

퇴막임 혼성 광 간섭계에서의 편광 광쌍안정

김성규 · 유영훈 · 임동건

고려대학교 물리학과

(1990년 12월 3일 받음)

편광 광쌍안정을 연구하기 위하여 서로 직교하도록 편광된 두빛이 다른 광경로를 가지고, 각 광도정이 각 편광된 빛의 세기에 비례해서 변하는 케환구조를 갖는 간섭계를 구성하였으며, 이 계에서 편광 광쌍안정에 대한 간단한 수식을 유도하였다.

실험결과 유도된 식에서 예측한 빛세기 변화에 의한 편광 광쌍안정과 초기위상 변화에 따른 편광 광쌍안정이 관측되었다.

I. 서 론

광학적 비선형성과 케환구조의 결합으로 일어나는 광쌍안정(optical bistability)은 광논리회로, 광펄스회로, optical switch,^[1] 광기억소자등에 사용될 수 있다.

광쌍안정은 1969년 Szoke, Seidal^[1]에 의해 최초로 예언된후 Dispersive 광쌍안정이 Gibbs^[2]에 의해서 관측되었고 흡수 광쌍안정은 Bonifacio와 Lusiato^[3]에 의해 관측되었다.

최근에는 쌍안정 상태가 광의 강도가 "on", "off"인 상태보다 직교성을 갖는 편광상태로 "on" "off"가 이루어지는 계에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이런 편광 쌍안정은 1975년 Watrasiewicz^[4]가 빛의 편광은 두개의 고유한 상태를 가지므로 2진 논리에 적합하다고 발표한후 많이 연구되었고 최근 Chen과 Liu^[5]는 InGaAs/InP Laser에서 편광 광쌍안정을 관측하였다.

광세기에 의해서 논리상태가 변할때는 빛의 흡수나 방출이 일어나므로 에너지 손실과 열발생이 생긴다. 그러므로 냉각이 필요하고 이 냉각비가 논리변화의 속도를 제한한다. 그러나 편광 광쌍안정에서는 이러한 문제물 거의 제거할 수 있다.^[6]

본 실험에서는 편광방향이 서로 직교하는 두편광된 빛의 광로차가 각각의 빛의 세기에 따라 변하는 케환구조를 갖는 간섭계를 구성하여 입사빛의 세기와 초기 위상에 따른 편광 광쌍안정을 연구하였다.

II. 실험 장치 분석

케환을 이용한 편광 광쌍안정 실험을 위해 그림 1)과 같은 기본 실험 장치^[7]를 구성하였다.

이 계에 대한 이해를 위하여 수식적 표현을 하면 광분활기 1(BS1)을 지나 편광 광 분활기 (PBS: Polarization Beam Splitter)로 입사되는 입력광은 \hat{x}, \hat{y} 를 PBS의 두 편광 상태의 단위 벡터로 표현할 경우

$$E_1 = \left(\frac{I_a}{2}\right)^{1/2}(\hat{x} + \hat{y}) \quad (1)$$

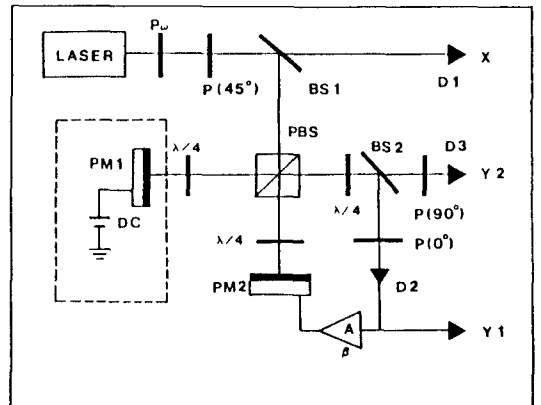


그림 1. 편광 광쌍안정 실험장치. P: 편광기 PSB: 편광 광분활기 BS: 광분활기 A: 증폭기 D: 광측정기 $\lambda/4:\lambda/4$ 판, PM: 거울.

