

광포획을 이용한 주기적인 구조의 형성

Generation of Periodic Structure by using Optical Trapping

김현익, 임강빈, 오차환, 송석호, 김필수
 한양대학교 물리학과
 dahmulist@hanmail.net

Optical tweezers는 Ashkin이 제안한 이후로 수 마이크로 혹은 그 이하의 입자를 포획, 조작하거나 pN의 힘의 측정이 필요한 분야에 응용되어지고 있다. 일반적으로 빛이라는 것은 광자들의 집합체로서 이 광자의 입자성으로 인하여 외부의 물체와 충돌시 운동량을 전달하게 되고 이것을 '광압(radiation pressure)'이라고 하며 optical tweezers는 이 광압을 이용한 방법중 하나이다. 레이저빔을 입자에 집속 시켜주게 되면 입자는 광압에 의해서 gradient force와 scattering force의 힘을 받게된다. 이중 gradient force를 이용한 optical tweezers는 scattering force를 이용한 광부양(optical levitation)과는 달리 입자를 포획 및 조작할 수 있다는 점에서 현재 물리학뿐만 아니라 여러 학문분야에서 널리 응용되고 있다. 최근에는 이 optical tweezer를 단일입자의 포획이 아닌 다수입자의 포획과 조작을 위해서 여러 가지 방법들이 제안되어지고 있다. ^(1, 2)

본 논문에서는 두 빔에 의한 간섭무늬를 이용해서 동시에 다수의 입자들을 포획하였다. 실험에서는 파장이 1064nm인 Nd-YAG 레이저를 사용하였으며 입자로는 폴리스티렌구(굴절률:1.59)를 사용하였다. 그림 1은 두 개의 레이저빔을 임의의 각도로 입사시켜 주기적인 구조를 갖는 간섭무늬가 chamber 위 부분의 cover glass 근처에 생성되게 하였다. 이 두 빔의 간섭에 의하여 chamber의 횡축 방향으로 주기적인 intensity의 변화가 생기며 입자들은 이 intensity 변화로 인한 gradient force의 영향에 의해 포획되어진다. 그림 2는 2 μ m크기의 폴리스티렌구가 간섭무늬에 따라 포획되어지는 과정을 보여주고 있다. 레이저 빔을 입자들이 있는 chamber로 입사하게 되면 chamber안의 입자들은 두 빔의 광압에 의해서 광부양을 하게 되고 이 광부양된 입자들이 간섭무늬가 형성되는 지점에서 포획되어져 일정한 주기성을 가진 구조가 형성된다.

