

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2012

課題番号：24656556

研究課題名（和文） 光トラップ型マルチパストムソン散乱計測器の開発研究

研究課題名（英文） Development of an optically trapped multiple-pass Thomson scattering measurement system

研究代表者

江尻 晶 (EJIRI AKIRA)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：30249966

研究成果の概要（和文）：非常に低い密度のプラズマにトムソン散乱法を適用するために、光トラップ型マルチパストムソン散乱計測の開発研究を行った。高電圧高速 MOSFET を用いたポッケルスセル駆動回路を製作・設計し、20ns 以内に偏光方向を 90 度変化させることに成功した。実際のプラズマ測定と同等の配置でマルチパス配位を組立てて測定を行った結果、9 往復分のパルスを確認することができた。この時、測定用のビームサンプラーを挿入した状態で、片道での場合の 6 倍以上の信号強度が得られた。

研究成果の概要（英文）：In order to apply the Thomson scattering method to very low density plasmas, we have developed an optically trapped multiple-pass Thomson scattering system. Using a high voltage fast MOSFET, a driver for a Pockels cell was assembled, and 90-degree rotation of the polarization within 20 ns was achieved. Using an optical arrangement equivalent to the plasma measurement, we detected 9 round trips of a laser pulse. The obtained total power amplification due to the round trips is more than 6. Note that we inserted a beam sampler for this measurement.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 2,600,000 | 780,000 | 3,380,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：プラズマ計測、トムソン散乱、高周波立ち上げプラズマ、球状トカマク

1. 研究開始当初の背景

トカマク型装置は高性能なプラズマを生成でき、核融合炉として最も有望だと考えられている。しかしながらプラズマ中に電流を流す必要があり、電流駆動が研究課題となっている。

トカマク型の中でも球状トカマクは小型で経済性の高い核融合炉を実現できると期待されているが、非誘導的に電流を立ち上げることが必須であり、高周波を用いる電流立ち上げが世界各国で研究されている。

高周波による電流の立ち上げ機構の解明と高効率化のためには、プラズマの基本量で

ある電子温度や密度の測定が必須であるが、高周波を用いているために、生成されるプラズマの密度が従来のプラズマの密度に比べて約二桁低い。このために、従来の電子温度密度測定手法であるトムソン散乱計測は、信号強度が約二桁小さく、適用することができない。

トムソン散乱計測は、プラズマ中に高強度パルスレーザーを入射し、電子による散乱光のドップラー広がりから電子温度、散乱強度から電子密度を測定する手法であるが、上記のような低密度プラズマに適用する方法としてレーザー光をプラズマ中で何回も往復

させて、散乱光の強度を増加させることが考えられる。

2. 研究の目的

低電子密度でのトムソン散乱計測法を確立することを目標に光トラップ型マルチパストムソン散乱計測システムを開発することを研究目的とする。ポッケルスセル、2枚の鏡、偏光子から構成される光トラップを製作し、プラズマ中をレーザーが何往復もするようにして、散乱強度の増強を行う計測システムを開発する。これを東京大学に設置された球状トカマク装置 TST-2 に適用し、低電子密度である非誘導高周波立ち上げプラズマの電子温度、電子温度を計測して、プラズマの基本的特性である平衡配位の再構成、高周波の伝搬・吸収などの波動物理の研究に役立つ。

3. 研究の方法

システムの概念図を図1に示す。光トラップは凹面鏡、ポッケルスセル、反射型偏光子、凹面鏡で構成され、鉛直偏波のレーザー光が閉じ込められる。

トラップにレーザーパルスを入射する時には、ポッケルスセルのスイッチを ON にしておく。レーザーから出た水平偏波の光パルスは反射型偏光子を透過し、ON になったポッケルスセルを通過して偏光方向が 45 度回転する。凹面鏡で反射された光はポッケルスセルを通過してさらに 45 度偏光方向が回転し、鉛直偏波となった光は反射型偏光子で反射されプラズマ側へ導かれる。プラズマを透過した光は凹面鏡で反射され再びプラズマを透過し、反射型偏光子で反射される。光パルスはポッケルスセルに入射するが、この時には、ポッケルスセルは OFF になっており、偏光方向は変わらない。これ以降は鉛直偏波の光パルスがトラップされ、各光学素子を通して強度が徐々に減衰していく。

