

## 비정질 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 박막에서 광학적 영상 처리법을 이용한 상의 변화 관찰

### Observations of image change by optical 4f imaging system in calcogenide amorphous As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> film

양혜리, 김은주, 김건엽, 박성용, 곽종훈

영남대학교 물리학과

h.r.yang@yumail.ac.kr

As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 박막과 같은 칼코게 나이드 반도체는 광 조사에 의해서 매질의 광 구조가 변화하여 여러 비선형 광학 효과들이 관측되고 있다. 이광과 혼합 실험, Z-scan 실험<sup>(1)</sup>, 회절효율 측정 실험, 4광과 혼합 실험 등의 여러 가지 방법을 이용한 광학 매질의 비선형 광학 특성에 관한 연구가 활발히 이루어졌다. 그러나 기존의 방법보다 기술적 측면에서 간단하며, 단일광을 사용하여 비선형 매질에 회절 무늬를 저장할 수 있고, 렌즈의 배율을 조절하여 확대된 상도 관찰할 수 있는 광학적 영상 처리법<sup>(2, 3)</sup>은 암호화, 해독, 재생, 광학적 필터 등에 응용되고 있다. 광학적 영상 처리법은 Z-scan 방법과 달리 비선형 광학 매질을 초점 전, 후로 이동하지 않고 첫 번째 렌즈의 뒤 초점과 두 번째 렌즈의 앞 초점이 공유하는 Fourier 평면에 매질을 고정시켜둔다. 본 연구에서는 비정질 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 박막에서 광학적 영상 처리법을 이용하여 물체 (object) 평면에 위치한 원형 개구의 비선형 굴절률 변화에 따른 실시간 변화를 두 번째 렌즈의 뒤 초점이 위치한 상 (image) 평면에서 관찰하고 Fourier 광학<sup>(4)</sup>을 바탕으로 이론식을 유도하였다.

첫 번째 렌즈의 앞 초점이 위치한 평면인 물체 평면에 진폭 투과율  $t(x,y)$ 인 상을 두고 선편광된 단색 평면파를 조사한다면 Fourier 평면에 위치한 매질 바로 앞에서의 빔의 진폭 분포는 다음과 같이 주어진다.

$$S(u,v) = \frac{1}{\lambda f_1} FT[O(x,y)] = \frac{1}{\lambda f_1} \iint O(x,y) \exp\left[-\frac{j2\pi}{\lambda f_1}(ux + vy)\right] dx dy. \quad (1)$$

여기서  $FT$ 는 Fourier 변환 연산자이며,  $O(x,y) = Et(x,y)$ 는 물체 평면의 진폭 분포,  $E$ 는 입사 평면파의 진폭,  $f_1$ 은 첫 번째 렌즈의 초점 거리,  $\lambda$ 는 입사광의 파장이다. 비선형 흡수를 무시하고 Rayleigh 회절 거리에 비해 얇은 매질 근사 (thin sample approximation)를 사용한다면, 비선형 위상 변화가 매우 작은 경우 Kerr 매질의 출사면에서 빔의 진폭 분포는 다음과 같이 주어진다.

$$S_{NL}(u,v) = S(u,v) \exp(j\Delta\phi_{NL}) \\ \approx \frac{1}{\lambda f_1} FT[O(x,y)] \times \left\{1 + jkn_2(\infty)L|S(u,v)|^2 [1 - \exp(-\gamma|S(u,v)|^2 t)]\right\}. \quad (2)$$

여기서  $\Delta\phi_{NL} = kn_2(t)L I(u,v)$ 는 비선형 위상 변화,  $n_2(t) = n_2(\infty)[1 - \exp(-\gamma I(u,v)t)]$ 는 비선형 굴절률 변화,  $k$ 는 파수 벡터,  $L$ 은 박막의 두께,  $I(u,v) = |S(u,v)|^2$ 는 매질에 입사하는 빔의 세기,  $\gamma$ 는 비례 상수이다. 매질을 투과한 빔은 두 번째 렌즈를 지나게 되며 상 평면에서 빔의 진폭 분포는 다음과 같이 주어진다.

$$U(x',y') = \frac{1}{\lambda f_2} FT^{-1}[S_{NL}(u,v)H(u,v)]. \quad (3)$$

여기서  $FT^{-1}$ 는 역 Fourier 변환 연산자이며,  $H(u, v)$ 는 광학적 전달함수,  $f_2$ 는 두 번째 렌즈의 초점 거리이다.

