

Ag의 두께에 따른 비정질 As-Ge-Se-S의 홀로그래픽 특성연구

김충혁^{1,a}

¹ 광운대학교 교양학부

Holographic Properties in Amorphous As-Ge-Se-S with Ag Thickness

Chung-Hyeok Kim^{1,a}

¹ Department of Culture, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

(Received February 8, 2012; Revised February 13, 2012; Accepted February 17, 2012)

Abstract: In this study, we have investigated the holographic grating formation on Ag-doped amorphous As-Ge-Se-S thin films. The dependence of diffraction efficiency as a function of Ag layer thickness has been investigated in this amorphous chalcogenide films. Holographic gratings were formed using [P:P] polarized Diode Pumped Solid State laser (DPSS, 532.0 nm). The diffraction efficiency was obtained by +1st order intensity. The results were shown that the diffraction efficiency of Ag/AsGeSeS double layer thin films for the Ag thickness, the maximum grating diffraction efficiency using 60 nm Ag layer is 0.96%.

Keywords: Chalcogenide, AsGeSeS, DPSS laser, Diffraction efficiency

1. 서론

21세기는 전 세계가 네트워크로 연결되는 인터넷 혁명시대로 부각되고 있다. 특히, 정보통신분야의 급격한 발달과 새로운 멀티미디어 정보 환경은 광대한 양의 정보의 흐름을 위해 정보 저장매체의 초대용량화, 초고속화, 초소형화를 요구하고 있으며, 정보의 차세대 저장수단을 필요로 하고 있다.

정보 저장장치의 저장 용량 면에서 보면, 정보통신 서비스 시스템의 진화에 따라 초고속통신이 가능해지고 정보 유통량이 기하급수적으로 증가하면서 개인이 취급하는 정보량도 엄청나게 증가되고 있다. 이러한 21세기 고도 정보화 사회에서 막대한 양의 정보를 저

장하고 처리하기 위해서는 현재의 기술적 한계를 극복할 새로운 차원의 차세대 초대용량 정보 저장장치에 대한 필요성이 절실히 요구된다. 이러한 정보저장 장치의 거시적인 요구 환경 변화에 대한 대응책으로 최근 큰 주목을 받고 연구되고 있는 기술이 홀로그래픽 데이터 저장방법 (holographic data storage, HDS)이다.

홀로그래픽 기술은 1947년 영국 물리학자 D. Gabor가 전자현미경의 분해능을 향상시키기 위한 목적으로 처음 시작되었다. 그러나 그 당시는 기록 pattern을 형성하기 위한 간섭성이 좋은 광원이 개발되지 않은 상태였으며, 1960년 간섭성이 좋은 레이저의 개발로 비로소 홀로그래픽 기술이 시작되었다고 볼 수 있다. 1962년 Polaroid사의 Heerden은 홀로그래픽 기술을 정보 저장 기술로 이용하기를 제안하였으

나 기록 매질 및 기록 시스템을 구성하는 주요부품인 SLM (spatial light modulator), CCD (charge-coupled device)의 기술 부족으로 실제적 홀로그래픽 기록 시스템 구현이 어려웠다. 그러나 1990년 광감도가 좋은 광 폴리머 계열의 기록 매질이 개발됨으로써 정보 저장에 대한 홀로그래픽 기술의 응용에 대한 연구가 활발히 이루어지게 되었다. 홀로그래픽 기술은 기준빔과 신호빔 간의 간섭무늬를 감광재료에 기록 후 기준빔을 통하여 기록된 신호빔의 간섭무늬 정보를 재생하는 기술이다. 이러한 기술은 2차원이나 3차원의 이미지를 기록 재생할 수 있을 뿐만 아니라 기록 매질에 2차원 및 3차원 공간에 정보를 기록할 수 있다. 또한 정보 기록 시 비트 단위뿐만 아니라 SLM을 사용하여 페이지 단위로 기록 재생이 가능하므로 데이터의 병렬 처리가 가능하여 데이터의 빠른 전달율 (1 Gbit/s) 및 접근 속도 (<1 ms)를 얻을 수 있으며, 입사각 다중화법이나 깊이 방향의 다중 기록방법 등을 통하여 대용량 (1 Tbit/cm³)의 정보를 저장할 수 있다. 이러한 홀로그래픽 기술은 홀로그래픽 데이터 기록 시스템의 실현을 위해 새로운 광기록 매질의 개발이 선행되어야 했으며, 현재 결정계인 리튬니오베이트와 광 폴리머의 개발로 많은 진전을 보았다. 그러나 결정계는 고가의 제작비용과 기록 후 정보의 휘발성 문제, 광 폴리머의 경우는 기록 후 체적 변화에 대한 브래그 각 변화, 스핀 코팅에 의한 표면의 불균일성에 기인한 광 품질의 저하 및 기록 후 데이터의 변형 등이 문제점으로 지적되어 이러한 문제 해결을 위해 많은 연구자들이 개선의 노력을 진행하고 있다 [1].

