

비정질 As₂S₃ 박막에서 시간 종속 투과율의 다중간섭효과

Multiple Interference Effect on Time-dependent Transmittance in an Amorphous As₂S₃ Thin Film

박선용, 양혜리, 김은주, 김건엽, 곽중훈
 영남대학교 이과대학 물리학과
 psy99@yu.ac.kr

광학 매질의 비선형 광학 특성 중에서 비선형 굴절률과 흡수율 측정은 광학적인 응용에 있어서 매우 중요한 요소이다. 최근에 Michelotti 등은 As₂S₃ 박막의 시간에 따른 규격화된 투과율 변화가 초기의 투과율 (T=1)보다 큰 현상을 광표백효과 (photobleaching effect)로 보고하였다^[1]. 그러나, 본 연구에서는 비정질 As₂S₃ 박막의 규격화된 투과율이 큰 입사빔의 세기에서는 1보다 크며 진동하는 현상을 박막과 기관사이의 다중간섭에 의한 효과임을 실험과 이론으로 규명하였다. 본 실험에서는 비정질 As₂S₃ 박막을 진공 증착법을 이용하여 제작하고 분광광도계 (spectrophotometer)를 이용하여 파장에 따른 비정질 As₂S₃ 박막의 투과율을 분석함으로써 선형 굴절률 (n_0)와 흡수계수 (α_0)를 결정하였다. 또한 파장이 514 nm인 Ar-ion 레이저를 조사하여 실시간 투과율 변화를 측정하여 다중간섭효과를 관측하고 분석하였다.

기관 위에 증착된 박막에 수직으로 빛이 입사하는 경우의 투과율은 다음과 같이 주어진다^[2].

$$T = \frac{Ax}{B - Cx \cos \phi + Dx^2} \tag{1}$$

여기서 $A = 16n^2s$, $B = (n+1)^3(n+s^2)$, $C = 2(n^2-1)(n^2-s^2)$, $D = (n-1)^3(n-s^2)$, $\phi = 4\pi nd/\lambda$, $x = \exp(-\alpha d)$ 이며 n 과 s 는 박막과 기관의 굴절률, α 는 흡수계수, d 는 박막의 두께, λ 는 파장이다. 비정질 As₂S₃ 박막의 투과율은 파장에 따라 흡수가 강하게 일어나는 영역 ($x \ll 1$), 흡수가 약하게 일어나는 영역 ($x < 1$), 투명한 영역 ($x = 1$)으로 나눌 수가 있고, 각 영역에 적합한 조건을 이용하여 굴절률과 흡수계수, 두께를 구할 수 있다. 또한 굴절률과 흡수계수에 관련된 이론^[3-5]을 적용하여 물질상수들을 구할 수 있다. 또한 광학적 띠 간격에너지 (optical band gap energy)에 해당하는 레이저 광원이 물질에 입사하면 광암색화 (photodarkening)가 일어나며 광학상수의 변화를 유도하게 된다. 이 과정에서 시간에 따른 굴절률과 흡수계수의 변화는 4준위 에너지 모형을 적용하여 밀도행렬 (density matrix)기법^[5]으로 구할 수 있으며 다음과 같이 주어진다.

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \Delta\alpha(t) = \alpha_0 + \delta\alpha \frac{J}{1+J} [1 - \exp(-\beta t)] \tag{2-1}$$

$$n(t) = n_0 + \Delta n(t) = n_0 + \delta n \frac{J}{1+J} [1 - \exp(-\beta t)] \tag{2-2}$$

여기서, t 는 시간이고, $\delta\alpha$ 와 δn 은 최대 흡수계수와 굴절률 변화, $J = I/I_{sat}$, I 는 입사빔의 세기, I_{sat} 는 포화세기 (saturation intensity), β 는 온도에 의존하는 물질상수이다. 시간에 따른 굴절률과 흡수계수의 변화를 식 (1)에 적용하여 실시간 투과율 변화를 예측할 수 있다. 그림 1은 Ar-ion 레이저($\lambda = 514\text{nm}$)

