

마이크로 공진기 어레이 제작을 위한 홀로그래픽 나노노광 기술

김정희*, 김창수**, 한해욱***
포항공과대학교 전자전기공학과

Holographic nanolithography technique for the fabrication of micro-cavity arrays

Jeonghoi Kim*, Changsu Kim**, and Haewook Han***

Department of Electronics and Electrical Engineering

Pohang University of Science and Technology

E-mail : *hanulkjh@postech.ac.kr, **gossip@lgphillips-lcd.com, ***hhan@posetch.ac.kr

Abstract

Two-dimensional (2D) photonic quasicrystals (PQCs) were fabricated by a holographic nanolithography techniques. Using two laser beams with different angles incident on the sample, micro-cavities with 2D internal nanostructures are patterned with a few micrometer periods.

I. 서론

최근에 2 차원 및 3 차원 광결정(photonic crystal, PC)을 이용한 광소자와 광집적회로에 관한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다[1-2]. 현재 나노미터 크기의 광결정의 제작은 주로 전자빔 노광이나 홀로그래피 노광이 사용되고 있다[3-4]. 홀로그래피 노광기술은 전자빔 노광을 사용하는 경우와 달리 필요한 실험장치가 상대적으로 훨씬 간단하고, 레이저 출력이 충분할 경우 노광시간이 실질적으로 노광면적에 무관하기 때문에 수 cm^2 이상의 대면적 광결정의 제작에 적합하다.

그러나 기존의 홀로그래피 노광기술은 실험 장치가 복잡하여 빔 정렬, 패턴의 균일성 및 재현성 등의 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서 가변주기형 일체형 노광 시스템을 구성하였으며, 단순히 입사각만 변화시켜

광결정의 주기를 조절할 수 있도록 하였다[5]. 특히 개발된 홀로그래피 방법은 거울과 시료가 일체형이기 때문에 빔 정렬이 수월하며, 두 빔의 입사각과 그 사이각만을 변화시켜 유사광결정(photonic quasicrystals, PQCs) 구조의 주기를 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 2 차원 유사 광결정은 나노미터 주기를 갖는 나노점들로 구성된, 마이크로미터 크기의 공진기(cavity)가 수 마이크로미터 주기로 배열되어 있는 구조이다.

II. 본론

일반적으로 홀로그래픽 노광 기술은 감광수지(photoresist, PR)가 코팅된 시료 표면에 동일 파장을 가진 2 개 이상의 레이저 빔이 서로 교차하면서 간섭을 일으키는 현상을 이용한다. 이러한 기술을 이용할 때, 제작되는 광결정의 주기와 형태에 따라 각각의 레이저 빔의 입사각과 방향이 정확히 조절되어야 한다.

본 연구에서 제안하는 유사 광결정 구조를 제작하기 위해서는 두 개의 레이저 빔이 서로 다른 입사각으로 시료에 입사해야 한다. 이러한 두 빔의 입사각과 두 입사각 사이의 각인 사이각에 의해서 유사 광결정의 주기와 공진기의 크기가 결정된다. 두 빔의 입사각이 50° 와 61° 이고 사이각이 11° 인 조건에 대해 계산한 결과,

공진기의 주기는 약 $4 \mu\text{m}$ 이고 그 크기는 약 $2.5 \mu\text{m}$ 이며, 내부에 형성된 나노점의 주기는 약 250 nm 이다. 여러 조건의 계산 결과로부터 사이각이 커질수록 공진기의 크기와 주기가 작아지고, 공진기 내부에 있는 나노 점들의 수도 적어짐을 알 수 있다. 또한, 사이각이 같더라도 두 빔의 입사각이 작을수록 공진기의 크기와 주기도 작아진다. 이는 입사하는 두 빔의 파동벡터의 tangential 성분의 차가 커지기 때문이다. 입사각과 사이각에 따라 $0.5 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ 정도 크기를 갖는 공진기 어레이의 주기는 $1 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ 정도이다. 공진기 내에는 $200 \text{ nm} \sim 300 \text{ nm}$ 주기로 배열된 100 nm 크기의 나노점들은 각 공진기마다 조금씩 다른 형태를 가지게 된다.

