

DPSS Laser에 의한 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$, $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 와 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 홀로그래픽 데이터 격자형성

Holographic Data Grating Formation of $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ Single Layer, $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ Double Layer and $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ Multi-layer Thin Films with the DPSS Laser

구용운¹, 정홍배^{1,a}

(Long-Yun Ju¹ and Hong-Bay Chung^{1,a})

Abstract

We investigated the diffraction grating efficiency by the Diode Pumped Solid State(DPSS 532 nm) laser beam wavelength to improve the diffraction efficiency on $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$, $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ and $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film. Diffraction efficiency was obtained from DPSS laser, used (P:P)polarized laser beam on each thin films. As a result, for the laser beam intensity in 0.24 mW/cm^2 , single $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film shows the highest value of 0.161 % diffraction efficiency at 300 s and for laser beam intensity in 2.4 mW/cm^2 , it was recorded with the fastest speed of 50 s(0.013 %), which the diffraction grating forming speed is faster than that of 0.24 mW/cm^2 beam. $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ double layer and $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ multi-layered thin film also show the faster grating forming speed at 2.4 mW/cm^2 and higher value of diffraction efficiency at 0.24 mW/cm^2 .

Key Words : DPSS laser, AsGeSeS, (P:P)polarized, Diffraction efficiency AsGeSeS/Ag/AsGeSeS

1. 서론

최근 전자정보 통신 산업, 멀티미디어, 나노테크놀로지 기술의 급속한 발전이 이루어져 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 기술 중의 하나가 홀로그래픽 정보저장(holographic information storage) 기술이다. 이러한 홀로그래픽 방법은 광 저장뿐만 아니라 3D 디스플레이 분야에

서의 응용으로도 각광을 받고 있는 방법이며, van Heerden에 의해 제안된 홀로그래픽 메모리는 몇 세기 동안 많은 관심이 집중되었다. 이는 높은 저장 밀도와 병렬 액세스(parallel access), 그리고 빠른 속도를 가지고 있어 정보저장기술 분야에서 매력적이며[1] 현재 사용되고 있는 CD나 DVD보다 높은 저장밀도와 고속 데이터 판독 기능이 가능하여 기존의 정보저장 방법의 한계를 해결할 것으로 생각되어 새로운 홀로그래픽 기록 재료의 개발이 필요하게 되었다.

1972년 Ohmachi[2] 등이 As-S-Se 계 비정질 칼코게나이드 재료를 이용하여 굴절을 변화를 이용한 고용량 정보 저장 매질로의 이용가능성을 보고한 후, Toyoshima[3] 등은 As-Se-Ge 계 박막에서 광학적 성질의 가역 변화를 연구하여 소거 가능한 광 기록 매질로의 응용 가능성을 제시하였다.

1. 광운대학교 전자재료공학과

(서울시 노원구 월계동 447-1)

a. Corresponding Author : hbchung@kw.ac.kr

접수일자 : 2006. 12. 29

1차 심사 : 2007. 2. 12

심사완료 : 2007. 2. 23

또한 Zembutsu, Nagai[4,5]등은 (Se, S)를 기본으로 As-Se-Ge-S 물질에서 광 조사에 의한 비정질-비정질 상변화 내에서 가역적 굴절률 변화를 이용한 홀로그래픽 기록 등의 응용 가능성을 보고하였다. 최근에는 칼코게나이드 박막이 홀로그래픽 데이터 시스템에 직접 응용되기 위해 필요한 높은 회절효율(high diffraction efficiency), 높은 광 감도(high photo-sensitivity), 우수한 광 품질(high photo-resolution)에 대한 연구에 대해 많은 관심이 집중되고 있다. 이러한 칼코게나이드 박막은 laser의 파장과 빛의 세기에 따라 서로 다른 회절효율 특성을 나타낸다[6]. J. Teteris,[7]의 실험에서 볼 수 있듯이 Ar⁺ laser는 He-Ne laser 보다 우수한 광 회절효율과 빠른 격자형성 시간을 갖는다.

