

색소 첨가 네마틱 액정에서 광굴절 효과의 격자 간격 의존성 연구

Study on the dependence of the photorefractive effect on the grating period in dye-doped nematic liquid crystal

김은주, 양혜리, 김건엽, 박선용, 곽종훈
영남대학교 물리학과
ejkim@yumail.ac.kr

네마틱 액정에 기초한 광굴절 매질은 큰 광학적 비등방성과 전기 광학 효과 때문에 실시간 홀로그램과 광정보 처리, 위상 공액 그리고 광 스위칭 등의 분야에 응용되고 있다. Khoo에 의해 네마틱 액정의 방향자 재배열에 의한 광굴절 효과(reorientational photorefractive effect)가 최초로 보고된 이후⁽¹⁾, 액정과 관계한 광굴절 매질에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다^(2,3). 본 연구에서는 폴피린:아연 첨가 네마틱 액정 박막에 이광파 혼합 실험을 수행하여 고차 회절이 발생하지 않는 Bragg 영역에서의 다양한 격자 간격에 대하여 외부 인가 전기장에 따른 이득계수와 회절효율을 측정하였다. 또한, 실험 결과를 매질 방정식과 토크 균형 방정식으로부터 얻은 이론곡선과 비교, 분석하였다.

광굴절 매질에서 이득계수(Γ)와 회절효율(η)은

$$\Gamma = \frac{4\pi\delta n_1(t)}{\lambda_w \cos\theta_{inc}}, \quad \eta = \sin^2\left(\frac{\pi\delta n_1(t)d}{\lambda_r \cos\theta_B}\right)$$

로 주어진다. 여기서 d 는 매질의 두께, λ_w 는 기록빔의 파장, λ_r 은 재생빔의 파장, $2\theta_{inc}$ 는 기록빔의 입사각, θ_B 는 재생빔의 Bragg 입사각이다. 매질의 방정식과 토크 균형 방정식^(4,5)으로부터 색소가 첨가된 네마틱 액정의 정상상태 굴절률 변조 $\delta n_1(t = \infty)$ 은

$$\delta n_1 = \frac{n_{\parallel}}{n_{\perp}}(n_{\parallel} - n_{\perp}) \cdot \frac{E_0|E_1|\cos\beta}{E_c^2 + \left\{E_0^2 - \frac{3}{4}|E_1|^2\cos 2\beta\right\}} \cdot \sin 2\beta$$

로 주어지고, n_{\parallel} 은 액정 방향자 축과 평행한 굴절률, n_{\perp} 은 방향자 축과 수직인 굴절률, E_0 는 외부인가 전기장, $E_c = \sqrt{K|\vec{q}|^2/\Delta\epsilon\epsilon_0}$ 는 임계 전기장, K 는 탄성 계수, $\Delta\epsilon$ 는 유전 상수차, ϵ_0 는 진공에서의 유전 상수, $|\vec{q}| = 2\pi/\Lambda_g$ 는 격자 벡터의 크기, Λ_g 는 격자간격, β 는 매질의 기울임 각이다. 정상상태에서의 공간 전하장의 크기는

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

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, $E_D = k_B T |\vec{q}| / e$ 는 확산 전기장, $E_M = \gamma n_0 / |\vec{q}|$ 은 표류 전기장, $E_q = e n_0 / |\vec{q}| \epsilon \epsilon_0$ 는 포화 전기장, k_B 는 Boltzmann 상수, T 는 절대 온도, e 는 전자의 전하량, γ 는 재결합 상수, ϵ 은 상대 유전 상수, n_0 는 정상상태의 양(음)이온의 평균 밀도, $\mu = \mu^+ \mu^- / (\mu^+ + \mu^-)$, $\nu = (\mu^+ - \mu^-) / (\mu^+ + \mu^-)$, μ^\pm 는 이동도이다.

