

칼코게나이드 박막에서 전기효과에 의한 편광 홀로그래피 회절효율 특성

The properties of diffraction efficiency in polarization holography using the chalcogenide thin films by the electric field effects

장선주, 여철호, 박정일, 정홍배

(Sun-Joo Jang, Cheol-Ho Yeo, Jeong-il Park, Hong-Bay Chung)

Abstract

Amorphous chalcogenide glasses have a wide variety of light-induced effects. In this study, we have investigated the diffraction efficiency of chalcogenide $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin films by the various applied electric fields. The holographic grating in these thin films has been formed using a linearly polarized He-Ne laser light (633nm). The diffraction efficiency was investigated the two methods of applied electric field in the perpendicular and parallel to the direction of inducing beam. We obtained the properties of diffraction efficiency in the two methods of applied electric field. The result is shown that the diffraction efficiency of parallel electric field is 285% increase, $\eta = 1.1 \times 10^{-3}$ and the diffraction efficiency of perpendicular electric field is 80% decrease, $\eta = 9.83 \times 10^{-5}$. Also, we have investigated the anisotropy property on chalcogenide thin films by the electric field effects.

Key words(중요용어) : 광유기 이방성 (photoinduced anisotropy: PA), VAPs (valence alternation pairs), 선형편광 홀로그래피 (linearly polarized holography), 회절효율 (diffraction efficiency), 전기효과 (electric field effects)

1. 서 론

비정질 칼코게나이드 박막에서의 광유기 이방성(photoinduced anisotropy: PA)은 수년간 여러 연구진에 의해 보고되어왔다.^{1,2)} 이러한 광유기 이방성(PA)현상은 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 벡터현상은 편광상태에 따라 굴절률과 투과도가 이색성을 가지고 나타나는 현상으로 칼코게나이드에 존재하는 대표적

인 결합인 VAPs(valence alternation pairs)가 이방성을 일으키는 단위인 미시체적(microvolume)이 광흡수를 달리함에 따라 광구조적 변환이 국부적으로 발생하는 현상으로, 이방성의 근원이 되는 박막제작 과정에 의존하는 native VAPs를 증가시킨다면 벡터적 현상의 두드러진 증가를 기대할 수 있다. 이와 같은 광유기 벡터현상을 보이는 재료는 편광-광 노출에 따라 편광-광기록(polarized-optical data recording) 및 편광 홀로그래피(polarized holography) 매질로 이용될 수 있는 잠재력을 갖고있으며, 최근 이런 현상은 광전자분야와 광통신분야 및 광메모리 분야에 응용되는 매우 중요한 현상으로 부각되고 있다.^{3,4)}

최근, 본 연구진에 의해 비정질 칼코게나이드 박막에서 순바이어스 전압을 인가하였을 때 유기광에 의한 회절효율에서 주목할 만한 결과를 얻었다.⁵⁾ 본 연구에서는 비정질 칼코게나이드 박막에 두

광운대학교 전자재료공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax: 02-943-3590
E-mail : hbchung@daisy.kwangwoon.ac.kr)
2000년 8월 15일 접수, 2000년 8월 31일 심사완료

가지 방법으로 박막을 제작하여 바이어스 전압을 인가하였을 때 편광 홀로그래피에 의한 회절효율의 특성을 조사하였다. 인가전압의 형태에는 유기광원의 두 입사빔의 중심축 방향에 대해 수평인 전계인가 방법과 수직인 전계인가 방법에 의해 칼코게나이드 박막에서 전계에 의한 회절효율 변화를 조사하였다. 특히, 유기광원의 두 입사빔의 중심축 방향에 대해 수직인 전계효과를 얻기 위해, 유기광원의 노출지역을 제외한 양쪽 측면에 Au층을 열진공증착 방식을 통하여 제작하였다. 또한 이런 박막제작을 통하여 유기광 노출시 전계효과에 의한 유기광원의 두 입사빔의 중심축 방향에 대해 수직-수평인 전계효과에 의한 회절효율 특성을 고찰하였다.

