

# プラズマ X 線レーザーを用いた超高速レーザー分光システムの性能評価

## Characterization of ultrafast laser spectroscopy by using plasma X-ray laser

難波 慎一<sup>1)</sup>, 長谷川 登<sup>2)</sup>, 岸本 牧<sup>2)</sup>, 錦野将元<sup>2)</sup>

Shinichi NAMBA<sup>1)</sup>, Noboru HASEGAWA<sup>2)</sup>, Maki KISHIMOTO<sup>2)</sup>, Masaharu NISHIKINO<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>広島大学 <sup>2)</sup>原子力機構

### (概要)

X線エネルギー領域でピコ秒を下回るパルス幅を計測するためにポンプ・プローブ法を用いた超高速レーザー分光システムを構築した。その性能を調べるためにプラズマ X 線レーザーのパルス幅を計測した。その結果、X 線ストリークカメラで得られた値とパルス幅が一致することが示された。

**キーワード**：超高速ポンププローブレーザー分光， プラズマ X 線レーザー， X 線パルス幅計測

## 1. 目的

超短パルス高強度レーザーを固体や原子に照射すると高温高密度プラズマが瞬時に発生し、赤外から紫外、X 線域に渡るブロードバンド、あるいは、高輝度の線スペクトルが放射される。そのため、この X 線は EUV リソグラフィ用光源や X 線顕微鏡用光源をはじめとする様々な物理・化学、生物学、工学の分野での応用が期待されている。また、少数の高速電子が内殻電子と相互作用し、 $K\alpha$ 線が発生するため、テーブルトップフェムト秒パルス硬 X 線源としても期待されている。一方、ドライバレーザーを超高強度化することにより相対論的レーザープラズマが発生し、そこからは数 keV 以上に達する高次高調波の発生が観測されている。

X 線の特徴付ける最も重要なパラメータは、“波長”と“パルス幅”である。波長に関しては斜入射分光器や結晶分光器を用いて正確に調べることができるのに対し、パルス幅はストリークカメラの時間分解能で制限されており、ピコ秒以下で十分な精度で時間特性を測定できる市販品は存在しない。

本研究ではアト秒ストリーク技術 [1] をとして知られる「超高速 X 線ポンプ・IR プローブレーザー分光」を用いたフェムト秒・アト秒 X 線のパルス幅計測装置を開発することを目的とする。製作した装置の性能を調べるため、原子力機構で開発されたプラズマ軟 X 線レーザーのパルス幅計測に適用した結果、十分な精度で軟 X 線のパルス幅を計測することができたので報告する。

## 2. 方法

銀プラズマを媒質とした過渡励起法により発生するプラズマ軟 X 線レーザー (パルス幅: ~8 ps) をキセノン原子に照射し、光電子・オージェ電子を発生させる。ここで、Xe 4d  $j=3/2, 5/2$  の内殻電離閾値は約 70 eV に対し、X 線レーザーの光子エネルギーは 89 eV なので内殻励起が可能である。その際に時間同期が取れたピコ秒ガラスレーザー (強度:  $10^{12} \text{ W/cm}^2$ , 4ps) をプローブ光として相互作用領域に照射すると、電子エネルギースペクトルにサイドバンドと呼ばれるスペクトルが出現する。このスペクトル強度とポンプ・プローブ光のタイミングとの相関により、パルス幅を決定する。電子スペクトルの計測には独自に製作した磁気ボトル型電子分光器を用いる [2]。なお、ポンプ光とプローブ光の時間的重なりは X 線ストリークカメ

ラを、空間的な重なりは相互作用領域にレーザースポットサイズ以下の太さの針を挿入することで高精度アライメントを行った。

### 3. 結果及び考察

昨年度までの実験で、高エネルギー分解で電子を検出するためには、X線レーザーのフォーカス、Xeガス、永久磁石の相対的な位置関係が重要であることが分かっている。さらに、大量の電子が発生することによるチャージアップも電子分光には悪影響を及ぼす。そこで本年度は分光器入口に2 mm径のアーチャーを設置し、さらに永久磁石を真空下で駆動できるようにした。3つの位置を最適化するために、フォスファースクリーン付MCPを用いて相対的位置を調整した。一方、チャージアップを防ぐため、ターゲットXeガス供給系を電磁弁から微量ガスを真空へ導入できるバリアブルリークバルブへと変更し、X線レーザー強度も大幅に低下させた。これにより発生する電子を大幅に制限し、チャージアップの影響を無視できるレベルまで引き下げることができた。

実験の結果、ポンプ光とプローブ光が時間的・空間的にオーバーラップした時のみ電子スペクトルが大幅に歪められることが判明した。この際の時間分解（遅延時間幅）は333 fsであり、さらに遅延ステージのステップ幅を減らすことにより100 fsを切るX線パルスの時間特性も計測できることが実証できた（より高精度の遅延ステージを用いればアト秒ステップでの計測も可能）。なお、得られたサイドバンドの振る舞いは量子論的摂動論から計算されたスペクトルの傾向とも良く一致していた。

### 4. 引用(参照)文献等

- [1] J. Itatani *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 173903 (2002).
- [2] P. Kruit and F. Read, J. Phys. E **16**, 313 (1983).