

비정질 칼코게나이드 As-Ge-Se-S 박막에서 광유기 복굴절 특성

The characteristics of photoinduced birefringence in
chalcogenide As-Ge-Se-S thin films

장선주*, 박종화*, 손철호*, 여철호*, 박정일*, 이영종**, 정홍배*

Sun-Joo Jang*, Jong-Hwa Park*, Chul-Ho Son*, Cheol-Ho Yeo*, Jeong-il Park*,
Young-Jong Lee**, Hong-Bay Chung*

광운대학교 전자,정보통신공학부 전자재료공학과* 여주대학 전자공학과**

Dept. of Electronic Materials Eng.,

Division of Electronic & Information Communication Engineering, Kwangwoon University*

Dept. of Electronic Eng., YeoJoo Institute of Technology**

Abstract

In this study, we have investigated the photoinduced birefringence(PB), Δn in chalcogenide $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film with a He-Ne Laser at 633nm as a pumping beam and a semiconductor laser at 780nm as a probing beam. The PB for the variable thickness of thin films was investigated. The thickness of the thin films is about $0.4\mu m$, $0.92\mu m$, $1.4\mu m$, $2.0\mu m$, respectively. The experimental result of PB in chalcogenide thin films was represented higher PB in the thickness of thin film, $0.92\mu m$. It was meant to represent higher PB in the thickness of the film that was made closely the optimal thickness, $0.96\mu m$. The optimal thickness of thin film, $0.96\mu m$ was calculated by the penetration depth of the pumping light. Also, the PB in thickness of $0.92\mu m$ was obtained almost two times higher 0.15 than other thickness of thin films.

Key words(중요용어) : Photoinduced Birefringence (광유기 복굴절 : PB), linearly polarization (선형 편광)
Photoinduced anisotropy (광유기 이방성)

1. 서 론

최근 광유기 이방성(photoinduced anisotropy)¹⁾은 여러 분야에서 잠재적, 응용성 때문에 많은 연구가 진행되어왔다. 특히 광유기 이방성에 의해 나타나는 광유기 복굴절(photoinduced birefringence : PB)은 벡터적인 현상으로 광의 편광상태에 따라 굴절률과 투과도가 이색성을 가지고 나타나는 현상으로 미시적 관점에서의 마이크로볼륨 즉, IVAPs²⁾ (intimate valence alternation pairs)가 광흡수를 달리함에 따라 광구조 변화가 국부적으로 발생하는 현상이다. 이러한 광유기 복굴절(PB)은 이방성의 근원이 되는 IVAPs를 증가시킨다면 벡터적 현상으로

그 크기의 두드러진 증가를 기대할 수 있다.

또한, 최근 비정질 칼코게나이드 박막에서 편광-광에 의해 나타나는 벡터적 광유기현상(vectoral photo-induced phenomena)에 의한 광유기 복굴절(PB)의 근원을 밝히려는 많은 연구가 활발히 진행 중에 있다.^{3,4)}

본 논문에서는 벡터 현상인 광유기 이방성 현상에 의한 편광 광유기 복굴절(PB)의 근원을 이해하는 연구의 방법으로 비정질 박막(a- $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$)에서 선형 편광 유기에 의한 광유기 복굴절(PB)을 고찰하였다. 특히 칼코게나이드 박막에서 선형 편광(linearly polarized light)된 빔을 사용하여 광유기 복굴절(PB) 변화를 조사하였으며 이를 바탕으로

디스플레이 광소자분야

광유기 현상에 의한 칼코게나이드 박막의 해석에 대한 많은 정보를 제공하고자 한다.

2. 실험방법

순도 5N의 As, Ge, Se, S를 원자량 비 40 : 10 : 15 : 35를 갖도록 평량, 직경 10mm의 석영관에 약 2×10^{-5} Torr로 진공 봉입, 전기로에서 220, 600, 870°C로 순차적으로 가열하여 벌크 시료를 제작하였다. 박막은 corning glass와 Si 기판 위에 열진공 증착방법을 사용하여 각각 $0.4\mu\text{m}$, $0.92\mu\text{m}$, $1.4\mu\text{m}$, $2.0\mu\text{m}$ 의 두께를 갖도록 박막을 제작하였다. 이때 증착 속도는 비정질상의 재현성을 위하여 각각 2Å/s로 유지하였고 두께 및 광학상수는 N&K analyzer(NK T 1200)를 사용하여 측정하였다.

