'88 추계학술대회
'88 — F — 9

BSO 및 ZnSe 단결정을 이용한 광응용 전류 측정에 관한 연구

김 요희, 김관호, 김영수, 박해수
한국전기연구소 전력전자연구부

A study on optical current measurement using $Bi_{12}SiO_{20}$ and ZnSe single crystals.

Y.H.Kim, K.H.Kim, Y.S.Kim, H.S.Park
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

In this paper, we describes Faraday effect of BSO and ZnSe single crystals.

By using intensity modulation, we detected Faraday angle of light beam in these crystals and our current measurement system shows excellent linear characteristics by setting up circular core on a conductor.

1. 서 론

광의 기본 특성 가운데 전기적 절연, 전자파로부터의 면역, 방폭성 등이 전력계통의 전류, 전압 계측 및 제어분야에서 원격 센싱 및 제어가 가능하게 한다.

본 논문에서는 자기광학효과를 가지는 $Bi_{12}SiO_{20}$ 단결정을 광전류센서로 사용하여 실험하고 결과를 통해 광전류 센서 및 이러한 시스템의 실제 응용 가능성을 검토하고자 한다.

그리고 센싱효과를 높이기 위해 $Bi_{12}SiO_{20}$단결정과 같이 자기광학효과를 가지는 ZnSe 단결정을 함께 사용하였다.

2. 원 리 및 결 과

전류에 의해 생기는 자계를 측정함으로써 전류를 측정할 수 있다. BSO 및 ZnSe Faraday 결정을 자계중에 설치하여 결정의 내부를 통과하는 광 Beam의 방향이 자계가 존재하는 방향과 일치시킨다.

이때, 광 Beam의 편광면이 자계의 강도와 결정의 길이의 곱에 비례하여 회전한다. 이 회전각을 검출함 으로써 자계측정이 가능하고, 여기서 전류를 산출할 수 있다. 회전각 Θ는 다음식과 같다.

$$\Theta = V \int_0^L H_L \, dl \qquad (1)$$

여기서, H_L : 자계의 광축방향 성분
L : Faraday 소자의 광로장
V : Verdet 정수

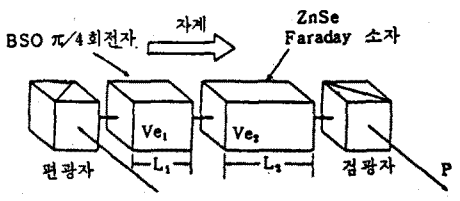

그림 1 자계센서의 구조

그림 1에서 보면 편광자, BSO소자, ZnSe소자, 검광자 순으로 배열되어 있는데 편광자는 편평한 빛을 선형편광된 빛으로 만들어 주고 BSO소자는 광학 바이어스(Optical bias) 및 Faraday 효과 소자로 사용 되고, ZnSe는 Faraday 효과 소자로 쓰이며 검광자는 선형편광된 빛의 광강도 변조 분석용이다.

여기서 BSO의 선광성(Optical Rotatory Power)은

표 1 BSO 및 ZnSe 단결정의 광학특성

	B S O	ZnSe
Verdet Constant (mim/Oe.cm)	0.1	0.15
Optical Rotatory Power (deg/mm)	10.5	-
온 도 특 성 (-20 °C ~ 60 °C)	< 0.6	
사 용 파 장 (μm)	0.87	0.87

표1과 같이 0.87μm의 파장에서 10.5 °/mm 로서 π/4 만큼의 광학 바이어스를 주기 위해서 4.3mm의 길이로 사용한다. 이와같이 BSO소자의 선광선을 이용하면 검광자를 π/4만큼 회전시키지 않아도 일정한 파장의 광에 대하여 45 °회전자의 광학 바이어스 역할을하고 있다.

(1)식을 적용하여 회전각 Θ를 구해보면

$$\Theta = V_1 HL_1 + V_2 HL_2 \qquad (2)$$

이고 전류 I가 흐르는 전선에서 r의 거리에서의 자계강도 H는

$$H = I/2\pi r \ (AT/m) \qquad (3)$$

로 표시된다.

