

4P016

ナノ秒チャープパルス光源の開発とコヒーレント分布移動への応用

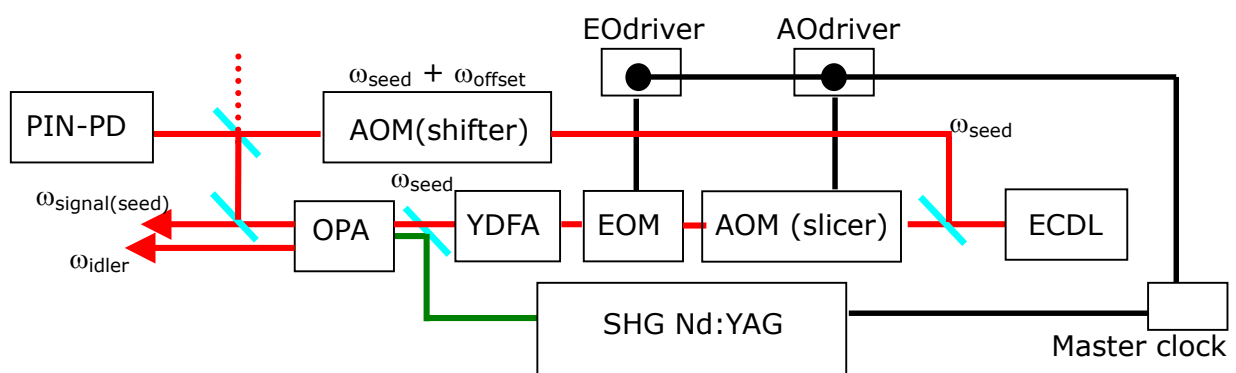
(総研大・分子研) ○三宅 伸一郎, 大島 康裕

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) の実現化について報告してきた [1]。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、さらに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、1 GHz 以下の分解能を持った光が必要とされる。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。具体的には、単一縦モードのシード光を位相変調し、時間的に切り出すことでチャープパルスを得る。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利得が必要で、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 CW のシード光により注入を行うことは初期値が小さいことを意味し、比較的大きい 100mW の出力であっても 10ns の幅に切り出すとわずか 1nJ/pulse のエネルギーでしかない。このような事情があいまって、単一縦モードナノ秒 OPA の難しさとなっている。これらの問題を克服するために、我々は外部共振器半導体レーザー (ECDL) の出力を位相変調した後、Yb 添加ファイバー (YDFA) 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。

現在、CARP による基底状態の高精度分光法に用いるための Nd:YAG 第二高調波励起 OPA を製作中である。図 1 にブロックダイアグラムを示す。この OPA では、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) の一次回折光を用いる。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る。AOM および EOM への RF 信号は励起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増幅する。この $1 \mu\text{m}$ 帯の増幅には、975 nm 半導体レーザー励起の Yb 添加ファイバーを利用する。ファイバー増幅器は容易に高い利得を得ることが可能であるが、反面、モードフィールドの小ささと相互作用する領域の長さにより非線形光学効果の影響も顕著に現れてしまう [2]。非線形効果は周波数領域ではスペクトル幅の拡大およびサイドバンドの生成とみなせるため、シード光に与えた変調が重要となる今回のような応用においては、非線形効果を抑制または出来る限り低減することが望ましい。最終的に OPA により増幅された光の変調の程度の測定は、ヘテロダイン検出により行う。すなわち OPA 出力をビームスプリッターに導き、変調前のシード光を AOM により周波数シフトさせた一次回折光と合流させ、PIN フォトダイオードによりこれら二つの光のビート信号を測定する。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。現在開発中の光源のパルス幅は 10ns 程度のため、周波数シフトは $\sim 800 \text{ MHz}$ と設定している。



[1] 三宅伸一郎 大島康裕, 分子科学討論会, 4P023 (2009)

[2] C. Ye et al., Laser Phys. Lett. A, 376 (2007)