

기록빔의 편광상태에 따른 $As_{40}Se_{15}S_{35}Ge_{10}$ 박막에서 홀로그래피 회절격자형성 특성

論 文
55C-9-1

Characteristics of Holographic Diffraction Grating Formation on $As_{40}Se_{15}S_{35}Ge_{10}$ Thin Film with the Polarization State of Recording Beam

朴 正 一* · 鄭 鴻 倍*
(Jeong-Il Park · Hong-Bay Chung)

Abstract - We have been carried out the two-beam interference method to form the diffraction grating on chalcogenide $As_{40}Se_{15}S_{35}Ge_{10}$ thin films for Holography Data Storage (HDS). In the present work, we have been formed holographic diffraction gratings using He-Ne laser (632.8nm) under different polarization state combinations (intensity polarization holography, phase polarization holography). It was obtained the diffraction grating efficiency by +1st order intensity and investigated the formed grating structure using Atomic Force Microscopy (AFM). As the results, it is shown that the diffraction efficiency of (P: P) polarized recording was maximum 2.4% and we found that its value was rather higher than that of other-polarized recordings. From the results, it is confirmed that the efficient holographic grating formation on amorphous chalcogenide $As_{40}Se_{15}S_{35}Ge_{10}$ films depend on both the spatial variation of intensity and the polarization state of the incident field pattern.

Key Words : Holography Data Storage(HDS), Two-Beam Interference, Chalcogenide, Polarization Holography.

1. 서 론

최근 전자정보 통신 산업, 멀티미디어, 나노테크놀로지 기술의 급속한 발전이 이루어지고 있고 막대한 양의 정보를 효과적으로 기록, 저장, 재생하기 위한 새로운 초고밀도, 초고속 정보저장 장치의 개발이 필요하게 되었다. 이러한 정보저장 장치 중 상용화 가능성과 응용성으로 많은 흥미를 끌고 있는 방법이 홀로그래피 정보저장(holographic storage) 기술이다 [1-3]. 이러한 홀로그래피방법은 단지 광 정보저장뿐만 아니라 3D 디스플레이 분야에서의 응용으로도 관심을 받고 있는 방법이며, 이는 높은 저장 밀도와 병렬 액세스(parallel access), 그리고 빠른 속도를 가지고 있어 정보 저장 기술 분야에서 매력적이며 현재 사용되고 있는 CD나 DVD보다 높은 저장밀도와 고속 데이터 판독 기능이 가능하여 기존의 정보저장 방법의 한계를 해결할 것으로 생각되고 있다. 따라서 이러한 정보저장방법을 응용하기 위해서는 우선 새로운 홀로그래피 기록 재료의 개발이 필요하게 되었다. 두 편광-광의 간섭에 의해 형성되는 홀로그래피는 크게 기록매질의 두께, 기록 방법 그리고 재생 방법에 따라 분류할 수 있는데, 홀로그래피의 기록 방법에 있어서는 진폭 홀로그래피(amplitude holography)와 위상 홀로그래피(phase holography)로 구분될 수 있다. 진폭 홀로그래피는 광 간섭 효과에 의해서 광 투과율의 주기적 변화 분포에 의해서 나

타나는 것으로 광 흡수 등으로 인하여 투과되지 못하는 광량이 많아 위상 홀로그래피에 비하여 효율이 떨어진다. 반면 위상 홀로그래피는 광 간섭효과에 의한 주기적인 굴절률 분포가 형성되어 나타나는 것을 의미하며, 현재 주로 사용되는 방법이다. 이러한 위상 홀로그래피를 형성하는 매질은 기록 빔의 편광상태에 따라 반응성이 뛰어나야하며, 또한 이상적인 홀로그래피 기록 재료의 특징인 고 분해능, 낮은 노이즈, 고감도 등의 성질 등을 나타내야 한다. 현재 무기질 silver halide emulsion, 광 폴리머 그리고 결정계 리튬니오베이트 등의 재료들이 연구되고 있다 [4-8].

