

비정질 칼코게나이드 박막에서의 2차원 홀로그래픽 격자 형성

이정태, 문장원*, 여철호, 신 경, 구대성*, 김종빈*, 정홍배
광운대학교 전자재료공학과, 조선대학교 전자공학과*

2-Dimensional Holographic grating formation in amorphous chalcogenide thin film

Jung-Tae Lee, Jang-Won Mun*, Cheol-Ho Yeo, Kyung Shin, Dae-Sung Gu*, Jong-Bin Kim*
Hong-Bay Chung

Department of Electronic Materials Engineering of Kwangwoon Univ,
Division of Electronics and Information and Communication Engineering of Chosun Univ.*

Abstract

In this study, we formed the 2-dimensional holographic grating in order to manufactured 2-dimensional photonic crystal in amorphous $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ and $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ thin film which have the excellent optical sensitivity using by He-Ne laser(632.8nm). The intensity of incident beam was 2.5mW and incident angle that θ is 20° . We formed the holographic grating after had formed the 1-dimansional holographic grating and then rotate the sample. We confirmed that 2-dimensional holographic grating result of the figure of diffracted beam and AFM(Atomic Forced Microcopy) image.

Key Words : 2-Dimension, Holographic grating, $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$, $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$

1. 서 론

광결정의 개발은 20세기 전자 에너지 밴드갭 반도체기술의 발전이 전자공학 및 전자 산업에 일대 혁명을 가져온 것처럼, 21세기에는 광 밴드갭 분야가 광전자(optoelectronics) 및 광 응용 분야의 혁명을 일으킬 것으로 기대되고 있다. 특히 광결정을 이용한 광 밴드갭 구조 물질은 특히 cavities, microlaser, filter, 고효율 LED, 초고속 광 switch, detector, 반도체 레이저, 태양전지, 안테나, 반사거울, 도파관(waveguides) 등 다양한 광전자 소자(optoelectronic devices) 개발 및 성능 향상과 새로운 형태의 광집적회로 개발에 필수적인 신기술로 매우 큰 관심이 집중되고 있다.[1-2]

결정구조를 갖는 물질들은 구성물질의 원자나 분자들의 규칙적인 배열로 인하여 주기적인 포텐셜(potential)이 생겨 전자들의 움직임에 영향을 미친다. 주기적인 포텐셜로 인하여 밴드갭이 형성되고 이러한 포텐셜 에너지가 충분히 크면 모든 종류의 에너지를 가진 전자들의 진행을 완전히 막을

수도 있다. 이러한 예가 반도체에서 전도대(conduction band)와 가전자대(valence band) 사이에 존재하는 완전한 밴드갭(completely band gap)이다. 빛에 대하여 포텐셜로 작용하는 것이 유전체이므로 이를 주기적으로 배열하면 광자 띠간격(photonic band gap)이 생겨 물질에서 빛의 흡수를 최소화 하고, 계면에서 빛을 산란시켜서 전자에서 원자들의 포텐셜과 같이 광자에서도 같은 현상이 일어난다.[3] 칼코게나이드 유리질은 구조적인 유연성(structure flexibility)과 독특한 전자배치로 인하여 여러 가지 형태의 광유기 현상과 우수한 전기·광학적 특성이 나타난다고 알려져 왔고, 비정질 칼코게나이드의 연속성과 광유기 방향성으로 완벽한 제어가 가능한 광부품 매질로써 우수한 특성을 갖는 것으로 알려져 있다[4-5]. 특히 이러한 칼코게나이드 유리질은 박막화가 용이하며, 특히 비교적 간단한 공정에 의해 박막 제작이 가능하며, 구성 조성에 따라 다양한 형태의 굴절율이 생성된다.

