

# 고품질 도금 장치 전류원 제어를 위한 광섬유 전류센서 Fiber-optic Current Sensors for controlling the current Source of high quality electro-plating system

추우성\*, 송재은\*\*, 김태홍\*\*, 오민철\*

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

[woosung@pusan.ac.kr](mailto:woosung@pusan.ac.kr)

반도체 부품 산업 중 리드 프레임 시장은 전 세계적인 환경규제 정책으로 인해 납을 사용하지 않는 방향으로 급속하게 전환되고 있다. 새롭게 각광받고 있는 납 대체 물질로 팔라듐-금(Pd-Au) 합금도금으로 전환 중 이나 고가의 귀금속 도금에 대한 부담으로 초박막 도금을 요구하게 된다. 금속이온은 전류원의 파형 및 주파수에 따라 도금 되어지고 품질 또한 다르게 나타나므로 초박막 도금을 위해 초정밀, 초고속 펄스 제어가 가능한 전류원이 필요하다. 즉 더 높은 주파수의 펄스 전류를 이용하면 보다 나은 도금 품질을 실현할 수 있다. 초정밀, 초고속 전류원을 만들기 위해서는 고속 전류를 측정하기 위한 전류센서가 필요하게 된다. 본 연구에서는 이를 위하여 광섬유 전류센서를 개발 하고자 한다.

광섬유 전류센서는 선형 편광된 빛이 자계와 평행한 방향으로 진행할 때 선형 편광의 각도가 자계의 크기에 비례하여 변화하게 되는 Faraday effect 를 이용하게 된다. 광섬유를 이용하면 빛의 진행 방향과 전선에서 발생하는 자계의 방향을 일치하게 만들어 주기가 용이하다. 그리고 변화 되어지는 선형 편광각의 크기를 증폭하기 위하여 광섬유를 전선을 감싸는 방향으로 여러 번 반복하여 감아준다. 이와 같은 원리로서 나타나는 편광각도의 변화  $\theta_f$ 는 아래의 수식으로 간략히 표현된다.

$$\theta_f = VIN$$

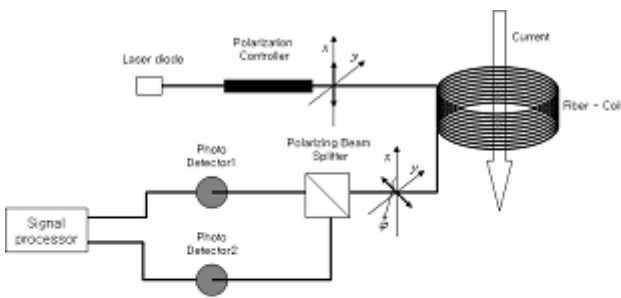
이 식에서  $V$ 는 물질의 자기적 특성을 나타내는 양으로 Verdet constant라 한다. Verdet constant는 물질에 따라 빛의 파장에 따라 틀린 값을 가지게 된다. paramagnetic이나 ferromagnetic 물질 일 경우 diamagnetic 물질에 비해 큰 값을 가지지만 온도에 의한 의존성이 강하게 나타나고 단 파장 대로 갈수록 Verdet constant가 큰 값을 가지게 된다. diamagnetic 물질인 실리카 재질로 만들어진 광섬유는 630 nm 파장에 대하여  $V = 4.68 \times 10^{-6} \text{ rad / A}$ 인 Verdet constant를 가진다<sup>(1)</sup>.

본 실험에서는 고속 광섬유 전류센서의 기본적인 동작특성을 확인하기 위하여 가장 간단한 광 부품들을 사용하여 전류센서를 구성 하였다. 장파장에 비하여 Faraday effect 가 크게 나타나는 단파장 630 nm 광원을 이용하였다. 제작한 광섬유 전류센서의 구성 도는 그림 1 에서 나타낸다. laser diode (LD)에서 나오는 선편광 빛은 polarization controller (PC)를 통과하여 원하는 편광 상태로 만들어진다. PC 에 의해 편광이 변화된 빛은 fiber-coil 의 입력으로 들어가고 전류(I)에 의해 생성 되어진 자기장의 영향을 받는 Faraday effect 가 발생되어 출력광의 편광은  $\theta_f$ 만큼 변화 되어진다. 그리고 이 빛은 polarization beam splitter (PBS)를 거치면서 두 가지 성분으로 나누어진다. 이 두 빛들은 photo-detector (PD)의 입력으로 들어가 빛의 세기에 비례하는 전압을 발생 시킨다. fiber-coil 은 optical fiber 10 m를 지름이 10cm인 틀에 36 회 감는다. 전류원의 최대출력은 60A 이고 전류 센서의 sensitivity 를 높이기 위하여 fiber-coil 에 전선을 6 회 감는다.

