

전계효과에 의한 비정질 칼코게나이드 박막에서의 복굴절 특성

손철호, 장선주, 여철호, 박정일, 이영중\*, 정홍배  
 광운대학교 공과대학 전자재료공학과, 여주대학 전자과\*

The Birefringence of the chalcogenide As-Ge-Se-S thin films  
 by the electric field effects

Chul-Ho Son, Sun-Joo Jang, Cheol-Ho Yeo, Jung-Il Park, Young-Jong Lee\*, Hong-Bay Chung  
 Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon University, Dept. of Electronic. Yeojoo college\*

**Abstract**-We has investigated the birefringence by the assisted electric field effect on  $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$  thin films. Photoinduced birefringence has been studied in a chalcogenide material. We induced this thin films using linearly polarized He-Ne laser light (633nm) and detected polarized semiconductor laser light (780nm). To investigate the effect of electric field, various bias voltages applied. The result is shown that the birefringence has a higher value in +2V than others. We obtained the birefringence in the electric field effects by various voltages.

1. 서 론

비정질 칼코게나이드 박막에서의 광유기 이방성(photoinduced anisotropy: PA)은 수년간 여러 연구진에 의해 보고되어왔다.[1] Zhdanov에 의해서  $As_2S_3(Se)_3$ 에서의 광유기 이방성의 발견이후 칼코게나이드 반도체 칼라스에서 다양한 광유기 변화의 현상들은 최근 몇 년동안 복굴절, 이색성, polarization memory 등의 특성이 보고되었고, 이에 따른 폭넓은 응용의 가능성을 보여주었다.[2,3] 비정질 칼코게나이드에서의 광유기 현상들은 광학적 투과도, 반사도, 굴절상수, dissolution rate, 표면 성질, 화학적 반응성 등의 변화 등으로 인하여 포토레지스트, 광학 메모리, 회절 소자, 도파로, 광학 소자, 그리고 소자등의 제작에 이용될 수 있다.[4] 이러한 광유기 이방성(PA)현상에 의해 일어나는 광유기 복굴절(photoinduced birefringence: PB)은 벡터적인 현상으로 광의 편광상태에 따라 굴절률과 투과도가 이색성을 가지고 나타나는 현상으로 미시적 관점에서의 마이크로볼륨 즉, IVAPs (intimate valance alternation pairs)가 광흡수를 달리함에 따라 광구조 변환이 국부적으로 발생하는 현상이다. 이러한 광유기 복굴절(PB)은 이방성의 근원이 되는 IVAPs를 증가시킨다면 벡터적 현상으로 그 크기의 두드러진 증가를 기대할 수 있다.

특히 비정질 칼코게나이드 박막에 편광된 광을 노출할 경우, 노출된 영역이 광학적 이방성(PA)현상을 갖으며, 이 물질의 광에너지갭 이상 ( $h\nu > E_{op}$ )보다는 오히려 광에너지갭 이하 ( $h\nu < E_{op}$ )의 편광된 광을 노출했을 때 더욱 효율적으로 유기되는 것으로 보고되고 있다. 이러한 벡터현상에는 선형 편광-광에 노출되면 선형이색성(linear dichroism)과 선형 복굴절(birefringence)이 발생하는 선형 이방성, 회전편광-광의 노출에 따라 광활성화(optical activity)가 야기되는 자이로트로피(gyrotropy)등이 있다. 이와 같은 광유기 벡터현상을 보이는 재료는 편광 광기록 및 편광 홀로그래피 매질로 이용될 수 있는 잠재력을 갖으며, 최근 광전자분야와 광통신분야 및 광메모리 분야에 응용되는 매우 중요한 현

상으로 부각되고 있다.[5,6]

본 연구에서는 우수한 광유기 이방성(PA)을 보이는 칼코게나이드 박막에서 다양한 전압에서의 전계효과를 얻기 위해  $AsGeSeS$ 층 위에 Au층을 열진공증착 방식을 통하여 제작하였다. 또한 이런 박막제작을 통하여 유기광(induced light) 노출시 유기광원의 입사방향에 대해 순바이어스와 역바이어스에 의한 전계인가시 복굴절 변화를 조사하였다.

