

## 비정질 $As_2S_3$ 박막에서의 흡수형 광쌍안정 현상

안응득·김석원·한성홍

울산대학교 물리학과

(1996년 2월 8일 받음)

고립전자쌍을 갖는 비정질  $As_2S_3$  단층박막에서 처음으로 흡수형 광쌍안정현상을 관측하였다. 광원으로는 렌즈로 집속된  $Ar^+$  laser beam( $\lambda=514.5$  nm)을 사용하였다. 본 실험에서는 공진기가 없는 단층의 박막 시료에서 시료의 흡수계수의 온도의존성에 의해 광쌍안정현상이 발생함을 알 수 있었고 이 효과는 물질내에서 흡수단의 가역적인 편이에 의해 설명되었다. 실험에서 광쌍안정조건은 매질의 초기흡수계수와 시료의 두께의 곱에 의해 결정되고 시료의 두께가  $0.8 \mu m$ 일 때 이 값은 약 0.12 임을 알 수 있었다. 또한 입사 레이저광세기 가  $150\sim 180$  mW일 때 스위칭이 뚜렷했고 스위칭시간은 약  $10^{-4}$ 초였다.

### I. 서 론

근래에 와서 급격히 증가하는 많은 양의 정보를 처리하고 분석하기 위하여 기존의 전자 시스템의 성능 향상과 아울러 병렬식 컴퓨터와 같은 새로운 개념의 정보처리 시스템이 제안되어 왔다<sup>[1]</sup>. 이러한 새로운 개념의 정보처리 시스템에서는 완전 광시스템(all-optical-system)의 구현이 필수적으로 실현되어야 가능하고 이를 실현하기 위해선 광통신과 광신호처리 등에 적합한 완전광교환 및 광논리소자의 개발이 필연적으로 수행되어야 한다. 한편, 광쌍안정 소자의 연구는 지난 20여년간에 걸쳐 완전 광시스템의 구현을 목적으로 연구되어 왔고 많은 과학자들의 관심의 대상이 되어 왔다. 광쌍안정은 1969년 Szöke 등에 의해 비선형 흡수를 포함하는 이론적인 표현이 처음으로 제안된 후<sup>[2]</sup> Felber, McCall 등에 의해 이론적으로 발전되었으며, 1976년 H.M. Gibbs에 의해 분산형 광쌍안정이 관측되었다<sup>[3]</sup>. 1985년 이후 국내에서도 광쌍안정현상에 대한 연구가 실험과 이론에서 각각 진행되어 왔고, ZnS, ZnSe, AlGaAs, 액정 등의 매질에서 보고된 바 있다<sup>[4-7]</sup>.

흡수계수가 입력광세기에 의존하여 나타나는 흡수형 광쌍안정은 Bonifacio와 Lusiato에 의해 알려졌으며<sup>[8]</sup> 매질 내부에 광쌍안정에 필요한 케환과정을 포함하고 있어서 어떤 외부의 케환장치나 공진기의 구성도 필요하지 않다. 이와같은 공진기 없는 시스템에서의 광쌍안정은 Haijo, Janossy에 의해 비정질 반도체인  $GeSe_2$  박막에서 처음으로 알려졌고<sup>[9]</sup>, Si, ZnS, InSb, CaHgTe,

CdS, ZnSe, GaAs/GaAlAs 등에서도 보고된 바 있다<sup>[10]</sup>.

광쌍안정소자는 순수하게 광학적으로만 작동하는 진성형(intrinsic type)과 전자회로 및 그 밖의 전기장치를 이용한 혼성형(hybrid type)으로 크게 나눌 수 있다<sup>[11]</sup>. 혼성형소자는 진성형소자에 비하여 사용하는 파장의 범위가 넓은 것이 장점이나 전자회로의 저항, 축전지 등으로 인하여 전체 스위칭시간이 제한되어 정보처리속도의 향상을 기대하기가 어렵다. 이러한 이유로 진성형소자의 연구가 지배적으로 수행되어 왔으며 완전 광시스템의 구현을 위해서도 필연적이었다. 이러한 진성형 광쌍안정소자의 동작원리는 전자적 메카니즘(EM; electronic mechanism)과 열적 메카니즘(TM; thermal mechanism)으로 나눌 수 있고 EM을 이용한 광쌍안정소자는 TM을 이용한 소자에 비하여 스위칭시간이 빠르나 제작이 어렵고 사용하는 파장대역폭이 좁은 단점을 가지고 있다<sup>[1]</sup>. 이에 비해 TM을 이용한 광쌍안정소자는 스위칭시간은 느리나 비교적 제작이 쉬우며 넓은 가용면적의 소자를 만들 수 있고 사용하는 파장이 주로 가시광선 영역이며 넓은 대역폭을 가지는 것이 장점이다.