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. 샘플은 ITO(1000Å) 기판 위에 열진공증착방법을 사용하여 약 1.0µm의 두께를 갖도록 박막을 제작하였다. 또한 여기에 전극으로서 Au층을 유기광에 대해 비교적 높은 투과율을 갖는 두께인 155Å로 증착하였다. 이때 증착 속도는 비정질상의 재현성을 위하여 각각 2Å/s로 유지하였고 두께 및 광학상수는 N&K analyzer(NKT 1200)를 사용하여 측정하였다.⁽⁶⁾

박막의 제작은 그림 1과 같은 형태로 제작하였으며, 수직전계 효과를 측정하기 위한 박막은 ITO기판-칼코게나이드박막-Au 순으로 그림 1(a)와 같이 제작하였으며, 수평전계 효과를 위한 실험에서는 칼코게나이드 박막 중간에 7mm의 마스크를 제작하여 양쪽에만 Au층을 증착하여 그림 1(b)와 같이 제작하였다. 또한, 7mm이하의 마스크를 사용한 전압효과는 현재 계속 연구 중에 있다. 전압인가시 금(Au) 리드선을 이용하였으며, 전극과의 접합은 인듐(In)을 사용하여 계면저항을 최소화하였다.

선형 편광-광 홀로그래피 노출에 의한 위상 편광 홀로그래피 격자의 형성 방법을 사용하였으며, 회절 효율 측정은 ITO 기판에 제작된 박막에 전계를 인가하면서 확인하였다. 그림 2는 본 실험의 장치도이며 박막내부의 구조적 변화를 유도하기 위해 사용된 유기광은 편광 되지 않은 He-Ne 레이저($\lambda=633nm$: 23.2mW/cm²)를 사용하였으며, 선형 편광-광은 선형 편광기를 이용하여 만들었다. 시료표면에서의 P파와

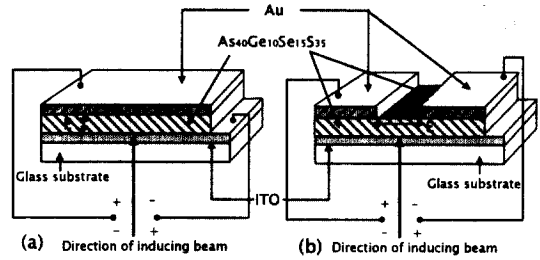


그림 1. 박막구조의 개략도. 유기광원의 두 입사빔의 중심축 방향에 평행한 수평 전계인가(a), 두 입사빔의 중심축 방향에 수직인 수직 전계인가(b) 박막구조. (E : 전계인가 방향)

Fig. 1. Schematic view of sample structure. An applied electric field on the parallel to the direction of center axis in the inducing beam : the parallel electric field (a), on the perpendicular to the direction of center axis in the inducing beam : the perpendicular electric field (b), respectively. (E : the direction of applied electric field)

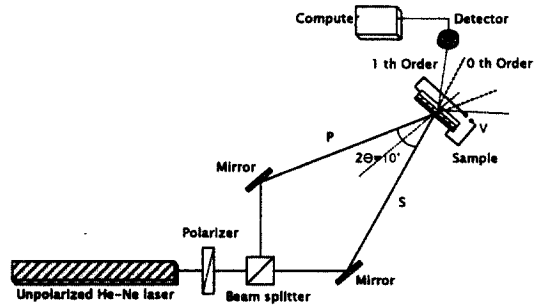


그림 2. 전계인가시 박막에서의 회절효율 측정장치도
Fig. 2 Schematic diagram for the measurement of diffraction efficiency with an applied electric field

S파의 세기는 각각 2.85mW/cm²으로 동일하게 만들었다. P파와 S파의 각도 2θ는 약 10°를 유지하였다. 박막표면에서의 광세기 및 회절된 1st Order의 광세기는 광전력미터(Newport, 1815-C)에 의해 확인하였으며, 실시간으로 컴퓨터와 연결하여 세기를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

칼코게나이드 박막에서 전계인가 방향과 인가전압의 변화에 따른 회절효율을 조사하였다. 유기광원의

두 입사빔의 중심축 방향에 대해 같은 방향을 갖는 전계인가를 수평 전계라 하였고, 수직방향으로 전계인가한 것을 수직 전계라고 하였다.

