

자기펌핑 위상공액경과 액정TV를 이용한 Novelty 필터

(The Optical Novelty Filter Using a Self-pumped Phase Conjugator and LCTV)

文 榮 勳*, 李 權 淵**, 白 南 湜***, 朴 漢 奎****

(Young Hoon Moon, Kwon Yeon Lee, Nam Sik Pack, and Han Kyu Park)

要 約

광굴절 매질(BaTiO₃)을 기록매질로 사용하고 상용 LCTV를 입력단 공간 광편광 변조기로 활용한 Novelty 필터를 구성하여 실험하였다. 자기펌핑 위상공액경으로 BaTiO₃ 단결정을 사용할 경우 신호빔이 이상 편광인 경우가 정상 편광인 경우보다 위상 공액파의 반사율이 약 20배 정도크며, 신호빔의 입사각에 대해서 결정내의 교각과 빔의 루프는 최대 회절 효율을 얻을 수 있도록 형성되어 최대 효율의 위상공액파가 발생하게 된다. 본 논문에서는 빔의 경로에 대한 가역정리인 스톡스 정리가 성립한다는 사실을 실험적으로 증명하고, Michelson 간섭계를 이용하여 Novelty 필터 시스템을 구성하여 실험하였다. 실험 결과 입력영상에 대해 양호한 출력을 얻을 수 있었다.

Abstract

An optical novelty filter is implemented using photorefractive material(BaTiO₃) as a recording material and commercial liquid crystal TV as a spatial light polarization modulator. If a signal beam incident at the proper, the loop and the crossing angle inside the crystal is formed to get maximum diffraction efficiency and BaTiO₃ as a self-pumped phase conjugation mirror show that phase conjugate reflectivity was 20 times as much as ordinary polarization if signal beam is extraordinary. In this paper, the stoke's theorem which is a reciprocal theorem for beam path is experimentally proved, and good output images were obtained with optical experiment of novelty filter which is formed by use of Michelson interferometer.

*正會員, 三星電子

(Samsung Electronics)

**正會員, 西南大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Seonam Univ.)

***正會員, 新丘專門大 電子計算科

(Dept. of Computer Science Shingu College)

****正會員, 延世大學校 電波工學科

(Dept. of Rad. Eng., Yonsei Univ.)

接受日字: 1991年 10月 2日

I. 서 론

위상공액파를 발생시키는 방법에는 축퇴 4광파 혼합(degenerate four wave mixing:DFWM)과 자기펌핑 위상 공액파(self-pumped phase conjugation:SP-PC) 발생방법 등이 있으나,DFWM의 경우 위상 정합 조건(phase matching condition)이 필요없고^{[1],[2]} 위상 공액파의 주파수 변화가 없다는 장점을 갖지만 구조적으로 3개의 빔을 입사시켜야 하는 단점이 있

다. 그러나, SPPC의 경우 하나의 신호빔이 결정에 입사되면 결정의 모서리 부분으로 빔이 퍼져나가는 빔 패닝 효과 (beam fanning effect)가 발생하며, 이 퍼져 나간 빔은 모서리 부분에서 전반사를 두번 일으켜 작용영역에서 입사하는 신호빔과 다시 만나게 된다. 이 순간에 DFWM 현상이 일어나 높은 반사율의 자기펌핑 위상 공액파가 발생하며, 이러한 현상은 강한 결합계수를 갖는 BaTiO₃, SBN, BSKNN 등의 결정에서 볼 수 있다.³⁻⁵⁾

1985년 H. K. Liu 등이 상용 액정 텔레비전의 액정 표시소자 (LCD: liquid crystal display)가 외부에서 인가된 전기신호의 크기에 따라 빔을 공간적으로 변조할 수 있다는 특성에 착안해 LCD를 SLM으로 사용하고자 하는 제안을 한 이래로 다양하게 응용되고 있다.⁶⁾ 본 논문에서는 LCD를 '0'과 '1' 두 균일한 비디오 신호에 대해 출력빔의 편광각의 차이가 가장 크게 나도록 하여 공간 광변조기로 구성하여 Novelty 필터의 실시간 입력단으로 사용하였다.

기록된 이미지와 현재의 입력 이미지를 비교하여 변환된 부분만이 출력으로 나타났다가 현재의 입력이 기록되면 출력이 사라지는 Novelty 필터는 전자 회로적으로 컴퓨터에서 pixel끼리 뺄셈을 수행하여 구현할 수 있지만, 데이터의 처리 시간이 오래 걸리는 단점이 있고, 고속 병렬처리가 불가능하므로, 본 논문에서는 광의 병렬처리 특성을 이용하여 실시간으로 데이터를 처리할 수 있는 Novelty 필터를 구성하여 실험하였다.¹⁰⁾

II. 부피 홀로그램 형성 원리

1982년 J. Feinberg는 BaTiO₃ 단결정에 하나의 신호빔을 입사시켜도 위상 공액파가 발생됨을 실험적으로 확인하였으며, 그 후 White 등은 4광파 혼합 현상을 이용하여 이론적으로 설명하였다.⁸⁾