광유기 복굴절(PB) 실험은 corning glass 기판에 제작된 박막을 사용하여 확인하였다. 그림 1은 광유기 복굴절 측정을 위한 실험 장치도이며 박막내부의 구조적 변화를 유도하기 위해 사용된 유기광(induced light)은 선형 편광된 He-Ne 레이저($\lambda=633\text{nm}:13.5\text{mW}/\text{cm}^2$)를 사용하였으며 시료표면에서의 유기광의 세기는 $8.5\text{mW}/\text{cm}^2$ 이었다. 또한 복굴절 변화에 대한 측정광(probing light)은 선형 편광된 반도체 레이저($780\text{nm}:5\text{mW}$)를 사용하였다.

두께에 따른 각각의 샘플에서 수직과 수평의 편광 방향에 대한 투과도를 측정하여 복굴절 Δn 을 다음 식(2)를 이용하여 구하였다.

측정광인 $\lambda=780\text{nm}$ 에서 단지 광유기 복굴절에 의해 나타난 빛의 세기를 식(1)과 같이 표현할 수 있으며, 식(2)는 식(1)의 유도에 의해 얻어진 결과이다.⁵⁾

$$I_{\perp} = I_{\parallel} \sin^2(\pi \Delta n d / \lambda) \quad (1)$$

$$\Delta n = \frac{\lambda}{\pi \times d} \times \arcsin\left(\sqrt{\frac{I_{\perp}}{I_{\parallel}}}\right) \quad (2)$$

여기서, I_{\parallel} 과 I_{\perp} 은 각각 샘플과 검광자(analyzer)를 투과한 광이 유기광의 편광방향에 대해 수평 및 수직하게 투과된 빛의 세기이며, d 는 박막의 두께, λ 는 측정광의 파장이다.

유기광의 편광은 s파로 유기 하였고 샘플에 대해 수직으로 입사시켰으며, 측정광의 편광각은 유기광과 45° 차이로 고정하였다. 또한 유기광과 측정광의 입사각도는 약 45° 를 유지하여 실험하였다.⁶⁾

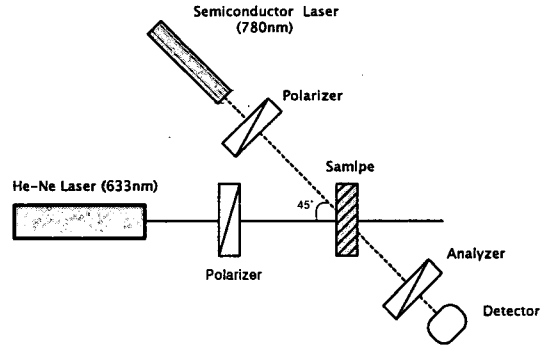


그림 1. 광유기 복굴절의 측정을 위한 편광기 배치도

선형 편광된 He-Ne 레이저의 각도별 빛의 세기 분포는 그림 2와 같다. 그림 2는 He-Ne 레이저가 편광자를 투과한 후 빛의 세기를 각도별로 측정하는 것이다. 즉, 검출기(detector)에 측정된 빛의 세기 I 는 검광자(analyzer)의 각도에 따른 편광된 초기 측정 빛의 세기인 I_0 에 의존하며, 이것은 Malus의 법칙을 따른다. [$I = I_0 \cos^2(\theta)$]⁷⁾

