

Dichromated Gelatin 홀로그래프의 편광 특성과 편광분리 소자 응용*

이영락 · 임용석 · 곽종훈 · 최옥식

영남대학교 물리학과

박진원

PK(주), 포토마스크 사업부

이윤우

한국표준과학연구원 영상그룹

(1997년 1월 25일 받음)

DCG (dichromated gelatin : 7 μm 두께) 필름을 이용하여 홀로그래픽 편광분리 (Holographic Polarization Separation : HPS) 소자를 설계 제작하였다. 제작한 HPS 소자의 편광특성을 노출시간, 입사각, 편광각 등의 몇가지 물리적 변수들을 이용하여 조사하였다. 실험결과가 Kogelnik의 결합 파동이론에 기초한 이론적 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다. 제작한 HPS 소자는 633 nm 파장에서 편광 회절 강도비가 500 : 1 (S편광 : P편광) 이상이였다. 또한 HPS 소자의 광 스위치 및 자유공간 광 연결소자로서의 응용 가능성을 제시하였다.

I. 서론

홀로그래픽 광학소자 (Holographic Optical Elements : HOE)는 기존의 재래식 광학소자에 비해 부피가 작고 가격이 저렴하며, 대량생산이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 하나의 HOE에 회절격자 (diffraction grating)의 기능, 렌즈, 광분할, 편광선택 등의 여러 광기능들을 동시에 수행할 수 있는 큰 장점을 갖고 있다. 그 중에서 편광선택 기능은 많은 광 시스템에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 홀로그래픽 편광분리(Holographic Polarization Separation : HPS) 소자는 기존의 재래식 편광 분리소자인 Wallaston, Rochon prism을 대체할 수 있고, 부피가 작기 때문에 현재 광 시스템에서 요구되는 고집적도를 만족시킬 수 있으므로 multistage interconnection network 등에서 기본적인 광 스위칭 cell로 이용할 수 있다. 광자기 데이터 저장 system을 위한 광 픽업헤드에서는 광자기 디스크 매질로부터 반사된 빛의 편광회전을 감지하기 위해 사용되고 있을^[1] 뿐만 아니라 편광특성은 TIR (total internal reflection) 홀로그래피나^[2,5] 편광방향에 무관한 회절효율이 요구되는 광 통신용 집적소자^[6] 연구에 응용되고 있다.

HPS 소자에 대한 연구는 1969년 Kogelnik^[7]에 의해 처음으로 가능성이 제시된 이후, 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 1990년 Kostuk 등에^[4] 의해 DCG (Dichromated gelatin) 필름으로 제작된 HPS 소자가 자유공간 광연결 소자 (free-space optical interconnects)로서 사용할 수 있는 가능성

이 제시되었다. 1994년 Dickson 등은^[8] 젤라틴의 평균 굴절율을 포함한 HPS 소자의 여러 물리변수들에 대한 연구를 하였으며, 같은 해 Huang에^[9] 의해 적외선 영역에서 사용할 수 있는 HPS 소자에 대한 연구가 보고된 바 있다.

본 연구에서는 높은 회절효율과 분해능을 갖고 있는 DCG 필름을 이용하여 노출량과 입사각도에 따른 편광 회절효율을 측정하여 DCG 필름의 평균 굴절율과 노출량에 따른 굴절율 변조값을 계산하였으며, 입사면에 대해 수직 편광인 S 파만 회절시키는 간단한 HPS 소자를 제작하였으며, 제작된 HPS 소자의 Bragg 각도에 대해서 회절효율을 조사하였다. 또 제작된 HPS 소자의 광 스위치 및 자유공간 연결소자로서의 응용 가능성을 제시하였다.

II. 위상 홀로그래프의 편광에 대한 회절효율

본 논문에서는 논의를 간단히 하기 위해 부피 홀로그래프 (volume hologram)를 가정하여 2차 이상의 회절격자의 기여를 무시하기로 한다. 이 부피홀로그래프를 제3의 탐사광파 (probe wave)로 읽는 경우 홀로그래프 매질에 존재하는 두 광파 (즉, 입사광파와 회절광파)는 Kogelnik의 부피 홀로그래프에 대한 결합 파동이론 (coupled wave theory)으로 잘 기술된다.^[7]

투과형 위상 홀로그래프의 P 파와 S 파에 대한 회절효율 $\eta_{s,p}$ 는 각각

$$\eta_{s,p} = \frac{\sin^2 [((v_{s,p})^2 + \xi^2)^{1/2}]}{[1 + \frac{\xi^2}{(v_{s,p})^2}]} \quad (1)$$

*이 연구는 96핵심 전문 연구 지원 과제(961-0206-026-2)로 수행되었습니다.

로 주어진다. 여기서 변조 변수는 $v_s = \frac{\pi \Delta n_1 d}{\lambda \cos \theta}$, $v_p = v_s \cos 2\theta$ 이고, 2θ 는 매질 내에서 두 기록 광파사이의 입사각이고, Δn_1 은 굴절을 변조값이며, Bragg mismatch는

$$\xi = -\frac{\Delta \lambda K^2 d}{8\pi n_0 \cos \theta} = \frac{\Delta \theta K d \cos \theta_B}{2 \cos \theta}$$

로 주어진다.

