

축퇴 4광파 혼합에 의한 광영상 복원과 R. H. T의  
반사율에 관한 연구

김수경, 박광철, 양인용, 김은수  
광운 대학, 전자 공학과

A Study on the Optical Image Restoration and Reflectivity of Reflection  
Hologram Type by Degenerate Four Wave Mixing

Kim Soo Kyung, Park Kwang Chul, Yang In Eung, Kim Eun Soo  
Kwang Woon University Electronic Engineering.

Abstract

Phase conjugate wavefront generation via real-time holography in degenerate four-wave mixing experiments in photo-refractive crystal  $Bi_{12}SiO_{20}$  is presented. Depending on the respective values of applied field  $E_0$  and fringe spacing  $\Lambda$ , drift or diffusion of the photocarriers dominates the space-charge buildup and affects the Phase-Conjugate Wavefront intensity.

The experimental results for wavefront reflectivity as a function of the intensity ratio of the writing beams agree with the theoretical predictions

1. 서론

광결정 매질중에 감도가 좋은 매질은 광학적인 필름과 견줄 만큼 광감도가 매우 뛰어나다. 그중에서도 BSO는 BGO 보다도 광감도가 <sup>(1)</sup> 높거나 뛰어나며, 응답 시간이 비교적 빠르고, 온도에 따른 결정 상태가 안정하고, 큰 면적으로도 성장이 가능하며(1-10cm<sup>2</sup>), 전장을 가해줌으로써 효율을 개선할수있다. 그리고 본 실험에서는 다른 실험과는 달리 후방 기준파와 탐사파의 간섭에 의해 형성된 반사형 격자에 전방 기준파의 일부분이 Bragg 회절되어 신호파에 기여하는 반사형 홀로그램을 실험하였다. 그래서 위상공역파의 효율을 간섭부위 간격과 세광의 세기(Intensity)와 외부전장 E<sub>0</sub>의 변화에 따라 측정하였다. 또, 광감도가 높은 BSO를 이용하고 전장을 가해줌으로써 효율을 더 높일수 있었다.

2. 이론

(1) 위상 공역파 발생

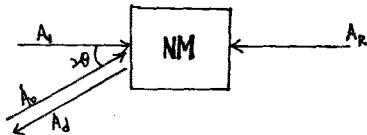


그림1. DFWM에 의한 위상 공역파 발생

Fig.1 Phase conjugate generation by DFWM.

본 논문의 반사형 격자 형성에서는 A<sub>1</sub>이 기록파(전방 기준파)이고 A<sub>2</sub>은 후방 기준파이다.

두파, 즉 기록파 A<sub>1</sub>과 탐사파 A<sub>2</sub>의 사이각 2θ를 작게 하는 이유는 공간주파수가 높을 때에는 확산 현상이 두드러지고, 공간주파수가 낮을 때에는 포동에 의해 반사율이 달라지게 된다. 즉, 주파수가 ω이고, z방향으로 진행하여 위상 공역거울에 입사하는 광파의 field를 E=Re[ψ(x,y,z)exp(iωt)]로 나타낼수있다. 여기서, ψ(x,y,z)=A(x,y)exp[i(φ(x,y)-kz)]이고, A(x,y)는 실수값이다. E=A(x,y)cos(ωt-kz+φ(x,y))로 표현 될수 있다.

이제 위상 공역거울에서 반사되는 위상 공역파의 공간 성분은 입사된파의 복소공역이므로

$$\begin{aligned}
 E &= \text{Re} \{ \psi^*(x, y, z) \exp(i\omega t) \} \\
 &= \text{Re} \{ A(x, y) \exp(-i(\phi(x, y) - kz)) \exp(i\omega t) \} \\
 &= A(x, y) \cos(\omega t + kz - \phi(x, y)) \\
 &= A(x, y) \cos(-\omega t - kz + \phi(x, y))
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

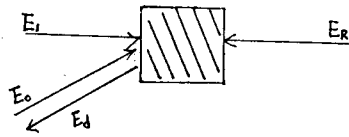


그림2. 축퇴4광파 혼합에 의한 반사형 격자 형성.  
Fig.2 Reflection Hologram type by DFWM.

전형적인 축퇴4광파 혼합을 살펴보면 그림2에서 축퇴4광파 혼합에 관련된 광파는 다음과 같다.

- 진방 기준파 ;  $E_i = 1/2A_i \exp[i(\omega t - k_x r)] + c.c$
- 후방 기준파 ;  $E_R = 1/2A_R \exp[i(\omega t - k_x r)] + c.c$
- 참사파 ;  $E_o = 1/2A_o \exp[i(\omega t - k_x r)] + c.c$  ----- (2)
- 위상 공역파 ;  $E_d = 1/2A_d \exp[i(\omega t - k_x r)] + c.c$

(2) 위상 공역파의 반사율(Reflectivity)

매질내 총 빛의 세기는 다음과 같다.

$$I_t = |K_i + \bar{K}_i + \bar{K}_R|^2 \approx I_i (1-R) + I_i (1-R)\beta + I_R (1-R) + 2\bar{K}_i |K_i| \cos k_x + 2\bar{K}_R |K_i| \cos k_x$$
 ----- (3)

+A과A<sub>R</sub>의 상호 작용으로 인한항.