따라서 본 실험에서는 비정질 칼코게나이드

As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막과 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막을 제작 한 뒤에 투과형 홀로그래피 방식으로 1차원 격자를 형성시킨후 샘플을 회전시켜 다시 격자를 형성시켜 2차원 형태의 홀로그래피 격자를 형성시킨 후 AFM 이미지를 확인함으로써, 2차원 포토닉 크리스탈 제작의 응용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 소자의 제작

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.[11] As-Ge-Se-S계 비정질 벌크는 진공 봉입하여 전기로에서 충분히 반응하도록 한 후 Water quenching 방법을 사용하여 제작하였다.[1] 칼코게나이드 박막과 Ag 박막은 corning glass 위에 열진공증착기 (thermal vacuum evaporator)를 이용하여 약 2×10^{-6} Torr의 진공도에서 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅의 박막 두께는 1 μ m, Ag 박막의 두께는 200Å으로 제작하였으며, 박막의 두께는 수정 발진 실시간 박막 두께 측정기로 확인하였다. 그림 1은 제작된 박막의 개략도를 보여준다.

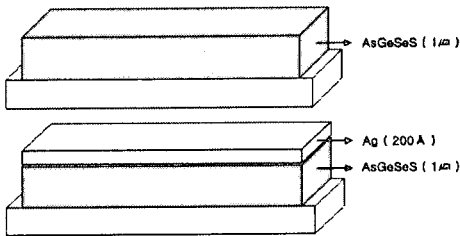


그림 1. 박막의 모형도.

Fig. 1. Schmetic view of the sample.

2.2 홀로그래피 격자 형성

홀로그래피 격자 형성은 단색 광원의 간섭에 의한 간섭 무늬를 기록 매질에 기록함으로써 격자를 형성하는 방법이다. 그림 2은 홀로그래피 격자 형성을 위한 장치도를 나타내고 있다. 격자 형성은 He-Ne Laser($\lambda=632.8\text{nm}$)를 사용하였다. 빔은 선형 편광 Beamsplitter(BS)를 지나 두 개의 기록빔으로 나누어지고, mirror로부터 반사된 후 두개의 편광

기에 의해 (P:P) 편광상태로 샘플에 입사되며, 홀로그래피 격자 형성을 위하여 샘플에서 간섭된다. 투과형 홀로그래피 기록방식에 의해 1차원 격자를 형성시킨 후 2차원 형태의 격자를 형성시키기 위해서 샘플을 90도 회전시켰다. 2차원 격자에 의해 생성된 회절빔의 형상을 사진으로 찍었으며, 격자를 형성시킨 부분을 AFM(Atomic Force Microscopy)으로 측정 하였다.

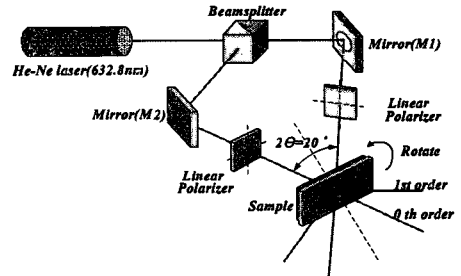


그림 2. 편광 홀로그래피 격자 형성을 위한 장치도.
Fig. 2. Schematic diagram of polarization holography for grating formation.

3. 결과 및 고찰

칼코게나이드 유리질은 구조적인 유연성 (structure flexibility)과 독특한 전자배치(unique electronic configuration)로 인하여 여러 가지 형태의 광유기 현상(photoinduced phenomena)과 우수한 광학적 특성이 나타난다고 알려져 왔다. 또한 칼코게나이드 박막에 Ag를 도핑 시키면 광감도가 증가됨을 보여 왔다. 이러한 칼코게나이드에 투과형 홀로그래피 방법으로 일차원 격자를 형성시킨 후 샘플을 90°로 회전하여 격자를 형성시켜 2차원 형태의 격자를 형성시켰다. 사진 1은 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에 1차원 격자를 형성시킨후 생성된 회절빔의 패턴이다. 사진 1에서 밝은 빔은 입사빔이 샘플에 투과하여 생성된 0-th order 빔이며, 0-th order 양 옆으로 생성된 빔이 격자 형성됨에 따라 생성된 1-st order의 회절빔이다.

