

1A04

新規高輝度狭帯域レーザーによるコヒーレント分布操作

(分子科学研究所^{*}, 総合研究大学院大学^{**}) ○三宅 伸一郎^{*}, 大島 康裕^{*,**}

Coherent population control by novel intense narrow-band laser

(Institute for Molecular Science^{*}, SOKENDAI^{**})

○Shinichirou Miyake^{*}, Yasuhiro Ohshima^{*,**}

断熱透過法は、注目している相互作用のパラメーターを断熱的に変化させることで量子状態間の分布移動を行うものである。われわれは、その一形態であるチャープ断熱ラマン透過 (CARP) [1]の実現化のための光源を開発した。気相中の分子の振動や回転のエネルギーは数~数千 cm^{-1} 程度であり、また簡単な分子であってもその回転構造を分解するためには、周波数幅が 1 GHz 以下である光が必要とされる。パルス幅としてはフーリエ変換の関係から数 ns 以上となる。またラマン過程を起こすためには MV/cm 以上の電界強度が必要となる。よって、CARP の実現には、単一の量子状態を選択できる分解能を備え、十分なコヒーレンスを有し、適切に周波数チャープしたパルス光が必要であることを意味する。ナノ秒チャープパルスの生成は、単一縦モードのシード光を変調し、時間的に切り出すことで実現できる。ただし、cw のシード光から CARP が要求する mJ のパルスを得るには百万倍程度の増幅が必要で、さらにチャープを保持したまま増幅しなければならない。そこで、共振器を持たないシングルパスのパルス増幅器として、光パラメトリック増幅 (OPA) を用いた狭帯域ナノ秒光源を開発した。

ナノ秒 OPA の利得は、励起パルスの尖頭値の低さ、パルス幅の長さによる損傷閾値の低下により、超短パルスレーザーに比べ相対的に低い値に限定されてしまう。さらにシードとして cw 光を使うことは初期値が小さいことを意味する。これらの困難から、単一縦モードナノ秒 OPA に関する報告例はきわめて少ない。我々は、外部共振器半導体レーザー (ECDL) の出力を位相変調を応用して周波数チャープをほどこした後、Yb 添加ファイバー (YDF) によって増幅することで、OPA の光学系と結晶の負担を軽減することを試みた。

今回製作したナノ秒チャープパルス光源の概略を図 1 に示す。基本構成は、Nd:YAG 第二高調波励起 OPA であり、ECDL からの単一縦モードの出力を、縮退近辺でシグナルもしくはアイドラーにシード光として注入することで、目的とする分子のラマン遷移の周波数差を持ったコヒーレントな 2 色の光が同時に得られる。

シード光には、パルス的に RF を印加した音響光学変調器 (AOM) による一次回折光を用いた。得られたパルス状のシード光は、電気光学変調器 (EOM) に入射して位相変調することで、周波数チャープを加えた。AOM および EOM への RF 信号は、Nd:YAG レーザーの発振と同期されている。位相変調により周波数 ω_0 の光は $[\omega_0 - m \sin(\omega_m t + \phi_m)]$ と周波数変調を受ける。ここで m は変調深さ、 ω_m は変調波の周波数、 ϕ_m は変調波の相対位相である。変調波は、光パルスの中心と原点を同じくする正弦波を用い、 ω_m は光パルスの FWHM の逆数より幾分大きな値にする。位相変調された光は、OPA で増幅を行うのに適切な強度まで前置増幅する。この 1 μm 帯の増幅には、975 nm 半導体レーザー (LD) 励起の Yb 添加ファイバーを利用した。OPA の非線形光学結晶には BiBO を用い、40 mJ/pulse (signal+idler) の出力を得た。OPA により増幅された光の変調の程度の測定は、光ヘテロダイン (OH) 検出により行った [2]。シングルショットで変調を測定するためには、1 パルス中に 2 回以上のビートを観測する必要がある。光源のパルス幅は 8 ns 程度のため、周波数シフトは ~ 800 MHz と設定した。OH による測定で位相変調を加えない場合

(図 2 中央) では、7.4 ns パルスの FT 限界である 60 MHz にほぼ近い 69 MHz (ガウシアンフィット) が得られ、歪みの少ない増幅が行われていることを確認した。 $\omega_m = 45$ MHz, $m = \pi$ の変調では(図 2 左および右)、300 MHz の周波数チャープを確認でき、また位相変調とパルス切り出しのタイミングにより down/up チャープを作り分けることができた。

現在の OH の周波数シフトから制限される周波数帯域である 600MHz/10ns のチャープを確認することができている [3]。

このように CARP 実現に十分な性能を有する新規光源を製作することができた。講演では本光源を用いた分子系に対する実験についても述べる予定である。

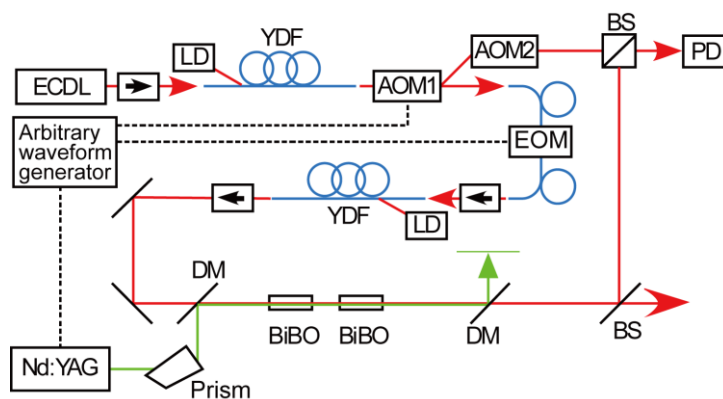


図 1 光源の模式図

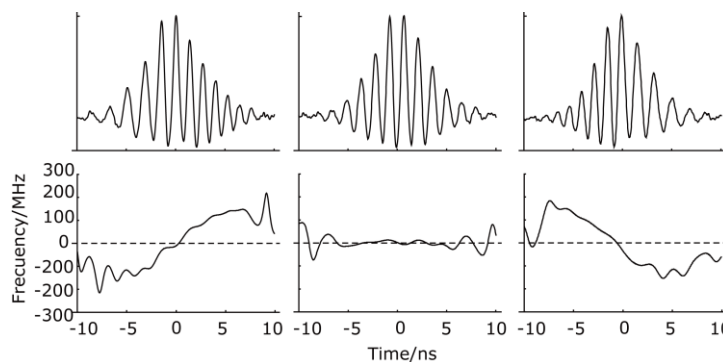


図 2 光ヘテロダイン法によるパルスの解析結果

[1] S. Chelkowski and D. Bandrauk, J. Raman Spectrosc. 28, 459 (1997).

[2] M. S. Fee, K. Danzmann, and S. Chu, Phys. Rev. A 45, 4911 (1992).

[3] S. Miyake and Y. Ohshima, Opt. Express 21, 5269 (2013).