

BaTiO₃의 광굴절 현상을 이용한 실시간

광연상 메모리에 관한 연구

임종태*, 오창석**, 김성일***, 박한기*

* 연세대학교 전자공학과
 ** 충북대학교 전산공학과
 *** 경원대학교 전자공학과

A Study on the Real-time Optical Associative Memory
 Using Photorefractive Effects in BaTiO₃

J.T. Ihm*, C.S. Oh**, S.I. Kim***, H.K. Park*

* Dept. of Electronic Eng. Yonsei Univ.
 ** Dept. of Computer Eng. Chungbuk Univ.
 *** Dept. of Electronic Eng. Kyungwon Univ.

ABSTRACT

In this paper, the real-time optical associative memory using multiple hologram which is generated with two angular multiplexed reference beams and Fourier transformed object beam in the BaTiO₃ crystal based on DFWM mechanism.

When one image is recorded in the BaTiO₃ crystal, complete image can be recalled by 9% partial input of the stored original image without any additional thresholding and optical feedback process.

As an experimental result of multiple Fourier hologram which is recorded with two binary images, OHCHAS and PARKHK, we can obtain complete image recalled by 1/6 partial input of the stored image.

1. 서론

홀로그램을 메모리로 사용한 기존의 광연상 메모리 방식에서는 기록, 현상, 판독의 과정에서 화학적인 처리가 필요하므로 실시간 처리가 곤란할 뿐만 아니라, 메모리에 저장된 정보의 갱신이 불가능한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 축회 4광파 혼합 메카니즘과 실시간 홀로그램의 유사성을 이용하여, 각 다중화 기록빔과 물체빔의 푸리에 변환에 의한 홀로그램을 BaTiO₃에 기록시켜 결정 자체를 메모리로 사용한 실시간 광연상 메모리를 구성한다.

2. DFWM을 이용한 EDGE ENHANCEMENT

BaTiO₃의 결정에 입사되는 세 빔의 전계는 다음의

식으로 주어진다.

$$\vec{E}_i(x) = \text{Re}[\vec{E}_i(x) \vec{e}_i \exp(jk_i x - j\omega t)] \quad (1)$$

여기서 $\vec{E}_i(x)$, \vec{e}_i , k_i 는 각각 전계의 세기, 편극 벡터, 전파 벡터이고 $i=1,2,3$ 은 각각 물체빔, 기록빔, 판독빔이다. 모든 입사빔이 평면파인 경우에는 $E_i(x)$ 가 균일하며, 물체빔과 기록빔이 C축과 2θ의 각도로 입사하여 BaTiO₃ 결정내에서 교차한다면, 그림1과 같이 파수 벡터가 $k=k_1-k_2$ 인 주기적인 부피 격자가 발생된다.

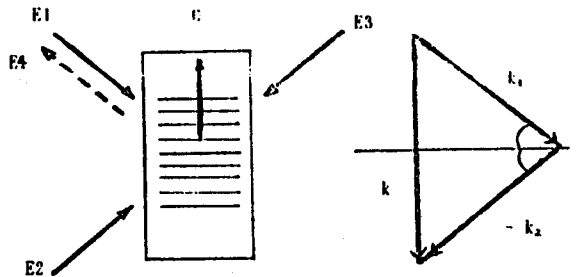


그림1 두 입사빔에 의한 파수 벡터

Fig.1 Grating wave vector due to the incident beams

왜곡 보상을 하기 위한 일반적인 축회 4광파 혼합과는 반대로 기록빔과 판독빔의 세기를 반전시키고 판독빔의 세기를 상당히 적게 입사시킨다면 빔의 세기는 $I_3 \ll I_2, I_1$ 이므로 변조지수 m 은 다음과 같다.

$$m = 2\sqrt{I_r} / (I_r + 1) \quad (2)$$

단, $I_r = I_1 / I_2$

입력 영상을 푸리에 변환하기 위하여 물체빔을 렌즈를 사용하여 결정내에 집속시키면 물체빔의 세기 $I(x)$ 는 균일하지 않게 되므로 국부 변조지수는 다음 식으로 주어진다.

