

## 사마리움 원자증기에서 펄스 전자기유도투과와 자체집속 및 확산의 제거

### Pulsed electromagnetically induced transparency and elimination of self-focusing or self-defocusing in atomic samarium vapor

오명규, 이원규\*, 최원식, 전진호, 안경원, 이재형

서울대학교 물리학과, \*한국표준과학연구원

omk@photon.snu.ac.kr

전자기 유도 투과란 매질 속을 진행하는 빛의 투과가 다른 강한 빛의 작용으로 증가하게 되는 결맞음 현상을 말한다. 이러한 전자기 유도 투과는 또한 굴절율의 변화를 동반하게 되며, 그 결과 매질을 진행해 나가는 레이저빔은 유도 집속 및 확산, 또는 자체집속 및 확산의 제거 등을 겪게 된다<sup>(1)</sup>. 이러한 원리를 이용하여 M. Jain 등은 납 증기에서 원공명 조건의 결맞음 밀도 포획을 이용한 자체집속의 제거에 성공한바 있다<sup>(2-4)</sup>. 본 연구에서는 사마리움(Sm) 원자 증기에서 근공명 조건임에도 불구하고 전자기 유도 투과를 이용하여 탐색광의 자체집속과 확산 현상을 거의 완전히 없앨 수 있었다.

본 실험에서는  $\Lambda$ 형 전자기 유도 투과를 위하여, Sm원자의 3준위계를 사용하였다. 상태  $|1\rangle$ ,  $|2\rangle$ ,  $|3\rangle$ 은 각각  $4f^6 6s^2(^7F_4)(2273\text{cm}^{-1})$ ,  $4f^6(^6H^0)5d6s^2(^7H^0_5)(21063\text{cm}^{-1})$ ,  $4f^6 6s^2(^7F_5)(3125\text{cm}^{-1})$ 에 해당한다.

단일 모드로 발진하는 Q-스위치 Nd:YAG 레이저의 제2고조파가  $1 \leftrightarrow 2$  전이 ( $f = 0.032$ )의 결합광으로서 사용되었고, 557nm의 펄스 색소 레이저가  $2 \leftrightarrow 3$  전이 ( $f = 0.01$ )에 대하여 탐색광으로서 사용되었다. 결합광은 주파수 선포 ( $\Delta\omega/2\pi$ )이 90MHz 이내이며, 시간폭은 약 8ns이었다. 한편, 색소 레이저의 주파수 선포는 평균 약 2GHz, 시간폭은 약 8ns이었다. Cutoff 파장이 550nm인 칼라필터를 사용하여 결합광을 차단하고, 통과한 탐색광의 세기는 반응시간이 1ns 이내인 포토다이오드를 사용하여 측정하였다. 오븐의 온도가 약  $700^\circ\text{C}$  ( $N_1 \sim 7.2 \cdot 10^{11}\text{cm}^{-3}$ ,  $N_2 \sim 2.4 \cdot 10^{11}\text{cm}^{-3}$ )가 되게 하여 실험을 수행하였다. 우리는 탐색광과 결합광의 주파수 어긋남 (수 GHz 이내에서), 결합광의 라비 주파수, 두 펄스 사이의 시간 간격 등을 변화시켜 가며 탐색광의 투과율을 측정하였다. 특히, 두 펄스가 최대로 겹치고, 결합광과 탐색광이 이광자 공명(라만 공명) 조건일 때, 결합광의 라비 주파수를 점차로 증가시키면 탐색광의 출력 세기(output)가 점차로 증가하다가 어느 지점 ( $2 \sim 3\text{GHz}$ )에서 최대값을 갖게 되며, 다시 점차로 감소하여 충분히 큰 라비 진동수에서는 입력세기와 같아지게 되는 것을 관측하였다[그림. 1]. 특이할 점은 탐색광의 출력이 최대가 되는 지점에서 출력값이 입력값보다 오히려 크게 됐다는 점이다. 우리는 분석 결과 그 이득은 유도 라만 산란에 의한 것이며 충분히 큰 라비 진동수에서의 투과율의 증가는 전자기 유도 투과라는 결론을 얻었다.