1972년 Ohmachi 등이 As-S-Se계 비정질 칼코게나이드 재료를 이용하여 굴절률 변화를 이용한 고용량 정보 저장 매질로의 이용가능성을 보고한 후 [2], Toyoshima 등은 As-Se-Ge계 박막에서 광학적 성질의 가역 변화를 연구하여 소거 가능한 광기록 매질로의 응용 가능성을 제시하였다 [3]. 또한 Zembutsu, Nagai 등은 (Se, S)를 기본으로 As-Se-Ge-S 물질에서 광 조사에 의한 비정질-비정질상 변화 내에서 가역적 굴절률 변화를 이용한 홀로그래픽 기록 등의 응용 가능성을 보고하였다 [4,5]. 최근에는 칼코게나이드 박막이 홀로그래픽 데이터 시스템에 직접 응용되기 위해 필요한 높은 회절효율 (high diffraction efficiency), 높은 광감도 (high photo-sensitivity), 우수한 광품질 (high photo-resolution)에 대한 연구에 대해 많은 관심이 집중되고 있다.

향후 holographic storage와 같은 광기록 방식의 주요는 급격한 상승 곡선을 그릴 것으로 예측되며, holographic storage 방법의 특징인 대용량 데이터의 저장과 빠른 데이터 전달속도는 초고속 대용량 정보 전달 매체로 활용이 가능하여 국내 정보통신 산업의 경쟁력 제고 및 기반 기술 확보를 통한 국제 기술 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단된다 [6,7].

본 연구에서는 높은 회절효율과 안정성, 우수한 광유기 이방성을 갖는 As-Ge-Se-S계 비정질 칼코게나이드 박막을 기본으로 기록 빔의 세기에 따른 효율을 측정하기 위하여 기존의 He-Ne laser의 느린 격자형성 시간을 보완하기 위하여 diode pumped solid state (DPSS, 532.0 nm) laser를 이용하여 홀로그래픽 회절 격자를 형성시켜 광회절효율에 대하여 관찰하고자 한다 [8-12]. 또한 Ag층 두께에 의한 칼코게나이드 박막의 회절효율 특성을 확인하기 위하여 Ag층을 각각 20 nm, 40 nm, 60 nm 으로 제작하여 회절효율 특성을 관찰함으로써 박막형 대용량 광 기록 저장매질로서의 응용가능성을 찾고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 Sample 제작

본 연구에 사용된 비정질 칼코게나이드 박막은 As₄₀Ge₁₀Se_{50-x}S_x (x = 0, 25, 35 at.%) 중 최대 가역적 구조적 변화 (reversible photo-structural transformation)를 갖는 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅의 박막을 선택하였다 [11]. 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 960°C 부근에서 25시간 이상 용융상태를 유지하였으며 각 원소들의 균일한 혼합을 위해 1시간 간격으로 섞어주었다. 비정질 상을 얻기 위해 반응이 완료된 석영관을 melt quenching 방법을 사용하여 제작하였다 [10]. 박막은 e-beam evaporator system을 이용하여 약 2×10⁻⁶ Torr의 진공도에서 제작하였다. 박막의 증착 속도는 ~4 Å/sec로 하였으며, As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막은 2 μm의 두께를 갖도록 제작하였다.

광 도핑 재료로 사용되는 순도 5N (99.999%)의 Ag를 약 2×10⁻⁶ Torr에서 같은 방법으로 그림 1과 같이 두께를 각각 20nm, 40 nm, 60 nm가 되도록 제작하였다.



Fig. 1. Schematic of fabricated devices.