$$m=2*\sqrt{I_1'}(I_1'+1) \quad (3)$$

단, $I_1'=I_1(x)/I_2$

이 경우 중심부에서 벗어난 곳에 위치하는 고차항의 세기는 아주 미약하므로 물체빔과 기록빔의 세기가 거의 같게 되어 $m=1$ 인 최대 변조주수로써 회절효율이 큰 국부 격자가 형성된다. 이 국부 격자에 의한 회절빔의 세기가 크기 때문에 물체의 가장자리는 원래의 밝기보다 훨씬 선명하게 나타나므로 고차항이 보강되는 edge enhancement 가 가능하게 된다.

3. 실시간 광연상 메모리

BaTiO₃ 에 영상 정보를 저장하는 방법으로는 그림2 에 도시한 바와 같이 기존의 유리에 변환 홀로그래프 방식과 유사한 형태를 사용할 수 있다.

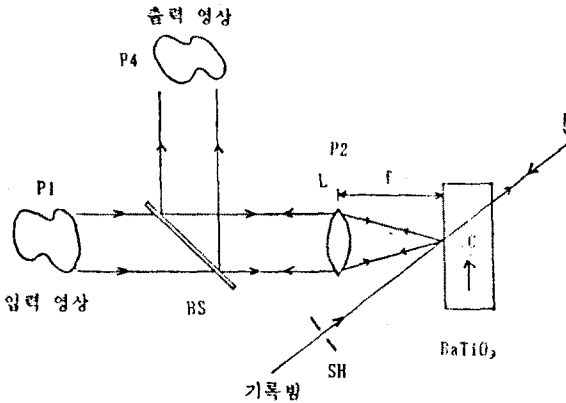


그림2 유리에 변환 홀로그래프의 형성

Fig.2 Construction of the Fourier transform hologram

BaTiO₃ 결정에 다중 영상을 기억시키기 위해서는 그림3 과 같은 각 다중화 기록빔을 사용할 수 있다.

물체빔과 기록빔 R1만을 사용하여 부피격자의 형성이 정상상태에 도달할 때까지 입력평면 P1의 (a1,b1)좌표에 위치한 영상을 기록시키면 P2평면의 BaTiO₃에는 다음과 같은 홀로그래프가 형성된다.

$$F_m(u,v) * \exp[-j(u*a1 + v*b1)] + \exp(-ju\epsilon1) \quad (4)$$

동일한 방법으로 빔 차단기 SH1 을 사용하여 기록빔 R1 을 차단하고, P1 평면의 (a2,b2)에 위치한 영상을 기록빔 R2 로써 기록 시키면

$$F_m(u,v) \exp[-j(u*a2 + v*b2)] + \exp(-ju\epsilon2) \quad (5)$$

의 홀로그래프가 형성된다. 이러한 방법으로 BaTiO₃ 결정에 다중 영상 메모리를 형성하고 그림 4 와 같은 시스템을 구성하여 메모리의 연상작용을 실험 하였다.