본 실험에서 시료로 사용된 비정질  $As_2S_3$ 는 고립전자쌍을 가지는 반도체로서 광조사에 의해 그 구조가 변화되며, 이 물질에서 나타나는 현상들에는 광 침투(photo-doping)<sup>[12-14]</sup>나 광암색화(photodarkening)<sup>[15]</sup>, 광유도 분해(photoinduced decomposition)<sup>[16]</sup>, photopolymerization<sup>[17,18]</sup>, 상전이<sup>[19]</sup>, 광 발광(photoluminescence)<sup>[20]</sup>, 광유도 비등방성(photoinduced anisotropy)<sup>[21-23]</sup>, 부피변화<sup>[24,25]</sup> 등이다. 특히  $As_2S_3$ 에서 광쌍안정현상이

관측된 것은 이번이 처음이다.

본 연구에서는 제작하기가 쉽고, 실험을 수행할 때 출력조건이 비교적 안정하다는 이유에서, 대개의 광쌍안정현상 연구에서 보고된 공진기의 에탈론 효과를 이용한 광쌍안정실험들과는 달리 공진기가 없는 단순한 시스템 구성을 위해 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 단층 박막을 시료로 사용하여 흡수형 광쌍안정현상을 관측하였다.

## II. 이 론

### 1. 흡수형 광쌍안정 이론<sup>[26]</sup>

시료의 광흡수의 온도의존성은 에너지 밴드끝(band edge)의 열적인 편이에 의해 지배되며, 이러한 열적편이는 온도에 관계하므로 시료의 흡수계수  $\alpha$ 는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\alpha = \alpha_0 \exp(\Delta T/T_0) \quad (1)$$

여기서  $\alpha_0$ 는 초기의 흡수계수를 의미하며  $\Delta T$ 는 시료의 온도 증가량이고,  $T_0$ 는 온도 상수와 매질의 에너지 밴드 끝의 모양이나 상태에 따라서 결정되는 초기 온도값이다. 또한, 시료의 온도는 에너지 흡수율에 따라서 다음과 같이 증가한다.

$$\Delta T = AI_0 [1 - \exp(-\alpha L)] \quad (2)$$

여기서  $A$ 는 입력광세기  $I_0$ 와 흡수계수  $\alpha$ 값에 무관한 열상수로서 흡수된 광에 의한 온도의 증가율이고,  $L$ 은 시료의 두께를 나타낸다. 시료에 입사한 광은 시료를 지나 투과하게 되는데 투과광의 세기는

$$I_T = II_0 \exp(-\alpha L) \quad (3)$$

로 표현되고, 여기서  $J = (1 - R_f)(1 - R_b)$ 가 되며, 이때  $R_f$ ,  $R_b$ 는 시료의 앞면과 뒷면의 반사율이다 (그림 1).

식 (1)~(3)을 이용해  $I_0$ 와  $I_T$ 를  $\Delta T/T_0$ 의 함수로 표현하면

$$I_0 = \left[ \frac{\Delta T/T_0}{1 - \exp[-\alpha_0 L \exp(\Delta T/T_0)]} \right] \frac{T_0}{A} \quad (4)$$

$$I_T = \left[ \frac{-\Delta T/T_0}{1 - \exp[\alpha_0 L \exp(\Delta T/T_0)]} \right] \frac{II_0}{A} \quad (5)$$

이 된다. 여기서  $I_0$ 와  $I_T$ 를 임의의 단위로 계산하고, 이 결과를 출력시켜 얻은 그래프가 그림 2이며,  $\alpha_0 L$ 값(detuning value)에 따라 입력과 출력사이의 특성곡선이 달라짐을 볼 수 있고  $\alpha_0 L = 0.06$ 인 경우 어떤 단일 입력에

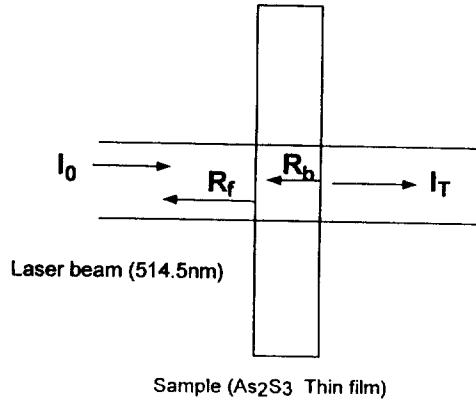


그림 1. Schematic diagram of beam and sample.

