

## 광결정 광 검출기

### Photonic crystal photodetector

양진규\*, 서민교\*, 김명기\*, 황인각\*\*, 이용희\*

고등광기술연구소, \*한국과학기술원 물리학과, \*\*전남대학교 물리학과

jin9ya@gist.ac.kr

다양한 광소자 기능을 구현할 수 있는 광결정(Photonic crystal)에 대해 그동안 학계와 연구소, 산업체에서 활발한 연구가 진행되어 왔다. 특히 광 밴드 갭(Photonic bandgap) 특성을 이용, 2차원 광결정 박막 구조에서 도파로나 필터, 공진기 등의 연구가 활발히 진행되어 왔는데<sup>(1,2)</sup>, 기존의 반도체 공정에서 쓰이는 기술을 활용할 수 있다는 장점과 더불어 광집적 회로를 구현할 수 있기 때문이다. 하지만 외부로부터 박막으로 빛을 결합시키거나 반대로 추출하는 소자에 관한 연구는 활발하지 못하다. 최근에 광결정 박막에 빛이 입사할 경우 광결정 모드로 결합 Fano-resonance를 일으킨다는 보고가 있었다<sup>(3)</sup>. 광결정 모드로 결합된 빛은 얼마 동안은 박막 내에 머무르다가 바깥으로 빠져 나오게 되는데<sup>(4)</sup>, 본 연구에서는 이러한 현상을 이용하여 효과적인 광 검출기를 제작하였고, 그 특성을 살펴보았다.

2차원 광결정 박막을 이용한 광검출을 구현하기 위해, FDTD(Finite-difference Time-domain) 계산을 이용하여 외부 빛과의 결합 효율이 높은 광결정 모드를 설계하였다. 이때 사용된 광결정 모드는 수직 결합 효율이 높고 매질과의 상호작용이 큰 dipole-like mode를 이용하였는데, 광검출기로 사용하기 위해 빛과 매질간의 상호작용 영역이 넓고 품위 값을 높여 박막에 오래도록 머무르도록 MCCA(Modified Coupled Cavity Array) 구조를 사용하였다. 그림 1(a)을 보면, 공진기 주변 공기구멍 반경( $r_m$ )을 주기( $a$ )의 0.3배로 줄이면서 위아래로 밀어낼 경우 품위 값이 극대가 됨을 알 수 있다. 이때 dipole-like mode의 전기장 분포도를 보면(그림 1 (b), (c)), 매질 영역에 모드가 집중되면서 박막에 수직으로 전기장이 흘러나가는 것을 알 수 있는데, 이를 통해 빛이 수직으로 입사할 경우 광결정 모드와 결합이 클 뿐만 아니라 매질과의 상호작용도 커서 광 검출기로 적합하리라 예상된다.

설계한 광결정 MCCA 박막 구조를 바탕으로 전기적 특성을 지닌 nip 구조의 InGaAsP/InP 다층 양자 우물 능동매질을 이용하여 광 검출을 위한 시료를 제작하였다(그림 2). 먼저 광리소그래피를 이용, n형 전극(AuGe)을 증착하고 Mesa 구조를 도입하여 광전류 손실을 최소화 하였다. 전자빔 리소그래피를 이용하여 530 nm 주기의 MCCA 구조를 제작하였는데, 이는 흡수가 큰 양자우물 구조의 밴드 가장자리에 해당하는 영역인 1520 nm에 dipole-like mode를 위치시키기 위해서이다. 제작된 샘플을 가지고 가변레이저를 이용하여 편광에 따른 광검출 스펙트럼을 측정해 보았다. 그림 3(a)는 측정된 광전류 스펙트럼이다. 입사 빛은 2 $\mu$ W CW 가변 레이저를 이용, 1510 nm 에서 1640 nm까지 변화하였다. 효과적인 광검출을 위해 시료에 -12 mV의 역전압을 인가시켜 주었다. 먼저 광결정 패턴이 없는 경우(bare 구조) 측정된 스펙트럼을 보면 1520 nm 영역에서 광전류가 최대가 되고 장파장으로 갈수록 줄어든다. 이러한 경향성은 InGaAsP 다층 양자 우물 구조의 흡수 특성과 일치한다. MCCA 구조에서의 광전류 측정 결과를 살펴보면, 편광에 따라 서로 다른 두 영역에서 광전류가 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 먼저 Y 편광 빛이 입사할 경우 1560 nm 영역에서 광전류가 0.56  $\mu$ A 정도 흘러 검출율(Detectivity)이 대략 28% 정도 나왔다. 이러한 결과는 bare 구조에 의한 검출율인 약 1.5%보다 무려 20배 정