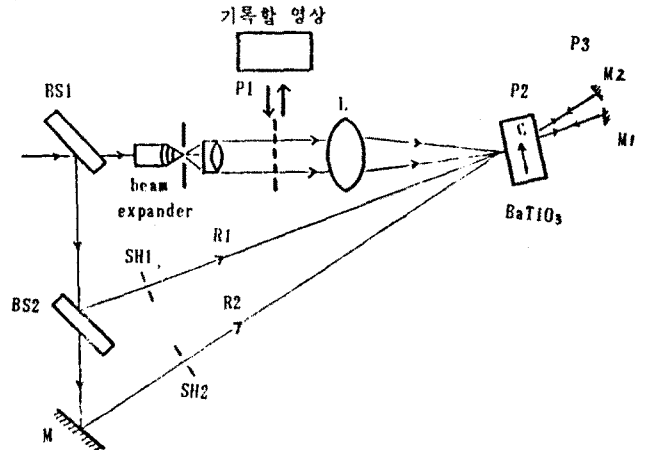


그림3 다중 영상 홀로그래프의 형성

Fig.3 Construction of the multiple image hologram

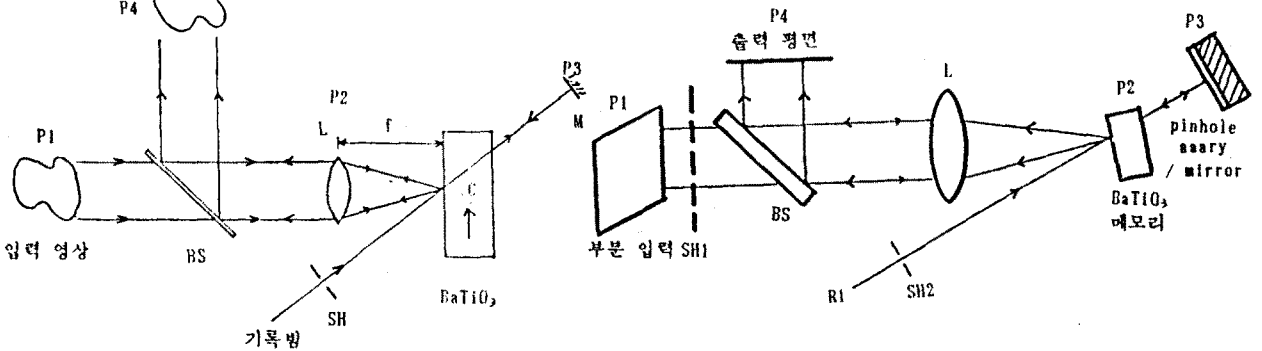


그림4 부분 입력에 의한 영상 재생

Fig.4 Image reconstruction by partial input

빔 차단기 SH2 를 사용하여 두 기록빔을 차단하고, 저장된 정보중 하나의 부분 영상을 P1 평면에 놓은 다음, 렌즈 L 을 사용하여 유리에 변환된 빔을 P2 평면의 BaTiO₃ 결정에 입사 시키면 부피격자에 의해 입사빔이 회절된다. 이때 회절빔의 방향은 이 영상을 기록할때 사용한 기록빔의 전파방향과 반대방향으로 출력되는데, 이 출력빔은 저장되어있는 정보와 입력간의 correlation 이다. 원하는 출력인 auto-correlation 과 같이 출력되는 인접 영상과의 cross-correlation 을 제거하기 위하여 P3 평면에 pinhole array 를 설치한다. 저장되어 있는 정보중 하나인 f_{m0} 의 부분 영상이나 왜곡된 영상 \hat{f}_{m0} 를 입력시키는 경우, P4 평면에 재생되는 영상은 다음과 같다.

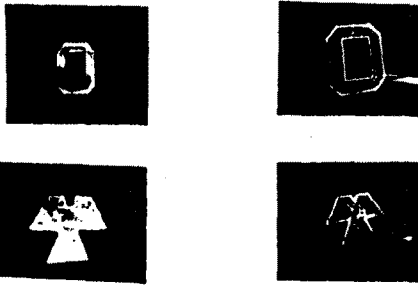
$$f_{m0} = (f_{m0} * \hat{f}_{m0}) * f_{m0} + \sum_{m \neq 0} (f_m * \hat{f}_m) * f_{m0} \quad (6)$$

여기서 * 과 \wedge 는 각각 convolution 과 correlation 이다. 식 (6)의 두번째 항인 cross-correlation 에 의한 잡음을 감소 시키기 위해서는 auto-correlation 의 세기를 크게하여 신호대 잡음비를 높여야한다. 본 논문에서는 edge-enhancement 기법을 도입하여 고차항을 증가시켜 auto-correlation 을 크게 하였다. 결국 P4 평면에 재생되는 영상은 다음과 같이 주어진다.

