

## 液膜プラズマミラーを用いた周波数分解光ゲート計測法の開発

## Development of liquid-jet plasma-mirror frequency resolved optical gating technique

○(P) 遠藤 友随、坪内 雅明、板倉 隆二 (量研関西研)

○Tomoyuki Endo, Masaaki Tsubouchi, Ryuji Itakura (QST-KPSI)

E-mail: endo.tomoyuki@qst.go.jp

【序】高次高調波や自由電子レーザーによるフェムト秒・アト秒パルス発生が実現し、真空紫外・極端紫外領域におけるパルス波形計測法の開拓が求められている。我々は高強度フェムト秒レーザーを固体表面に集光した際に、生成するプラズマの密度が急峻に立ち上がることを利用したプラズマミラー周波数分解光ゲート (PM-FROG) 法を開発し、真空紫外領域での波形計測を実証してきた [1]。しかし、レーザー照射による表面損傷のため、測定可能な繰り返し周波数が制限 (10 Hz) されていた。本研究では、PM-FROG 法の高繰り返しレーザーへの適用を目的とし、液膜をターゲットとした紫外領域 ( $\sim 400$  nm) での時間分解反射分光計測をおこなった。また、本手法によりパルス波形と同時に得られるプラズマミラーの反射率の時間変化について物理モデルを検討した。

【実験】Ti:Sapphire レーザー再生増幅器からの出力 (795 nm,  $\sim 70$  fs, 1 kHz) を  $\beta$ -BBO 結晶 ( $t = 100$   $\mu$ m) に入射し、二倍波を得た。多層膜ミラーを用いて基本波と二倍波を分離し、光学遅延を付けた上で再び同軸に重ね合わせた。液膜ジェットノズル [2] を用いて生成した液膜 ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $t \sim 8$   $\mu$ m) の表面に、2つのパルス光を凹面鏡 ( $f = 150$  mm) で集光した。液膜表面で反射された二倍波を  $4f$  光学系で分光器へと導き、基本波と二倍波の遅延時間を変えながら分光計測をおこなった。

【結果・考察】図 1(a) に周波数および遅延時間の関数として得られた計測結果を示す。Least-Square Generalized Projections Algorithm (LSGPA) [3] を用いてパルス波形の再構築計算をおこなった。その結果、図 1(b) に示した二倍波パルスの時間波形 (半値全幅 52 fs) が得られ、Self-diffraction FROG 法を用いた計測結果ともよい一致を示した。また、二倍波の光路に合成石英 ( $t = 10$  mm) を挿入し、群速度分散を測定した。得られた群速度分散は合成石英によるものと一致し、本手法を用いて得られた高繰り返しレーザーのパルス波形の妥当性が示された。図 1(c) に二倍波に対するプラズマミラーの反射率および位相の時間変化を示した。反射率の一時的な低下とその後の増大は、プラズマ密度の上昇に伴う屈折率の低下に起因する。液膜表面の屈折率が空気の屈折率 ( $n_{\text{air}} \sim 1$ ) と等しくなるまでは反射率が低下し、空気の屈折率よりも小さくなると増大に転じる。この結果は、Drude モデルを仮定した数値計算 [4] とともに定性的に一致した。本手法はパルス波形計測法としてだけではなく、プラズマ生成過程の解明を進める新たな手法としても期待される。

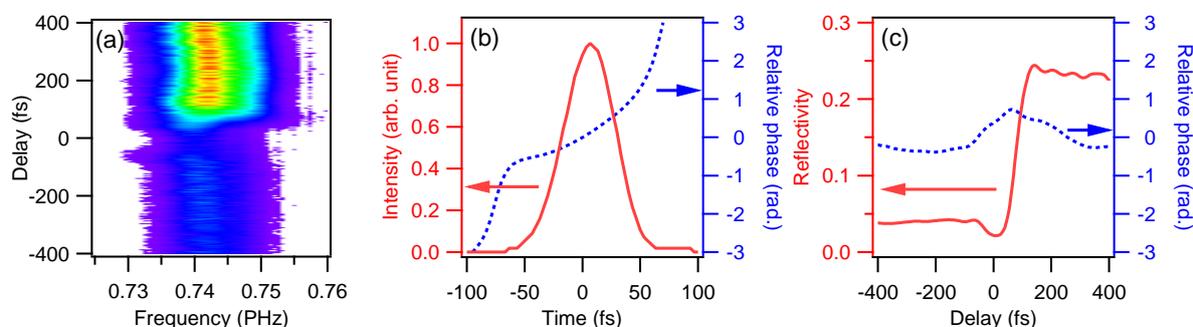


図 1: (a) Measured PM-FROG trace. (b) Temporal waveform of the second harmonic pulse and (c) plasma-mirror reflectivity and phase extracted from (a) by the LSGPA.

【参考文献】 [1] R. Itakura et al., Opt. Express **23**, 10914 (2015). [2] A. Watanabe et al., Opt. Comm. **71**, 301 (1989). [3] J. Gagnon et al., Appl. Phys. B **92**, 25 (2008). [4] T. Winkler et al., Appl. Surf. Sci. **374**, 235 (2016).