

이창진* 정현필** 이운현*

* 항공대학교 항공통신정보공학과

** 항공대학교 항공전자공학과

The Influence of Conductivity in Diffraction Efficiency of Reflection Hologram

LEE, Chang-jin JUNG, Hyun-pil LEE, yeun hyen

Abstract

We analyze the diffraction efficiency of OPC-FWM and the influence of conductivity in recording material by reflection hologram. We use the reflection hologram modal of Kogelnik'. In this paper, our purpose is to know if the conductivity has only negative aspect or don't in the diffraction efficiency of that. The numerical results obtained in this paper give us another aspect of conductivity. This positive effect may be considered in the study of new holographic material. But this results, we think, contain a little difference with if of OPC-FWM, unfortunately.

1. 서론

OPC (Optical Phase Conjugation)란 임의의 전자파에 대하여 그에 대한 반전파(Reverse Wave)를 만들어 냄을 의미한다.

일반적인 자연 현상에 있어서, 열역학의 법칙상 위상의 반전이란 존재할 수 없으나 평행한 빛에 있어서 위상의 반전은 거울을 이용하여 쉽게 얻을 수 있다. 지향성이 높은 레이저파의 경우 위상의 반전은 반사형 홀로그래피(Reflective Holography)에 의해 쉽게 얻어질 수 있다. 스태틱(Static) Hologram은 격자의 형성시 한 신호파에 대하여서 이지만 다이나믹(Dynamic) Hologram의 경우는 임의의 파에 대하여 위상 반전을 가능하다[1]. 회절격자의 회절효율을 다름에 있어서 주로 유전율(Dielectric Constant)의 변화를 변수로 하여 해석을 시도하였고, 도전율의 존재에 대해서는 큰 의미를 두지 않았다[2, 3]

본 논문에서는 Double Pass 광 증폭기[4]나 광 통신 선로의 왜곡의 보상 또는 Self-Targeting 등에 쓰이는 반사형 홀로그램의 회절 효율과 도전율 (Conductivity) α 가 회절 효율에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. FWM (Four Wave Mixing)법에 의한 위상반전 (OPC)

빛이 위상반전을 이루는 한 방법으로 OPC-FWM는 그림 1. 과 같이 세개의 파를 동시에 홀로그램 건판에 입사시킨다.

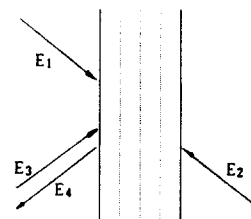


그림 1. 다이나믹 홀로그램에 의한 위상반전 ($E_2 = E_1^*$)

여기서 E_1 는 전방의 참조광이고, E_2 는 후방으로부터의 참조광 또 E_3 는 위상 반전을 이루기 위한 임의의 목적광이다. 이때 홀로그래프내에는 반사형 격자에서의 격자 형성을 위한 후방으로부터의 참조광과 임의의 신호광 E_2 와 E_3 가 서로 간섭을 하여 격자를 만듦과 동시에 전방으로부터의 참조광 E_1 (반사형 홀로그래프에서 재생파)이 신호파 E_4 가 함께 존재하게 된다. 간섭에 의한 기록은

$$E_p = E_2(r) E_3(r)^* \quad (1)$$

이 되어, 결국 E_4 는 $E_3(r)^*$ 의 위상을 가지게 된다. 즉 격자에서의 회절 효율의 값들은 홀로그래프 건판의 두께, 노출광의 세기, 유전율과 도전율의 변조율 등의 값에 의해 좌우된다.

OPC-FWM에서 형성이 되는 격자의 형태는 반사형 홀로그래프에서 형성이 되는 회절 격자와 같은 형태를 가지므로 본 논문에서는 Kogelnik^[5]의 반사형 홀로그래프의 해석을 이용하고자 한다.

3. 반사형 홀로그래프에 대한 해석

고효율을 얻기위한 위상 홀로그래프는 기록을 위한 노출광에 대하여 기록 매질의 유전율과 두께를 변조시켜 신호광을 기록한다(실제 위상 홀로그래프의 부과도 $t(x)$ 는 허수항(Dielectric Constant)뿐만 아니라 실수항(Conductivity)도 포함하는 함수이다). Burkhardt에^[6] 의해 100%까지의 효율이 얻어질 수 있음이 알려졌다나 상대적으로 잡음 성분이 신호에 미치는 영향이 도전율(Conductivity)의 변조에 의한 진폭홀로그래프에 비하여 심하다^[8].

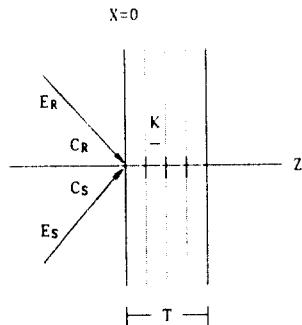


그림 2. 반사형 회절격자 모델

그림 2.에서와 같이 반사형 회절 격자에서의 신호는 $x = 0$ 평면에서의 E_R 의 건판으로부터의 반사에 의한 E_S 로 표현이 된다.

