

フーリエ変換半導体レーザー吸収分光法の開発

(九大院理) ○森山拓洋・原田賢介

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

Takuhiro MORIYAMA, Kensuke HARADA(Kyushu University)

Sensitive techniques for absorption spectroscopy are essential to detect non fluorescent species such as linear carbon-chain molecules related to Diffuse Interstellar Bands. In the present study, Fourier transform spectrometer using the near infrared and visible diode lasers as light sources has been developed. The lines of the A-X band of N_2^+ , intensity of which is $\frac{1}{4000}$ of that of the lines of the B-X band, has been observed as a typical S/N ratio of 50. The wavelength was directly measured by FT spectrometer. The technique is also applicable to multimode diode lasers without mode selection.

【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未帰属線 (Diffuse Interstellar Bands 図 1) 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も高く、高感度な吸収分光法による研究は極めて重要と考えられる。ブルーレイディスクの開発に伴い青や紫までの半導体レーザーが容易に入手可能な時代になった (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、モードギャップがあることやマルチモード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信号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直読で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 バンドのスペクトル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 180mTorr をフローさせ、放電周波数 15kHz、放電電流 250mA 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レーザー (SANYO DL-4034-154S) に 20Hz の三角波をかけて 0.6cm^{-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。放電変調に同期した信号のみを PSD 検波した後、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 (2,0) 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

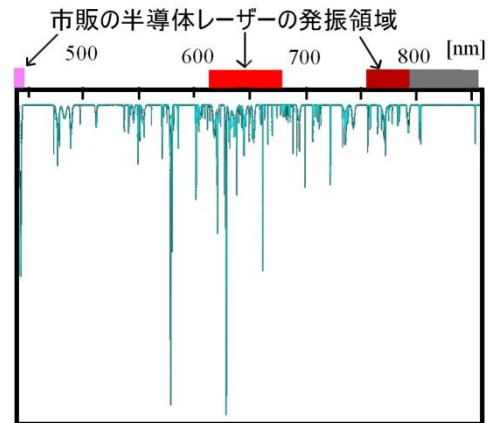


図 1 Diffuse Interstellar Bands

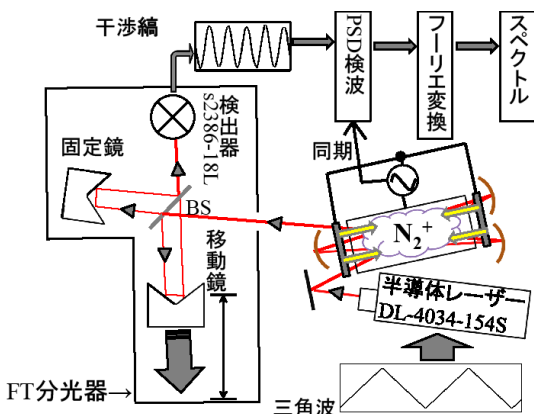


図 2 実験装置

0.02cm⁻¹で測定した。

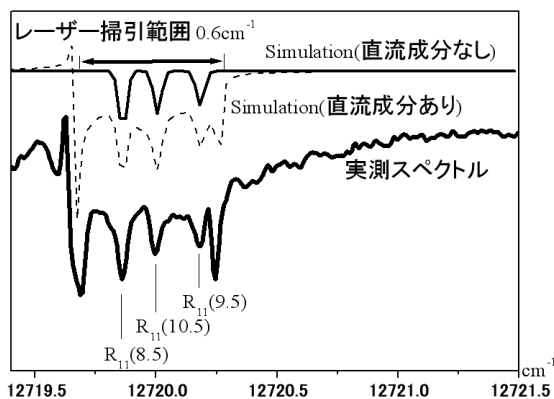


図 3 実測スペクトルと計算スペクトル

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

ただし、

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

図3にアナログスイッチのデューティが1ではなく 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 検波のゼロ調整を完全に行うと真のスペクトルと同じ場所にのみピークが出現する。

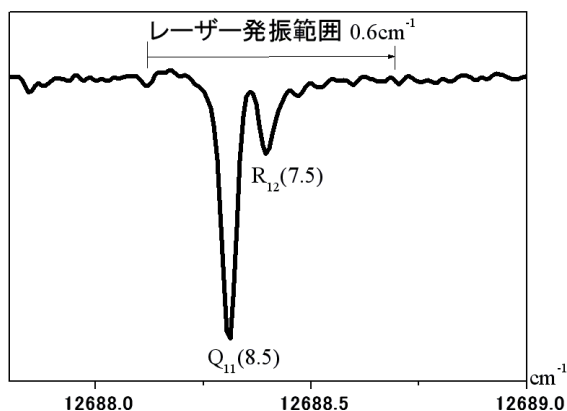


図 4 実測スペクトル

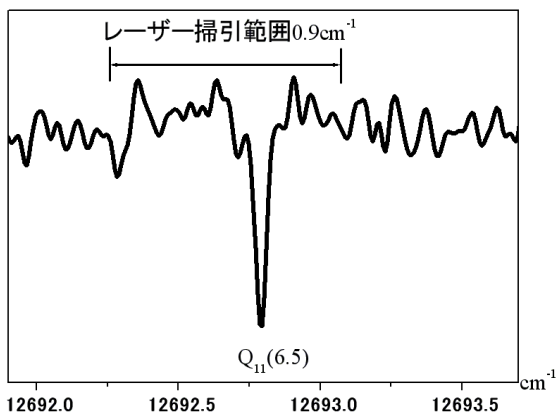


図 5 マルチモードレーザーでの実測スペクトル

・参考文献

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

【結果】 初期の実測スペクトルを図3に示す。図3のようにベースラインが高くなり、レーザーに与えた三角波の振幅の両端にピークが現れた。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。シミュレーションに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、 σ 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_s 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。

デジタル PSD(SR830)を用いてゼロ調整し、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0.043cm⁻¹で観測された。文献値⁽¹⁾とは誤差0.012cm⁻¹で一致した。今回用いた半導体レーザーはモードの幅が狭く、最大で0.8cm⁻¹の範囲しか掃引できない。従来のマーカーエタロンとリファレンスセル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、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、一度に複数の波数が発振するマルチモードレーザーを用いても測定が可能である。SHARP LT022MCは0.1cm⁻¹ごとに同時に9本のモード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0.1cm⁻¹の範囲で掃引して合計0.9cm⁻¹の範囲を観測した(図5)。S/Nは3.5、線幅は0.053cm⁻¹、文献値⁽¹⁾との差は0.013cm⁻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、一度に発振範囲の測定が可能である。