

냉각원자에서의 비선형광학

Nonlinear Optics in cold atom

강훈수

고등광기술연구소 레이저분광학 연구실

hunskang@gist.ac.kr

단일 광자의 제어를 위한 비선형광학은 전자기유도무과현상을 이용하여 단일 광자의 속도를 제어하거나 단일 광자의 양자 상태를 원자의 스핀상태로 저장하는 기술로 구현되어 많은 관심을 불러왔다. 거대 커 효과를 가지는 N 형 4준위 전이선의 이론과 실험에서의 연구는 단일광자를 이용한 단일 광자의 제어를 제안하였고, 이는 양자 전산과학에서의 논리회로의 구현을 비선형광학으로 가능성을 예측하고 있다. 본 연구는 N형 4준위 전이선에서의 거대 커 효과를 실험적으로 입증하고, 이를 이용한 사광과 혼합, 육광과 혼합, 위상 제어를 이용한 광 스위칭 효과 등의 실험적 관측에 관한 것이다.

1. 거대 커 (large Kerr) 효과

결맞음 4준위 두비들 원자에서 선형 흡수가 제거되는 큰 커 효과를 실험적으로 관찰 하였다⁽¹⁾ (그림 1). 전자기유도무과현상에 의해 입증된 양자 결맞음과 간섭은 선형 흡수를 제거하고 낮은 광 세기에서 비선형 감수율을 증가 시킨다. N형 4 준위 전이선에서는 전통적인 3준위의 커 비선형성 보다 수 천 배 크다

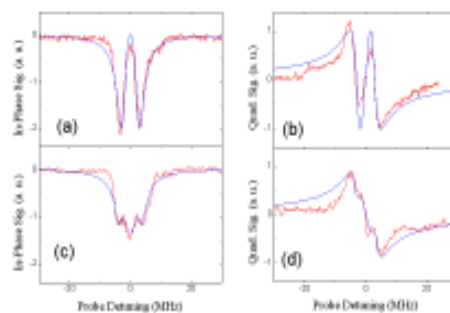


그림 1. (a),(b) Λ 형 전이선에서의 흡수와 분산 (c),(d) N형 전이선에서의 흡수와 분산

2. 사광과 혼합

4 준위 계에서의 전자기유도무과현상은 선형 감수율을 제거하고 비선형 감수율을 증대 시키는데 이것은 공진되어 향상된 저속 광 4 광과 혼합을 가져온다⁽²⁾. 그림 2에서와 같이 냉각 무비들원자에서 공진 4 광과 혼합을 관측하였다. 사광과 혼합의 효율을 100% 까지 증대 시킬 수 있고, 이는 단일 광자를 이용한 과장 변환을 100%로 할 수 있다는 것이다.

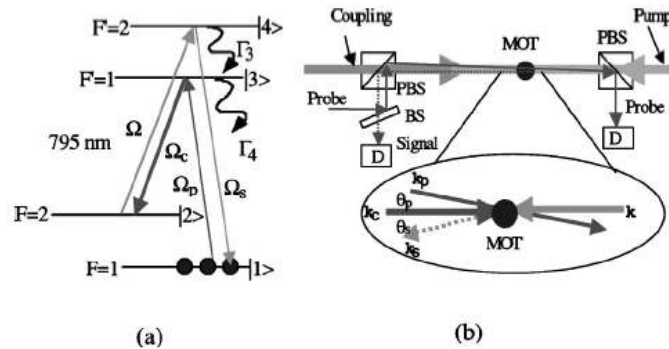


그림 2. (a) 루비듐 D1 전이선에서의 4준위 전이선 (b) 사광과 혼합 실험 장치

3. 육광과 혼합

결맞음성을 갖는 루비듐원자에서 공진되는 6 광과 혼합을 실험적으로 관측하였다¹³⁾. 4 준위 계에서의 전자기유도무과현상은 선형 흡수를 제거하고 비선형 감수율을 증대시키는데, 이것은 공진되어 증가된 6 광자 혼합을 낮은 광 세기에서 일으킨다. 그림 3에서와 같이 6광과 혼합에서의 광의 방출은 정상과에 의해 4 준위 계에서 유도된 공진 비선형 격자에서의 저속 광 브래그 회절의 결과로 간주될 수 있다.

4. 위상 제어틀 이용한 광 스위칭

단일 광자 여기와 3 광자 여기 간의 간섭과 광의 감쇠와 무과의 위상제어를 4 준위 계에서 관측하였다¹⁴⁾. 보강 또는 소멸 간섭은 미약한 제어광의 위상이나 주파수를 변화시킴으로서 조절 된다. 서로 다른 주파수 와 아주 미약한 세기의 광에서 한 광자를 다른 광자를 이용해 흡수 스위칭을 할 수 있다.

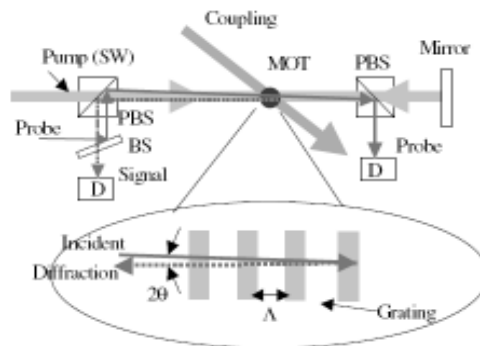


그림 3. 6광과 혼합을 위한 실험 장치.

5. 결론

지금까지 소개된 냉각원자에서의 비선형 광학은 높은 3차 비선형 효율을 이용하여 단일 광자의 제어에 적극 활용 될 전망이다. 냉각 원자에서의 비선형 광학은 최근에 양자 구조를 가진 반도체에서도 관측되어 광자 제어 기술이 반도체 집적회로에서 구현 될 전망이다.

참고 문헌

1. H. Kang et al. **Physical Review Letters**, 91, 093601 (2003)
2. H. Kang et al. **Physical Review A**, 70, 61804(R) (2004)
3. H. Kang et al. **Physical Review Letters**, 93, 073601 (2004)
4. H. Kang et al. **Physical Review A**, 73, 11802(R) (2006)