그림 3.은 격자내에서 두파의 진행중의 광량을 나타낸다.

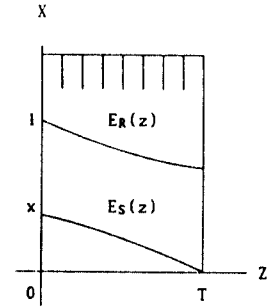


그림 3. 격자내에서의 진행파의 진폭

격자내에서의 파의 진행은 Maxwell의 방정식으로부터서 다음과 같이 얻어진다.

$$(\nabla^2 + k^2) E(z) = 0 \quad (2)$$

(k = 진행상수)

식(2)에 다음 식(3)과 같은 경계조건을 주어 Kogelnik의 결합파 이론으로

$$E_R(0) = 1 \quad (3)$$

$$E_S(T) = 0$$

풀어보면, 도전율 α 을 0 으로 한 회절 효율치는 식(4)와 같이 얻어진다.

$$E_S = \left[\begin{array}{c} \frac{\epsilon}{\nu} + \frac{(1 - \epsilon^2 / \nu^2)^{1/2}}{\text{TANH } \nu \sqrt{\nu^2 - \epsilon^2}} \end{array} \right]^{-1} \quad (4)$$

$$\nu = j\pi\Delta nT / \lambda \text{COS } \theta$$

$$\epsilon = \Delta \theta K T S \text{SIN } \theta / 2 \text{COS } \theta$$

$$(C_S = -C_R = \text{COS } \theta)$$

윗 식에서 Bragg조건을 만족한다고하면 식(4)로부터서 식(5)를 얻을 수 있다.

$$\eta = \text{TANH}^2(\pi\Delta nT / \lambda \text{COS}^2 \theta) \quad (5)$$

이제 도전율 α 와 격자의 두께 T 를 $D = \alpha T / C_S$ 로 놓고 식(2)와 식(3)으로부터서 E_S 를 구하여 식(6)을 얻는다.

$$E_s = \left[\frac{\epsilon}{\nu} + \left[1 + \frac{\epsilon^2}{\nu^2} \right]^{1/2} \text{COTH} \sqrt{\epsilon^2 + \nu^2} \right]^{-1} \quad (6)$$

$$\nu = \pi \Delta n t / \lambda C_s$$

$$\epsilon = \epsilon_0 - j D$$

$$\epsilon_0 = \Delta \theta \beta T \sin \theta$$

4. 수치계산 및 결과

OPC-FWM에서의 회절 격자의 형태와 회절 특성은 반사형 홀로그렘에서의 그것과 매우 유사하다. 그림 4.에서 보여지듯이 반사형 격자에서의 회절 효율 역시 투과형 [7]에서의와 같이 Bragg조건이 만족하는 각도에서 최대의 효율을 가지고 건판의 두께에 의해 효율이 크게 좌우됨을 알 수 있다. 이 때 ν 가 $\pi/2$ 일때 절대 회절효율 η 는 0.84이고, ν 가 $3\pi/4$ 일때 η 는 0.97을 얻을 수 있었다.

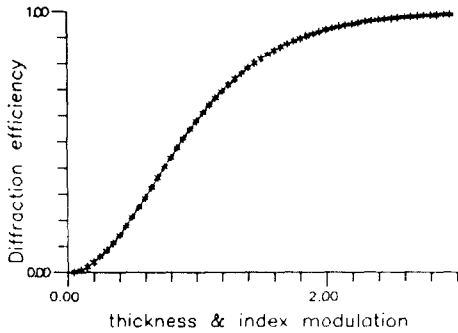
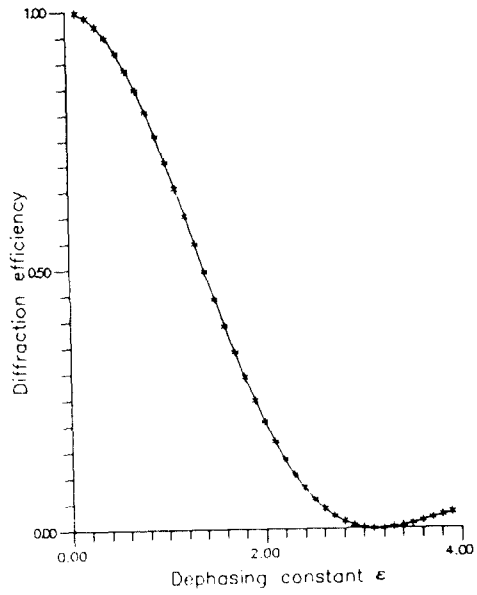