도의 증가된 결과이다. x 편광의 빛이 입사할 경우에는 광 흡수가 거의 일어나지 않는 영역인 1630nm 파장에서 65nA 정도의 광전류가 흘러 약 3.3%의 검출율을 얻었다. 이는 bare 구조 대비 약 25배 정도의 광전류 증폭 효과로 입사 레이저 빛이 높은 품위 값과 수직 결합 효율을 가지는 dipole-like mode로 공진 흡수되었기 때문이다. 이상의 결과, 광결정 박막구조를 이용할 경우 향후 파장 필터와 편광 필터가 결합된 아주 간결한 구조의 신 개념 광 검출기로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

1. S. Noda, A. Chutinan, and M. Imada, Nature (London), 407, 608(2000).
2. H. G. Park, S. H. Kim, S. H. Kwon, Y. G. Ju, J. K. Yang, J. H. Baek, S. B. Kim, and Y. H. Lee, Science, 305, 1444 (2004).
3. F. Raineri, G. Vecchi, C. Cojocaru, A. M. Yacomotti, C. Seassal, X. Letartre, P. Viktorovitch, R. Raj, and A. Levenson, Appl. Phys. Lett. 86, 091111 (2005)
4. S. Fan, W. Suh and J. D. Joannopoulos, J. Opt. Soc. Am. A 20, 569 (2003).

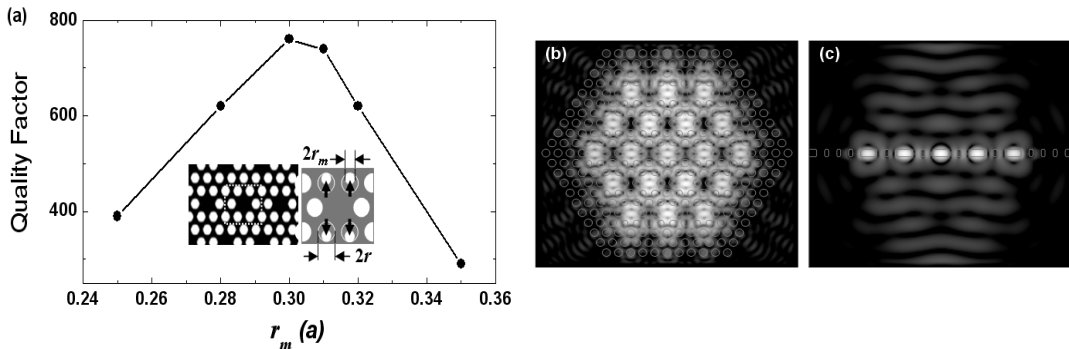


그림 1. 광결정 광검출기 구조 설계 및 특성 분석. (a)  $r_m$  변화에 따른 품위값 변화. (b)  $r_m = 0.3 a$ 일 때 전기장 세기의 수평 단면도 (c) 수직 단면도. 이때 박막 두께는  $0.6 a$ , 공기구멍 반경은  $0.35 a$ 이다. (a)에 삽입된 그림은 MCCA의 구조도이다.

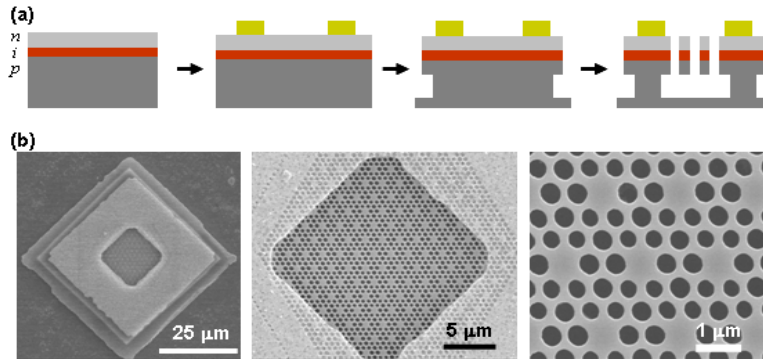


그림 2. (a) 광결정 광검출기 제작 방법 (b) 제작된 광결정 광검출기의 전자현미경 사진

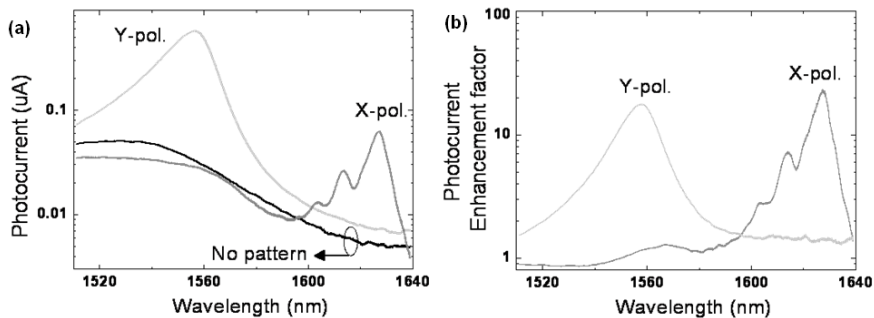


그림 3. (a) 편광에 따른 광전류 스펙트럼 (b) 광결정에 의한 광전류 증가율