여기서 grating 벡터 크기 $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$, (grating의 주기 $\Lambda = \frac{\lambda_{기록}}{2 \sin \theta}$), $\Delta \theta$ 은 재생각도 θ 와 Bragg 각도 θ_B 의 차이, $\lambda_{기록}$ 는 홀로그래프 기록 파장이며, n_0 은 DCG 필름의 평균굴절율이다. Bragg 회절 조건의 경우 $\Delta \theta = 0$ 혹은 $\Delta \lambda = 0$ 이므로 $\xi = 0$ 이 된다. 따라서, Bragg 조건의 경우 투과형 위상 홀로그래프의 P 파와 S 파의 회절효율 관계식은 다음과 같다.

$$\eta_s = \sin^2 \left(\frac{\pi \Delta n_1 d}{\lambda \cos \theta} \right) \quad (2)$$

$$\eta_p = \sin^2 \left(\frac{\pi \Delta n_1 d}{\lambda \cos \theta} \cos 2\theta \right) \quad (3)$$

여기서 λ 는 재생파장, d 는 매질의 두께, θ 는 매질내에서의 입사각이다.

식 (2),(3)에서 알 수 있듯이 투과형 위상 홀로그래프의 P 파와 S 파의 회절효율은 v_{ps} 내의 여러 변수값들에 따라 종속됨을 알 수 있다.

이러한 관계식을 이용하여 홀로그래프 기록 매질의 젤라틴의 두께나 굴절을 변조값을 조절하면 여러가지 특성을 가진 홀로그래프소자를 설계할 수 있다. 그림 1은 주어진 입사각 θ 와 굴절을 변조크기에 대해 두께에 따른 회절효율 변화를 보여주고 있다. 그림 1의 몇 가지 예와 같이 P 파를 100% 회절시키고 S 파는 0% 회절시키는 특성(A점)이나, P 파는 0% 회절시키고 S 파는 100% 회절시키는 특성(B점), P 파와 S 파를 동시에 100% 회절시키는 특성(C점), 또는 편광 방향에 무관한 (polarization insensitive) 회절효율 특성 (즉, $\eta_p = \eta_s$) (D점)등을 가진 HOE를 설계할 수 있다.

특히 (3)식의 $\cos 2\theta$ 를 고려해 보면, 홀로그래프 기록매질(gelatin) 내부에서 물체파와 기준파가 이루는 각이 $90^\circ (=2\theta)$ 일 때 (즉, $\theta = 45^\circ$) P 파의 회절 효율이 0이 된다. 이 각도를 이용하면 쉽게 S