그러나 비정질 As-Ge-Se-S 계 박막은 매질이 빛에 노출될 경우 굴절률이 달라지는 광굴절 효과와 광원의 편광방향에 따라 우수한 광학적 이방성 특성을 나타내는 물질로 보고된 후 [1],[9-11] 홀로그래피에 적합한 매질로써 가능성에 대해 많은 연구가 진행되어 왔으며, 광 감도가 우수하고, 박막화, 저장정보의 소거특성, 제작의 용이성 및 안정성이 우수하여 차세대 광 기록 매질로 크게 기대되고 있다.

따라서 본 논문에서는 높은 회절효율과 안정성, 우수한 광유기 이방성을 갖는 As-Ge-Se-S계 비정질 칼코게나이드 박막에 위상 홀로그래피 방법으로 기록 빔의 편광상태에 따른 회절격자를 형성하므로써 박막형 대용량 광 기록 저장매질로서의 응용성을 찾고자 한다.

2. 실 험

사용된 비정질 칼코게나이드 박막은 $As_{40}Ge_{10}Se_{30-x}S_x$ ($x=0, 25, 35$ at.%) 중 최대 가역적 광구조적 변화를 갖는 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 의 조성박막을 선택하였다 [10-11].

† 교신저자, 正會員 : 光云大 工大 電子材料工學科 教授 · 工博
E-mail : hbchung@kw.ac.kr

* 正會員 : 光云大 工大 3DRC 研究教授 · 工博
接受日字 : 2006年 5月 31日
最終完了 : 2006年 8月 17日

As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 비정질 벌크는 진공 봉입하여 전기로에서 충분히 반응하도록 한 후 water quenching 방법을 사용하여 제작하였다. 칼코게나이드 박막은 corning glass 위에 열진공증착기를 이용하여 약 2×10⁻⁶ torr의 진공도에서 1.0 μm의 두께를 갖도록 제작하였고, 두께 및 광학상수는 N&K Analyzer(NKT 1200)를 사용하여 측정하였다. 그림 1은 홀로그래픽 회절격자 형성을 위한 장치도를 나타내고 있다. 내부 삽입 그림은 실험에 사용된 편광 상태를 나타내었다. 격자 형성은 He-Ne Laser(632.8 nm, 23 mW)를 사용하였다. 빔은 Beam splitter(BS)를 지나 두 개의 기록 빔으로 나누어지고, mirror로 부터 반사된 후 홀로그래픽 회절격자형성을 위하여 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서 간섭된다. 회절격자형성을 위한 입사 빔의 편광상태는 빔 분리기와 상 지연판을 사용하여 각각의 편광 상태를 유지하였다. 입사 빔이 동일 선형편광을 갖는 경우는 그림 1에서와 같이 레이저와 빔 분리기 사이에 편광기를 설치하여 수평과 수직편광상태를 유지하였다. 입사 빔이 서로 수직인 편광상태를 갖는 경우는 두 입사 빔의 한 경로에 λ/2 상지연판을 설치하여 편광방향을 회전시켰다. 그리고 원형편광의 경우는 λ/4 광지연판을 사용하여 편광상태를 유지하였다. 또한 이러한 편광상태 확인은 편광기와 광 검출기를 이용하여 확인할 수 있었다. 격자형성과 회절 빔의 세기측정은 투과모드로 실행되었으며, 1st의 회절 빔 세기를 실시간으로 측정하여 회절효율을 구하였다. 식 (1)은 회절효율을 얻기 위한 식으로 홀로그래픽 격자형성에 따른 회절효율 η는 입력 빔의 세기에 대한 1차 회절 빔의 크기의 비로 정의하였다. I₀는 입사 빔의 세기이며, I_{1st-order}는 1차 회절 빔의 세기를 나타낸다. 그림 1에서 두 기록 빔 사이의 각 2θ는 격자간격 1.8 μm를 얻기 위해 20°로 하였다. 레이저 빔의 세기, I₀는 박막입사 전에 측정되었고 선형편광상태와 원형편광에 대한 기준 빔과 신호 빔의 세기는 2.7 mW/cm²로 유지하였다.