사진 2는 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서 1차원 격자를 형성시킨 후 생성된 회절빔의 패턴이다. As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서 생성된 회절빔보다 빔의 세기가 더 센 것으로 확인되었다. 이는 기존의 실험에서 As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서의 회절효율보다 Ag/As₄₀Ge₁₀Se₁₅S₃₅ 박막에서의 회절효율이 더 높은 것과 관련이 있다.

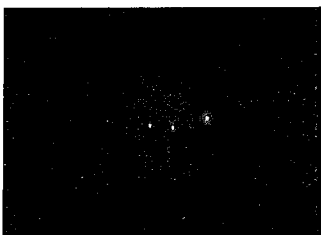


사진 1. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 에서 1차원 격자 형성에 따른 회절빔의 패턴.

Photo. 1. The diffracted beam according to one-dimensional grating formation in $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$.

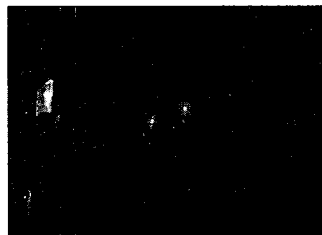


사진 3. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 에서 2차원 형태의 격자 형성에 따른 회절빔의 패턴.

Photo. 3. The diffracted beam according to two-dimensional grating formation in $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$.

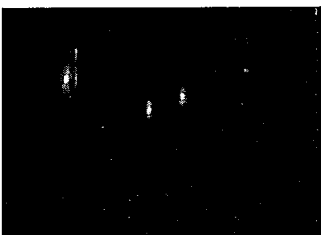


사진 2. $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 에서 1차원 격자 형성에 따른 회절빔의 패턴.

Photo. 2. The diffracted beam according to one-dimensional grating formation in $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$.

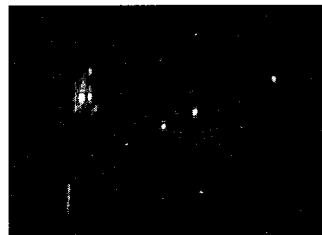


사진 4. $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 에서 2차원 형태의 격자 형성에 따른 회절빔의 패턴.

Photo. 4. The diffracted beam according to two-dimensional grating formation in $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$.

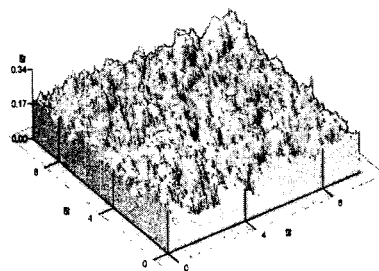
사진 3은 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에 1차원 격자를 형성시킨 후 샘플을 90° 회전시켜 2차원 격자를 형성시킨 뒤 생성된 회절빔의 패턴이다. 샘플에 투과된 0th order의 빔이 보이고 십자형으로 1st order의 빔이 생성되었으나 빔의 세기는 매우 약한 것으로 확인되었다.

사진 4는 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에 1차원 격자를 형성시킨 후 2차원 격자를 형성시키기 위하여 샘플을 90° 회전시켜 다시 홀로그래픽 격자를 형성시켜서 얻은 회절된 빔의 패턴이다. 회절빔의 세기가 사진 3에서 보다 증가 하였으며 십자형 격자 또한 뚜렷하게 생성되었다.

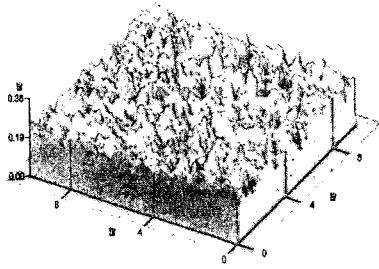
2차원 격자의 모양을 확인하기 위하여 2차원 격자를 형성시키기 전과 격자를 형성시킨 후 AFM(Atomic Force Microscopy)을 이용하여 격자 모양을 확인 하였다.