3. 1 수평 전계에 의한 회절효율.

그림 1의 (a)와 같은 형태의 박막에 편광 홀로그래피 방법을 이용하여, 유기광원의 두 입사빔의 중심축 방향에 대해 같은 방향으로 순방향 바이어스인 1V~4V의 전압을 인가하여 회절효율을 측정하였다. 여기서 순방향 바이어스는 유기광원의 입사방향에 대해 전자의 주입방향을 기준으로 Au층에 양극(+)과 ITO층에 음극(-)을 인가하였을 때로 하였으며, 이와 반대의 경우를 역방향 바이어스로 정하였다.⁷⁾ 각각의 전압에 따른 실험결과는 그림 3에 나타나 있다. 박막에 3V의 전압인가시 약 $\eta=1.1 \times 10^{-3}$ 의 높은 최대 회절효율값을 얻었으며, 전압인가 없이 유기광원만에 의한 회절효율의 최대값은 $\eta=3.86 \times 10^{-4}$ 의 값을 얻을 수 있었다. 따라서 3V의 전계인가에 의해서 약 285%의 회절효율 증가를 얻을 수 있었다. 또한 인가전압이 4V이상 증가하면서 회절효율은 다시 감소하는 경향을 확인할 수 있었으며, 5V이상의 전압인가시 박막이 파괴되는 현상을 보였다. 역방향 바이어스의 경우는 매우 낮은 회절효율을 보였다.

이러한 현상은 밴드 구조에서 볼 때, Au층과 칼코게나이드 박막은 Ohmic contact에 가까우며, ITO박막은 광에너지갭이 3.89eV로 n-type 반도체로 볼 수 있으며, 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막은 광에너지갭이 2.04eV로 p-type 반도체로 볼 수 있

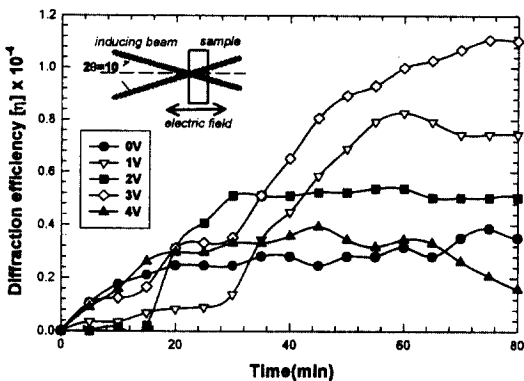


그림 3. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 수평 전압인가 변화에 의한 회절효율의 변화.

Fig. 3. Diffraction efficiency with the time and various applied voltages on the $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin films by the parallel electric field.

다. 여기서 Kastner et al의 결합모델⁸⁾을 적용한다면 유기광의 입사방향과 동일한 방향으로 전계를 인가한 경우, 칼코게나이드 박막에 전자와 정공의 분포가 증가하게된다. 이때 박막내 존재하던 증성원자기와 반응하게된다. 이것은 유기광만에 의한 노출보다는 전계가 함께 인가되면서 보다 빠른 시간내에 광여기 에너지(native VAPs의 광구조적 변화에 해당하는 에너지)가 작용하게된 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과 광유기 이방성(PA)현상의 증가로 보다 높은 회절효율 증가가 나타난다고 생각할 수 있다.

