

폴피린:아연 첨가 네마틱 액정에서 홀로그램 회절효율의 기록빔 세기 의존성 조사

Dependence of holographic diffraction efficiencies on intensity of writing beams in porphyrin:Zn-doped nematic liquid crystals

김은주, 양혜리, 김건엽, 박선용, 곽종훈

영남대학교 물리학과

ejkim@yumail.ac.kr

Rudenko와 Sukhov에 의해 색소가 첨가된 네마틱 액정의 광굴절 효과가 보고된 이후⁽¹⁾, 액정과 관계한 광굴절 매질에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다^(2,3). 본 연구에서는 폴피린:아연이 첨가된 네마틱 액정 박막에 이광과 혼합 실험을 수행하여 다양한 기록빔 세기에 대하여 외부 인가 전기장에 따른 스칼라 홀로그램의 회절효율을 측정하였다. 또한, 실험 결과를 매질 방정식과 토크 균형 방정식으로부터 얻은 이론곡선과 비교, 분석하였다.

광굴절 매질에서 정상상태에서의 회절효율(η)은

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\pi\delta n_1 d}{\lambda_r \cos\theta_B}\right) \tag{1}$$

로 주어진다. 여기서 d 는 매질의 두께, λ_r 은 재생빔의 파장, θ_B 는 재생빔의 Bragg 입사각이다. 네마틱 액정의 방정식과 토크 균형 방정식⁽⁴⁾으로부터 색소가 첨가된 네마틱 액정의 정상상태 굴절률 변조(δn_1)는

$$\delta n_1 = \frac{n_{\parallel}}{n_{\perp}}(n_{\parallel} - n_{\perp}) \cdot \frac{E_0|E_1|\cos\beta}{E_c^2 + E_0^2} \cdot \sin 2\beta \tag{2}$$

로 주어지고, n_{\parallel} 은 액정 방향자 축과 평행한 굴절률, n_{\perp} 은 방향자 축과 수직인 굴절률, E_0 는 외부인가 전기장, E_c 는 임계 전기장, β 는 매질의 기울임 각이다. 정상상태에서의 공간 전하장의 크기는

$$|E_1| = \frac{m}{2} \left[\frac{E_D^2 \nu^2 + E_0^2 \sin^2\beta}{X^2 + Y^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

로 주어지고, 여기서 $X = 1 + E_D/E_M + E_D/2E_q + E_0^2 \sin^2\beta/2E_q E_M + E_D^2/2E_q E_M$, $Y = E_0 \nu \sin\beta/2E_q$, m 은 변조 깊이, $E_D = k_B T q/e$ 는 확산 전기장, $E_M = \gamma n_0/\mu q$ 은 표류 전기장, $E_q = e n_0/q \epsilon \epsilon_0$ 는 포화 전기장, $q = \frac{2\pi}{\Lambda}$, Λ 는 격자간격, k_B 는 Boltzmann 상수, T 는 절대 온도, e 는 전자의 전하량, γ 는 재결합 상수, ϵ 은 상대 유전 상수, $n_0 = \sqrt{\alpha I_0/\gamma}$ 는 정상상태의 양(음)이온의 평균 밀도, I_0 는 전체 기록빔의 세기, α 는 전하 발생률, $\mu = \mu^+ \mu^- / (\mu^+ + \mu^-)$, $\nu = (\mu^+ - \mu^-) / (\mu^+ + \mu^-)$, μ^{\pm} 는 이동도이다.

실험에 사용한 매질은 다음과 같이 제작하였다. 한쪽 면이 ITO(indium tin oxide)로 코팅된 유리 셀 사이에 공간자(spacer)를 두어 모세관 현상을 이용하여 폴리린:아연이 첨가된 네마틱 액정을 균일하게 분포시켰다. 폴리린:아연의 농도는 네마틱 액정에 대하여 0.5wt%이고, 제작된 매질의 두께는 $20\mu\text{m}$ 이다. 폴리린:아연은 부산대학교 고분자공학과에서 직접 합성한 것을 사용하였고, 액정은 Merck 사의 E7 네마틱 액정을 사용하였다. E7 네마틱 액정은 온도가 20°C , 파장이 589nm 인 경우 $n_{\parallel} = 1.7462$, $n_{\perp} = 1.5216$ 이고, 유전 상수차는 $\Delta\epsilon = 13.8$ 이다. 회절효율을 측정하기 위해 두 기록빔은 514nm 의 Ar-ion 레이저를 사용하였고, 재생빔은 633nm 의 He-Ne 레이저를 사용하였다. 두 기록빔과 재생빔은 모두 p 편광으로 하였고, 재생빔의 세기는 $I_r = 4\text{mW}/\text{cm}^2$ 이다. 매질의 기울임 각은 $\beta = 35^\circ$ 이다.

