

## 光周波数コムを用いた HCl 基本振動バンドのサブドップラー分解能 波長変調分光

(慶大理工) ○岩國加奈・阿部真志・佐々田博之

### Sub-Doppler Resolution Wavelength-Modulation Spectroscopy of the Fundamental Vibration Band of HCl with an Optical Frequency Comb

(Keio Univ.) Kana Iwakuni, Masashi Abe, and Hiroyuki Sasada

E-mail: k.iwakuni@z7.keio.jp

We have developed a sub-Doppler resolution spectrometer and observed some spectra of molecular vibrational bands with it. It has a wide tuning range of 86.8 to 93.0 THz limited by that of PPLNs for DFG. Combining an optical frequency comb with the spectrometer enables us to determine the absolute transition frequencies. Modulation spectroscopy is also applied to improve the sensitivity. We have recorded the R-branch transitions in the fundamental vibration band of HCl and some cross-over resonances. The spectral resolution is about 230 kHz, and the transition frequencies are determined with the standard deviations less than 6 kHz.

【序】我々はサブドップラー分解能をもつ中赤外分子分光計を開発してきた。波長  $1.06 \mu\text{m}$  の Nd:YAG レーザーをポンプ光、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の外部共振器型半導体レーザー (ECLD) をシグナル光として、周期分極 LiNbO<sub>3</sub> (PPLN) 結晶内の差周波発生により波長  $3.4 \mu\text{m}$  の中赤外光を得る。この光は光共振器と試料セルが一体となった光共振器吸収セル (CEAC) に入射する。共振器内部の定在波の腹では、サブドップラー分解能分光に十分な光電場が得られる。近年、光周波数コムを導入し、CH<sub>4</sub> の  $\nu_3$  バンドの飽和吸収線の中心周波数を不確かさ 2 kHz で決定した [1]。この先行研究では、飽和吸収線に差周波光の周波数を安定化し、その時のポンプ光とシグナル光の周波数を国際原子時にリンクした光周波数コムで絶対周波数計測した。しかし、信号強度の小さい飽和吸収線では、差周波光を安定化するための制御信号を十分な S/N で得られない。そこで、光周波数コムにポンプ光とシグナル光の周波数を安定化する新しいスペクトル記録法を開発した。さらに、シグナル光を光周波数コムに安定化するオフセット周波数を変調して波長変調分光を行い、パワー揺らぎの影響を軽減して感度を向上した。この新しい分光法を使って HCl の基本振動バンドを観測したので報告する。

#### 【実験】

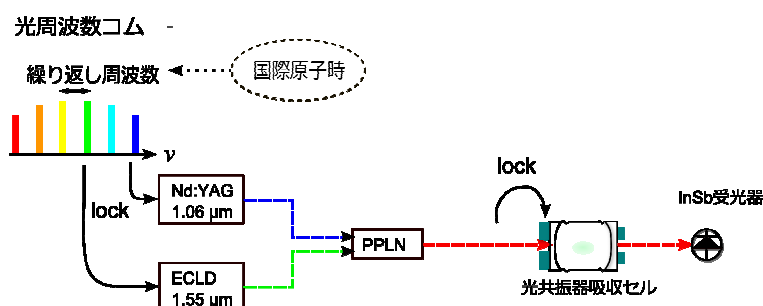


図1 実験セットアップ

図1に実験系を示す。100 mW のポンプ光と 50 mW のシグナル光は WDM カプラで重なり、導波路型 PPLN に入射する。導波路型 PPLN は波長変換効率が 10 %/W と高いので、50  $\mu$ W 程度の中赤外光が得られる。中赤外光は数 mTorr の HCl を封入した光共振器吸収セルに入射する。定在波の腹では光電場が 17 倍に増幅される。共振器長は Pound-Drever-Hall 法で中赤外光に共鳴するように安定化している。ポンプ光とシグナル光の周波数は、それぞれコムのも最周波数が近いモードに安定化している。スペクトルを観測するには、コムを繰り返し周波数を 0.01 Hz/step で掃引して、中赤外光の周波数を掃引する。シグナル光は 21.4 MHz でコムにオフセットロックしているが、この基準信号に 3 kHz の変調信号を加える。光共振器の透過光を InSb 受光器で検出し、ロックインアンプで 3 kHz で復調して 1f 信号を得る。