2. 실험 방법

순도 5N의 As, Ge, Se, S를 원자량 비 40 : 10 : 15 : 35를 갖도록 평량, 직경 10mm의 석영관에 약  $2 \times 10^{-5}$  Torr로 진공 붕입, 전기로에서 220, 600, 870°C로 순차적으로 가열하여 벌크 시료를 제작하였다. 박막은 ITO(1000Å) 기판 위에 열진공증착방법을 사용하여 1.00 $\mu$ m의 두께를 갖도록 박막을 제작하였다. 또한 여기에 전극으로서 Au층을 150Å의 두께로 증착하였다. 증착시킨 박막의 면적은 8mm $\times$ 16mm였으며, 이때 증착 속도는 비정질상의 재현성을 위하여 각각 15Å/s과 2Å/s로 유지하였고 두께 및 광학상수는 N&K analyzer(NKT 1200)를 사용하여 측정하였다.[7]

박막의 제작은 전계효과에 의한 복굴절 특성을 알아보기 위하여 ITO 기판 위에 그림 1과 같은 박막구조를 제작하였다. 전압인가시 금(Au)리드선을 이용하였으며, 양쪽 전극의 접합은 접촉 저항을 최소화하기 위하여 인듐(In)을 사용하였다. 전계인가의 방향은 전자가 이동하는 방향이 유기광원의 입사방향과 동일한 방향으로 Au층에 양극을 걸어준 방향을 순방향 바이어스(forward bias)로 하였으며, 음극을 걸어준 방향을 역방향 바이어스(reverse bias)로 하였다.

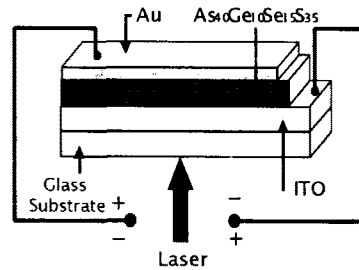


그림 1. 전계인가시 복굴절 측정을 위한 박막구조 개략도.

그림 2는 본 실험의 전계인가시 박막에서의 복굴절 측정 장치도이며 박막내부의 구조적 변화를 유도하기 위해 사용된 유기광은 편광 되지 않은 He-Ne 레이저( $\lambda = 633nm:23.2mW/cm^2$ )를 사용하였으며, 선형 편광-광

은 선형 편광기를 이용하여 만들었다. 샘플 표면에서의 유기광의 세기는  $4.3\text{mW}/\text{cm}^2$ 였으며, 유기광과 측정광은  $\pm 45^\circ$ 의 각도를 유지하였다. 박막의 복굴절 변화 측정은 선형 편광된 반도체 레이저 ( $\lambda = 780\text{nm}; 5.0\text{mW}/\text{cm}^2$ )을 이용하여 검광자(analyzer)를 지나는 투과도 세기를 측정하였다. 광유기 복굴절은 식(1)과 같이 표현할 수 있으며, 식(1)로부터 유도된 식(2)에 의해 구했다.[8]

$$I_{\perp} = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi \Delta n d}{\lambda}\right) \quad (1)$$

$$\Delta n = \frac{\lambda}{\pi d} \times \arcsin \sqrt{\frac{I_{\perp}}{I_0}} \quad (2)$$

여기서,  $I_0$ 과  $I_{\perp}$ 은 각각 샘플과 검광자(analyzer)를 투과한 광이 측정광의 선형 편광 방향에 대해 수평 및 수직하게 투과된 빛의 세기이며,  $d$ 는 박막의 두께,  $\lambda$ 는 측정광의 파장이다.

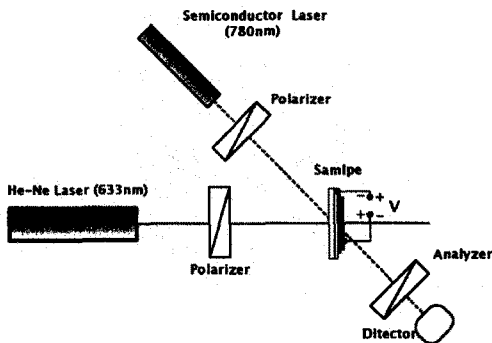


그림2. 전계인가시 박막에서의 광유기 복굴절 측정을 위한 실험 장치도

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 순방향 바이어스 전계에 의한 복굴절

순방향 바이어스 전계는 금(Au)을 양전극으로 하고 ITO를 음전극으로 전압을 인가하였다. 0V에서 5V까지 1V씩 증가시키면서 검출광의 세기를 측정하였다.