로 쓸수 있다.

이후 PBS를 경유해 \hat{x} , \hat{y} 편광 각각 거울 1(PM1)과 거울 2(PM2)로의 경로를 왕복한 후 PBS로 부터 나올 때의 표현식은 거울 1 측과 거울 2 측의 거리를 각각 L_1 L_2 라 할 때

$$E_2 = \frac{I_0^{1/2}}{2} (\hat{x} + \exp(i\alpha)\hat{y}) \quad (2)$$

$$\alpha = (2(L_1 - L_2)/\lambda)2\pi \quad (3)$$

이다. 이후 제 3의 $\lambda/4$ 파장판을 지난후의 전기장 표현식은 Johns matrix를 사용하면

$$E_3 = \frac{(I_0)^{1/2}}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(i\alpha) \end{bmatrix}$$

로 표현되며 $\hat{x}=0^\circ$, $\hat{y}=90^\circ$ 일때 $P(0^\circ)$, $P(90^\circ)$ 를 지난후의 빛의 강도는

$$I(0^\circ) = |E_x|^2 = \left| \frac{(I_0)^{1/2}}{2} (1 - \sin\alpha + i \cos\alpha) \right|^2 = \frac{I_0}{2} (1 - \sin\alpha) \quad (5-1)$$

$$I(90^\circ) = |E_y|^2 = \left| \frac{(I_0)^{1/2}}{2} (\cos\alpha + i(1 + \sin\alpha)) \right|^2 = \frac{I_0}{2} (1 - \sin\alpha) \quad (5-2)$$

이 된다. 이러한 출력 강도 (output intensity)가 광 검출기 D2 또는 D3를 거치면서 전압으로 변환되고 이 전압이 증폭되어 Piezo-Ceramic (PM1)로 재환된다. α_0 를 초기위상차라고 하면

$$\alpha = \alpha_0 + \{\beta I(0^\circ)\} \times \mu \quad (6)$$

이 된다. 이때 β 는 증폭기의 전압증폭율이고 $\beta I(0^\circ)$ 는 증폭기의 광세기에 비례하는 전압을 나타내며 μ 는 전압과 위상에 대한 비례상수이다.

III. 편광 광쌍안정성

그림 1)의 계의 행동을 기술하는 연관된 두 수식 (5-1), (6)을 동시에 만족하는 해에 따라서 계의 상태가 결정된다. 따라서 (5-1), (6)식을 적절히 다시 쓰면

$$y = 2 \frac{I(0^\circ)}{I_0} = 1 - \sin\alpha \quad (5-1')$$

$$y = 2 \frac{I(0^\circ)}{I_0} = 2 \frac{\alpha - \alpha_0}{\mu \beta I_0} \quad (6')$$

가 되고 이 두 방정식이 동시에 만족하는 해를 그림해 방법^[6] (Graphical solution method)을 이용해 구할 수 있으며 이 방법에 의하여 계의 두 변수, 즉 입력광의 세기와 초기 위상차의 변화에 따라 구하는 과정을 그림 2), 3)에 나타내었다.

위에서 구한 해의 안정성을 판단^[1]하여 보면 그림 2),

그림 3)에서 해의 안정성은 $\frac{I(0^\circ)}{I_0}$ 와 $\frac{d}{d(I_0)} (1 - \sin\alpha)$

의 부호와 크기에 의존하며 $\frac{I(0^\circ)}{I_0} - \frac{d}{d(I_0)} (1 - \sin\alpha)$

< 0 일때는 해가 불안정하게 된다.

