

홀로그래픽 나노 노광 기술을 이용한 대면적 마이크로 공진기 어레이의 제작

Fabrication of Large-area Microcavity Arrays Using Holographic Nanolithography Techniques

김정희, 이선구, 김창수*, 한해욱

포항공과대학교 전자전기공학과, *LG-Phillips LCD 구미연구소

hanuljh@postech.ac.kr

최근에 2차원 및 3차원 광결정(photonic crystal, PC)을 이용한 광소자와 광집적회로에 관한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.^(1,2) 여기서 광결정이라 함은 굴절율의 분포가 주기적으로 배열되어 있는 구조를 갖는 물질을 일컫는다. 현재 나노미터 크기의 광결정이나 유사광결정(photonic quasi-crystal, PQC)의 제작은 주로 전자빔 노광이나 홀로그래피 노광 기술이 사용되고 있다.⁽¹⁻³⁾ 홀로그래피를 이용한 노광기술은 전자빔 노광과는 달리 필요한 실험장치가 상대적으로 보다 간단하고, 레이저 출력이 충분할 경우 노광시간이 실제 노광 면적에 무관하기 때문에 수 cm^2 이상의 대면적 광결정 제작에 적합하다.

그러나 기존의 홀로그래피 노광기술은 거울, 렌즈, 빔분할기와 같은 광학 부품이 많이 사용되어 실험장치가 복잡해지기 때문에, 정확한 빔 정렬이 어렵고 제작된 패턴의 균일성 및 재현성이 떨어지는 등의 문제점이 있었다. 고차원 광결정의 제작을 위해서 다중 노광 방법을 사용한 경우는 노광할 때마다 정확한 각도 조절을 해야 하는 단점이 있다. 또한, 홀로그래피 노광용 마스크를 사용하는 경우에는 제작되는 광결정 구조의 주기를 변화시키기에 어려움이 있었다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 가변주기형 일체형 노광 시스템을 구성하여 실험 장치를 보다 간단히 하였고, 단순히 입사각만 변화시켜 광결정의 주기를 조절할 수 있도록 하였다.⁽⁴⁾ 특히 개발된 홀로그래피 방법은 거울과 시료가 하나의 회전장치(rotation stage)에 고정되어 있기 때문에 빔 정렬이 수월하며, 두 빔의 입사각과 그 사이각만을 변화시켜 광결정 뿐만 아니라 유사광결정 구조의 주기를 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 서로 다른 입사각을 가진 두 빔을 이용하면, 수 백 나노미터 주기를 갖는 나노점들로 구성된, 마이크로미터 크기의 공진기(cavity)가 수 마이크로미터 주기로 배열되어 있는 구조를 제작할 수 있다.

일반적으로 홀로그래픽 노광은 감광수지(photoresist, PR)가 코팅된 시료 표면에 동일 파장을 가진 2개 이상의 레이저 빔이 서로 교차하면서 일으키는 간섭 현상을 이용하는 기술이다. 두 빔의 입사각이 50° 와 61° 인(사이각 : 11°) 조건과 두 빔의 입사각이 50° 와 65° 인(사이각 : 15°) 대해 계산한 결과를 표 1에 도시하였다. 계산 결과로부터 사이각이 커질수록 공진기의 크기와 주기가 작아지고, 공진기 내부에 있는 나노점들의 수도 적어짐을 알 수 있다. 이는 입사하는 두 빔의 파동벡터의 tangential 성분의 차가 커지기 때문이다. 입사각과 사이각의 크기를 변화시킴에 따라, $0.5 \sim 4 \mu\text{m}$ 정도 크기를 갖는 공진기로 이루어진 어레이는 $1 \sim 20 \mu\text{m}$ 정도의 주기를 갖는다. 마이크로미터 크기 공진기가 전체적으로는 육방형의 주기적인 배열을 갖고, 공진기 내에 $200 \sim 300 \text{ nm}$ 주기로 형성된 100 nm 크기의 나노점들은 각 공진기마다 조금씩 다른 형태를 가지게 된다.