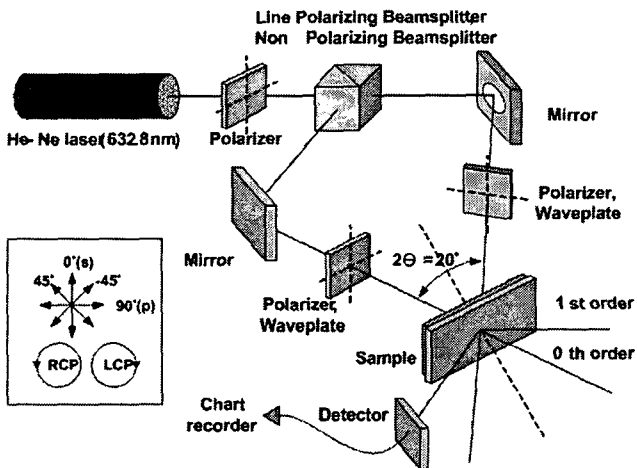


그림 1 홀로그래피 격자 형성을 위한 장치도와 격자형성을 위한 각 편광상태

Fig. 1 Schematic diagram of holography setup and the polarization state for a formation of diffraction grating RCP: Right circularly polarized LCP: Left circularly polarized

$$\eta(\%) = \frac{I_{1st-order}}{I_0} \times 100 \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

홀로그래픽 격자는 위상 홀로그래피방법으로 입사 빔들의 편광상태에 따라 두 기록 빔의 편광상태가 평행한 (S: S), (45°: 45°), (RCP: RCP) 그리고 (P: P) 편광상태에 따라 형성하였고, 또한 두 기록 빔의 편광상태가 수직인 경우인 (S: P), (+45°: -45°) 그리고 (RCP: LCP)의 편광상태에 따라 홀로그래픽 격자를 형성하였다. 칼코게나이드 박막에서 홀로그래픽 격자의 형성과정은 편광상태분포와 광 팽창효과에 의존한다. 여기서 편광상태의 변조분포는 박막내의 쌍극자결합들을 편광-광 에너지를 이용한 재구성으로 이루어진다고 할 수 있다. 박막 내에 존재하는 쌍극자결합이 입사되는 편광방향과 다르게 되어있다면 식 (2)에서처럼 이러한 쌍극자결합들은 입사되는 편광-광 에너지에 여기 되어 중성결합을 형성하게 되고 이러한 중성결합은 식 (3)에서처럼 비 방사천이를 통하여 입사되는 광 에너지의 편광 방향에 의존하여 결합쌍 쌍극자를 형성한다고 판단된다. 또한 릴리프형격자의 형성은 입사되는 광 에너지에 기인하는 것으로, 박막내에서 발생하는 C₁⁻ - C₃⁺ 결합쌍 생성에 따른 상호작용과 그물망 구조의 층간 반데르발스 상호작용에 의한 공유결합 길이의 증가로 사료된다.

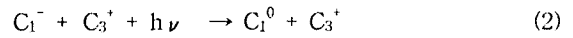


그림 2는 실험에 사용된 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 단일박막(1.0um)에서 펌핑 빔인 He-Ne 레이저의 편광상태를 분석한 결과이다. 편광된 He-Ne 레이저의 각도별 기록 빔의 세기 분포를

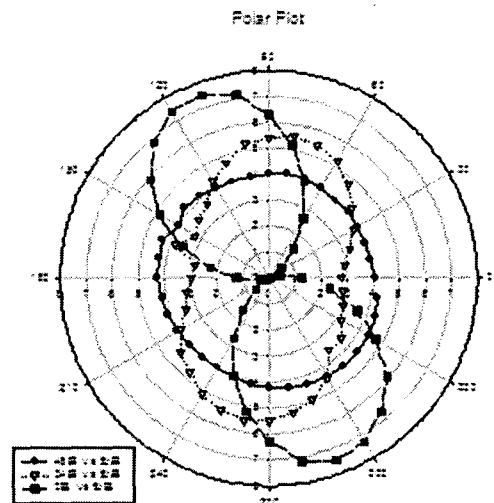


그림 2 단일박막(1.0um)에서 펌핑 빔인 He-Ne 레이저의 편광상태분석

Fig. 2 Polarization state analysis of He-Ne laser pumping beam on single thin film(1.0um)

