

2차원 광결정 형성을 위한 칼코게나이드 박막의 특성 연구

남기현, 구용운, 김현구, 정홍배
광운대학교

Characteristic research of the Chalcogenide thin film for 2-Dimensional photonic crystal formation

Ki-Hyeon Nam, Long-Yun Ju, Hyun-Koo Kim, Hong-Bay Chung
Kwangwoon Univ.

Abstract - Two-dimensional photonic crystal structures have been fabricated on the chalcogenide material using holography lithography out of many production technical. The fabricated lattice can be observed obliquely by measuring diffraction pattern. The diffraction pattern of the microstructure has been observed with a He-Ne laser beam at wavelength of 632.8 nm. The diffracted beam has been analyzed by using the diffraction efficiency measurement method.

1. 서 론

전자(electron)를 이용하는 데에 있어서 머지않아 한계에 다다를 것이라는 견해는 어제 오늘 일이 아니다. 최근 공정과정이 마이크로에서 나노 단위에 이르는 초미세 사이즈로 진화하면서 그동안 문제가 되었던 발열이나 정보의 소실 같은 현상들을 보다 심각하게 고려해야 할 상황에 놓이게 되었다. 이러한 상황에서 전자를 대체 하고, 차세대 초고속 정보 사회를 발전시켜나갈 새로운 매체를 꼽으라면, 단연코 '빛'이라 할 수 있을 것이다.

빛을 구성하는 광자(photon)는 전자가 맞닥뜨린 문제들을 해결 할 수 있는 유일한 대안일 수 있다. 빛은 지구상의 그 어떤 것보다 빠른 이동속도와 큰 에너지를 갖고 있지만, 다루기가 까다로워 현재까지 극히 제한적인 부분에만 이용 되고 있다. 하지만, 광자를 자유자재로 제어할 수 있는 '광결정(Photonic Crystals)'이론이 1987년 미국의 Eli Yablonovitch와 Sajeev John에 의해 처음 제안된 이후, 과학자들 사이에서 꾸준히 화두로 오르내리고 있고, 연구 또한 활발히 진행 중에 있다.[1-2] 전자를 조정하여 특정한 특성을 얻어내는 여타의 전기전자소자들처럼 광자를 조정하기 위한 광소자에 광결정을 도입하면, 기존의 광소자가 하지 못했던 고차원적인 제어가 가능해질 수 있게 되어 전자산업이 꽃피었던 신화를 뛰어넘는 발전을 이루게 될 것으로 기대되고 있다.

광결정은 서로 다른 두 유전물질을 주기적으로 배열하여 특정 파장의 빛을 반사, 흡수하는 등의 컨트롤을 할 수 있게 구성 되어 있다. 반도체에서 전자를 컨트롤 하는 데에 가장 중요한 부분인 에너지밴드갭이 있듯이, 광결정에는 광자를 컨트롤 하기 위한 광밴드갭(Photonic Band Gap)이 존재한다.[3] 광밴드갭을 형성시키기 위해서 유전물질의 주기적 배열을 형성하는 것이 핵심이라 할 수 있는데, 빛이 이 주기적으로 배열된 유전체 물질과의 상호작용으로 인해 광밴드갭을 형성시키기 때문이다. 격자 간격이 입사된 빛의 파장과 크기가 같을 때, 광결정 현상이 나타나게 된다. 이러한 광밴드갭의 특징은 광결정의 격자주기간격을 조절함으로써, 컨트롤 할 수 있는 빛을 선택할 수 있음을 의미하기 때문에, 광결정을 분야에 따라 적절히 적용 할 수 있을 것으로 기대된다.