또한 수평 전계인가에 의한 실험결과에서는 전압인가를 위해 사용된 금속막 Au층 때문에 유기광의 투과 세기가 입사면에서 반사와 흡수에 의해 감소하게 되는 단점이 있으며 이것은 그림 4에서 알 수 있다. 그림 4는 전체영역에 Au층이 증착된 그림 1(a)의 박막과 7mm의 마스크에 의해 제작된 그림 1(b)의 박막에서 인가전압의 영향이 없는 증착직후의 박막(0V)에서 회절효율 변화를 나타낸다.

그림 4에서처럼 유기광의 진행방향에 Au층보다 높은 투과율을 갖는 전극층을 사용한다면 더욱 높은 회절효율을 얻을 수 있을 것이다.

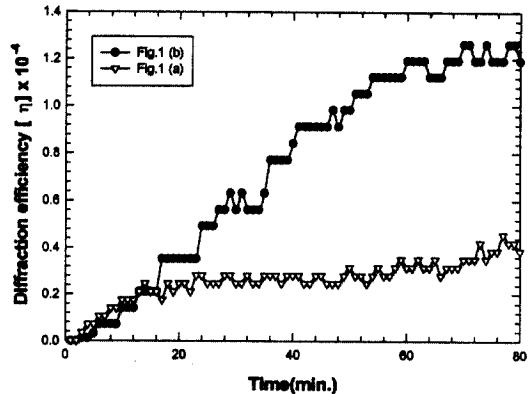


그림 4. 전계인가에 의한 영향 없이 그림 1 (a), (b)의 박막구조에서의 증착직후의 박막에서 유기광원만에 의한 회절효율.

Fig. 4. Diffraction efficiency according to time, without any voltages in the as-deposited thin films structure of Fig. 1(a), (b), respectively.

3. 2 수직 전계에 의한 회절효율.

유기광원의 두 입사빔의 중심축 방향에 대한 수직인 형태의 전계인가를 실험하고자 그림 1(b)와 같은 박막구조를 이용하여 회절효율을 조사하였다. 박

막의 구조는 1.0 μ m의 칼코게나이드 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에 7mm의 마스크 패턴을 이용하여 Au층을 유기광원의 입사영역을 제외한 곳에 증착 하였다.

수직 전계인가에 의한 칼코게나이드 박막에서의 회절효율은 전압이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 그림 5에서 0V~4V의 전계를 인가시 각각에 따른 회절효율을 나타내었다. 수직형태의 전계인가는 기존의 수평 전계에 의한 칼코게나이드 박막의 회절효율보다 높은 효율을 나타내었다. 이것은 7mm의 간격을 유지 한 칼코게나이드 박막층의 노출로 회절효율이 이전의 Au층에 의해 입사면에서 반사에 의한 세기의 감소를 보완해 주는 효과 때문이다.

이 결과는 유기광원에 대하여 평행한 전계인가(수평전계)는 유기광원과 함께 박막에 광유기 이방성(PA) 증가에 도움을 주는 작용을 하여 회절효율 증가를 보인다. 이와 반대로 유기광원에 수직으로 전계(수직전계)를 인가시에는 유기광원에 의해서만 발생하는 native VAPs의 국부적 변화 및 농도 증가에 대해 전압이 증가함에 따라 방해하는 영향을 주어, 광유기에 의한 native VAPs의 국부적 변화 및 농도 증가를 억제시키는 작용을 보이는 것으로 사료된다.