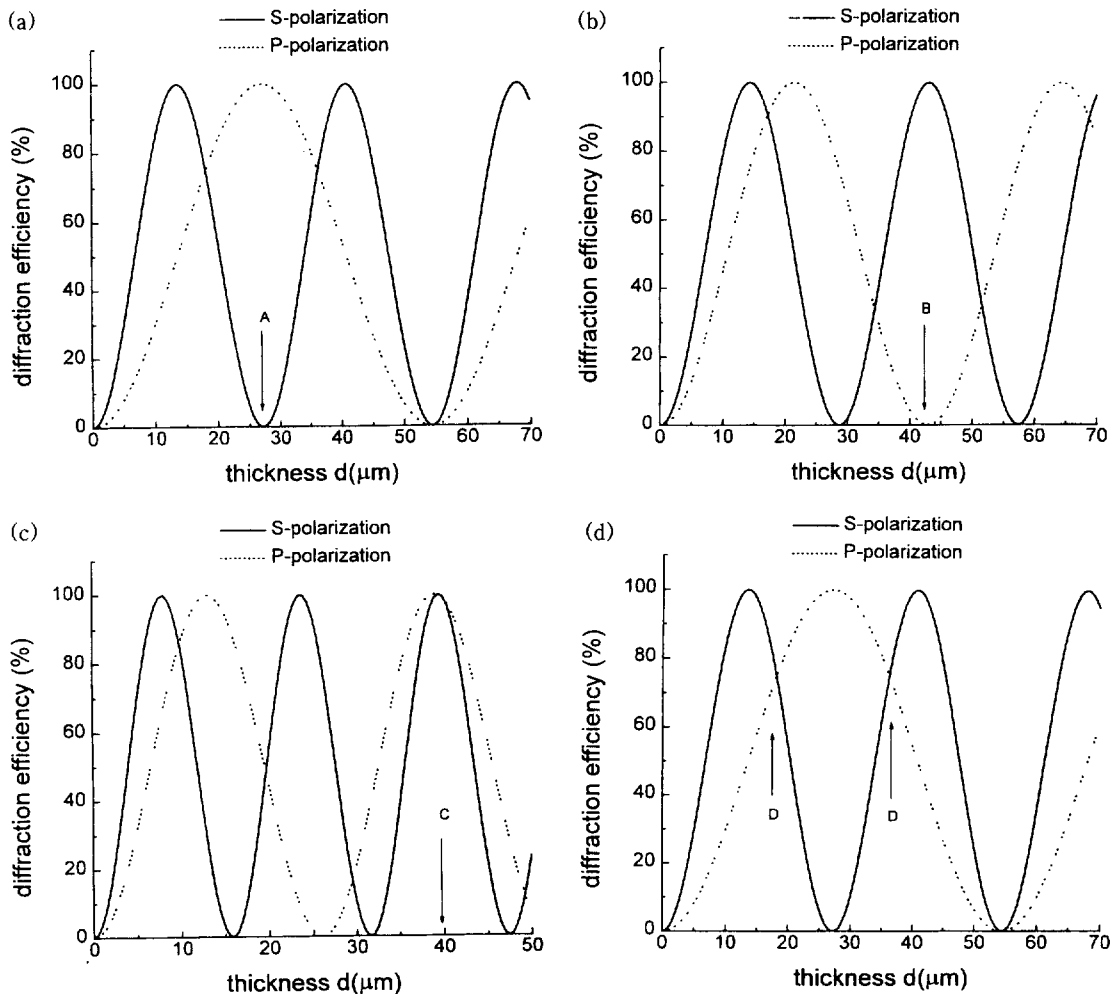


그림 1. 투과형 위상 홀로그래프의 편광 및 두께에 따른 여러 가지 회절 특성 곡선.
 (a) $\eta_p=100\%$, $\eta_s=0\%$, ($\theta=30^\circ$, $\Delta n=0.0145$) (b) $\eta_p=0\%$, $\eta_s=100\%$. ($\theta=24^\circ$, $\Delta n=0.0145$)
 (c) $\eta_p=100\%$, $\eta_s=100\%$ ($\theta=25^\circ$, $\Delta n=0.0261$) (d) $\eta_p=\eta_s$, ($\theta=30^\circ$, $\Delta n=0.0261$)

파면 회절시키는 HPS 소자를 제작 할 수 있다.

IV. 실험 및 분석

실험에 사용한 DCG 필름은 Agfa 8E75HD를 표 1의 처리 과정을 통하여 제작하였으며 DCG 박막의 두께는 7 μm이다. 그림 2와 같은 실험 장치도에서 실시간적으로 회절효율을 측정하였다.^[10,11] 홀로그래프의 기록광파는 457 nm 파장의 Ar-ion 레이저, 재생광파는 633 nm의 He-Ne 레이저를 사용하였다. 두 기록광원의 강도비는 1 : 1이었으며, 두 기록 광파의 편광

표 1. DCG 필름 준비 과정.

1. 사진 건판(Agfa 8E75HD) 을 non-hardener fixer에 15분 동안 넣어 둔다.
2. 흐르는 물에 15분 동안 넣어 둔다.
3. 메틸알콜에 10분 동안 넣어 둔다.
4. 깨끗한 메틸알콜에 10분 동안 넣어 둔다.
5. 70°C 물에 10분 동안 넣어 둔다.
6. 5% 암모늄 중크롬산 수용액 속에 5분 동안 넣어 둔다. (kodak photo-flo 200 : 1% 첨가)
7. 80°C 오븐기에 10분 동안 굽는다.

전처리 과정 온도 : 20°C

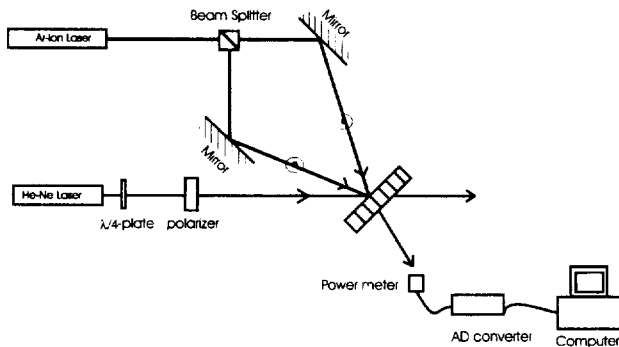


그림 2. 실시간 회절효율 측정 장치도.

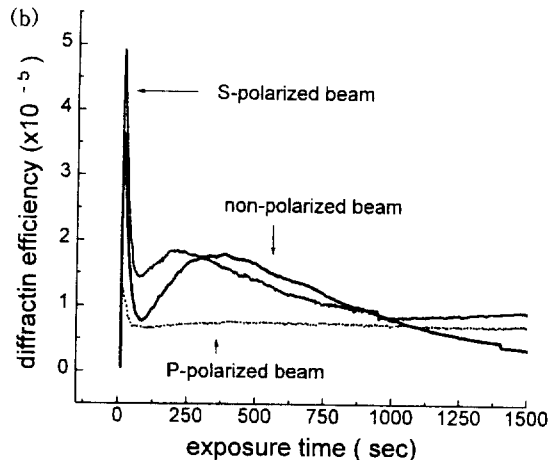
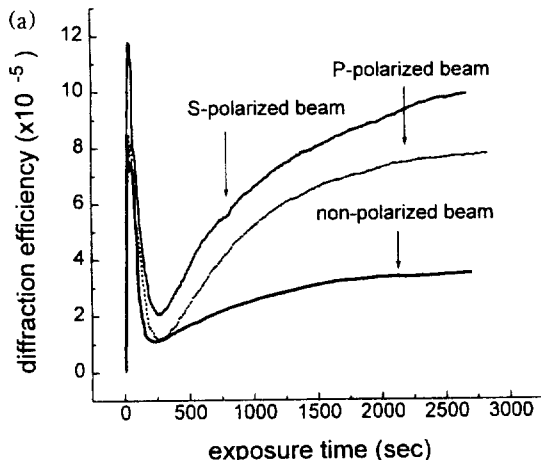