하나의 신호빔이 BaTiO₃ 단결정에 입사하면 그림 1(a)와 같이 비대칭적으로 빔이 퍼져나가는 빔 패닝 효과 (beam fanning effect)가 일어난다. 이 패닝된 빔은 결정의 모서리 부분에서 되반사되어 신호빔과 간섭이 일어나며 이러한 간섭은 광굴절 현상에 의해 굴절률 격자가 형성된다. 생성된 격자는 입사된 신호빔을 패닝 방향으로 회절을 강하게 일으키므로 k_g 방향의 굴절률 격자만이 점점 강하게 형성되면서 그림 1(b)와 같이 하나의 루프를 형성하여 두 작용 영역이 만들어 진다. 이 작용 영역에서 DFWM 현상에 의한 위상 공액파의 형성 과정은 그림 2와 같다.

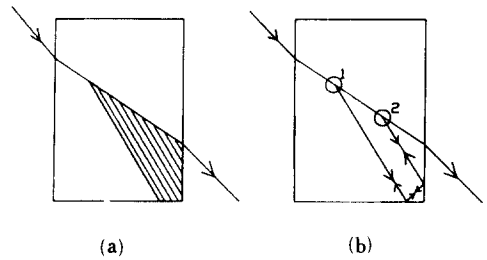


그림 1. 내부 반사에 의한 펌프빔 형성 과정
(a) 빔 패닝 효과
(b) 두 작용 영역의 형성

Fig. 1. Formation of pump beam by internal reflection.
(a) beam fanning effect,
(b) formation of two interaction region.

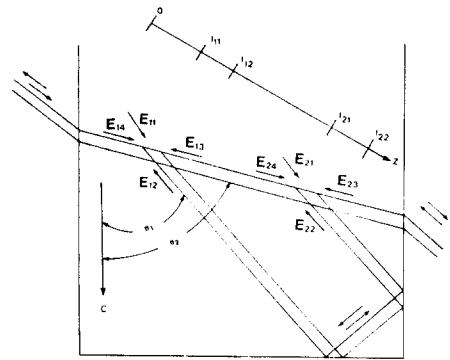


그림 2. SPPC에 의한 위상 공액파 형성 원리
Fig. 2. Phase conjugate wave by SPPC.

SPPC에 의한 위상 공액파의 발생 원리는 근본적으로 축퇴 4광파 혼합 메카니즘과 동일하게 해석할 수 있다. 만약 각 작용 영역에서 편광 상태와 주파수가 같은 4광파

$$E_1(r, t) = A_{1j}(r) \exp[i(k_{1j} \cdot r - \omega t)] + c.c. \text{ 작용영역 } (1)$$

$$E_2(r, t) = A_{2j}(r) \exp[i(k_{2j} \cdot r - \omega t)] + c.c. \text{ 작용영역 } (2)$$

$$j=1, 2, 3, 4$$

가 BaTiO₃ 단결정을 진행하고 다음과 같은 조건을 만족한다고 하면

- i) 결정내의 모든 빔들은 평면파이다.
- ii) 각 빔들은 자기자신과는 작용을 일으키지 않는다.
- iii) 굴절을 변화는 시간과 공간에 대해서 stationary하다.
- iv) 빔 2와 3, 빔 4와 1에 의해 생성된 격자 벡터 $k_g = k_2 - k_3 = k_4 - k_1$ 방향으로의 굴절률 벡터만이 산란

에 영향을 미친다.

v) SVFA (slowly varying field approximation)

$$\left| \frac{d^2 A_j}{dz^2} \right| \ll k_j \left| \frac{dA_j}{dz} \right|$$

vi) 신호빔이 출력빔보다 매우 크다. ($I_1, I_2 \gg I_3, I_4$)

vii) 결정내에서의 흡수는 무시할 수 있다.

한 작용 영역에서의 결합 파동 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{dA_{11}}{dz} = -\frac{r}{I_0} (A_{11}A_{14}^* + A_{12}^*A_{13})A_{14} \quad (3)$$

$$\frac{dA_{12}^*}{dz} = -\frac{\gamma}{I_0} (A_{11}A_{14}^* + A_{12}^*A_{13})A_{13}^* \quad (4)$$

$$\frac{dA_{13}}{dz} = \frac{\gamma}{I_0} (A_{11}A_{14}^* + A_{12}^*A_{13})A_{12} \quad (5)$$

$$\frac{dA_{14}^*}{dz} = \frac{\gamma}{I_0} (A_{11}A_{14}^* + A_{12}^*A_{13})A_{11}^* \quad (6)$$