여기서  $\beta = I_R/I_i$  이며  $\bar{K}_i, \bar{K}_R$  는 매질내 세파의 진폭을 표시한다. 즉, (3)식은 세파가 서로 가간섭성이며 A<sub>i</sub> 과A<sub>R</sub> 사이가 이 매우 작다고 가정한것이므로, 마지막항은 매질내 공간 변조가 발생하지 않으므로 무시해도 된다. 전장이 가해지지 않았을때, 반사형 격자 K<sub>2</sub>는 부파형격자 K<sub>1</sub>보다 더 높은 공간 주파수를 갖게 되어서, K<sub>2</sub>에 의한 확산이 반사율에 기여하게 된다. 즉, 반사형 홀로그래프 격자 K<sub>2</sub>가 무드러지게 나타나므로 여기서는 K<sub>2</sub>를 더 고려해보자.

$$I_R = (1-R)^2 \exp(-\alpha l) I_i$$
 ----- (4)

식(3)은 다음과 같이 표시된다.

$$I_t = I_i (1-R) + I_i (1-R)\beta + I_R (1-R) + 2[I_i (1-R)]^{1/2} I_R^{1/2} \cos k_x z$$

$$= I_i (1-R) [1 + \beta + (1-R)^2 \exp(-\alpha l)] (1 + M \cos k_x z)$$
 ----- (5)

여기서,  $\alpha$  는 흡수계수이고, M<sub>2</sub>는K<sub>2</sub>의 변조도 이므로

$$M = 2\sqrt{\beta} (1-R) \exp(-\alpha l/2) * [1 + \beta + (1-R)^2 \exp(-\alpha l)]^{-1/2}$$
 ----- (6)

그림1에서 기록파A<sub>1</sub>은 회절편파로 인해 반사형 격자K<sub>2</sub>에 의해 회절된다.

$$I_d = \eta'_p I_i (1-R)^2$$
 ----- (7)

( $\eta'_p$ 는 위상격자의 회절효율 상수이다.)

그러므로 위상 공역파의 반사율은

$$\eta_p = I'_d/I_o = R_{BS} I_d/I_o = R_{BS} (1-R)^2 \eta'_p/\beta$$
 ----- (8)

여기서 R<sub>BS</sub>는 BS를 통한 반사도이다. 즉 위상 공역파의 반사율은  $\eta_p = I'_d/I_o$ 로 정의되며, 특히 외부 전장의 제곱에 비례하며, 간섭무늬 간격에 따라 특이한 현상을 나타낸다.

먼저,  $E_T = 2\pi/q(kT/\Lambda) = A\Lambda^{-1}$ ,  $A = 2\pi/q(kT)$  } ----- (9)  
 $E_q = 2q\epsilon_0 \epsilon_r(N/\Lambda) = B\Lambda$ ,  $B = 2q\epsilon_0 \epsilon_r(N)$  }

{ E<sub>T</sub> 전하 확산에 의해 형성된 전장  
 E<sub>q</sub> 공간 채적 전하에 의해 형성된 최대전장

즉, 결정내에 형성되는 전장 유무시 위상 공역파의 반사 효율은 다음과 같다.

1) E<sub>0</sub>=0 kV/ : 확산의 경우

$$\eta_p = R \cdot A^2 \Lambda^2 / (1 + (A/B) \Lambda^2)^2 \cdot 4n^2 \Lambda^2 / (4n^2 \Lambda^2 - \Lambda^2)$$
 ----- (10)

간섭무늬 간격  $\Lambda > 1/\mu(E_q > E_T)$  일때, 반사율  $\eta_p$ 은  $\Lambda^2$ 에 비례하며,  $\Lambda = 0.5\mu m$ 에서는 포화 상태가 된다. ( $E_q \approx E_T$ )

ii)  $E_0 \neq 0$  kV/cm: 표동에 의한 경우

$$\eta_r = R \frac{E_0^2 + E_T^2}{(1 + E_0/E_T)^2 + E_0^2/E_T^2} \frac{4\pi\Lambda^2}{4\pi\Lambda^2 - \Lambda^2} \quad \text{----- (11)}$$

$\Lambda > 3 \mu\text{m}$ ;  $E_T \ll E_0$  이므로  $E_T$  무시한다. 그러므로

$$\eta_r = R \frac{E_0^2}{1 + E_0^2/\Lambda^2} \frac{4\pi\Lambda^2}{4\pi\Lambda^2 - \Lambda^2} \quad \text{----- (12)}$$

즉,  $\Lambda$ 와  $E_0$ 가 증가 할수록 반사 효율도 증가한다.