다음으로 전자기 유도 투과를 이용한 탐색광의 비선형 효과를 제거하는 실험을 수행하였다. 이번에는 포토 다이오드 대신 CCD 카메라를 사용하여 빔의 단면을 관측하였고, 탐색광이 자체집속 및 확산을 일으킬 수 있게 하기 위하여 탐색광의 세기를 크게 하고 ( $I_{\text{peak}} = 30\text{kW/cm}^2$ , 라비 진동수가  $2.5\text{GHz}$ ), 원자 증기의 밀도를 높이기 위해서 온도를  $900^\circ\text{C}$ 로 하였다. 라비 진동수가  $60\text{GHz}$ 인 결합광을 이광자 공

명 조건에서, 탐색광 보다 2nsec 앞서 진행시켰을 때 탐색광의 자체 집속 및 확산의 제거를 관측할 수 있었다[그림. 2, 3]. 그림. 2는 탐색광, 결합광이 모두 10GHz 청색 어긋났을 때 탐색광의 자체 집속이 사라지는 것을, 그림. 3은 7GHz 적색 어긋났을 때 자체확산과 conical emission이 사라지는 것을 보여준다. 이때, 탐색광의 투과율은, 그림. 2에서는 탐색광 혼자서 진행할 때 65%이던 것이 결합광이 같이 진행해 갈 때 100%로, 그림. 3에서는 43%에서 100%로 증가하였다. 이는 모두 전자기 유도 투과에 의한 결과임을 증명한다.

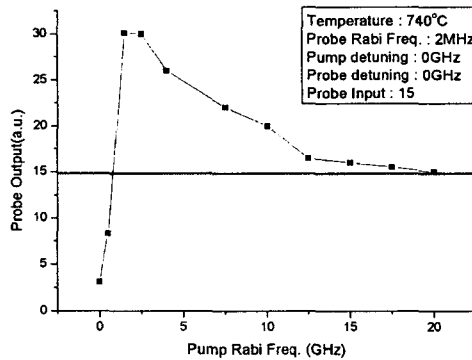


그림. 1 결합광의 라비 진동수에 따른 탐색광의 출력 변화

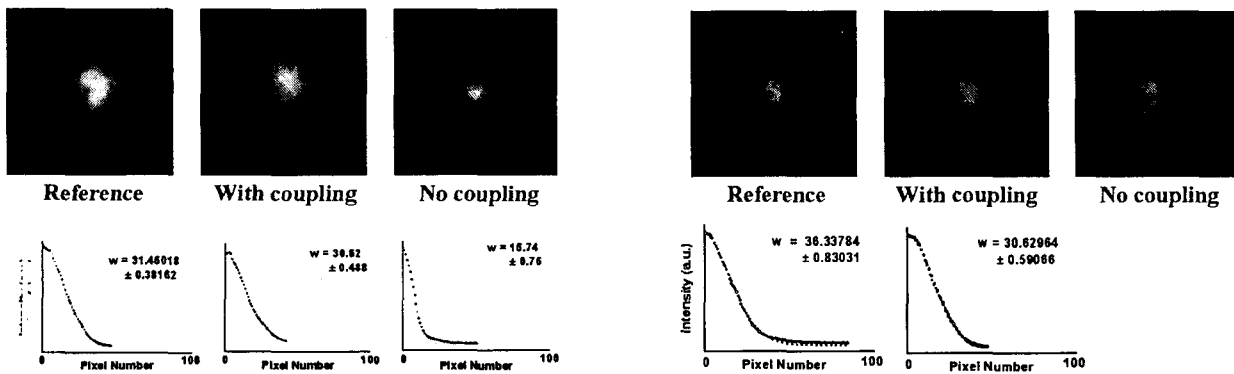


그림. 2 자체 집속의 제거. 아래는 모든 방향 성분에 대하여 평균한 빔의 세기 분포

그림. 3 자체 확산의 제거. 아래는 모든 방향 성분에 대하여 평균한 빔의 세기 분포

1. Richard R. Moseley, *et al.*, *Phy. Rev.Lett.*, 74, 670 (1995).
2. A. Kasapi, *et al.*, *Phy. Rev. Lett.*, 74, 2447 (1995).
3. Maneesh Jain, *et al.*, *Phy.Rev.Lett.*, 75, 4385 (1995).
4. S. E. Harris, *Opt. Lett.*, 19, 2018 (1994).