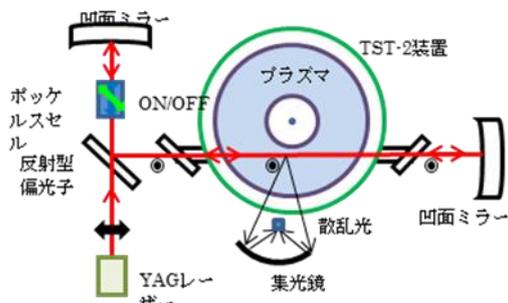


図1：光トラップ型マルチパストムソン散乱の概念図。

4. 研究成果

(1) ポッケルスセル駆動回路の製作

通常の駆動回路は ON 制御であるが、本システムでは、OFF のタイミングを精度よく設定しなければならないため、高電圧高速 MOSFET を用いたポッケルスセル駆動回路を設計・製作した。図2に回路図を示す。

この回路を用いて試験したところ、20ns 以内に偏光方向を 90 度変化させることに成功した (図3)。

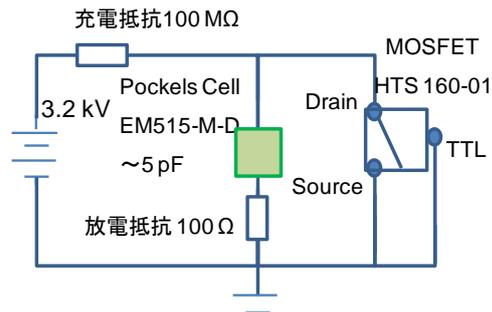


図2：ポッケルスセル駆動回路。

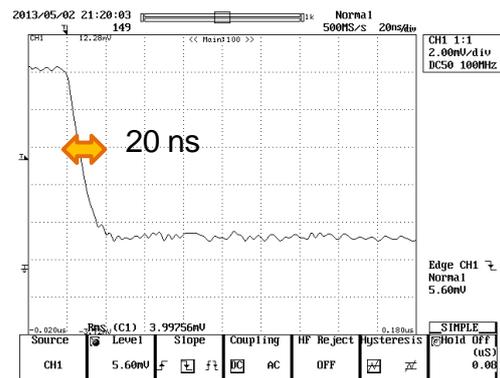


図3：ポッケルスセル OFF 時の偏光成分の強度変化。

(2) マルチパス光学系でのビーム伝搬

マルチパス光学系では、非常に長い伝搬距離にわたってビームを管理する必要がある。具体的には、プラズマ中ではビームを細く絞るために焦点を持たせなければならない。その一方で、ポッケルスセル等の光学素子では、ビーム径を適切な範囲に収めなければならない。ビーム径が細すぎるとレーザーによる損傷を引き起こし、ビーム径が太すぎると光学素子の有効径を越え、ビームの損失となる。与えられたレーザーの特性 (発散角や M 値) に対し、これらの条件を満たすことが可能であることを計算によって確かめた。

また、各素子での反射・透過効率を実測し、それらを元に計算した結果、7 倍弱の散乱強

度の増加を見込めることがわかった。

(3) テストベンチでの試験

実際のプラズマ測定と同等の光学系の配置で測定を行った (図4)。

図5に光トラップ中に配置したホットダイオードの波形を示す。ビームサンプラーの向きから、この波形はレーザーパルスが右上から左下へ向かう時のパルスモニターできることがわかる。この波形から少なくとも9往復 (18パス) 分の波形が確認できる。

レーザービームプロファイラーを用いて片道での (時間積分した) ビームパワーとマルチパス時のビームパワーを比較した結果から評価したところ、この光学系で片道での場合の6倍以上の信号強度が得られた。ただし、この値には、測定用にビームサンプラーによる損失も含まれている。今後、実際のプラズマ測定を予定している。