그림 4. 격자의 두께와 Index modulation 값을 변수로 한 회절 효율

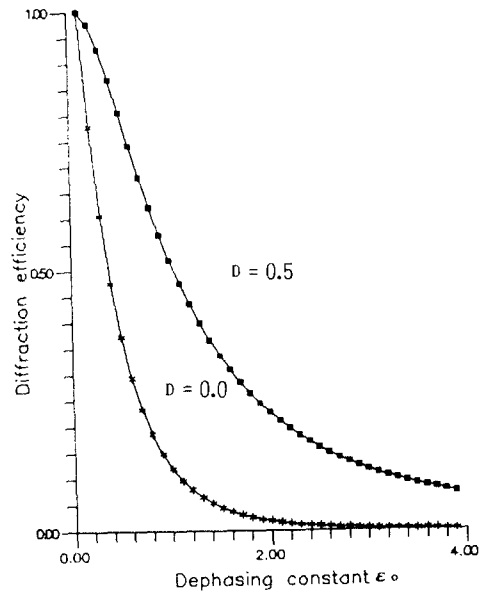
투과형 회절 격자에서 효율 곡선의 피크점의 10° 이내의 이동과 효율의 저하(5)를 가져왔던 도전율의 값은 플레이트의 두께와 함께 반사형에 있어서 회절 효율 곡선상에 메인 로브를 그림 5. (b)와 같이 크고 첨예하게 만들뿐만 아니라 측면 로브를 제거하게 된다. 그림 5. (a)는 conductivity 값을 고려하지 않은 경우의 회절 효율 곡선을 보여준다. 이 때 투과형에서의와 같이 절대 회절 효율의 절대값은 $D=0$ 일때 0.84, $D=0.5$ 일때 0.48 정도까지 저하시킨다.

5. 결론

본 논문에서는 위상 반전기에서의 회절 효율을 알아



a)



b)

그림 5. 홀로그렘의 회절효율 곡선

- a) Dephasing 변수 ϵ 에 의한 회절효율 곡선
- b) Conductivity와 격자의 두께의 Dephasing 변수 ϵ_0 에 의한 회절효율 곡선

보기 위해 반사형의 홀로그렘의 경우를 가지고 해석해 보았다. 해석에 사용이 된 변수들의 값은 완성된 홀로그렘의 경우였기 때문에 실시간 위상 반전법에 사용이

되는 OPC-FWM에서의 실제값과는 얼마간의 오차가 있을 것이라 생각이 된다. 항공기나 자동차등에 쓰이는 HUD에 쓰이는 반사형 홀로그래프의 경우, 회절 효율의 값이 크기 때문에 Over head projection display에서와 달리 저출력의 광원의 사용이 가능하고 Display상에 잡음으로 존재할 수 있는 고차 회절파를 제거시켜 줄 수가 있다. 광 증폭기나 통신 선로상의 왜곡 보상 또는 레이저 추적 시스템 등에 쓰이는 위상 반전기에서 도전율의 존재는 절대 회절 효율을 낮추기도 하지만 회절 효율 곡선상의 사이드 로브의 값을 줄이고 Bragg 각 근처에서 곡선을 첨예하게 만들어주어 어느 정도 긍정적인 면으로도 고려될 수 있다. 때문에 최근 진행되고 있는 고굴절소재(Poly N-vinylcarazole 등)의 개발에서^[9] 도전율에 대한 고려도 병행이 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] B. Ya Zel'dovich, N. F. Pilipetsky & V. V. Shkunov, "Principle of Phase Conjugation" USSR, 1985.
- [2] M. G. Moharam, T. K. Gaylord, "Coupled-wave analysis of reflection gratings," App. Opt., vol 20, No.2, 1981.
- [3] Maurice J. Halmos, Oscar M. Stafsudd, "Dielectric film optical amplifier," App. Opt., vol.29 No.18, pp.2760 - 2768, 1990.
- [4] Ruey-Shi Chu, Jin Yu kong, "Modal theory of spatially periodic media," IEE TRANS. on Micro-Wave theory and Techniques, vol.MTT-25, No.1, pp.18-24, 1977.
- [5] Herwig Kogelnik, "Coupled wave theory for thick hologram gratings," The Bell system technical Journal, vol.45, No.9, pp.2909-2947, 1967.
- [6] C. B. Burckhardt, "Diffraction of a plane wave at a sinusoidally stratified dielectric grating," Journal of the Opt. Soc. of America, vol. 56 No.11, pp.1502-1509, 1966
- [7] 김 남, 박한규, "Volume-Phase Hologram의 고효율 해석," 전기 전자 학술대회 논문집, 1988.
- [8] Howard M. Smith, "Principle of holography", John Wiley & Sons, 1975.
- [9] Tetsuro Kuwauama, Naosato Taniguchi, Yoko Kuwae, Nobuo Kushibiki, "Reflection holograms recored on poly(N-vinylcarazole) holographic material," App. Opt., vol.28, No.13, pp.2455-2456, 1989.