전압을 0V에서 5V까지 인가하면서 투과광의 세기를 측정한 결과 그림 3에서와 같이, 전계를 인가하지 않은 0V를 기준으로 했을 때, 2V에서 증가함을 보이고 1V와 3V에서 광유기에 의한 이방성을 억제하는 형태로 나타났으며, 4V와 5V에선 초기의 급격한 증가 후 다시 감소하는 현상을 나타내었다. 이것은 전압의 변화에 따라 광유기에 의한 박막구조내의 이방성 변화에 대해 1V-3V에서 가장 민감한 반응을 보임을 알 수 있다. 또한 위의 식 2)를 이용하여 계산한 복굴절  $\Delta n$ 은 그림 4에서 보이는 것 같이, 증착 직후의 박막인 0V에서 3V까지 전압을 가했을 경우, 유사한 형태를 보이며 복굴절  $\Delta n$ 이 증가함을 보이고, 2V에서는 최대치를 나타내었으며, 최대 복굴절  $\Delta n$ 은  $6.5 \times 10^{-3}$ 이다. 반면에 4V이상에선 급격한 변화 후 감소하였다.

이러한 현상은 유기광의 입사방향과 같은 방향으로 전자가 주입되는 순바이어스의 경우 전계인가에 의해 광유기현상에서 Kastner et al의 결합모델[9]을 적용한다면 유기광의 입사방향과 동일한 전계인가에 의해 같고

계나이드 박막에 전자와 정공의 분포가 증가하면서, 박

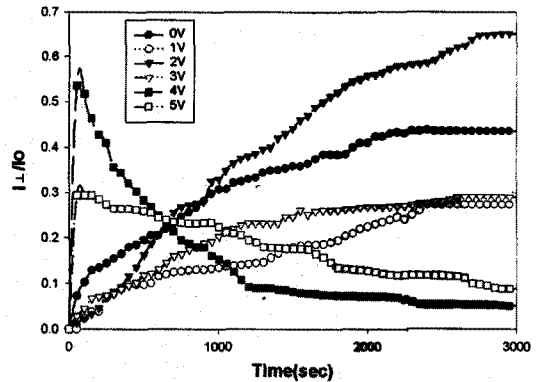


그림3. 순방향 바이어스 전계에 의한 전계인가시 박막에서 시간에 따른 투과광의 세기.

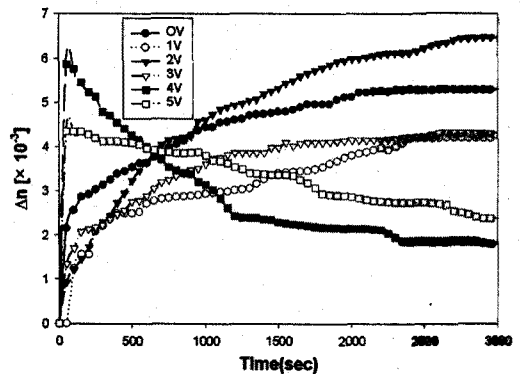


그림4. 순방향 바이어스 전계에 의한 전계인가시 박막에서의 복굴절  $\Delta n$ .

막내 존재하던 증성원자가 이와 반응하여, 유기광원에 의한 노출보다는 전계의 영향으로 유기광에 의한 에너지 전달이 가속되어 보다 빠른 시간내에 새로운 형태의 VAPs를 만들어내어 그 결과 광유기 이방성현상의 증가로 보다 높게 복굴절  $\Delta n$  증가하게 된다는 것을 생각할 수 있다.

#### 3.2 역방향 바이어스 전계에 의한 복굴절

위에서의 실험과는 달리 금(Au)를 음전극으로 하고 ITO를 양전극으로 한 역방향 바이어스를 인가하였다. 전계를 인가하지 않은 0V를 기준으로 하여 1V씩 증가시키면서 5V까지 측정하였을 때, 그림 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 측정광의 세기는 모두 0V보다 감소하였으며, 이것은 순방향 바이어스의 경우와 반대되는 현상으로 유기광의 입사방향에 대해 반대의 방향으로 전기장이 형성될 경우 광유기에 의한 복굴절이 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 유기광원의 입사방향에 대해 전자의 흐름이 반대방향으로 형성되어 유기광원의 에너지가 박막내 전달 및 흡수되는 것을 감소시킨 결과 광유기에 의한 복굴절  $\Delta n$ 이 감소하는 것으로 볼 수 있다. 또한 순방향과 역방향 바이어스가 5V이상 인가시 박막이 파괴되는 현상을 보였다.