본 연구에서는 높은 회절효율과 안정성, 우수한 광유기 이방성을 갖는 As-Ge-Se-S계 비정질 칼코게나이드 박막을 기본으로 기록 빛의 세기에 따른 효율을 측정하기 위하여 기존의 He-Ne laser의 느린 격자형성 시간을[8] 보완하기 위하여 Diode Pumped Solid State(DPSS, 532.0 nm) laser[9]를 이용하여 홀로그래픽 회절격자를 형성시켜 광회절효율에 대하여 관찰하고자 한다. 또한 회절효율을 높이기 위하여 Ag층을 형성시킨 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 이중층 박막과 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅/ Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 다층박막을 제작하여 (P:P) 편광상태의 기록 빔을 이용하여 홀로그래픽 격자를 형성함으로써 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 단일박막과의 비교를 통하여 박막 형 대응량 광 기록 저장매질로서의 응용성을 찾고자 한다.

2. 실험

2.1 Sample 제작

본 연구에 사용된 비정질 칼코게나이드 박막은 As₄₀Ge₁₀Se_{50-x}S_x (x= 0, 25, 35 at.%) 중 최대 가역적 광구조적 변화 (reversible photo-structural transformation)를 갖는 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅의 박막을 선택하였다. As-Ge-Se-S계 비정질 벌크는 진공 봉입하여 전기로에서 200 °C에서 2시간, 600 °C에서 2시간 이상을 유지시켜서 각각의 원소들을 충분히 반응시킨 후 서서히 온도를 상승시켜 870 °C 부근에서 25시간 이상 용융상태를 유지하였으며 각 원소들의 균일한 혼합을 위해 1시간 간격으로 섞어주었다. 비정질 상을 얻기 위해 반응이 완료된 석영관을 water quenching방법을 사용하여 제작하였다[10]. 박막제작은 열진공증착기를 이용하여 약 2×10⁻⁶ Torr의 진공도에서 박막을 제작하였다. 박막

의 증착 속도는 ~1.2 Å/sec로 증착하였으며, As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막은 1 μm의 두께를 갖도록 제작하였다. 광 도핑 재료로 사용되는 순도 99.999%의 Ag를 약 2×10⁻⁶ Torr에서 같은 방법으로 두께가 약 60 nm가 되도록 제작하였다. 다층박막은 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막을 각각 0.5 μm, Ag를 60 nm로 하여 샌드위치 구조로 제작하였다. 박막의 두께는 결정감지기를 이용한 실시간 두께 측정기를 사용하여 증착과 동시에 측정 한 후, 박막 특성 분석기 (n&k thin film analyzer ; NKT 1200)를 이용하여 확인하였다. 그림 1은 홀로그래픽 격자형성을 위한 구조도이다.

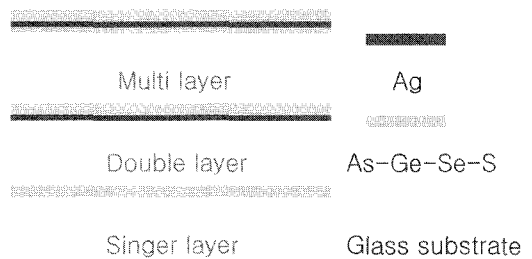


그림 1. 홀로그래픽 격자를 형성하기 위한 구조도.
Fig. 1. Schematic view of sample structure.

2.2 홀로그래픽 격자 형성

그림 2는 홀로그래픽 격자 형성을 위한 장치도를 나타내고 있다. 실험에는 Diode Pumped Solid State (DPSS, 532.0 nm; 200 mW/cm²) laser를 사용하였다. 빔은 Beam splitter(BS)를 지나 두 개의 기록 빔으로 나누어지고, mirror로부터 반사된 두 개의 빔은 각각의 beam polarizer를 사용하여 (P:P)편광을 만들어 박막에 기준파와 신호파의 간섭패턴을 기록하고 격자 형성에 따른 1차 회절빔의 세기(1st-order)를 광 전력미터 (Universal optical power meter)로 실시간 측정하고 RS232 케이블을 이용하여 데이터를 컴퓨터에 저장 한 후 굴절률의 공간 변조를 확인하였다. 홀로그래픽에서의 격자형성에 의한 회절효율(diffraction efficiency:η)은 아래의 식으로 나타내었다.

$$\eta = \frac{I_{1st-order}}{I_{input}} \times 100 \%$$

두 기록 빔 사이의 각 2θ는 20°로 하였고 Laser 빔의 세기는 각각 2.4 mW/cm², 1 mW/cm², 0.5 mW/cm², 0.24 mW/cm²로 하여 서로 다른 빔의 세기에 의한 회절효율 특성을 관찰하였다.