$$f_{no} = (f_{no} \wedge f_{no}) * \hat{f}_{no} \quad (7)$$

4. 실험 및 결과고찰

Edge enhancement 에 관한 실험에서는 물체빔과 기록빔 간의 입사각을 12°로 고정하였고, 빔의 세기를 반전시키기 위하여 빔 감쇄기를 사용하여 물체빔과 기록빔, 판독빔의 세기를 각각 1.20 mW/cm², 0.092 mW/cm², 0.070 mW/cm²로 조정하였다. 실험에는 그림 5 (A)와 같은 2진 패턴의 영상을 입력으로 사용하였고 영상의 크기는 15 x 17 mm 이다.



(A) 원래의 영상 (B) 출력영상

그림 5 Edge enhanced 영상
Fig. 5 Edge enhanced image

본 논문에서는 물체빔과 기록빔의 세기를 약 13 : 1로 하여 거의 완벽한 edge enhancement 결과물 얻을 수 있었다. 따라서 영상 메모리 시스템에 응용할 경우에는 auto-correlation 의 증진과 완전한 출력영상을 얻기 위해 물체빔의 세기를 기록빔의 세기보다 약간 크게하여 푸리에 변환된 영상의 고차항만을 보강하였다.

광영상 메모리로서의 실험에서는 단일 영상의 기록시에는 물체빔과 기록빔의 세기를 각각 1.20 mW/cm², 0.096 mW/cm²로 반전시키고 간섭에 의한 부피 격자의 형성이 정상상태에 도달 수 있도록 12 초 동안 영상을 기록하였다.



(A) BaTiO₃에 기억된 영상

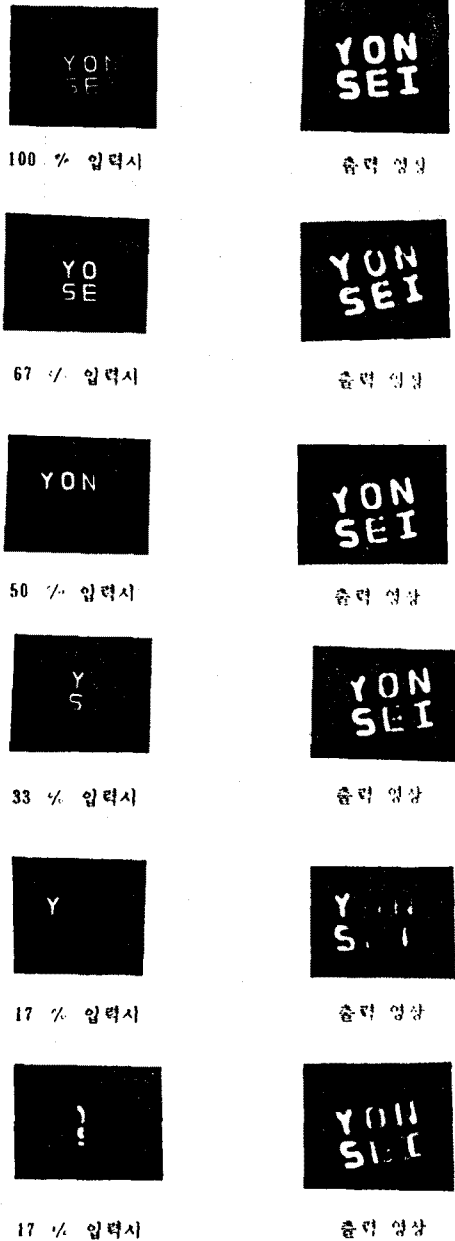




그림 6 한 영상 기억시의 재생 영상
 Fig. 6 Recalled image from one stored image

두 영상의 기억에 의한 광 영상 메모리의 실험에서는 먼저 PARKHK 영상의 기록시에는 물체빔과 기록빔의 세기는 각각 1.20 mW/cm^2 , 0.680 mW/cm^2 이고 두 빔 사이의 입사각은 8° 로 하여 12초 동안 기록하였다. 두 번째 영상 OHCHA의 기록시에는 PARKHK 영상에 영향을 주지 않기 위하여 물체빔과 기록빔의 세기를 각각 1.20 mW/cm^2 , 0.30 mW/cm^2 두빔의 입사각을 14° 로 하여 5초간 짧게 기록하였다.