광결정을 형성하기 위해 여러 가지 방법이 연구되고 있지만, 본 논문에서는 홀로그래피 리소그래피 방법을 이용하여, 높은 회절효율과 안정성, 뛰어난 광유기 이방성을 나타내는 As-Ge-Se-S 칼코게나이드계 박막에 2차원 광결정 형성을 시도하였다.[4-5]

2. 본 론

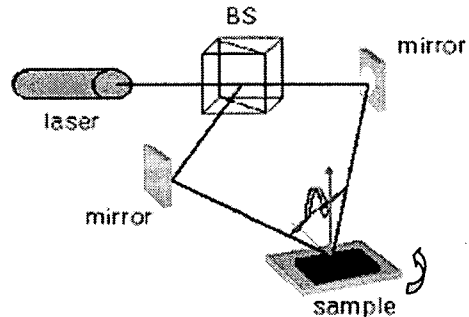
2.1 시료 제작

본 실험에서는 광학적 특성이 뛰어난 물질로 잘 알려져 있는 칼코게나이드계 물질을 사용하였으며, 그 중에서도 뛰어난 광유기 현상이 이미 밝혀진 바 있는 비정질 As-Ge-Se-S를 주재료로 선택하였다. 시료는 전통적인 용융냉각 방식에 의해 제작되었다. 순도가 5N인 As, Ge, Se, S를 원자량비로 As : Ge : Se : S = 40 : 10 : 15 : 35로 하여 전자천평으로 0.1mg 까지 평량하였다. 지름 10mm의 석영관에 질산을 넣어 24시간 세척 한 후, 황산에 Potassium Dichromate를 소량 넣고 충분히 저어 주어 만든 용액으로 다시 24시간 동안 세척 하고, 메탄올, T.C.E., ISO, 아세톤, 초순수 순으로 석영관의 내부를 5분씩 흔들어 세척한다. 세척이 완료된 석영관에 평량을 마친 As-Ge-Se-S를 넣고, 10⁻³[Torr]로 진공봉입 한 후에 전기기로 접어넣고 240℃로 2시간, 650℃로 4시간, 1000℃로 24시간 동안 가열시키면서 섞어주어 충분히 반응 하도록 한 후에, 급랭 시켜

비정질 칼코게나이드 As-Ge-Se-S를 얻어내었다. corning class를 아세톤, T.C.E, 메탄올, 초순수 순서로 각각 5분 동안 초음파 세척시켜 시료를 울리기 위한 기관으로 사용하였고, E-beam evaporator를 이용하여 유리기관 위에 ~2×10⁻⁶ Torr의 진공도에서 8~4 Å/s의 증착률로 Ag 600Å, As-Ge-Se-S 2μ를 증착하였다.

2.2 실험 방법

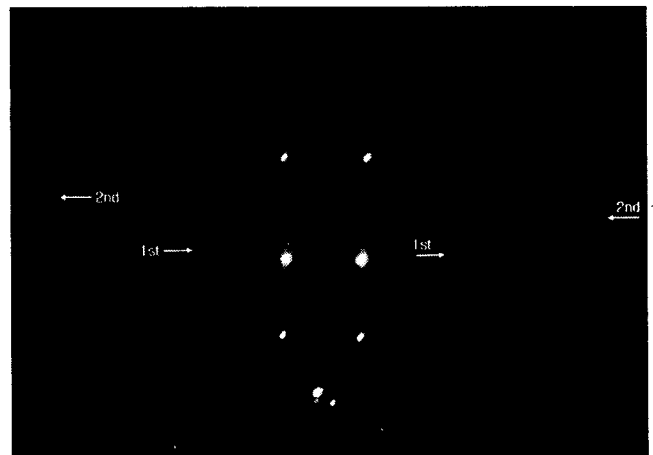
만들어진 샘플은 그림1과 같은 홀로그래피 리소그래피 방식에 매질로 사용되었다. beam splitter로 인해 나누어진 두 빛은 가장 효율이 좋은 2θ=20°의 각도로 샘플에 입사 되었으며, 632.8 nm의 파장을 갖는 He-Ne 레이저를 충분한 시간동안 조사하여 1차적으로 광결정이 형성되도록 하였다. 그 다음 과정으로 샘플을 반시계방향으로 90° 돌리고 동시에 지표면과 이루는 각도가 65°가 되게끔 기울였다. 나머지 조건은 같게 하여 레이저를 조사하였으며, 이때, 앞선 과정에서 레이저를 조사하였던 지점에 정확히 초점을 맞추어 조사하였다.