여기에서 $I_0 = \sum_{j=1}^4 |A_j|$ 이고, 한 작용 영역에서 다음과 같은 양들은 상수이므로 식(7)을 이용하여, 식(3)~ 식(6)을 $U_{12} = A_{11}/A_{12}^*$, $V_{34} = A_{13}/A_{14}^*$ 에 대한 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$A_{11} A_{12} + A_{13} A_{14} = c \quad (7a)$$

$$I_1 + I_4 = d_1 \quad (7b)$$

$$I_2 + I_3 = d_2 \quad (7c)$$

$$\frac{dU_{12}}{dz} = -\frac{\gamma}{I_0} \{c + (d_1 - d_2)U_{12} - c^*U_{12}^2\} \quad (8)$$

$$\frac{dV_{34}}{dz} = \frac{\gamma}{I_0} \{c + (d_1 - d_2)V_{34} - c^*V_{34}^2\} \quad (9)$$

따라서 위 식(8)과 식(9)의 미분방정식의 해는 다음과 같다.

$$U_{12}(z) = \frac{A_{11}}{A_{12}^*} = -\frac{[\Delta - r]\alpha e^{\mu z} - [\Delta + r]e^{-\mu z}}{2c^*(\alpha e^{\mu z} - e^{-\mu z})} \quad (10)$$

$$V_{34}(z) = \frac{A_{13}}{A_{14}^*} = -\frac{[\Delta - r]\beta e^{\mu z} - [\Delta + r]e^{-\mu z}}{2c^*(\beta e^{\mu z} - e^{-\mu z})} \quad (11)$$

여기에서, $\Delta = d_2 - d_1$

$$r = (\Delta^2 + 4|c|^2)^{1/2}$$

$$\mu = \gamma r / (2I_0)$$

이고, α, β 는 적분상수이므로 경계조건으로 부터 구할 수 있다. 마찬가지로 두번째 작용 영역에서 미분방정식은 상수 c', d_1', d_2' 와 $\alpha' \beta'$ 에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$U'_{12}(z) = \frac{A_{21}}{A_{22}^*} = -\frac{[\Delta' - r']\alpha' e^{\mu' z} - [\Delta' + r']e^{-\mu' z}}{2c'^*(\alpha' e^{\mu' z} - e^{-\mu' z})} \quad (12)$$

$$V'_{34}(z) = \frac{A_{23}}{A_{24}^*} = -\frac{[\Delta' - r']\beta' e^{\mu' z} - [\Delta' + r']e^{-\mu' z}}{2c'^*(\beta' e^{\mu' z} - e^{-\mu' z})} \quad (13)$$

또한 두 작용 영역에서의 경계조건은 다음과 같다.

$$(1) A_{24}(\ell_{22}) = 0$$

$$(2) A_{11}(\ell_{11}) = 0, A_{21}(\ell_{21}) = 0$$

$$(3) A_{12}(\ell_{12}) = (1-L)^{1/2} e^{i\theta} A_{21}(\ell_{22})$$

$$(4) A_{22}(\ell_{21}) = (1-L)^{1/2} e^{i\theta} A_{11}(\ell_{12})$$

$$(5) A_{13}(\ell_{12}) = e^{i\phi} A_{23}(\ell_{21})$$

$$(6) A_{24}(\ell_{21}) = e^{i\phi} A_{14}(\ell_{12})$$

여기에서 L: 반사에 의한 Intensity loss

θ, ϕ : 한 작용 영역에서 다른 작용 영역으로 진행할때 생기는 위상오차

이고, 두 작용 영역에서 상수가 되는 두 양들간에

$$c = 2c'$$

$$d_1 = d_1' + d_2' / (1-L) \quad (14)$$

인 관계를 성립하므로, 경계조건과 상수들을 이용하여 위상공액파의 반사율을 구해보면 다음과 같이 표현된다.

$$R = |A_{13}(\ell_{11}) / A_{14}^*(\ell_{11})|^2 = \frac{-a(r)b(r)}{4(1-r^2)\tanh^2(\gamma L r / 2)} \quad (15)$$

여기에서 $a(r) = r^2[1 - \tanh^2(\gamma L r / 2)]$

$$b(r) = [r - 2\tanh(\gamma L r / 2)]^2 - r^2 \tanh^2(\gamma L r / 2)$$

이고, 위상공액파 반사율은 γL 과 r 의 함수인데 r 은 γL 과 L로서 정해지는 양이므로 γL 과 L로서 정해진다. 여기에서 γ 는 결합계수로서

$$\gamma = \frac{\omega}{2nc} \frac{r_{eff} E_{sc}}{\cos((\theta_1 - \theta_2)/2)} \quad (16)$$

