237 マルチチャネル分光映像装置を用いた 白色短パルスレーザー光の瞬時分光画像計測

大阪大学大学院工学研究科 平井亜紀子[○], 伊東一良, 一岡芳樹

Simultaneous spectral imaging of ultrafast super-continuum light
by multi-channel spectral imaging

Akiko HIRAI, Kazuyoshi ITOH, and Yoshiki ICHIOKA

A multichannel spectral imaging system consisting of dichroic mirrors is applied to spectral imaging of the ultrafast super-continuum light. The mechanism of ultrafast super-continuum light has not yet been elucidated completely. The spectral images of the super-continuum light are expected to give us a deeper insight. The multichannel spectral imaging system can capture a spectral image instantaneously and is expected to have a high signal-to-noise ratio. The spectral image of the single pulse of the super-continuum shows that the spectrum varies according to the distance from the optical axis.

1. はじめに

分光画像は、画像情報と分光情報とを同時に持ち、これから物質の状態の空間分布などを知ることができる。燃焼状態の計測や医療などの分野では、対象物体が高速に変化するため、高速計測が可能な分光映像法が必要になる。しかし、計測時間が短くなるにつれて入射光量が少なくなるため、光の利用効率が高い分光映像システムが望まれる。

我々は、入射光束を複数枚のダイクロイックミラーで次々と二分割し、複数の波長帯域での画像を出力する分光映像システムを提案している¹⁾。ダイクロイックミラーは、ある波長において透過率と反射率が相補的に急激に変化する。入射光はその波長によって透過光と反射光に分離される。システムの概念図をFig.1に示す。2ⁿ個の波長帯域での画像を得るために、(2ⁿ-1)枚のダイクロイックミラーを用いる。異なる波長帯域における画像は異なる位置に出力され、検出される。このシステムでは、全ての波長帯域の画像を同時に検出することができるため、高速現象の分光画像測定が可能である。また、入射光の全てが検出器に到達するため、同一の開口数を持つ他のシステムよりも信号対雑音比が高い。

本論文では、この分光映像装置を用いて、白色短パルス光の

Fig. 1 Principle of multi-channel spectral imaging

Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka

分光画像を測定した。白色短パルス光は、フェムト秒程度の短パルスレーザー光を水や重水中に集光したとき、非線形光学効果によってスペクトル幅が広げられて生じる。この白色短パルス光は、光軸からの距離によってそのスペクトルが異なっている。白色短パルス光の分光画像の測定は、その発生機構の解明の助けとなることが期待される。

2. マルチチャネル分光映像装置

Fig. 2(a)に8波長帯域に分割する光学系の装置の写真を、(b)に構成を示す。Fig. 2(b)で、うすいグレーの平行四辺形はダイクロイックミラーを、濃いグレーは鏡を表す。入射光は各ダイクロイックミラーにおいて反射または透過し、各波長帯域での光が上方に出射する。この波長分割系と結像系とを組み合わせてることによって、分光画像を測定する。ダイクロイックミラーは、波長400nm～800nmの領域を8等分し、各画像の波長帯域が50nmとなるように組み合わせられている。

3. 白色短パルスレーザー

フェムト秒程度の短パルスレーザーを水や重水中に集光すると、指向性および輝度が非常に高い白色光源を作ることができる。この白色短パルス光は、新しい光源として計測^{2,3)}、情報処理等への応用が期待されている。しかしその発生機構については、四光子パラメトリック効果⁴⁾、自己位相変調⁵⁾、などいくつかの理論があるものの、いまだ解明されておらず、安定した発生方法もない。発生機構の解明のために行われている実験の一つに、白色短パルス光の空間パターンを計測したものがある⁶⁾。白色短パルス光のスペクトルは、光軸に垂直な断面内において光軸からの距離によって異なる。また、励起光の強度によって空間的なスペクトル分布は変化する。機構解明のために、多くのスペクトルチャネルを持つ分光画像の計測が必要となる。

4. 実験結果

実験光学系をFig. 3(a)に示す。アルゴンイオンレーザー (Coherent, I310) 励起のチタンサファイアレーザー (MIRA900 Basic) の出力パルス光をYAGレーザー励起チタンサファ

Fig. 2 Spectral dividing system in the case of dividing into eight spectral bands. (a) photograph and (b) schematic of the system.

