

C<sub>2</sub> 분자의 축퇴사광파 혼합 스펙트럼 분석 및 고온 측정Degenerate four-wave mixing spectrum study of C<sub>2</sub> molecules for high temperature measurement

주정진, 류재석, 박철웅, 한재원

한국표준과학연구원, 양자연구부, 고온광계측그룹

e-mail 주소 : jjju@kriss.re.kr

레이저 분광법을 이용한 온도 측정법은 비접촉 및 높은 시간과 공간 분해능 때문에 연소상태, 플라즈마공정등 측정 환경이 유해하여 접촉식 측정이 용의하지 못한 분야에서 널리 활용되고 있다. 선형 분광법으로 레이저유도 형광법(LIF)이 사용되고 있지만 주변 환경의 발광 및 quenching의 영향이 크고 신호의 직진성을 유지하기 어려워 remote sensing이 어렵다. 그러나 비선형 분광기법인 유도라만산란(CARS)와 축퇴사광파혼합(DFWM)법은 발생된 신호가 레이저 광과 같은 특징을 가지기 때문에 비록 측정의 원리나 장치의 복잡성은 있지만 그 활용도가 점차 확대되고 있다. CARS를 이용한 온도 측정법은 이미 확립되어 사용되고 있고, DFWM은 측정 대상 분자의 농도가 상대적으로 낮은 경우에도 측정 가능하며 농도를 정량분석 할 수 있어 연구가 활발히 진행되고 있다.

C<sub>2</sub>는 연소 상태 및 인공 다이아몬드 합성을 위한 플라즈마 공정의 중간 생성물이고, 별의 온도 측정에 이용되는 분자로서 분광학적 특성 및 DFWM 연구는 이들 분야의 연구에 기초 자료로서 활용되고 있다. C<sub>2</sub> DFWM 연구는 Kaminski등이 phase-conjugation(PC) geometry에서 scanning type<sup>[1]</sup> 및 broad band 광원을 이용한 multiplex type<sup>[2]</sup>으로 수행 되었고, DFWM이 효율적인 온도 측정 방법임을 밝히고 있다. PC geometry는 두 펄스광이 서로 반대 방향으로 진행하고, 신호광이 탐색광과 같은 경로 상에서 반대 방향으로 생성되기 때문에 온도와 농도의 2 차원적 분포를 측정할 수 있는 장점이 있지만, 신호대 잡음의 비가 낮고, geometry의 특성상 현장 적용이 용이하지 못하다. 본 연구에서는 펄스광과 탐색광을 같은 방향으로 진행시켜 공간적으로 분리된 신호를 얻어 산란된 레이저광의 잡음을 줄이고, 레이저 광의 정렬 부분과 신호의 측정 부분이 공간적으로 분리된 상태에서 실험 가능한 forward box geometry를 사용하였다.

실험에 사용된 C<sub>2</sub> 분자들은 oxy-acetylene 화염을 만들어 생성하였고, 이차원 LIF(PLIF)법으로 화염 내의 상대적인 C<sub>2</sub> 농도분포를 측정하였고,  $d^3\Pi_g \leftrightarrow d^3\Pi_u$  전이의 Swan band( $v'=0 \leftrightarrow v=0$ ) DFWM 스펙트럼을 선풍이 0.08 cm<sup>-1</sup>인 optical parametric oscillator(OPO)를 scan 하여 측정하였다(그림 1). 이론적인 C<sub>2</sub>의 line position은 Zare<sup>[3]</sup>가 제안한 Hamiltonian의 molecular constant를 Prasad<sup>[4]</sup>의 실험결과를 이용하여 nonlinear least square fit으로 구한후 그 결과를 사용하여 계산하였고, DFWM 스펙트럼은 Lorentzian cube profile로 계산하였다. 계산된 line position은 약 0.05 cm<sup>-1</sup>의 실험 및 계산 오차 범위내에서 실험과 일치 하였고(그림 2), 온도에 따른 DFWM 스펙트럼을 계산하여 온도의 측정 sensitivity가 높은 스펙트럼의 파장 대역을 선별하였다. 그림 2의 스펙트럼은 pulse intensity가 unsaturated region(0.1 MW/cm<sup>2</sup> 이하)에서의 측정된 결과이고, R-가지의 스펙트럼들은 잘 분리되지만 P-가지들은 중첩되어 있다. 그림 2의 분리된 R-branch들을 Boltzmann plot으로 온도를 계산할 경우 sensitivity가 낮아 thermometry로 적합하지 않았고, 높은 J(44-36)값을 갖는 P가지와 낮은 J(15-8)값을 갖는 R-가지의 스펙트럼 영역을 spectral simulation방법으로 온도를 계산하였다.

