

光周波数コムと狭線幅色素レーザーを利用した ヨウ素分子の超高分解能レーザー分光

(福岡大院・理) 西山 明子, 石川 大樹, 御園 雅俊

High Resolution Spectroscopy of Iodine Molecule with an Optical Frequency Comb and a Narrow Band Dye Laser

(Fukuoka Univ.) Akiko Nishiyama, Daiki Ishikawa, Masatoshi Misono

【序】 分子の励起状態におけるエネルギー準位構造の研究は、分子の基本的な性質や化学反応の過程を知るために重要であり、超高分解能分光は、そのための有力な手段である。分子の励起状態間の相互作用や解離のダイナミクスは、スペクトルにおいて信号線の微小な分裂・シフトなどとして現れるため、これらを超高分解能分光によって測定する必要がある。実際に多くの分子についてこの信号線の微小な分裂・シフトを観測するためには、さらなる高分解能が必要であり、その結果を定量的に議論するためには、より精度の高い光周波数の目盛が必要となる。

そこで本研究では、狭線幅色素レーザーを用いて、270 kHz の周波数分解能でヨウ素分子の高分解能分光計測を行った。さらに、光周波数コムを利用した高精度な周波数目盛を生成することによって、得られたスペクトルの周波数を校正した。

【実験】 本研究の実験システムを図 1 に示す。右側破線枠内の分光システムで、ヨウ素分子の飽和吸収分光を行った。音響光学変調器(AOM)によって励起光を強度変調しロックイン検出を行った。

光周波数コムとしては、モード周波数間隔(f_{rep})162 MHz のチタンサファイアレーザーを用いた。光周波数コムの各モードの周波数 f_n は、モード周波数間隔 f_{rep} , モード番号 n , キャリアエンベロープオフセット周波数 f_{CEO} とすると、 $f_n = nf_{\text{rep}} + f_{\text{CEO}}$ と表せるが、本研究では $f_{\text{rep}} = 162.532\ 637$ MHz, $f_{\text{CEO}} = f_{\text{rep}}/3$ とした。このコムの出力光の波長域をフォトニック結晶ファイバー(PCF)によって、短波長端が 550 nm となるように広げた。またこの PCF において、波長 576 nm (520 THz) の色素レーザー出力光と重ねてモードマッチをとり、アヴァランシェ・フォトダイオード(APD)でビートを観測した。