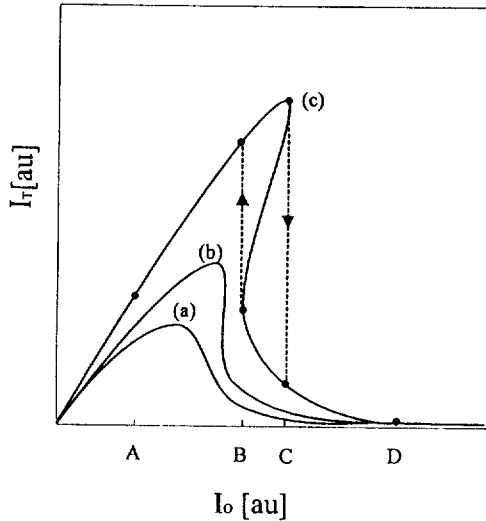


그림 2. Numerical calculation of the input-output characteristics of samples with detuning value of 0.06(a), 0.1(b) and 0.2(c), respectively.

대해 출력해가 세 개 존재하게 되는 영역이 생기게 된다. 입력세기를 증가시키게 되면 출력은 점성을 따라 이동하게 되고 이들 해 가운데 하나의 해는 불안정한 해라고 간주한다.<sup>[27]</sup> 따라서  $\alpha_0 L = 0.06$ 인 경우에는 쌍안정현상이 일어난다고 볼 수 있다. 그러므로 시료의 초기흡수계수  $\alpha_0$ 가 정해지면  $\alpha_0 L$ 에 따라 광쌍안정현상이 일어나는 영역에 존재하도록 시료의 두께  $L$ 을 결정해야 한다.

$\Delta T$ 를  $\ln(\alpha L)$ 항으로 전개하면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta T}{AI_0} = \frac{T_0}{AI_0} \ln(\alpha L) - \frac{T_0}{AI_0} \ln(\alpha_0 L) \quad (6)$$

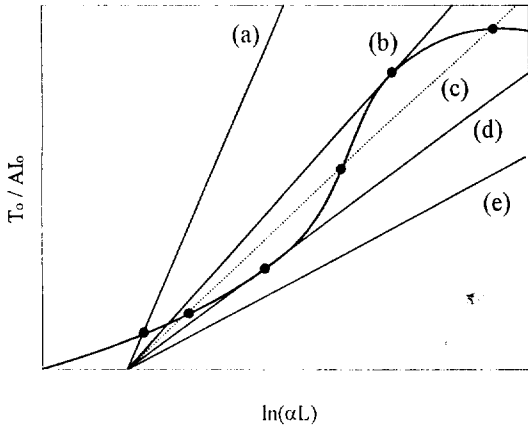


그림 3. Graphical solution for self-consistent sample absorption and temperature. Full curve:  $1 - \exp(\alpha L)$ . Line(c): critical switching condition with intercept at  $\ln(\alpha_0 L) = 1 - e$ . Line(b) and (d): limits of bistable region, for  $\ln(\alpha_0 L) < 1 - e$ .

또한 (2)식에서

$$\frac{\Delta T}{AI_0} = 1 - \exp[-\exp(\ln(\alpha L))] \quad (7)$$

가 되므로 직선을 그리는 식 (6)과 곡선을 그리는 식 (7)을 동시에 만족시키는  $\alpha$ 값은 그림해방법(Graphical solution method)을 이용해 구할 수 있다. 이 경우에도 마찬가지로 그림 3에서 직선(b)와 직선(d) 사이에서는 해가 세가지 존재하게 되는데 세가지 해 중에서 하나의 상태는 불안정하여 실제로는 존재하지 않는다. 그러므로 이 영역에는 안정한 상태가 두 개 존재하게 되며 쌍안정이 일어나는 영역이 된다. 여기서 세로와 가로축은 각각  $\Delta T/AI_0$ 와  $\ln(\alpha L)$ 에 대해 그린 것이고, 이때 만나는 점 두 식을 동시에 만족시키는 해가 된다.

