

大強度加速器施設におけるビームプロファイル診断技術の開発

Development of beam profile diagnostic for high-intensity accelerator facility

明午 伸一郎¹⁾ 松田 洋樹¹⁾ 武井 早憲¹⁾ 百合 庸介²⁾ 湯山 貴裕²⁾
Shin-ichiro MEIGO Hiroki MATSUDA Hayanori TAKEI Yousuke YURI Takanori YUYAMA

¹⁾原子力機構 J-PARC センター ²⁾量研 高崎

(概要)

大強度陽子加速器施設では、標的に入射するビームの形状をプロファイルモニタにより常時観測することは、施設を安定に運転する上で重要となる。このモニタの開発の一環として、サイクロトロンにおいて、加速した 107 MeV の $^{40}\text{Ar}^{8+}$ ビームをアルミナ等の試料に入射し、試料からの発光スペクトルとその強度をスペクトルメータで測定した。また、J-PARC センターの大強度核破砕中性子源のモニタに用いられる炭化ケイ素 (SiC) 製のワイヤーのビーム入射に伴う劣化を Ar ビームと He ビームを用いて測定した。

キーワード：大強度陽子ビーム、プロファイルモニタ、蛍光、アルミナ、セラミック、SiC

1. 目的

原子力機構では、30 MW の大強度陽子加速器により原子炉で生じたマイナーアクチノイド等の放射性廃棄物の有毒度を低減する核変換システムを提案している。また、J-PARC センターの核破砕中性子源(JSNS)では、0.5 MW の大強度陽子ビームの運転を開始しており、これらの大強度陽子ビームを用いる施設では、ビームが標的に入射する状態の確認のため、大強度陽子ビームに耐えうる陽子ビームの診断技術が重要となる。JSNS では炭化ケイ素(SiC)のワイヤを用いビーム診断を行っており、これまでの運転においては問題が無いものの、今後の更なる大強度ビーム運転(1 MW)では、SiC の高エネルギー陽子に対する耐性が不明なため、新規のビーム診断技術の開発が必要となる。この候補として、アルミナ等の発光体を標的に塗布し、ビームに起因する発光によりビームプロファイルを得る方法が考えられる。米国のオークリッジ国立研空所の核破砕中性子源(SNS)では、標的容器にクロムを含むアルミナを標的容器に塗付し、この発光によりプロファイルの測定を行っているが、発光体の陽子ビームによる光量劣化が顕著となり明確なプロファイル測定が困難となっている。本研究では、候補となる材料に対し LET の高い Ar ビームの照射を行い、光量の劣化を測定することにより、耐放射線性に優れた試料の開発を行う。更に、JSNS において使用される SiC ワイヤの劣化についても評価する。

2. 実施方法

サイクロトロンの LB2 ポートにおいて、107 MeV の $^{40}\text{Ar}^{8+}$ ビームを試料に入射し、試料から生成する発光スペクトルとその強度をスペクトロメータ(Flame-NIR: Ocean Photonics)により測定し、CCD カメラによりビーム形状を測定した。実験体系を図 1 に示す。試料には昨年度の実験で良好な結果を示した、アルミナ塗料(アルミニウムコート: オーデック)をアルミニウム基板に塗布した試料、及び基盤に厚さ 0.1 mm のアルミナを溶射した試料を用いた。また、以前に行った実験における再現性の確認のため、0.5%のクロムをドープしたアルミナ(AF995R)の発光状態も測定した。ビームを照射する前に、紫外線

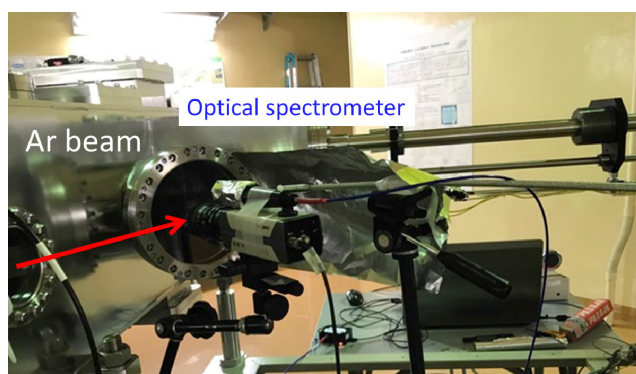


図 1: 実験体系図。

により試料の発光状態を確認した。Ar ビームの照射実験は、LB2 ポートで行い、ビーム位置に依存する発光感度を一樣にするために、八極電磁石を用いた非線形ビーム光学による均一ビームを用いた。

