

空洞フォトニックバンドギャップファイバーを用いた

ラマンセルの製作と超短パルス光への応用

(九大院工) ○永原哲彦, 井原和紀, 外田鉄兵, 今坂藤太郎

【序】レーザーのスペクトル幅の拡大による波長変換・短パルス化の1つに気体のラマン散乱と4光波混合を用いる方法がある¹⁾。しかし加圧容器と光学窓で構成される一般的な気体セルを用いた場合、ラマン光の発生に高い尖塔出力のレーザーを要する。

最近コアが空洞のフォトニックバンドギャップファイバー (PBF) をラマンセルとして用いた研究が報告された²⁾。この場合、励起光はラマン媒質で満たされた細いコア中を伝搬するため、比較的弱い励起光源でも高効率にラマン光が発生する。

また従来の気体ラマンセルは大型 (長さ: 数 10 cm - 1 m 程度) で場所をとるのに対して、PBF を用いたラマンセルはファイバーを巻き取って小型にすることが可能であるという利点もある。このような PBF ラマンセルを用いてレーザーのスペクトル幅を拡大すれば、小型の波長変換器・パルス圧縮器を実現できる可能性がある。

【実験】PBF (HC19-532-01, HC-532, HC-800-01, HC-800-02; コア径: 7, 5, 9.5, 7 μm ; 中心波長: 535, 510, 830, 840 nm; Crystal Fibre 社) を用いた気体ラマンセル (図 1) を製作した。気体導入排出部と入・出射窓は Swagelok 社の T 字継ぎ手を加工して製作した。PBF 側のフェルールにはグラファイトを用いている。入・出射窓は 0.5 mm 厚のサファイア板を内側から接着した。レーザー光はレンズ (x 10 対物レンズまたは非球面レンズ $f = 17 \text{ mm}$) を用いこの窓を通して PBF にカップリングする。出射光は分光器 / 1 次元検出器 (USB-2000, Ocean Optics) で検出した。

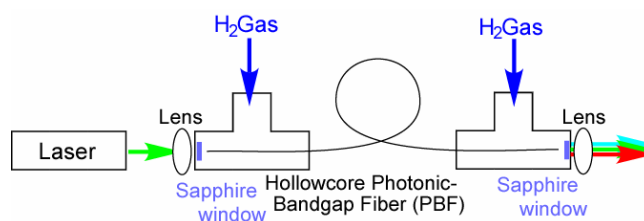


図 1 PBF を用いたラマンセルと実験光学系

水素ガス (1-25 atm) を充填した状態で種々の光源を用いて実験を行った。光源はピコ秒 Nd^{3+} :YAG レーザー (Leopard, Continuum) の第 2 次高調波 (532 nm, $\sim 100 \text{ ps}$, 10 Hz, $\sim 10 \text{ mm } \phi$)、フェムト秒 Ti:Sapphire レーザー (Tsunami, Spectra Physics; Concerto, Thales Laser) の基本波 (750-850 nm, $< 100 \text{ fs}$, 83 MHz, $\sim 3 \text{ mm } \phi$; 780 nm, 100 fs - 1 ps, 1 kHz, $\sim 8 \text{ mm } \phi$) を用いた。

【結果と考察】532 / 800 nm 用の PBF ラマンセルの透過率は、カップリングロスや窓材の反射も含め励起レーザー波長で 20%程度であった。

ピコ秒Nd³⁺:YAGレーザー第2次高調波(50 μJ)を用い水素(10 atm)をHC19-532-01(1 m長)に充填した結果、水素の回転ラマン線(587 cm⁻¹)がStokes・Anti-Stokesそれぞれ3次(S1, S2, S3)・1次(AS1)まで確認できた。図中のAS1, S1, S2, S3の強度はそれぞれ透過励起光(F)の0.5, 20, 5, 0.4%である。