그림 3. 노출 시간에 따른 실시간 회절효율 측정 그래프.

(a) 젤라틴 내부 입사각 20°, 노출량 5 mW/cm² (b) 젤라틴 내부 입사각 45°, 노출량 20 mW/cm²

표 2. DCG 필름의 현상 과정.

1. 0.5%의 암모늄 중크롬산 수용액 속에 5분 동안 넣어 둔다.
2. 흐르는 물에 10분 동안 넣어 둔다.
3. 50% 이소프로필 알콜에 4분 동안 넣어 둔다.
4. 100% 이소프로필 알콜에 4분 동안 넣어 둔다.
5. 건조한다.

전처리과정 온도 : 20°C

은 입사면에 수직으로 입사 하였다. 또, 재생광파의 편광은 λ/4-plate와 polarizer를 사용하여 선편광 방향을 조절하였다.

그림 3은 Bragg 조건에서 재생광파의 편광에 따른 실시간 회절효율 변화를 보여 주고 있다. DCG 필름의 노출과정 동안의 굴절률 변조값(Δn_{1,노출})은 노출된 DCG 필름을 현상 처리한 후의 최종 굴절률 변조값(Δn₁)보다 매우 작으므로 식 (2)와 (3)은 근사적으로

$$\eta_s \approx \left(\frac{\pi \Delta n_{1,노출} d}{\lambda \cos \theta} \right)^2 \quad (4)$$

$$\eta_p \approx \left(\frac{\pi \Delta n_{1,노출} d}{\lambda \cos \theta} \cos 2\theta \right)^2 \quad (5)$$

와 같이 표현 된다.

그림 3에서 S 파가 P 파보다 회절효율이 전체적으로 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 P파에 대한 회절효율 식 (5)에 cos2θ항이 더 있기 때문이다. 그림 3 (b)에서 P 파의 회절효율이 매우 낮은 것은 젤라틴내의 빔 입사각이 거의 θ≈45° 이기 때문에 cos2θ 항에 의해 P파의 회절효율이 거의 0이 되기 때문이다.

노출된 DCG 필름을 표 2와 같이 현상처리를 하면 굴절을 변조값 Δn₁이 큰 쪽으로 증가하게 되는데, 이것은 이소프로필 알콜에 의해 젤라틴이 (급속히) 수축됨으로 인해 일어나는 현상이다. 또한 현상처리된 최종 DCG 필름의 회절효율 η_{s,p}는 (2)와 (3)에 따라서 그림 4와 같이 노출량에 대해 정현적인 주기 곡선을 가지게 된다. 그러나 젤라틴내의 빔 입사각에 의한

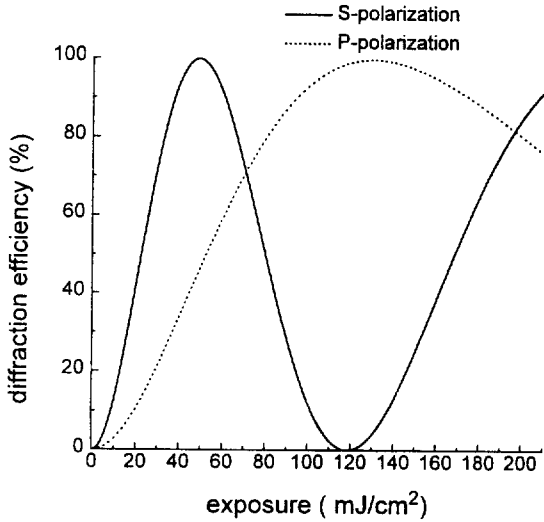


그림 4. 노출량에 대한 DCG 홀로그래프의 회절효율 이론곡선. (젤라틴 내부 입사각 $\theta=31^\circ$)

특정 편광의 회절을 소멸 시키는 특성은 변화하지 않는다.