本実験ではまた、JSNS のビーム測定に用いる SiC ワイヤーの耐放射線性の測定のために、タンデム加速器を用いて MT ポートにおいて He イオン(1 MeV)を照射し、弾き出し電流の経時変化の測定を行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

実験では、107 MeV の $^{40}\text{Ar}^{8+}$ ビーム（電流 約 30 nA）を試料に照射し、発光スペクトルの強度を定期的に測定した。ビーム入射による、アルミナ塗料（アルミナコート）の結果を図 2(a)に示す。アルミナコートの発光スペクトルには、700 nm に明確なピークが観測され、このピークは不純物として含まれるクロムによるものと考えられる。1 時間のビーム照射により 700 nm におけるピーク強度は 30% に低下することが観察されるものの、図 2(b)に示す短波長領域では、ビーム入射に伴い発光が殆ど減衰しないことがわかった。短波長のみ選択による発光状態のイメージの観測により、ビームに伴う劣化が少ないプロファイルモニタが成立することが期待される。しかしながら、塗料を用いる場合には劣化による剥離が懸念される。アルミナ中に ^7Be 等の放射性核種[1]が核破砕反応により生成するため、剥離性のある塗料は放射線管理上望ましくない。今後の課題として、塗料の剥離性に関する検討を行う予定とする。

AF995R のスペクトル強度の測定結果を図 3 に示す。AF995R は 700 nm 付近に鋭く明確なピークが観測されるものの、減衰が著しいことが再度確認された。以前の AF995R を用いた測定では、ピーク部の減衰は著しいものの、ピークより短波長領域の強度の減衰は小さかった [2]。今回の測定結果では、全ての波長領域において一様な劣化が観測された。今回と前回の違いは不明であるが、試料中の不純物として含まれる元素の影響も考えられるため、今後この違いに関して検討を行う。

密着性のよい溶射成膜の場合には、塗料のような母材から剥離する問題が少ないと考えられるため、溶射により成膜したアルミナの実験を行った。以前の測定では、300 nm 領域に明確なスペクトルが測定できたものの、今年度はほとんど信号を生成しなかった。この原因の一つとして、溶射時の不純物の制御に問題が有ると考えられる。実際には、試料を溶射したメーカーが異なり、溶射時の不純物の取扱いの異なりにより、スペクトルの違いが生じたことが考えられるため、次回の実験では以前に試料を製作したものと同一なメーカーにより試料を製作し測定する予定としている。また、J-PARC の大強度陽子ビームに対する発光強度の絶対量が重要となるため、数 GeV 陽子に対する発光強度を J-PARC の加速器を用いて測定する予定としている。

上記の実験において、SiC ワイヤーを試料の上流側に上下方向に分けて 2 セット張り、ビームモニターとして利用した。本実験では、SiC ワイヤーの弾き出し電流の減少は観測されず、SiC ワイヤーの耐放射線性が優れていることが明らかになった。照射における全ての時間において、試料の発光状態を画像データとして保存したが、照射開始時に蛍光状態が一様でない時間が観測された。この時間における試料の発光量とワイヤーの弾き出し電流は相関しており、ワイヤーによるビーム電流の位置依存性が保たれていることが明らかになった。

なお、MT ポートにおける SiC ワイヤーの弾き出し電流は、入射イオンの殆どがワイヤーを通過せずに透過し、ビームストッパーとして設置した鉄からの二次電子を計測したために、ワイヤーから生成する電子の電流を測定することができなかった。今後の実験では、周囲の電子がワイヤーに入射するのを防止する体系やバイアスを印可して行う事が必要と示された。