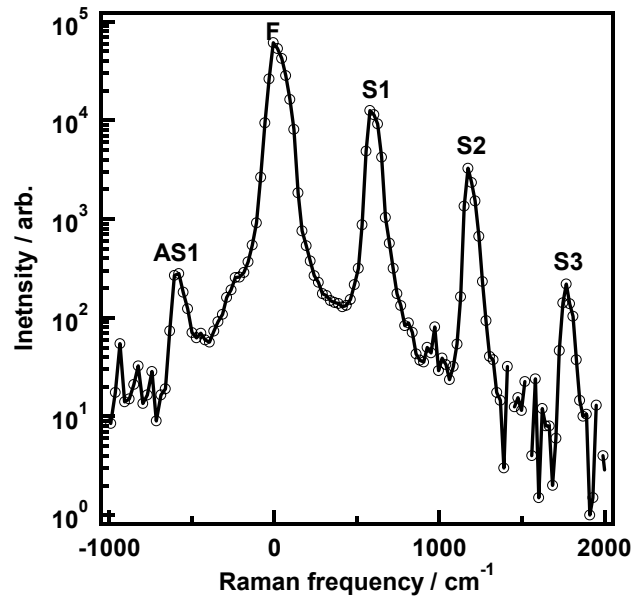


図2 ピコ秒グリーンレーザーを用いた場合のスペクトル

1/4波長板で励起レーザー光の偏光状態を変化させたが、振動ラマン光(4155 cm⁻¹)は観測されなかった。この理由として、用いたファイバーの透過波長範囲が狭いこと、1/4波長板で位相変化を補償できていないこと等が考えられるが現在検討中である。

この実験中にしばしばファイバーの端面が損傷した。PBFはコアが空洞なので高エネルギーパルス of 電送に適していると考えられてきたが、微細構造を持ったクラッド部分がレーザーアブレーションによって損傷するとの報告がある³⁾。我々の実験で用いたレーザーの集光性が悪いため、クラッド部分が損傷した可能性が高い。

次にHC-800-02(1 m長)とフェムト秒レーザー(~1 μJ)を用いた結果を図3に示す。水素圧の増大とともにスペクトルのブロードニングと分裂が観測された。また長波長側の分裂したスペ

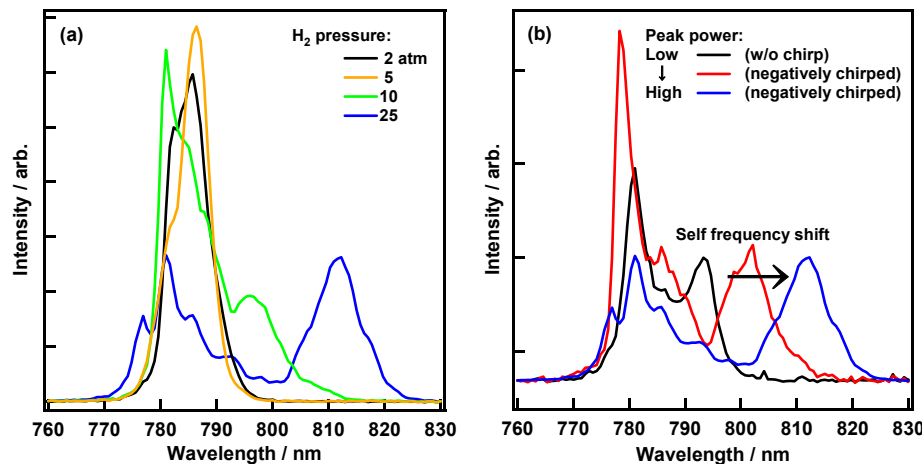


図3 フェムト秒レーザーを用いた場合 [(a)水素圧依存性, (b)ピークパワー依存性]

クトル成分は、ピークパワーの増大に伴い自己周波数シフトすることからPBFの異常分散領域(ゼロ分散波長: ~800 nm)で生ずるソリトン波であることがわかる。ソリトン波のシフトは低周波数側(長波長側)の利得をラマン効果によっ

て得ることで起こる。これらの結果は過去の報告と定性的によく一致する⁴⁾。

今後、透過光パルス幅などについても検討を行ってみたい。

[1] S. Yoshikawa et al., *Opt. Comm.*, **96**, 94 (1993); A. E. Kaplan, *Phys. Rev. Lett.* **73**, 1243 (1994); M. Y. Shverdin et al., *Phys. Rev. Lett.* **94**, 033904 (2005).

[2] F. Benabid et al., *Science* **298**, 399 (2002).

[3] J. D. Shephard et al., *Opt. Express* **12**, 717 (2004).

[4] D. G. Ouzounov et al., *Science* **301**, 1702 (2002); F. Luan et al., *Opt. Express* **12**, 835 (2004).