

< 2 > 新規産業開発研究

< 2 - a > 先導的探索 / 実証研究

サブテーマリーダー：光産業創成大学院大学教授 土屋 裕

(代理：光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 青島紳一郎)

小テーマ： 物質改変～テラワットレーザーによる粒子ビーム発生とその応用研究

研究従事者：光産業創成大学院大学教授 土屋 裕、助手 沖原伸一郎

光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 青島紳一郎、高橋宏典、藤本正俊
松門宏治

(1) 研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

コア研究室の研究テーマ「レーザーによる陽電子放出核種生成実験」において、d-PSt を内包させたポーラス構造をした PTFE をレーザー照射ターゲットとして用いた場合、重陽子以外にも、高エネルギーの1~4 価の炭素イオン、2~7 価のフッ素イオンが発生していることを確認した。またポーラス構造はイオン発生に重要であるという新しい知見が得られた。さらに、高エネルギー粒子の産業応用について調査し、総括とまとめを行った。

研究の独自性・新規性

本事業で行った他の共同研究テーマの成果である独自のレーザー照射ターゲットを用いた実験結果を高エネルギー粒子発生観点から検討した。その結果、テーブルトップレーザーを用いて高エネルギーの重イオンが発生できることを確認した。また、レーザーによるイオン発生について高エネルギー重イオン発生用ターゲットの条件に関する新しい重要な知見が得られた。よって、独自性と新規性のある研究成果が得られた。

研究の目標

テラワットレーザー照射による炭素イオンなどの発生が確認されているが、ここではテラワットレーザー照射による高エネルギー粒子発生研究をさらに推進し、これらの高エネルギー粒子の産業応用について調査・研究する。

本テーマは、光産業創成大学院大学の土屋 裕教授、沖原伸一郎助手との共同研究で実施する。

(2) 研究の進め方及び進捗状況

本共同研究は、光産業創成大学院大学の開設に伴う人事異動を考慮して、平成 17 年度のみ実施した。平成 16 年度のコア研究室の研究テーマ「レーザーによる陽電子放出核種生成実験」で行われた高エネルギー重陽子発生実験のイオン計測結果を、高エネルギー粒子発生観点から検討した。重水素化ポリスチレン (d-PSt:C₈D₈) を内包させたポーラス構造をした PolyTetraFluoroEthylene[PTFE:C₂F₄] をレーザー照射ターゲットとして用いた場合、重陽子以外にも、高エネルギーの1~4 価の炭素イオン、2~7 価のフッ素イオンが発生していることを確認した。レーザー照射ターゲットとして、重水素化ポリスチレン (d-PSt:C₈D₈) を含まない4 つのサンプルについて実験的検討を実施し、ポーラス構造はイオン発生に重要であるという新しい知見が得られた。また、高エネルギー粒子の産業応用について調査し、総括とまとめを行った。

以上より、本テーマの目標達成度は110%である。

本テーマは、光産業創成大学院大学の土屋 裕教授、沖原伸一郎助手との共同研究で実施した。

(3) 主な成果

MeV 以上の重陽子と陽子、及び高エネルギー多価イオンの発生を確認した。

コア研究室の研究テーマ「レーザーによる陽電子放出核種生成実験」で平成 16 年度までに行われた高エネルギー重陽子発生実験においてトムソンパラライオン分析器を用いて計測したイオンのトレースを、高エネルギー粒子発生観点から検討した。重水素化ポリスチレン (d-PSt:C₈D₈) を内包させたポーラス構造をした PolyTetraFluoroEthylene[PTFE:C₂F₄] をレーザー照射ターゲットとして用いた場合の検討結果を表 1 にまとめて示す。

重陽子と陽子の最大エネルギー値は、それぞれ、1.6 MeV、2.0 MeV まで達している。また、1~4 価の炭素イオン、2~7 価のフッ素イオンが発生していることを確認できた。

表1 本事業で観測されたイオンの特性

イオン名	元素記号	A/Z A:原子 Z:価数	最大エネルギー [MeV]	発生量 (Energy>1MeV, Emittance<0.02Sr.) [/shot] *発振周波数:10Hz
重陽子	D ⁺	0.5	1.6	8x10 ⁶
陽子	H ⁺	1	2.0	-
炭素イオン (1~4価)	C ¹⁻⁴⁺	0.08 ~0.33	-	-
フッ素イオン (2~7価)	F ²⁻⁷⁺	0.11 ~0.37	-	-