〈그림 1〉 홀로그래피 리소그래피를 이용한 장치도 (샘플이 지표면과 이루는 각도를 90°에서 65°로 변화를 주었다.)

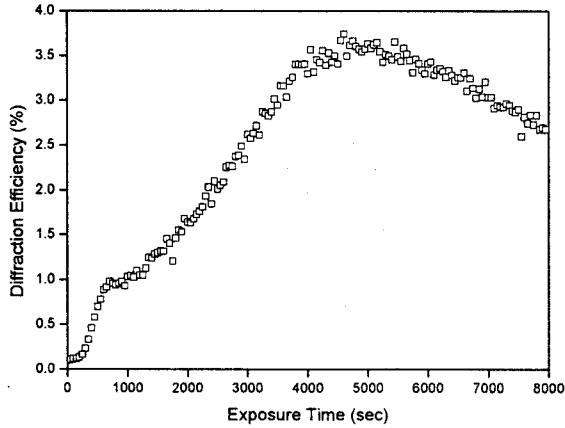
3 결과 및 고찰

그림2는 홀로그래피 방식에 의한 2차원 광결정 형성도 이다. 1차적으로 레이저를 샘플 표면에 수직으로 입사하여 1차원 광결정을 형성 시킨 후, 반시계 방향으로 90° 회전 시킨 후에 다시 지표면과 65°각을 이루게 하여 2차원 광결정을 형성하였다.



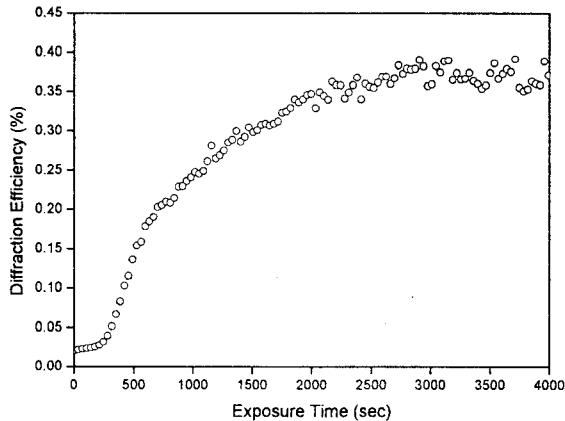
〈그림 2〉 2차원 광결정 형성도

먼저, 그림2에서 볼 수 있듯이 가운데 가장 밝게 빛나는 두 개의 투과빔이 상하 방향으로 회절된 것을 볼 수 있다. 이는 1차적으로 실시한 실험과정에 의해 형성된 격자가 입사된 레이저를 회절시킨 것이다. 또한, 65°로 기울여 2차적인 실험과정을 끝마친 후에, 1st order는 물론 2nd order까지 발견됨으로써 광결정을 의미하는 회절 격자가 형성되었음을 알 수 있다. 그림1에서 나타난 1st order는 투과빔의 연장선상에서 쉽게 구분할 수 없을 정도로 약간 위쪽으로 비틀어졌지만, 2nd order에서 그 비틀림이 확연하게 증가된 것을 확인할 수 있는데, 이는 광결정이 비스듬하게 형성되었기 때문이라 생각된다.



〈그림 3〉 1차원 광결정 형성 시 회절효율

그림 3은 홀로그래피 리소그래피 방법으로 1차원 광결정을 형성했을 때의 1st order에 의한 회절효율을 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 볼 수 있듯이, 1차원 광결정 형성 시 회절효율은 대략 4600s부근에서 최대값을 나타내었으며, 그 값은 대략 3.8%를 나타냈다.



〈그림 4〉 2차원 광결정 형성 시 회절효율

그림 4는 1차원 광결정을 형성한 후 샘플을 90°회전 하고, 동시에 laser와 샘플의 입사면 사의 각을 65°로 조절하여 laser를 입사시켜 2차원 광결정을 만들었을 때의 1st order에 의한 회절효율을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 1차원 광결정 형성 시 회절효율은 대략 3000s부근에서 최대값을 나타내었으며, 그 값은 0.37%를 나타냈다.

