

속도선택 포화흡수분광을 이용한 분산형 신호의 관측

Observation of Dispersion-like Signal using Velocity-Selective Saturated Absorption Spectroscopy

박상언, 조혁, 권택용*, 양성훈*, 이호성*
충남대학교 물리학과, *표준과학연구원 시간주파수 그룹
parkse@kriss.re.kr

포화흡수분광(saturated absorption spectroscopy)^[1]은 원자나 분자의 도플러 선평확대를 제거할 수 있는 고분해 분광법 중의 하나이다. 이 방법은 조사하려는 매질에 서로 반대방향으로 진행되는 펌프광과 조사광을 비추어, 펌프광의 주파수가 원자의 에너지 준위에 공진될 때, 매질 내에서 조사광의 흡수가 달라지는 현상을 이용하는 것이다. 특히 알카리 원자의 경우, 바닥상태에 두 개의 초미세준위를 가지고 있고 들뜬상태의 수명이 짧으므로 약한 펌프광에 의해서도 쉽게 이 현상을 관찰할 수가 있다(그림 1 (a), 그림 2 (a)).

본 연구에서는 세슘 증기셀을 이용하여 포화흡수분광을 할 때, 조사광과 펌프광이 일정한 각도를 가지고 교차되는 경우(그림 1 (b), 그림 2 (b)) 그 분광신호의 변화를 관찰하였다. 그리고 이 분광신호를 이용하여 분산모양의 신호를 얻을 수 있었다(그림 1 (c), 그림 2 (c)). 레이저의 주파수를 안정화할 때 그림 2 (c)와 같은 분산모양 신호의 기울기를 이용하면 레이저의 주파수를 변조할 필요가 없을 뿐만 아니라 lock-in 앰프등과 같은 복잡한 장치 없이 비례, 적분기만을 이용하여 레이저의 주파수를 안정화 할 수 있다.

그림 1 (a)와 같이 조사광과 펌프광이 서로 마주보며 진행되는 경우 조사광과 펌프광에 수직으로 진행되는 원자들만이 포화되므로 정확히 원자의 공진주파수에서 Lamb-dip이 나타나게 된다. 그러나 그림 1 (b)와 같이 조사광과 펌프광이 각 θ 를 이루며 교차하는 경우 조사광에 의한 도플러 이동량과 펌프광에 의한 도플러 이동량이 같은 원자들만이 신호에 기여하게 되므로 그림 2 (b)와 같이 두 개의 Lamb-dip이 겹쳐진 행태로 나타나게 된다. 이러한 조건이 만족되는 원자의 진행각은 $(\pi + \theta)/2$ 가 되며, 증기셀 내의 원자들은 Maxwell 속도분포를 이루고 있으므로 관찰되는 포화흡수신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I(f) \propto \int_{-\infty}^{+\infty} M(v)L(\Delta f) dv$$

여기서, $M(v)$ 는 Maxwell 속도분포, $L(\Delta f)$ 는 Lorentzian분포, $\Delta f = (v/\lambda) \sin(\theta/2)$ 는 속도가 v 인 원자의 Doppler 이동을 나타낸다.

그림 1 (c)의 경우 두 조사광이 각각 서로 반대방향의 속도를 가진 원자들을 선택하기 때문에 $+\Delta f$ 와 $-\Delta f$ 의 도플러 이동된 Lamb-dip을 가지게 된다. 따라서 이 두 신호의 차동성분을 보면 그림 2(c)와 같이 분산모양의 신호를 얻을 수 있었다.

그림 3은 그림 1 (c)의 실험장치에서 펌프레이저의 각도를 바꾸어 가며 얻은 분산모양의 신호이다.

이 신호에서 주파수 편이가 0인 부근의 기울기(단위 주파수편이당 신호의 크기: $\Delta V/\Delta f$)를 나타낸 것이 그림 4이다. 분산모양 신호의 기울기는 펌프광의 각도가 약 1.5 도일 때 가장 큰 결과를 얻을 수 있었고, 계산결과와도 잘 일치하였다.

