

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 9日現在

機関番号：63902

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010年度 ～ 2011年度

課題番号：22656209

研究課題名（和文） 高エネルギーアルファ粒子誘起ガンマ線スペクトロメーターの開発

研究課題名（英文） Development of energetic alpha particle induced gamma ray spectrometer

研究代表者

西浦 正樹 (NISHIURA MASAKI)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：60360616

研究成果の概要（和文）：本研究は核燃焼プラズマ中のDT反応で発生した3.5MeVアルファ粒子の閉じ込め物理に関する研究を行うことを目的とし、今までに無い新しい高エネルギー粒子検出手法（損失アルファ粒子誘起ガンマ線スペクトロスコーピー）を提案する。核融合炉の第一壁へ損失してくる高エネルギーアルファ（損失アルファ）粒子とベリリウム第一壁との衝突反応 ${}^9\text{Be}({}^4\alpha, n\gamma){}^{12}\text{C}$ により誘起された4.44MeV γ 線の検出がその基本原理である。観測された γ 線から元の損失アルファ粒子の振る舞いを理解することが可能になる。 γ 線検出器は真空容器壁から離れた場所に設置することも可能となり、アルファ粒子を直接シンチレータで検出する従来の損失アルファ粒子検出器の課題であった、検出器の設置場所の確保や耐熱・耐放射線性を解決することができるようになることを期待できる。(a)その新しい原理にもとづく計測器開発と(b)耐熱・耐放射線光学コンポーネントの開発に絞り研究を進めた。

研究成果の概要（英文）：This study is designated for 3.5MeV alpha particle physics produced by DT reaction in fusion plasmas, and is proposed that we can detect alpha particle induced gamma ray. The escaping energetic alpha particles collide with beryllium first wall followed by the ${}^9\text{Be}({}^4\alpha, n\gamma){}^{12}\text{C}$ reaction. The principle is the detection of the induced 4.44MeV gamma ray, which is observed at far from the first wall. We can understand escaping alpha particles from the observed gamma ray. This method is expected to solve the problems of conventional lost alpha probe (detector location, and radiation hardness of components). We focused on the study on (a) gamma ray detection system based on the novel principle, and (b) heat endurance and radiation hardness optical components.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	0	1,800,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	210,000	2,710,000

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：アルファ粒子、核融合、シンチレータ、損傷、プラズマ計測、ガンマ線

1. 研究開始当初の背景

核燃焼プラズマにおいてプラズマ閉じ込

め領域から損失するアルファ粒子（損失アルファ粒子）を制御することはプラズマ第一壁の保護やプラズマの性能劣化を防ぐために重要な研究である。図1に示すように損失アルファ粒子検出器はその損失アルファ粒子を第一壁近傍で計測する検出器であり、その特徴は設置位置における損失アルファ粒子のエネルギーとピッチ角の同時計測が可能なことである。損失アルファ粒子検出器は国際熱核融合炉(ITER)の設置予定の計測器リストに含まれるが、検討が必要な計測器と考えられている。

従来の核融合プラズマ実験装置は、中性子・ γ 線フラックスが $\sim 10^{16}/\text{m}^2/\text{s}$ であり、ITER級の $\sim 10^{18}/\text{m}^2/\text{s}$ とは比べ物にならない。H17~21にかけて特定領域科研費の枠組みの中で、シンチレータの耐放射線性、耐熱性や検出器の設置場所などの解決すべき課題に取り組んできた。シンチレータの耐熱性に関しては、500°Cでも使用可能な多結晶 Ce:YAG セラミックシンチレータの作成に成功した。一方、耐放射線性に関しては、原子炉を用いた中性子・ γ 線照射により、ITER級の放射線照射量ではシンチレータの発光量が大幅に損なわれてしまうという結果を示した。そこで、新たに耐放射線性の優れたシンチレータの開発を行うことを考えたが、逆に大量に発生する γ 線を利用すれば損失アルファ粒子の計測が容易になるであろうという着想に至った。本手法は、我々のグループ以外に、同時期に JET のグループも同原理の計測を提案しているため、早急に研究を開始する必要がある。