본 발표에서는 C<sub>2</sub> 분자의 DFWM 스펙트럼의 계산 결과와 실험으로 구한 스펙트럼의 특성을 비교분석하였으며, C<sub>2</sub> thermometry를 위한 spectral simulation, forward phase-matching geometry에서 saturation effect, lineshape 등에 관하여 논의 하고자 한다.

참고문헌

1. C. F. Kaminski, I. G. Hughes, P. Ewart, J. Chem. Phys. **106**(13), 5324(1997)
2. C. F. Kaminski, I. G. Hughes, G. M. Lloyd, P. Ewart, Appl. Phys. B, **62**, 39(1996)
3. R. N. Zare, J. Mol. Spectro. **46**, 37(1973)
4. C. V. Prasad and P. F. Bernath, Astrophys. J. **426**, 812(1994)

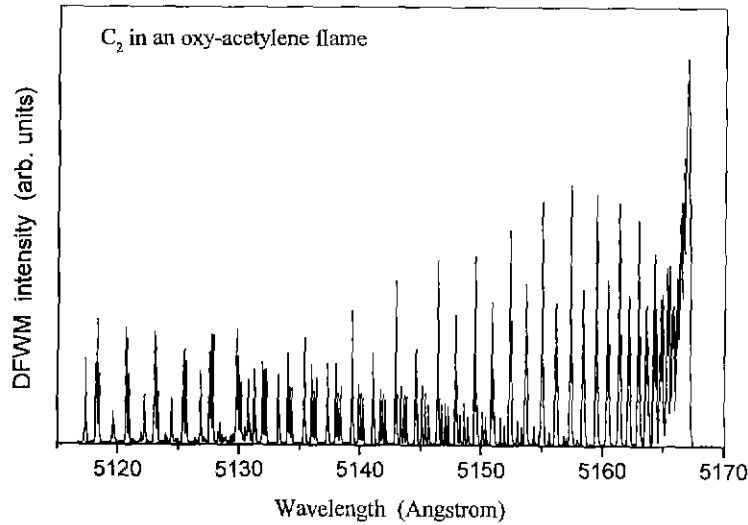


그림 1. Forward box phase matching geometry에서 측정된 C<sub>2</sub> 분자의 DFWM 스펙트럼.

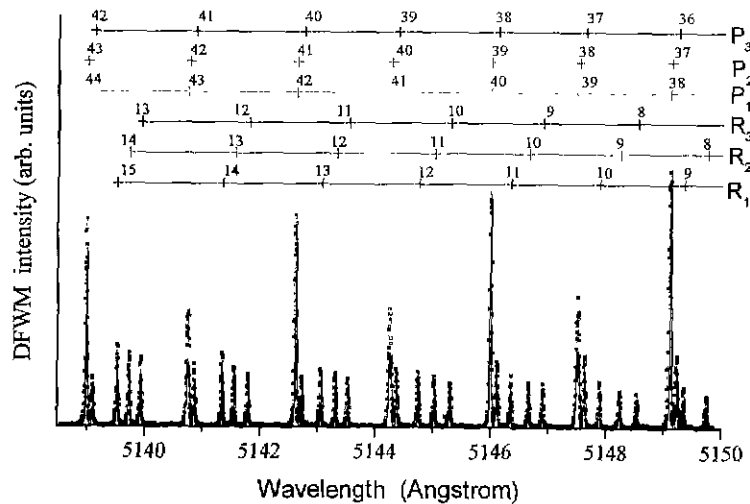


그림 2. 온도의 측정 감도가 높은 파장대역의 C<sub>2</sub> DFWM 스펙트럼. 실선은 3200 K의 이론계산, 점선은 실험결과, 그리고 위의 십자표시는 P와 R 가지의 J 값에 따른 계산된 분광선 위치를 나타낸다.