표 1. 다른 조건의 두 입사각과 사이각에 대한 마이크로 공진기 어레이 구조

입사각 (°)	사이각 (°)	공진기 크기 (μm)	공진기 주기 (μm)	나노점 크기 (nm)	나노점 주기 (nm)	비고
50 & 61	11	2.5	4	50 - 120	250	
50 & 65	15	2.0	3.5	80 - 110	240	

본 연구에서는 325 nm의 HeCd 레이저가 사용되었으며, 실제 유사 광결정을 제작하기 위해 GaAs 시료 표면에 100 nm 정도의 PR을 도포하였다. 간섭 패턴이 형성되는 PR의 두께를 조절하기 위해서 thinner와 섞어서 적당하게 희석하여 사용하였다. 두 입사각이 50°와 61°인(사이각 : 11°) 조건에 대한 계산결과와 실험결과를 그림 1 (a)와 (b)에 각각 보였고, 계산된 결과는 표 1에 기입된 내용과 동일하다. 실험결과는 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이, 약 2.5 μm 크기의 공진기가 4 μm 주기로 넓은 면적에 걸쳐 어레이를 형성하였고, 공진기 내에는 50 ~ 100 nm 크기의 지름을 가진 나노점들이 250 nm의 주기로 형성됨을 확인하였다. 실험으로 제작된 공진기 어레이 패턴이 계산된 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 이때 공진기와 나노점의 크기는 노광시간과 현상시간을 적절하게 조절함에 따라 결정된다.

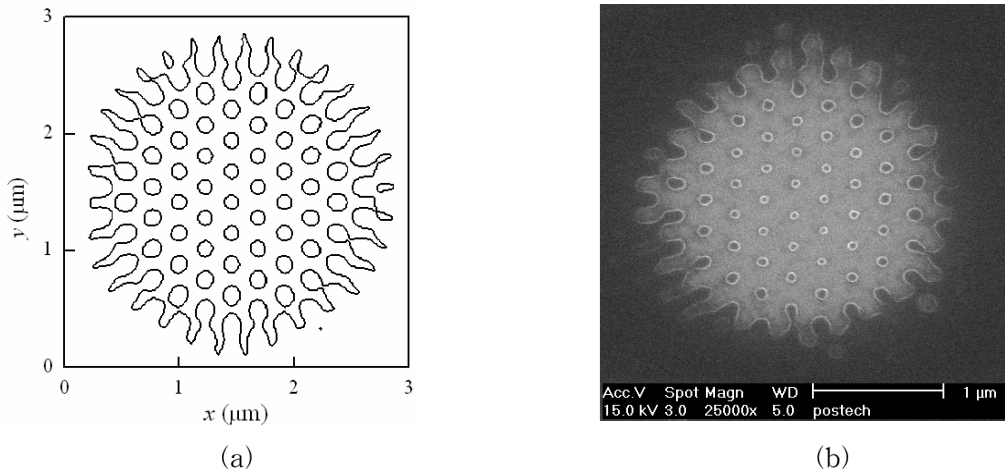


그림 1. 두 입사각 50°와 61°일 때(사이각 : 11°), 하나의 공진기에 대해 (a) 계산된 결과와 (b) 실험으로 제작된 결과

1. 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, "Electrically driven single-cell photonic crystal laser", Science 305, 1444-1447 (2004).
2. K. Nozaki and T. Baba, "Quasiperiodic photonic crystal microcavity lasers", Applied Physics Letters 84, 4875-4877 (2004).
3. X. Wang, J. Xu, J. C. W. Lee, Y. K. Pang, W. Y. Tam, C. T. Chan, and P. Sheng, "Realization of optical periodic quasicrystals using holographic lithography", Applied Physics Letters 88, 0519011-0519013 (2006).
4. 김정희, 김창수, 한해욱, "대면적 2차원 광결정 제작을 위한 가변주기형 홀로그래픽 나노노광 기술", 제9회 광전자 및 광통신 학술회의 9, 171-172 (2002).