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, mirror로 부터 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 광전력미터 (universal optical power meter)로 실시간 측정하였다. 홀로그래픽에서의 격자 형성에 의한 회절효율 (diffraction efficiency:η)은 아래의 식 (1)로 나타내었다.

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

두 기록 빔 간의 각 2θ는 20°로 하였고 laser 빔의 세기는 각각 1 mW/cm², 0.5 mW/cm²로 하여 빔의 세기에 의한 회절효율 특성을 관찰하였다.

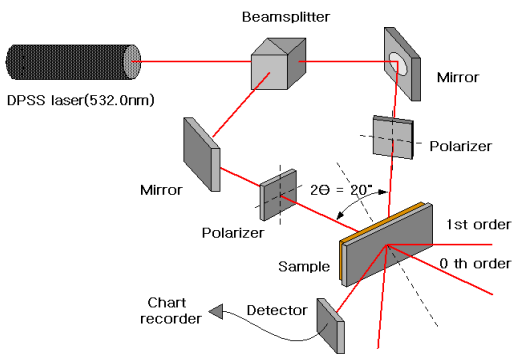


Fig. 2. Schematic diagram for formation of the holographic gratings.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 diode pumped solid state (DPSS, 532.0 nm) laser를 이용하여 두 기록 빔을 (P:P) 편광 상태로 입사시키면서 Ag가 20 nm 증착된 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에 기록빔의 세기를 각각 1 mW/cm², 0.5 mW/cm²로 회절격자를 형성한 그래프이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 Ag를 20 nm 증착한 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ (20 nm/2 μm) 박막은 1 mW/cm²의 빔의 세기로 회절격자 형성 시 120 sec 부근에서 약 0.09%의 회절효율을 나타냈고 0.5 mW/cm²의 빔의 세기로 회절격자형성 시에는 0.31%의 회절효율을 나타내었다.

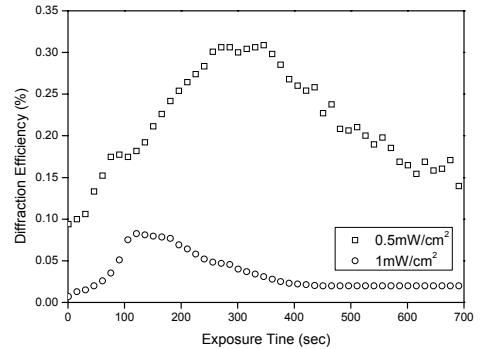


Fig. 3. Holographic diffraction efficiency with Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ (20 nm/2 μm) thin film.

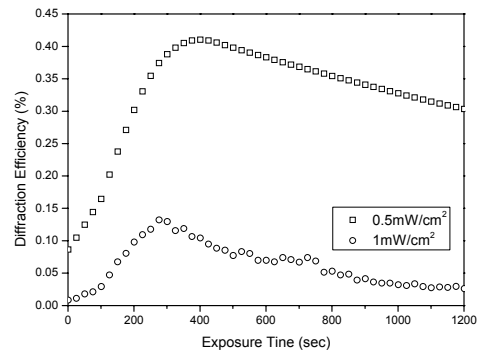


Fig. 4. Holographic diffraction efficiency with Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ (40 nm/2 μm) thin film.

그림 4는 Ag를 40 nm 증착한 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ (40 nm/2 μm) 박막에서 DPSS laser에 의한 회절효

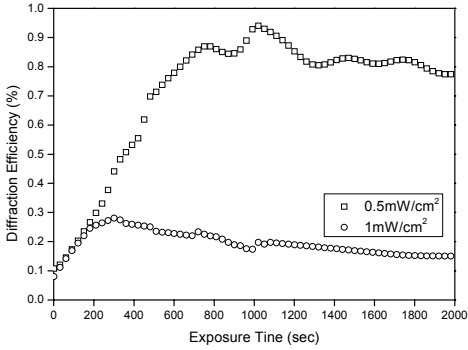


Fig. 5. Holographic diffraction efficiency with Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ (60 nm/2 μm) thin film.

율을 나타낸 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 1 mW/cm²의 빔의 세기로 회절격자 형성 시 300 sec부근에서 약 0.14%의 최대회절효율을 나타내고 있고, 0.5 mW/cm²의 빔의 세기로 회절격자형성 시에는 350 sec 부근에서 약 0.42%의 최대회절효율을 나타내고 있다.