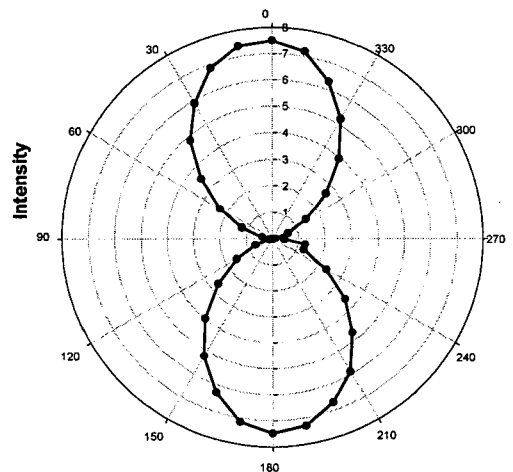


그림 2. 유기광의 선형 편광된 He-Ne 레이저의 편광 분석도.

또한 그림 2를 통하여 유기된 빔의 편광형태를 확인할 수 있으며 s파, 즉 선형 편광 형태로 광유기됨을 알 수 있다.

3. 결과 및 고찰

선형 편광된 He-Ne 레이저의 유기시간이 증가함에 따른 각각의 박막두께 0.4 μm , 0.92 μm , 1.4 μm , 2.0 μm 에서 유기광의 편광방향에 대해 수직과 수평으로 투과된 빛의 세기 비율은 그림 3에 나타나 있다.

그림 3은 유기광의 편광방향에 대해 수직성분의 투과된 빛의 세기에 의존하여 나타난다. 그 결과 유기광의 최적 침투깊이인 0.96 μm 에 근접한 박막두께인 0.92 μm 와 1.4 μm 에서 광유기 시간이 증가함에 따라 수직성분의 빛의 세기가 지속적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 박막두께 0.4 μm 에서는 음으로 감소하는 형태의 수직성분의 세기가 감소됨을 보여준다.⁸⁾ 이것은 박막두께가 얇은 박막에서는 유기광에 의한 광유기 복굴절(PB)에 관계되는 VAPs의 낮은 생성율에 의해 광유기 VAPs의 생성을 위한 박막내 원자구조배열이 유기광의 편광방향에 의해 새로운 구조로 변하게 된다. 이때 구조변화에 의한 내부의 반사간섭에 의해 수직성분의 투과성분이 감소하는 원인이 된다.

각각의 박막두께별로 광유기 시간에 대한 복굴절 Δn 의 결과는 그림 4에 나타나 있다. 식(2)에 의한 복굴절의 계산에 있어서 유기광의 편광방향에 대해 수평인 빛의 세기에 비하여, 수직인 빛의 세기 변화량이 매우 작다. 따라서 수직인 빛의 세기에서 초기 측정빛의 세기의 차를 이용하여 나타내었다. 그림 4에서 복굴절 Δn 은 박막두께 0.92 μm 에서 가장 큰 값을 나타내었으며, 이 값은 약 0.15의 매우 큰 값이다. 박막두께 0.4 μm 에서는 비교적 작은 복굴절 값이 나타났으며 복굴절 최대 포화값은 약 1×10^{-3} 이다. 또한 박막두께 1.4 μm 에서는 복굴절의 포화값이 0.06이었으며, 2.0 μm 에서는 0.05에서 포화를 유지했다.

박막의 두께에 따른 복굴절 값의 변화는 유기광원의 침투깊이(penetration depth)에 의한 박막의 최적 두께인 0.96 μm 에 가까울수록 높은 광유기 복굴절이 나타남을 알 수 있다. 따라서 최적 박막두께인 0.96 μm 이상인 1.4 μm 와 2.0 μm 의 박막에서는 0.92 μm 의

박막에 비해 작은 복굴절 값이 나타남을 알 수 있다. 또한 박막두께 0.4 μm 에서는 광유기 복굴절 현상의 근원이 되는 VAPs의 양이 적어 실제 나타나는 복굴절의 변화량은 극히 미소의 양이 측정되며 또한 내부의 구조 변화에 의한 유기광원의 대부분이 박막내에서 흡수되지 않고 내부 반사간섭에 의해 산란되어 복굴절 변화량이 적게 나타난다.