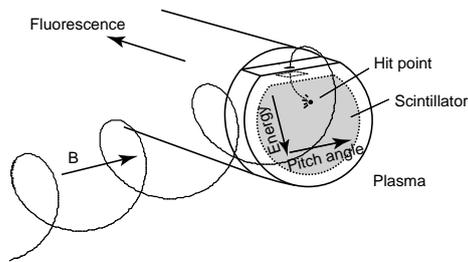


図1 従来の損失イオンプローブの高エネルギーイオン検出原理。

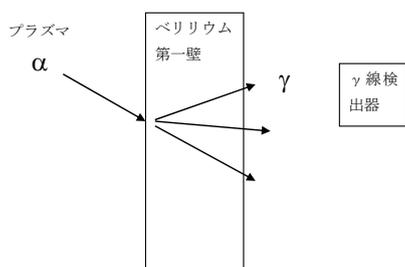


図2 新しく提案する損失アルファ粒子検出手法。

2. 研究の目的

本研究は核燃焼プラズマ中の DT 反応で発生した 3.5MeV アルファ粒子の閉じ込め物理に関する研究を行うことを目的とし、今までに無い新しい高エネルギー粒子検出手法（損失アルファ粒子誘起ガンマ線スペクトロスコピー）を提案した。核融合炉の第一壁へ損失して来る高エネルギーアルファ（損失アルファ）粒子とベリリウム第一壁との衝突反応 ${}^9\text{Be}(\alpha, n\gamma){}^{12}\text{C}$ により誘起された 4.44MeV γ 線の検出がその基本原理である。観測された γ 線から元の損失アルファ粒子の振る舞いを理解することが可能になる。 γ 線検出器は真空容器壁から離れた場所に設置することも可能となり、アルファ粒子を直接シンチレータで検出する従来の損失アルファ粒子検出器の課題であった、検出器の設置場所の確保や耐熱・耐放射線性を解決することができるようになることが期待できる。

3. 研究の方法

(a)先に述べた新しい原理にもとづく計測器開発と(b)耐熱・耐放射線コンポーネントの開発に絞り研究を進めた。

4. 研究成果

2010年度

(a)に関して、LSOシンチレータと光電子増倍管を用いたガンマ線波高分析システムを構築した。線源を用いたMeVガンマ線検出実験を行い、ガンマ線が検出可能であることを確認した。次年度に行う神戸大学タンデム加速器ビームを用いたガンマ線模擬実験の打ち合わせとその準備を行った。

(b)に関して、原子炉 JRR-3 と BR-2 において放射線照射した光学材料の候補となる数種類の石英系材料について、透過率と反射率測定を精度よく行うため、既存の分光光度計の改造を行った。透過率に関して数%の範囲で再現良く計測できるようになった。次年度に向けレンズ・ミラー材料となる石英等の試料に関して、透過率・反射率計測を系統的に行うことが可能となった。

2011年度

(a)に関して、前年度に構築した LSO シンチレータと光電子増倍管によるガンマ線波高分析システムを用いて、タンデム加速器により発生した MeV アルファ粒子もしくは重水素ビームを Be ターゲットに照射し、そこから発生する MeV ガンマ線検出実験を行った。図3はタンデム加速器のビームラインと設置したガンマ線検出器の写真である。検出器全体は背景ガンマ線を防ぐため、鉛シールドによって囲まれている。

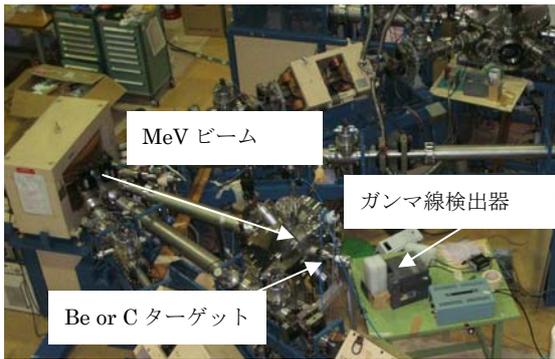


図 3 神戸大タンデム加速器ビームラインに設置したアルファ粒子誘起ガンマ線検出器。

図 4 は 4MeV-He²⁺ビームを Be ターゲットに照射した際に発生した核反応生成ガンマ線スペクトルの測定結果である。4.44MeV に全エネルギーピーク、シングルエスケープ、ダブルエスケープピークが観測できた。これは Am-Be 線源を用いた場合と同様の結果であり、正しく測定できていることを確認した。1MeV 以下は背景中性子とガンマ線等のノイズ成分が含まれていることに注意する必要がある。

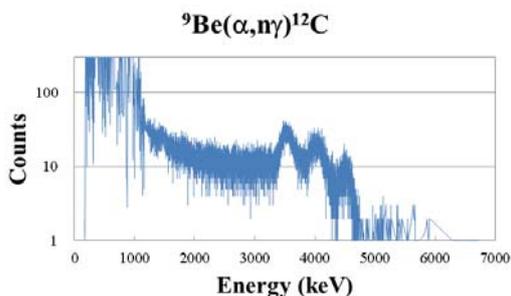


図 4 4MeV-He²⁺ビームを Be に照射した際の⁹Be(α, nγ)¹²C 反応によるガンマ線スペクトル。

この実験の他に、D⁺ビームをカーボンターゲットに照射し、ガンマ線スペクトルの D⁺ビームエネルギー依存性を調べた。ビームエネルギーは 0.9MeV、1MeV、2MeV と変化させた。¹²C(d, pγ)¹³C 反応のエネルギーの閾値は 0.9MeV である。その閾値 0.9MeV では 2~3.2MeV あたりの全エネルギーピークが観測できなかった。閾値を超えた 1MeV 以上のエネルギースペクトルについては全エネルギーピークが現れた。従って、この反応は¹²C(d, pγ)¹³C 反応由来のガンマ線であるとわかった。この閾値 0.9MeV は文献の値とも一致している。