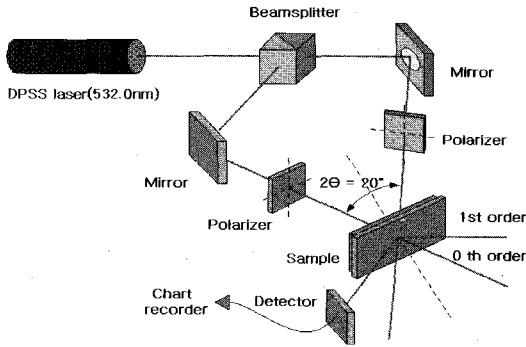


그림 2. 홀로그래픽 격자 형성을 위한 장치도.
Fig. 2. Schematic diagram for formation of the holographic grating.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 본 실험에서 사용한 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 광 에너지에 따른 광분해율의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 DPSS laser의 광 에너지는 2.34 eV로서 He-Ne laser의 1.96 eV 보다 높으므로 그에 따른 박막에서의 광분해율도 He-Ne laser 보다 DPSS laser의 경우가 크며 이에 따라 박막에서의 격자형성시 빠르게 형성될 것으로 판단된다.

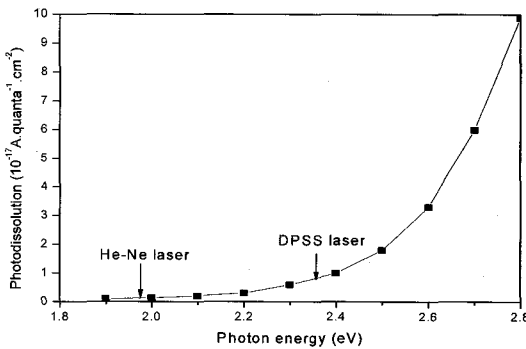


그림 3. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 광 에너지에 따른 광 분해율변화.
Fig. 3. Photo dissolution rate change with the photon energy on $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film.

그림 4 는 photon energy에 따른 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막과 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 그리고 순수한 Ag 박

막에 대한 흡수계수를 표시한 그림이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일박막보다 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 이중층박막이 더 많은 에너지 흡수를 보여주었다. 이는 Ag 도핑으로 인하여 박막내부에서의 VAPs의 증가로 흡수계수가 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일박막보다 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 이중층박막이 더욱 커진 것으로 판단된다[9].

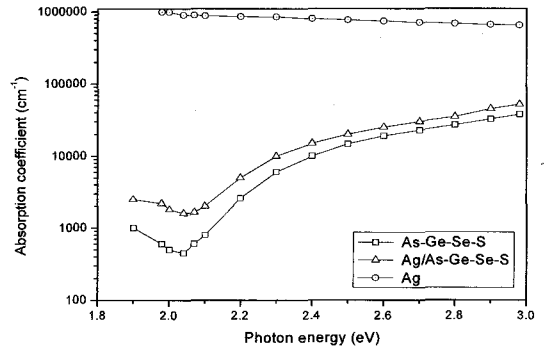


그림 4. Photon energy 에 따른 흡수계수변화.
Fig. 4. Absorption coefficient change with the photon energy.

그림 5는 Diode Pumped Solid State(DPSS, 532.0 nm) laser를 이용하여 두 기록 빔을 (P:P) 편광 상태로 입사시키면서 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일박막에 각각 2.4 mW/cm², 1 mW/cm², 0.5 mW/cm², 0.24 mW/cm²의 입사광의 세기로 회절격자를 형성한 그래프다. 입사광의 세기가 0.24 mW/cm² 인 경우, 홀로그래픽 회절격자 형성 시 0.168 % (300 sec)의 최대회절효율 값을 보였으며 반면 2.4 mW/cm²로 회절격자형성시에는 빠른 회절격자 형성시간 50 sec(0.0128 %)을 보였다. 1 mW/cm²로 회절격자 형성 시에는 0.084 % (100 sec)의 회절효율을 보였고 0.5 mW/cm²로 회절격자 형성 시에는 0.146 % (200 sec)정도의 회절효율을 나타냈다. 위의 결과로 볼 때 회절효율은 입사광의 세기가 크면 격자형성시간은 빠르게 진행되지만 형성된 후 입사광에 따라 형성된 격자가 다시 붕괴되는 과정을 거쳐 형성된 회절효율은 적게 나타나는 것으로 판단된다. 즉 1 mW/cm² 이상의 입사광의 세기에서는 최대회절효율을 보이다가 형성된 격자가 다시 붕괴되어 효율이 낮아지는 관계를 알 수 있다.

