

光コムに位相安定化した複数のレーザー光源の開発と 分子分光への応用

東工大院理工、CREST¹
○福田浩司、齋藤一哉、金森英人¹

A development of stable lasers which phase-stable to an optical frequency comb and an application of the lasers to molecule spectroscopy

Graduate school of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology¹ CREST²

○Hiroshi Fukuda¹, Kazuya Saito¹, Hideto Kanamori^{1,2}

Two semiconductor lasers in the visible region were optical phase-locked to an optical frequency comb and were applied to molecular optical-optical double resonance (OODR) experiment. The rotational states of the iodine molecule have been connected by these coherent radiations through the $B^3\Pi_{0u}^+ - X^1\Sigma_g^+$ electronic transition. The different frequency of the two lasers is 230GHz. By optical heterodyne method, the frequency jitter noise of the diode lasers is reduced to 4MHz from 40MHz at free running condition, and the line width of the OODR signal is also observed with the same linewidth as above.

【序】 1 オクターブの周波数帯域に渡って等間隔のモードで発振する光コムレーザーをセルフコンシステントに周波数安定化することによって、近赤外から可視光領域での周波数標準とすることができる。この光コムの発振領域では、任意の周波数の外部レーザーと光ビートを取り、フィードバック制御を行うことより、その外部レーザーを安定化する事ができる [1]。さらに、複数の外部レーザーをそれぞれ光コムの別のモードに位相安定化することにより、最大、数 100THz 離れたレーザー間にコヒーレントな関係を持たせることが可能になり、これを用いた二重共鳴分光によって、従来に無いような高精度な電子・振動・回転分子分光が可能になる。さらに、光源が位相安定化される事によって、分子の量子状態の位相を操作することも可能になるので、分子 qubit の量子情報操作に適用することができる。これらのことを実証するために、 I_2 分子の電子遷移を使って、230GHz 離れている回転準位間の光—光二重共鳴 (OODR) 実験を開始した。光コムに位相安定化することによってレーザーの線幅が狭窄化された結果、OODR スペクトルの線幅は細くなり、微細な構造が見えてくる可能性を示す。

【実験】 I_2 分子は長さ 7cm 程度のセルに封入し、室温の蒸気圧で、638nm 領域の $B^3\Pi_{0u}^+ - X^1\Sigma_g^+$ の $7 \leftarrow 4$ バンドの P(68) と R(68) の遷移を用いた光光二重共鳴をおこなった。用いた光源は波長 635nm の半導体レーザー (Hitachi HL6344G, 10mW) で、フリーランニング時と光コムに安定化した場合の光源揺らぎのスペクトルを光コムとのビートをとることであらかじめ評価した上で、Intermodulated fluorescence 法を使った二重共鳴実験を行った。両者の光はビームコンバイナーで同軸同方向に重ねて用いた。次に、2台の半導体レーザーを光コムに光ヘテロダイン法により安定化を行い、同様の実験を行った。

【結果と考察】 一般に半導体レーザーは注入電流の電源ノイズによって発振周波数が揺ら

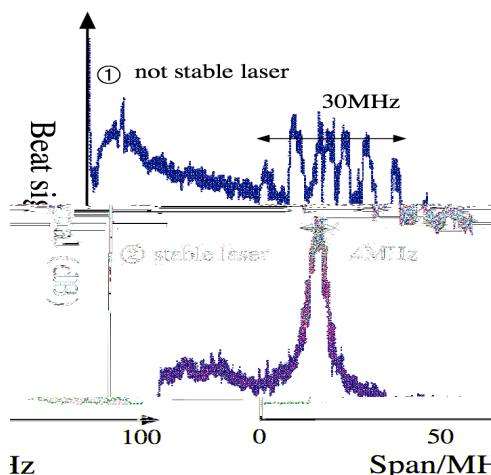


Fig.1 非安定化、安定化半導体レーザーのビート信号

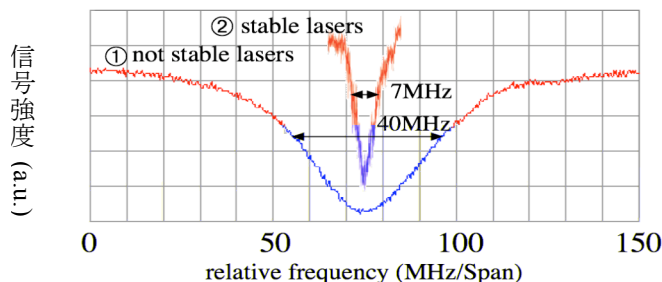


Fig.2 非安定化、安定化半導体レーザーを用いて得られるそれぞれの OODR スペクトル

いでいる。Fig.1は①フリーランニング時と②光コムとの位相安定化制御を施したときのビート信号である。①では約40MHzの揺らぎがあるが、安定化後には4MHzまで抑えられている。Fig2はそれぞれの場合において得られる OODR スペクトルである。他の要因による線幅では数 MHz であり、この線幅は半導体レーザーの線幅によって決まっている。Fig.2の細い方のスペクトルは半導体レーザーを光コムに安定化させたときの OODR 信号であり、スペクトル線幅も7MHzまで細くなっている。

昨年、我々は2台の780nm帯の近赤外半導体レーザーを光コムの別のモードに安定化することによって、両者間のビートをHzオーダーまで狭窄化できることを示した。[1] しかしながら、今回用いた半導体レーザーの場合は電流変調感度特性が1桁大きく、フリーランニング時の光源揺らぎも1桁大きいものであった。したがって、より安定化するためには、電氣的制御を行う前に、外部共振器による光学的制御によってあらかじめスペクトル線幅を狭窄化しておく必要がある。

ところで、今回の二重共鳴においてはラムディップの実験で示されるような100MHz程度の分裂を示す hyperfine 構造が4MHzの分解能をもってしても分離しては見えていない。それぞれの準位には hyperfine 構造が15(21)本あるが、今回の co-propagate の条件ではそれらが1箇所を重ね合ってしまうことが以下の様に示せる。Fig.3にあるように、簡単のために hyperfine が2準位に分かれているものとする、2つの OODR スペクトルのプローブ光の共鳴周波数 ω_{13}^a と ω_{13}^b は、パンプ光 ω_{12} に対してそれぞれ

$$\omega_{13}^a = \frac{\Omega_{13}}{\Omega_{12}} \omega_{12}$$

$$\omega_{13}^b = \frac{\Omega_{13}}{\Omega_{12}} \omega_{12} + \frac{\Omega_{13} - \Omega_{12}}{\Omega_{12}} (\Delta E_1 - \Delta E_2)$$

と表せる。2式目の第2項は100kHzのオーダーとなるので、今回の分解能4MHzでは ω_{13}^a と ω_{13}^b は分離できない。今後、さらにレーザーの線幅を100kHzのオーダーに狭窄化することにより OODR のスペクトルが分解されることが予測される。

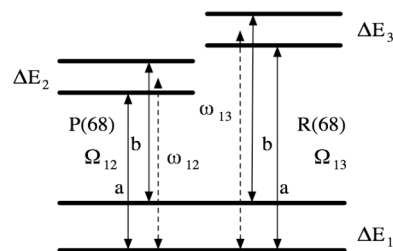


Fig.3 Hyperfine 構造 (2 準位) と同方向型二重共鳴の概念図