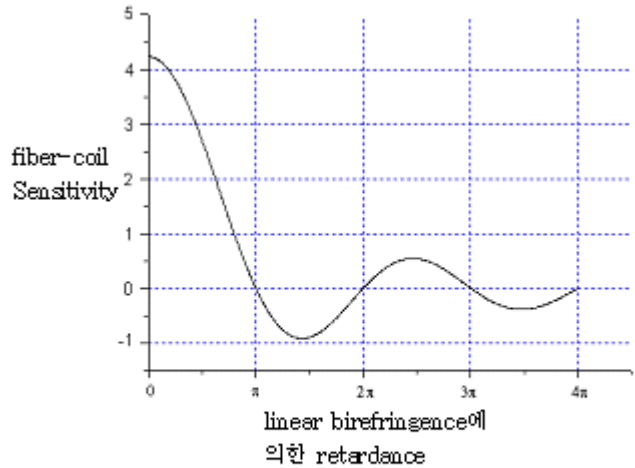
Optical fiber에는 고유의 linear birefringence가 있으며 이로 인해 전류센서의 sensitivity를 감소시키는 문제가 발생한다. 이 현상은 Faraday effect와 linear birefringence이 동시에 존재하는 광학 시스템의 해석을 통하여 설명이 가능하며 그림 2 에서 나타낸 것과 같은 특성을 가진다<sup>(2)</sup>. 이와 같은 lin

**한국광학회 하계학술발표회**

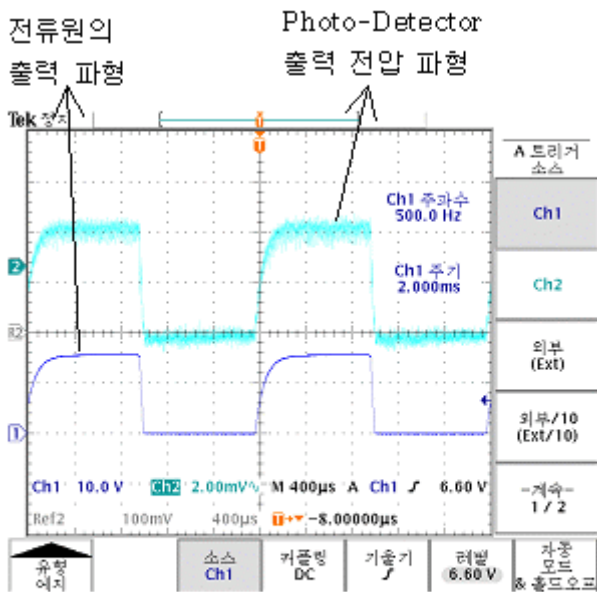
ear birefringence 영향을 감소시키기 위해 fiber를 twist시킨 상태에서 Coil을 제작 하는 방법이 제안 되었다<sup>(3)</sup>. 전류원에서 fiber-coil 사이로 전류를 흘리게 되면 그림 3 에서 보인바와 같은 출력 파형을 확인 할 수 있다. 그림 4 에서는 전류원에서 출력 되어지는 전류의 세기에 따라 광섬유 전류 센서의 출력이 선형적으로 나타나는 것을 보이고 있다. Optical fiber를 twist시킨 경우 전류 센서의 sensitivity가 8 배 가량 증가하는 것을 확인할 수 있었다.



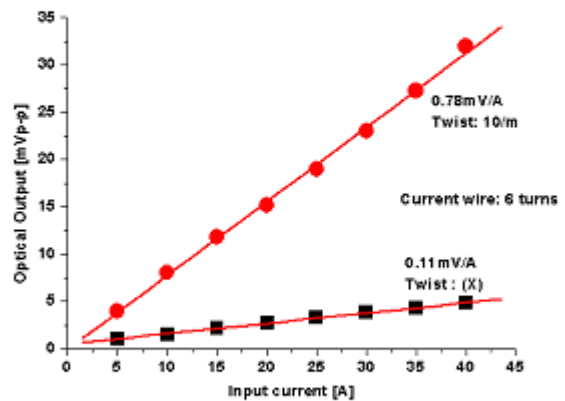
<그림1: 광섬유 전류센서의 schematic>



<그림2: retardance에 의한 fiber-coil의 sensitivity>



<그림3: 전류 신호를 검출한 photo-detector 출력 전압 파형>



<그림4: 전류 세기에 따른 광섬유 전류센서의 출력 전압>

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