

포토닉 크리스탈 응용을 위한 비정질 칼코게나이드 As-Ge-Se-S 박막의 특성연구

The Characteristic Study of Amorphous Chalcogenide As-Ge-Se-S Thin Film for Photonic Crystal Application

남기현¹, 구용운¹, 최 혁¹, 정홍배^{1,a}
(Ki-Hyun Nam¹, Long-Yun Ju¹, Hyuk Choi¹, and Hong-Bay Chung^{1,a})

Abstract

In this paper, we investigated the properties of chalcogenide glass thin films formed by photo-inducing for use in 1-dimensional photonic crystals. We used Ag-doped amorphous As-Ge-Se-S thin films which belongs in the chalcogenide materials having sensitive photoluminescence properties. The purpose of this experiment is to form the holographic lattice for 1-dimensional photonic crystals. The way in which photo-induce into the amorphous chalcogenide thin films is holographic lithography method. We confirmed the formation of diffraction lattice by sensing the existence of diffraction beam and measured the diffraction efficiency. The results suggest that there is an application possibility with photonic crystals.

Key Words : Photonic crystal, Chalcogenide, Optical band gap, Holographic lithography

1. 서 론

전자(electron)를 이용한 반도체 기술의 눈부신 발전은 하루가 다르게 인간의 삶을 바꿔놓고 있지만, 30 nm를 마지노선으로 하는 한계에 다다를 것으로 예상되고 있다. 뿐만 아니라 발열, 정보의 소실, 간섭 등 공정의 세밀화와 선폭의 미세화로 인해 발생하는 문제점들을 해결하기 위해 source로 사용되고 있는 전자를 대체할 매체로 광자(photon)가 새롭게 조명 받고 있다. 광자를 다루는 광결정(photonic crystals) 이론은 전자산업이 그랬던 것처럼 커다란 혁명을 이룰 것으로 기대되고 있다. 광결정 이론은 1987년 미국의 Eli Yablonovitch와 Sajeev John에 의해 처음 제안된 이후 많은 연구가 진행되고 있으며[1,2], 다양한 광소자의 성능 향

상과 새로운 광전자 소자의 개발 및 광집적회로 개발에 응용 될 것으로 기대되고 있다.

광결정은 물리적으로 결정질구조(crystalline structure)를 띠고 있진 않지만, 광학적으로 접근하면 마치 결정질과 같은 역할을 한다. 다파장 빛에서 특정 파장의 빛만을 반사시켜 차단시킬 수 있는데, 이는 특정 파장의 빛을 선택적으로 제어할 수 있다는 말과 일맥상통한다. 광결정은 구조적으로 굴절률이 서로 다른 유전적 특성을 가진 물질들이 주기적으로 반복된 형태로 구성되며, 반도체에서 전자가 존재하지 않는 대역인 전기적에너지 밴드갭(Electric Energy Band Gap)이 존재하는 것처럼, 특정 주파수 대역의 빛이 전달되지 못하는 광학적에너지밴드갭(Optical Energy Gap)이 존재하여 특정파장의 빛을 완벽히 제어 할 수 있는 특성을 갖고 있다[3].

광결정은 전자산업의 차세대 매질로써 많은 기대를 받고 있지만, 광결정 형성을 위한 제조방법이 매우 까다롭다는 것이 문제가 되고 있다. 광결정의 제작은 매질의 종류와 그 매질에 맞는 제조방법에

1. 광운대학교 전자재료공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1)
a. Corresponding Author : hbchung@kw.ac.kr
접수일자 : 2008. 4. 7
1차 심사 : 2008. 5. 20
심사완료 : 2008. 5. 24

따라 많은 방법이 있는데, 여러 가지 제조방법 중 본 연구에서는 홀로그래픽 리소그래피 방법을 이용한 1차원 광결정 형성을 시도하였으며, 매질로는 레이저 광, 전자빔 등에 뛰어난 반응 특성을 보이는 비정질 칼코게나이드계 물질을 사용하였다[4,5].