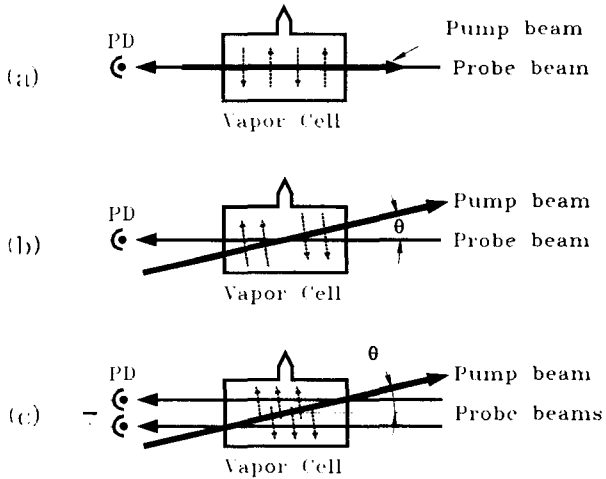


그림 1. (a) 기존의 포화흡수(SA)분광 실험, (b) 속도선택 포화흡수(VSSA)분광 실험, (c) VSSA 분광을 이용한 분산형 신호를 얻는 실험장치도.

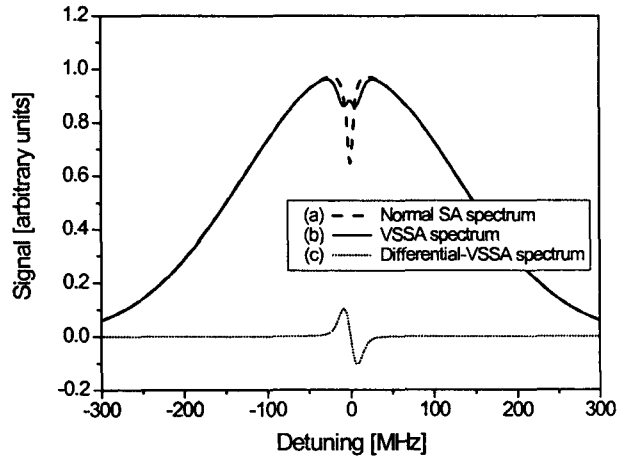


그림 2. 계산된 분광신호; 각각 그림 1의 (a), (b), (c)에 해당됨.

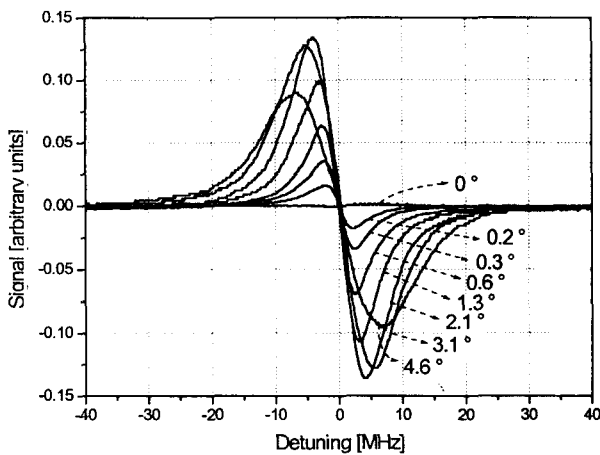


그림 3. 펌프광의 각도에 따른 분산형 신호의 변화, (Cs D₁ 전이선 F=4 → F'=3).

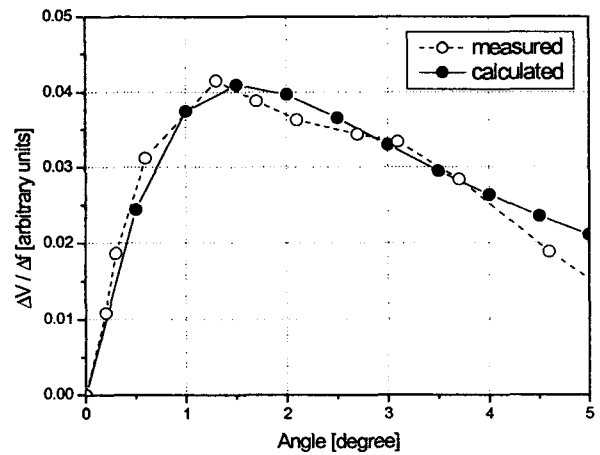


그림 4. 분산형 신호의 기울기.

참고문헌

[1] W. Demtröder, *Laser Spectroscopy*, Springer, 1996.