

이온 교환 박막 도파로 위에 격자구조의 제작
Fabrication of Grating Structures on the
Surface of Ion-exchanged Waveguides

이 재 승

한국과학기술원

신 상 영

전기및 전자공학과

1. 서론

집적광학에서는 유전체 박막도파로를 통해 빛을 유도하고, 도파로위에 제작하거나 또는 도파로 자체를 미세하게 변형시켜 만든 소자들을 사용하여 광신호를 처리하게 된다.

박막 도파로를 제작하는 방법에는 여러가지가 알려져 있는데, 그 중에서도 이온교환방법에 의한 박막도파로는 손실이 적고 (0.2 dB/cm), 표면이 견고하여, 프리즘 광결합기를 사용하여도 손상됨이 없으며, 또한 제작이 용이하다는 장점 때문에, 집적광학용 수동소자를 제작함에 있어 중요한 의미를 갖는다.

그러한 집적광학용 수동소자들 중에는 격자구조를 모체로 하는 것이 많다. 예를 들면 격자결합기, 격자필터, 격자렌즈, 광속분할기, 모드변환기, 지장 분할 다중회기 등과 같은 수동소자에서부터 분포 케한 레이저등과 같은 능동소자에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다.

본실험에서는 Ag-Na 이온교환방법으로 박막도파로를 제작하고(1), 그 특성을 연구하였으며, 도파로위에 Hologram Lithography 방법으로 격자구조를 만들어서(2), 집적광학용 수동소자로서의 타당성을 살펴 보았다.

2. 박막도파로의 제작 및 특성실험

2.1 이온교환 박막도파로의 제작 (3)

a. Alconox를 탄 증류수 용액에서 기판을 30분 정도 초음파 세척한다. 기판으로는 현미경 슬라이드유리를 사용하였다.

b. 섭씨 90도 정도에서 15분간 건조시킨다.

c. 빛을 차단한 상태에서 섭씨 240도의 AgNO_3 용액에 기판을 3분-1시간 정도 담근다. 이 때 은 이온의 필름층이 기판표면에 형성된다.

d. 기판을 진한 황산에 담가 표면의 AgNO_3 를 제거한다.

e. a, b 공정을 되풀이한다.

2.2 도파로의 특성 실험

가) 기판의 굴절을 측정

기판의 굴절을 n_s 는 기판의 Brewster 각 θ_B 를 측정하여,
$$n_s = \tan \theta_B \quad \dots (1)$$

인간계로부터 구할 수 있다. 각도측정에 사용된 회전대의 최소 눈금은 5분이었으며, 측정된 θ_B 의 값은 56도 20분이고 이 때 $n_s = 1.501$ 로서, θ_B 의 측정오차를 5분으로 잡을 때 n_s 의 측정오차는 0.0047이 된다.

나) 도파실험 및 검은 모드신 관측

제작된 도파로에 프리즘 결합기를 이용하여 레이저 광선 (He-Ne Laser: 5mW, 633nm)을 입사시, 광 도파현상을 관찰할 수 있었다. 또한 렌즈를 통해 확산된 빛을 다시 렌즈로 집속하여 도파로에 입사시키면, 도파모드와 결합되는 입사파 성분이 도파로에 흡수되어 반사파를 투영한 스크린위에는 검은 모드선들이 나타나게 된다 (그림1).

다) 유효굴절율의 측정

프리즘결합기를 사용하여 m번째 모드를 여기시킬 때 입사파가 프리즘의 법선과 이루는 각 α_m 을 측정하여, 그

모드의 유효굴절률 N_m 및 전파정수 β_m 을 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$N_m = \sin \alpha_m \cos \gamma + (n_p^2 - \sin^2 \alpha_m)^{1/2} \sin \gamma \dots \dots (2)$$

$$\beta_m = N_m k_0 \dots \dots (3)$$

여기서 k_0 는 사용된 He-Ne 레이저의 자유공간 전파정수이며, $n_p = 1.720$ 으로서 프리즘의 굴절률이다. γ 는 프리즘의 사이각을 나타내며 그 값은 60도 5분이 다. 이온교환시의 온도를 섭씨 237도도 하고 이온교환 시간에 따라 TE모드의 유효굴절률값을 측정하여 그림 2 에 나타내었다. γ 와 α_m 의 측정오차는 5분이며, 이온교환시의 온도변화는 섭씨 2도정도로서 이온교환시간이 짧을수록 그 영향이 커지게 된다.

