

비정질 칼코게나이드 As-Ge-Se-S 박막에서 편광기록 및 재생

Polarization recording and reconstruction in the chalcogenide As-Ge-Se-S thin films

장선주, 박종화, 손철호, 정홍배

(Sun-Joo Jang, Jong-Hwa Park, Chul-Ho Son, Hong-Bay Chung)

Abstract

Chalcogenide glasses are suggested as a candidate for optical recording. In this study, we have investigated the holography recording and reconstruction of the polarization state in chalcogenide $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin films. We have used a He-Ne laser light(633nm) to probe and record of the grating. Also the polarization state of object beam was modulated with a $\lambda/4$ wave plate. The polarization state of the +1st order diffracted beam was generated by readout of the grating with a linearly polarized reference beam. It was the same-handed polarization state as the polarization state of the recording beam. The result is shown that the diffraction efficiency of circularly polarized recording represents higher than other polarization state.

Key Wards(중요용어) : 편광 홀로그래피(Polarization holography), 광유기 이방성(Photoinduced anisotropy : PA), 회절효율(Diffraction efficiency), 박막형 홀로그램(Surface hologram)

1. 서 론

최근 홀로그래피에 대한 관심이 집중되면서 이를 이용한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 기존 메모리분야의 저장용량 한계에 대한 대체 분야로서 각광을 받고 있으며, 광학소자로서의 응용에도 부각되고 있다.^{1,2,3)}

이러한 홀로그래피 저장방식은 기록광파(object beam)와 기준광파(reference beam)를 동시에 기록매질에 조사시켜 생성된 간섭무늬를 기록한 것을 말한다. 홀로그램의 간섭무늬는 물체의 세기 정보는 물론 세기 성질로 변환된 위상정보를 갖는다. 이와 같은 홀로그래피 저장방식은 크게 체적형과 박막형으

로 구분할 수 있다. 일반적으로 홀로그램의 두께에 대한 간섭무늬 간격과의 비가 10이상이면 체적형 홀로그램(volume hologram)이라 하며 그 이하이면 박막형 홀로그램(surface hologram)이라 분류한다. 또 기록 및 재생광파의 편광상태에 따라 크게 비편광 홀로그래피(non-polarization holography)와 편광 홀로그래피(polarization holography)로 구분된다.⁴⁾ 일반적으로 이용되어온 비편광 체적형 홀로그래피는 비교적 고효율과 매질의 체적 전체에 걸쳐 높은 데이터 저장밀도를 갖고 있지만 저장매체로서 노이즈가 수반되는 가장 큰 단점이 있다. 이와 달리 박막형 편광 홀로그래피는 편광된 입사빔을 사용하여 빔의 세기 및 편광 상태에 대한 기록형식을 모두 포함한다. 특히, 편광 홀로그래피는 박막 내에서도 비편광-체적형 홀로그래피와 같은 높은 저장밀도를 가질 수 있으며, 체적형 홀로그래피가 갖는 홀로그램의 중첩에 의한 노이즈문제를 개개의 편광상태로 저장

광운대학교 전자재료공학과

(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax: 02-943-3590)

E-mail : hbchung@daisy.kwangwoon.ac.kr)

2000년 3월 30일 접수, 2000년 8월 25일 심사완료

함으로서 해결 할 수 있는 장점이 있다.⁵⁾

따라서, 본 연구에서는 본 연구진이 그간 연구해 온 광학 매질 중에서 우수한 광유기 이방성(photoinduced anisotropy : PA) 현상을 나타내고 있는 비정질 As-Ge-Se-S계 칼코게나이드 박막^{6,7)}을 박막형 편광 홀로그래피 매질로 사용하여 편광형태에 따른 기록 및 재생을 분석하여 차세대 박막형 편광 홀로그래피의 응용성과 실용화 방안을 검토하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 박막은 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℃로 순차적으로 가열하여 벌크 시료를 제작하였다. 박막은 corning glass-2948 위에 열진공 증착방법을 사용하여 박막을 제작하였다. 박막의 두께는 각각 8677Å과 9093Å이며, 이때 증착 속도는 비정질상의 재현성을 위하여 각각 2Å/s로 유지하였고 박막의 두께 및 광학상수는 N&K Analyzer(NKT 1200)를 사용하여 측정하였다. 박막 표면에서의 광세기 및 회절된 +1st Order의 광세기는 광전력미터(Newport, 1815-C)에 의해 확인하였다.⁸⁾