또한 인가 전압 0V와 4V에서 가장 높은 회절효율 값인 $\eta=1.23 \times 10^{-4}$ 이며, 3V에서 가장 낮은 회절효율 값인 $\eta=9.83 \times 10^{-5}$ 를 보이고 있다. 따라서 수직전계인가시 0V에 대해서 3V의 전계인가시 약 80%의 회절효율 감소를 보인다. 이는 수평 전계 인가의 결과와 비슷한 결과로 3V의 전계에 해당하는 에너지는 칼코게나이드 박막 내부의 결합쌍인 native VAPs의

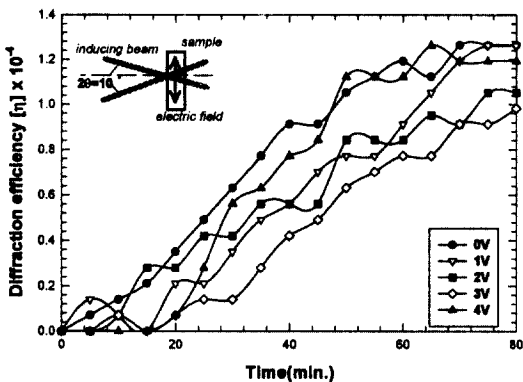


그림 5. As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막의 수직 전압인가 변화에 의한 회절효율의 변화.

Fig. 5. Diffraction efficiency with the time and various applied voltages on the As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ thin films by the perpendicular electric field.

농도증가를 활성화시키는 데 필요한 에너지에 해당하는 것으로 사료된다. 또한 주목할 만한 것은 약 3V까지의 수직 전계는 회절효율의 감소를 이루지만 4V에서는 전계효과에 의한 광유기 native VAPs의 농도증가를 억제하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 인가전계의 순-역바이어스 인가방향 변화에 따라 회절효율에 미치는 영향은 없었으며, 5V이상의 전압인가 시에는 박막의 파괴에 의해 회절효율의 급격한 감소 현상을 확인할 수 있었다.

이상의 결과 수평 및 수직 전계인가에 의한 전압 변화를 통하여, 각각의 박막형태에서 회절효율 변화

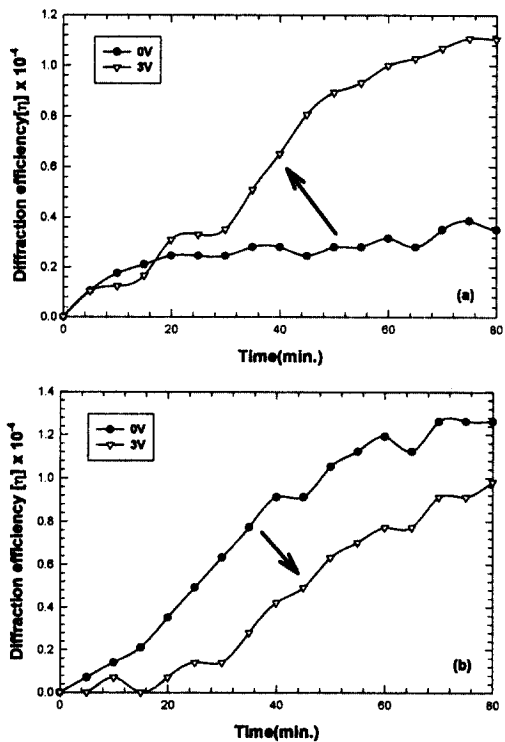


그림 6. As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막의 0V와 3V의 수직-수평 전계인가에 의한 회절효율, (a) 0V와 3V의 수평 전계인가시 회절효율, (b) 0V와 3V의 수직 전계인가시 회절효율 변화.

Fig. 6. The change of diffraction efficiency with the time on the As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ thin films by the perpendicular and parallel electric field, 0V and 3V. The change of diffraction efficiency by the parallel electric field, 0v and 3V (a), the change of diffraction efficiency in the perpendicular electric field, 0V and 3V (b), respectively.

를 측정하였다. 이중 특히, 유기광만에 의한 회절효율보다 3V의 전계인가시 수평 전계효과에 의해서는 유기광만에 의한 회절효율의 최대값보다 약 285%의 높은 회절효율을 얻을 수 있었으며, 수직 전계효과에 의해서는 유기광에 의한 회절효율보다 약 80%의 낮은 회절효율을 얻을 수 있었다. 이를 이용하여 그림 6(a), (b)와 같은 3V의 전압을 각각의 박막에 인가시 서로 증가 및 감소하는 형태의 회절효율을 얻을 수 있었다. 이것은 3V에 해당하는 에너지가 native VAPs의 활성화시키는 데 필요한 에너지에 관여하는 것으로 사료된다. 또한 여기에 대한 구체적인 메카니즘은 현재 계속 연구 중에 있다.