그림 3은 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 2차원 격자를 형성시키기 전과 격자 형성을 한 뒤의 이미지이다.

격자를 형성시키기 전보다 격자 형성 후가 격자의 모양이 좀더 주기적으로 바뀌었으나 큰 차이는 보이지 않았다.



(a)

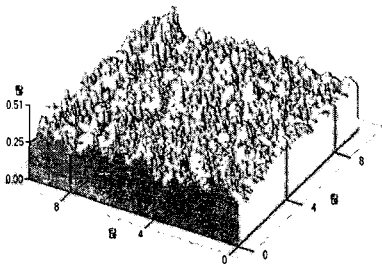


(b)

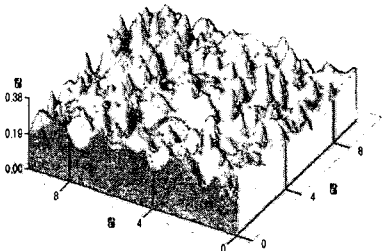
그림 3 $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 AFM 이미지
(a) 격자 형성 전 (b) 격자 형성 후.

Fig. 3 The AFM image of $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$
(a) Before the grating formation
(b) After the grating formation.

그림 4는 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 2차원 격자를 형성시키기 전과 격자 형성을 한 뒤의 이미지이다.



(a)



(b)

그림 4 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막의 AFM 이미지.
(a) 2차원 격자 형성 전 (b) 2차원 격자 형성 후

Fig. 4 The AFM image of $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$
(a) Before the grating formation
(b) After the grating formation.

그림 3보다 그림 4의 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서는 격자 형성 전과 격자 형성 후의 AFM 이미지가 확연한 차이를 보였으며 형성된 격자가 보다 주기적으로 배열된 것으로 보이며 엠보싱 형태의 2차원 형태의 격자를 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 2차원 포토닉 크리스탈을 제작하기 위한 선행 연구로 광감도가 우수한 칼코게나이드 박막을 이용하여 2차원 형태의 홀로그래픽 격자를 형성 시켰다. 1차원 격자 형성 후 샘플을 90° 회전시켜 다시 격자를 형성 시켰으며 그에 따른 회절된 빔들이 패턴은 십자형 모양의 회절된 빔들의 패턴을 확인 할 수 있었다. 또한 격자를 형성 시키기 전과 격자를 형성 시킨 후 AFM 이미지에서 격자를 형성 시키기 전 보다는 격자를 형성 시킨 후에 측정된 격자가 좀더 주기적이었으며 엠보싱 형태의 2차원 격자의 모양을 확인 할 수 있었다. $As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 단일 박막에서 보다 Ag 가 증착된 $Ag/As_{40}Ge_{10}Se_{15}S_{35}$ 박막에서 더 뚜렷한 십자형 회절 패턴을 얻을 수 있었으며, AFM 이미지 또한 격자를 형성 시키기 전과 격자 형성 후의 이미지가 확연하게 차이가 나타나는 것으로 확인하였다. 이를 통하여 2차원 포토닉 크리스탈을 제작으로의 응용 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2002-000-00480-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] E. Yablonovitch, Phys. Rev. Lett. 58, 2059 (1987)
- [2] S. John, Phys. Rev. Lett. 58, 2486 (1987).
- [3] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, J. N. Winn, Photonic Crystals. pp2-4.(2001)
- [4] H. B. Chung, H. Y. Lee, S. H. Park, J. Y. Chun., J. Appl. Phys., 83(10), pp.5381-5383, May, (1998)
- [5] H. B. Chung, H. Y. Lee, S. H. Park, Proceedings of the 3rd Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing, (PRICM-3), Vol. 2, pp. 2701-2706, July 12-16, (1998)