또한 유기시간이 약 300초에서 복굴절값이 상승함을 알 수 있다. 이것은 칼코게나이드 박막이 선형 편광으로 유기된 광에 의해 박막내 구성원자의 배열이 편광 방향으로 배열되도록 구조적 변화를 유발하기 위해서는 약 300초 이상의 시간동안 광이 유기되어야 함을 의미한다. 또한 1400초 이후부터는 모든 박막에서 광유기 복굴절이 포함되고 있음을 보여준다.

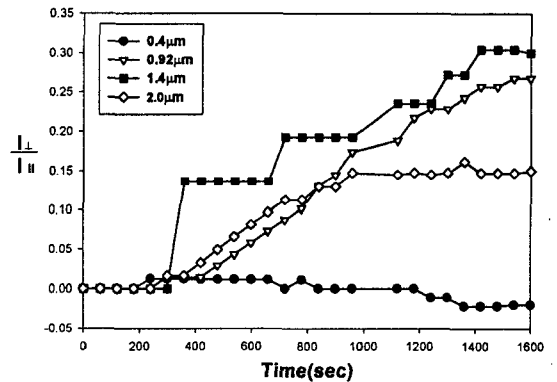


그림 3. 칼코게나이드 박막의 두께별 선형 편광의 광유기 시간에 대한 박막의 수직에 대한 수평 투과도 비율.

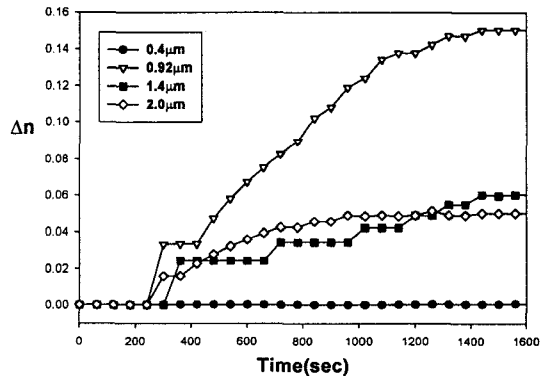


그림 4. 칼코게나이드 박막의 두께별 선형 편광의 광유기 시간에 대한 복굴절 변화.

4. 결 론

이상의 결과는 우수한 광유기 이방성(photoinduced anisotropy) 특성을 갖는 칼코게나이드 박막에서 선형 편광된 광유기에 의해 박막의 두께변화를 통하여 이들의 광유기 복굴절(PB)현상의 최적 조건을 확인하였다.

칼코게나이드 박막에서 광유기 복굴절(PB)은 박막의 두께에 크게 의존하여 나타남을 알 수 있으며, 유기광원의 침투깊이인 $0.96\mu\text{m}$ 에 근접한 $0.92\mu\text{m}$ 의 칼코게나이드 박막에서 가장 큰 복굴절을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 확인한 높은 광유기 복굴절(PB) 현상은 최근 연구가 활발히 이루어지고 있는 3D 영상 디스플레이와 광소자 및 광부품 분야에 사용될 재료로서 그 응용 가치가 크다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1]. H. Fritzsche, J. Non-Cryst. Solids 164-166 1169, 1993
- [2]. Mark Kastner et al. Physical Review Letters 37(22) 1504 (1976)
- [3]. F. Ouellette, D. Gagnon, M. Poirier, Appl. Phys. Lett. 58 (17), 29, 1813-1815, 1991
- [4] I. Naydenova, L. Nikolova, T. Todorov, J. of Modern optics, Vol. 44, No. 9, 1642-1650, 1997
- [5] T. Todorov, L. Nikolava, and N. Tomova, Appl. Opt. 23, 4309, 1984
- [6] C. Whang, H. Fei, Y. Yang, Z. Wei, Y. Qiu, Y. Chen, Optics Comm. 159, 58-62, 1999
- [7] F. Lagugne Labaethet and P. Rochon, Appl. Phys. Letters. Vol. 75, No. 10, 1377-1379, 1999
- [8] H. Fritzsche, Physical Review B, 52, 22, pp. 15854-15859, 1996