

광굴절 광기전력 매질에서 어두운 공간솔리톤 발생

Dark Spatial Soliton Generation in the Photorefractive Photovoltaic Material

전남희, 전진호, 이재형, 장준성
 서울대학교 물리학과
 jnh@photon.snu.ac.kr

공간솔리톤(spatial soliton)은 빔이 매질을 진행할 때 자기집속 효과(self-focusing effect)와 자기확산 효과(self-defocusing effect)에 의해서 회절이 보상되어 형성된다. Kerr 매질에서는 굴절률의 변화가 빔의 세기에 비례하므로 솔리톤을 발생시키기 위해서는 수 MW/cm^2 이상인 빔의 세기가 요구된다.

광굴절 매질은 광굴절효과에 의해서 굴절률의 변화로 공간솔리톤을 발생시킨다. 비균일한 빔이 매질에 입사되면 전도대로 여기된 free carrier가 분포 차이에 의해서 확산이 일어나게 된다. 그리고 외부에서 걸어준 전기장 및 광기전력 효과로 인한 drift가 일어나게 되고 이것에 의해 생긴 공간 전하장(space charge field)에 의하여 굴절률의 변화가 생긴다.

광굴절 매질중 광기전력 효과(photovoltaic effect)를 갖는 $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ 은 굴절률의 변화가 음수인 자기확산 효과를 갖는 물질이다. 이때 carrier는 물질의 극성에 의해 광축방향에 대하여 선호하는 방향으로 더 많이 이동하게 되고 이렇게 형성된 굴절률의 변화는 내부 전기장에 비례하고 다음과 같다.

$$\Delta n = -\frac{1}{2} n_b^3 r E_p \frac{I/I_d}{1+I/I_d}$$

따라서 Kerr와 다르게 광굴절 광기전력 매질에서는 굴절률의 변화가 빔의 절대적인 세기인 I 가 아닌 I/I_d 에 의존하고 수 mW/cm^2 또는 수 W/cm^2 인 빔의 세기로도 공간솔리톤을 발생시킬 수 있다. 또한 어두운 공간솔리톤에 의한 굴절률의 변화로 다른 빔을 유도해 낼 수 있다.

본 실험은 광축방향으로 빔의 세기가 변할 때 생긴 굴절률의 변화로 발생한 어두운 공간솔리톤과 발생된 솔리톤에 의한 광도파로(waveguiding)의 관측에 관한 것이다. 어두운 공간솔리톤의 발생을 위한 실험 장치도는 그림 1과 같다. 입사빔으로는 파장이 488nm 인 cw Ar^+ 레이저 빔을 이용하고 빔의 편광방향은 $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ 결정의 c축인 광축방향과 평행하게 하였다. Phase mask를 이용하여 위상차가 π 가 되도록 하여 어두운 부분을 만들어 주고 CCD(charge coupled device)로 빔의 모양을 관측하였다. 그리고 어두운 공간솔리톤에 의한 광도파로 실험에서 이용된 probe beam으로는 파장이 633nm 인 He-Ne 레이저 빔을 이용하였다.

그림 (2)는 원통렌즈를 이용한 것이고 phase mask의 corner부분을 빔의 진행방향에 놓

있을 때이며 빔의 세기 변화의 방향에 따른 빔의 모양을 관측한 것이다. 빔의 세기는 10 W/cm^2 이며 정상상태로 되는데 3분이 걸렸다. 빔의 세기 변화가 광축방향일 때 어두운 부분이 좁아 졌다. 그러나 빔의 세기 변화가 광축에 수직일 때는 아무런 변화가 없었다. 따라서 광축방향으로 빔의 세기가 변할 때 굴절률의 변화가 일어나고 솔리톤도 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 그림 (3)은 Ar⁺ 레이저를 이용한 어두운 공간솔리톤과 여기에 유도되는 He-Ne 레이저 빔에 관한 빔의 모양이다. 빔의 세기는 6.9 W/cm^2 이며 정상상태로 되는데 6분이 걸렸다. He-Ne 레이저 빔이 어두운 부분을 통과할 때 집속효과가 나타났다. 그러므로 probe beam은 매질에 입사될 때의 빔 모양을 그대로 유지하면서 매질내를 진행함을 알 수 있다.

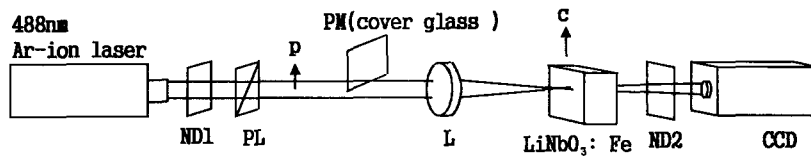


그림 1. 어두운 공간 솔리톤 발생을 위한 실험장치도

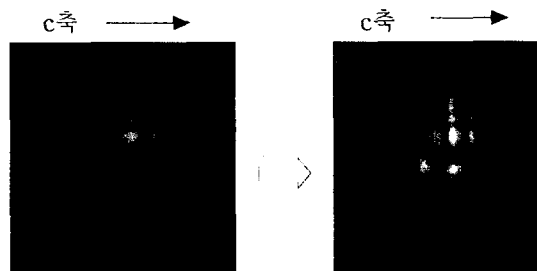


그림 2. 원통렌즈를 이용한 빔의 단면

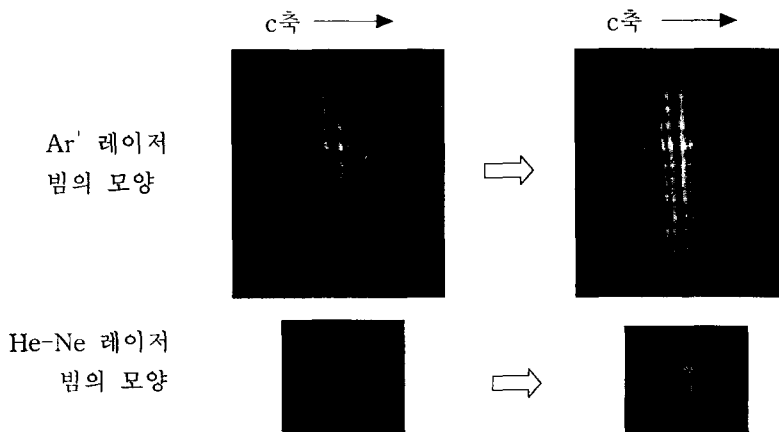


그림 3. 어두운 공간솔리톤과 He-Ne 레이저의 빔의 모양

참고문헌

1. G. C. Valley, M. Segev, B. Crosignani, and A. Yariv, Phys. Rev. A **50**, 4457 (1994)
2. Minoru Taya, M. C. Bashaw, M. M. Fejer, M. Segev, and G. C. Valley, Phys. Rev. A **52**, 3094 (1995)