(A) BaTiO₃에 기억된 영상

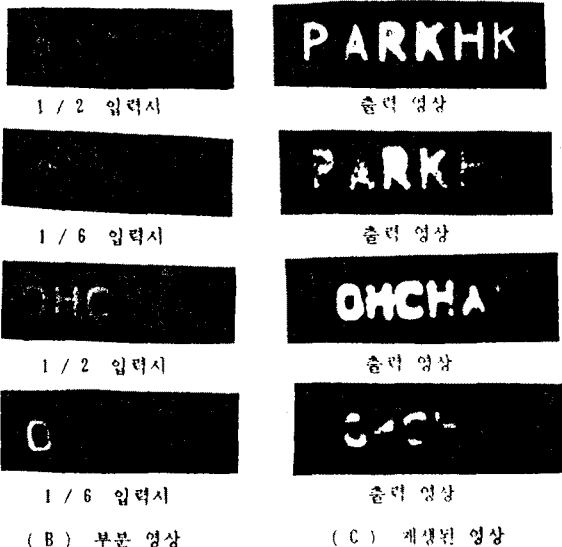


그림 7 두 영상 기억시의 재생영상
 Fig. 7 Recalled image from two stored images

5. 결론

본 논문에서는 축퇴 4광파 혼합 형태에서 물체빔과

기록빔의 세기를 만진시킨 edge enhancement 기법과 각 다중화 프리에 의한 홀로그래피를 이용하여 BaTiO₃를 메모리로 사용함으로써 실시간 처리가 가능한 광영상 메모리를 구성하였다. 단일 영상 기억시의 실험에서는 저장된 영상의 9% 정도의 부분 영상을 입력한 결과 거의 완벽한 원래의 영상을 얻었으며, 2개의 영상을 기억시킨 실험에서는 내용지정메모리 (content addressable memory)로서의 가능성을 확인 하였고 저장된 영상중 하나의 1/6 부분영상에 대해서도 원래의 영상이 완벽하게 재생되었다.

6. 참고 문헌

- 1.A. Yariv, et al, "Amplified Reflection, Phase Conjugation, Oscillation by Degenerate Four Wave Mixing," J. Opt. Lett., Vol. 1, pp. 16-18, 1977.
- 2.D.M. Pepper, et al, "Observation of Amplified Phase Conjugate Reflection and Parametric Oscillation by Degenerate Four Wave Mixing in a Transparent Medium," Appl. Phys. Lett., Vol. 33, pp. 41-44, 1978.
3. 오창석, 이권연, 박한규, "BaTiO₃의 광굴절 현상을 이용한 실시간 Edge Enhancement에 관한 연구," 대한전자 공학회 파동 및 레이저 학술 발표회 논문집, Vol. 3, pp. 113-115, 1988.
- 4.J. Feinberg, et al, "Photorefractive Effects and Light Induced Charge Migration in Barium Titanate," J. Appl. Phys. Vol. 51, No. 2, pp. 1297-1305, 1980.
- 5.H. Kogelnik, "Coupled Wave Theory for Thick Hologram Grating," Bell Sys. Tech., J. 58, pp. 2909-2947, 1969.
- 6.J. Feinberg, "Real-time Edge Enhancement Using the Photorefractive Effect," Opt. Lett., Vol. 5, No. 8, pp. 330-332, 1980.
- 7.E.G. Paek, D. Psaltis, "Optical Associative Memory Using Fourier Transform Holograms," Optical Eng., Vol. 26, No. 5, pp. 428-433, 1987.
- 8.Y. Owechko, et al, "Holographic Associative Memory with Nonlinearities in the Correlation Domain," Appl. Opt., Vol. 26, No. 10, pp. 1900-1910, 1987.