

# ポンプ・プローブ法によるプラズマ励起 X 線源のパルス幅計測

Measurement of temporal profile of plasma excited X-ray sources  
by a pump-probe spectroscopy

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)

高温高密度レーザープラズマから放射される X 線のパルス幅をポンプ・プローブ分光により計測するシステムを開発した。本装置を X 線レーザーポンプ・IR ガラスレーザープローブに適用し、X 線レーザーのパルス幅計測を試みた。得られた X 線のパルスは半値全幅で約 6 ps と評価され、X 線ストリークカメラで計測された 7 ps と極めて近い値を得ることができた。

**キーワード** : X線レーザー, ポンプ・プローブ分光, パルス幅計測, 磁気ボトル型電子分光器

## 1. 目的

高強度レーザーを固体や原子に照射することにより、小型で安価に高輝度プラズマ励起 X 線を発生させることが可能である[1]。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、工学の分野で用いられてきた。この X 線の特徴付ける特に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調べることができるが、パルス幅に関しては X 線ストリークカメラの時間分解能で制限されており、ピコ秒以下の時間特性を計測することは極めて困難である。

本研究課題ではアト秒ストリーク[2]としても知られている X 線ポンプ・IR プローブ分光系を構築し、プラズマ励起 X 線のパルス幅計測を試みる。具体的にはパルス幅が既知のプラズマ X 線レーザーにこの分光システムを適用し、パルス幅を精度良く計測できるかどうかを検証する。

## 2. 方法

原子力機構で開発されたプラズマ軟 X 線レーザー装置 (波長: 13.9 nm, パルス幅: ~7 ps) [3, 4]をポンプ光とする超高速ポンプ・プローブ分光により、X 線レーザーのパルス幅計測を試みた。計測原理としてまず、X 線レーザー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 (Xe 4d 内殻電離の閾値は 70 eV に対し、X 線レーザーの光子エネルギーは 89 eV なので内殻電離が可能)。その際に IR ガラスレーザー (波長: 1053 nm, パルス幅: ~2 ps, 集光強度:  $10^{11}$  W/cm<sup>2</sup> 程度) プローブ光を照射すると、電子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をとることにより、パルス幅を決定することができる。なお、ポンプ光とプローブ光は完全に時間同期されている必要があるため、X 線レーザー発生用ガラスレーザー光を二つに分岐し、一方をプローブ光とすることで時間同期を取った。また、内殻電離に付随するオージェ電子のサイドバンドに着目すれば、入射 X 線の光子エネルギーに関わらずエネルギースペクトルの位置が決まるため、ブロードバンド X 線に対しても本手法が有効となる。電子スペクトル計

測には専用の磁気ボトル型電子分光器を開発した[5]。この分光器は電子検出効率が極めて高く、且つ、シングルショットでエネルギースペクトルが取得できるという特徴がある。

### 3. 結果及び考察

ポンプ・プローブ光学系を組んで、実際にサイドバンド計測を試みた。対象としたのは8 eV付近のオージェ電子である。この位置でのエネルギー分解能は0.4 eVとIR光子エネルギー ( $h\nu=1.18$  eV) よりも十分狭いため、主オージェピークからサイドバンドスペクトルを分離することができる。

実験の結果、IRプローブ光の迷光が問題となり、電子検出器 (MCP) に極めて大きなノイズが低電子エネルギー領域で発生することが判明した。これが原因となり、8 eV付近のオージェスペクトルが明瞭に観測できなかった。したがって今年度はXe  $4d^{1}_{32,52}$  に付随する光電子スペクトル (それぞれ 19.6, 21.6 eV) に着目した。ただし、エネルギー分解能は0.83 eVと悪く、2つの光電子ピーク、及び、多数のサイドバンドが出現する場合、複雑な電子スペクトル構造となる。実際、計測されたスペクトルもサイドバンドが主スペクトルに混ざり合った。幸いにして Xe  $4d^{1}_{52}$  電子が2つのIR光を吸収したスペクトルははっきりと分離して観測できたので、このスペクトル強度とポンプ・プローブ光タイミングの相関からパルス幅を決定した。その結果、半値全幅でパルス幅が6 ps程度という値が得られ、これはX線ストリークカメラで計測された $\sim 7$  psと極めて良い一致を示した。よって、本システムがX線パルスの時間特性を計測する上で有効であることが示された。

### 4. 引用 (参照) 文献等

- [1] M. Nishikino *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **81**, 026107 (2011).
- [2] J. Itatani *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 173903 (2002).
- [3] T. Kawachi *et al.*, Phys. Rev. A **66**, 033815 (2002).
- [4] Y. Ochi *et al.*, Appl. Phys. B **78**, 961 (2004).
- [5] P. Krut and F. Read, J. Phys. E **16**, 313 (1983).