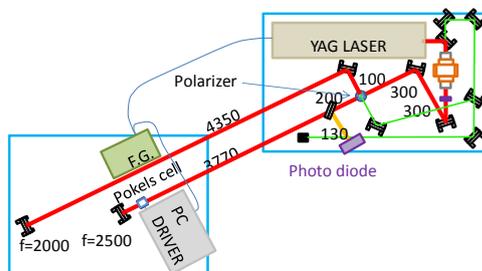


図4: テストベンチでのマルチパス光学系。

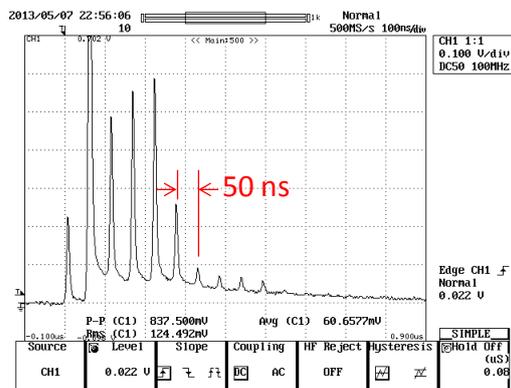


図5: 光トラップ中のレーザーパルスのホットダイオードモニター波形。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

(1) T. YAMAGUCHI, A. EJIRI, J. HIRATSUKA, M. HASEGAWA, Y. NAGASHIMA, K. NARIHARA, Y. TAKASE, H. ZUSHI and the QUEST group, "Electron Temperature Measurement on QUEST Spherical Tokamak by Thomson Scattering System", Plasma Fusion Res. **8**, 1302001 (2013) 査読有
DOI: 10.1585/pfr.8.1302001

(2) J. HIRATSUKA, A. EJIRI, M. HASEGAWA, Y. NAGASHIMA, Y. TAKASE, H. TOJO, T. YAMAGUCHI, T. AMBO, H. FURUI, T. HASHIMOTO, H. KAKUDA, K. KATO, T. OOSAKO, T. SAKAMOTO, R. SHINO, T. SHINYA, M. SONEHARA, T. WAKATSUKI and O. WATANABE, "Off-Axis Temperature Anisotropy Measurement by Double-Pass Thomson Scattering Diagnostic System on TST-2", Plasma Fusion Res. **7**, 2402092 (2012). 査読有
DOI: 10.1585/pfr.7.2402092

[学会発表] (計6件)

① 江尻晶他," 最近の TST-2 実験", ST 研究会「マイクロ波駆動核融合」討論会、2013年3月6日 岐阜県土岐市核融合科学研究所

② J. Hiratsuka, et al., "Study of Electron Distribution Function Asymmetry by Thomson Scattering on TST-2", The First A3 Foresight Workshop on Spherical Torus, Jan. 14-16, 2013, Seoul, Korea.

③ J. Hiratsuka, et al., "Development of An Advanced Thomson Scattering System on TST-2 Spherical Tokamak, GCOE International Symposium on Physical Sciences Frontier, Dec. 8-9, 2012, The University of Tokyo, Hongo, Tokyo, Japan.

④ J. Hiratsuka, et al., "Double-pass Thomson scattering system on TST-2 spherical tokamak", The 9th Australia-Japan workshop on plasma diagnostics, Dec.3-6, 2012, JAEA, Naka, Japan.

⑤ J. Hiratsuka, et al., "Development of An Advanced Thomson Scattering System on TST-2 Spherical Tokamak", Japan-Korea Seminar 2012 for Plasma Diagnostics, Aug. 23-25, 2012, Jeju, Korea.

⑥ 富樫央," マルチパストムソン散乱計測における光学系と実現可能性の検討及び基礎実験", プラズマ若手夏の学校、2012年08月20日~23日、山形県蔵王温泉たかみや瑠璃倶楽リゾート

[その他] (計1件)

ホームページ

<http://fusion.k.u-tokyo.ac.jp/research.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

江尻 晶 (EJIRI AKIRA)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
准教授

研究者番号：30249966

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

高瀬 雄一 (TAKASE YUICHI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
教授

研究者番号：70292828