III. 구현

본 연구에서는 $325 \mu\text{m}$ 광장의 HeCd 레이저가 사용되었으며, 실제 유사 광결정 제작을 위해서 GaAs 시료의 표면에 100 nm 정도의 PR을 코팅하였다. PR의 두께 조절을 위해서 PR을 적당하게 희석하여 사용하였다. 위에서 계산한 결과와 동일한 조건으로 홀로그래피 노광을 한 후 현상한 결과를 그림 1과 그림 2에 보였다. 약 $2.5 \mu\text{m}$ 크기의 공진기가 $4 \mu\text{m}$ 주기로 어레이를 형성하였고, 공진기 내에는 $80 \text{ nm} \sim 100 \text{ nm}$ 크기의 지름을 가진 나노점들이 약 250 nm 의 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.

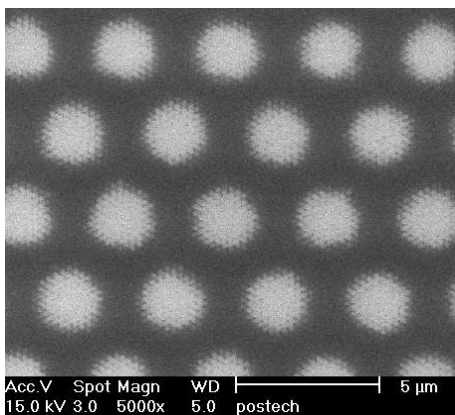


그림 1 입사각 50° 와 61° (사이각 11°)에 대해 제작된 2차원 유사 광결정.

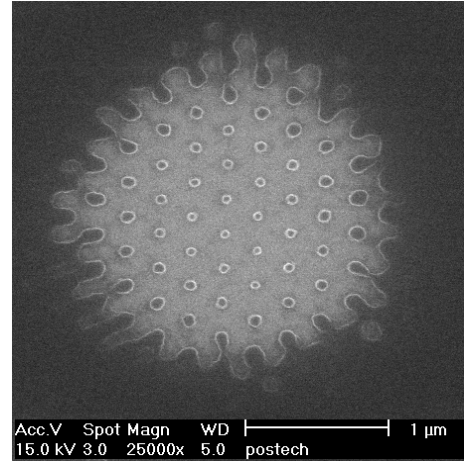


그림 2 제작된 2차원 마이크로 공진기의 고배율 SEM 사진.

PR로 형성된 유사 광결정 구조를 마스크로 사용하여 식각이나 금속 lift-off 등의 후속 공정을 통해 반도체나 금속과 같은 물질로 이루어진 유사 광결정 구조 또한 제작이 가능하다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 홀로그래픽 나노 노광 기술을 이용하여 2차원 마이크로 공진기 어레이를 제작할 수 있음을 보였다. 반도체나 금속으로 형성된 유사 광결정 구조의 제작을 위한 공정 조건의 최적화 과정과 이론적인 계산을 통한 공진기로서의 특성 분석이 진행될 것이다.

참고문헌

- [1] H. G. Park et al, "Electrically driven single-cell photonic crystal laser," *Science*, 305(2598), 1444, 2004.
- [2] K. Nozaki et al, "Quasiperiodic photonic crystal microcavity lasers," *Appl. Phys. Lett.*, 84(24), 4875, 2004.
- [3] M. E. Zoorob et al, "Complete photonic bandgaps in 12-fold symmetric quasicrystals," *Nature*, 404(6779), 740, 2000.
- [4] X. Wang et al, "Realization of optical periodic quasicrystals using holographic lithography," *Appl. Phys. Lett.*, 88(5), 051901, 2006.
- [5] J. Kim et al, "Period-tunable holographic nanolithography technique for fabrication of large-area two-dimensional photonic crystals," *COOC 2002*, vol. 9, pp. 171, 2002.