Se, S, Te 처럼 주기율표의 6족에 해당하는 칼코젠 물질이 포함된 화합물에 Silver를 첨가하면, 광학산에 의한 지역적인 굴절율의 변화와 같은 뛰어난 광유기현상을 갖고 있다고 알려져 있다[6-8]. 이러한 특징은 광에너지 밴드갭의 형성에 용이하게 쓰일 수 있어 칼코게나이드계 물질을 이용한 광결정 연구가 활발히 진행 되고 있으며, 본 실험에서도 이러한 점을 이용하여 광결정 형성을 위한 실험을 실시하였다.

2. 실험

2.1 시료제작 및 실험방법

본 실험에서는 비정질 As-Ge-Se-S를 주재료로 선택하였다. 벌크 제조는 전형적인 용융냉각(melt-quenching) 방식에 의해 제작되었다. 순도가 5N인 As, Ge, Se, S를 원자량비 As : Ge : Se : S = 40 : 10 : 15 : 35로 하여 전자천평으로 0.1 mg 까지 평량하였다. 지름 10 mm 석영관을 질산으로 24시간, Potassium을 소량 첨가한 황산을 채워 24시간 동안 세척한 다음, 아세톤, T.C.E., 메탄올, 초순수 순으로 5분 이상 흔들며 세척하고, 준비된 As-Ge-Se-S를 넣어 10^{-5} Torr로 진공봉입한 상태에서 전기로에 240 °C로 2시간, 650 °C로 4시간,

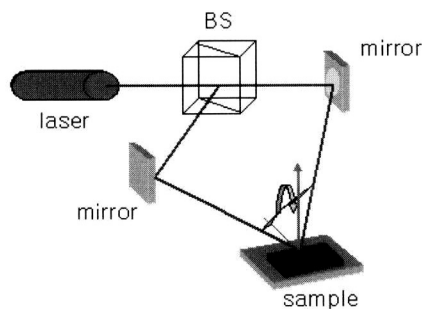


그림 1. 홀로그래픽 리소그래피를 이용한 장치도.
Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup using holographic lithography method.

1000 °C로 24시간 가열한 후 냉각하였다. 초순수, T.C.E., I.S.O., 메탄올, 아세톤의 순서로 초음파 세척 후 건조 시킨 corning glass를 기판으로 사용하였고, Electron-beam evaporator system을 이용하여 $\sim 2 \times 10^{-6}$ Torr의 진공도에서 증착을 하였으며, ~ 5 Å/s의 증착률로 Ag를 600 Å 증착시킨 후, 1 μm의 As-Ge-Se-S를 증착한 2중 층을 갖는 샘플을 완성하였다. 이 샘플에 그림 1과 같은 홀로그래픽 리소그래피 방법으로 최대 8000 s의 시간 동안 He-Ne 레이저를 조사하였다. 이때, 샘플로 입사되는 두 레이저빔 간의 각도는 $2\theta = 20^\circ$ 로 고정시켰으며, 샘플을 기울여 레이저와 샘플이 이루는 각도를 변화시켜 실험을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 칼코게나이드 박막에서 Ag 광 도핑에 따른 Ag 분포에 대한 AES(Atomic Emission Spectrometer) 분석 결과를 나타낸 것이다.

He-Ne 레이저에 의해 Ag가 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 칼코게나이드 박막에 도핑이 되는지의 여부를 판단하기 위해 실리콘 기판위에 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막 300 nm를 증착 한 후 Ag를 10 nm로 증착하고, 제작된 박막에 He-Ne 레이저(14 mW/cm²)를 이용하여 1분간 Ag 광도핑을 실시하였다. 10분 지점에 Ag의 수치가 상승하는 것을 알 수 있다.

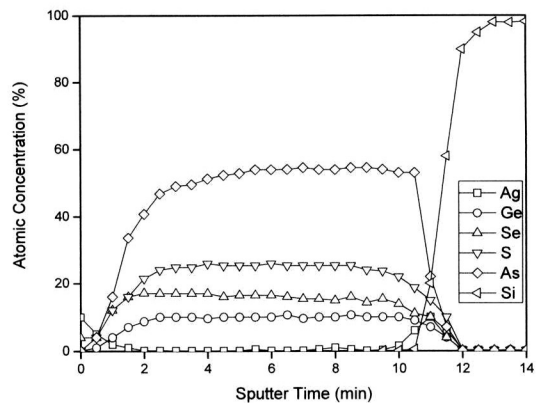


그림 2. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 Ag 광 도핑의 AES 깊이 분포.