여기에서는 센서에 미치는 자계강도를 높이기 위해 투자율이 큰 원형 코아를 이용하여 센서들을 코아의 공극에 설치 실험하였다. 코아의 공극에 생기는 자계의 세기 Hg는

$$H_g = \frac{\mu}{l + \mu l_g} \qquad (4)$$

l : 코아의 길이

l_g : 공극의 길이

μ : 코아의 투자율

(4)식에서 투자율이 1000이상에서는 공극에서의 자계 세기가 거의 일정하므로 온도나 주파수에 의해서 투자율이 변하더라도 1000이상의 값만 유지하면 자계세기의 변화는 무시할 수 있다.

실험에서 사용된 코아는 내경이 5Cm 이고 외경이 9Cm 이며 공극의 길이는 3Cm인 것을 사용하였다. 따라서 Hg는 약 33I(AT/m)가 되며 I가 1000A일 경우 Hg는 33000(AT/m)가 되고 $4\pi \times 10$ 을 곱하여 Oe로 환산하면 약 414.7 Oe가 된다. 이 값을 (2)식에 대입하면 Θ는 약 52.04 min의 값을 가짐을 알 수 있다. (L :5.5mm 사용)

피측정 전류에 의해 생기는 회전각 Θ에 따르는 광강도 변조된 값을 PIN-PD로 받아 O/E 변환기를 이용하여 전기신호를 검출하여 측정한다.

Faraday 회전각 Θ에 의해 생기는 광강도 값은

$$P = PrKd \cos^2(\Theta o + \Theta)$$

$$= 1/2\ PrKd\ [1 - \cos^2(\Theta o + \Theta)] \qquad (5)$$

여기서 Pr은 수광광강도,Kd는 광검출기의 정수이며 Θo는 검광자와 편광면이 이루는 각이다. (5)식에서 1/2 PrKd를 초기광강도 즉, 전류가 0일 경우의 광강도 Po로 다시 쓰고, Θo는 BSO의 선광성을 이용하여 π/4의 값을 가지게 하였다.

따라서 (5)식을 다시쓰면

$$P = Po\ (1 + \sin 2\Theta) \qquad (6)$$

이 되고, sin2Θ는 변조도 m을 나타낸다.

전류가 1000A일 경우 변조도 m은 0.03정도가 되고 P의 값은 약 1.03Po가 됨을 알 수 있다. 이러한 값의 광강도 변화를 O/E 변환기를 통해 검출된 출력값은 다음 표와 같다.

표 2 전류 측정 결과

전 류 (A)	출 력 치 (Vrms)	출 력 치(Vmax)
100	0.5	0.70
200	1.0	1.41
300	1.51	2.14
400	2.02	2.85
500	2.58	3.60
600	3.18	4.50
700	3.56	5.05
800	4.07	5.75
900	4.54	6.45
1000	5.04	7.15

여러단의 교류 증폭단을 거쳐 측정한 결과의 값이며, 다음에 보인 파형들은 여러가지 입력전류에 대한 출력파형들이다.