이러한 이유로 인하여 그림 2), 3)에서 점선으로 표

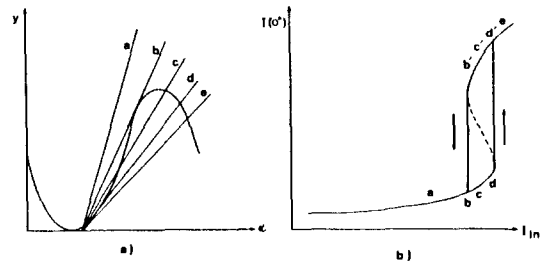


그림 2. 입력 광세기변화에 따른 편광 광쌍안정. $I(0^\circ)$. $I_{in} = 0 - 6.3$ rad. $\beta = 1$. $\alpha_0 = 2.01$ rad. a) 그림해 b) 편광 광쌍안정 $I(0^\circ)$.

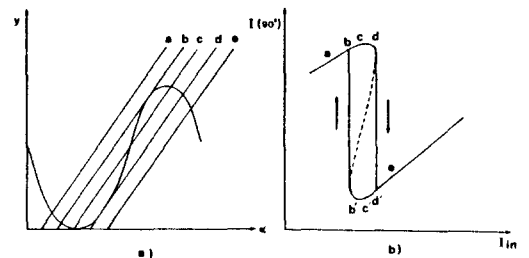


그림 3. 초기위상변화에 따른 편광 광쌍안정 $I(90^\circ)$. $I_{in} = 6.3$ rad. $\beta = 1$. $\alpha_0 = 2\pi$ rad. a) 그림해 b) 편광 광쌍안정 $I(90^\circ)$.

