

비정질 As₂S₃ 박막에서 비선형 굴절률 변화에 따른 Fraunhofer 회절 무늬 변화

Changes of Fraunhofer Diffraction Pattern by Nonlinear Refraction Index Change in Amorphous As₂S₃ Thin Film

양혜리, 김은주, 김건엽, 박선용, 곽종훈
영남대학교 물리학과
h.r.yang@yumail.ac.kr

광학매질의 비선형 광학 특성 연구는 광 정보처리는 광 메모리 등의 응용과 개발에 필수적인 요소이다. 비선형 광학 계수를 결정하기 위한 방법으로는 축퇴 4광파 혼합법, 이광파 혼합법, 비선형 간섭계, Z-scan 방법 등이 있지만 기존의 방법보다 기술적으로 간단한 영상처리법^(1, 2)은 렌즈를 사용함으로써 원하는 상을 비선형 매질에 저장하고 배율을 조절함으로써 확대된 상을 관찰할 수 있으며 빔세기를 측정함으로써 비선형 굴절률과 비선형 흡수율을 구할 수 있다. 본 연구에서는 영상처리법을 이용하여 비정질 As₂S₃ 박막의 비선형 굴절률을 결정하고 비선형 굴절률 변화에 따른 Fraunhofer 회절 무늬의 변화를 관측하였다.

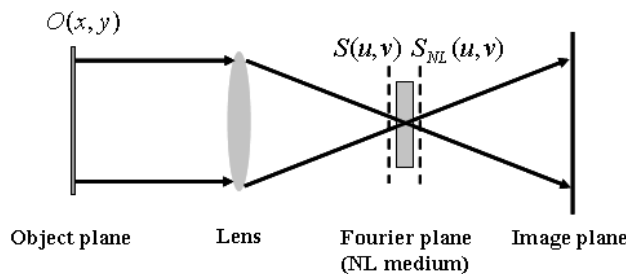


그림 1. 실험 개략도.

선편광된 단색 평면파가 물체 평면(object plane)에 진폭 투과율이 $t(x,y)$ 인 상에 조사된다면 렌즈 (L)의 후방초점에서 빔의 진폭 분포는 다음과 같다⁽³⁾.

$$S(u,v) = \frac{1}{\lambda f} FT[O(x,y)] = \frac{1}{\lambda f} \iint O(x,y) \exp\left[-\frac{j2\pi}{\lambda f}(ux + vy)\right] dx dy \quad (1)$$

여기서 FT 는 Fourier 변환 연산자이며, $O(x,y) = Et(x,y)$ 는 물체 평면의 진폭 분포, E 는 입사된 단색 평면파의 진폭, λ 는 빔의 파장, f 는 렌즈의 초점거리, $f_x = u/\lambda f$ 와 $f_y = v/\lambda f$ 는 Fourier 평면에서 공간 주파수이다. Fourier 평면은 렌즈의 후방초점이 존재하는 평면으로 비선형 광학 매질을 고정시켜둔다. 흡수를 무시한 비선형 Kerr 매질인 경우 박막을 투과한 빔의 진폭 분포는

$$S_{NL}(u,v) = S(u,v) \exp(j\Delta\phi_{NL}) \quad (2)$$

이며 $\Delta\phi_{NL} = kn_2(t)LI(u,v)$ 는 비선형 위상 변화, $k = 2\pi/\lambda$ 는 파수, L 은 박막의 두께, $I(u,v) = |S(u,v)|^2$ 는 매질에 입사하는 빔의 세기, $n_2(t) = n_2(\infty)[1 - \exp(-\gamma I(u,v)t)]$ 는 시간에 따른 비선형 굴절률 변화

이며 γ 는 비례 상수이다. 비선형 위상 변화가 매우 작다고 가정하면 얇은 비선형 박막의 출사면에서 정상상태($t = \infty$)의 빔세기는

$$I_{NL}(u, v, t = \infty) = \frac{1}{(\lambda f)^2} |FT[O(x, y)]|^2 + \left(\frac{kn_2(\infty)L}{\lambda^3 f^3} \right)^2 |FT[O(x, y)]|^6 \quad (3)$$

로 표현되며 첫 번째 항은 물체 평면의 상이 Fourier 변환된 빔세기이며 두 번째 항은 정상상태에서 비선형 굴절률 변화에 의한 빔세기 변화를 의미한다.