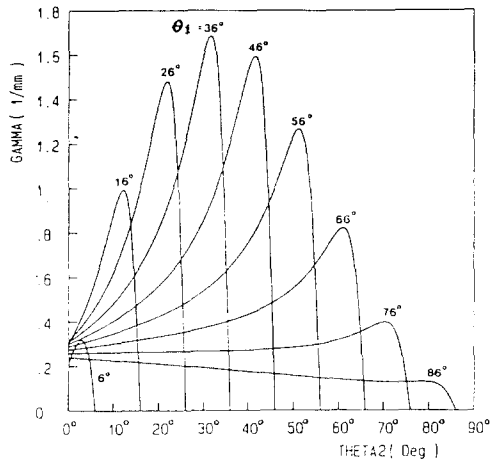
로 주어지며 여기에서 n 은 결정의 굴절률이다. 확산 현상에 의해서만 굴절률 격자가 형성되는 경우 전체의 크기 E_{sc} 및 격자 벡터 k_g 는

$$E_{sc} = \frac{k_B T}{q} \frac{k_g}{1 + (k_g/k_0)^2} \quad (17)$$

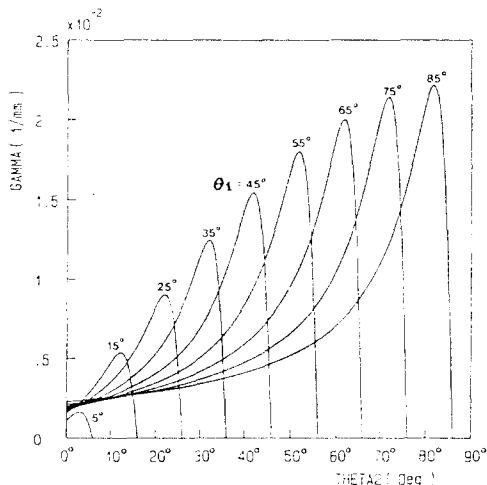
$$k_0 = \left[\frac{N q^2}{\epsilon \epsilon_0 k_B T} \right] \quad (18)$$

$$k_g = 2(n_0 \omega / c) \sin \theta \quad (19)$$

이므로, 결합계수 즉 홀로그래ムの 회절 효율은 유효 전기 광학 계수에 비례하게 된다. 그런데 유효 전기 광학 계수 r_{eff} 는 BaTiO₃가 4mm 점군에 속하는 결정으로 기록빔이 이상 편광인 경우가 정상 편광인



(a)



(b)

그림 3. θ_1 및 θ_2 에 따른 결합 계수

- (a) 이상 편광시의 γ
- (b) 정상 편광시의 γ

Fig. 3. Variation of coupling coefficient with θ_1 and θ_2 .

- (a) γ for extraordinary polarization,
- (b) γ for ordinary polarization.

경우보다 70배 이상 크기때문에 신호빔을 이상 편광으로 하여야 높은 반사율의 위상공액파를 얻을 수 있다.

그림4는 L값에 대한 임계 결합계수 $\gamma\ell$ 을 도시한 것으로 각 L값에 대해서 위상공액파가 발생하는 임계 $\gamma\ell$ 값이 존재하고 L값이 커질수록 임계 $\gamma\ell$ 값도 커짐을 알 수 있다. 그리고 그림5에서는 결정에서의 손실 L=0, 20%, 60%일때 결합계수 $\gamma\ell$ 에 대한 반사

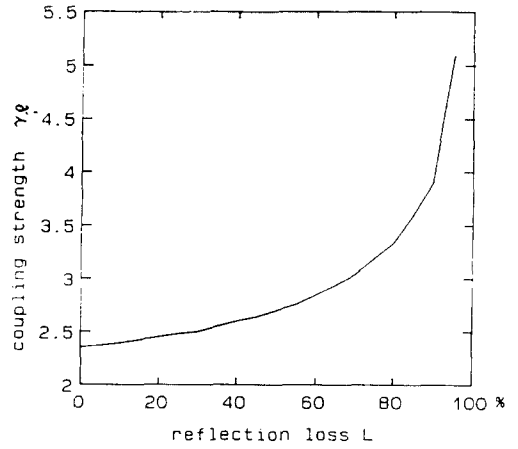


그림 4. 반사손실(L)에 따른 임계 결합 계수($\gamma\ell$)
Fig. 4. Threshold coupling coefficient versus reflection loss(L).

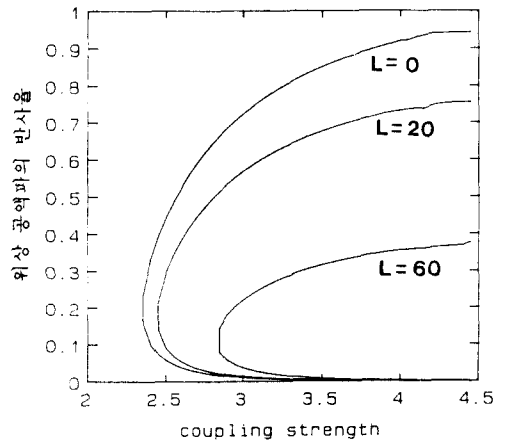


그림 5. L에 $\gamma\ell$ 에 따른 위상 공액파의 반사율
Fig. 5. Phase conjugate reflectivity versus internal loss(L) and $\gamma\ell$.