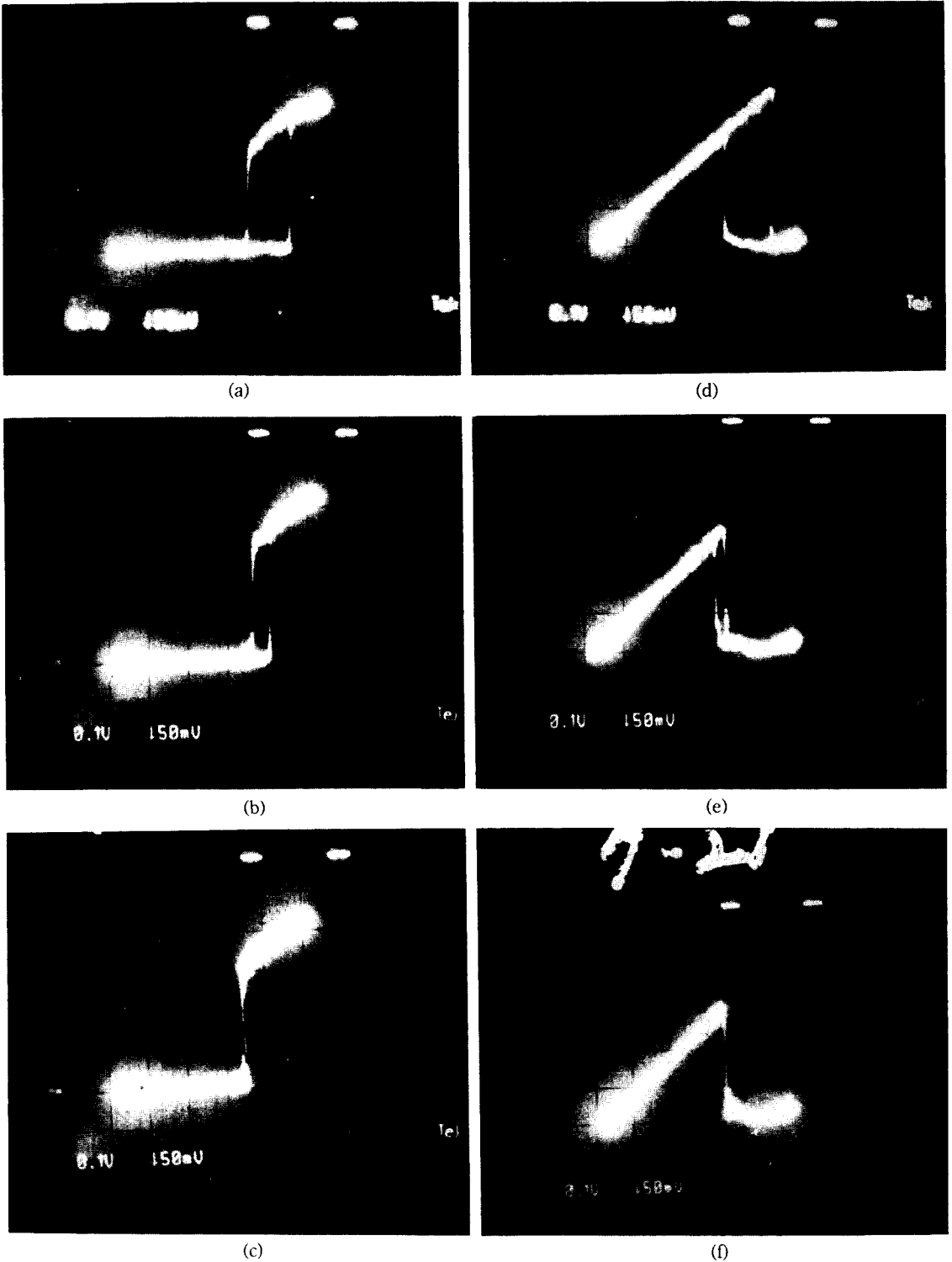


그림 4. 입력 광세기변화에 따른 편광 광쌍안경. $\beta=9^\circ$: a,b,c= $I(0^\circ)$: d,e,f= $I(90^\circ)$: a),d); $\alpha_0=1.96$ rad: b),e); $\alpha_0=2.01$ rad: c),f); $\alpha_0=2.08$ rad

시된 해는 안정한 해가 되지 못하므로 실제 실험계에서는 이러한 해는 존재할 수 없게 된다.

IV. 실험 방법 및 결과

실험계의 구성은 그림 1)과 같이 하였다. 본 실험은 빛의 간섭 현상을 이용하는 실험이므로 미세한 진동이나 열적 변화등에 의한 광로차의 변화를 막기 위하여 Laser를 제외한 광학부품을 최대한 조밀하게 배치하였다. 광원으로는 5 mW 편광된 He-Ne Laser(6328 Å)을 사용하였고, 선편광기 (P_w)를 1-3초 주기로 회전시켜서 입력광의 세기를 변화시켰다. 또한 간섭효과를 최대로 하기 위하여 각편광된 빛세기의 크기를 감게하였다. PBS와 PM1, PM2사이의 $\lambda/4$ 판은 거울에서 반사된 빛이 Laser로 되돌아 가는 것을 방지하기 위하여 사용하였다. 케환되는 전압을 위상변화로 변환하기 위하여 Piezo-ceramic buzzer (SAT 050)를 사용하였으며 이부저의 정적 특성은 표 1)과 같다. 이 표에 의해서 식 (6)에 나타난 μ 값이 $\pi/1.1$ (rad/volt)임을 알수있다.

그림 1)에서 되먹임되는 전압값을 위상단위로 계산하여 위상이 "0"에서 " π " radian이 되도록 β 값을 고정하고 거울 1에 가해지는 직류 bias전압을 조절하여 편광 광쌍안정이 일어나는 초기위상을 선택하였다. 입력광의 세기를 가변하였을때의 각 초기위상에 대한 실험결과가 그림 4)이다. 여기서 X 축은 입력광의 세기이고 Y축은 각 편광빛의 출력값이다. 그리고 그림 4)의 초기 위상 값들은 실제실험에서는 이러한 정밀도로 계를 장시간 고정할수 없었으므로 5-1과 6식을 이용하여 계산한 값이다.

