

Ag 및 MgF₂/AsGeSeS 다층박막에서의 편광 홀로그래피 회절효율 특성

The Properties of Diffraction Efficiency in Polarization Holography using the Ag and MgF₂/AsGeSeS Multi-layer

나선웅*, 여철호*, 김종빈**, 정홍배*

(Sun-Woong Na*, Cheol-Ho Yeo*, Jong-Bin Kim**, and Hong-Bay Chung*)

Abstract

We have carried out two-beam interference experiments to form holographic gratings on As₄₀Se₁₅S₃₅Ge₁₀ single layer, Ag/As₄₀Se₁₅S₃₅Ge₁₀ and MgF₂/As₄₀Se₁₅S₃₅Ge₁₀ multi-layer. In this study, holographic gratings have been formed using He-Ne laser(632.8nm) under different polarization combinations(intensity polarization holography, phase polarization holography). The diffraction efficiency was obtained by the +1st order intensity. The maximum diffraction efficiency of As₄₀Se₁₅S₃₅Ge₁₀ single layer, Ag/As₄₀Se₁₅S₃₅Ge₁₀ and MgF₂/As₄₀Se₁₅S₃₅Ge₁₀ multi-layer were 0.8%, 1.4% and 3.1% under intensity polarization holography, respectively.

Key Words : Holographic grating, Intensity polarization holography, Phase polarization holography, Diffraction efficiency

1. 서론

광 통신 및 정보 통신이 급속히 발전됨에 따라 발생하는 거대한 양의 정보를 저장 및 관리할 장치, 대용량 저장 매질, 광 부품의 개발이 필요하게 되었다. 이와 관련된 정보 저장 장치, 기록 매질의 개발 및 관련된 반도체, 광 부품의 개발에 대한 연구가 폭 넓게 진행되고 있다. 이러한 저장 장치 중 상용화 가능성과 응용성으로 많은 흥미를 끌고 있는 홀로그래피 메모리[1,5]는 CD나 DVD보다 높은 저장밀도와 고속 데이터 판독 기능이 가능하여 기존의 정보저장 방법의 한계를 해결할 것으로 기대

되고 있다. 또한 홀로그래피 기술은 정보저장 뿐만 아니라 HOE(Holographic Optical Element)라는 광 소자 제작 및 반도체 공정의 비접촉 마스크 제작 에도 많이 이용되고 있다. 홀로그래피 기록 매질은 낮은 노이즈, 고감도 등의 성질을 갖는 고분해능의 새로운 홀로그래피 기록 재료의 개발이 필요하게 되었으며, 현재 결정계인 LiNbO₃와 photopolymer 의 개발로 많은 진전을 보였다. 그러나 결정계의 경우 광품질은 뛰어나나 광감도가 떨어지는 단점이 있으며, 광 폴리머의 경우는 체적변화에 따른 광품질의 저하가 문제점으로 지적되어 이들의 한계점을 위한 연구가 진행되고 있다[4]. 비정질 As-Ge-Se-S 박막은 매질이 빛에 노출될 경우 굴절률이 달라지는 광굴절 효과와 광원의 편광 방향에 따라 우수한 광학적 이방성 특성을 나타내는 물질로 보고된 후[6,7], 홀로그래피 매질로써 가능성에 대해 많은 연구가 진행되어 왔으며, 광감도가 우수하고, 박막화, 저장정보의 소거특성, 제작의 용

* : 광운대학교 전자재료공학과
(서울시 월계동 447-1,
Fax: 02-943-3590
E-mail : nice75@explore.gwu.ac.kr)

** : 조선대학교 전자공학과
2002년 10월 21일 접수, 2002년 11월 7일 1차 심사완료,
2002년 11월 28일 최종 심사완료

이성 및 안정성이 우수하여 차세대 광기록 매질로 크게 기대되고 있다.