율을 나타낸 그래프로 L=0일때 $\gamma\ell$ 값이 커지면 반사율이 100%도 가능함을 보여준다.³⁻⁴⁾

III. Novelty 필터 구성 및 실험

1. 스토크 정리의 증명

스토크 정리를 증명하기 위하여 그림6과 같은 Michelson 간섭계를 구성하였다.⁵⁻⁶⁾ 빔 분할기로 기준 빔과 신호빔을 분리한 후, 초점거리 $f=550\text{mm}$ 인 푸리에 변환 렌즈를 이용하여 BaTiO₃ 단결정에 집속

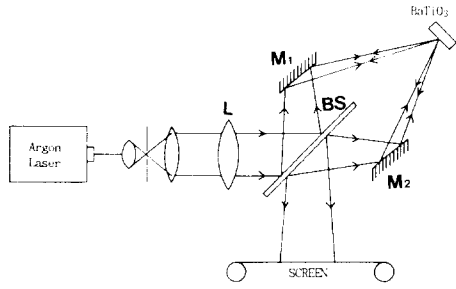


그림 6. 스토크 정리의 증명을 위한 Michelson 간섭계
Fig. 6. Michelson interferometer to prove stoke's theorem.

시켜 서로 독립적으로 위상공액파를 발생시켜 주었다.

이때 두 반사빔과 투과빔의 위상 공액파가 빔분할기 경계면에 재입사하므로, 입사빔 E_{oi}^* 가 발생하며, 스토크 관계식에 의하여 다음의 관계식이 만족하게 된다.

$$(E_{oi} r)^* r + (E_{oi} t)^* t' = E_{oi}^* \quad (20)$$

$$(E_{oi} r)^* t + (E_{oi} t)^* r' = 0 \quad (21)$$

위 식에 의하여 다음 관계식이 성립한다.

$$t^* t' + r^* r = 1 \quad (22)$$

$$t^* r' + r^* t = 0 \quad (23)$$

그러므로, 빔분할기의 출력측으로 나오는 기준빔은

$$E_1(r, t) = A^* \exp[i(k \cdot r - \omega t)] + \phi \quad (24)$$

이고 신호빔은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} E_2(r, t) &= A^* \exp[i(k \cdot r - \omega t)] + \phi + \pi \\ &= A^* \exp[i(k \cdot r - \omega t)] + \phi \end{aligned} \quad (25)$$

따라서 출력측에서는 두 빔이 180° 위상차가 나므로 상쇄간섭을 일으켜 사라지게 되며, 스토크 정리의 결과를 그림7에 나타내었다.

투과된 빔은 평행광이고 반사된 빔에 입력 이미지를 넣는다면, 출력 스크린에서는 입력 이미지의 반전된 이미지를 얻게 된다. 즉, 입력 이미지의 빔이 통과하는 부분은 기준빔인 평행광과 180° 위상차가 나므로 상쇄되어 없어지고, 입력 이미지의 빔이 통과하지 않는 부분은 평행광만 출력 스크린상에 나타나기 때문이다. 위의 결과를 이용한 입력 이미지의 반전 및 EOR 논리 게이트의 출력 결과는 그림8과 9와 같다.

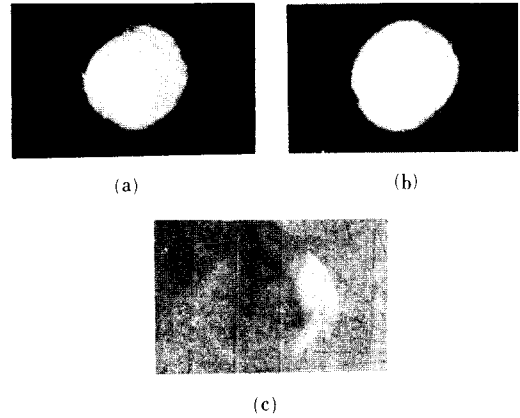


그림 7. 스토크 정리(Stoke's theorem)의 증명
(a) 신호빔이 평행광일 때
(b) 기준빔이 평행광일 때
(c) 스토크 정리 출력

Fig. 7. Proof of stoke's theorem.
(a) signal beam,
(b) reference beam,
(c) output of stoke's theorem.



그림 8. 스토크 정리를 이용한 이미지 Subtraction.
(a) 'T' 이미지의 위상공액파
(b) 스토크 정리에 의한 반전된 이미지
Fig. 8. Image subtraction by stoke's theorem.
(a) phase conjugate wave of 'T' image,
(b) reverse image by stoke's theorem.

2. Novelty 필터의 구성 및 실험

과거에 기록된 입력 이미지와 현재 기록되는 이미지를 비교하여 변화된 부분만이 출력으로 나타났다가 현재 이미지가 기록되면 출력이 사라지는 Novelty 필터는 시간적인 고역 통과 필터(temporal high-pass filter)와 같다. BaTiO₃ 단결정을 기록 매질로 사용하고 개조된 액정표시 소자를 공간 광편광 변조기로 활용하여 Novelty 필터 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 제안한 Novelty 필터 시스템의 구성은 그림10과 같다.