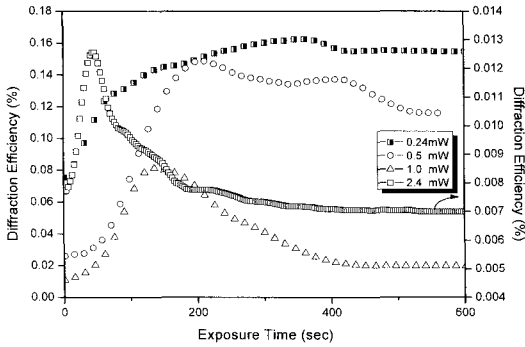


그림 5. 입사광의 세기에 따른 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서의 회절효율.

Fig. 5. Diffraction efficiency according to exposure time with the incident beam intensity on $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film.

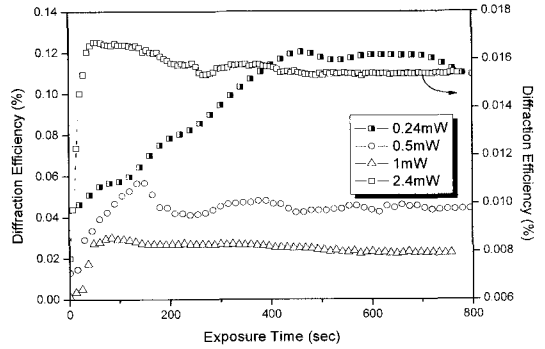


그림 7. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서의 회절효율.

Fig. 7. Diffraction efficiency according to the exposure time with the incident beam intensity on $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film.

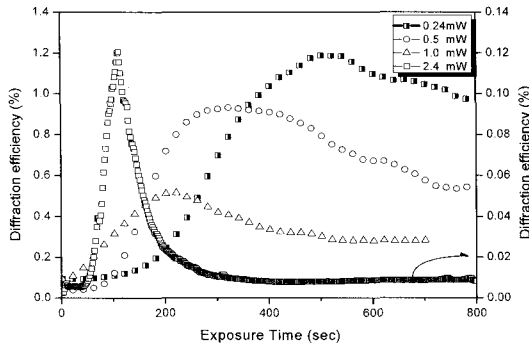


그림 6. $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서의 회절효율.

Fig. 6. Diffraction efficiency according to exposure time with the incident beam intensity on $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film.

그림 6은 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 이중층 박막에서의 홀로그래픽 회절격자 형성 그래프이다. 0.24 mW/cm^2 의 입사광의 세기로 회절격자 형성 시 최대 회절효율 1.21 % (510s)를 보였으며, 빠른 회절격자 형성 시간은 2.4 mW/cm^2 일 때 75 sec (0.125 %)를 보였으며, 1 mW/cm^2 의 세기로 회절격자 형성 시에는 0.55 % (200 sec)의 회절효율을 보였고, 0.5 mW/cm^2 로 회절격자 형성 시에는 0.9 % (300 sec) 정도의 회절효율을 보였다. Ag을 도핑 한 박막에서 단일박막에서 보다 높은 회절효율을 나타낸 것은 Ag가 도핑으로 인하여 광조사시 Ag이온이 박막내로 침투하여 VAPs의 증가를 초래하여, 그에 따른 흡수계수의 증가로 인하여 회절효율의 상승을 초래하게 된다고 판단된다[10].

그림 7은 새로운 구조인 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 다층박막에서의 홀로그래픽 격자를 형성한 그래프이다. 이러한 구조는 Ag층을 칼코게나이드 박막 사이에 끼워 넣은 구조로 광 조사에 따라 Ag층에서 발생하는 Ag이온을 칼코게나이드 박막 층으로 모두 도핑시켜 격자형성시 회절효율의 증진을 위하여 본인 등이 제안한 구조이다. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 다층박막의 경우 역시 0.24 mW/cm^2 로 회절격자를 형성하였을 때 최대 회절효율 0.125 % (480s)를 나타냈으며 0.5 mW/cm^2 로 회절격자 형성 시에는 0.06 % (160s)를 나타냈고 1 mW/cm^2 로 회절격자 형성 시에는 0.034 % (120s) 정도의 회절효율을 보였다. 또한 2.4 mW/cm^2 로 회절격자 형성 시에는 보다 빠른 회절격자 형성 시간 70s (0.0165 %)를 나타냈다.

