

# 표면 비발광 결합이 2차원 광결정의 발광 특성에 미치는 영향

## Effect of Surface Recombination on the Light-Emitting Property of Two-Dimensional Photonic Crystals

류한열\*, 황정기\*, 권오균\*\*, R. Sellin\*\*\*, D. Bimberg\*\*\*, 이용희\*

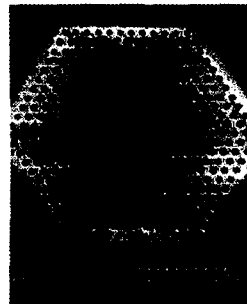
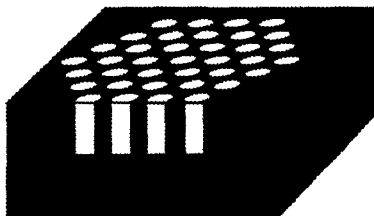
\*한국과학기술원 물리학과, \*\*전자통신연구원 원천기술본부, \*\*\*Technical University-Berlin, Germany  
rhy@kaist.ac.kr

광결정(photonic crystal)은 빛의 파장 크기 정도의 격자 상수를 지닌 1차원, 2차원, 또는 3차원의 주기적인 구조이다.<sup>(1)</sup> 최근에 2차원 광결정 공진기 구조에서 광펌핑으로 레이저 발진이 성공한 결과가 발표되면서 광결정 구조를 이용한 광소자로의 응용이 본격적으로 시작되고 있다.<sup>(2,3)</sup> 하지만, 2차원 광결정 발광 구조에서는 능동 매질이 공기 중과 접한 영역이 넓어서 필연적으로 면에서의 비발광 결합이 중요한 문제가 된다. 이러한 문제 때문에 반도체에 기반한 광결정 구조 중에서는 비발광 결합이 비교적 적은 InP/InGaAsP 계열 물질이 능동 매질로 이용되어 왔다. 본 연구에서는 광결정 발광 구조에서 표면 비발광 결합이 실제로 어느 정도나 영향을 미치는가에 대한 연구를 수행하였다.

능동 매질로 이용한 물질로는 InGaAs/InAlGaAs 양자 우물 구조와 InGaAs/GaAs 양자점 구조이다. 광결정 구조는 전자선 lithography와 건식 식각 방법으로 제작하였고, 제작한 구조의 모양을 [그림 1]에 나타내었다. 제작한 2차원 광결정 구조의 발광 특성을 조사하기 위해 광펌핑 실험을 수행하였다. InGaAs/InAlGaAs 양자 우물 구조와 InGaAs/GaAs 양자점 구조의 광펌핑에는 각각 980-nm LD와 780-nm LD를 이용하였다. [그림 2]와 [그림 3]에 각각의 구조에 대한 광발광 spectrum과 펌핑 power에 따른 광결정 패턴과 bare wafer에서 광발광량의 비를 나타내었다. 광발광량의 비는 광결정 패턴과 bare wafer에서의 추출 효율과 방사 효율(radiative efficiency)에 의존하게 된다. 반도체에서 radiative efficiency는 일반적으로 다음과 같이 주어진다.

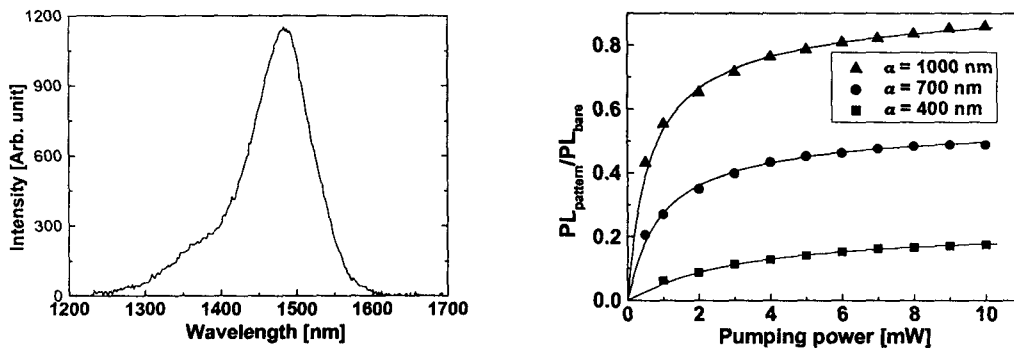
$$\eta_r = BN^2 / (AN + BN^2 + CN^3)$$

여기서  $N$ 은 운반자의 밀도이고,  $A$ ,  $B$ ,  $C$ 는 각각 표면 비발광 재결합 계수, 두 분자 재결합(bimolecular recombination) 계수, Auger 재결합 계수를 나타낸다. 광결정 패턴에서는 bare wafer에 비해  $A$ 가 매우 크므로 radiative efficiency가 떨어지게 된다. 그런데, 펌핑이 충분히 강해서 운반자 밀도가