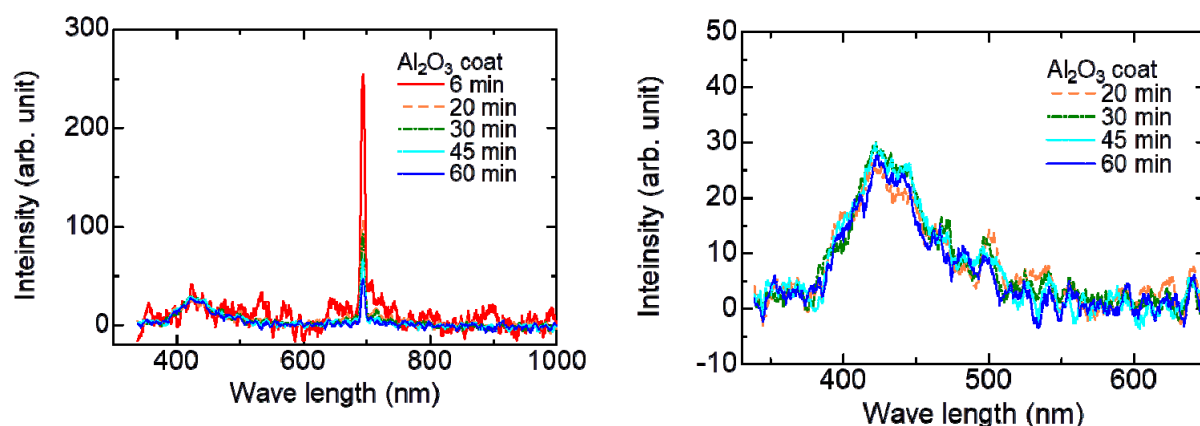


図 2: アルミナコート各照射時間における発光スペクトル (a) 全波長領域、及び(b) 650 nm 以下の波長領域のスペクトル。照射開始から 60 分までのスペクトル強度の振舞いを示す。

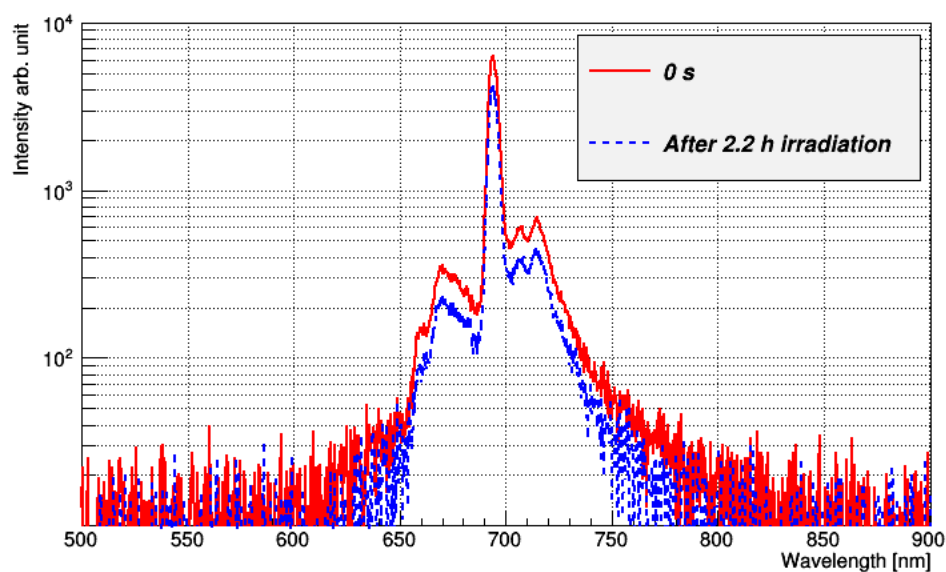


図 3: 照射直後および照射 2.2 時間後の AFR995R による発光強度スペクトル。

4. 引用(参照)文献等

- [1] H. Matsuda, et al., “Proton-induced activation cross section measurement for aluminum with proton energy range from 0.4 to 3 GeV at J-PARC”, J. Nucl. Sci. and Tech., DOI: 10.1080/00223131.2018.1461694, (2018).
- [2] S. Meigo, et al., “Profile Monitor on Target for Spallation Neutron Source”, Proc. 6th Int. Beam Instr. Conf., IBIC 2017, Grand Rapid USA, pp. 373-375, (2017).