그림 5는 내부입사각 $\theta=31^\circ$ 에서 Ar-ion (457 nm) 레이저로 노출한 DCG 필름을 현상 처리 한 후, 동일한 광원으로 P 파와 S 파에 대해 회절효율을 측정 한 그래프이다. 120 mJ/cm^2 근방에서 S-편광과 P-편광의 회절효율이 급격하게 반전되는 것을 제외하고는 전체적으로 S 파가 P 파보다 회절효율이 높으며 주기가 짧은 것은 그림 4에서 예측한 바와 같으나, 전반적으로는 회절효율이 낮고 다소 불안정한 주기곡선을 나타내었다. 그림 4의 이론 곡선과 그림 5의 실험곡선 사이에 회절효율에 차이가 있는 것은 필름의 준비 및 현상 처리 과정에서 온도, 습도, 화학물 순도 등과 같은 환경적 요인에 의해 DCG 필름의 굴절률 변조값 Δn_1 을 충분히 변조 시키지 못한 것으로 생각된다.

그림 5를 분석하기 위해서는 정확한 $\Delta n_1, d$ 와 θ 의 값을 알아

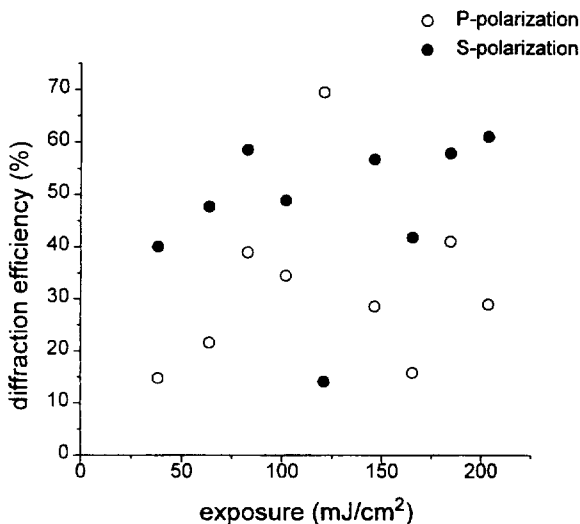


그림 5. S, P 파에 대한 DCG 홀로그래프의 회절효율 측정값. (젤라틴 내부 입사각 $\theta = 31^\circ$)

야 한다. 특히 젤라틴 내부 입사각 θ 의 값은 젤라틴의 평균 굴절률 값에 의존하므로, 이 평균 굴절률을 알아내는 것이 중요하다. 이 평균 굴절률 값을 알아내기 위해 젤라틴 내에서 물체파와 기준파가 $2\theta=90^\circ$ 를 이룰수 있는 입사각도를 조사하였다. 왜냐하면, 이 특정 각도에서 (3)식이 예측하는 것처럼 P 파의 회절 효율이 0 이 되기 때문에 젤라틴의 평균 굴절률을 구할 수 있다. 실제 실험에서 측정 한 노출된 젤라틴의 평균 굴절률이 1.33 이므로, 젤라틴 내부에서 물체파와 기준파가 90° 로 만나기 위해서는 공기중에서 최소한 70° 이상의 기록입사각이 필요하다. 그러나 실제 홀로그래프 제작시 70° 이상의 큰 입사각은 입사광파의 반사율 증가와 이로 인한 회절효율 저하를 초래하므로 이 편광 특성의 이용을 어렵게 한다. 그러나 기록광보다 재생광파의 파장을 길게 함으로써 P 파의 회절효율을 0 으로 만드는 특성을 이용할 수가 있다.^[12,13]

기록광원으로 457 nm 파장의 Ar-ion 레이저를 사용하고 재생광원으로 632.8 nm 파장의 He-Ne 레이저를 사용하면 Bragg 조건은

$$\frac{\sin\theta_{\text{기록}}}{\lambda_{\text{기록}}} = \frac{\sin\theta_{\text{재생}}}{\lambda_{\text{재생}}} \quad (6)$$

와 같이 주어진다.

식 (6)에 의해서 필름 노출시 젤라틴 내부에 물체파와 기준파가 61.4° 의 각도만 이루어도 재생시 90° 를 이루는 효과를 낼 수 있다. 실제 Ar-ion 레이저로 홀로그래프를 기록하는 내부 입사각이 30.7° 에서 100 mJ/cm^2 노출시킨 DCG 필름을 현상 처리한 후, He-Ne 레이저로 홀로그래프 재생 내부 입사각 45° 에서 분석해 본 결과 S 파만 회절 시키는 특성을 발견하였다. 그림 6은 제작된 HPS 소자의 재생 편광각 (reconstructing polarization angle)에 대한 회절효율을 측정 한 그래프이다. 재생 광파의 편광각에 따른 회절효율은

$$\eta = \eta_s \cos^2\phi + \eta_p \sin^2\phi \quad (7)$$

와 같이 주어진다.

여기서 ϕ 는 편광각을 나타내며, $\phi=0, 180^\circ$ 는 S 파를 $\phi=90^\circ$

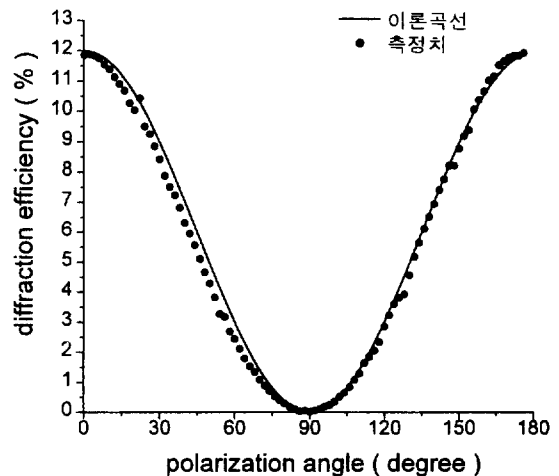


그림 6. 제작한 HPS 소자의 재생 편광각에 대한 회절효율.