실험에 사용한 매질은 다음과 같이 제작되었다. 한쪽 면이 ITO(indium tin oxide)로 코팅된 유리 셀 사이에 공간자(spacer)를 두어 모세관 현상을 이용하여 폴피린:아연이 첨가된 네마틱 액정을 균일하게 분포시켰다. 폴피린:아연의 농도는 네마틱 액정에 대하여 0.5wt%이고, 제작된 매질의 두께는 20 μm 이다. 폴피린:아연은 부산대학교 고분자공학과에서 직접 합성한 것을 사용하였고, 액정은 Merck 사의 E7 네마틱 액정을 사용하였다. E7 네마틱 액정은 온도가 20 $^\circ\text{C}$, 파장이 589nm인 경우 $\Delta n = 0.2264$ ($n_{\parallel} = 1.7462$, $n_{\perp} = 1.5216$)이고, 유전 상수차는 $\Delta \epsilon = 13.8$ 이다. 이득계수와 회절효율을 측정하기 위해 두 기록빔은 514nm의 Ar-ion 레이저를 사용하였고, 재생빔은 633nm의 He-Ne 레이저를 사용하였다. 두 기록빔과 재생빔은 모두 p편광으로 하였고, 두 기록빔의 세기는 각각 $I_w = 112\text{mW}/\text{cm}^2$ 이고, 재생빔의 세기는 $I_r = 4\text{mW}/\text{cm}^2$ 이다. 매질의 기울임 각은 $\beta = 35^\circ$ 이다. 그림 1은 격자 간격이 $\Lambda_g = 1.35\mu\text{m}$ 와 $\Lambda_g = 1.10\mu\text{m}$ 인 경우, 외부 인가 dc 전기장에 따른 이득계수이고 실선은 시뮬네이션 이론곡선을 나타낸다. 그림 2는 격자 간격이 각각 $\Lambda_g = 1.35\mu\text{m}$ 와 $\Lambda_g = 1.24\mu\text{m}$, $\Lambda_g = 1.10\mu\text{m}$ 인 경우, 외부 인가 dc 전기장에 따른 회절효율이고 실선은 시뮬네이션 이론곡선이다. 격자 간격이 $\Lambda_g = 1.35\mu\text{m}$ 인 경우, 이론 곡선으로부터 얻은 시뮬네이션 상수는 다음과 같다; $E_c = 1.58\text{V}/\mu\text{m}$, $E_D = 0.108\text{V}/\mu\text{m}$, $E_q = 0.305\text{V}/\mu\text{m}$, $E_M = 0.285\text{V}/\mu\text{m}$, $\nu = 0.37$.

1. I. C. Khoo, H. Li, and Y. Liang, Opt. Lett. **19**, 1723 (1994).
2. I. C. Khoo, Opt. Lett. **20**, 2137 (1995).
3. J. Mun, C. S. Yoon, H. W. Kim, S. A. Choi, and J. D. Kim, Appl. Phys. Lett. **79**, 1933 (2001).
4. I. C. Khoo, IEEE J. Quantum. Electron. **32**, 525 (1996).
5. K. H. Kim, E. J. Kim, S. J. Lee, J. H. Lee, and C. H. Kwak, Appl. Phys. Lett. **85**, 3 (2004).

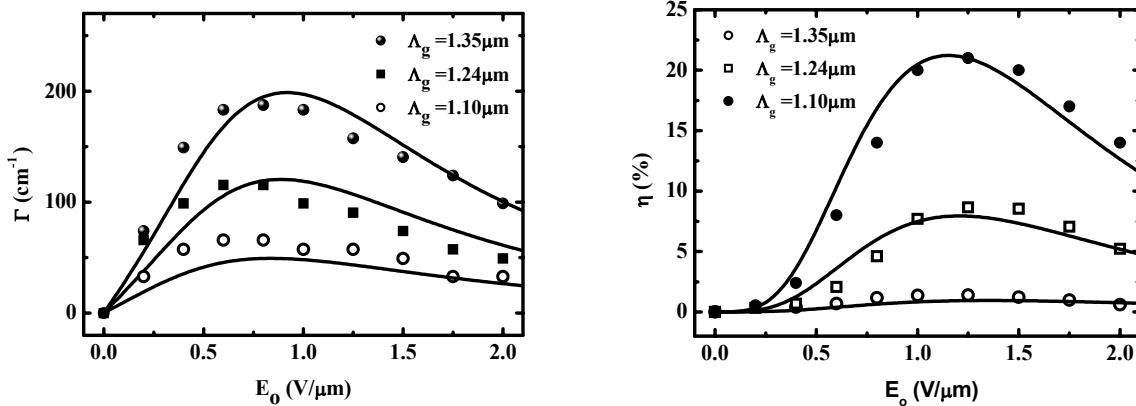


그림 1. 외부 인가 dc 전기장에 따른 이득계수. 그림 2. 외부 인가 dc 전기장에 따른 회절효율.