1차원 광결정이 형성되었을 때는 약 3.8%의 회절 효율을 나타냈으며, 2차원 광결정이 형성되었을 때는 약 0.37%의 회절효율을 나타내었다. 회절효율이 2차원 광결정에서 큰 폭으로 감소된 것은 크게 두 가지 이유를 들 수 있는데, 첫 번째로 그림 2에서 볼 수 있듯이, 1차적으로 형성시킨 1차원 광결정에 의해 회절된 투과빔이 존재하고, 공급되는 광량은 일정하므로 개수가 늘어난 각각의 회절빔에 의해 회절빔 하나하나의 세기는 약화되었고, 이로 인해서 2차원 광결정이 형성 되었을 때, 회절효율이 10배 가까운 수치로 감소된

것으로 생각된다. 그림3과 그림4를 비교해 보면, 그림3은 효율이 정점을 찍은 이후에 감소하는 경향을 보이는데 비해, 그림4는 최대 효율 부근에서 오랜 시간 유지되는 것을 볼 수 있다. 이는 본 논문에서 제시한 방법으로 제작한 2차원 광결정에서 최대효율을 얻기 위한 시간의 범주가 촉박하지 않음을 의미하는 것으로 좋은 결과라 할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 홀로그래피 리소그래피 방법으로 3차원 광결정 제작을 위한 선 과정으로 2차원 광결정 형성을 시도하였다. 먼저 샘플에 1차적으로 광결정을 형성시킨 후에, 샘플을 반시계 방향으로 90° 돌리고 동시에 지표면과 65°의 각도를 갖게 기울여 2차원 광결정을 형성 하였다. 그림2에 나타난 결과로 보아 1st order와 2nd order 회절빔들이 두 투과빔 보다 윗부분에 위치해 있는 것을 알 수 있다. 1st order는 쉽게 구분할 수 있을 정도로 윗부분에 있지 않으나, 2nd order를 보면 확실히 위쪽에 위치해 있다는 것을 알 수 있다. 1차적으로 실시한 실험과정에 의해 형성된 격자는 투과빔이 상하 방향으로 굴절 되게끔 작용하였으며, 2차적으로 실시한 실험과정에 의해서 굴절된 빔들이 투과빔과 동일선상에 위치해 있지 않고, 상대적으로 위쪽에 위치해 있는 것이라 할 수 있다. 이러한 사실로부터 65°로 기울어진 샘플에 레이저가 입사 할 때 광결정이 형성되는 사실은 물론, 비스듬히 형성된 광결정에서 발생하는 빔의 굴절현상도 알 수 있게 되었다. 회절 효율 면에서도 1차원 회절격자 형성 시 2차원 광결정 형성시보다 10배 정도의 차이가 났다.

우리는 이번 실험에서 비정질 As-Ge-Se-S 박막을 이용해 광결정의 제작이 가능한 지를 시도해 보았으며, 1차원 광결정을 형성시킨 후에 입사 각도에 변수를 주고, 2차원 광결정이 형성되는 지의 여부를 알아보았다. 회절빔의 위치로 2차원 광결정의 형성을 유추해 내었고, 그 회절효율을 분석함으로써 3차원 광결정 형성방법에 대한 중요한 여건을 마련하였다.

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 Advancement)(IITA-2007-0701-0018)

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] H.Y. Lee, H.B. Chung, "Amorphous Se₇₅Ge₂₅ Resist Profile Simulation of Focused-Ion-Beam Lithography", Jpn.J.Appl.Phys.,Part1,36(4A),pp.2409-2414, April, 1997
- [5] S.J. Jang, C.H. Yeo, J.I. Park, H.Y. Lee, H.B. Chung, "Polarization Dependence of photoinduced birefringence in Chalcogenide Thin Film", MNC(Microprocesses and Nanotechnology 2000), july,pp196-197, 2000
- [6] Jung-Tae Lee, "2-Dimensional Holographic Grating Formation in Chalcogenide Thin Films", TEEM, Vol. 5, No. 1, p.34, 2004