는 선 편광된 빛이 자계와 평행한 방향으로 진행할 때 선형 편광의 각도가 자계의 크기에 비례하여 변화하게 되는 Faraday effect를 이용하게 된다. 자계에 의해변화 되는 편광각도의 변화 θ_f 는 아래의 수식으로 간략히 표현된다.

$$\theta_f = V \int_l H dl = VIN$$

이 식에서 I 는 전류세기, H 는 전류에 의해 발생하는 자기장의 세기, l 은 전류를 센싱하는 광섬유의 길이, N 은 전선을 감사는 광섬유 턴 수, V 는 물질의 자기적 특성을 나타내는 양으로 Verdet constant라 한다. 본 실험에서는 실리카 재질로 만들어진 광섬유를 사용하였고 1310nm 파장을 가지는 광원을 사용하였다. 따라서 $V=1 \times 10^{-6} \text{ rad/A}$ 인 Verdet constant를 가진다⁽¹⁾. 현재 광통신에서 가장 많이 사용하고 있는 파장대가 1310 nm, 1550 nm이다. 이러한 파장 대에서 동작하는 소자를 사용하여 저렴한 가격으로 센서를 제작할 수 있다. 전류센서는 그림1과 같이 구성 하였으며 전류를 센싱하는 광섬유 코일은 지름 10 cm인 플라스틱 원형 틀에 광섬유를 16turn 감아서 제작 하였다. 또한 전류 센서의 sensitivity를 높이기 위하여 광섬유 코일에 전선을 6회 감는다. 광섬유가 가지고 있는 선 복굴절은 전류센서의 민감도를 줄이는 역할을 하므로 최소화 시키는 것이 전류센서에서 가장 중요한 부분이다. 선 복굴절을 줄이는 방법으로 광섬유를 twist, Faraday rotator mirror를 사용, 광섬유를 annealing하는 방법 등 다양한 방법이 있다. 그러나 본 실험에서는 전류센서를 저가로 제작하기 위해 광섬유를 twist시켜 Faraday effect에 의해 생성되는 원형 복굴절을 증대시키고 상대적으로 선 복굴절이 감소 될 수 있도록 했다⁽²⁾. 선 복굴절에 의한 retardation(ρ)과 전류센서의 민감도(S)를 간단한 식으로 아래와 같이 나타낼 수 있고 본 실험의 조건들을 아래의 식에 대입하면 그림2와 같은 그래프로 나타낼 수 있다⁽³⁾.

$$S = \frac{dS}{dI} \Big|_{I=0} = 2VN \frac{\sin \rho}{\rho}$$

전류에 의해 선 편광이 회전된 광 신호는 2개의 Photo detector에 입력되어 전기적인 신호로 출력된다. 이 두 개의 출력 신호는 아날로그 회로(비교기+증폭기)에 의해 센서의 전반부에서 생성될 수 있는 잡음

제거, 하나의 전기적인 신호로 변화 그리고 신호를 증폭시켜 전류에 의해 변화된 편광을 그림3과 같이 확인할 수 있다. 광섬유를 twist 안 한 상태에서 광섬유 코일을 제작하여 전류센서의 특성을 측정한다. 다음 광섬유코일의 광섬유를 풀어 미터 당 10회 twist 하고 동일한 방법으로 광섬유 코일제작과 전류센서의 특성을 측정 하였다. 광섬유를 제작하는 과정에서 광섬유마다 특성이 조금씩 다를 가능성을 배제하고 twist에 대한 영향만을 확인하기 위해서 이와 같은 방법으로 실험 하였다. 그림4에서 확인할 수 있듯이 광섬유를 twist했을 때가 안했을 때 보다 약 2배정도의 민감도가 좋아 지는 것을 확인할 수 있었다.

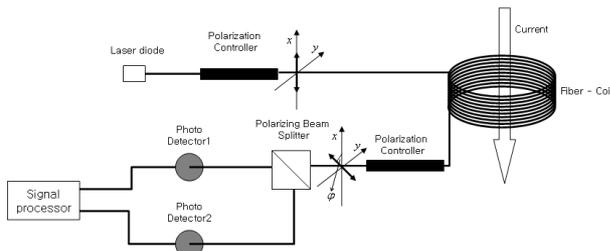
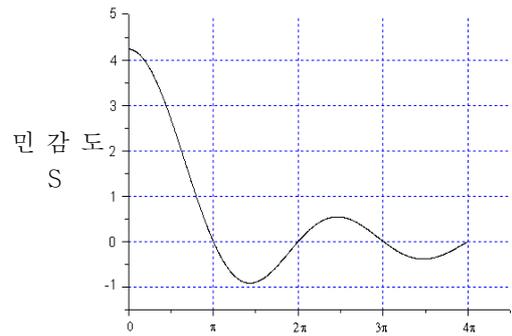


그림1. 광섬유전류센서의 구성도



광섬유의 선 복굴절에 의한 retardation

그림2. retardation에 의한 전류센서의 민감도

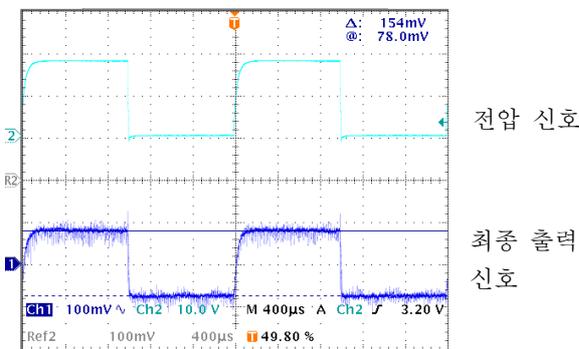


그림3. 전류세기에 따라 변화된 편광상태를 2개의 photo detector에서 전기적인 신호로 변환시켜 아날로그회로를 통해 출력된 센서의 최종 출력 신호와 실제 전류에 따른 전압 신호.

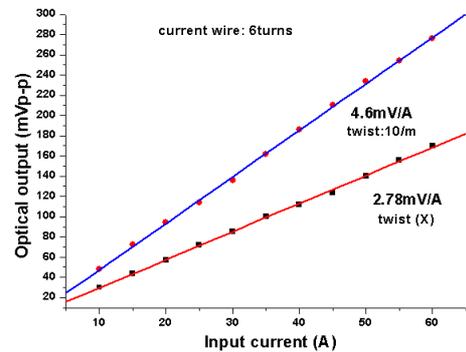


그림4. 광섬유의 twist에 따라 전류센서 민감도의 변화

[1] A. H. Rose, S. M. Etzel, and C. M. Wang, J. Lightwave Technol., vol. 15, pp. 803–807 (1997).
 [2] A. H. Rose, Z. B. Ren, and G. W. Day, J. Lightwave Technol., vol. 14, pp. 2492–2498 (1996).
 [3] Dingding Tang, A. H. Rose, G. W. Day, Shelley M, Etzel, J. Lightwave Technol., vol. 9, pp. 1031–1037, (1991).