

荷電変換膜の高性能化研究

High performance study of charge-exchange foils

山崎 良雄¹⁾, 吉本 政弘¹⁾, サハ プラナブ¹⁾, 金正 倫計¹⁾,
田口 富嗣²⁾, 菅井 勲³⁾

Yoshio YAMAZAKI, Masahiro YOSHIMOTO, Pranab SAHA,

Tomitsugu TAGUCHI, Isao SUGAI

¹⁾原子力機構 J-PARC ²⁾量研機構 ³⁾KEK

（概要）

世界の大強度円型陽子加速器では、リニアックからのH⁺ビームを薄膜でH⁺に荷電変換し多重入射方式をすることで大電流陽子ビームをリング内に蓄積している。荷電変換多重入射時に、入射ビームと同時に周回軌道のビームはフォイルと衝突し、高出力ビーム負荷により破損し使用不能になる。結果として加速器の稼働率の低下をもたらす。そこで、大強度のビーム負荷に対し長寿命の荷電変換フォイルの開発が大強度円型陽子加速器の技術開発の重要な要素となっていた。世界でフォイル開発が鋭意進められる中、J-PARC では KEK で独立に開発されたボロンドープされたアモルファスカーボンフォイル（Hybrid Boron Carbon foil: 以下 HBC フォイルと略す）を採用し、現時点では安定にビーム利用運転を行っており、ビーム損傷に対しても画期的な寿命を示している。しかし、アーク放電による製膜方法は、放電アークの不安定による高い再現性を確保することが困難で、安定な HBC フォイルの製膜には、アーク炭素素材評価を含めた製作条件をできる限り詳細に把握、コントロールすることが必要不可欠である。内部の不純物の有無もビーム散乱効果や放射化の原因元素になりうるので、極力排除することも重要である。本研究ではビーム負荷に対する耐性のメカニズムも探求するとともに、フォイル寿命の評価方法を確立するとともに、さらなる長寿命化を目指した荷電変換フォイルの開発を目指す。

キーワード：J-PARC, 荷電変換フォイル

1. 目的

現在、HBC フォイルは J-PARC の大電流陽子加速器の荷電変換膜として利用されている。しかしながら、すでに利用運転でビーム負荷によりフォイルの厚さ減少が観測されており、荷電変換効率の減少として計測されている。この現象はフォイル寿命として、加速器運転効率に影響を及ぼす。最終的に 1MW の高出力を目指すためにも、フォイルの寿命を評価し、HBC フォイル製法に反映させることは必要不可欠である。実機でのフォイルの変化に十分注視することはもちろんであるが、本件ではオフラインビーム耐久試験として、イオン照射によるフォイル損傷を模擬し、実際のビームによるフォイル寿命を評価する手法を確立することにある。さらに、長寿命フォイルの製膜安定条件を見出すことを目的とする。

2. 実施方法

オフラインでのビーム負荷試験として、MeV 級のイオンビームを照射できるタンデム加速器が必要である。また、荷電変換効率を決定するのはフォイルの膜厚であり、膜厚評価は必須である。ビーム散乱によるビームロスや放射化の低減のためには不純物を極力抑える必要もある。よって、RBS、PIXE によりフォイルの組成、構造、不純物の有無などを評価するためにシングルエンド加速器が必要である。

3. 結果及び考察、今後の展開等

HBC フォイルを TIARA で分析し、ボロンドープ量、不純物の存在を明らかにした。特に、生産バッチにより不純物の混入が多いことがあり、不純物成分からその混入経路を推測し、生産段階での不純物混入を防ぐことに成功した。また、Ar イオン照射によるビーム負荷試験によるフォイル評価では、そのミクロの変化を TEM で観察し、原材料であるボロンドープ方法が原因の B₄C の微粒子が局在している様子が観測され、それを核にした結晶成長が促されていた。また、不純物である Fe、Cu などの金属系の微粒子が存在する場合、それを核とした結晶化が進んでいることが確認された。今後は、実機でのフォイル寿命を評価するため、イオン照射耐久試験の評価基準として、イオン種の違い、イオンエネルギー、粒子数等を考慮して DPA による比較により照射量を標準化し、フォイル寿命の評価に関連付ける。