課題番号　2013A—E30

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 a plasma x-ray laser by using pump-probe method

難波　愼一[1)]，長谷川　登[2)]，岸本　牧[2)]，錦野将元[2)]

Shinichi NAMBA[1)], Noboru HASEGAWA[2)], Maki KISHIMOTO[2)], Masaharu NISHIKINO[2)]

[1)]広島大学　[2)]原子力機構

（概要）

超短パルス高強度レーザーによって生成されるプラズマからは軟Ｘ線や硬Ｘ線が放出される．レーザー条件とターゲット材を最適化することで，そのパルス幅は 100 フェムト秒を切ると予想されている．本研究ではフェムト秒・アト秒パルスの時間特性を計測できる，超高速Ｘ線ポンプ・IR プローブレーザー分光法を構築した．さらに装置性能を調べるためにピコ秒プラズマ軟Ｘ線のパルス幅計測に適用したので報告する．

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 リソグラフィー用光源や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，Kalpha 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（奇遇数次）の発生が観測されている．

これらのＸ線を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調べることができるのに対し，パルス幅計測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．

このような観点から，本研究ではいわゆる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」のために必要な光学系を構築し，その性能を調べるために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することを目的とする．

２．方法

プラズマ軟Ｘ線レーザー（パルス幅～7 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（この研究の詳細は参考文献 2,3 にて報告したので参照）．その際に完全時時間同期が取れたピコ秒ガラスレーザー（強度: 10^{11} W/cm^2 程度，数 ps）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．

３．結果及び考察

電子計測で必要となる磁気ボトル型分光器[4]の基本的な構成部はすでに昨年度製作済みである．ただし，相互作用チャンバ内（ガスシュラウド）で IR プローブパルスが乱反射し，MCP 検出器に大きなノイズとして検出された．したがって今年度はシュラウドをアルマイト加工し，散乱光の影響を抑える対策を行った．さらに空間分解能（解析後には時間分解能に対応）を向上させるために，分光器入口付近には 3 mm 径のコーン上アパーチャを設置し，エネルギー分解を低下させる捕獲電子を除去することにした．

実験の結果，X 線レーザーと Xe との相互作用では大量の電子が放出されるため，それがシュラウドやアパーチャをチャージアップさせ，電子スペクトルを大きく歪めることが判明した．最大の問題はアルマイト処理が実は絶縁だったことである．そのため可能な限りチャージアップを抑えるよう接地面を増やした．これにより，昨年度の電子スペクトルよりも高いエネルギー分解で，且つ，強い信号を得ることができた．今後はアルマイト処理をやめ，アクアダック塗布のシュラウドに変更する予定である．さらに永久磁石にも駆動機構をつけること，MCP 後段にフォスファースクリーンを設置することにより，ポンプ・プローブ実験の最適条件を見い出す．また，プローブ光のダイバージェンスが異なるためターゲット上で十分に集光できていないため，絞られない成分が永久磁石に照射されると光電子が放出し，これもノイズの原因となる．したがって次年度は KDP 結晶により 2 倍波とすることでビーム形状を向上させることを計画している．

４．引用（参照）文献等

[1] J. Itatani *et al*., Phys. Rev. Lett. **88**, 173903 (2002).
[2] S. Namba *et at*., Phys. Rev. Lett. **99**, 043004 (2007).
[3] S. Namba *et al*., Phys. Rev. A **84,** 053202 (2011).
[4] P. Kruit and F. Read, J. Phys. E **16**, 313 (1983).