**【結果】** 図2は測定した H<sup>35</sup>Cl の基本振動バンド  $R(0)$ 、 $R(1)$ 、 $R(2)$  遷移である。上記の掃引方法でスペクトルを 20 回積算平均した。<sup>35</sup>Cl は核スピン 3/2 をもつため、 $J \neq 0$  準位は 3 つの超微細準位を持つ。図2に示すように、 $\Delta F = 0, \pm 1$  に加え、クロスオーバー共鳴が観測された。HITRAN データが強度の大きい成分に対応するとして光周波数コムモード番号を決定し、絶対周波数を不確かさ 6 kHz 以下で求めた。線幅は 230 kHz 程度で、パワー広がり制限されている。

**【まとめ】**

差周波分光計と光周波数コムを組み合わせた変調分光により、絶対周波数で目盛付された HCl のサブドップラー分解能スペクトルを得た。変調分光法により感度が向上し、[1]で測定した遷移のうち、最も遷移双極子モーメントが小さい遷移のさらに半分の遷移双極子モーメントしか持たない遷移を観測した。また、多数のクロスオーバー共鳴を観測したが、その強度の圧力依存性を詳細に解析している。

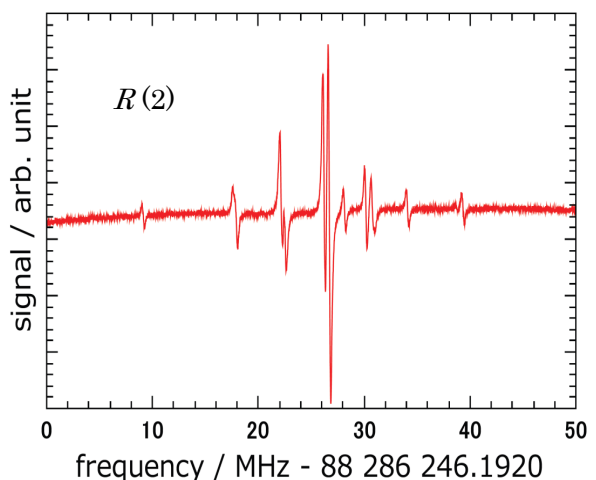
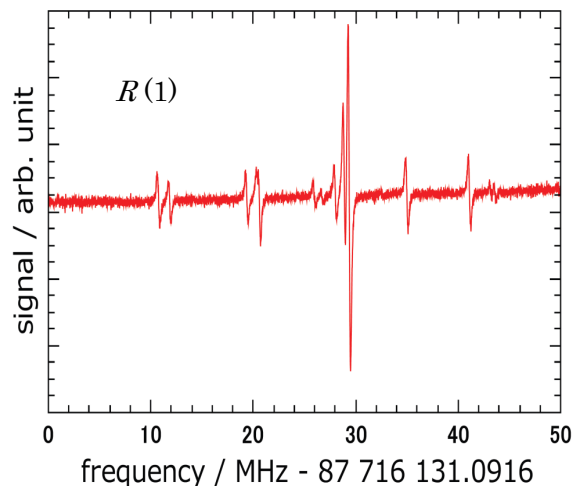
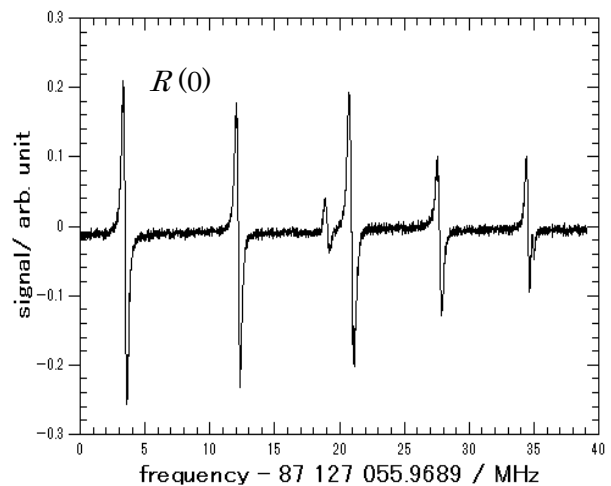


図2 HCl の基本振動バンドのスペクトル

[1]S. Okubo, H. Nakayama, K. Iwakuni, H. Inaba, and H. Sasada, Opt. Express, **19**, 23878 (2011).