4. 결 론

본 실험에서 유기광원의 두 입사빔의 중심축 방향에 대해 수평-수직인 전계효과에 의한 비정질 칼코게나이드 박막에서의 광유기에 의한 회절효율 특성에 대하여 고찰하였다.

칼코게나이드 박막의 수직-수평의 전계효과는 전압인가에 의해 그 회절효율이 증가 및 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 이를 응용하여 전압조절에 의해 회절효율의 변화를 통제할 수 있는 광스위치로서의 응용이 가능할 것이라 판단된다.

이상의 실험결과로 볼 때 광유기 이방성(PA) 현상을 보이는 As-Ge-Se-S 박막^{9,10}에서 전계효과에 의한 회절효율을 증감시킬 수 있었으며, 이와 같은 회절효율의 증감은 편광 광기록 및 편광 홀로그래피 매질로 이용될 수 있는 잠재력을 갖으며, 최근 광전자분야와 광통신분야 및 광메모리와 광스위치 분야에 응용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] V. Lyubin and M. Klebanov, "Photoinduced generation and reorientation of linear dichroism in AsSe glassy films", *Phys. Rev. B* **53** (18), pp.11924-11926 (1996)

[2] V. K Tikhomirov and S. R. Elliott, "Vectorial and scalar photoinduced effects in chalcogenide glasses", *J. Non-Cryst. Solids*, **669**, pp.198-200 (1996)

[3] K. Tanaka, M. Notani and H. Hisakuni, "Optical anisotropy in As₂S₃ glass induced with sub-bandgap illumination" *Solid State*

Commun., Vol. **95**(7), pp.461-464 (1995)

- [4] V. M. Lyubin, and V. K. Tikhomirov, "Novel photo-induced effects in chalcogenide glasses" *J. Non-Cryst. Solids*, Vol **135**, pp.37-48 (1991)
- [5] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park, H. Y. Lee, Y. J. Lee and H. B. Chung, "The characterization of the chalcogenide thin films by the electric field effect", *Proceedings of the Asian Conference on Electrical Insulation Diagnosis* '99, Nov.18-23, pp.184-186 (1999)
- [6] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park, H. Y. Lee and H. B. Chung, "The measurement on diffraction efficiency in polarization holography using amorphous chalcogenide thin films" *J. of the Kor. Inst. Electrical & Material Eng.*, Vol. **12**, No. **12**, pp.1192-1197 (1999)
- [7] M. Mitkova, I. Iliev, V. Boev and T. Petkova, "Influence of an electrical field on optical recording in chalco-halide glasses", *J. Non-Cryst. Solids*, **227-230**, pp.748-751 (1998)
- [8] M. Kastner, D. Adler and H. Fritzsche, "Valence-alternation model for localized gap states in lone-pair semiconductors", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. **37**, pp.1504-1507 (1976)
- [9] J. Y. Chun, S. H. Park, H. Y. Lee and H. B. Chung, "Estimation of the anisotropy magnitude in amorphous As₄₀Ge₁₀S₃₅Se₁₅ thin films by an interference method", *J. of the Kor. Inst. Electrical & Material Eng.*, Vol. **11**, No. **9**, pp.749-751 (1998)
- [10] S. J. Jang, C. H. Yeo, J. I. Park, H. Y. Lee and H. B. Chung, "The photoinduced anisotropy(PA) by Ag polarized-photodoping in amorphous chalcogenide thin films", *J. of the Kor. Inst. Electrical & Material Eng.*, Vol. **13**, No. **6**, pp.533-537 (2000)