의 입사빔 세기에 따른 As_2S_3 박막의 실시간 투과율 변화를 나타낸 그래프이다. 입사빔의 세기가 작은 경우 광암색화 현상에 의해서 투과율이 시간에 따라 지수함수적으로 감소하지만 입사빔 세기가 큰 경우 노출 초기에 증가했다가 감소하는 현상을 보였다. 위의 결과는 Michelotti등의 주장처럼^[1] As_2S_3 박막의 광표백현상이 아니라 As_2S_3 박막과 기판 사이의 다중간섭에 의한 효과임을 알 수 있다. 식 (2)를 식 (1)에 대입하여 얻은 투과율 변화를 이용하여 실험값을 시뮬레이션하고 그 결과로부터 결정된 광학상수는 다음과 같다. $\alpha_0 = 1.5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$, $\delta\alpha = 2.8 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$, $n_0 = 2.45$, $\delta_n = 0.13$, $\beta = 8.6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{mJ}$, $I_{sat} = 1.15 \times 10^2 \text{ mW/cm}^2$ 를 얻었다. 그림 2는 As_2S_3 박막에 입사된 빔의 세기가 848 mW/cm^2 일 때 위의 값들을 사용하여 식 (2)의 비선형 굴절률과 흡수계수의 변화를 나타낸 그래프이다. 광암색화에 의해서 굴절률과 흡수계수가 증가함을 알 수 있다. 그림 3은 정상상태에서 입사빔의 세기에 따른 굴절률과 흡수계수 그래프이다. 입사빔의 세기가 증가함에 따라 정상상태의 비선형 굴절률과 흡수계수가 증가하여 포화됨을 보여주고 있다.

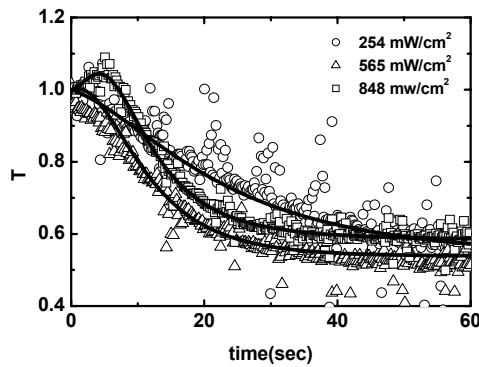


그림 1. 입사빔 세기에 따른 As_2S_3 박막의 실시간 투과율 변화.

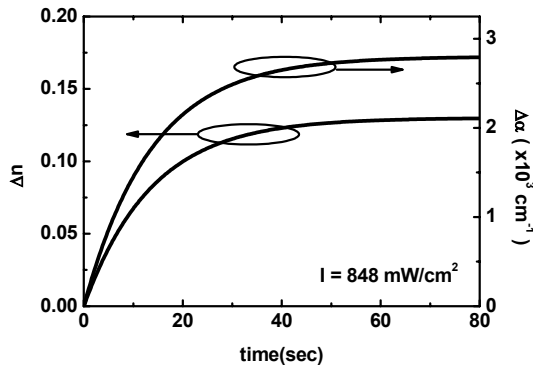


그림 2. 시간에 따른 비선형 굴절률과 흡수계수 변화. ($I = 848 \text{ mW/cm}^2$)

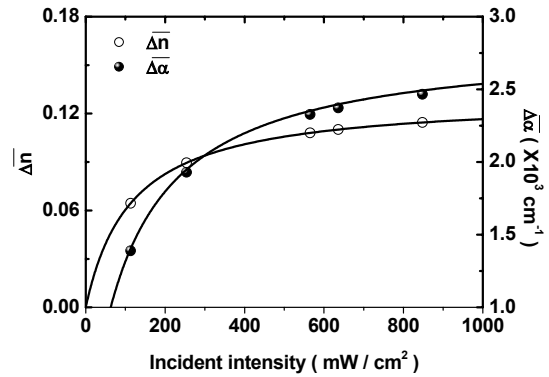


그림 3. 입사빔 세기에 따른 정상상태의 굴절률과 흡수계수. (실선은 이론곡선).

[1] F. Michelotti, E. Fazio, F. Senesi, M. Bertolotti, V. Chumash and A. Andriesh, Opt. Comm. **101**, 74 (1993).
 [2] R. Swanpoel, J. Phys. E, **16**, 1214 (1983).
 [3] S. H. Wemple and W. Didomenico, Phys. Rev. **B 3**, 1338 (1971).
 [4] S. H. Wemple, Phys. Rev. **B 7**, 3767 (1973).
 [5] C. H. Kwak and S. S. Lee, Appl. Opt. **27**, 2858 (1988).