본 연구에서는 홀로그래피 기록 매질로서 연구가 진행되고 있는 As-Ge-Se-S계 비정질 칼코게나이드 단일박막[8,9], Ag층이 겹층으로 된 다층박막, MgF₂층이 겹층으로 된 다층박막을 제작하여, 위상(S:P) 및 세기(P:P) 편광 홀로그래피 방법으로 홀로그래피 격자를 형성하였다. 이 때, 각 박막의 최대 회절효율을 구해 비교, 분석함으로써 최적의 박막 구조와 기록 빔의 편광 상태를 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 비정질 칼코게나이드 박막은 As₄₀Ge₁₀Se_{50-x}S_x(x=0, 25, 35 at%)중 최대 가역적 광구조적 변화(reversible photostructural transformation)를 갖는 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅의 박막을 선택하였다. 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 가열, Water quenching 방법을 사용하여 벌크 시료를 제작하였

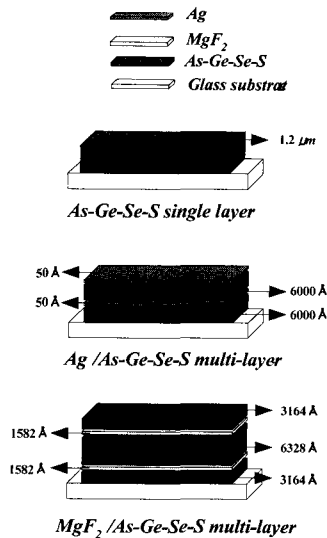


그림 1. 다층박막 구조의 개략도.
Fig. 1. Schematic view of multi-layer sample.

다. Ag층, MgF₂층, As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅층은 열진공증착기(thermal vacuum evaporator)를 이용하여 약 2×10⁻⁶Torr의 진공도에서 증착하였다. 이 때 증착 속도는 구조적으로 균일한 표면을 얻기 위해 가능한 낮은 증착 속도(각각 ~2Å/sec)를 유지하였고, 결정감지기를 이용한 두께 측정기를 사용하여 증착과 동시에 측정 후, 박막 특성 분석기(n&k thin film analyzer : NKT 1200)를 사용하여 확인하였다[1,8-10].

박막의 제작은 그림 1과 같이 corning glass 위에 칼코게나이드 단층, Ag/칼코게나이드 다층박막, MgF₂/칼코게나이드 다층박막을 제작하였다. 그림 1은 제작된 다층박막의 개략도를 보여준다.

홀로그래픽 격자 형성은 단색 광원의 간섭에 의한 간섭 무늬를 기록 매질에 기록함으로써 격자를 형성시키는 방법이다. 그림 2는 홀로그래픽 격자 형성을 위한 장치도를 나타내고 있다. 격자 형성은 He-Ne Laser(λ=632.8nm)를 사용하였다.

빔은 Beamsplitter(BS)를 지나 두 개의 기록빔으로 나누어지고, mirror로부터 반사된 후 홀로그래픽 격자 형성을 위하여 샘플에서 간섭된다. (S:P) 및 (P:P) 편광상태로 격자를 형성하기 위해 두 개의 polarizer를 사용하였다. 격자 형성에 의하여 발생하는 회절빔의 세기는 광 검출기를 이용하여 실시간으로 측정, 기록하였다. 회절 빔의 세기는 +1st Order의 회절빔 세기를 측정하였다. 두 기록빔이 샘플에 입사시 이루는 각은 2θ=20°를 유지하게 하였으며 빔의 세기는 2.7mW/cm²으로 동일하게 만들었다.

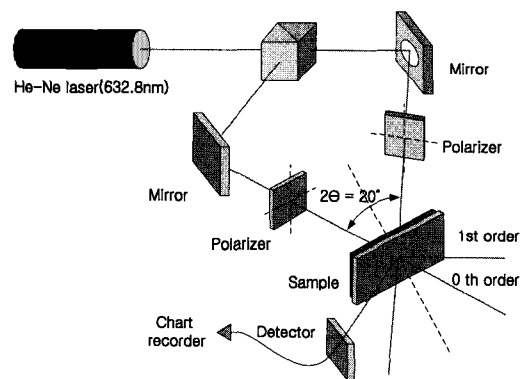


그림 2. 편광 홀로그래피 격자 형성을 위한 장치도.
Fig. 2. Schematic diagram of polarization holography setup.

3. 결과 및 고찰

3.1 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 단일박막에서의 회절효율

그림 3은 박막의 두께가 1.0 μ m 인 칼코게나이드 단일박막에서 기록빔이 (S:P) 및 (P:P) 편광상태일 때 시간에 따른 회절효율의 변화를 측정된 그래프이다.