라) 굴절률분포의 산출

우이온에 의한 기판내부의 굴절률변화를 WKB 근사방식을 이용하여 구하였는데 (그림 3), WKB 근사방식은 모드수가 많은 경우에 대해 잘 맞음뿐만 아니라 모드수가 적은 경우에도 오차가 그리 크지 않은 근사방식이다 (4).

WKB 근사방식적용시, 굴절률이 기판표면으로부터 단순 감소하며, 각 모드의 유효굴절률값 사이에 해당하는 범위에서의 굴절률변화는 거리에 대하여 선형적인 관계를 갖는다고 생각하였고 (5), 기판표면의 굴절률 N_s 는 1.6 으로 가정하였다 (6).

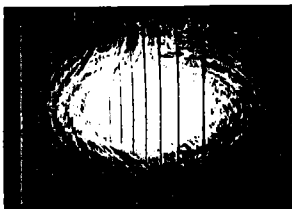


그림 1. 스크린에 나타난 검은 모드선

3. 격자도파로의 제작 및 응용실험

3.1 격자도파로의 제작

a. 제작된 빅막도파로를 Alconox를 탄 증류수에 담가서 30분간 초음파 세척한 후 섭씨 90도에서 15분간 건조시킨다.

b. 3000 rpm으로 25초 동안 AZ-1350B

유효굴절률

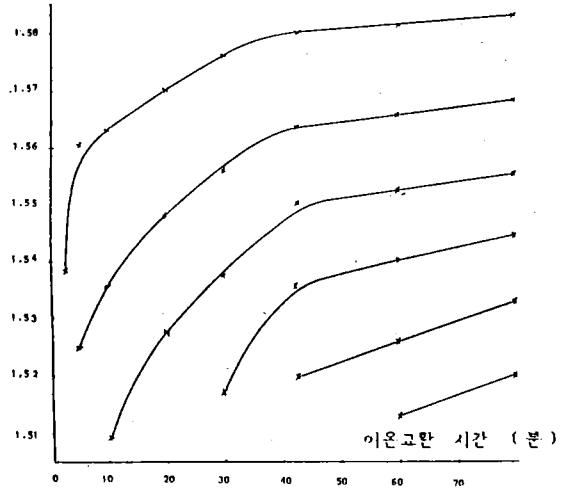


그림 2. TE모드 유효굴절률 v.s. 이온교환 시간

굴절률

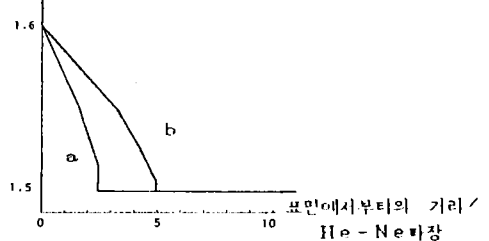


그림 3.

a: 3분간 이온교환 시간 도파로의 굴절률 분포
b: 30분간 이온교환 시간 도파로의 굴절률 분포
기판 굴절률과 최소 유효굴절률 사이의 굴절률변화는 수직하게 나타내었다.

photoresist를 spin-coating한다. 이때 photoresist의 두께는 약 0.5μm가 된다.

c. 80도-85도에서 30분간 pre-baking한다. 온도가 너무 낮으면 빛에 둔감해지고 너무 높으면 현상이 잘 되지 않으므로 주의한다.

d. 그림 4의 set-up 상태에서 노출하였다. 광원으로는 10 mW He-Cd Laser(Liconox Model 4110)를 사용하였으며, Mask로는 ruby-lithograph 용지를 사용하였다. 외면과 s-

patial filter 간의 거리는 19cm이고 노출 각도는 30도로 하였다. 빔 지름이 3cm 정도일 때 노출시간을 3초-4초로 하였다.

e. AZ-351 developer와 D.I. water의 비가 1:6 되도록 현상액을 배합한 후 3분-4분 동안 현상하는 데 yellow-room 에서 작업기 논으로 격자가 형성되어 무지개 빛이 나타나는 것을 보아가며 현상시간을 조절할 수 있다.

f. 130도에서 30분간 post-baking한다.

3.2 자장분할 및 광속확장실험

그림 5 와 같은 구조의 격자 도파로를 그림 4 의 set-up을 사용하여 제작하였다. 이 때 $\theta_A = 62$ 도이고 $\theta_B = 64$ 도로 잡아, 파장을 $0.58\mu\text{m} - 0.62\mu\text{m}$ 영역에서 가변할 수 있는 dye 레이저를 광원으로 사용하여 자장분할 다중화 실험을 한 결과, 격자결합기를 통해 어긋난 적색 자장영역의 입사파와 노란색 자장영역의 입사파가 서로 다른 격자에서 회절됨을 관측하였다(그림 6, 7) [8].