또한 초기위상에 의한 편광쌍안정을 실험하기 위하여 입력광의 세기와 증폭율을 고정시키고 그림 1)의 집선부분을 그림 5)로 대체한 후 삼각파 발생기 (주기 0.1-10초)로 전압을 PM1에 걸어주었다. 실험 결과는 그림 6)과 같다. 그림에서 X축은 삼각파 발생기의 출력전압이고, Y축은 편광된 빛의 출력이다. 그리고 초기위상의

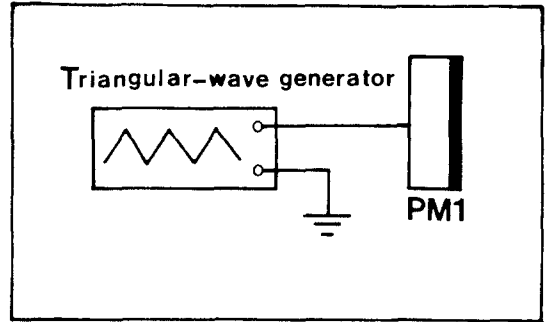
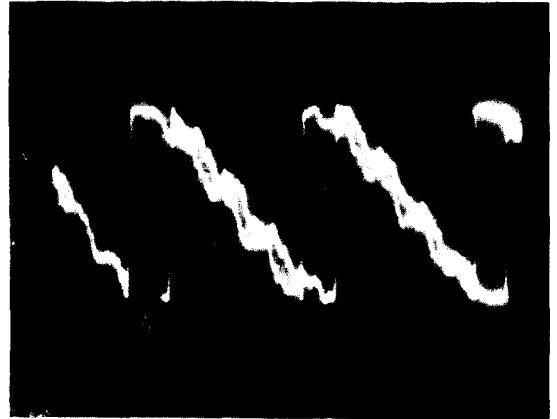


그림 5. 바이어스 전압가변을 위한 장치도



(a)



(b)

그림 6. 초기 위상변화에 따른 편광 광쌍안정. $\beta=9$; $\alpha_0=0-5\pi$ rad a) $I(0^\circ)$, b) $I(90^\circ)$.

표 1. Piezo-buzzer에 가한 전압대 위상변화량

전 압	위상변화
1.1 V	0
1.4 V	$1/5 \pi$
1.6 V	$2/5 \pi$
1.8 V	$3/5 \pi$
2.0 V	$4/5 \pi$
2.2 V	π

변화는 전압값을 위상치로 환산한 값이다.

V. 결 론

편광 광세기에 따라 광로차가 다른 캐환구조를 갖는 간섭계를 구성하고 이계에서의 쌍안정 수식을 유도하였고 이 수식에서 예측한 광세기변화에 의한 편광 광쌍안정과 초기위상변화에 의한 편광 광쌍안정을 관측하였다.

VI. 참 고 문 헌

[1] H. M. Gibbs, "Optical bistability, controlling light

with light" Academic press, Florida (1985).

[2] H. M. Gibbs, S. L. McCall and T. N. C. Vankaratesan, Phys. Rev. Lett., **33**, 1135 (1976).

[3] R. Bonifacio and L. A. Lugiato, Phys. Rev. **A11**, 1057 (1975).

[4] B. Watrasiewicz, Opt. Laser Technol., **7**, 213 (1975).

[5] Y. C. Chen and J. M. Liu, Appl. Phys. Lett., **45**, 6 (1984).

[6] A. Karpel and A. W. Lohmann, Appl. Opt. **25**, 1528 (1986).

[7] G. Indebetov, Opt. Comm., **65**, 311 (1988).

[8] J. Chrostowski and C. Delisle, Opt. Comm. **41**, 71 (1981).

Polarization Bistability in a Feedback Hybrid Opto-electronic Device

Sung Kyu Kim, Young Hun Yu and Tong Kun Kim
Department of Physics, Korea University

(Received: December 3, 1990)

To study the polarization optical bistability (POB), we constructed the hybrid opto-electronic interferometer which has orthogonal polarized lights and one of the optical phases is modulated by a feedback signal.

And we developed the theoretical POB equation for this system and observed the POB by varying input intensity of the light and initial phase experimentally.