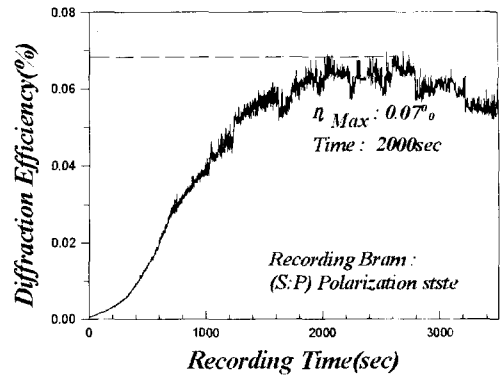
그림 3(a)는 (S:P) 편광상태일 때 회절효율의 변화를 나타낸다. (S:P) 편광상태일 경우에는 시간이 경과함에 따라 약 2000sec 부근에서 최대 포화값을 이룬 후 완만하게 감소하는 경향을 보이고 있다. +1st order의 세기에 의해 구해진 최대 회절효율은 약 0.07%였다.

그림 3(b)는 (P:P) 편광상태일 때 시간에 따른 회절효율의 변화를 나타낸다. (P:P) 편광상태일 경우에는 역시 약 2000sec 부근에서 최대 회절효율값을 이룬 후 완만하게 감소되는 경향을 보이고 있다. 이때의 최대 회절효율은 약 0.8%였다. 이와 같은 세기(P:P) 및 위상(S:P) 편광 홀로그래피의 경우 회절효율의 포화 후 감소원인은 초기 유기빔의 세기가 강하게 작용하는 영역에서 일정한 방향성을 갖고 격자 형성을 이루다가 시간이 지날수록 박막의 모든 부분에서 새로운 격자가 형성되면서 격자들간의 중첩 효과가 일어나고, 결국 작은 표면의 변화(small surface modulation)로 인한 격자의 소거(cancellation)때문인 것으로 사료되고 있다.[10]

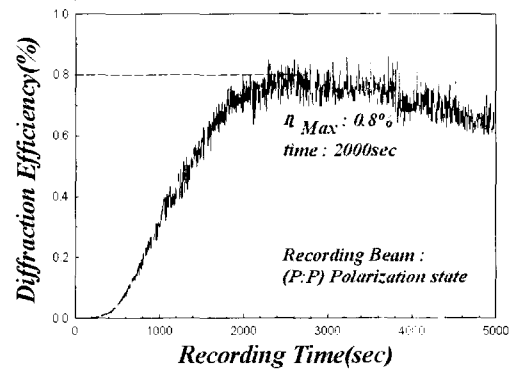
3.2 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 다층박막에서의 회절효율

As-Ge-Se-S 박막 위에 Ag, Cu, In 등의 금속막을 형성시킨 후 광을 조사시키면 금속 원자 또는 이온이 박막 내로 도핑, 확산되어 구조적, 광학적, 전기적 특성 변화와 이에 상응하는 물리적 화학적 변화를 일으키고 광기록 저장 능력을 향상시킨다[11].

그림 4는 비정질 칼코게나이드층(5000Å)과 Ag층(50Å)이 겹층으로 이루어진 다층박막에서의 (S:P)와 (P:P) 편광상태일 때의 회절효율의 변화를 측정된 그래프이다. (S:P)와 (P:P) 편광상태일 때 모두 약 1600sec 부근에서 최대 포화를 이루었으며 이 때의 최대 회절효율은 각각 약 0.21%와 1.4%였다. 이는 칼코게나이드 단일박막보다 각각 약 300%, 140% 증가된 최대 회절효율을 보였다. 두 경우 모두 시간이 지남에 따라 유기되는 빛의 양이 많아지면서 Ag가 유기광의 광에너지를 흡수하



(a)



(b)

그림 3. As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 단일박막에서 시간에 따른 편광상태별 회절효율 변화

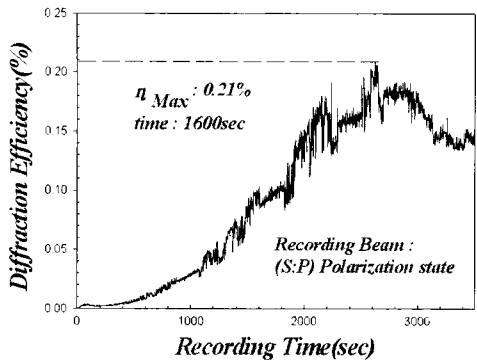
(a) (S:P) 편광상태 (b) (P:P) 편광상태.

Fig. 3. Diffraction Efficiency according to time in As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ single layer.

