

STRUCTURAL CHEMISTRY

Annual Research Highlights

(1) “Sequentially timed all-optical mapping photography (STAMP) for capturing picosecond-to-femtosecond dynamics”

High-speed photography is a powerful tool to discover and understand ultrafast phenomena. However, the speed of conventional high-speed cameras is limited by the processing power of mechanical and electrical components.

Here we have developed a single-shot imaging technique which is called Sequentially Timed All-optical Mapping Photography (STAMP) (Fig 1a). STAMP based on all-optical approach overcomes the speed limitations in conventional high-speed cameras and therefore allows for sub-nanosecond burst image acquisition. By using STAMP, we captured the dynamics of femtosecond-laser ablation with a frame rate of 65.4 Gfps (Fig 1b) and phonon-polariton formation and propagation with frame rates of 1.23 Tfps and 4.37 Tfps (fig. 1c).

This work was performed in collaboration with the laboratories of Prof. Kannari at Keio University and Prof. Ichiro Sakuma at University of Tokyo.

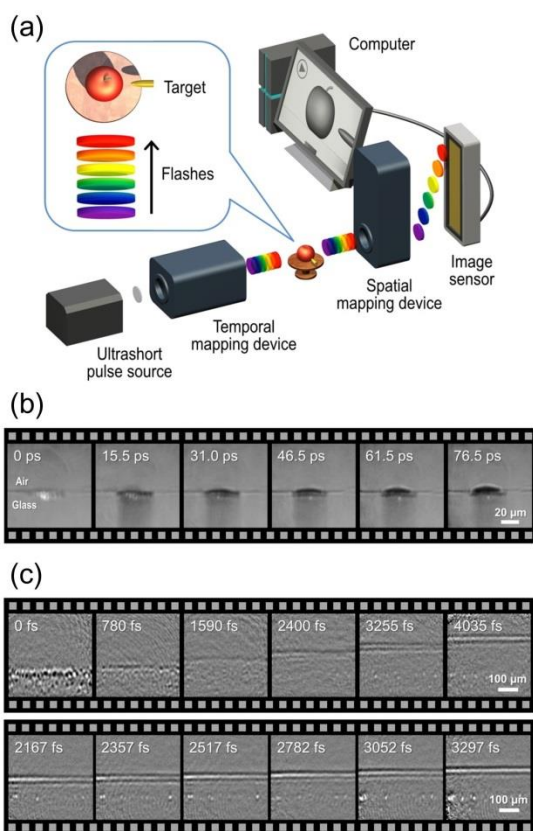


Fig. 1 Ultrafast imaging with STAMP. (a) Schematic of STAMP. (b) A sequence of images of laser ablation acquired by STAMP with a frame rate of 65.4 Gfps. (c) Motion pictures of phonon-polariton dynamics with frame rates of 1.23 Tfps (upper panel) and 4.37 Tfps (lower panel).

1.(1)-1) *Nat. Photon.*, **8**, 695-700 (2014)

(2) “High-speed multispectral videography with a periscope array in a spectral shaper”

Spectral imaging methods which obtain the 3D dataset (x, y, λ) of a target have been used for remote sensing, food inspection, clinical diagnosis, and so on. Recently, snapshot spectral imaging systems which perform spectral imaging without scanning device have been developed for meeting the great demand of real-time data acquisition. However, these methods require large computational work and are vulnerable to misalignment due to complex arrangements of optical elements.

Here we have developed a simple method for snapshot multispectral imaging. The developed system has a periscope array in spectral shaper which splits white light into spectral components without losing the spatial profile of a target (Fig. 2a). We carried out high-speed multispectral video recording with the developed system and a commercialized high-speed camera. We monitored the fan that had four color filters and rotated at 5000 rpm. As shown in Fig. 2b, the multispectral movie of the dynamics was obtained with a frame rate of 2800 fps.

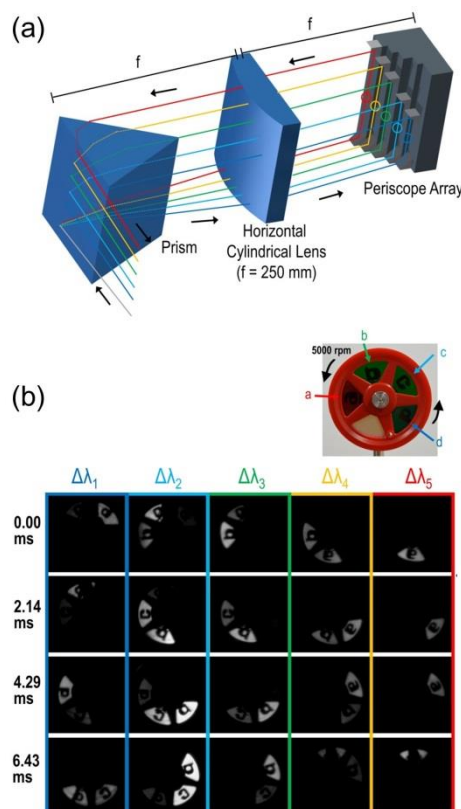


Fig. 2 High-speed multispectral videography with a periscope array. (a) Principle of spectral imaging with a periscope array in a spectral shaper. (b) Multispectral movie of the fan that has four color filters and rotates at 5000 rpm. The movie was acquired with a frame rate of 2800 fps.

