2Bp07

フォトニッククリスタルファイバーを用いた顕微 CARS 分光法の開発 (東大院理) 加納英明、濵口宏夫

【序】 近年、新しいコヒーレント白色光源の発生法として、フォトニッククリスタルファ イバー (Photonic crystal fiber, PCF)を用いた方法が注目を集めている[1]。PCF とは、ハニカ

ム状に規則正しく並んだ空孔からなるクラッドと、石英 もしくは空孔からなるコアから構成されたファイバー である。図1に、コアが石英の PCF の断面図を示す。 PCF は、空孔のサイズ及びピッチの調整により異常分散 の制御が可能であり、その結果群速度分散がゼロになる 波長を可視域にすることができるなど、通常のファイバ ーでは困難であった様々な特性を有している。特に、フ ェムト秒レーザー発振器によりコヒーレントな白色光 が得られることが発見されて以来、周波数標準の研究、 光コヒーレンス・トモグラフィ、非線形光学など、幅広 い分野で急速に応用されつつある。しかしながら、分光



図 1 フォトニッククリスタル ファイバーの断面図。

光源としてこれを用いた研究は、これまでのところ非常に少ない[2,3]。我々は、この白色光 を分光光源とした新しい振動分光光学系の構築について研究を進めており、これまで白色光 の時間特性の評価や、コヒーレント逆ラマン分光への応用について発表してきた [4]。本研究 では、非常に安定で高繰り返しであるという特徴を有するこの白色光源を用い、新しい顕微 コヒーレント・アンチストークス・ラマン散乱(CARS)分光装置を試作したので報告する。

図 2 に実験装置を示す。 光源 【実験】 には励起レーザー一体型の Ti:sapphire 発 振器(Coherent 社; Vitesse, 中心波長 801nm, パルス幅 90fs, 繰り返し 80MHz, 出力 940mW)を用いた。発振器からの出 力の一部(約300mW)をフォトニックク リスタルファイバー (理経/Crystal Fibre 社; NL-1.7-690, コア径 1.7 um、 クラッド径 129µm、ゼロ分散波長 690nm、全長約 30cm)に導入して、可視から近赤外にわ たる広帯域白色光を発生させた。本実験 では可視域をフィルターでカットし、近 赤外領域の白色光のみを実験に用いた。 時間領域 CARS 分光の測定では、残りの 出力をさらに二つに分割し、それぞれ光 学遅延路 (τ_1, τ_2) を経由した後、白色光 と同軸に対物レンズ(×20)に導入した。 周波数領域 CARS 分光の測定では、基本 波を二つに分割せずに片側の遅延路のみ 用い、バンドパスフィルターにより狭帯 域にした後、白色光と共に対物レンズに 導入した。いずれの測定においても、対 物レンズで集光しているために波数ベク トルの角度分布が幅広く、その結果位相



図 2 顕微 CARS 分光光学系。HM1,HM2 ハーフミ ラー; DM ダイクロイックミラー; IR80 近赤外透 過フィルター; PMT 光電子増倍管。

整合条件が広帯域で満たされている。試料において発生した CARS 光を分光した後、光電子 増倍管及びロックイン・アンプ(NF;LI5640)で検出した。

【結果・考察】

1) 時間領域 CARS 分光

図 3(a)に試料におけるパルスの時間順序を、図 3(b)にシクロヘキサンの CH2 伸縮振動領域(測

定波長 651nm)における時間領域 CARS 信号を示す。図 3(b)で縦軸、横軸はそれ ぞれ二つの基本波の遅延時間 τ_1 , τ_2 であ る。図から明らかなように、 $\tau_1 = \tau_2$ につ いてほぼ対称的な信号が測定された。ま た、 $\tau_1 = 0$ 付近での τ_2 遅延時間依存性に、周期 約 380fs の明瞭なビートが観測された。こ の振動成分をフーリエ変換すると波数は 約 88cm⁻¹となり、CH₂の対称・逆対称伸 縮振動の波数差(約 80cm⁻¹)とよく一致 する。従って、これはシクロヘキサンの 二つの振動コヒーレンスから発生した CARS 光同士の干渉であると同定した。

2) 周波数領域 CARS 分光

図4にシクロヘキサンのCH2伸縮振動領 域におけるCARSスペクトルを示す。波 数分解能は10cm⁻¹である。CARSスペク トルの強度補正には、二硫化炭素の非共 鳴信号を用いた。比較のため、シクロヘ キサンの自発ラマンスペクトルも示す。 一般に、CARS分光では非共鳴バックグ ラウンドと呼ばれる信号が重畳し、分散 型のスペクトル形を示すことがあるが、 本実験ではレーザー波長が近赤外域のた め、非共鳴バックグラウンドが抑制され、 ピーク位置が自発ラマンスペクトルとよ く対応している。この方法を用いること で、高効率 CARS イメージングが可能と なることが期待される。

[1] J. Ranka, R. Windeler, and A. Stentz, *Opt. Lett.* **25**, 25 (2000).

- [2] V. Nagarajan, E. Johnson, P. Schellenberg,
 W. Parson, and R. Windeler, *Rev. Sci. Instrum.*73, 4145 (2002).
- [3] H. N. Paulsen, K. M. Hilligsoe, J. Thogersen, S. R. Keiding, and J. J. Larsen, *Opt. Lett.* **28**, 1123 (2003).
- [4] H. Kano and H. Hamaguchi, submitted.



図 3 (a) 試料位置におけるパルスの時間順序 (b) シクロヘキサンの CH₂ 伸縮振動領域(測定波長 651nm)における時間領域 CARS 信号。



図4 シクロヘキサンの CH₂伸縮振動領域における周 波数領域 CARS 信号(赤)と自発ラマンスペクトル (緑)。