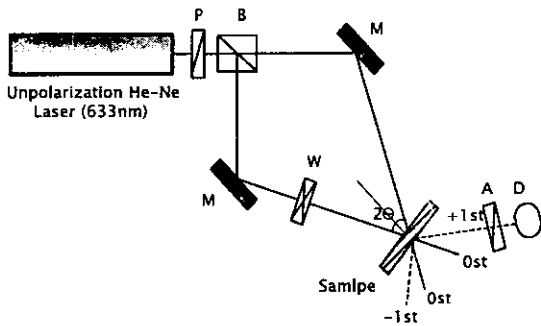


그림 1. 편광 홀로그래피의 기록 및 재생을 위한 실험 장치도

Fig. 1. Schematic diagram for recording and reconstruction of the polarization holography (P: polarizer, B: beam splitter, M: mirrors, W: quarter-wave plate, A: analyzer, D: detector)

그림 1은 편광형태별 기록 및 재생을 위한 실험 장치도이다. 기록과 재생은 비편광된 He-Ne Laser ($\lambda=6328\text{Å}; 23\text{mW}$)를 사용하였으며 Beam splitter를

사용하여 입사면에 대해 수직인 s파와 평행인 p파로 분리하였다. 이때 두 광파의 강도비는 1:1이었으며, 편광형태별 샘플표면에서의 유기광의 세기는 각각 $3.13\text{mW}/\text{cm}^2$ (원형, 타원편광), $3.26\text{mW}/\text{cm}^2$ (선형편광) 유지하였다. 기록 및 재생시 회절효율은 +1st Order를 실시간으로 측정하였다. 여기서 재생광파는 입사면에 수평인 p파를 이용하였으며, 기록광파는 입사면에 수직인 s파를 이용하였다. 원형과 타원의 편광형태의 변화는 $\lambda/4$ wave plate을 사용하여 만들었고, 선형편광은 편광자(polarizer)를 사용하였다. 또한 기록광파와 기준광파의 입사각 2θ 는 20도를 유지하였다. 재생광파의 편광상태 확인은 검광자(analyzer)를 이용하여 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

기록광파가 오른쪽으로 회전하는 원형편광(right circularly polarization:RCP)으로 하는 편광형태의 기록 및 재생결과는 그림 2와 같다. 그림 2는 RCP의 기록 전 기록광파의 편광상태와 기록 후 p파인 재생광파에 의해 재생된 +1st order의 편광상태를 검광자로 투과한 세기를 각도별로 측정한 것이다. 즉, 검출기(detector)에 측정된 빛의 세기 I 는 검광자의 각도에 따른 편광된 초기 측정 빛의 세기인 I_0 에 의존하며, 이것은 다음과 같은 Malus의 법칙을 따른다. [$I = I_0 \cos^2(\theta)$].⁹⁾

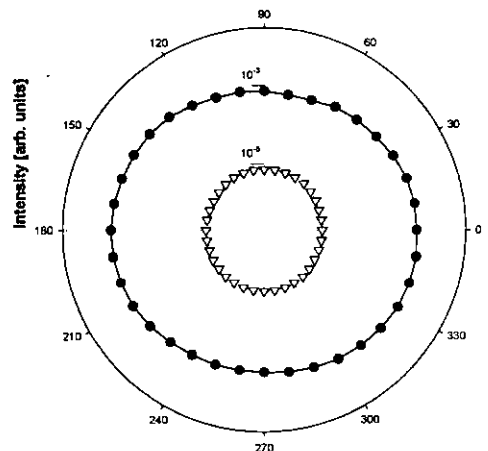


그림 2. 원형편광을 기록광파로 하는 노출전 기록광파(●)의 편광상태와 재생광파(▽)에 의한 편광상태

Fig. 2. Polarization states of recording (●) and reconstructed (▽) on the right circularly polarization (RCP) recording beams.