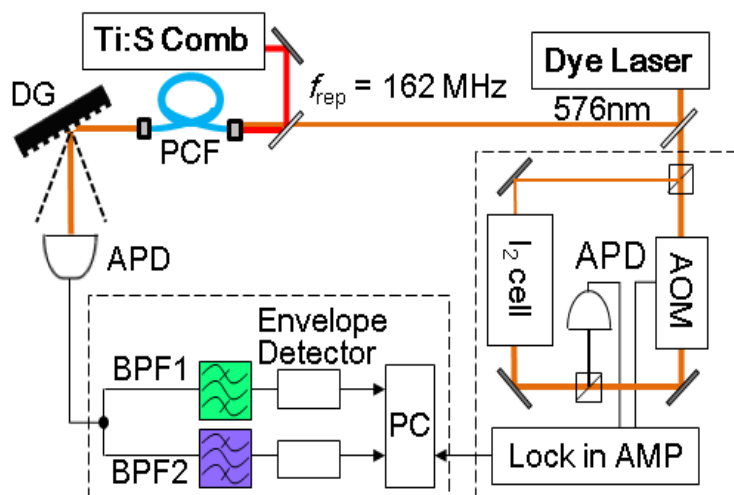


図 1. 本研究の実験システム

PCF : フォトニック結晶ファイバー

DG : 回折格子

APD : アバランシェ
フォトダイオード

BPF : バンドパス・フィルター

このビートから、図 1 左下破線枠内のシステムによって周波数マーカーを生成した。色素レーザーの出力光の周波数を f_{dye} とし、 $f_n < f_{\text{dye}} < f_{n+1}$ であるとすると、得られるビートの周波数は $f_{\text{beat1}} = f_{\text{dye}} - f_n$ および $f_{\text{beat2}} = f_{n+1} - f_{\text{dye}}$ と表される。2つのバンドパス・フィルターの通過周波数を、それぞれ $f_{\text{BPF1}}, f_{\text{BPF2}}$ とすると、 f_{dye} を掃引して $f_{\text{beat1}}, f_{\text{beat2}}$ のいずれかが、 f_{BPF1} または f_{BPF2} に一致したときに、ビートがバンドパス・フィルターを通過する。 $f_{\text{BPF1}} = (1/8) \times f_{\text{rep}}, f_{\text{BPF2}} = (3/8) \times f_{\text{rep}}$ とすることで間隔 $f_{\text{rep}}/4$ の周波数マーカーが得られる。

【結果と考察】 図 2(a)に上記の方法で生成した周波数マーカー、図 2(b)同時に測定したヨウ素分子の飽和吸収スペクトルの一部を示す。バンドパス・フィルターの通過周波数のピークはそれぞれ $f_{\text{BPF1}} = 20.26 \text{ MHz}, f_{\text{BPF2}} = 60.62 \text{ MHz}$ であり、図 1 (a)に示したように、間隔がほぼ $f_{\text{rep}}/4$ となる周波数マーカーの生成に成功した。この図の横軸は、得られた周波数マーカーをもとに、スプライン補間によって校正したものである。周波数マーカーの精度を見積もる上で問題となるのは、1つのマーカーの幅であるが、これはバンドパス・フィルターの通過周波数帯域、色素レーザーの線幅、電氣的なノイズなどが大きく影響すると考えられる。

当日は、周波数マーカーによって校正したスペクトルの周波数と、その精度について、詳細を報告する。

[1] P. Del'Haye, *et al.*, Nature Photon. 3, 529 (2009).

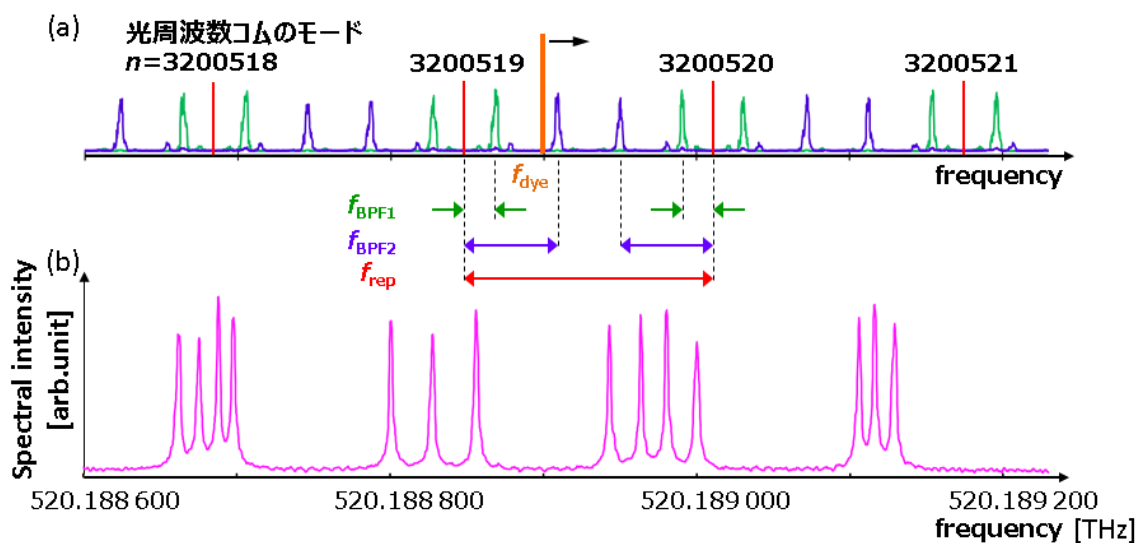


図 2. 周波数マーカーとヨウ素分子の飽和吸収スペクトル

(a) 周波数マーカー

n : モード番号

f_{dye} : 色素レーザー周波数

$f_{\text{BPF1}}, f_{\text{BPF2}}$: バンドパス・フィルターの通過周波数

f_{rep} : コムのモード周波数間隔

(b) ヨウ素分子の飽和吸収スペクトル