

# 공진기-전기역학 마이크로 레이저에서 나노구멍격자를 이용한 마이크론 이내의 원자 위치 조절

## Submicron Positioning of Atoms with the Nanopore Lattice in the Cavity-QED Microlaser

이문주, 서원택, 홍현규, 송영훈, 이재형, 안경원  
서울대학교 물리천문학부 및 양자광 레이저 실험실  
e-mail: kwan@phya.snu.ac.kr

가시광 영역의 공진기 전기역학 실험에서는 공진기 내부에 정상파가 형성되고, 원자-공진기 결합 상수는 이 정상파의 진폭에 비례하기 때문에 결합 상수가 원자의 위치마다 다르다. 기존의 마이크로 레이저 실험에서는 공진기 길이는 약 1mm, 공진기의 공명 파장은 791nm이어서, 공진기에 입사하는 원자들은 수백 개의 파장에 걸쳐서 분포하기 때문에 원자는 실험자가 제어할 수 없는 임의의 결합 상수를 가지고 공진기와 상호작용하게 된다. 그러나 원자를 공진기 안으로 보낼 때, 공진기 앞에 마이크로미터 이하의 파장 간격으로 구멍을 뚫은 막을 놓고 원자가 이곳을 지나가게 하다면, 원자들의 위치는 파장 간격을 가지게 되고, 이렇게 공진기에 입사한 원자들은 모두 균일한 공진기장의 진폭을 느끼기 때문에 결합 상수가 일정하게 된다.

집속된 이온빔 (focused ion beam, FIB) 방법을 통해 파장 간격의 구멍을 뚫은 나노구멍격자의 이미지가 그림(a)이다. 구멍 사이의 간격은 공진기의 파장 (791nm)과 동일해서 이 구멍을 지나간 원자들은 공진기 안에 들어가서 균일한 결합 상수를 가지고 공진기와 상호작용하게 된다. 또한, 원자빔은 그 자체의 각퍼짐을 가지고 있는데, 이는 나노구멍격자와 공진기 사이의 거리가 커질수록 원자의 국소화 효과를 감소시킨다. 이 문제를 해결하기 위해, 우리는 공진기의 거울면을 보호하면서 기저 부분을 쳐내어 나노구멍격자가 최대한 공진기에 접근할 수 있게 하였고, 그림 (b), (c)에 나타나있다. 현재는 이 나노구멍격자를 더욱 단단히 붙들어 진동의 영향을 덜 받기 위한 시스템 개선 연구도 진행 중이다.

본 연구에서 사용된 공진기-전기역학 마이크로 레이저<sup>(1)(2)(3)</sup>의 실험 장치도가 그림 (d)이다. 초음속 바륨 원자가 오븐에서 나와서 공진기를 향해 진행한다. 이 원자들 중 파장 간격으로 위치한 원자들만이 나노구멍격자를 통과하게 된다. 이들은 펌프 레이저에 의해 들뜬 상태로 여기 되고, 이 상태로 공진기에 입사해서 공진기장과 상호작용을 하며 공진기 모드에 광자를 결맞게 내놓고 나간다. 이러한 일이 반복되면서 공진기에는 광자가 쌓이게 된다. 주요 실험 결과는 그림 (e)이다. 나노구멍격자를 공진기장의 마디에 위치시키면 결합 상수가 0이므로 원자와 공진기의 상호작용이 없어서 공진기에 광자가 쌓이지 않고, 배에 위치시키면 결합 상수가 최대가 되어 공진기 안에 광자가 최대로 쌓이게 된다. 이런 마이크로 레이저 신호를 이용하여 우리가 원자를 마이크로미터 이하로 위치조절을 하였는지 확인하게 된다.

또한 이 나노 구멍 격자를 이용하면 펌프 레이저의 위상을 선택할 수도 있어서, 중첩된 원자로 구동되는 마이크로레이저와 슈뢰딩거의 고양이 상태의 생성 등에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