그림 2와 같이 RCP 기록광파의 편광상태에 따라 재생광파도 같은 RCP 편광상태로 나타났으며, 타원 편광과 선형편광을 기록광파로 하였을 때도 역시 같은 편광상태를 확인할 수 있었다. 박막은 8677A의 두께를 갖는 박막을 사용하였으며, 이것은 앞서 설명한 것과 같이 편광된 입사빔을 사용하는 박막형 편광 홀로그래피는 기록형식에서 빔의 세기 및 편광 상태를 모두 포함하여 박막에 기록함으로써 비편광-

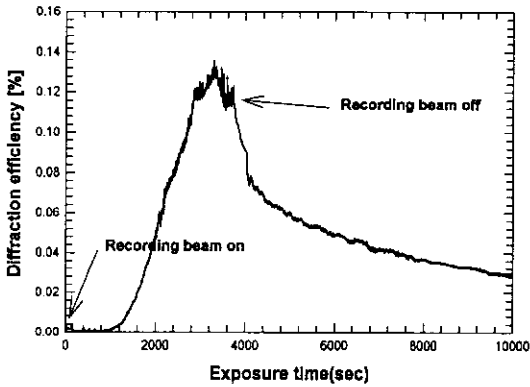


그림 3. 기록광파의 on-off시 원형편광(RCP)을 기록광파로 한 회절효율 변화.

Fig. 3 Temporal behavior of the first-order diffraction efficiency change in right circularly polarization (RCP) holographic recording, The moments of switching on and off of the acting light are marked with arrows.

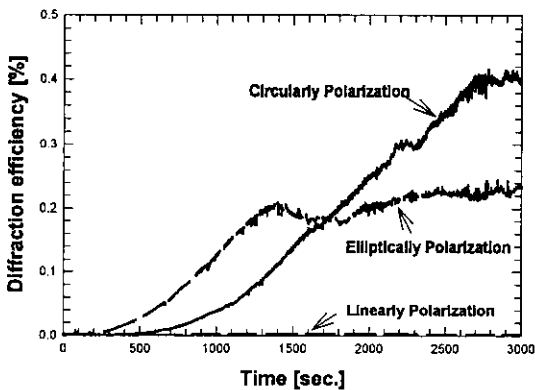


그림 4. 원형, 타원, 선형편광형태별 광유기 시간에 대한 회절효율.

Fig. 4 Kinetics of the diffraction efficiency change in the polarization state of recording beam to be linearly, circularly and elliptically polarized light, respectively.

채적형 홀로그래피와 같은 높은 저장밀도를 가질 수 있고, 채적형 홀로그래피의 단점인 홀로그래피의 중첩에 의한 노이즈문제를 박막형 편광 홀로그래피에서는 개개의 편광상태로 저장함으로써 해결할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3은 기록광파를 원형편광(RCP)으로 하였을 때 기록광파의 on-off시 회절효율 변화를 나타낸 것이다. 기록광파와 재생광파에 의해 생성된 +1st Order의 회절효율은 두 입사파의 간섭에 의해 증가한다. 기록광파를 제거한 후 재생광파에 의해서만 +1st Order를 측정할 결과, 회절효율은 급격하게 감소하였다. 재생광파만에 의한 노출시간이 지속됨에 따라 두 입사파의 간섭으로 이미 형성된 격자에 의해 어느 정도 일정한 회절효율을 유지하며, 안정화되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상은 +1st Order의 세기가 기록광파에 크게 의존함을 알 수 있다.¹⁰⁾

기록광원의 편광형태 변화에 따른 회절효율은 그림 4에 나타나 있다. 그림 4는 기준광파인 p파와 각각 기록광원의 편광형태가 오른쪽으로 회전하는 원형(RCP), 타원편광(right elliptically polarization: REP)과 s파인 선형편광에 따른 +1st Order의 회절효율변화를 나타낸다. 각각의 기록광파에서 회절효율은 원형편광일 때 가장 높은 회절효율을 보였다. 또한 기록광파가 선형편광인 즉 s파에 의한 회절효율은 매우 낮은 회절효율을 보였다. 이때 회절효율 최대값은 0.003%였다.