He-Ne 레이저의 기록 빔이 편광자를 투과한 후 각도별로 측정된 것이다. 이러한 분석결과를 통하여 유기된 빔의 편광상태에 따른 박막에 입사되는 기록 빔 세기분포를 확인할 수 있으며 각각의 편광상태로 광유기 됨을 알 수 있다. 그림 3과 그림 4는 각각 두 기록 빔이 (S: S) 편광상태일 때와 (+45°: +45°) 편광상태일 때 시간에 따른 회절효율변화를 측정된 그래프이다. 두 가지 편광상태 경우에서는 비슷한 현상을 보였으며 (S: S) 편광상태일 경우에는 시간이 경과함에 따라 3000 sec 부근에서 최대 포화 값을 이룬 후 바로 감소하는 경향을 보였다. 또한 (+45°: +45°) 편광상태일 때 도 3000 sec 부근에서 최대 포화 값을 이룬 후 4000 sec 이상에서는 빠르게 감소하여 거의 초기 값에 이르는 것을 볼 수 있다. 이 두 경우에서의 최대 회절효율은 약 0.2 %였다. 그림 5는 두 기록 빔의 편광상태가 오른쪽으로 회전하는 원형편광 (RCP: RCP) 상태일 때 회절효율을 나타낸다. 2000 sec 이후 효율의 변화는 거의 미세하였으며 3000 sec 부근에서 최대치에 도달된 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 최대 회절효율 η_{max} 는 약 0.3 %였다. 이와 같은 회절효율의 포화 후 감소원인은 초기 유기 빔의 세기가 강하게 작용하는 영역에서 편광방향으로 일정한 방향성을 갖고 격자형성을 이루다가 시간이 지날수록 박막의 모든 부분에서 새로운 격자가 형성되면서 격자들 간의 중첩효과가 일어나고 결국 작은 표면의 변화로 인한 격자의 붕괴 또는 소거가 일어나며 편광 방향에 따라 표면변화의 붕괴에 다소 시간적인 차이를 보이는 것으로 판단된다 [7-8].

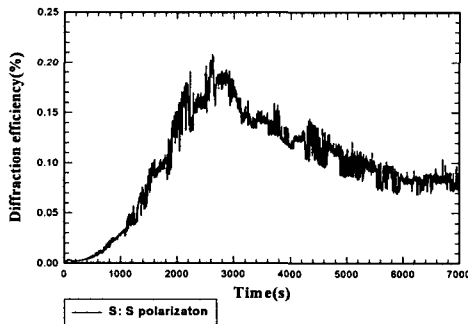


그림 3 (S: S) 편광상태의 기록 빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화

Fig. 3 Diffraction grating efficiency change by (S: S) polarization state of recording beam with exposure time

그림 6은 동일선형편광상태를 이용하여 홀로그래픽 격자를 형성하는 방법으로 두 기록 빔이 (P: P) 편광상태일 때 시간에 따른 회절효율을 측정된 결과이다. 약 300 sec 부근부터 회절효율은 급격히 증가하여 2000 sec 이후에는 최대 포화되는 것을 관찰할 수 있다. 1st order의 세기에 의해 구해진 최대 회절효율은 약 2.4 %였다. (P: P) 편광 상태 기록의 경우에는 다른 동일편광상태를 이용하여 형성한 홀로그래픽 격자에서 보였던 포화 후 감소현상은 두드러지게 일어나지 않았고 약간의 감소를 보인 후 일정하게 포화되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 다른 동일편광상태를 이용한

홀로그래픽 격자형성과는 달리 두 기록 빔의 간섭영역에서 공간변화뿐만 아니라 편광상태의 변화가 일어나는 것으로 판단된다 [11-12].

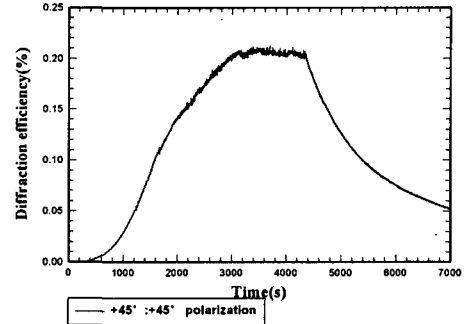


그림 4 (+45°: +45°) 편광상태의 기록 빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화

Fig. 4 Diffraction grating efficiency change by (+45°: +45°) polarization state of recording beam with exposure time