그림 3에서 광쌍안정 조건은  $\Delta T/AI_0$ 와  $\ln(\alpha L)$ 값이 쌍안정 영역에 있어야 하므로

$$0 \leq \alpha_0 L < \exp(1 - e) \approx 0.18 \quad (8)$$

$$I_0 > eT_0/A \quad (9)$$

가 됨을 알 수 있다.  $\alpha L = 1$ 일 때 스위칭 한계가 되며, 이때 온도변화량은  $\Delta T = (e - 1)T_0$ 가 되고,  $\alpha L = 1$ 의 위치는  $\alpha_0 L < 0.18$ 일 때 쌍안정 loop안에 있게 된다.

### 2.비정질 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 흡수계수와 에너지구조

칼코게나이드 비정질반도체인 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>는 보통 위의 그

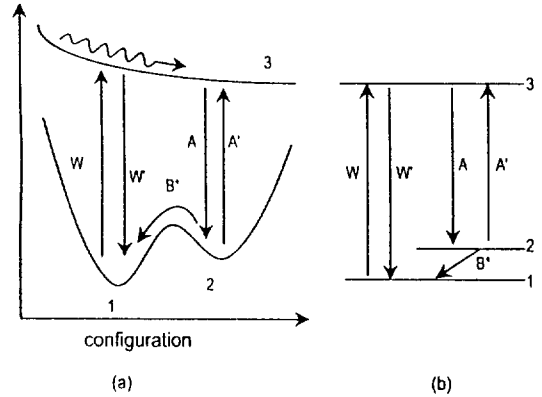


그림 4. (a) Energy-configuration coordinates diagram for amorphous As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. (b) Simplified 3-level system which allows the thermal transition 2→1 for heating process.

림과 같은 이중 우물 포텐셜에너지 구조를 가지고 있음이 알려져 있다<sup>[28]</sup>. 이때 흡수계수는

$$\alpha t = \frac{\alpha_x - \alpha_0}{1 + \frac{\alpha_x B^*}{\alpha_0 S'I}} \left( 1 - \exp\left[-\left(\frac{\alpha_0}{\alpha_x} S'I + B^*\right)t\right] \right) \quad (10)$$

로 표현되고<sup>[29]</sup>, 여기서  $\alpha_0$ 는 초기의 흡수계수이며,  $B^*$ 는 열적 천이율,  $\alpha$ 는 정상상태의 흡수계수이다.  $S'$ 는 광세기에 대한 광학적 천이율  $W'$ 의 광세기 비례상수 ( $W' = S'I$ )이다. 식 (10)은 준안정상태에서 기저상태로의 열적 천이가 고려되는 흡수계수이며 일반적으로 상온에선  $B^* = 0$ 으로 간주되며, 고온의 경우엔  $B^* \neq 0$ 이다.  $S'$ 값은  $4.4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{mJ}$ 이고,  $\alpha_0 = 1.58 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\alpha = 5.8 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 의 값을 갖는 것으로 알려져있다<sup>[14]</sup>.  $B^*$ 는 온도  $T = 25^\circ\text{C}$ 에서  $6 \times 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$ ,  $120^\circ\text{C}$ 에  $3.7 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ ,  $180^\circ\text{C}$ 에서  $4 \text{ sec}^{-1}$  등이 되므로  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 일 때의 광학적천이율  $4.4 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 와 비교하면  $120^\circ\text{C}$ 에서는 거의 같은 크기의 천이율을 가진다. 따라서 열적천이율  $B^*$ 가 커지는 시료의 온도에선 시료의 온도변화만으로도 흡수율의 변화가 심하게 일어난다.

그림 5는 예비실험 결과로서 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>단층박막에 Ar<sup>+</sup> laser를 입사시켜 출력광의 세기와 입사광의 세기에 대하여 그린 것이다. 여기서 같은 세기의 입사광에 대하여 입사광을 증가시킬 때와 감소시킬 때의 출력광의 세기는 다르게 나타났다. 이것은 입력광의 상태(up, down)에 대하여 그 출력조건이 두가지의 안정한 상태가 존재함을 입증하는 것이다. 일반적으로 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>는 상온에서 입력광의

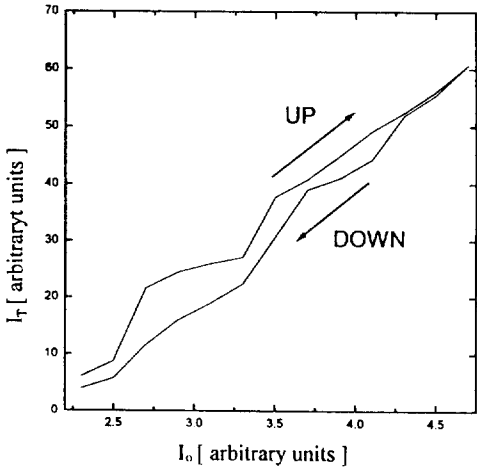


그림 5. Observed hysterical transmittance-temperature curve of a fresh  $As_2S_3$  which is held at up and down state for 10 min.