원형편광에 의한 회절효율 최대값은 0.4%로 높은 회절효율로 이전의 p파와 s파에 의한 선형편광상태인 위상편광 홀로그래피에 의한 회절효율에 대해 두 광파의 간섭 현상이 가장 큰 비교적 우수한 회절효율을 보여주고 있다.¹¹⁾ 반면에 타원편광에 의한 기록보다는 회절효율이 늦게 포화되는 것을 알 수 있다. 이것은 기준광파인 p파와 타원편광의 간섭현상 결과, 원형편광과의 간섭에 의한 격자형성이 보다 빠르게 형성되었음을 나타낸다. 타원편광의 경우 회절효율 최대값은 0.2%이며, 비교적 빠른 시간내에 회절효율의 포화곡선을 보이며 유지되는 것을 알 수 있다. 추가적으로 격자의 간격은 두 입사빔이 이루는 각도와 입사빔의 파장에 의해 식 $\Lambda \approx \lambda / 2 \sin \theta$ 에 의해 $\Lambda \approx 1.8 \mu\text{m}$ 으로 근사 될 수 있다.¹²⁾

또한 RCP에 대해 왼쪽으로 회전하는 원형편광(left circularly polarization:LCP)에 의한 기록시 회절효율 최대값은 0.002%의 매우 낮은 회절효율 최대값을 나타내었다. 기록광원의 편광형태가 오른쪽으로

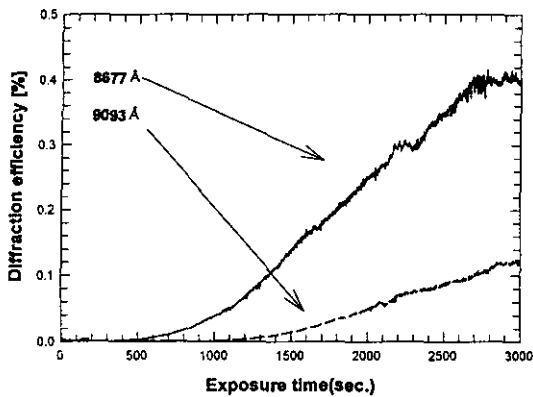


그림 5. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 두께 8677Å과 9093 Å에 따른 회절효율.

Fig. 5. Kinetics of the diffraction efficiency change in the thickness of 8677Å and 9093 Å on the $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin films.

로 회전하는 원형편광(RCP)과 타원편광(REP)에서 반대방향인 왼쪽으로 회전하는 원형편광(LCP)과 타원편광(LEP)형태에 비해 보다 우수한 회절효율을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 기록광원의 편광형태의 회전방향에 대해서도 기록 및 재생시 큰 의존성을 갖고 있음을 알 수 있다.¹³⁾

홀로그래피에서 격자형성에 의한 회절효율은 Bragg조건 중에서 두께에 대해 매우 민감한 특성을 보인다. 각각의 기록광파의 편광상태에서 가장 높은 회절효율 최대값을 보이는 RCP에서 박막의 두께 변화에 따른 회절효율을 조사하였다. 그림 5는 박막의 두께를 각각 8677Å과 9093Å으로 제작하여 기록광파의 편광상태를 RCP로 하여 기록시 +1st Order의 회절효율을 측정할 결과이다. 박막의 두께가 $m\lambda = 2d\sin(90 - \theta)$ 인 Bragg조건에 근사적으로 만족하는 8677Å의 박막두께에서 보다 높은 회절효율이 나타남을 알 수 있으며, 이것은 박막두께 또한 회절효율변화에 크게 의존함을 의미한다.¹²⁾ 이러한 결과를 통하여 박막두께와 입사각변화에 따른 Bragg조건에 근사 하는 최적조건을 통하여 보다 높은 회절효율을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 우수한 광유기 이방성(PA) 성질을 나타내는 비정질 칼코게나이드 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 기록광파의 편광형태별 기록과 재생에 따른 기록광원의 편광상태와 박막두께에 대한 편광 홀로그

래피 특성을 고찰하였다.

