

상호 결합된 Nd:YAG 레이저사이의 위상동기화

Phase Synchronization in coupled Nd:YAG Lasers

최무한, 박영재, 콘스탄틴*, 김철민*, 김규욱**,
 서강대학교 물리학과, 광혼돈제어연구단*, 금오공과대학교 자연과학부**
 mhchoi@physics3.sogang.ac.kr

최근 상호 결합된 chaotic 진동자들 간의 동기화의 문제는 그 시스템이 가지는 여러 가지 응용성 때문에 여러 과학 분야와 기술 분야 예를 들면 동력학, 레이저 동력학, 전자회로, 화학반응, 생물학적인 시스템 등에서 폭넓게 연구되어지고 있다. 더욱이 작은 파라미터의 차이를 제외하고 거의 유사한 chaotic 진동자들간의 상호작용에서 찾아 볼수 있는 위상 동기화 현상은 뇌세포 조직과 같은 생물학적인 시스템들 사이에 흔히 찾아 볼 수 있는 기본적인 현상이다. 이와 같은 상호 작용하는 진동자들과 동기화현상은 결합 세기의 증가(the coupling strength increase)에 따라 비동기화 된 상태에서 위상 동기화 상태로 가고 또 더 진행하여 lag synchronization 상태를 거쳐 완전한 동기화(perfect synchronization)로 가는 모델이 보고 되어있다.^{1,2} (여기서 위상 동기화 상태란 두 시스템이 같은 위상을 가지지만 그들의 진폭은 아무런 연관성이 없는 상태를 의미한다. lag synchronization 상태는 두 시스템이 약간의 시간차를 두고 위상과 진폭 모두 완전한 일치를 이루는 상태를 의미한다) 그러나 우리는 아래와 같은 레이저 실험을 통해 위 특성과 다른 특성을 보이는 결과를 얻었다.

본 연구는 비슷하지만 완전히 같지 않은 두 Nd:YAG 레이저 시스템을 결합(couple)시켜서 결합 세기에 따른 위상들의 상호관계의 변화를 관측하고 그 특성을 연구하고자 하는 것이다. 이를 위해서 그림 1 과 같은 실험 장치를 꾸며서 실험을 하였으며, 주목할 것은 각각 독립적으로 발진가능한 두 레이저의 출력 일부(~5% 이내)를 서로 교환하게 한 것이다. 결합 정도는 가운데 Glan-Thompson polarizer의 각도를 바꿈으로써 조절하였다. 그림 2는 레이저 신호를 시간에 대해 표시한 것이다.

우리가 이 실험을 통해 얻은 흥미롭고 색다른 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다. 첫째는 그림 3에서와 같이 위상의 차이가 불규칙하게 위 아래로 $+2\pi$ 혹은 -2π 로 변화한다는 것이다. 이는 일반적으로 한 방향으로 지속적으로 증가하거나 감소하는 다른 그룹의 결과와 다른 것이다. 둘째는 두 시스템이 위상 동기화가 일어날 때 위상 Shift 없이 일어난다는 것이다. 레이저들 간의 위상 동기화 상태에 완전한 동기화 상태로 진행할 때 위의 레이저 시스템은 lag synchronization 상태를 거치지 않고 전이한다. 더욱이 완전한 동기화(perfect synchronization)로 가기 전에 두 레이저 간의 위상의 차이가 불규칙적인 burst를 보인다는 점이 세 번째로 주목할 만 점이다.

그림 4 (a)는 불규칙한 chaotic burst가 onoff 간헐성의 특징을 따른다는 것을 보여준다.³ 그림 4 (b)는 평균 위상동기구간을 결합 세기에 대해 그 관계를 그린 것인데, 그 관계가 eyelet 간결성의 특징을 보여 줌을 말하는 것이다.⁴

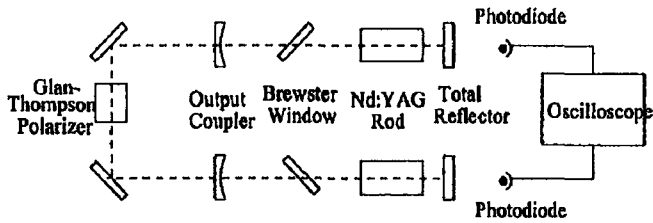


그림 1. 실험장치도

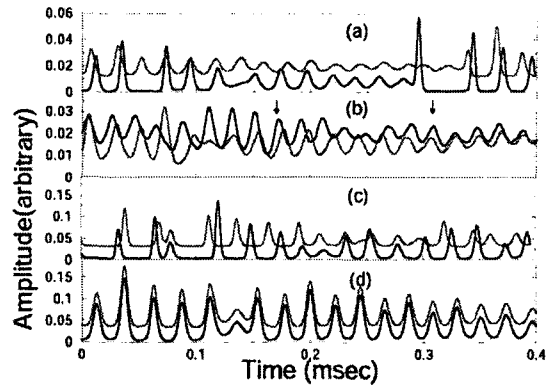


그림 2

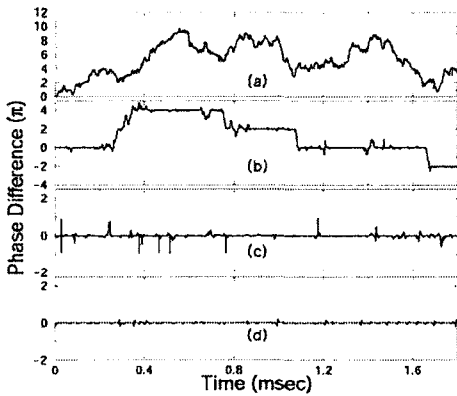


그림 3

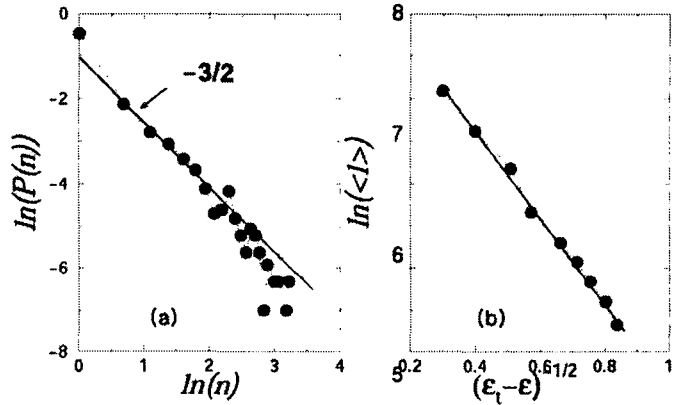


그림 4

그림2. 시간 변화에 따른 두 레이저의 출력변화: the angles of the Glan-Thompson polarizer is (a)90°, (b)45°, (c)15°, and (d) 0°.

그림3. 결합 세기에 따른 두 레이저의 위상차 (a) non-synchronous state when the angle is 90°, (b) phase jump state when 20°, (c) phase synchronization when 15°, and (d) complete synchronization when 0°.

그림4. Scaling behavior of the average phase-locking time according to the coupling strength: (a) the average time versus the coupling strength and (b) versus .

References

1. M. Rosenblum, A. Pikovsky, and J. Kurths, Phys. Rev. Lett. 76, 1804 (1996)
2. M. Rosenblum, A. Pikovsky and J. Kurths, Phys. Rev. Lett. 78, 4193 (1997)
3. J. F. Heagy, T. L. Carroll and L. M. Pecora, Phys. Rev. A 50, 1874 (1994)
4. K. J. Lee, Y. Kwak, and T. K. Lim, Phys. Rev. Lett. 81, 321 (1998)