그림 5는 Ag를 60 nm 증착한 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ (60 nm/2 μm) 박막에서의 DPSS laser에 의한 회절효율을 나타낸 그래프이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 1 mW/cm²의 빔의 세기로 회절격자 형성 시에는 300 sec부근에서 약 0.3%의 회절효율을 나타냈고, 0.5 mW/cm²의 빔의 세기로 회절격자형성 시에는 1,000 sec부근에서 0.96%의 회절효율을 나타냈다.

Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서 이뤄지는 Ag⁺ 이온의 광 도핑은 C₂⁰ → C₁⁺ + C₃⁻의 결합쌍 VAPs (valence alternation pairs)와 같은 defects를 증가시키며, p-편광된 입사빔의 방향성에 의해 격자가 형성되게 되고, 그에 따른 흡수계수의 증가로 회절격자의 회절효율이 변화된다.

Ag가 가장 두꺼운 60 nm인 경우에 가장 높은 회절효율이 나타났는데, 도핑되는 Ag⁺ 이온의 양이 상대적으로 많게 되어 VAPs가 원활히 형성되어 가장 높은 회절효율이 나타나도록 영향을 끼친 것으로 생각된다.

그림 6은 n&k analysis로 측정된 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막의 기본적인 광학적 파라미터들이다. 위의 결과로부터 He-Ne 레이저 (633 nm)와 DPSS 레이저 (532 nm)의 파장대를 비교해 보면, 투과율은 감소했

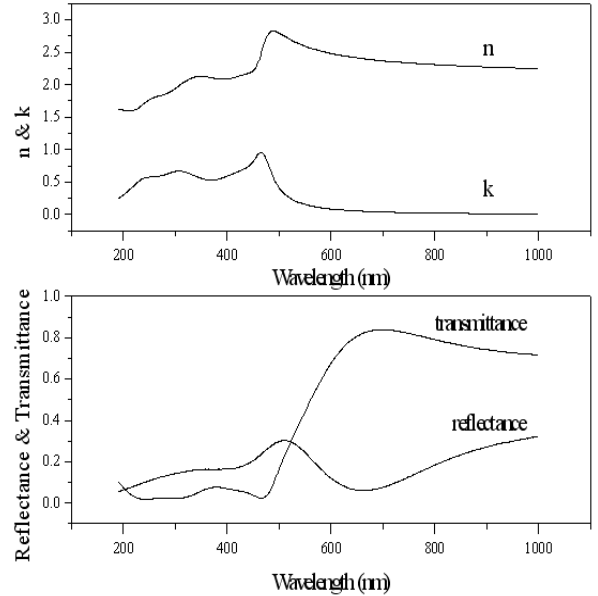


Fig. 6. Basic optical parameters of As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ thin film.

으나, 반사율과 굴절계수 (n), 흡수계수 (k)가 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 파장이 짧아질수록 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막 내부로 유기빔의 광에너지 전달이 잘된다고 볼 수 있으며, 박막 내부의 굴절 정도가 증가하여 원자 간 재배치가 보다 활발히 이뤄져 격자의 형성 시간이 단축된다고 생각할 수 있다.

또한, DPSS 레이저와 He-Ne 레이저의 광에너지는 2.34 eV, 1.96 eV로 DPSS 레이저가 높으며 [8], DPSS 레이저의 큰 광분해율로 인해 격자형성 시간이 보다 빠를 것으로 여겨진다. 그리고 본 논문과 유사한 조건으로 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에 He-Ne 레이저(633 nm)를 조사하였을 때의 격자형성시간은 3,000 ~8,000 sec로 본 실험의 결과가 매우 빠르다는 것을 비교해 볼 수 있다 [12].

모든 실험 결과에서 볼 수 있듯이 입사빔의 세기가 낮은 경우에 회절격자의 형성 시간이 더 오래걸리지만, 회절효율의 최댓값이 3배 이상 높은 것을 알 수 있다. 이는 입사빔의 세기가 낮을 때, 흡수율이 증가하는 사실과 연관이 있다 [13,14]. 투과율 또한 증가하지만 이보다 흡수율의 증가율이 더 커지게 되어 chalcogenide 박막 내부에 전달되는 전체 광에너지는 증가하게 된다. 이는 원자 간 결합에 영향을 미쳐 VAPs의 원활한 형성이나, 원자밀도가 조밀한 형태로 변형을 초래하기 때문으로 생각되어 진다.