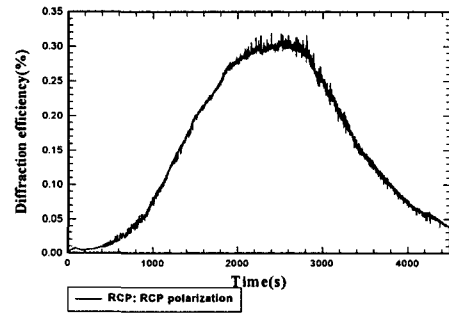


그림 5 (RCP: RCP) 편광상태의 기록 빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화

Fig. 5 Diffraction grating efficiency change by (RCP: RCP) polarization state of recording beam with exposure time

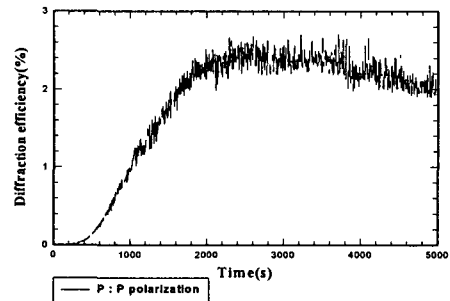


그림 6 (P: P) 편광상태의 기록빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화

Fig. 6 Diffraction grating efficiency change by (P: P) polarization state of recording beam with exposure time

그림 7은 홀로그래픽 격자형성을 위하여 사용되는 두 입사 빔의 편광상태를 서로 수직하게 하여 격자를 형성하는 방법으로 (S:P) 편광상태일 때의 회절효율변화를 측정한 그래프이다. 동일편광상태를 이용한 홀로그래피와는 달리 격자형성이 초기부터 일어나는 것을 볼 수 있으며 회절효율이 포화되는 시점도 2000 sec로 빠르게 일어나는 것을 볼 수 있다. 또한 대부분의 동일편광상태의 기록 빔을 이용한 홀로그래피에서 나타나는 회절효율이 포화 후 감소 현상은 일어나지 않고 일정하게 포화되는 것을 알 수 있다. 그러나 이 경우 최대회절효율은 0.063 %로 낮은 값을 나타내었는데 이것은 두 입사 빔의 간섭이 필립프형 홀로그래픽 격자를 형성하기보다는 주로 편광상태에 의한 영향으로 판단된다.

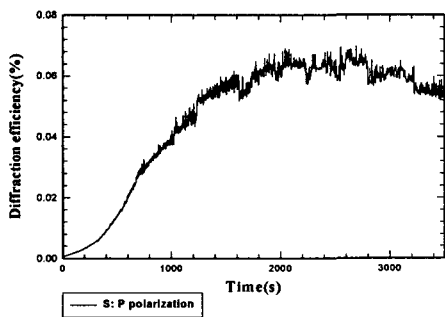


그림 7 (S: P) 편광상태의 기록 빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화
 Fig. 7 Diffraction grating efficiency change by (S: P) polarization state of recording beam with exposure time

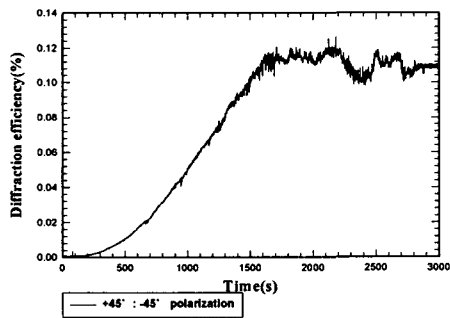


그림 8 (+45°: -45°) 편광상태의 기록빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화
 Fig. 8 Diffraction grating efficiency change by (+45°: -45°) polarization state of recording beam with exposure time

그림 8은 두 기록 빔의 편광상태가 (+45°: -45°)일 때의 측정된 회절효율을 보여주며 그림 9는 두 기록 빔이 오른쪽으로 회전하는 원형편광(RCP)과 왼쪽으로 회전하는 원형편광(LCP)일 때의 회절효율을 측정한 결과이다. 이 경우에서도 기록 빔이 (S: P)편광상태일 때와 같이 격자가 형성되면서 회절효율의 증가를 보였으며 일정한 포화기간 후 효율효율의 지속적 감소현상은 나타나지 않았다. 두 경우 모두 포

화시간은 1500 sec 정도였으며 최대회절효율은 각각 (+45°: -45°)의 경우는 0.12 %, (RCP: LCP)의 경우는 0.16 %를 나타냈다. 기록 빔의 편광상태를 서로 수직하게 하여 홀로그래픽 격자를 형성하는 경우 효율효율의 일정한 포화기간 후 지속적 감소현상은 나타나지 않았으나 최대회절 효율 값은 동일한 편광상태를 이용하여 얻어진 값보다 낮게 나타났다. 이것은 명확하게 규명되지는 않았으나 광 에너지에 의한 광 팽창효과보다 편광상태의 변조에 의한 결과로 예상된다.

