

全光ヒルベルト変換で瞬時計測された波面位相による瞬時 3 次元計測

One-shot 3D imaging using phase image captured by all-optical Hilbert transform

電通大¹, JST, さきがけ² ○(PD)加藤 峰士^{1,2}, 森藤 環¹, 美濃島 薫¹

The Univ. of Electro-Communications (UEC)¹, JST, PRESTO²

○(PD)Takashi Kato^{1,2}, Tamaki Morito¹ and Kaoru Minoshima¹

E-mail: takashi.kato@uec.ac.jp

近年の工学・産業における高精度な瞬時 3 次元計測手法の需要に対し、我々はチャープした超短パルスを用いた時間・空間・周波数情報の瞬時変換手法[1]に基づき、実用性の優れたファイバーレーザーによる光コムの特長を用いた瞬時 3 次元計測手法を開発した。これは、形状および内部情報を超高速($\sim$ fs)に sub- μ m の不確かさで取得可能な手法であり[2, 3]、超高精度と広範囲測定を同時に実現する。さらに空間解像度向上のため、光演算による高解像度 2 次元分光法を新たに開発することで画像素子と同等の空間解像度を有する瞬時 3 次元計測を開発・実現した[4]。さらに原理的な最高時間分解能である $\sim$ fs の形状計測の実現のため、AOM によるパルスピックアップを用いたテストターゲットの 3 次元計測を行い、定量性を保ちつつ取得することに成功した[5]。本研究では、ヒルベルト変換時に同時に取得できる位相画像を計測することで nm オーダーの光路長変化の空間分布を計測する手法を開発した。実験では、高電圧パルス印加時の LiNbO₃(LN)結晶の位相遅れを対象として、ns スケールでの瞬時 3 次元像の計測を試みた。

実験では Er ファイバコムの繰り返し周波数を約 51 MHz で安定化し、参照光と物体光をそれぞれ SMF と DCF でチャープさせて 9 ps と 16 ps のチャープパルスを発生させた。そして AOM でパルスを抜き出し、繰り返し周波数 30 kHz のパルス列を生成した。このパルス列と同期して、40 ns 程度で立ち上がる高電圧パルスを LN (4 × 3 × 40 mm)に印加し、電気光学効果と圧電効果による位相遅れをヒルベルト変換で得られる位相画像を使うことで 2 次元的に取得した。図 1 に計測された位相画像を示した。図が示す通り、高電圧が印加されることによって結晶の四隅の角から球面波状の波が観測された。今回用いた結晶は x-cut であり高電圧印加時にはせん断応力が生じるため、位相画像に表れた波面は瞬間的な電圧印加で引き起こされた横波の衝撃波であると考えられる。実際、計測された波の速度は 3776 m/s であり、LN の横波の速度に関する文献値は約 4000 m/s と近い値を示した[6]。歪曲収差による LN 像のゆがみや、参照光の位相関係の不安定性などを改善することで、より高品位な超高速 3 次元像が得られると考えられる。

本研究は、JST, ERATO 美濃島知的光センササイザプロジェクト(JPMJER1304)、JSPS 科研費(19K15464)の助成を受けた。

[1] K. Minoshima, H. Matsumoto, Z. Zhang, and T. Yagi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **33**, L1348–L1351 (1994).

[2] T. Kato, M. Uchida, and K. Minoshima, *Sci. Rep.*, **7**(1), p. 3670 (2017).

[3] T. Kato, M. Uchida, Y. Tanaka, and K. Minoshima, *OSA Continuum*, **3**(1), 20–30 (2020).

[4] T. Kato, H. Ishii, K. Terada, T. Morito, and K. Minoshima, *arXiv:2006.07801* (2020).

[5] T. Kato, H. Ishii, K. Terada, T. Morito, and K. Minoshima, *CLEO2020*, STu4N.7. (2020).

[6] A. S. Andrushchak, et al., *J. Appl. Phys.*, **106**(7), (2009).

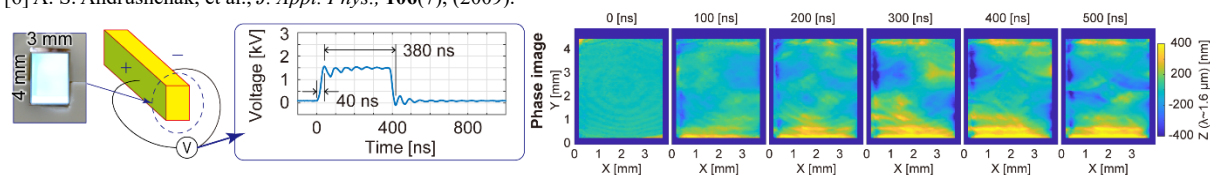


図 1：高電圧パルス波形と、電圧印加時に LN 結晶内部で発生した衝撃波が写る位相画像