실험에 사용한 매질은 약 10^{-5} Torr의 압력에서 저항가열법으로 제작된 As_2S_3 박막으로 두께는 약 $2\mu m$ 이다. 매질에 입사되는 단일빔은 파장이 $514nm$ 인 Ar-ion 레이저를 사용하였으며 물체 평면에 위치한 상은 반지름이 $1mm$ 인 원형 개구로 진폭 투과율은 $t(x, y) = Circ(r/R)$ 이다. 여기서 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, R 은 원형 개구의 반지름이다. 그림 2(a)는 실험에 사용한 원형 개구이며 그림 2(b)는 Matlab을 이용하여 원형 개구를 Fourier 변환한 결과이다. 그림 2(c)는 Fourier 평면에 위치한 As_2S_3 박막을 배율이 100배인 광학현미경으로 관찰한 결과로 Airy 디스크의 크기가 약 $20\mu m$ 인 원형 격자 무늬이며 광암색화 현상도 관측되었다. 이는 원형 개구의 Fraunhofer 회절 무늬와 동일함을 알 수 있으며 그림 2(b)에서 예측한 결과와 동일하였다. 그림 3은 원형 개구를 지난 빔이 As_2S_3 박막을 투과하여 스크린에 비친 모습을 시간이 경과함에 따라 관측한 결과이다. 그림 3(a)는 As_2S_3 박막을 투과한 직후의 결과이며 그림 3(b)는 약 3분 후, 그림 3(c)는 약 7분 후(정상상태)에 관측한 결과이다. 그림 3(c)와 같이 정상상태의 경우, Airy 디스크 안에 밝은 점은 식 (3)에서 증명한 것과 같이 두 번째 항의 비선형 굴절률 변화에 의해서 나타나는 현상임을 알 수 있었다.

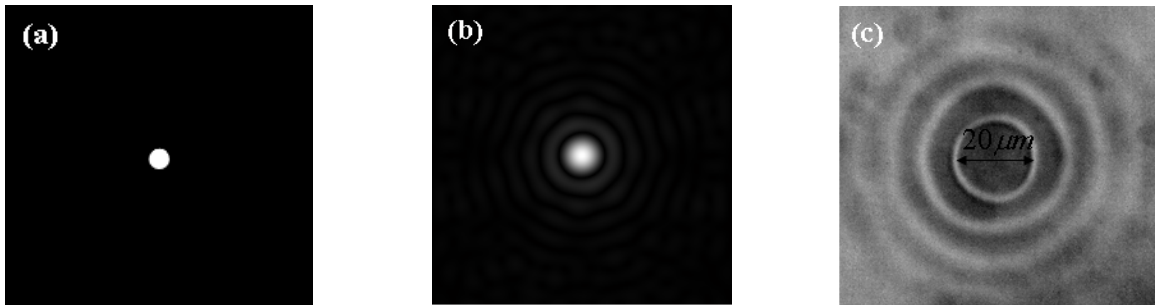


그림 2. (a) 반경이 $1mm$ 인 원형개구, (b) 원형 개구의 Fourier 변환 결과, (c) 원형 개구에 의해서 As_2S_3 박막에 저장된 원형 격자 무늬.

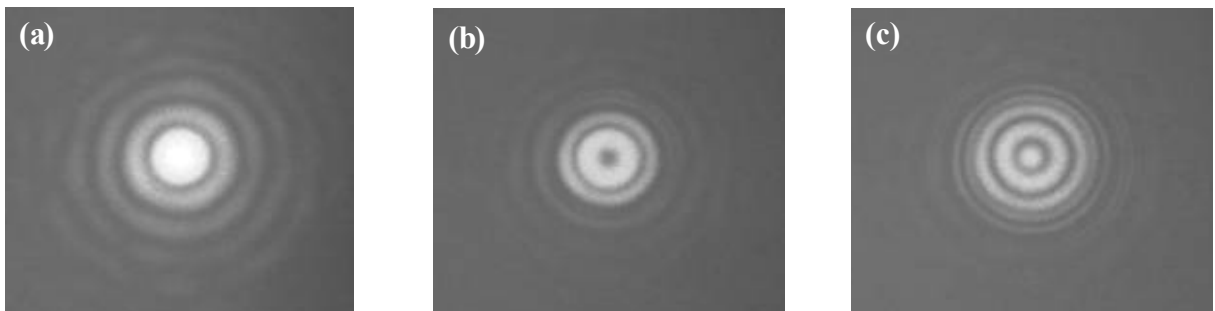


그림 3. 원형 개구에 의한 As_2S_3 박막을 투과한 빔의 비선형 굴절률 변화에 따른 실시간 상변화. (a) 초기, (b) 약 3분 후, (c) 약 7분 후(정상상태).

1. G. Boudebs and S. Cherukulappurath, *Phy. Rev.* **69**, 053814 (2004).
2. G. Boudebs, M. Chis, A. Monteil, *Opt. Comm.* **150**, 287 (1998).
3. J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, 2nd ed. (McGraw-Hill, New York, 1996).