이상의 실험 결과에서 알 수 있듯이 광유기 이방성

(PA)에 의해 일어나는 광유기 복굴절은 전계효과에 크게 의존함을 알 수 있으며, 또한 전계의 변화를 통하여 박막 내 광유기 복굴절 변화차를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] V.G. Zhdanov, B. T. Lolomiets, V.M. Lyubin, V.K. Malinovsky, Phys. Stat. A52 621(1979)
- [2] V.K. Tikhomirov, and S.R. Elliott, phys.Rev. B, 49, 17476-17479,(1994); ibid., 51, 5538-5543, (1995)
- [3] H. Fritzsche, Phys. Rev. B5215854 (1995)
- [4] M. Klebanov, S. Shutina, I. Bar, V. Lyubin.
- [5] V. Lyubin, M. Klebanov, Physical Review B 53 (18), 11924 (1996)
- [6] K. Tanaka, M. Notani, H. Hisakuni, Solid State Commun., Vol. 95(7), 461-464 (1995)
- [7] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park et al, J. Korean Institute of Electrical & Material Eng. Vol.12, pp.1192-1197, (1999 )
- [8] T. Todorov, L. Nikoijava, and N. Tomova, Appl. Opt. 23, 4309 (1984)
- [9] M. Kastner, D. Adler, H. Fritzsche, Phys. Rev. Lett. 37, 1504 (1976)

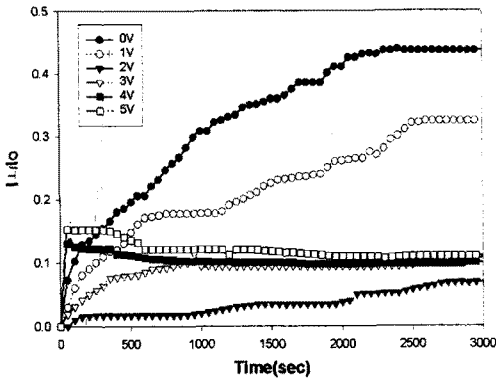


그림 5. 역방향 바이어스 전계에 의한 전계인가시 박막에서의 시간에 따른 투과광의 세기

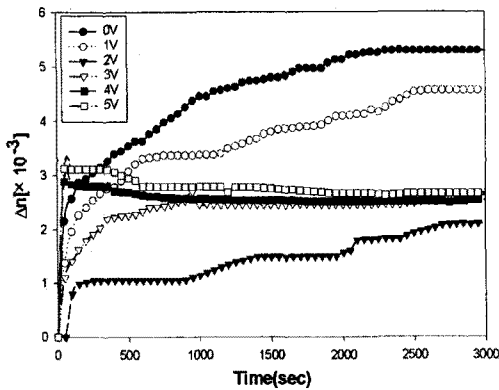


그림4. 역방향 바이어스 전계에 의한 전계인가시 박막에서의 복굴절변화

4. 결 론

본 실험에서 유기광원의 입사방향을 기준으로 Au층에 대하여 전자의 주입방향을 순 바이어스와 역 바이어스를 인가했을 때, 각 전압변화에 의한 비정질 칼코게나이드 박막에서의 광유기 복굴절에 대하여 고찰하였다.

순 바이어스를 인가했을 경우 유기광만에 의한 복굴절  $\Delta n$  보다 2V에서 더욱 높은 수치를 나타냈으며, 4V 이상에서는 급격한 증가 후 감소하였다. 역 바이어스를 인가한 경우에는 인가전압이 증가함에 따라 광유기 복굴절  $\Delta n$ 이 모두 감소하였고, 2V인 경우 최소치를 나타내었다.

이상의 실험결과로 볼 때 광유기 벡터현상(PA)을 보이는 As-Ge-Se-S 박막에서 순방향과 역방향으로 바이어스를 인가함으로써 전계효과에 의한 복굴절변화를 유도할 수 있으며 단일 유기광에 의한 복굴절변화 보다는 전계의 변화에 의해 복굴절변화를 증감시킬 수 있는 특성을 얻었다. 이러한 광유기 복굴절  $\Delta n$ 의 변수는 최근 광전자분야와 광통신분야, 3D 영상 디스플레이 및 광메모리와 광스위치 분야에 응용이 가능할 것이다.