광원은 파장이 515nm인 Argon 레이저를 사용하고, 레이저 출력빔을 광 확장기 및 렌즈를 사용하여

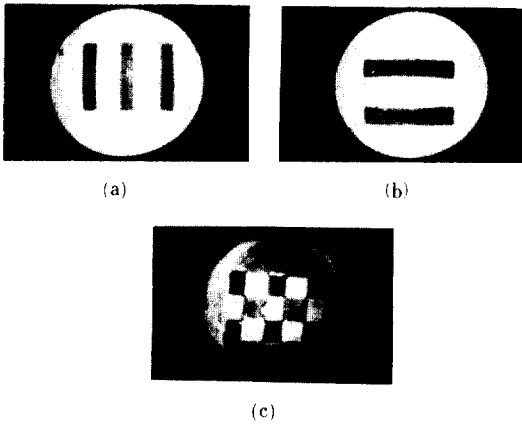


그림 9. 스톡 정리를 이용한 EOR 논리 게이트의 구현

(a) 신호빔 (b) 기준빔
(c) EOR 논리 게이트의 결과

Fig. 9. Output of EOR logic gate using stoke's theorem.

(a) input signal beam, (b) reference beam,
(c) output of EOR logic gate.

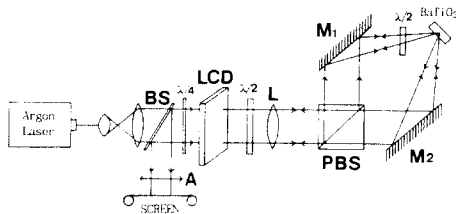


그림10. Novelty 필터 시스템의 구성도

Fig. 10. Experimental setup of novelty filter.

평행광으로 만든 후 빔 분할기 BS를 이용해 신호빔을 만들어 사용하였다. 신호빔의 경로에는 컴퓨터 또는 CCD 카메라로부터 들어오는 입력 이미지에 의해 변조되는 LCTV를 위치시켰다. 이때 액정 표시 소자를 공간 편광 변조기로 이용하기 위하여 휘도 조절 단자에 인가되는 바이어스 전압을 10.01 Volt로 하여 '0'과 '1' 두 신호의 편광각의 차이가 25°나도록 하였다.

$\lambda/4$ 위상지연기는 두 신호인 '0'과 '1'의 출력빔의 강도 차이를 적게하여 주기 위하여 사용하였다. Michelson 간섭계를 사용하기 위하여 사용한 PBS에 의하여 간섭계의 두 반사빔(정상편광)과 투과빔(이상편광)은 서로 90°의 편광각의 차이가 나므로 $\lambda/2$

위상 지연기를 이용하여 반사빔의 편광각을 이상편광으로 바꾸어 주었다. 그리고 초점거리 $f=500\text{mm}$ 를 갖는 푸리에 변환렌즈 L을 이용하여 두 빔을 BaTiO₃ 결정에 입사시켜, 서로 독립적으로 높은 반사율의 위상 공역파를 발생시켰다.

반사빔의 위상 공역파가 빔 분할기 BS에 재입사되어 출력측으로 나오는 빔은

$$E_1(r, t) = A^*(r) \exp[-i\{k_2 \cdot r + \omega t\} + \phi] a_e \quad (26)$$

이고, 신호빔의 위상 공역파가 BS에 재입사되어 출력측으로 나오는 빔은 다음과 같다.

$$E_2(r, t) = A^*(r) \exp[-i\{k_2 \cdot r + \omega t\} + \phi] a_e \quad (27)$$

그러므로 출력측에서는 두 빔은 같은 편광 상태를 갖고, 동위상이므로 출력측에 있는 검광자를 정상 편광 방향으로 놓으면 출력측으로는 빔이 나오지 않게 된다. 만약에 입력 이미지가 변화하게 되면 액정 표시 소자의 '0'의 부분이 '1'로 변하거나 '1'의 부분이 '0'으로 변하게 된다. 이 변화된 이미지가 BaTiO₃ 단결정에 기록되기 전에는 과거에 기록된 이미지의 위상 공역파가 LCTV를 재통과한 후 빔분할기 BS에 입사하게 된다. 이때 빔분할기에 입사하는 위상 공역파는 레이저 출력빔이 빔분할기에 의해 신호빔으로 분리될 때의 편광 상태로 되돌아가지 못하므로 정상편광과 이상편광 성분 모두를 가지고 있다. 즉, 변화가 일어난 부분의 빔이 빔분할기 BS에 재입사된 후 출력측으로 나오는 빔은

$$E_3(r, t) = B^*(r) \exp[-i\{k_2 \cdot r + \omega t\} + \phi](a_e + a_o) \quad (28)$$

이 되어, 변화되지 않은 부분은 이상편광된 빔이므로 검광자에 의하여 빔이 차단되고, 변화된 부분은 정상 편광 성분의 빔도 포함되어 있으므로 검광자를 통과할 수 있으므로 스크린상에 다음과 같은 출력빔이 나타나게 된다.