입사상태(up, down)에 대하여 두 경로가 같지 않고 이 과정은 가역적이지 않아서 상온에선 동적인 굴절률변화를 기대할 수 없다고 알려져 있다<sup>[30]</sup>. 그러나 열적천이율  $B^*$ 가 광학적 천이율과 대응해지는 온도(약  $80\sim 180^\circ C$ )에선 하나의 입력에 대해 두 경로상태가 가역적이며 동적으로 굴절률의 변화가 일어나므로써 온도에 의해 광쌍안정현상이 일어남을 설명할 수 있다.

### III. 실험 및 고찰

$As_2S_3$ 에서 광쌍안정현상을 관찰하기 위하여 그림 6과 같이 실험장치를 구성하였다. BS(Beam splitter)에 의해 나누어진 입사광의 한쪽 부분이 photodiode PD<sub>1</sub>에 의해 검출되고,  $As_2S_3$  박막을 지난 출력광은 PD<sub>2</sub>에 의해 검출되어 오실로스코프로 관측되어진다. 이러한 실험장치를 이용하여 몇가지 다른 두께의 시료에 대하여 광쌍안정현상의 가능성을 계산하였으며 입력광의 파형에 따른 광쌍안정 조건을 조사하였다. 실험에서 사용한 시료로는 진공도  $1 \times 10^{-5}$  torr에서 슬라이드 glass 위에 열 증착법으로 증착시킨 것을 사용하였다. 이때 시료의 두께는 계산에 의해 예측되어진 초기 detuning ( $\alpha_0 L < 0.18$ ) 값에 따라  $0.8 \mu m$ 로 제작하였다. 광원으로는 출력파장이 514.5 nm인  $Ar^+$  laser를 사용하였으며, 촛점거리가 20 cm인 집광렌즈를 사용하여 시료를 촛점위치에 놓고 집광시켰다. 그리고 흡수가 증가하는 성질을 가진  $As_2S_3$  박막에서 입사광 세기를 변조하여 투과광의 세기변화를 얻었다.

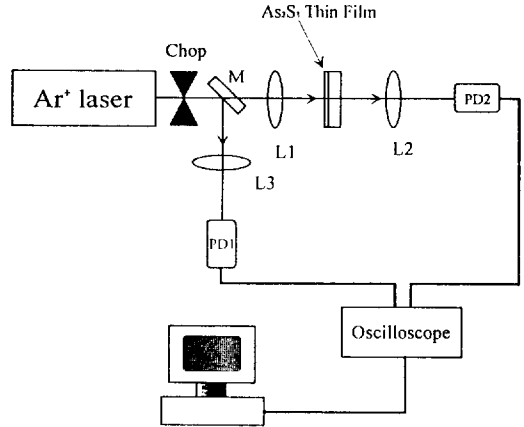
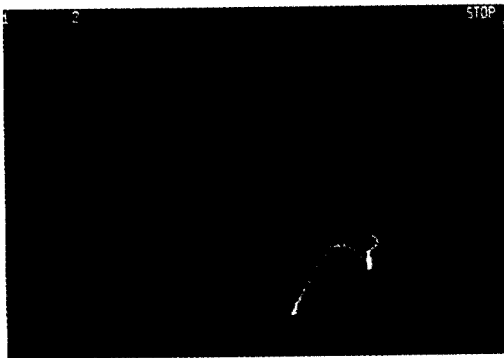


그림 6. Experimental arrangements for detecting the optical bistability in  $As_2S_3$  thin film. PD<sub>1</sub>, PD<sub>2</sub> are photodetectors and Chop is a light chopper. L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> and L<sub>3</sub> are thin lenses.