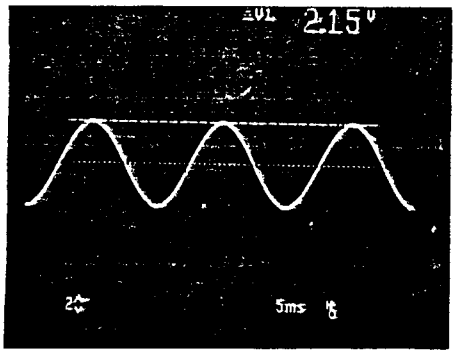

그림 2 300A 입력시의 출력 파형

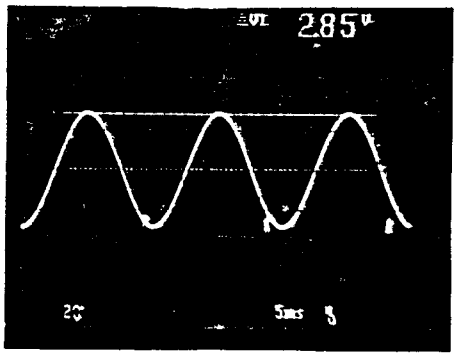

그림 3 400A 입력시의 출력 파형

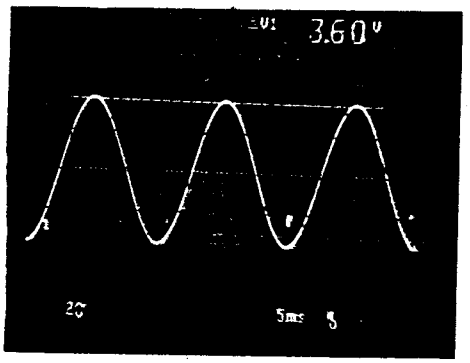

그림 4 500A 입력시의 출력 파형

사진에 나타난 파형들의 주기는 60H 이며, 두 점선 사이의 값은 표 2의 전류측정결과에 Maximum 값에 해당한다.

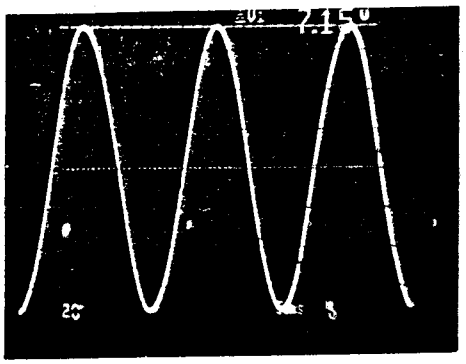

그림 5 1000A 입력시의 출력 파형

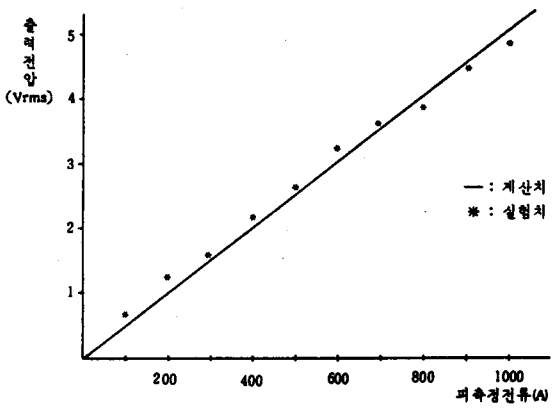

그림 6 입-출력 특성 그래프

3. 결 론

자기광학효과를 가지는 BSO와 ZnSe 단결정을 동시에 적용하여 전류측정의 결과를 보임으로써 이러한 광전류 센서의 전류측정 응용에 대한 가능성에 관심이 모아지리라 본다. 좀더 우수한 광학특성을 가지는 광센서 및 신호처리부의 보완연구로 더 큰 전류 측정과 정도 향상을 기대 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] A.J.Rogers, "Optical technique for measurement of current at high voltage",Proc. IEE, Vol.120, No.2, pp261-267, 1973

[2] F.A.Jenkins and H.E.White, "Fundamentals of Optics" Mcgraw hill, New York, 1976

[3] A.Yariv and P.Yeh, "Optical Wave in Crystals" John Wiley and Sons, New York, 1984

[4] K.Kyuma, et al, "Fiber optic measuring system for electric current by using a magnetooptic sensor" IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. QE-18, No.10, pp1619-1623, 1982

[5] S.Ihara, et al, "The Development of BSO/Fiber -Optic Magnetic Field and Voltage Sensors" Sumitomo Electric Technical Review, No.23, pp175-184, January 1984

[6] 森田 "コア形 光CTの 開發" 電氣學會 計測研 資料

[7] 김 요희 외, "전력용 광계측 개발연구(II)" 과학 기술처 연구보고서, 1988

본 연구는 과학기술처 특정연구개발 사업의 연구 결과 중 일부임.