$$E_4(r, t) = A^*(r) \exp[-i\{k_2 \cdot r + \omega t\} + \phi] a_e \quad (29)$$

변화된 이미지가 결정에 기록된 후에는 BaTiO₃ 단결정에서는 변화된 이미지의 위상 공역파가 발생되어 진다. 이 위상 공역파가 LCTV를 재통과한 후, 빔분할기 BS에 입사될 때 빔의 편광상태는 레이저 출력빔이 빔분할기에 의해 신호빔으로 분리될 때의 편광상태로 되돌아가게 된다. 그러므로 위상 공역파가 빔분할기를 통과하여 출력측으로 나오는 빔은 식

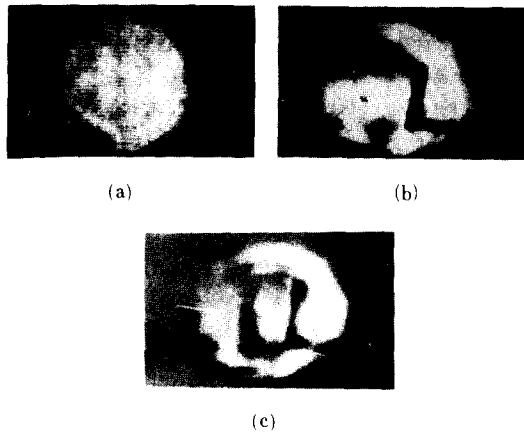
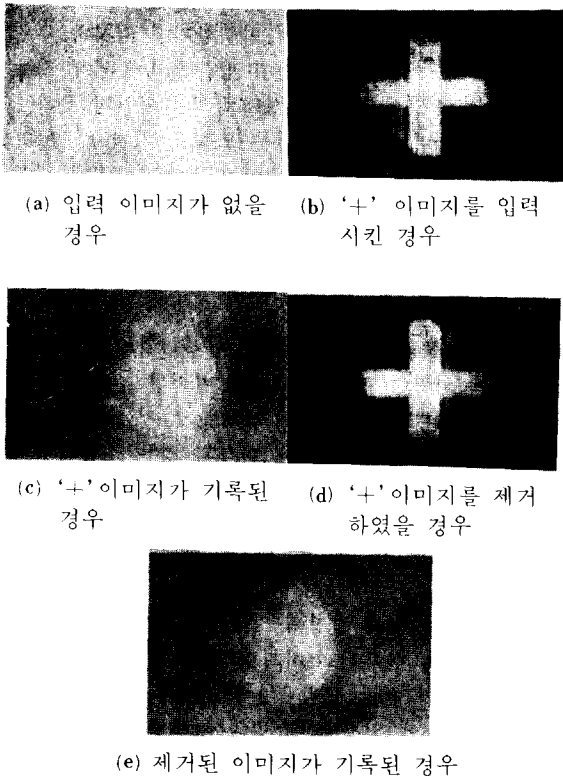
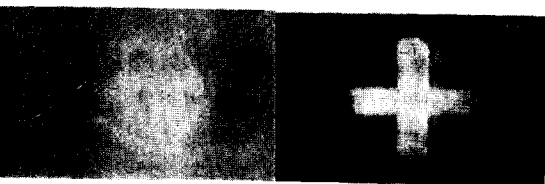


그림11. Tracking novelty 필터 시스템의 결과
 (a) 기준빔의 위상공액파
 (b) 입력 이미지의 위상 공액파
 (c) 입력 이미지 이동시

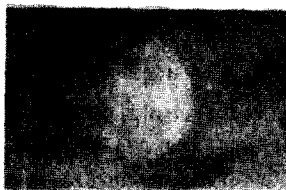
Fig. 11. Output of tracking novelty filter.
 (a) reference phase conjugate wave,
 (b) phase conjugate wave of input image,
 (c) output of tracking input image.



(a) 입력 이미지가 없을 경우 (b) '+' 이미지를 입력 시킨 경우



(c) '+' 이미지가 기록된 경우 (d) '+' 이미지를 제거하였을 경우



(e) 제거된 이미지가 기록된 경우

그림12. Novelty 필터 시스템의 결과
 Fig. 12. Output of novelty filter.

(2)과 같이 이상편광된 빔이므로 검광자에 의해 빔이 차단되므로 스크린 상에 있는 출력 이미지가 사라지게 된다. 그림11에서는 'L' 입력 이미지를 이용하여 이미지를 이동시켰을 때의 tracking novelty 필터 실험 결과를 나타내었으며, 그림12에서는 '+' 입력 이미지를 일정한 위치에 고정시키고, 고정된 이미지에 대한 novelty 필터 시스템의 결과를 나타내었다. 본 논문에서 사용된 BaTiO₃의 경우 입사되는 두 빔의 세기가 약 0.3W/cm²일 경우 반응시간은 ~0.3 sec 정도이다.

IV. 결 론

자기펄핑 위상공액파에 의한 부피 홀로그래프의 기록 매질로 사용한 BaTiO₃ 단결정은 사용 파장이 515nm에서 신호빔이 이상편광인 경우 $\gamma=1.42\text{mm}^{-1}$, 정상편광인 경우 $\gamma=0.07\text{mm}^{-1}$ 로 약 20배 이상의 차이가 있으며, 부피 홀로그래프 기록시의 신호빔의 교각 θ_1 에 대해 θ_2 는 최대 회절 효율을 얻을 수 있도록 결정내의 빔의 루프가 형성되어 위상 공액파가 발생하게 된다.