그림1(a)는 격자간격이 $\Lambda = 1.49\mu\text{m}$ 인 경우, 기록빔의 세기에 대하여 회절효율이 최대가 되는 외부 인가 전기장 $E_{0, optimum}$ 의 이론 곡선이다. 그림1(b)는 외부 인가 전기장이 $E_0 = 1.4\text{V}/\mu\text{m}$ 이고, 격자간격이 $\Lambda = 1.49\mu\text{m}$ 인 경우, 기록빔 세기에 따른 회절효율을 나타낸다. 실선은 이론 곡선이다. 다양한 기록빔 세기에 대하여 외부 인가 전기장에 따른 회절효율 측정 결과는 그림1(c)와 같다. 실선은 이론 곡선이다. 전체 기록빔의 세기가 $I_0 = 414\text{mW}/\text{cm}^2$ 인 경우, 최대 38.5%의 회절효율을 얻었고, 이론적으로 구한 회절효율이 최대가 되는 외부 인가 전기장은 $E_{0, optimum} = 1.245\text{V}/\mu\text{m}$ 이다. $I_0 = 252\text{mW}/\text{cm}^2$ 인 경우 $E_{0, optimum} = 1.135\text{V}/\mu\text{m}$. $I_0 = 178\text{mW}/\text{cm}^2$ 인 경우 $E_{0, optimum} = 1.064\text{V}/\mu\text{m}$ 를 얻었다.

1. E. V. Rudenko and A. V. Sukhov, "Optical induced spatial charge separation in a nematic and the resultant orientational nonlinearity," JEPT. **78**, 875 (1994).
2. I. C. Khoo, "Holographic grating formation in dye-and fullence C_{60} -doped nematic liquid-crystal film," Opt. Lett. **20**, 2137 (1995).
3. H. Ono and N. Kawatsuki, "Surface-stabilized holography in an azo-dye doped liquid crystals," Opt. Lett. **17**, 441 (1992).
4. K. H. Kim, E. J. Kim, S. J. Lee, J. H. Lee, and C. H. Kwak, "Effects of applied electric field on orientational photorefractive in porphyrin:Zn-doped nematic liquid crystals," Appl. Phys. Lett. **85**, 3 (2004).

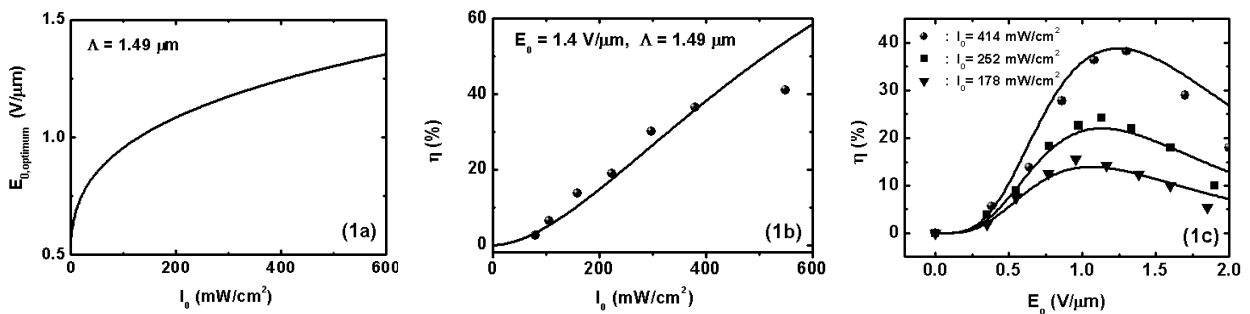


그림1(a) 기록빔의 세기에 대한 회절효율이 최대가 되는 외부 인가 전기장 $E_{0, optimum}$ 의 이론 곡선.
 그림1(b) 기록빔의 세기에 따른 회절효율.
 그림1(c) 외부 인가 전기장에 따른 회절효율.