表2 各使用ターゲットにおけるイオン発生と比較

使用ターゲット	厚み [μ m]	平均電子密度 [10 ⁻²¹ cm ⁻³]	平均ポーラス 径[μ m]	内部構造 スケール[μ m]	生成量評価	
					H ⁺	C ⁿ⁺ , F ⁿ⁺
ポーラスPTFE [C ₂ F ₄]	75	5	~3	0.2		
Mylar [C ₁₀ H ₈ O ₄]	6	20	-	-		×
金属微細粒子(金)練 込PTFE (Au, [C ₂ F ₄])	75	5-50	<3	>0.2		
チタン繊維焼結体 [Ti]	100	16	~50	~20	×	×

高エネルギー重イオン発生用ターゲットの条件に関する新しい知見を得た。

重陽子以外のイオン等粒子ビーム発生には、重水素化ポリスチレン(d-PSt:C₈D₈)を含まないサンプルでよい。そこで、本事業のコア研究室研究テーマ「レーザーによる陽電子放出核種生成実験」で用いている4つのレーザー照射ターゲットについて、重水素化ポリスチレン(d-PSt:C₈D₈)を含まないサンプルを用いてレーザー照射実験を実施し、発生イオンの計測をおこなった。用いたサンプルを以下に示す。

1. ポーラス構造をした PolyTetraFluoroEthylene[PTFE:C₂F₄]。
2. Mylar[C₁₀H₈O₄]薄膜。
3. 金[Au]の金属微粒子を練込んだポーラス構造をした PTFE。
4. 金属のメッシュターゲット (Ti 繊維焼結体)。

発生したイオンの実験結果を表2にまとめて示す。表から明らかなように、ポーラス構造をしたPTFEが、陽子などの軽イオンだけでなく、Cⁿ⁺やFⁿ⁺などの重イオンの発生に有効であることが分かった。また、金属微粒子を練り込んだポーラス構造 PTFE や、チタン繊維焼結体では、期待した効果が見られなかった。

従来では、イオンを発生させるためのターゲットの条件として、高エネルギー電子が裏面に抜け出る事が可能、且つレーザー光によってターゲットを裏面までプラズマ化させることが可能な、厚さ数μm程度の薄膜ターゲットが有効であるとされていた。しかし、厚さ数μmのMylar薄膜と厚さ75μmのポーラス構造PTFEの結果について比較すると、特にCⁿ⁺やFⁿ⁺などの重イオンの発生において、ポーラス構造PTFEで良好な結果が得られた。これは、当初の予想と反する結果であり、ポーラス構造が重要な役割を果たしていると考えられる。この物理的な原因は明確にはなっていないが、ターゲット形状による電界集中によって、イオンを引き出す力が増加している事などが考えられる。ポーラス構造はイオン発生に重要であるという新しい知見が得られた。

発生する高エネルギーイオンの応用分野を調査した。

発生した高エネルギー粒子の産業応用について調査した。その結果、放射線医療の分野において、癌の治療に高エネルギーの陽子や炭素イオンが用いられており、現状では、巨大なシンクロトロン加速装置において、70-250 MeVの陽子または70-380 MeVの炭素イオンを腫瘍部に照射する治療がなされている事が分かった。本事業で生成できる炭素イオンの核子あたりの最大エネルギー値は、

発生原理から陽子や重陽子と同程度のエネルギー（～2 MeV）まで発生していると考えられる。このエネルギーを有する炭素イオンビームは、原子炉等に用いられる鋼材の表面硬化処理（～500 keV）や、半導体産業では欠かすことのできないイオン注入による表面改質、機能性を持たせたポリマー製作に応用されており、これら分野に応用できる可能性があることが分った。

本テーマは、光産業創成大学院大学の土屋 裕教授、沖原伸一郎助手との共同研究で実施した。

（4）研究成果に関する評価

国内外における水準との対比

国内外において、テーブルトップレーザーを用いて高エネルギーの重イオン発生させたケースは無く、またこの発生機構に触れた報告もなされていない。高い水準の研究が実施され、先端的な成果が得られた。

実用化に向けた波及効果

テーブルトップレーザーを用いた小型高エネルギー重イオン源を実現できる可能性を見出した。大型施設でしか発生させることできなかった重イオン利用の普及に役立つと期待される。

（5）残された課題と対応方針について

フェーズ Ⅱ では、医療応用が期待される高エネルギーイオン発生について光産業創成大学院大学を中心に調査研究を継続し、産業応用に必要なイオンの特性を明確にするとともに、レーザーを用いてこれを実現する手法について検討を行う。