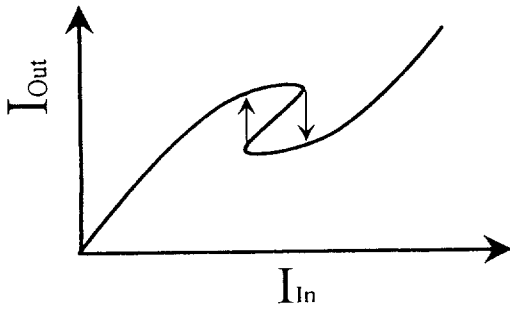
한편 입사광의 세기와 파형을 변조시키기 위해 chopper를 사용하여 입사광을 변조시켰다. 이때 입사광의 시간적 변화 양상 및 출력광의 시간변화를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 입사광과 투과광을 각각 x축과 y축으로 놓았을 때의 오실로스코프화면의 상을 컴퓨터로 출력한 것으로, 각 축은 입력광과 출력광의 세기를 나타낸다. 그림 7(b)는 입사광과 출력광의 세기가 선형적으로 증가하다가 출력광이 흡수에 의해 급격히 감소하고 다시 입력광이 감소함에 따라 출력광은 세기가 회복되어 감소하는 이상적인 흡수형 광쌍안정현상의 전형을 나타낸 것이며 이때 실험적으로 관측된 그림 (a)와 일치함을 볼 수 있다<sup>[30]</sup>. 그림 7(a)에서 입사광의 세기가 증가하면 출력광은 점차 증가하다가 어느 정도의 입사광 세기에 가서 출력광은 감소하고, 다시 입사광을 감소시키면 회복하여 증가하다가 입사광 증가시의 경로를 따라 감소함을 볼 수 있다. 이때 출력광은 입사광 증가시의 출력상태와는 다른 상태에 놓이게 된다. 여기서 입력광의 세기가 감소할 때 투과광이 완전히 회복되지 못하는 것은 입사광이 최대치에 머무는 시간 동안 시료의 온도를 증가시켜 입사광세기 증가시의 온도값과 같지 않게 되기 때문이다. 만약 열소멸이 이상적으로 일어나 입사광 증가시의 온도와 같다면 출력광은 그림 7(b)와 같은 이상적인 결과를 얻었을 것이다.

렌즈로 집광하지 않았을 때의 입사광의 최대 세기는 180 mW이었고 스위칭시간은  $1.0 \times 10^{-4}$  s이었다.

광쌍안정현상은  $\alpha_0 L$ 값에 의해 제한되며 실험적으로 얻어진 이 값은 0.12였고 식 (8)의  $\alpha_0 L < 0.18$ 이라는 조



(a)



(b)

그림 7. (a) The view of monitoring of the absorptive optical bistability in oscilloscope screen. (b) The schematic view of idealized absorptive optical bistability.

건을 만족시키고 있다. 또한 입력광에 의해 시료의 온도가 올라가는지의 여부를 확인하기 위해 입력광에 대한 시료의 온도 의존성을 측정하였다. 그 결과 180 mW에서 시료의 온도가 83°C였고, 입력광에 대해 시료의 온도는 선형적으로 비례하여 증가하였다. 이것으로써 비정질반도체  $As_2S_3$  내부의 흡수계수와 온도와의 가역과정에 의해 발생하는 광쌍안정이 온도에 의존함을 알 수 있었다.

그림 8에서 x축은 시간축이며, y축은 세기를 나타낸다. (a)는 입력광의 세기를 나타내고 있고 (b)는  $As_2S_3$  단층막을 투과한 출력광의 세기를 나타낸다. 그림 8(b)에서 입사광의 세기가 증가함에 따라 출력광의 세기가 비례하여 증가하다가 입사광의 세기가 일정하게 유지될 때 출력광의 세기가 급격히 감소하여 그 상태를 유지한다. 또한 입사광의 세기가 감소하려할 때 출력광은 회복되어 입사광세기를 증가시킬 때의 경로를 따라 감소함을 볼 수 있다. 이러한 양상은 아주 동적이며 흡수형 광쌍안정현상에서 볼 수 있는 입사광과 출력광의 전형과 일치한다.<sup>[31]</sup>

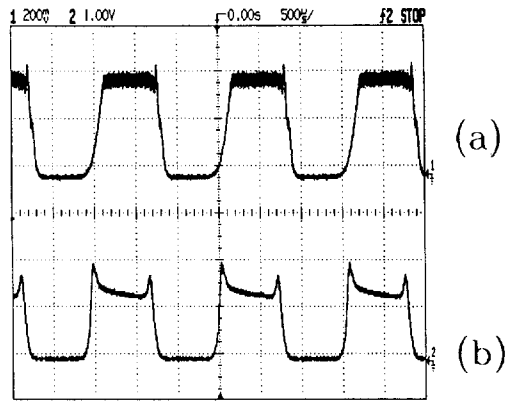


그림 8. The characteristic waveform of input and output in absorptive optical bistability. (a) Input, (b) Output.

