

Fourier-transform absorption spectroscopy using visible and near infrared diode lasers  
as light sources

Takuhiko MORIYAMA, Kensuke HARADA (Kyushu University)

【序論】高感度な吸収分光法の開発は発光しない分子種の検出のために重要である。例えば星間空間で観測される 90 年間未帰属な謎の吸収スペクトル (Diffuse Interstellar Bands 図 1 (以下 DIB)) がある。現在、炭素鎖分子や多環芳香族炭化水素が DIB の原因物質でないかと言われている。DIB は吸収スペクトルであり、発光しない分子種に起因する可能性が高いので、DIB の由来を解明するには、高感度な吸収分光法の開発が重要である。過去、半導体レーザーは赤外・近赤外領域しか発振領域を持たないものがほとんどだったが、現在はブルーレイディスクの開発に伴い青や紫色の領域まで発信できる半導体レーザーが容易に入手可能な

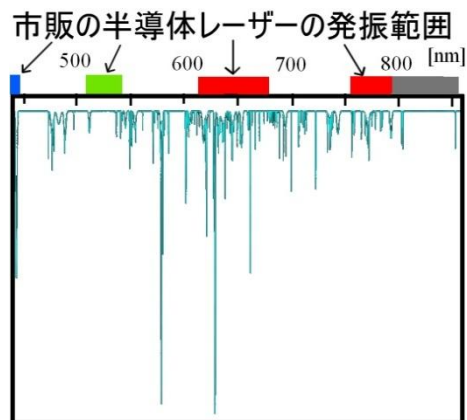


図 1 Diffuse Interstellar Bands

時代になった (図 1)。本研究ではこの半導体レーザーを用いて吸収スペクトルを高感度かつ簡便に測定できる分光法を開発した。半導体レーザーを使った吸収分光法は量子限界まで安定化できるほどノイズが少なく、電流によって変調ができるという利点を持っているが、モードギャップ (レーザーが発振しない波数領域) があることやマルチモード発振 (一度に複数の光が発振) する半導体レーザーもあるという欠点も持ち合わせている。FT 分光器はマイケルソン干渉計による干渉シグナルをフーリエ変換することにより波数を直接測定できる利点があるが、通常連続光源を用いた吸収分光法では感度が低い。本研究では連続光源の代わりに半導体レーザー光源を用い、FT 分光器で検出することによって、吸収スペクトルを高感度かつ波数を直接測定する実験系を開発した。 $N_2^+$  の B-X バンドと比べて  $\frac{1}{4000}$  の強度の  $N_2^+$  の A-X ( $2 \leftarrow 0$ ) バンド<sup>(1)</sup> を使って性能テストを行った。

【実験】製作した分光計を図 2 に示す。ホローカソード放電セルに  $N_2$  ガス 180 mTorr を流し、放電周波数 15 kHz、放電電流 250 mA で交流放電させた。セルは液体窒素冷却した。シングルモードの半導体

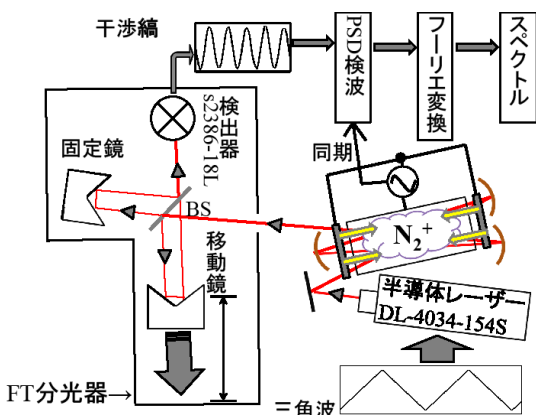


図 2 実験装置

レーザーに 20 Hz の三角波をかけて  $0.6 \text{ cm}^{-1}$  の範囲を掃引した。放電セル内で 28 回往復させた後 FT 分光器に入射させマイケルソン干渉計を通過後、フォトダイオードで検出した。交流放電のオンオフと同時に起こる吸収シグナルのみを取り出す位相敏感検波 (PSD 検波) を行った後、コンピュータに入力してフーリエ変換を行い  $N_2^+$  の A-X ( $2 \leftarrow 0$ ) の吸収スペクトルを観測した。積算回数は 5 回、スキャン時間は 30 分、波数分解能は  $0.02 \text{ cm}^{-1}$  で測定した。

【結果】初期の実測スペクトルを図 3 (太線) に示す。

図 3 のレーザー掃引範囲の両端に余分なピークが現れた。コンピュータを用いて今回の実験のシミュレーションを行った。用いた式を以下に示す。 $B'(\sigma)$ がフーリエ変換後のスペクトル、 $B(\tilde{\nu})$ が PSD 検波されたスペクトル、 $\tilde{\nu}$  がレーザーの発振波数、 $\sigma$  が FT 分光器の波数、 $x$  が移動鏡による光路差、 $L$  が移動鏡の移動距離、 $\tilde{\nu}_0$  は掃引の中心波数、 $\Delta\tilde{\nu}$  は掃引の半幅、 $v$  は移動鏡の速さ、 $f_m$  は掃引している三角波の周波数を表わしている。

$$B'(\sigma) = 2 \int_0^{2L} B(\tilde{\nu}) \cos(2\pi\tilde{\nu}x) \cos(2\pi\sigma x) dx$$