Fig. 2. AES depth profile of Ag photodoping in $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film.

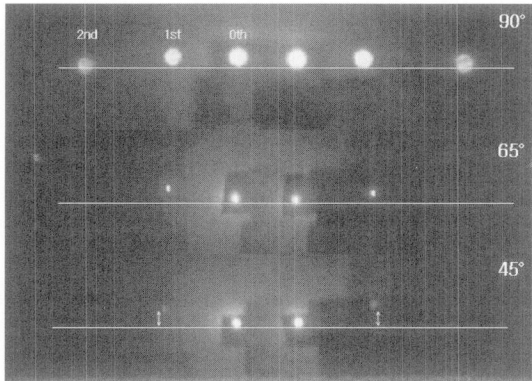


그림 3. 입사각도에 따른 회절빔의 형성.
 Fig. 3. Holographic grating forming about the incidence angle.

그림 3은 Ag/As-Ge-Se-S 박막과 레이저 입사빔과의 각도 변화를 주면서 나타나는 투과빔(0th order)과 회절빔(1st, 2nd order)을 나타낸 것이다. 입사빔과 박막사이의 각은 90°, 65°, 45°로 하였다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 표면입사각이 변함에 따라 회절 되어 나오는 1차 회절빔(1st order)과 2차 회절빔(2nd order)의 상이 하얀색 선으로 표시된 기준선을 기준으로 서로 다르게 맺혀 있는 것을 알 수 있다. 레이저 빔이 박막 표면과 수직으로 입사 되었을 때, 1차 및 2차 회절빔은 투과빔(0th order)과 거의 동일한 수평선상에 형성 되어있다. 하지만 박막을 기울여 박막과 입사빔 사이의 각도

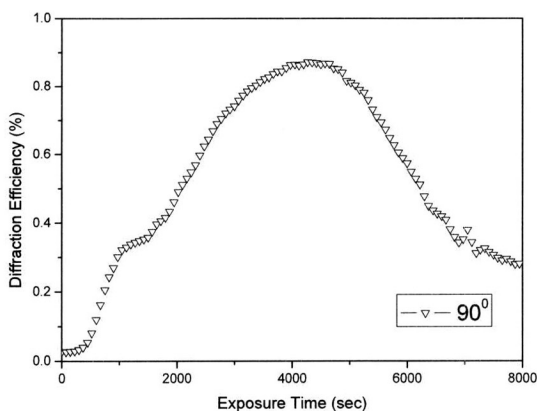


그림 4. Ag/AsGeSeS 박막에서의 회절효율(90°).
 Fig. 4. Diffraction efficiency at Ag/AsGeSeS thin film(90°).

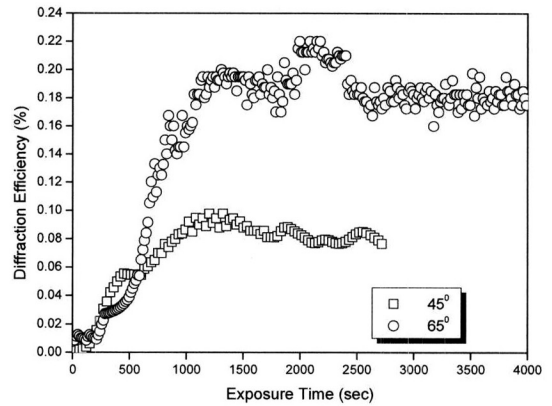


그림 5. Ag/AsGeSeS 박막에서의 회절효율(65° & 45°).
 Fig. 5. Diffraction efficiency at Ag/AsGeSeS thin films(65° & 45°).

가 작아질수록 스크린에 맺히는 회절빔이 투과빔과 많은 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 65°일 때 보다 45°일 때에 회절빔의 차이가 더욱 크게 나는 것을 알 수 있다. 이것은 입사빔과 박막사이 각도의 변화에 따라 회절격자가 각각 다른 형태로 형성 되고, 회절빔 또한 회절격자의 형태에 따라 다른 위치에 형성된다는 것으로 설명 될 수 있다. 그리고 회절되는 정도는 박막과 입사빔 사이의 각도에 비례한다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 레이저빔을 90°의 각도로 입사시켰을 때, Ag/AsGeSeS 박막에서의 회절효율을 나타낸 것이다. 회절효율은 4000 s 부근에서 최대값을 나타내었고, 이때의 최대회절효율 수치는 0.89 %를 나타내었다.