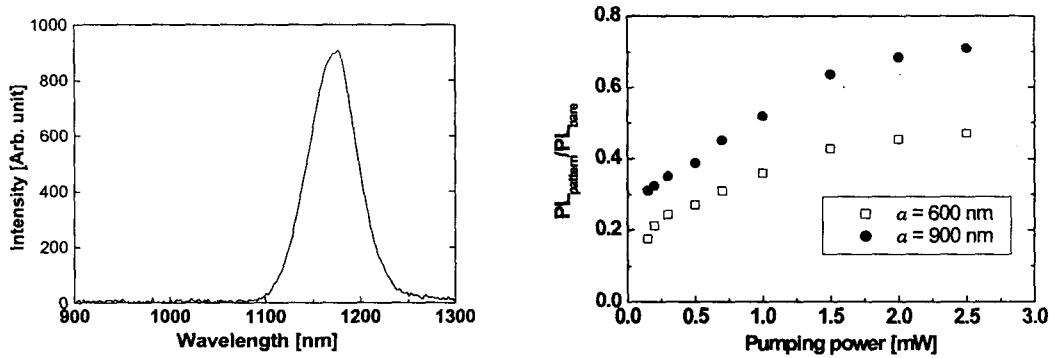


[그림 1] 2차원 삼각형 격자 형태 광결정 구조의 개략도와 전자 현미경 사진

증가하면 비발광 결합은 상대적으로 영향이 적어지고 bimolecular 재결합과 Auger 재결합이 큰 영향을 미치게 된다. InGaAsP 계열 양자 우물 구조에서는 위의 계수들이 비교적 잘 알려져 있으므로 실험 결과를 fitting할 수 있다. Fitting한 결과를 [그림 2]에 solid line으로 나타내었는데, 실험 결과와 잘 맞는 것을 볼 수 있다. Fitting 결과를 분석해 보면 펌핑 power가 충분히 클 때 표면 비발광 결합의 영향은 1) % 정도로 그리 크지 않음을 알 수 있다.<sup>(4)</sup> [그림 3]에서 양자점 구조에서의 광발광량의 비도 또한 [그림 2]의 양자 우물 구조에서와 비슷한 형태를 보인다. 즉, 양자점 구조에서도 펌핑이 증가할수록 표면 비발광의 영향이 점점 줄어들게 된다고 볼 수 있다. InGaAs 양자점을 둘러싸고 있는 GaAs 물질은 표면 비발광 결합이 매우 큰 물질이라는 점을 고려해 볼 때, 위의 결과는 InGaAs 양자점에서 운반자의 확산이 적어서 비발광 결합이 줄어드는 것으로 해석할 수 있다. 따라서, 이 결과는 양자점 물질도 광결정 발광 구조의 능동 매질로 이용될 수 있음을 의미하고 이에 대한 연구는 현재 진행중이다.



[그림 2] InGaAs/InAlGaAs 양자 우물 광결정 발광 구조에서 광발광 spectrum과 광발광량의 비



[그림 3] InGaAs/GaAs 양자 점 광결정 발광 구조에서 광발광 spectrum과 광발광량의 비

[참고 문헌]

1. J. D. Joannopoulos, P. R. Villeneuve, and S. Fan, Nature 386, 143 (1997).
2. O. Painter, R. Lee, A. Scherer, A. Yariv, J. O'Brien, P. Dapkus, and I. Kim, Science 284, 1819 (1999).
3. J. K. Hwang, H. Y. Ryu, D. S. Song, I. Y. Han, H. W. Song, H. K. Park, Y. H. Lee, and D. H. Jang, Appl. Phys. Lett. 76, 2982 (2000).
4. H. Y. Ryu, J. K. Hwang, D. S. Song, I. Y. Han, Y. H. Lee, and D. H. Jang, Appl. Phys. Lett. (to be published).