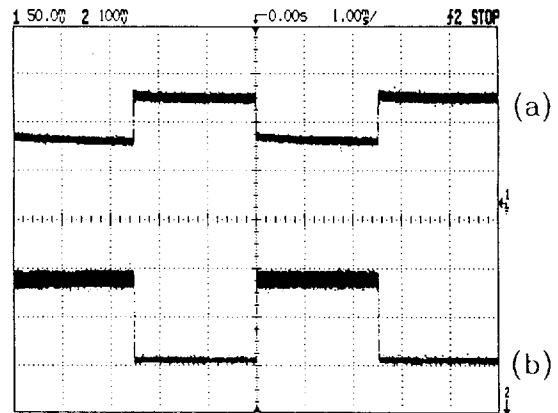


그림 9. When amorphous  $As_2S_3$  thin film is used for optical switching device, (a) input, (b) output.

불연속적인 입력광세기에 해당하는 광을 pump광으로 하고 여기에 작은 세기의 probe광을 chopping하여 입사시켰을 때 그림9를 관측할 수 있었다. 여기서 입력되는 신호에 대하여 출력되는 신호가 그 세기에 있어서 반대되는 형태의 신호를 출력시켜주는 특성을 나타내고 있다. 따라서  $As_2S_3$  단층박막은 광논리소자 중에서 NOT 논리소자로서의 응용 가능성이 있음을 실험을 통해 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

비정질  $As_2S_3$  박막을 사용해 흡수형 광쌍안정을 관찰하였다. 이 실험에서  $As_2S_3$ 시료의 내부 에너지 구조에서

천이확률이 온도에 의존하여 흡수도의 변화를 야기시키는 과정을 통해 입력광에 대한 광흡수율 변화가 온도를 증가시키고 온도 증가는 다시 흡수율을 증가시키고 다시 온도를 증가시키는 반복 과정에 의해 광쌍안정이 일어남을 관찰하였다. 따라서 내부의 어떠한 제환계(feedback system)나 공진기의 구성 없이도 광쌍안정을 관측할 수 있었다. 또한 이론적인 계산을 토대로 광쌍안정이 일어나는 영역을 계산하였고, 광쌍안정조건은 초기의  $\alpha_0 L$  값에 의해 결정됨을 알 수 있었다. 시료의 두께와 초기 흡수율에 의하여 결정되어지는 이 값은 시료의 두께가 0.8  $\mu\text{m}$ 일 때 약 0.12이었다. 입력광을 변조시킬 경우 이 현상이 뚜렷하게 관측되는 온도범위는 80°C~120°C였으며 이 온도는 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 박막 시료에서 열적 천이확률이 광학적 천이확률과 대등하게 되는 온도와 일치함을 알 수, 있었다. 또한 스위칭이 일어나는 광세기 150~180 mW이었고 스위칭시간은 약 10<sup>-4</sup>초 정도였다.

본 연구에서 논의된 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> 단층박막이 흡수형 광쌍안정소자로 쓰였을 때의 단점인 긴 스위칭시간(10<sup>-4</sup>초)문제를 비정질 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 중간층으로 하여 반사형 Fabry-Pérot 에탈론형의 편광형 광쌍안정 소자를 제작했을 때는 보완할 수 있어서<sup>[32,33]</sup> 비정질 As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>를 이용한 광쌍안정 소자의 연구가 더욱 주목되고 있다.

감사의 글

본 연구수행에 도움을 주신 영남대학교 광종훈 교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] S. D. Smith, Appl. Opt. **25**, 1550 (1986).  
 [2] A. Szöke, V. Daneu, J. Goldhar, and N. A. Kurnit, Appl. Phys. Lett. **15**, 376 (1969).  
 [3] H. M. Gib's, S. L. McCall, T. N. C. Venkatesan, A. C. Gossard, A. Passher and W. Wiegmann, Appl. Phys. Lett. **35**, 451 (1979).  
 [4] 황월연, 공홍진, 이상수, 새물리 **27**, 16 (1987).  
 [5] 윤선현, 이재형, 장준성, 새물리 **28**, 43 (1988).  
 [6] 변세환, 조재홍, 이승걸, 새물리 **29**, 436 (1989).  
 [7] 오차환, 이호성, 조재홍, 박대윤, 새물리 **30**, 154 (1990).  
 [8] R. Bonifacio and L. A. Lugiato, Phys. Rev. **A11**, 1057 (1975).  
 [9] J. Hajt and I. Janossy, Phil. Mag. **B47**, 347 (1983).