1.(1)-2) *Opt. Lett.*, **39**, 6942-6945 (2014)

研究ハイライト

(1) ピコ秒・フェムト秒ダイナミクスを捉えるための超高速撮影法 STAMP

高速現象を捉える高速度イメージングは、未知の高速現象を発見し、理解するために非常に重要な手法である。しかしながら、従来技術では機械的・電気的作動の限界により、高速化がナノ秒の時間スケールで頭打ちとなっていた。

そこで我々は、STAMP と呼ぶシングルショット超高速撮影法を開発した (図 1a)。STAMP では光学的手法を駆使することで、従来技術の限界を超えるサブナノ秒の時間分解能にて連写撮影を実現する。STAMP の原理実証として、65.4 Gfps の撮影速度にてフェムト秒レーザーアブレーションのダイナミクス (図 1b) を、1.23 Tfps および 4.37 Tfps の撮影速度にてフォノン・ポラリトンのダイナミクス (図 1c) を捉えることに成功した。

本内容は、東京大学大学院工学系研究科の佐久間一郎教授、慶應義塾大学の神成文彦教授らとの共同研究の成果である。

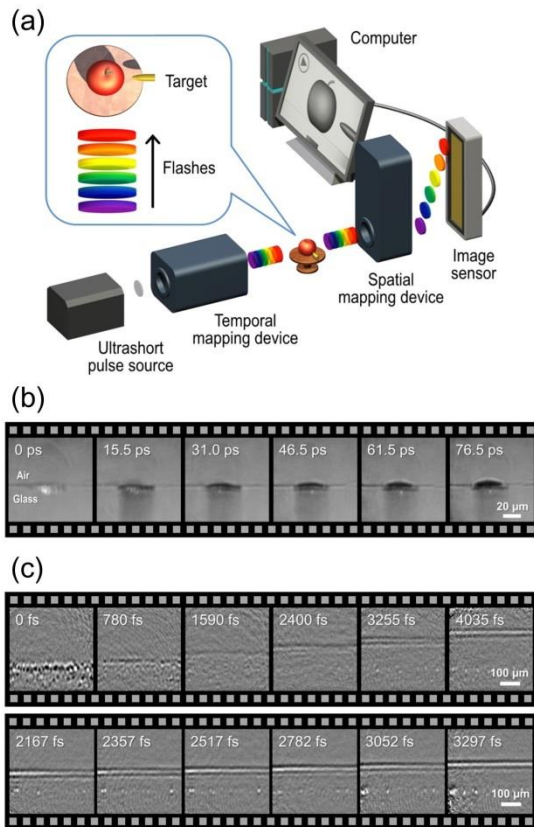


図 1 STAMP による超高速イメージング. (a) STAMP の原理. (b) レーザーアブレーションの撮影結果. 撮影速度は 65.4 Gfps. (c) フォノン・ポラリトンの形成と伝播の撮影結果. 撮影速度は 1.23 Tfps (上) および 4.37 Tfps (下).

(2) ペリスコープアレイを用いた高速度マルチスペクトラルイメージング

観察対象の 3 次元情報 (x,y,λ) を取得するスペクトラルイメージングは、リモートセンシングや食品の検査、医療における診断などに用いられている。近年ではリアルタイムな情報取得の要望に応えるため、スキャンによらないスナップショットスペクトラルイメージング法が開発されている。しかしながらそれらは多大な計算処理の必要性や、複雑な構成による装置の脆弱性・不安定性などの問題を有する。

そこで我々はスナップショット・マルチスペクトラルイメージングのための簡易な手法を開発した。本手法では、スペクトラルシェーパーにおけるペリスコープアレイという特殊な光学系により、像情報を失うことなく白色光を複数のスペクトル要素に分割する (図 2a)。本システムと既存の高速度カメラを組み合わせることで、5000 rpm で回転する 4 枚のカラーフィルタを、2800 fps という撮影速度にて捉えることに成功した。