또한 그림 4 의 set-up 에서 한쪽 spatial filter 앞에 cylindrical lens를 놓아 chirped grating을 제작하여, 도파된 He-Ne 빛이 Bragg 반사조건이 만족되는 지점에서 회절됨을 관측하였다(그림 8).

이 외에도 결합효율이 낮은 격자구조에서의 광속확장 실험을 관측할 수 있었다(그림 9) [9].

4. 결론

Ag-Na 이온교환방법으로 박막도파로를 제작하고, 그 특성을 연구하였으며, 도파로위에 Hologram Lithography 방법으로 격자구조를 만들어서, 집적광학용 수동소자로서의 타당성을 살펴 보았다.

본 연구를 지원하여 준 한국전자통신연구소에 감사 드리며, dye 레이저 사용을 허락해 주신 KAIST 물리학과 공충진박사님께 감사할 드립니다.

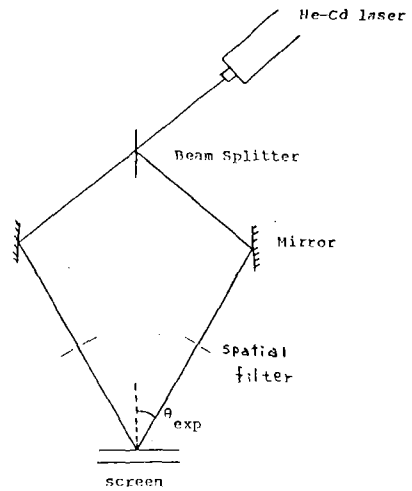


그림 4. 격자무늬의 제작 set-up

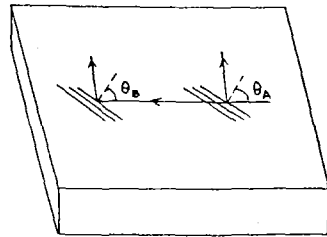


그림 5. 자장분할 다중화 실험

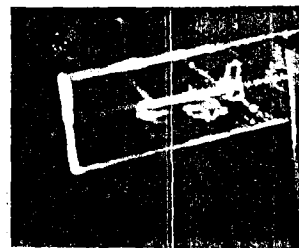


그림 6. 적색자장 영역의 입사파 회절

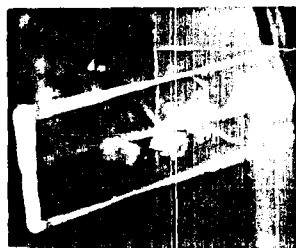


그림 7. 노란색자장 영역의 입사파 회절

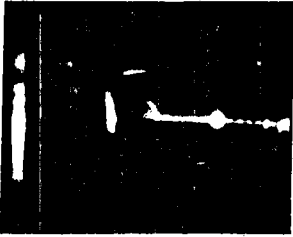


그림 8. Chirped Grating에 의한 He-Ne임사자의 회절

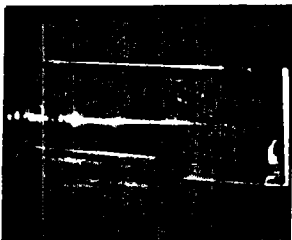


그림 9. 광속확장현상

6. G. Stewart, C. A. Miller, P. J. R. Laybourn, C. D. W. Wilkinson, and R. M. DeLaRue, IEEE J. Quantum Electronics, QE-13, 192(1977).

7. 이상재, 송재만, 신상영, 전기공학회지, 제21권, 제5호, pp.39, 5월, 1984년.

8. A.C.Livanos et al., A.P.L., Vol.30, No.10, 15, 519, 1977.

9. V.Neuman et al., Electronics Letters, Vol.17, No.4, 165, 19, 81.

REFERENCE

1. T.G. Giallorenzi, E.J. West, R. Kirk, R. Ginther, and R.A. Andrews, Appl. Opt. 12,1240(1973).

2. A. Yariv and M.Nakamura, IEE E J. QE-13,233,1977.

3. 김홍구, 신상영, 대한전자공학회 합동 학술발표회 논문집, Vol.6, No. 1,1982.

4. E. A. Kolosovskii, D. V. Petrov, and A. V. Tsarev, Sov. J. Quantum Electronics, Vol. 11, 1569(1980).

5. J. M. White and P. F. Heidrich, Appl. Opt., vol. 15, 151(1976).