그림 5는 레이저 빔이 각각 65°와 45°로 Ag/AsGeSeS 박막에 입사 되었을 때의 회절효율을 나타낸 것이다. 65°로 입사 했을 때에는 2300 s 부근에서 0.23 %의 최대 회절효율을 보였으며, 45°로 입사 시 1300 s 부근에서 최대 회절효율 0.23 %를 나타내었다.

4. 결론

본 논문에서는 회절빔의 위치를 확인하여 홀로그래픽 방법에 의해 생성된 회절격자의 모양이 입사빔과 박막표면사이의 각도에 따라 다름을 유추해 내었고, 1차 회절빔의 효율을 측정하여 회절격자의 생성 강도와 적절한 광조사 시간을 알아내었다.

박막 샘플에 레이저빔이 입사될 때의 각도를 조정해도 회절범이 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 입사각이 90°에서 65°, 45°로 점차 감소 될수록 보다 상부에 회절범이 맺히는 것을 확인할 수 있었다. 이를 근거로 샘플과 레이저 빔과의 입사각에 변화를 주어도 격자가 형성되는 것을 확인할 수 있었으며, 입사각의 변화가 박막 내부에 형성되는 격자의 모양에 영향을 주어 회절범의 방향을 변경시켰음을 유추 할 수 있었다.

박막과 입사빔 사이의 각이 90°일 때, 가장 높은 0.89 %의 회절효율을 나타냈으며, 65°와 45°의 순으로 입사빔의 각도를 조정함으로써 0.23 %와 0.1 %로 회절효율이 감소되는 경향을 나타내었다. 이것은 입사빔이 수직으로 입사 될 때 샘플에 맺히는 두 입사빔의 모양이 원형을 띄게 되는데, 입사각을 조정하면서 비스듬하게 입사될 때 샘플에 맺히는 레이저의 상의 모양이 원형에서 타원형으로 변하면서 focusing 하는 데에 문제가 있었기 때문으로 생각되어진다. 또한, 90°일 때 4000 s, 65°와 45°일 때는 각각 2300 s, 1300 s를 조사하는 것이 적절한 광조사 시간임을 알 수 있었다.

이번 실험에서 입사각 조정에 의한 서로 다른 형태의 회절격자를 형성 하였다. 이번 결과를 다양한 형태를 갖는 1차원 광결정을 형성 할 수 있는 토대를 마련하였다.

감사의 글

This research was supported by the MKE (Ministry of Knowledge Economy), Korea under the ITRC (Information Technology Research Center) Support program supervised by the IITA (Institute

of Information Technology Advancement) (IITA-2008-C1090-0801-0018).

참고 문헌

- [1] E. Yablonovitch, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 58, p. 2059, 1987.
- [2] S. John, "Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 58, Issue 23, p. 2486, 1987.
- [3] E. Yablonovitch, T. J. Gmitter, and K. M. Leung, "Photonic band structure: The face-centered-cubic case employing nonspherical atoms", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 67, p. 2295, 1991.
- [4] J.-T. Lee, C.-H. Yeo, and H.-B. Chung, "2-dimensional holographic grating formation in chalcogenide thin films", *Trans. EEM*, Vol. 5, No. 1, p. 34, 2004.
- [5] C.-H. Yeo, K.-N. Lee, K. Shin, J.-B. Kim, and H.-B. Chung, "Electrical erasing of holographic grating in amorphous chalcogenide thin films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 7B, p. 5769, 2005.
- [6] K. Tanaka, "Photoexpansion in As₂S₃ glass", *Phys. Rev. B*, Vol. 57, p. 5163, 1998.
- [7] A. Ganjoo, K. Shimakawa, K. Kitano, and E. A. Davis, "Transient photodarkening in amorphous chalcogenides", *J. Non-Cryst. Solids*, Vol. 299-302, Part 2, p. 917, 2002.