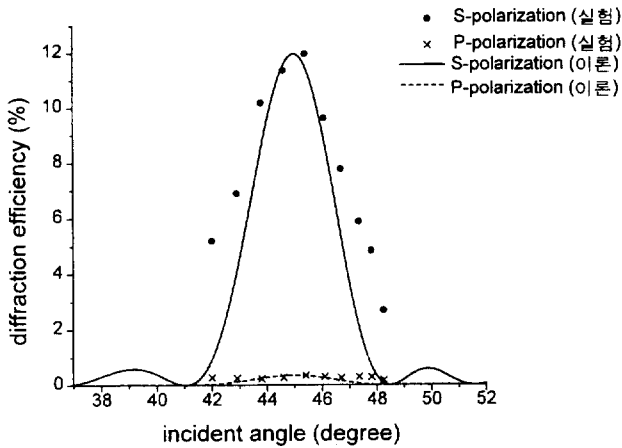


그림 7. 제작한 HPS 소자의 내부 입사각에 따른 P 파와 S 파의 회절효율 측정값.

일 때는 P 파를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 이론곡선과 실험값이 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 제작된 HPS 소자의 편광에 대한 회절강도비 $\eta_s : \eta_p$ 는 500 : 1 이상이였으며, S 파의 회절효율은 $\eta_s \approx 12\%$ 였다.

그림 7은 재생 내부 입사각이 45°가 되도록 제작한 HPS 소자의 재생 각도에 따른 P 파와 S 파의 회절효율을 나타낸다. 실선과 점선은 각각 S 파와 P 파에 대한 회절효율 이론식 (1)로 부터 얻어진 곡선이며 실험치는 각각 S 파와 P 파에 대한 측정값이다. Bragg 각에서 P 파의 회절효율이 최저가 되고 S 파의 회절효율이 최대가 됨을 볼 수 있다. 그림 7에서 내부 측정각도가 42°에서 48°까지 밖에 없는 것은 매질에 입사하는 공기중 Bragg 각이 69°근방이므로 공기중 재생 입사각 60°~82°사이에서만 측정되어지기 때문이다. 즉 60°미만에서는 그림 9와 같이 내부반사가 일어나고, 82°이상에서는 회절이 일어나지 않았다. 따라서 자유 공간으로 회절이 일어날 수 있는 젤라틴 내부각도 범위는 6°정도 밖에 되지 않았다.

Snell의 공식

$$n_{\text{입사}} \sin \theta_{\text{입사}} = n_{\text{굴절}} \sin \theta_{\text{굴절}} \quad (8)$$

을 이용하여 실험 결과를 분석해 보면, 표 1의 처리과정의 해 준비된 DCG 필름은 노출전의 평균 굴절율이 1.33 정도였으며, 노출된 DCG 필름을 현상처리 (표 2) 하였을 때 최종 평균 굴절율이 1.32 임을 알 수 있었다. 위에서 구한 최종 평균 굴절율을 이용하면 필름에 45°로 입사한 빛은 실제 젤라틴 내부에서는 31°의 입사각을 가짐을 알 수 있었다.

지금까지는 변조 변수 v_s, v_p 내의 Δn_1 에 대해서만 고려하였으나, 젤라틴내의 입사각 θ 또한 편광 홀로그래ムの 중요한 요소이고 이 값을 잘 이용한다면 여러 가지 특성을 지닌 홀로그래ము를 용이하게 만들 수 있을 것으로 기대된다. 그림 8 (a)는 동일한 100 mJ/cm²의 노출량에서 기록 입사각과 같은 재생 입사각도에서 회절효율 그래프이다. 실제로 필름에 입사되는 광파의 각도는 공기중에서 20°~70°였고, 계산된 젤라틴내부에서 입사각은 23°~44°였다. 그림 8 (b)는 노출량 100 mJ/cm²에서 예측되는 굴절율 변조값, $\Delta n_1 = 0.0375$ 을 변조변수 v_{ps} 와

