

비공명펌프 사광자혼합 : 3차 비선형 레이저 분광법을 위한 새로운 위상정합법

Nonresonant-Pump Four Wave Mixing : New Scheme of Phase Matching for Third Order Nonlinear Laser Spectroscopy

이은성, 최대식*, 이재용*, 한재원**

인제대학교 광공학과, *한국표준과학연구원 광기술표준부, **연세대학교 기계공학과
eslee@ijn.inje.ac.kr

3차 비선형 광학현상을 이용한 레이저 분광학은 코헤런트 반스톡스 라만산란(Coherent Anti-Stokes Raman Scattering, CARS)이나 축퇴 사광자혼합(Degenerate Four-Wave Mixing, DFWM)이 기계공학의 연소진단이나 화학분야에 응용된 이래 활발히 연구되어져왔다.[1] 비선형 광학현상의 특성상, 발생한 신호는 입사 레이저광들의 위상정합조건이 만족되는 특정한 방향으로만 진행하고 레이저광처럼 가간섭성을 갖는다. 따라서 선형 분광학(레이저 유도형광, 광산란 분광학등)에서 얻어지는 신호가 사방으로 흩어지고 비가간섭성이라는 단점을 극복해 매우 큰 응용성을 보여준다. 특히 시료 주위에 아주 강한 광학적 배경잡음이 존재하는 경우에 신호양의 감소 없이 잡음이 약한 곳으로 멀리 가져와 측정하므로써 높은 신호 대 잡음비를 보여준다. 그리고 간섭성을 가진 잡음을 소멸간섭으로 제거해 원하는 신호만을 선택적으로 측정할 수 있다. 또한 입사광들이 모두 만나는 아주 작은 영역에서만 신호가 발생하므로 측정의 공간분해능도 매우 높다. 이러한 사광자 혼합법을 이용한 신호발생은 매질내에 생성된 회절격자 효과로서 이해되어 질 수 있다. 두 개의 펌프광이 매질내에서 여러 입사편광조건에 따라 다양한 형태의 간섭을 일으키고 매질이 이에 반응하여 공간적으로 주기성을 갖는 격자형태 변형을 갖는다. 주기적으로 변조된 이 매질은 균질한 내부 분포를 갖던 원래 매질과 다른 광반응을 보이게 된다. 펌프광에 의해 변형된 이 매질의 탐침광에 대한 광반응은 유효 1차 감수율($\chi_{\text{eff}}^{(1)} = \chi^{(3)} E_1 E_2$)로 표현할 수 있는데, 회절격자 벡터와 매질의 주파수특성이 이 감수율내에 포함되어 있다. 따라서 매질의 고유한 주파수에 맞는 입사광만이 큰 변조폭의 회절격자를 형성하고 탐침광은 이에 강한 회절을 하게 된다. CARS의 경우는 두 입사 펌프광의 주파수 차가 매질의 라만이동(Raman Shift)과 일치할 때 강한 회절격자를 형성하게 되는데, 이 때 형성된 격자는 주파수 차에 비례하는 속도로 움직인다. 따라서 회절된 탐침광의 주파수도 라만이동 만큼 변이된다. DFWM의 경우는, 같은 주파수를 갖는 두 펌프광이 매질의 고유 주파수와 공명일 때 강한 회절격자를 형성하게 되는데 강한 전자전이공명(electronic resonance) 때문에 아주 약한 펌프광에 의해서도 쉽게 포화효과(signal saturation)를 보인다. 이 포화현상은 정량적 분광학에서 매우 취급하기 곤란한 영향으로 작용하여 스펙트럼의 해석을 어렵게 만든다.[2] 따라서 스펙트럼측정을 아주 낮은 레이저 출력에서 수행해야 하는데, 이는 신호대 잡음비의 저하를 가져온다. 이번 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위해 비공명펌프광을 포함한 새로운 형태의 위상정합법을 시도하였다. 즉, 매질과 공명을 유지하기 위해 파장가변인 펌프광을 비공명의 고정된 주파수로 대체하고 입사펌프광들의 각도를 조절하여 위상정합조건을 만족하도록 하였다.(그림1) 이렇게 하여 충분히 높은 고출력에서도 포화를 막을 수 있었고, DFWM에서 도달할 수 없었던 신호수준 이상에서도 신호의 세기가 포화되지 않음을 관찰

하였다. 펌프광의 파장 532 nm를 이용해 아세틸렌화염의 C₂ 분자(탐침광 ~514nm)와 부탄화염 내에 존재하는 OH 라디칼(~306nm)의 전자전이 스펙트럼을 광대역 탐침광의 single shot으로 측정하여 그림2에 나타내었다. 이러한 방법의 또 다른 장점은, 신호광과 같은 파장을 가진 입사광은 오직 탐침광 하나이기 때문에 펌프광의 출력을 높이고 탐침광의 세기를 줄여 주파수 영역에서의 잡음제거를 더욱 효율적으로 할 수 있다는 점이다. 그밖에 광대역 자외선광원을 이용한 분광학이 용이해 진다는 또 다른 장점이 있다. 즉, 비선형 레이저 분광학을 위한 고출력 광대역 자외선광원의 개발이 좀처럼 쉽지 않으므로 약한 탐침광에 이용하면 되기 때문이다.



그림1. 비공명펌프 사광자 혼합의 위상정합과 레이저빔 정렬

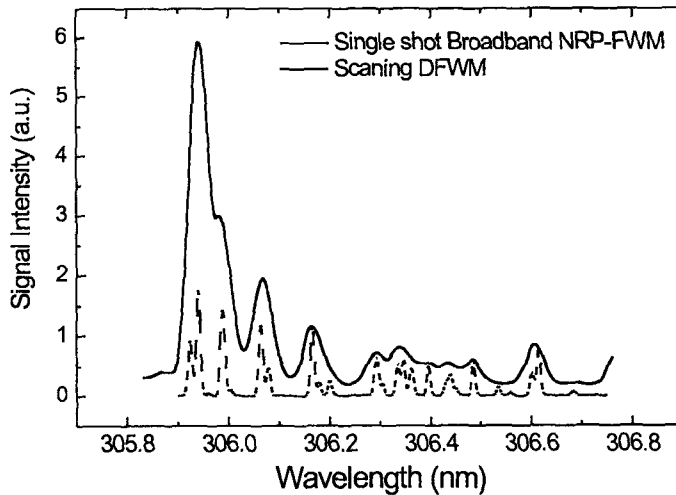


그림2. 광대역 비공명펌프 사광자 혼합 분광법으로 측정된 OH 라디칼의 R1,R2 가지 스펙트럼. (점선은 주파수 주사형으로 측정된 고분해능 DFWM 스펙트럼)

참고문헌

1. A. C. Eckbreth, Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species (Abacus, Cambridge, Mass., 1988).
2. D. H. Yoo, J. H. Lee, J. S. Chang, J. S. Ryu, J. W. Hahn, and P. M. Danehy, J. Opt. Soc. Am. B18, 1111(2001).

T
E