Michelson 간섭계에서 빔분할기 BS에 의하여 분리된 두 빔을 결정에 입사시켜 서로 독립적으로 위상 공액파를 발생시켜 스톡 정리 실험을 할때 두 빔의 경로가 같고 위상 공액파의 세기가 같다면 출력측에서 빔이 사라져 스톡 정리와 빔의 경로에 대한 가역 정리를 실험적으로 증명하였으며, 이러한 현상은 이미지 Subtraction과 EOR 논리 게이트 등과 같은 광정보 처리분야에 응용될 수 있다. 그러나, 이미지를 이동시켰을 때에는 LCD 각 화소마다 특성이 다르기 때문에 출력 상태가 별로 좋지 않았다. 이러한 결과는 액정 표시 소자의 위상 불균일성 및 공간 광변조기 사용하기 위한 조건이 완전하지 못했기 때문이며, 입력 이미지의 화소와 LCD 화소 사이의 정확한 매핑이 일어나지 않았기 때문이라 생각한다.

빔의 경로에 대한 가역 정리인 스톡 정리가 성립하기 때문에, Michelson 간섭계의 신호빔의 경로에 공간 광편광 변조기로 만든 LCTV를 위치시켜 Novelty 필터 시스템의 입력단으로 사용하여 Novelty 필터 시스템을 구성한 결과 입력 이미지에 대한 양호한 출력을 얻을 수 있었다.

앞으로 제안한 시스템의 실제 적용을 위해 반도체 광원등을 이용한 소형 고휒력의 편광각의 차이가 90°나는 공간 광변조기가 도입된다면 양질의 출력 이미지를 얻을 수 있으며 무인 감시 시스템, 패턴인식, 물

체 추적 시스템 등과 같은 광정보 처리 분야에 다양하게 응용될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

[1] A. Yariv and D.M. Pepper, "Amplified reflection, phase conjugation, and oscillation in degenerated four-wave mixing," *Optics Letter*, vol. 1, pp. 16-18, 1977.

[2] J. Feinberg and D. Heiman, "Photorefractive effects and light-induced charge migration in barium titanate," *J. Applied Physics*, vol. 51, no. 1, pp. 1297-1305, 1980.

[3] J. Feinberg, "Self-pumped, continuous wave phase conjugator using internal reflection," *Optics Letter*, vol. 7, no. 10, pp. 486-488, 1982.

[4] K.R. MacDonald and J. Feinberg, "Theory of a self-pumped phase conjugator with two coupled interaction regions," *J. Optical Society America*, vol. 73, no. 5, pp. 548-553, 1983.

[5] D.Z. Anderson and J. Feinberg, "Optical novelty filters," *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol. 25, no. 3, pp. 635-647, 1989.

[6] D.Z. Anderson, D.M. Lininger, and J. Feinberg, "Optical tracking novelty filter," *Optics Letter*, vol. 12, no. 2, pp. 123-125, 1987.

[7] R.S. Cudney, R.M. Pierce, and J. Feinberg, "The transient detection microscope," *Nature*, vol. 332, no. 31, pp. 424-426, 1988.

[8] I. McMichael, M. Khoshevisan, and P. Yeh, "Polarization-preserving phase conjugator," *Optics Letter*, vol. 11, no. 8, pp. 525-527, 1986.

[9] K. Lu, B.E.A. Saleh, "Theory and design of the liquid crystal TV as an optical spatial phase modulator," *Optical Engineering*, vol. 29, pp.240-246, 1983.

[10] 문영훈, 박한규, "광굴절 매질을 이용한 Novelty 필터에 관한 연구," 한국통신학회 추계종합학술대회논문집, 1990.

[11] Han Kyu Park, Won Hyun Kwon Yeon Lee, and Soon Young Eom, "M input radix optical-logic operations in a photorefractive BaTiO3 crystal," *Applied Optics*, vol. 29, no. 26, pp. 3828-3834, 1990.

著 者 紹 介



文 榮 勳(準會員)
 1966年 11月 21日生. 1989年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1991年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 현재 삼성전자 정보통신 부문 종합연구소 연구원. 주관심분야는 광 패턴인식, 광 신호처리, 초고주파 등임.



白 南 湜(正會員)
 1957年 11月 12日生. 1984年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업. 1986年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1986年 1月~1988年 2月 금성반도체 통신연구단 연구원. 1988年 3月~현재 신구전문대학 전자계산과 조교수. 1988年 3月~현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 광패턴인식, 광컴퓨터, 신경망컴퓨터 등임.

李 權 淵 (正會員) 第25卷 第6號 參照
 현재 서남대학교 전자공학과 전임강사

朴 漢 奎 (正會員) 第26卷 第8號 參照
 현재 연세대학교 전과공학과 교수