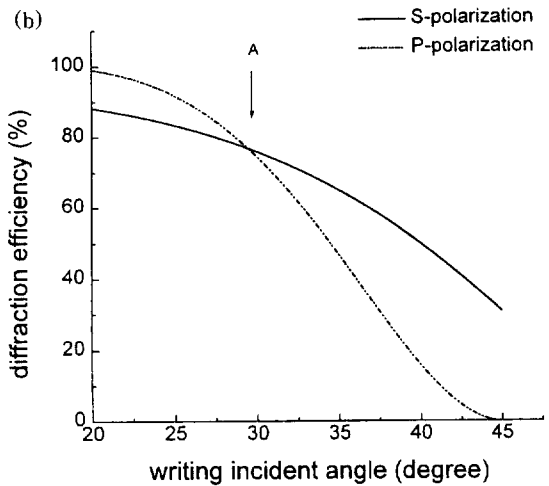
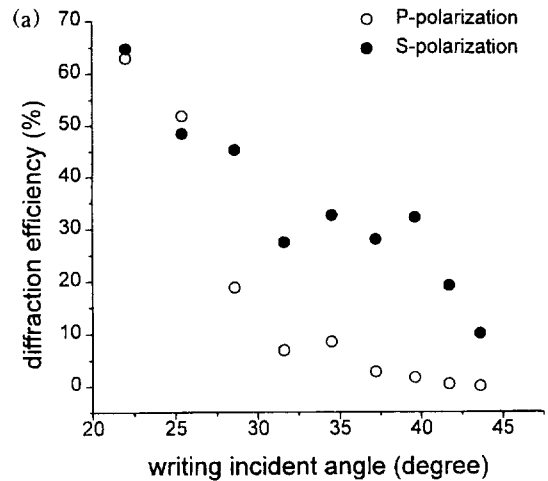


그림 8. 입사각에 따른 회절효율 측정치와 이론치의 비교.

(a) 100 mJ/cm²의 노출량에서의 각도에 대한 회절효율 측정값.

(b) $\Delta n_1 = 0.0375$ 일때 이론 회절효율.

식 (2),(3)에 대입하여 시뮬레이션 한 그래프이다. 그림 8 (b)의 A지점과 같이 $\eta_s = \eta_p$ 인, 즉 재생광파의 편광방향에 무관한 회절효율을 나타내는 특성은 광 통신용 집적 광학소자등에 유용하게 이용될 수 있다. 그리고 식 (8)의 Snell 법칙을 이용하여 유리기관의 굴절율이 1.519인 DCG 필름 내부에서 1차 회절광이 유리 기관으로 전반사되는 임계 입사각을 계산하면, $\theta_{\text{유리}} = 41.17^\circ$ 이므로 유리 내부에 41.17°이상의 각도로 회절한 빛은 내부 전반사하게 된다. 홀로그래ム 제작시 약간의 물체 파 각도 조정과 필름 처리 방법 조정으로 1차 회절광이 유리 내부에 전반사각 이상으로 입사하게 할 수 있다. 이 성질을 이용하여 42°의 공기중 입사각에서 Ar-ion 레이저로 HOE를 제작하여 공기중 60°각도에서 헬륨-네온 레이저로 재생할때, 내부 전반사가 일어남을 관측할 수 있었다. 이때 회절되어 내부 전반사되는 빛의 회절효율은 6%였으며, 편광 성분비 $\eta_s : \eta_p$ 는 50 : 1 였다. 이런 특정 편광을 내부전반사 시키는 성질은 자유공간 광연결 소자 (free-space optical interconnect)로의 잠재적인 응용성이 매우 크다고 할 수 있다. 그림 9는 실제 제

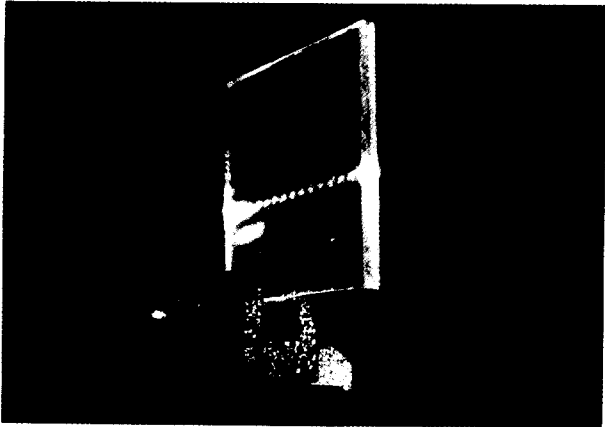


그림 9. S 파만 회절시키도록 만든 HPS 소자의 내부전반사 사진.

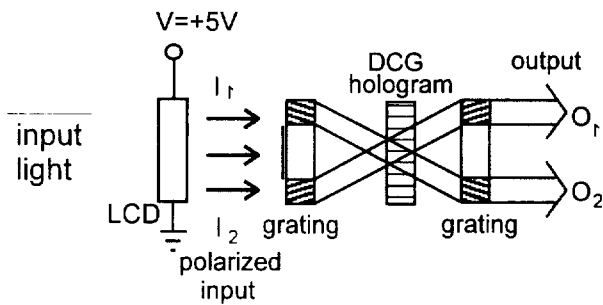


그림 10. DCG 홀로그래프를 응용한 광스위치 개략도.

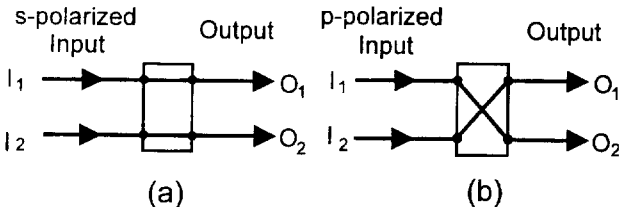


그림 11. 그림 10의 광스위치 상태 : (a) Bar 상태 (V=on), (b) Cross 상태 (V=off)

작한 HPS 소자의 내부 전반사 회절에 대한 사진이다.