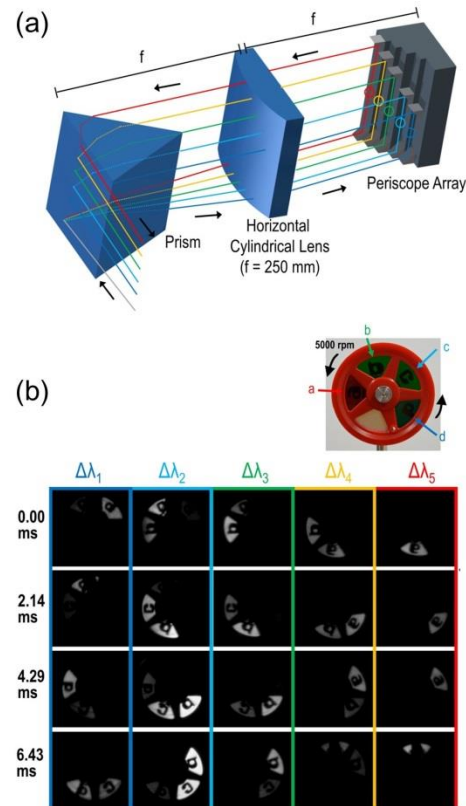


図 2 ペリスコープアレイによる高速度マルチスペクトラルイメージング. (a) イメージングの原理. (b) 高速度マルチスペクトラルイメージング. 5000 rpm という高速で回転する 4 枚のフィルタを 2800 fps にて撮影.

1. 原著論文

(1) Refereed Journals

- 1) K. Nakagawa, A. Iwasaki, Y. Oishi, R. Horisaki, A. Tsukamoto, A. Nakamura, K. Hirose, H. Liao, T. Ushida, K. Goda, F. Kannari, and I. Sakuma, "Sequentially timed all-optical mapping photography (STAMP)," *Nature Photonics* **8**, 695-700 (2014).
- 2) K. Hashimoto, H. Mizuno, K. Nakagawa, R. Horisaki, A. Iwasaki, F. Kannari, I. Sakuma, and K. Goda, "High-speed multispectral videography with a periscope array in a spectral shaper," *Optics Letters* **39**, 6942-6945 (2014).
- 3) A. Yazaki, C. Kim, J. Chan, A. Mahjoubfar, K. Goda, M. Watanabe, and B. Jalali, "Ultrafast dark-field surface inspection with hybrid-dispersion laser scanning," *Applied Physics Letters* **104**, 251106 (2014).

(2) その他

- 1) K. Nakagawa, I. Sakuma, F. Kannari, and K. Goda, "Motion picture femtophotography," *Optics & Photonics News* **25**, 59 (2014).
- 2) B. Jalali, M. Li, K. Goda, and M. H. Asghari, "Real-time photonic measurements, data management, and processing," *Proceedings of SPIE* **9279** (2014).
- 3) M. Ugawa, B. Jalali, and K. Goda, "Dispersive Fourier transformation for spectroscopy and imaging of non-repetitive dynamics," *日本分光学会年次講演会* (2014)

2. 総説・解説

- 1) M. Takahashi, Y. Sakaki, T. Ideguchi, and K. Goda, 「分散フーリエ分光法・デュアルコム分光法を用いた新規な超高速分光測定」, *分光研究* **63**, 5, 210 (2014).
- 2) M. Ugawa, H. Kobayashi, and K. Goda, 「瞬間を捉える超高速イメージング」, *光学* **3**, 124 (2014).
- 3) M. Ugawa, T. Ideguchi, and K. Goda, 「迅速・非侵襲に血中がん細胞を発見するカメラ」, *PET Journal* **28**, 28 (2014).
- 4) K. Nakagawa and K. Goda, 「1兆分の1秒以下の世界を捉える連写カメラ」, *セラミックス* **49**, 12 (2014).
- 5) A. Nakagawa, K. Ohtani, K. Goda, R. Armonda, and E. Tominaga, 「爆風による外傷性脳損傷 (blast-induced traumatic brain injury)」, *Annual Review 神経* **2014**, 192 (2014).

3. 著書

4. その他

- 1) 共同通信社 (2014年8月11日) 「世界最高速の連写カメラを開発 東大と慶大、1兆分の1秒撮影」
- 2) Wall Street Journal (2014年8月11日) 「Japan Unveils Camera That Captures Chemical Reactions in Single Shot」
- 3) 日本経済新聞 (2014年8月12日) 「1秒間に1兆枚 最高速カメラ」
- 4) 日本産業新聞 (2014年8月12日) 「1秒で1兆枚連写 東大などカメラ 化学反応 撮影に道」
- 5) 産経新聞 (2014年8月12日) 「東大・慶大チームが世界最速連写カメラ」
- 6) Telegraph (2014年8月12日) 「World's fastest camera takes four trillion photos a second」
- 7) Wired (2014年8月12日) 「Camera shoots at 4.4 TRILLION frames per second」
- 8) 日刊工業新聞 (2014年8月13日) 「世界最高速のビデオカメラ プラズマ爆発の瞬間も」