기록광파가 오른쪽으로 회전하는 원형편광(RCP)일 때 회절효율 최대값이 0.4%로 가장 크며, 오른쪽으로 회전하는 타원편광(REP)일 경우는 이보다 낮은 0.2%를 유지하였지만 박막 내 격자형성이 보다 빠르게 형성되어 포화되었다. 또한 선형편광의 경우는 매우 낮은 0.003%의 회절효율을 보였다.

이상의 결과 박막형 편광 홀로그래피에서 박막의 두께를 Bragg조건을 만족하는 범위 내에서 10000Å 이하의 얇은 박막으로도 비교적 높은 0.4%의 회절효율을 얻을 수 있으며, 위상편광 홀로그래피형태로 정보를 박막형태의 매질에 입사광의 세기나 위상을 변화시키면서 저장시킬 수 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 대용량 저장 밀도를 갖는 저장매질 및 광소자로서 응용이 가능하고 다른 편광 홀로그래피 물질보다 비교적 우수한 회절효율을 보유하고 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1]. B. S. Guba, I. I. Kryzhanovskii, M. D. Milhailov and V. K. El'ts, "Pulsed recording of holograms on amorphous chalcogenide photoresist layers", J. Opt. Technol. **64** (9), pp.822-827, 1997
- [2]. D. Psaltis and F. Mok. "HOLOGRAPHIC MEMORIES", Sci. Am. (Int. Ed) **273**, pp.70-76, 1995
- [3]. V. Markov, J. Millerd, J. Trolinger, M. Norrie, J. Downie and D. Timucin, "Multilayer volume holographic optical memory", Opt. Lett, Vol.24, No.4, pp.265-267, 1999
- [4]. L. Nikolova, T. Todorov, M. Ivanov, F. Andruzzi, S. Hvilsted and P. S. Ramanujam, "Polarization holographic gratings in side-chain azobenzene polyesters with linear and circular photoanisotropy", Appl. Opt., Vol 23, No 23, pp.3835-3840, 1996
- [5]. T. Todorov, L. Nikolva and N. Tomova, "A new high-efficiency organic material with reversible photoinduced birefringence", Appl. Opt, **23**, pp.4309-4312, 1984
- [6]. J. Y. Chun, S. H. Park, H. Y. Lee and H. B. Chung, "Estimation of the anisotropy magnitude in amorphous $As_{40}Ge_{10}S_{35}Se_{15}$ thin

- films by an interference method", J. of the Kor. Inst. Electrical & Material Eng., Vol. **11**, No. 9, pp.749-751, 1998
- [7]. S. H. Park, J. Y. Chun, H. Y. Lee, H. B. Chung, " The relaxation and elimination characteristics of polarization-photoinduced dichroism in obliquely deposited amorphous chalcogenide thin films", J. of the Kor. Inst. Electrical & Material Eng., Vol. **11**, No. 10, pp.891-896, 1998
- [8]. 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
- [9]. F. L. Lobaethet and P. Rochon, "Polarization analysis of diffracted orders from a birefringence grating recorded on azobenzene containing polymer", Appl. Phys. Letters. Vol. **75**, No. 10, pp.1377-1379, 1999
- [10]. Y. Lsbi, S. Sternklar, E. Granot, V. Lyubin, M. Klebanov and A. Lewis, "Sub-wavelength optical recording on chalcogenide glassy film", J. Opt. Comm. **171**, pp.219-223, 1999
- [11]. R. Birabassov, T. V. Galstyan, F. Dechamplain and A. Ritcey, "Polarization recording and reconstruction in Disperse Red 1-doped cellulose acetate", J. Opt. Lett. Vol.**24**, No.10, pp649-651, 1999
- [12]. F. L. Pedrotti, S. J. Lend and S. Pedrotti., "Introduction to Optics". Prentice Hall, **2nd**, pp.274 & pp.411-423, 1984
- [13]. L. Nikolova and T. Todorov, "Diffraction efficiency and selectivity of polarization holographic recording", Opt. Acta **31**, pp.529, 1984