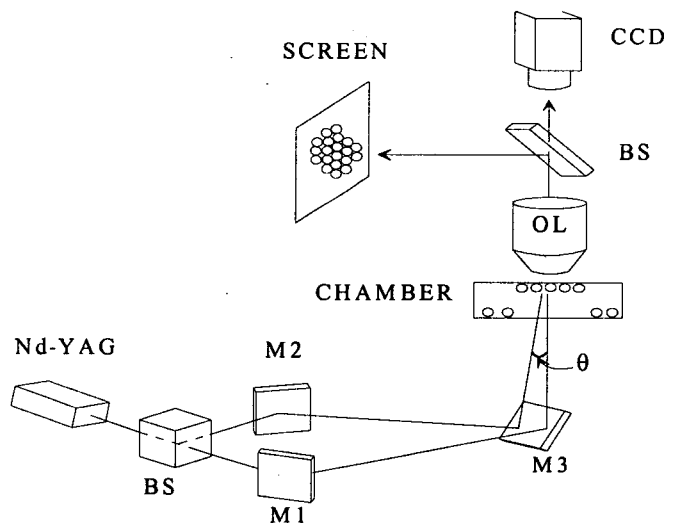


그림 1. 실험장치도

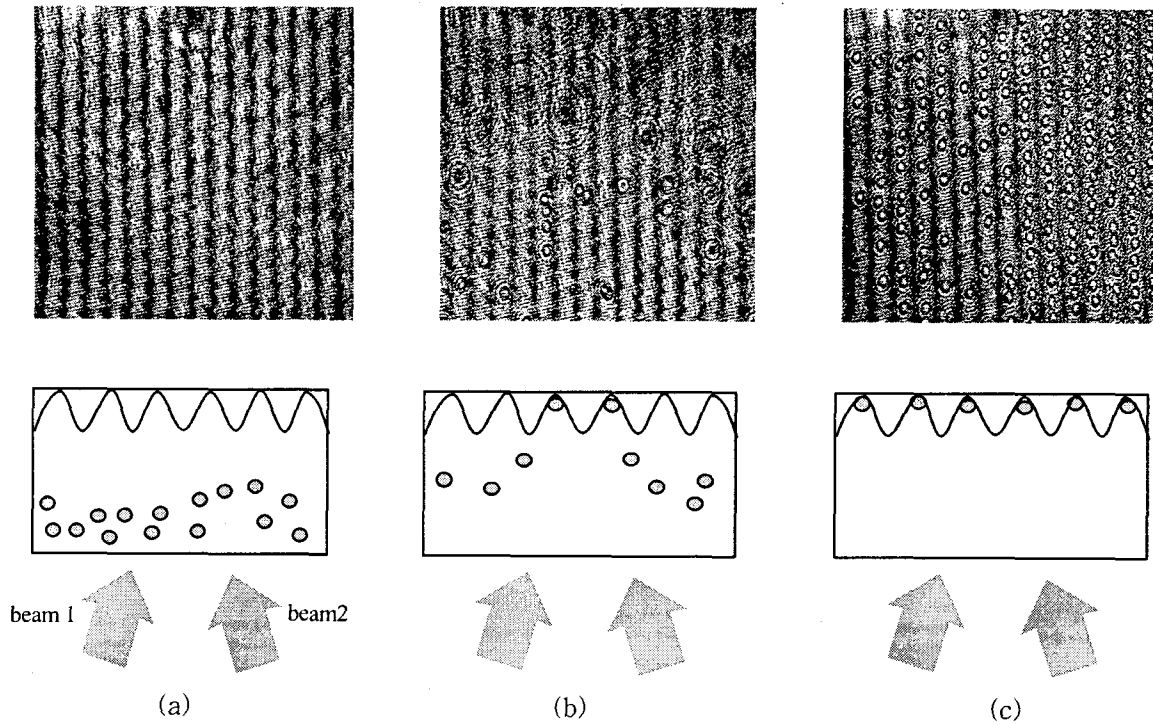


그림 2. 두 빔의 간섭에 의한 포획 과정

그림 2의 (a)는 입자들이 두 빔의 광압에 의하여 chamber의 밑에서 위로 떠오르고 있는 것을 나타낸 것이다. (a)의 위 그림은 두 빔에 의한 간섭무늬를 보여주고 있으며 입자들은 서서히 간섭무늬가 형성되는 지점으로 떠오르고 있는걸 나타내고 있으며 아래 그림은 도식적으로 표현한 것이다. (b)는 떠오른 일부의 입자들이 intensity가 강한 지점에서 먼저 포획되어 지는 것을 나타낸다. (c)는 간섭무늬가 형성된 지점까지 떠오른 입자들이 간섭무늬에 따라서 포획된 것을 나타낸 것이다.

두 빔의 간섭에 의해서 만들어지는 간격 D 는 다음과 같이 주어진다.

$$D = \frac{\lambda}{\sin(\theta/2)}$$

여기서 D 는 간섭무늬의 마디와 마디사이의 간격을 나타내며, λ 는 입사빔의 파장을 θ 는 chamber로 입사하는 두 빔의 사이각을 의미한다.

두 빔의 입사각을 조절함으로써 간섭무늬의 간격을 조절하여 여러 크기의 입자들을 포획해 보았으며, 입자들에 작용하는 optical force를 측정해 보았다. 집속 렌즈와 레이저빔의 편광을 조절함으로써 이 때 optical force의 변화를 측정하였다.

Reference

1. M.M. Burns, J.-Marc Fournier and J.A. Golovchenko, Science, **249**, 749(1990).
2. A.E. Chiou, W.Wang, G.J. Sonek, J. Hong and M.W Berns, Opt. Comm. **133**, 7(1997).