

フォトニック結晶ファイバーを用いたスペクトル圧縮と単一ビームコヒーレントアンチストークスラマン散乱分光への応用

Spectral compression using a photonic crystal fiber and its application for a single beam coherent anti-Stokes Raman scattering spectroscopy

埴田 量宏 (Kazuhiro TADA)

E-mail: d2090010@photon.chitose.ac.jp

Novel single-beam coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) spectroscopy using the combination of a pulse shaper and a photonic crystal fiber (PCF) was demonstrated successfully, where a fundamental soliton Stokes pulse and a spectrally-compressed pump pulse were generated in the same PCF. The CARS signals from about 2905 and 3054 cm^{-1} of a single 6- μm -diameter polystyrene bead were obtained by using a single-beam that had both pump and Stokes components.

非線形ラマン分光のコヒーレントアンチストークスラマン散乱 (CARS) 分光はラベルフリーな分光手法として生体試料などの研究において注目されている。CARS は一般にポンプ光 (ω_p) とストークス光 (ω_s , $\omega_p > \omega_s$) の 2 波を用いる。このとき 2 つのビームの空間的な重ね合わせが信号強度に大きく影響し、ビームを重ね合わせる調節は簡単ではない。そこで我々は単一ビーム CARS 分光法の開発を目指している。これは単一ビーム上にポンプ光とストークス光の成分を持たせる手法であり、単一ビームにすることによって光学顕微鏡にビームを導入する場合や、光源から試料まで距離がある場合でも容易に分光できるものと期待される。本研究では波形整形器とフォトニック結晶ファイバー (PCF) を用いた単一ビーム CARS 分光を報告する。既に PCF の出射を波形整形器に通して時間分解測定による方法が報告されているが[1,2]、我々は波形整形器を通した後に PCF に入射することにより分光器で直接 CARS スペクトルを得る方法を提案する。これは波形整形器により強度とパルス幅の異なる 2 パルスを発生させてから PCF に入射することで単一ビーム上にポンプ光とストークス光の成分を持たせる方法である。ここでストークス光は異常分散をもつ PCF を用いることによりソリトンパルスを発生させて用いる。また、CARS のスペクトル分解能がポンプ光の帯域幅に大きく依存するためポンプ光の帯域幅を数 nm 以下にする必要がある。しかしながら PCF の出射パルスをフィルタリングしてポンプ光成分を狭帯域化すると損失が大きい。そこで自己位相変調 (SPM) を利用したスペクトルの圧縮により効率よくファイバーから取り出すことにした[3]。これらの PCF から出射したポンプ光とストークス光のスペクトル成分をもつ単一ビームを用いて CARS 分光を行う。

まず PCF を用いたスペクトル圧縮の実験について示す。スペクトル圧縮を行うには、パルスに負のチャープを与えてから PCF に入射する。これによりチャープしたパルスは PCF 中で SPM によりチャープが補償されるためスペクトルが狭帯域化する。Fig.1 (a) にスペクトル圧縮による狭帯域化実験の結果を示す。Ti:sapphire 発振器 (中心波長 810 nm、パルス幅 50 fs、繰返し周波数 78 MHz、平均出力 600 mW) から出力されたパルスにプリズム対を用いて負のチャープ (約 -5300 fs^2) を与えて PCF (長さ 119 mm) に入射した。入射パワ

一を強くしていくとスペクトルが狭帯域化されていることがわかり、43 mW 入射時には元のパルスの約 1/9 までスペクトルが狭帯域化されている。このとき PCF への結合効率は約 20 % であり、広帯域化させたスペクトルからフィルターで切り出すよりも強い強度のポンプ光を得ることができた。

PCF によるスペクトル圧縮を確認できたのでこれをポンプ光に用いた単一ビーム CARS 分光の実験について示す。まず波形整形器で Ti:sapphire 発振器からのパルスを 2 パルスに整形する。このとき 1 つのパルスにチャープ係数-3 程度の負のチャープを与え、2 パルスの間隔は 400 fs にした。この整形したパルスを PCF に入射してポンプ光とストークス光を発生させた。その後ロングパスフィルターとノッチフィルターを通してポンプ光とストークス光以外の不要な成分のスペクトルを除去した。ポンプ光とストークス光のスペクトルを Fig. 1 (b) (c) に示す。ポンプ光は約 4 nm まで狭帯域化を行った。これらのポンプ光とストークス光の成分をもつビームをサンプルに集光することで CARS 分光を行った。Fig. 1 (d) にサンプルに直径 6 μm のポリスチレンビードを用いたときの結果を示す。ポリスチレンの C-H 伸縮振動の約 2904 cm^{-1} と 3054 cm^{-1} の CARS 信号が 650 nm 付近に得られた。この結果より波形整形器と PCF を用いた新たな単一ビーム光学系により分光器で直接 CARS スペクトルを得ることができた。

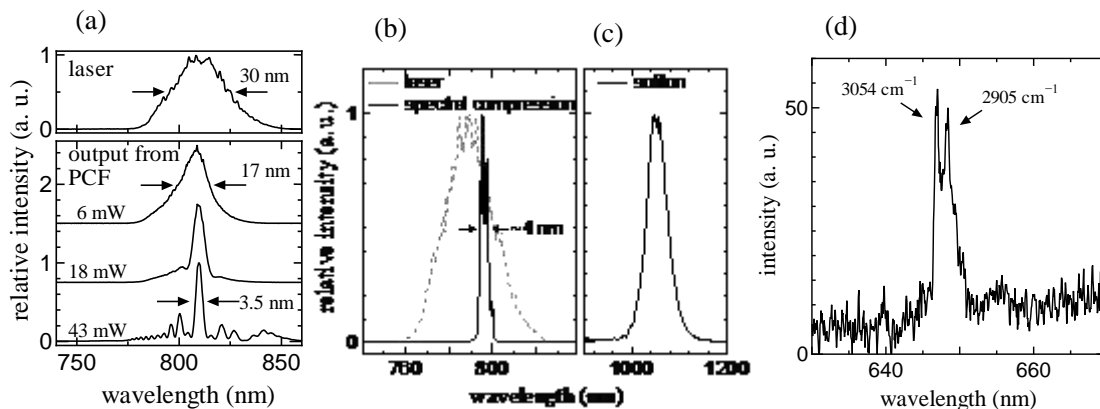


Fig.1 (a) Experimental results of spectral compression. (b) The spectrum of a spectrally-compressed pump pulse. A dashed-curve shows the laser spectrum. (c) The spectrum of a soliton Stokes pulse. (d) The CARS signals of a polystyrene bead sample.

参考文献

- [1] N. Dudovich, D. Oron, and Y. Silberberg, *Nature*, 418, 512 (2002).
- [2] B. von Vacano and M. Motzkus, *Opt. Commun.*, 264, 488 (2006).
- [3] E. R. Andresen, J. Thøgersen, and S. R. Keiding, *Opt. Lett.*, 30, 2025 (2005).