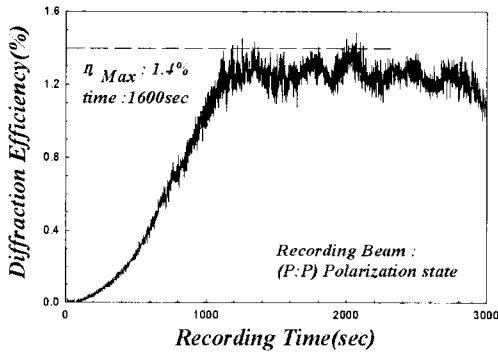
(a) (S:P) polarization state

(b) (P:P) polarization state.

여 박막 내부로 도핑되며 박막내부에서 재배치하게 된다. Ag이온의 재배치과정에서 Ag이온과 칼코게나이드 결합이 발생하여 광유기 이방성(photoinduced anisotropy)의 원인이 되는 새로운 형태의 VAPs(Valence Alternaion Pairs)가 형성되어 회절효율이 단일 박막보다 증가되는 것으로 해석할 수 있다[3]. 즉, 두 빔의 의해 도핑된 영역에서 빔의 보강·간섭에 의해 Ag가 칼코게나이드 박막내부로 빠르게 이동하고 도핑된 영역은 칼코게나이드 단일박막보다 고굴절률의 격자를 형성하므로 높은 회절효율을 얻을 수 있다.



(a)



(b)

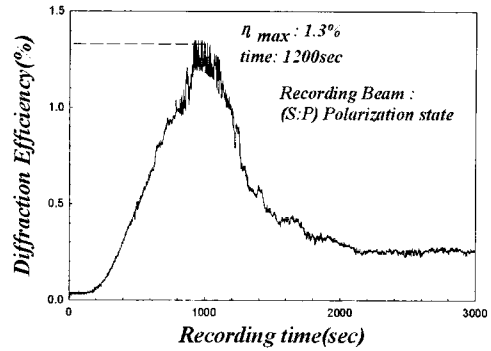
그림 4. Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 다층박막에서 시간에 따른 편광상태별 회절효율 변화
(a) (S:P) 편광상태 (b) (P:P) 편광상태.

Fig. 4. Diffraction Efficiency according to time in Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ multi-layer.
(a) (S:P) polarization state
(b) (P:P) polarization state.

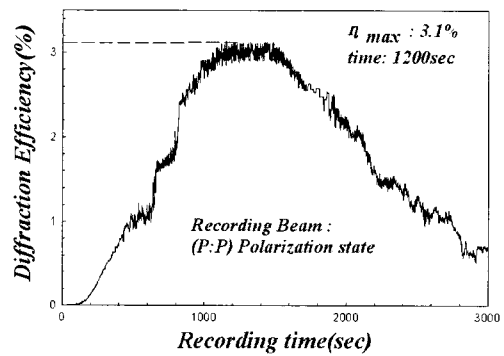
3.3 MgF₂/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 다층박막에서의 회절효율

Sample에서 이 반사를 줄여 빛의 손실을 줄이고 높은 투과율을 유지하기 위해 저굴절률인 MgF₂ (n=1.38) 유전체층과 고굴절률인 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ (n=2.64)층을 사용하여 부반사박막을 전산모의를 통해 설계, 제작하였다.

그림 5는 이러한 구조를 가진 칼코게나이드층과 MgF₂층으로 이루어진 다층박막에서 회절효율의 변화를 측정된 그래프이다. 그림 5(a)와 같이 (S:P) 편광상태일 때 약 1200sec 부근에서 최대 회절효율 값을 이룬 후 급격히 감소함을 관찰 할 수 있었다. 이러한 감소의 원인은 칼코게나이드 단일박막과 같은 격자의 소거(cancellation)때문인 것으로



(a)



(b)

그림 5. MgF₂/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 다층박막에서 시간에 따른 편광상태별 회절효율 변화
(a) (S:P) 편광상태 (b) (P:P) 편광상태.

Fig. 5. Diffraction Efficiency according to time in MgF₂/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ multi-layer.
(a) (S:P) polarization state
(b) (P:P) polarization state.