[10] A. K. Kar and B. S. Wherrett, J. Opt. Soc. Am. **2**, 2 (1986).  
 [11] S. D. Smith, Philos. Trans. R. Soc, London **A313**, 195 (1984).  
 [12] S. Maruno, T. Yamada, M. Noda and Y. Kondo, Jpn. J. Appl. Phys. **10**, 653 (1971).  
 [13] T. Ishikawa, M. Kitano, H. Akao and S. Yamada, Phys. Stat. Sol. (a)**57**, 373 (1980).  
 [14] A. P. Firth, P. J. S. Ewen and A. E. Owen, J. Non-Crystalline Solids **77/78**, 1153 (1985).  
 [15] J. P. deNeufville, *Optical Properties of Solids-New Developments* (North-Holland, Amsterdam, 1975).  
 [16] J. S. Berkes, S. W. Ing, Jr and W. J. Hillgas, J. Appl. Phys. **42**, 4908 (1971).  
 [17] U. Strom, T. P. Martin, Sol. State commun. **29**, 527 (1979).  
 [18] S. Onari, K. Asai and T. Arai, J. Non-Crystalline Solids **77/78**, 1215 (1985).  
 [19] P. Fzekas, Phil. Mag. **B44**, 435 (1981).  
 [20] K. Murayama and T. Ninamiya, Sol. State commun. **53**, 125 (1985).  
 [21] J. Hajto and P. J. S. Ewen, Phys. Stat. Sol. (a)**54**, 385 (1979).  
 [22] V. E. Karnatovskii and V. G. Tsukerman, Sov. J. Quantum Electron **8**, 803 (1978).  
 [23] J. Hajto, I. Janossyand G. Forgacs, J. Phys. **c15**, 6293 (1982).  
 [24] M. Kasai, H. Naktsui and Y. Hajimoto, J. Appl. Phys. **45**, 3209 (1974).  
 [25] H. Hamanaka, K. Tanaka, A. Matsada and S. Iizima, Sol. State commun. **19**, 499 (1976).  
 [26] B. S. Wherrett, F. A. P. Tooley and S. D. Smith, Opt. Comm. **52**, 301 (1984).  
 [27] G. P. Agrawal, H. J. Carmichael, Phys. Rev. **A19**, 2074 (1979).  
 [28] K. Tanaka, J. Non-Crystalline Solids **59/60**, 925 (1983).  
 [29] 광종훈, 박사학위논문 (KAIST, 서울, 1988).  
 [30] J. S. Berkes, S. W. Ing, Jr and W. J. Hillgas, J. Appl. Phys. **42**, 4908 (1971).  
 [31] D. A. B. Miller, A. C. Gossard and W. Wiegmann, "Optical bistability due to increasing absorption", Opt. Lett. **9**, 162 (1984).  
 [32] R. Cush and C. J. G. Kirkby, Opt. Comm. **60**, 399 (1986).  
 [33] C. H. Kwak, W. Y. Hwang, J.-S. Jeong, H. H. Suh and E.-H. Lee, Appl. Phys. **33**, 3189 (1994).

### **Phenomenon of the Absorptive Optical Bistability in Amorphous $\text{As}_2\text{S}_3$ Thin Film**

Woong Dug Ahn, Sok Won Kim and Sung Hong Hahn  
*Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea*

(Received: February 8, 1996)

We observed the absorptive optical bistability in the single layer amorphous  $\text{As}_2\text{S}_3$  thin film which has an isolated electron pairs at roomtemperature, for the frist time,  $\text{Ar}^+$  laser beam ( $\lambda=514.5$  nm) was used as a light source and was focused by thin lens. The experiment was performed in cavityless system and the occurrence of optical bistability in this material could be explained by the temperature-dependent absorption coefficient of the sample. Also, this effect was explained by the reversible shift of the absorption edge in this material. The condition of optical bistability is determined by detuning value ( $\alpha_0 L$ ) and this value was 0.12 when thickness of that sample was about  $0.8 \mu\text{m}$ . The switching was observed clealy when light intensity is 150~180 mW and the swiching time was about  $10^{-4}$  s.