Fourier 평면에 위치한 비선형 광학 매질은 약  $10^{-5}$ Torr의 진공에서 저항가열법으로 제작된 약  $2\mu\text{m}$  두께의 비정질  $\text{As}_2\text{S}_3$  박막이다. 그림 1은 광학적 영상 처리법의 실험 장치도이며 입사빔은  $514\text{nm}$  파장의 Ar-ion 레이저이며 초점 거리가  $20\text{cm}$ 인 두개의 bi-convex 렌즈를 사용하였다. 물체 평면에 위치한 상은 반지름이  $1\text{mm}$ 인 원형 개구로 진폭 투과율은  $t(x, y) = \text{Circ}(r/R)$ 이며 여기서  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $R$ 은 원형 개구의 반지름이다.  $\text{As}_2\text{S}_3$  박막에 저장된 상은 이론적으로 예측한 결과와 같이 원형 개구의 Fraunhofer 회절 무늬와 동일하였다. 물체 평면에 위치한 원형 개구는 첫 번째 렌즈에 의해 Fourier 변환되고 그 결과가 두 번째 렌즈에 의해 역 Fourier 변환됨으로써 상 평면에서 관찰되는 상은 물체 평면의 원형 개구와 같아야 한다. 그림 2는 Fourier 평면에  $\text{As}_2\text{S}_3$  박막을 고정시켜두고 물체 평면에 둔 원형 개구를 상 평면에서 관찰한 실시간 상 변화이며 이는 광 조사에 의한  $\text{As}_2\text{S}_3$  박막의 시간에 따른 비선형 굴절률 변화에 의해 나타나는 현상임을 알 수 있다. 그림 2(a)는 매질을 투과한 직후의 상을 나타내며 시간이 지남에 따라 가장자리가 어두워졌다가 약 1분 후에는 그림 2(b)와 같이 가장자리가 밝아지면서 주위에 새로운 링 무늬가 형성된다. 또한 약 40분 후 (정상 상태)에는 원형 개구의 Fraunhofer 회절 무늬와 같이 링 무늬가 그림 2(c)와 같이 나타나게 된다.

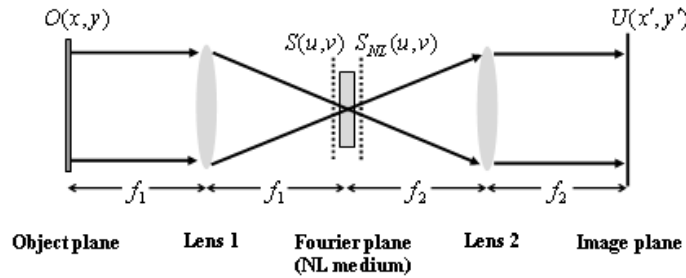


그림 1. 광학적 영상 처리법 실험 장치도.

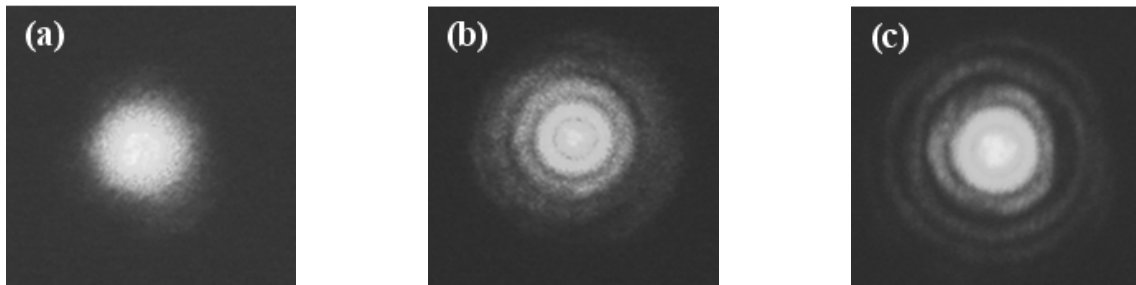


그림 2.  $\text{As}_2\text{S}_3$  박막에서 비선형 굴절률 변화로 인한 상 평면에서 관찰된 원형 개구의 실시간 상 변화, (a) 초기, (b) 약 1분 후, (c) 약 40분 후 (정상 상태).

1. M. Sheik-Bahae, A. A. said, T. H. Wei, D. J. Hagan and E. W. V. Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam," IEEE J. Quantum Electron. **26**, 760 (1990).
2. G. Boudebs and S. Cherukulappurath, "Nonlinear optical measurements using a 4f coherent imaging system with phase object," Phys. Rev. A. **69**, 053813-1 (2004).
3. G. Boudebs, M. Chis, A. Monteil, "Contrast increasing by third-order nonlinear image processing: a numerical study for microscopic rectangular object," Opt. Commun. **150**, 287 (1998).
4. J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, (McGraw-Hill, 1966).