$As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 다층 박막으로 회절격자 형성 시, $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일박막과 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 이중층 박막에서의 회절효율 변화 특성과 달리 회절격자 형성 후 회절효율이 유지되는 특징을 보여주었다.

4. 결론

본 실험에서는 DPSS (Diode Pumped Solid State) laser를 사용하여 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일박막과 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 이중층박막 그리고 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}/Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 다층박막에서의 회절효율 특성

을 살펴보았다. 입사광의 세기가 다를 때 효율이 현저하게 달랐으며 구조가 다를 때에도 서로 다른 특성을 나타 내었다, 구조형태에 따라 비교하였을 때 효율 면에서는 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 이중층박막에서 가장 높은 회절효율 (1.21 %) 나타났으며 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅/Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 다층박막에서는 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 단일박막, Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 이중층박막과 달리 회절격자가 형성된 회절효율이 유지되는 특성을 보여주었다. 빔의 세기에 따라 또 서로 다른 특징을 나타냈다. 입사광의 세기가 2.4 mW/cm²인 경우 보다 빠른 격자형성시간 50s을 보여준 반면 0.24 mW/cm² 일 때에는 보다 큰 회절효율 1.21 %를 나타냈다. 이러한 결과는 He-Ne laser의 회절효율 특성실험의 결과[6,11]와 유사한 회절효율 특성변화를 나타냈으며 DPSS laser의 경우 더욱 빠른 회절격자 형성시간과 동등한 회절효율 변화를 얻을 수 있었다. 그러므로 DPSS laser로 회절격자형성 시, 빔의 세기가 클수록 격자형성 시간이 빠르고, 빔의 세기가 낮을수록 높은 회절효율을 얻을 수 있으며 유지시간도 길어진다는 것을 알 수 있다. DPSS laser의 빠른 격자형성 시간과 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅/Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 다층박막에서의 효율유지특성과 DPSS laser의 빠른 격자형성 시간은 홀로그래픽 정보저장기술에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

This research was supported by the MIC(Ministry of Information and Communication), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the IITA(Institute of Information Technology Assessment)(IITA-2005-C1090-0502-0038).

참고 문헌

[1] S. J. Zilker, T. Bieringer, D. Haarer, R. S. Stein, J. W. van Egmond, and S. G. Kostromine, "Holographic data storage in amorphous polymers", *Adv. Mater.*, Vol. 10, No. 11, p. 855, 1998.
 [2] Y. Ohmachi and T. Igo, "Laser-induced refractive-index change in As-S-Se glasses", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 20, No. 12, p. 506, 1972.

[3] T. Igo and Y. Toyoshima, "A reversible optical change in the As-Se-Glasses", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 11, p. 117, 1972.
 [4] Y. Utsugi and S. Zembutsu, "Diffraction efficiency of relief-type gratings in amorphous chalcogenide films", *Optics Communications*, Vol. 17, No. 1, p. 28, 1976.
 [5] T. V. Galstyan and M. A. Duguay, "Photoinduced self-developing relief grating in thin film chalcogenide As₂S₃ glasses", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 15, No. 8, p. 1343, 1997.
 [6] S. J. Jang, J. H. Park, C. H. Shon, and H. B. Chung, "Polarization recording and reconstruction in the chalcogenide As-Ge-Se-S thin films", *J. of the Kor. Inst. Electrical & Material Eng.*, Vol. 13, No. 9, p. 781, 2000.
 [7] J. Teteris and M. Reinfeldt, "Holographic recording in amorphous chalcogenide semiconductor thin films", *Journal of Non-crystalline Solids*, Vol. 326&327, p. 494, 2003.
 [8] 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 KIEEME(in Korean)*, Vol. 13, No. 6, p. 533, 2000.
 [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 KIEEME(in Korean)*, Vol. 11, No. 9, p. 746, 1998.
 [10] J. H. Park, J. I. Park, E. S. Kim, and H. B. Chung, "Holographic grating formation by wet etching of amorphous As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ thin film", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 41, p. 4271, 2002.
 [11] 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.