### 3. 실험 및 결과고찰

#### (1) 실험 방법 및 회절 효율 측정

그림3과 같이 왜곡 보상 실험을 위해서, 간섭 무늬 간격  $\Lambda$ 과 입사되는 세광의 세기 및 외부 전장  $E_0$ 를 변화 시켜서 최대 회절 효율을 측정 하였다.

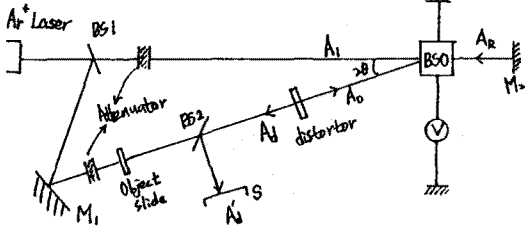


그림3. 광영상 복원 및 회절효율 측정 구성도  
Fig3. Optical Image Restoration and diffraction efficiency measurement set-up.

이때 파장이 514.5nm 인 Ar<sup>+</sup> Laser 를 이용하여 세 광의 가간섭 거리는 2cm 이내로 조정 하였으며 전방 기준파 와 탐사파 사이각 은 약 11.9° 로 고정하여 각파의 세기는 각각 9.2mW/cm<sup>2</sup> 와 3.9mW/cm<sup>2</sup> 로 실험 하였다. (광감쇄기 사용)

#### (2) 결과

광의 세기비는 식(9)에서의  $B=0.7 \times 10^8 \text{ V/cm}^2$  상재가 가장 좋으며  $I_1 > 10I_0$ . 일때 반사율은 포화 상태가 된다.(그림5)

매질의 세파의 강도 흡수 계수  $\alpha=2.1/\text{cm}$ 이며 특히, 전장을 가해줄때 주의할점은 양전극 간의 면적에 고무 분포 시켜서 큰 공간 전하 전장 발생을 피해야 한다. 그렇지 않으면, 결정 끝 부분은 조명되지 않으므로 잡음비가 증가 하게 되기 때문이다. 결국 반사형 홀로그래프는 광활성도가 높고, 안정하며, 가간섭 거리가 짧고, 광경로차가 최소로 되어야 높은 반사율을 얻을수 있다.

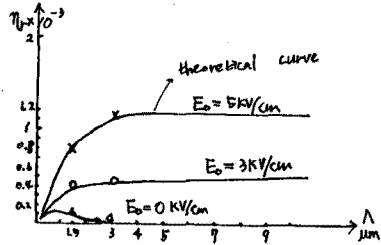


그림4.  $\Lambda$ 에 따른 외부전장  $E_0$ 에 대한 위상 공액파의 반사율 ( $x, o, \Delta$ ; 실험치)

Fig.4 Reflectivity versus fringe spacing

for different values of applied field  $E_0$ . ( $x, o, \Delta$ ; experimental points)

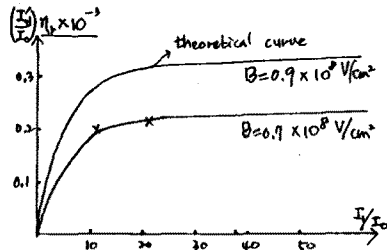


그림5.  $I_1/I_0$ 에 대한  $I_1/I_0$ 와의 관계 Fig.5 Relationship of reflectivity  $I_1/I_0$  with reading-to-object beam ratio  $I_1/I_0$ . (crystal thickness:  $l=10\text{mm}$ ,  $\Lambda=0.259\mu\text{m}$  ; experimental points)

### 4. 결론

비 선형 매질 BSO 를 사용하여 부가형 홀로그래프 이 아닌 반사형 홀로그래프 으로 발생된 위상 공액파 의 회절 효율을 측정 하였으며, 공간 주파수 를 높게 하였을 경우 생기는 격자간의 간격 이 좁아 지므로 반사형 홀로그래프 의 효율 을 상당히 높일수 있었고, 2차원 광영상 왜곡을 보상 하였으며, 이때 기존의 부가형 홀로그래프 의 경우 못 지않은 반사 효율을 얻을수 있었다.

(참고 문헌)

- 1) J. P. Huignard, J. P. Herriau, P. Aubourg and E. Spitz, *Optics Lett.* (1979) 21.
  - 2) M. Peltier and F. Micheron, *J. Appl. Phys.* 48(1977) 3683
  - 3) H. Kogelnik, *Bell Syst. Techn. J* 48(1969) 2909
  - 4) Y. H. Ja, *Elec. Lett.* 17(1981) 488
  - 5) 허 세헌, BSO 단결정 음 이용한 광위상 공역파 발생 과 광영상 복원에 관한 연구. ( 전자 공학회 학술 발표 논문집 Vol. 9, No. 1 (1986) 555 )
-