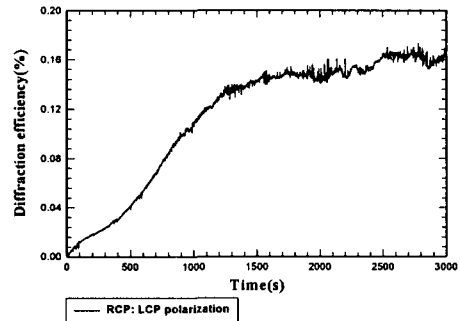
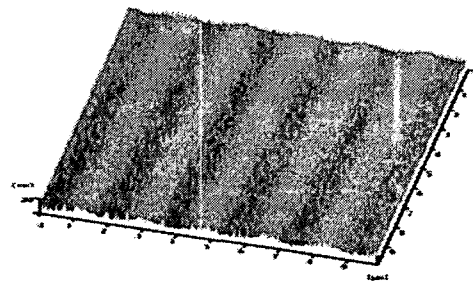
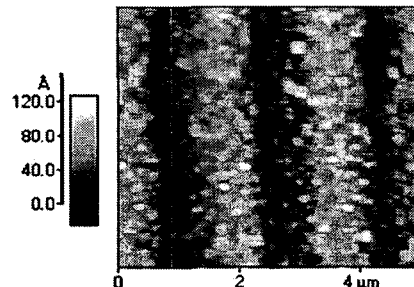


그림 9 (RCP: LCP) 편광상태의 기록 빔에 의한 시간에 따른 회절 효율변화
 Fig. 9 Diffraction grating efficiency change by (RCP: LCP) polarization state of recording beam with exposure time



(a) whole surface grating patterns



(b) more detail grating patterns

그림 10 (P: P) 편광상태의 기록 빔에 의해 형성된 격자의 AFM 사진
 Fig. 10 AFM surface topography of the diffraction grating by (P: P) polarization recording beam

그림 10은 본 논문에서 최대회절효율을 나타내는 (P: P) 편광상태 기록 빔에 의해 형성된 격자의 AFM 사진을 나타낸 것이다. 두 기록 빔 간의 각 2θ 가 20° 일 때 아래의 식 (4)과 근사한 값과 일치하는 약 $1.8 \mu\text{m}$ 정도의 회절격자의 주기가 형성되었음을 알 수 있다.