イア増幅装置 (Continuum, TR-70) に入射する。増幅されたパルス光 (780nm, パルス幅～200 fs) を重水中に集光する。励起された白色短パルス光をコリメートし、開口を挿入して一部を選択し、波長分割光学系に入射させ、検出器上に結像させた。高強度の励起パルス光を除去するために、長波長カットフィルター (Melles Griot, FCG163) を挿入した。検出器にはデジタルカメラ (Xillix, MicroImager1400) を用い、励起パルスと同期させて画像を取り込んだ。ファーフールドパターンを目で観測すると、Fig. 3(b) に示すように、中央部は巨視的には白色に見えるが、微視的には色の付いたスペックルが観測される。周辺は光軸に近い順に、黄色、緑色、青色の環が見える。

Fig. 3 Experimental setup. (a) optical system. (b) far-field pattern of ultrafast super-continuum light and locations of aperture in the experiments.

Fig. 4に白色短パルス光のビームの縁付近の分光画像測定結果を示す。今回の波長分割系は各波長帯域での画像が疎に配列されている。全ての画像を一つの検出器で検出すると、空間分解能が低くなるため、各波長帯域での画像を順次測定した。開口の位置は、Fig. 3(b)に示す通りである。Fig. 4では、各波長帯域での画像を並べてあり、図中の数字は波長帯域を表す。700nm以上の領域は、長波長カットフィルターを挿入しているため強度が弱かったので、400~700nmまでの6帯域での画像を示す。空間チャンネル数は300×300点である。400~450nmの波長帯域では、ほぼ一様な強度分布であることが分かる。450~550nmと600~650nmの波長帯域では、ビームの外側の強度が高くなっている。550~600nmと650~700nmの波長帯域ではビームの内側の強度が高くなっていることがわかる。また、スペックルパターンも確認できる。

5. まとめ

マルチチャンネル分光映像装置を用いて、白色短パルス光の分光画像を測定した。今回

は各波長帯域での画像を順次測定したが、全ての波長帯域での画像を同時に測定することも可能である。高い空間分解能でこれを実現することは今後の課題である。また、空間パターンのパルス毎の変化やビーム内の様々な位置での分光画像も調べる予定である。

謝辞

実験に際し御指導、御協力いただいた大阪大学大学院工学研究科朝日剛助手に感謝いたします。

参考文献

- 1) 平井, 橋本, 伊東, 一岡, "ダイクロイックミラーで構成された分光映像システムの進化的手法による設計," 第43回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (1996) p. 939.
- 2) M. C. Downer, R. L. Fork, and C. V. Shank, "Femtosecond imaging of melting and evaporation at a photoexcited silicon surface," J. Opt. Soc. Am. B, 2, (1985) p. 595.
- 3) K. Minoshima, "Simultaneous 3-D imaging using chirped ultrashort optical pulses," Jpn. J. Appl. Phys., 33, (1994) p. L1348.
- 4) R. Y. Chiao, R. L. Kelley, and E. Garmire, "Stimulated four-photon interaction and its influence on stimulated rayleigh-wing scattering," Phys. Rev. Lett., 17, (1966) p. 1158.
- 5) W. L. Smith, P. Liu, and N. Bloembergen, "Superbroadening in H_2O and D_2O by self-focused picosecond pulses from a YAlG:Nd laser," Phys. Rev. A, 15, (1977) p. 2396.

Fig. 4 Cross-sections of the spectral image of super-continuum light.