

ヘテロダイン検出を可能とする 同軸二重共鳴分光システムの開発

東工大理学院
○村松秀和, 金森英人

Development of double resonance spectroscopy system for heterodyne detection

○Hidekazu Muramatsu, Hideto Kanamori
Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Japan

【Abstract】 In this study, we are trying to establish optical heterodyne detection in double resonance experiment. It is necessary to get optical heterodyne beat signal by a photo-mixer, the two laser beams should have a common directed configuration. However, commonly, the two laser beams in double resonance spectroscopy is arranged in a counter-propagated configuration. In order to clear this problem, we introduce an intermodulation technique based on frequency modulation of each laser. Here, we present a result of this new method applied to the I_2 molecule.

【序】 本研究では二重共鳴分光を使ったヘテロダイン位相敏感検出法の開発を行っている。二重共鳴分光は対向型の実験配置で行われることが多いが、二重共鳴信号をヘテロダイン検出するためには、二本の光のビートを取るために同時に検出器（光ミキサ）に入射する必要があるため、同方向型の配置で二重共鳴分光を行う必要がある。そのため、LIFを検出する二重共鳴分光で有効な方法として知られるチョッパーを用いた Intermodulation technique をそのまま適用することはできない。そこで、本研究では、チョッパー変調の代わりにレーザーの周波数変調を用いて、高感度高分解能な測定を実現することを目指した。しかしながら、同方向型の二重共鳴分光を超微細構造を有する系に適用すると、対向型の配置に比べてこの分裂幅が圧縮されることが予想される。本研究では、多様な超微細構造を有するヨウ素分子を対象として、この手法の実現と評価を目的とした。

【方法（理論）】 本研究では周波数変調を用いて Intermodulation technique を実現する。二つの単一モードのレーザー光 ω_1, ω_2 をそれぞれ f_1, f_2 で周波数変調すると、二重共鳴信号は変調周波数の和 $f_1 + f_2$ または差 $f_1 - f_2$ の周期の成分を持つことになる。したがって、これらの周波数を参照信号としてロックイン検出することで二重共鳴信号を得ることができる。

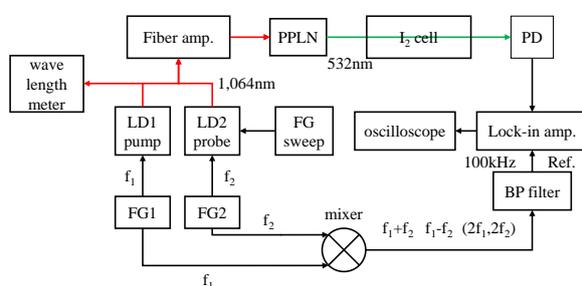


Fig. 1. Experimental setup

【方法（実験）】 実験配置を図 1 に示す。波長可変光源として二台の 1,064nm 付近の単一モード DFB 半導体レーザーを用い、これらを光ファイバーでカップルし、ファイバーアンプに入力する。ファイバーアンプで 10W 程度に増幅した後、非線形光学結晶 (PPLN) によって SHG 光を生成し、これが同軸でヨウ素セルに入射する。光源の周波

数変調は、ファンクションジェネレーター (FG1, FG2) によって半導体レーザーの電流コントローラーの外部変調入力回路を通して行う。また、同時に double balanced mixer を用いて、変調周波数の和周波および差周波を生成し、和周波あるいは差周波をバンドパスフィルタにより選択し、ロックインアンプの参照信号とした。これにより detector から得られた信号から二重共鳴信号成分だけを取り出すことができる。今回の測定では、ヨウ素分子の B-X、R(40)32-0 遷移を pump し、P(40)32-0 を probe として観測した。

【結果・考察】 この遷移には図 1 (a) の対向型配置で測定されたラムデップスペクトルに示されるように、15本の超微細構造分裂が存在する。これに対して、今回得られた結果を図 2(b) (c) に示す。同方向型の二重共鳴分光で観測される分裂は以下のように計算できる。pump される超微細構造分裂の周波数を ω_1 と ω_2 、probe される超微細構造分裂の周波数を ω_1' と ω_2' 、pump 光の周波数を ω_{pump} とすると、その間隔は

$$\Delta\omega = \left(\frac{\omega_1'}{\omega_1} - \frac{\omega_2'}{\omega_2} \right) \omega_{pump}$$

で表される。この間隔は非常に小さく、図 2(c) のようにいくつかの超微細構造分裂が重なって太った信号が観測された。しかし、各ピークのドップラー幅は 440MHz 程度であり、pump 光によりすべての超微細構造分裂を励起するわけではないので、観測される信号はすべての超微細構造分裂を反映しているわけではなく、一部分のみを観測していることとなる。そこで、図 2(b) のように pump 位置をレッド側に固定して観測すると、分裂したスペクトルが得られた。これが、最もレッド側にあるシングルピークとその一つとなりのピークが形成するものであると仮定すると、先ほどの式から分裂間隔は $1.6 \times 10^{-3} \text{cm}^{-1}$ 程度と見積もれ、観測された分裂間隔と一致し、超微細構造分裂が観測されたことがわかる。

今回の結果より、周波数変調を用いた Intermodulation technique を導入することで、二重共鳴分光を使ったヘテロダイン位相敏感検出法への道を開いた。またこのことは吸収ベースの検出が主力となる赤外領域の二重共鳴分光の可能性を大きく広げるものである。

【参考文献】

[1] H. Kato et al, "Doppler-Free High Resolution Spectral Atlas of Iodine Molecule 15000 to 19000 cm^{-1} part4".

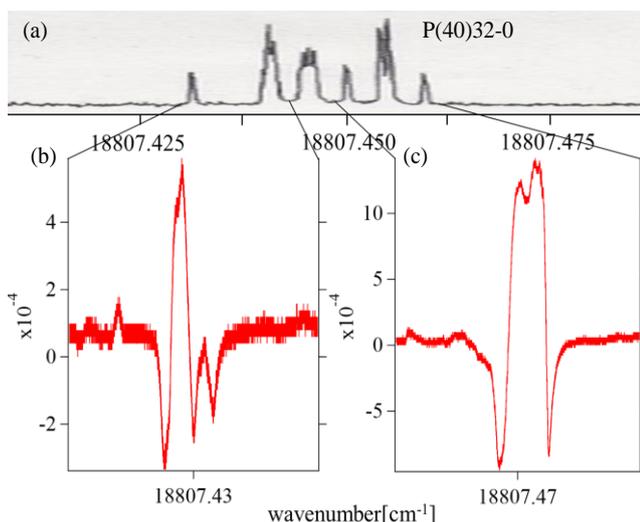


Fig. 2. Result

(a) Lamb-dip spectrum[1] of P(40)

(b) double resonance signal obtained by pumping at 18811.026cm^{-1}

(c) double resonance signal obtained by pumping at 18811.068cm^{-1}