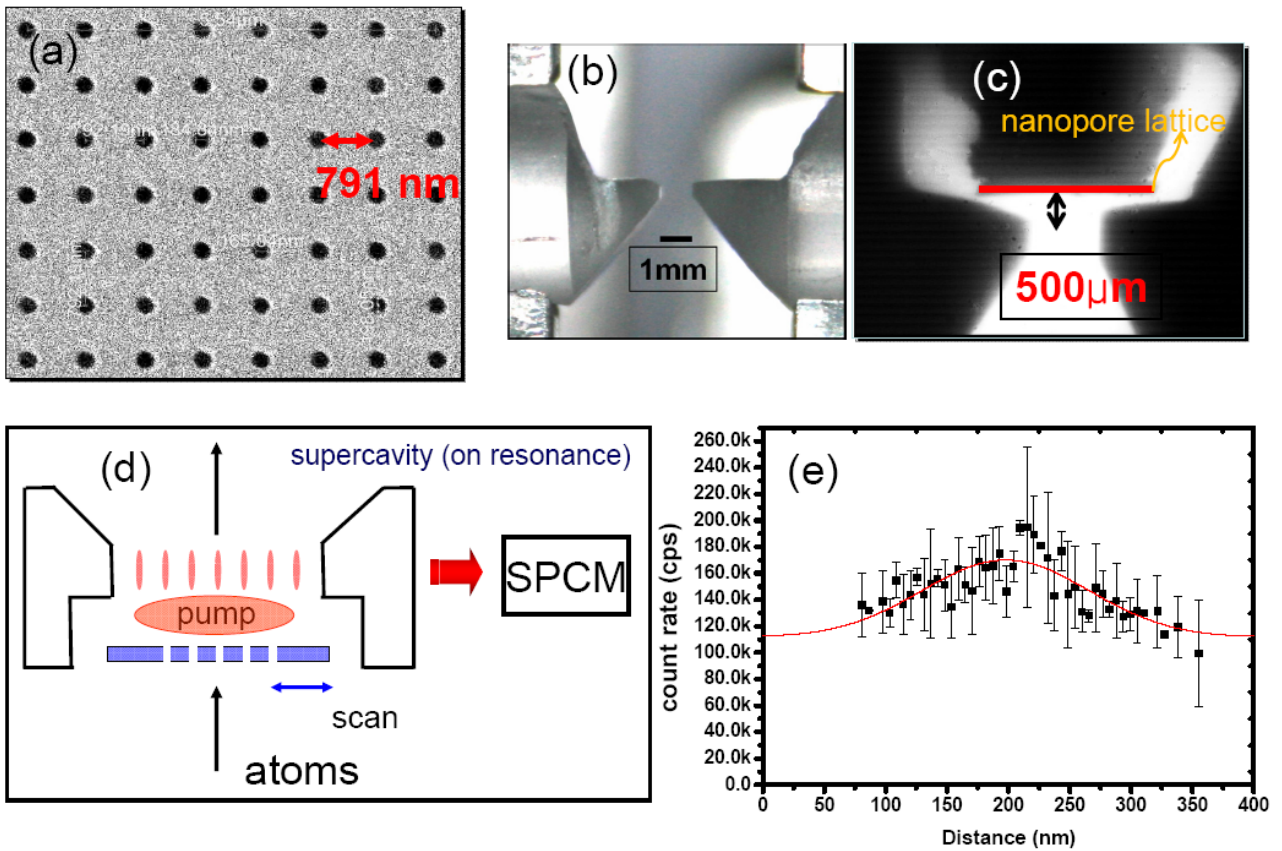


그림 (a) FIB 로 만든 나노구멍격자 이미지. 구멍 사이의 간격은 791nm로 바륨의 공명 주파수와 일치한다. 구멍의 지름은 200nm 정도이다. (b) 나노구멍격자를 공진기에 최대한 가까이 접근시키기 위해 거울면을 잘 보호하면서 기저 부분을 쳐낸 공진기. 이 상태에서도 휘도 100만이 유지되었다. (c) 진공 챔버 안에서 이 공진기에 나노구멍격자가 공진기 모드에 0.5mm까지 접근한 모습. (d) 실험 장치 개략도. 나노구멍격자를 지나간 원자들은 펌프 레이저에 의해 들뜬상태로 여기되고 공진기장과 균일한 결합 상수를 가지고 상호작용하며 공진기에 광자를 결맞게 내어놓고 나간다. 반복적으로 원자들이 지나가며 공진기 안에 광자가 쌓여 발진에 이르게 된다. (e) 나노구멍격자를 마디-배-마디로 이동시킴에 따라 변하는 마이크로레이저 발진 신호. 마디에서는 원자와 공진기 장의 상호작용이 작으므로 신호가 작고, 배에서는 최대의 크기로 상호 작용하므로 신호가 커진다. 현재 나노구멍격자를 붙들고 있는 시스템을 개선하여 진동의 영향을 최소화해 신호의 최대-최소 차이를 더 키우려고 노력 중에 있다.

1. K. An *et al.*, "Microlaser: A Laser with One Atom in the Optical Resonator", *Phys. Rev. Lett.*, **73**, 3375 (1994).
2. C. Fang-Yen *et al.*, "Observation of multiple thresholds in the many atom cavity-QED microlaser", *Phys. Rev. A.* **73**, 041802(R) (2006).
3. W. Choi *et al.*, "Observation of Sub-Poisson Photon Statistics in the Cavity-QED Microlaser", *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 093603 (2006).