本計測原理を検証し、次のステップ (空間情報を得るための多チャンネル化) に向けた

研究の目途が付いた。

(b)に関して、前年度改造を施した分光光度計を用いて、10 種類の石英φ8×1 試料について、その透過率を測定した。それら試料は耐放射線性を調べるため、OH 基の含有量を検出限界以下から 910wtppm まで変化させたもの、H 添加の有無、及び F 添加の有無、から異なる種類を用意した。図 5 は未照射試料の透過率測定結果を示している。測定精度の問題で透過率に数%程度のばらつきが生じているが、どの試料についても波長 250-850nm の透過率は 90%以上、250nm 以下でも 85%以上であった。

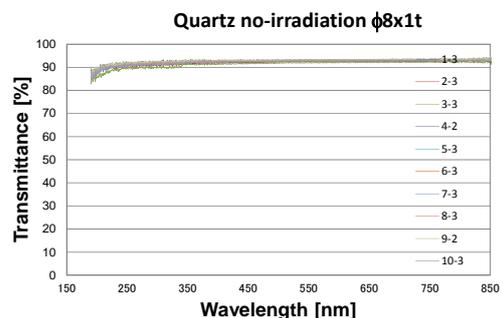


図 5 未照射石英試料 1~10 の透過率測定結果。

原子炉 JRR-3 において 12 時間ラビット照射した H、OH、F 等のドーパ量が異なる 10 種類以上の石英光学材料に関して、波長領域 180nm-850nm において透過率測定を行った。不純物ドーパ量による透過率の耐放射線特性を取得することができた。放射線損傷した石英に対し 200℃の焼鈍により波長 200nm 付近で透過率が 10%前後から 20%前後まで回復した。より高い温度の焼鈍を行うことで元の透過率まで回復することが期待できる。

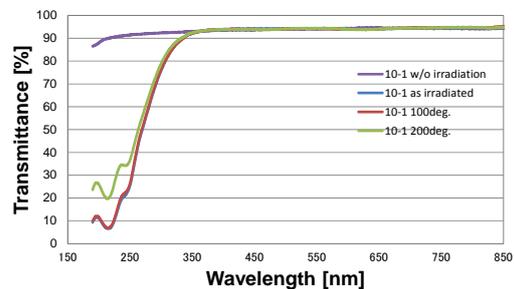


図 6 照射石英試料 10 の焼鈍による透過率回復特性の測定結果。

以上のように、2010-11 年度にかけ、高エネルギーアルファ粒子誘起ガンマ線スペク

トロメーターの開発を推進した。高エネルギー粒子誘起ガンマ線検出器の開発に関して、加速器ビームにより新たに提案した計測原理を検証し、多チャンネル化に向けた研究開発の目途をつけることができた。耐熱・耐放射線コンポーネントの開発に関して、石英に不純物をドーピングすることで耐放射線性を持たせることが可能であることを明らかにした。また、焼鈍により透過率の回復も期待できる。光学材料として多方面への応用も期待できる。

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6件)

- ① M. Nishiura, T. Nagasaka, K. Fujioka, Y. Fujimoto, T. Tanaka, T. Ido, S. Yamamoto, S. Kashiwa, M. Sasao, Development and irradiation test of lost alpha detection system for ITER, 査読有, Review of Scientific Instruments, 81(2010)10D313, 1-5.
DOI: 10.1063/1.3485118

[学会発表] (計7件)

- ① M. Nishiura, T. Nagasaka, T. Tanaka, T. Ido, et al., Development and irradiation test of lost alpha detection system for ITER, 18th ITPA Diagnostics Topical Group Meeting, 2010/5/11, Tennessee, USA.
- ② S. Kashiwa, M. Sasao, A. Okamoto, S. Kitajima, M. Nishiura, et al., Study of a lost alpha-induced gamma-ray detection system for ITER, European Physical Society 37th Conference on Plasma Physics, 2010/6/21, Dublin, Ireland.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西浦 正樹 (NISHIURA MASAKI)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教
研究者番号：60360616

(2) 研究分担者

長坂 琢也 (NAGASAKA TAKUYA)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授
研究者番号：40311203

山岡 人志 (YAMAOKA HITOSHI)

理化学研究所・石川 X 線干渉光学研究室・
前任研究員

研究者番号：30239850

松本 新功 (MATSUMOTO YOSHIKATSU)

徳島文理大学・人間生活部

研究者番号：50441598

(3) 連携研究者

藤本 靖 (FUJIMOTO YASUSHI)

大阪大学レーザーエネルギー研究セン
タ・講師

研究者番号：70343241