4. 결 론

본 실험에서는 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서 DPSS 레이저의 빔의 세기와 Ag층 두께에 따른 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막의 회절효율 특성을 살펴보았다. 최대 회절효율은 Ag를 60 nm 도핑한 Ag/AsGeSeS 박막에서 약 0.96%를 나타냈으며 최소 회절격자 형성 시간은 Ag를 20 nm 도핑한 Ag/AsGeSeS 박막에서 120 sec이었다. 기록빔의 세기가 작은 경우에 회절효율이 가장 높았고, 이는 투과율의 감소를 상쇄시키고도 남은 흡수율의 증가로 설명할 수 있다 [13-15]. Ag층의 두께가 두꺼운 경우에 회절격자 형성 시간이 가장 적었고, 이는 광 도핑되는 Ag⁺ 이온양의 증가와 이로 인해 생성되는 결함의 증가 때문으로 유추해 볼 수 있다.

회절격자의 형성시간은 입사광의 세기를 매우 크게 증가시킴으로써 더욱 단축시키는 특별한 경우도 있으나 [8], 입사광의 세기와 노출 시간에 따른 에너지 공급량 면에서 비효율적이다.

회절효율의 측면에서는 낮은 에너지의 입사광이 필요하며, 20 nm나 40 nm 보다 두꺼운 60 nm의 Ag박막이라는 조건이 필요함을 확인할 수 있었으며, 격자 형성 시간의 측면에서는 높은 에너지의 입사광과 가장 얇은 20 nm의 Ag 박막에서 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서 파장이 보다 긴 He-Ne 레이저를 이용하였을 때 보다 DPSS 레이저를 이용하였을 때의 빠른 회절격자 형성시간은 대용량 저장매질과 홀로그래픽 정보저장 기술에 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

감사의 글

The present Research has been conducted by the Research Grant of Kwangwoon University in 2011.

REFERENCES

- [1] S. J. Zilker, T. Bieringer, D. Haarer, R. S. Stein, J. W. V. Egmond, and S. G. Kostromine, *Adv. Mater.*, **10**, 855 (1998).
- [2] Y. Ohmachi and T. Igo, *Appl. Phys. Lett.*, **20**, 506 (1972).
- [3] T. Todorov, L. Nikolova, and N. Tomova, *Appl. Opt.*, **23**, 4309 (1984).
- [4] Y. Utsugi and S. Zembutsu, *Opt. Commun.*, **17**, 28 (1976).
- [5] L. Nikolova, T. Todorov, M. Ivanov, F. Andruzzi, S. Hvilsted, and P. S. Ramanujam, *Appl. Opt.*, **35**, 3835 (1996).
- [6] P. Hariharan, "*Optical Holography*", Cambridge University Press, p. 162 (1984).
- [7] Tomas Wagner, Miloslav Frumar, *J. of Non-Cryst. Solids*, **128**, 197 (1991).
- [8] L. Y. Ju, H. B. Chung, *J. Kor. Inst. Electric. Electron. Mater. Eng.*, **20**, 240 (2007).
- [9] J. Y. Chun, S. H. Park, H. Y. Lee, and H. B. Chung, *J. Kor. Inst. Electric. Electron. Mater. Eng.*, **11**, 749 (1998).
- [10] C. H. Yeo, S. J. Jang, J. I. Park, H. Y. Lee, and H. B. Chung, *J. Kor. Inst. Electric. Electron. Mater. Eng.*, **12**, 1192 (1999).
- [11] Y. W. Koo, J. H. Kim, W. J. Cho, and H. B. Chong, *Microelectron. Eng.*, **84**, 1652 (2007).
- [12] J. T. Lee, C. H. Yeo, and H. B. Chong, *Trans. Electr. Electron. Mater.*, **5**, 34 (2004).
- [13] F. Smektala, C. Quemard, V. Couderc, and A. Barthélémy, *J. Non-Cryst. Solids*, **274**, 232 (2000).
- [14] K. Ogusu, J. Yamasaki, S. Maeda, M. Kitao, and M. Minakata, *Opt. Lett.*, **29**, 265 (2004).