사료되며[10], 이 때의 최대 회절효율 값은 약 1.3%이며 칼코게나이드 단일박막보다 약 1857% 증가하였다. 그림 5(b)는 (P:P) 편광상태일 때의 회절효율 변화를 측정된 그래프이다. (S:P) 편광상태일 때와 마찬가지로 약 1200sec 부근에서 최대 포화를 이룬 후 급격히 감소하였다. 이 때의 최대 회절효율은 약 3.1%이었으며 칼코게나이드 단일박막보다 약 388% 증가하였다. 이와 같은 회절효율의 증가는 박막에서의 반사도를 줄이고 투과도를 높여 유기되는 빛의 양이 증가하기 때문으로 판단된다[12].

4. 결론

현재까지 칼코게나이드 박막은 우수한 광유기

이방성 현상을 나타내었음에도 불구하고 1% 미만의 낮은 회절효율을 보여왔다. 따라서 본 연구에서는 보다 높은 회절효율을 얻기 위해 Ag와 같은 금속을 도핑함으로써 광유기 이방성 현상의 원인이 되는 VAPs를 증가시켜 이로 인해 높은 회절효율을 얻을 수 있었다. 그 결과 Ag도핑된 박막은 단일박막보다 (S:P), (P:P) 편광 상태 모두 각각 약 300%, 140% 증가된 회절효율을 보였으며, 유전체층인 MgF_2 를 이용한 다층박막은 Ag도핑된 다층박막보다 620%, 221% 증가된 회절효율을 보였다. 그러나 MgF_2 다층박막은 높은 회절효율을 보였으나 최대 포화를 이룬 후 급격히 감소하는 경향을 보였다. 또한 각 박막에서 세기 홀로그래피 방법(P:P)은 위상 홀로그래피 방법(S:P)보다 높은 회절효율 증가를 보였다.

이상의 실험 결과로 볼 때, Ag도핑된 다층박막은 MgF_2 층을 이용한 다층박막보다 최대 회절효율은 낮았지만 최대 포화를 이룬 후에도 시간이 지남에도 거의 일정하게 유지되는 안정적인 특성을 보였다. Ag도핑된 박막의 안정적인 특성과 세기홀로그래피 방법(P:P)으로 인한 회절효율 증가는 대용량 저장매질, 홀로그래피 광학소자 및 비접촉 홀로그래피 마스크로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2000-041-E00162).

참고 문헌

[1] 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 KIEEME(in Korean), Vol. 12, No. 12, p. 1192, 1999.

[2] T. Todorov, L. Nikolova, and N. Tomova, "Polarization holography in a new high efficiency organic material with reversible photoinduced birefringence", Appl. Opt. Vol. 23, No. 23, p. 4309, 1984.

[3] 장선주, 여철호, 박정일, 이현용, 정홍배, "Ag 편광-광도핑에 의한 칼코게나이드 박막의

광유기 이방성(PA)", 전기전자재료학회논문지, 13권, 6호, p. 533, 2000.

[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. 35, No. 20, p. 3835, 1996.

[5] P. Hariharan, "Optical Holography", Cambridge Univ. Press, p. 162, 1984.

[6] V. K. Tikhomirov and S. R. Elliott, "Metastable optical anisotropy in chalcogenide glasses induced by unpolarized light", Phys. Rev. B, 49, p. 17476, 1994.

[7] S. H. Park, J. Y. Chun, H. Y. Lee, and H. B. Chung, "Structural and optical properties of obliquely deposited amorphous $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin films as an anisotropic materials", ICEE'98, Vol. 2, p. 927, 1998.

[8] 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 KIEEME(in Korean), Vol. 11, No. 9, p. 749, 1998.

[9] S. H. Park, J. Y. Chun, H. Y. Lee, and H. B. Chung, "The relaxation and elimination characteristics of polarization-photoinduced dichroism in obliquely deposited amorphous chalcogenide thin films", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 11, No. 10, p. 891, 1998.

[10] H. B. Chung, H. Y. Lee, J. Y. Chun, and C. H. Yeo, "Photoinduced dichroism and its low-temperature characteristics in obliquely deposited amorphous As-Ge-Se-S thin films" J. of Vac. Sci. Tech. A, Vol. 18, No. 2, p. 485, 2000.

[11] J. Salik, "Model for the phenomenon of photodoping of some amorphous semiconductors with silver", J. Appl. Phys., Vol. 45, p. 501, 1974.

[12] Frank L. Pedrotti, S. J. & Leno S. Pedrotti, "Introduction to Optics", Prentice Hall, p. 398, 1993.