ただし、

$$\tilde{\nu} = \tilde{\nu}_0 - \Delta\tilde{\nu} + 4f_m\Delta\tilde{\nu} \left| \text{mod} \left( \frac{x}{2v_s}, \frac{1}{f_m} \right) - \frac{1}{2f_m} \right|$$

PSD 検波の参照信号のデューティ比が 1 でないとき、出力に直流成分が残る。図 3 に PSD 検波後に直流成分が残る場合 (破線) と残らない場合 (実線) の計算スペクトルを示す。PSD 検波の直流成分を完全に除去すると余分なピークは出現せず、図 3 の実線で示された通り、本来観測されるべきスペクトルのみが出現することがわかる。デジタル PSD (SR830) を用いて直流成分を除去し、同様の測定を行った (図 4)。掃引の両端にピークは出現せず、S/N は 47、線幅は  $0.043 \text{ cm}^{-1}$  で観測された。今回用いた半導体レーザーは一度に掃引できる波数領域 (モード幅) が狭く、最大で  $0.8 \text{ cm}^{-1}$  の範囲しか掃引できない。従来のマーカーエタロン (波数目盛) とリファレンスセル (波数基準) を用いた波数決定法では参照ラインが入らない可能性も考えられるが、FT 分光器を用いたこの装置だと狭いモード幅しか発振しない半導体レーザーでも波数測定が可能である。

また、マルチモード発振する半導体レーザーを用いても測定が可能である。SHARP LT022MC は  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  ごとに同時に 9 本のレーザー光が発振するマルチモードレーザーであるが、それぞれを三角波で  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  の範囲で掃引してモードセレクトなしに一度に合計  $0.9 \text{ cm}^{-1}$  の範囲を観測した (図 5)。S/N は 3.5、線幅は  $0.053 \text{ cm}^{-1}$  だった。マルチモードレーザーではモードホッピングノイズのため S/N は 1 ケタ悪くなる。マルチモードの半導体レーザーを用いてもモードセレクトを行う必要がなく、一度にすべての発振範囲の測定が可能である。

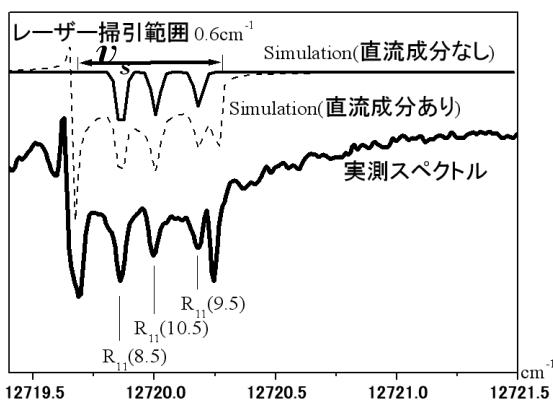


図 3 実測スペクトルと計算スペクトル

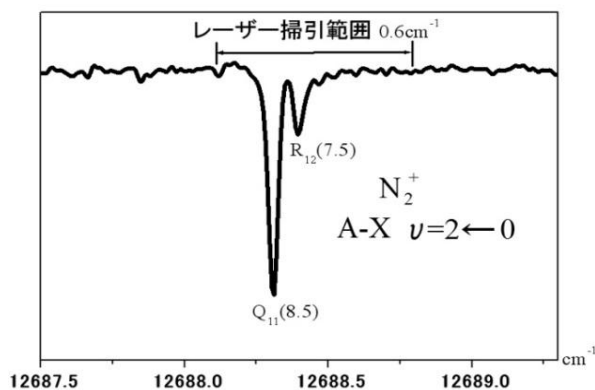


図 4 実測スペクトル

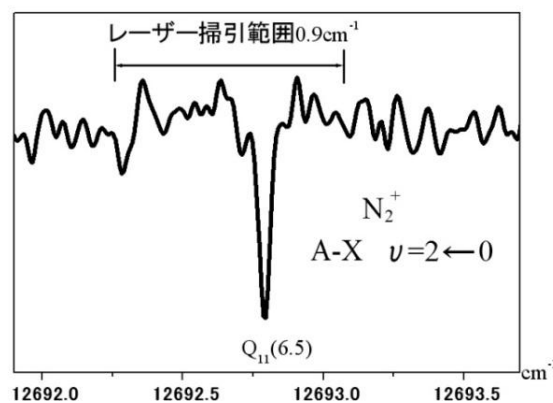


図 5 マルチモードレーザーでの実測スペクトル

【参考文献】

(1) K Harada, T Wada, and T Tanaka, J. Mol. Spectrosc. 163, 436-442(1994)