$$\Lambda \approx \lambda / 2 \sin(\theta) \quad (4)$$

그림 10(a)은 박막표면에 나타난 간섭패턴에 의한 격자형성을 전체적으로 보여주며 그림 10(b)은 간섭패턴에 의해 형성된 회절격자의 영상을 자세히 보여주고 있다. 이상의 결과에서 기록 빔의 편광상태를 조절함에 따라 회절격자를 표면에 생성시키는 릴리프형 격자를 생성시키거나 3D 영상을 기록시키는 체적형 홀로그래프에 응용할 수 있으며 약 $1 \mu\text{m}$ 의 두께의 칼코게나이드 박막으로 박막형 정보저장매질 및 광소자등에서의 응용가능성을 알아볼 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 우수한 광유기 이방성(PA) 성질을 나타내는 비정질 칼코게나이드 $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$ 박막에서 각각 다른 편광상태를 가진 기록 빔의 간섭을 이용하여 홀로그래픽 회절격자를 형성하고 회절효율특성에 대하여 고찰하였다. 기록 빔의 편광상태에 따라 형성한 홀로그래픽 격자와 회절효율과의 관계는 기록 빔의 편광상태를 서로 수직하게 유지하여 격자를 형성하는 것보다 동일한 편광상태를 갖는 기록 빔으로 홀로그래픽 격자를 형성하였을 때 더 큰 회절효율을 얻을 수 있었다. 최대회절효율은 동일선형편광상태 (P: P)를 갖는 기록 빔에 의해서 형성된 격자에 얻을 수 있었으며 2.4 %의 최대효율을 보였다. 최대효율을 얻는 시간은 동일 편광을 사용한 경우보다 서로 수직한 편광상태를 갖는 기록 빔이 빠르게 나타났는데 이것은 광 팽창효과에 의한 구조적 변화보다는 내부 결합 쌍들의 재배치에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다. 그러나 동일편광상태를 갖는 경우에 회절효율이 크게 나타나는 것은 박막내의 결합쌍들의 재배치보다 광 에너지에 의한 구조적변화가 지배적이라는 것을 알 수 있다. 이상의 결과로 볼 때 As-Ge-Se-S 박막에서 편광 홀로그래픽 격자의 형성은 기록 빔의 편광상태에 따라 다른 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었고, 기록 빔의 편광상태 변조에 의한 영향보다 광 팽창효과에 의한 구조적 변화가 좀 더 지배적이라는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서 최대효율은 얻기 위한 최적기록방법은 (P: P)의 동일선형편광상태를 이용한 기록조건이다. 비정질 칼코게나이드 박막이 박막형 저장매체로써 이용될 수 있는 가능성을 보여주었으며, 현재 낮은 회절효율을 dopant 등을 사용하여 개선할 경우, 대용량 저장매질 및 광소자로서 응용이 가능할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] H. Fritzsche, "The origin of photo-induced anisotropic structures in chalcogenide glasses" J. Non-Cryst. Solids, pp, 164-166, 1169, 1993
- [2] F. L. Pedrotti, S. J. Lend S. Pedrotti, 'Introduction to Optics'. Prentice Hall, 2nd, pp. 274 & pp.411-423, 1984
- [3] P. Hariharan, 'Optical Holography'. Cambridge Univ. Press, pp. 162-164, 1984
- [4] T. Todorov, L. Nikolova and N. Tomova, "A new high-efficiency organic material with reversible photoinduced birefringence" Appl. Opt. Vol. 23, pp. 4309-4312, 1984
- [5] T. Todorov, N. Tomova and L. Nikolova, "High sensitivity material with reversible photoinduced anisotropy" Opt. Commun, Vol. 47, pp. 123-127, 1983
- [6] 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, pp. 3835-3840, 1996
- [7] X. L. Jiang, L. Li, J. Kumar, "Polarization dependent recordings of surface relief gratings on azobenzene containing polymer films" Appl. Phys. Lett, 68(19), pp. 2618-2620, 1996
- [8] N. K. Viswanathan, S. Balasubramanian, L. Li, S. K. Tripathy, J. Kumar, "A detail investigation of the polarization dependent surface relief grating formation process on azo polymer films" Jpn. J. Appl. Phy Vol. 38, pp. 5928-5937, 1999
- [9] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park, H. Y. Lee, 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
- [10] H. B. Chung H. Y. Lee, S. H. Park, and J. Y. Chun, "Structural and optical properties of obliquely deposited amorphous $\text{As}_{40}\text{Ge}_{10}\text{Se}_{15}\text{S}_{35}$ thin films as an anisotropic materials", ICEE'98, Vol. 2, pp. 927-930, 1998
- [11] H. B. Chung, H. Y. Lee, J. Y. Chun, 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, pp. 485-491, 2000
- [12] P. G. Verly and J. A. Dobrowolski, "Iterative correction process for optical thin film synthesis with the Fourier transform method", Appl. Opt. Vol. 24, pp. 457-460, 1990

저 자 소 개



박정일 (朴正一)

1968년 3월 16일생. 1993년 광운대 전자재료공학과 졸업. 1995년~1999년 (주)씨티아이 반도체 근무. 2003년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(공학). 2003년~현재 광운대 3DRC 연구센터 연구전담 교수.

Tel : 02-940-5520

Fax : 02-941-5523

E-mail : jipark@daisy.kw.ac.kr



정홍배 (鄭鴻倍)

1951년 1월 19일생. 1973년 연세대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학) 1978년~현재 광운대 전자재료공학과 교수.

Tel : 02-940-5165

Fax : 02-943-3590

E-mail : hbchung@kw.ac.kr