또한 S 파나 혹은 P 파의 특정 편광만을 회절시키는 DCG 홀로그래프의 이러한 특성은 광 스위칭이나 광 논리회로 등의 분야에 응용할 수 있다. 그림 10은 이런 특성을 광 스위치에 응용한 간단한 예를 보여주고 있다. 그림에서 LCD (Liquid Crystal Display)는 입사광파의 편광 방향을 제어하기 위해 사용되며 DCG 홀로그래프는 S 편광만을 회절시키기 위해, grating은 입사빔을 100% 회절시키기 위해 사용된다. 그러므로, LCD 에 가하는 전압을 조절하여 S 편광만을 통과시킬 경우 그림 10의 광 스위치는 그림 11 (a)와 같은 평행상태 (bar

state)가 된다. 반대로 전압을 차단하여 LCD 가 P 편광만을 통과시킬 경우에는 그림 11 (b)와 같은 교차상태 (cross state)의 역할을 하게 된다.

V. 결 론

DCG 필름으로 투과형 위상 홀로그래프를 만들어 노출량과 각도에 따른 편광 회절효율을 측정하고, 이를 Kogelnik의 결합 파동이론에 근거하여 해석하였다. P 파의 회절 효율이 0 이 되도록 물체파와 기준파를 젤라틴 내부에서 90°로 만드는 과정에서 노출전 필름의 평균 굴절율이 1.33 이라는 것과 노출 및 현상 처리 후의 평균 굴절율이 1.32 라는 것을 알았으며, 노출량에 따른 P 파와 S 파의 회절효율을 통하여 굴절을 변조 값 Δn_1 을 구하였다. 이를 토대로 S 파만을 회절시키는 편광 소자를 설계 제작하였다. 이 편광 홀로그래프 광학소자의 회절 효율은 12%이고 S 파와 P 파의 회절효율의 비는 500 : 1 이상 이었다. 그리고 제작시 물체파의 필름 입사각과 필름 처리과정을 조절함으로써, 유리내부에서 전반사가 일어나도록 하여 자유공간 광연결소자와 광 스위치로 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] G. T. Sincerbox, "Miniature optics for optical recording," in Gradient-Index Optics and Miniature Optics, D. C. Leiner and J. D. Rees, eds. Proc. SPIE 935, 63 (1988).
- [2] B. Robertson, E. J. Restall, M. R. Taghizadeh and A. C. Walker, Appl. Opt. 30, 2366(1991).
- [3] J. H. Yeh and R. K. Kostuk, Appl. Opt. 34, 3152 (1995).
- [4] R. K. Kostuk, M. Kato and Y. T. Huang, Appl. Opt. 29, 3848 (1990).
- [5] P. Ehbers, H. P. Herzing and R. Dandiker, Opt. Commun. 89, 5 (1992).
- [6] D. E. Sheat and A. J. M. Miles, "Volume transmission gratings in dichromated gelatin for infrared applications," Proc. Third Int. Conf. on Holographic Systems, Components and Applications, IEE 342, 83-87 (1991).
- [7] H. Kogelnik, Bell Syst. Tech. J. 48, 2909 (1969).
- [8] L. D. Dickson, R. D. Rallison and B. H. Yung, Appl. Opt. 33, 5378 (1994).
- [9] Y. T. Huang, Appl. Opt. 33, 2115 (1994).
- [10] B. J. Chang and C. D. Leonard, Appl. Opt. 18, 2407 (1979).
- [11] 임용석, 최옥식, 김상철, 새물리. 35, 446 (1995).
- [12] M. R. Latta and R. V. Ploe, Appl. Opt. 18, 2418 (1979).
- [13] H. P. Herzing, Opt. Commun. 58, 144 (1986).

**Polarization property of dichromated gelatin hologram and
it's application to holographic polarization separation element**

Yeung Lak Lee, Yong Seok Im, Chong Hoon Kwak and Ok Shik Choe
Department of Physics, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

Jin-Won Park
Photomask Div. P.K. Ltd, Cheonan 330-300, Korea

Yun Woo Lee
*Image Technology Group, Korea Research Institute of Standards and Science,
Taejon 305-600, Korea*

(Received : January 25, 1997)

Holographic optical elements for polarization separation (HPS) are fabricated in a dichromated gelatin (DCG) thin film of 7 μm thickness. The polarization properties of HPS is characterized by measuring diffraction efficiency with several physical parameters like exposure time, incident angle and read-out polarization angles. The experimental data are compared with theoretical results based on Kogelnik's coupled wave theory, which shows good agreement. It is also found that the HPS element has a very high extinction ratio of polarization separation over 500 : 1 for S and P polarizations, respectively, with He-Ne laser wavelength. We also propose an optical switch and optical interconnects by using HPS elements.