

DEVELOPMENT OF THE SIGLE SIDE SUPPORT STRIPPING FOIL

Y.Arakida^{A)}, Y.Irie^{B)}

^{A)} Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-si, 305--0801

^{B)} Japan Atomic Energy Research Institute
2-4 Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195

Abstract

Charge-exchange painting injection of H⁻ beam is essential to mitigate transverse space charge effects in high-intensity proton accelerators such as the J-PARC 3GeV ring. A thin carbon foil is one of candidates as a stripper. Usually it has a four-sided shape. In order to extend a life time of carbon-foil as long as possible, a number of multi-turn pass of injected protons through the stripping foil has to be avoided. For this purpose single side support is desired. A thin carbon foil with a slightly curved surface, which makes self-supporting much easier than the conventional flat surface, has been fabricated and tested in the KEK 500MeV Booster Ring. Its operational performance is presented.

片支持型荷電変換膜の開発

1. はじめに

円形加速器の荷電変換による入射は荷電変換素子として、現在多くは炭素薄膜が使用されている。そしてビームは入射時のみ膜を通過し、加速時は通過しない軌道に設定される。炭素薄膜は通過粒子のエネルギーにより数～数百mg/cm²程度の厚さが使われる。他方、例えば一般用クッキングフォイルの厚さは15μmでこれは4mg/cm²であり加速器の荷電変換膜の要求よりも相当大きな量である。したがって円形加速器に実装される荷電変換膜の膜通過/膜外通過の軌道がシフトする1辺方向は膜辺に支持物がない構造が必要であることを意味する。さらに計画されている次世代大強度陽子加速器においてはアパチュア内に計画的分布入射させるペイントが計画されており4角形中3方向支持物のない形状の荷電変換膜が要求されている。しかしながら荷電変換に使われる厚さの膜は極めて脆弱で4角や円枠で支持してようやく膜面となり、膜自体で自立や平面維持はできず、膜の直接の加工はほぼ不可能である。

本稿は脆弱な薄膜をマウント方法の改良により1辺支持の自立荷電変換膜に形成する方法とKEK-PSブースターで運転に使用した結果を報告する。

2. 荷電変換膜の現状と次期の要請

薄膜の加速器実装枠へのマウントは剥離材を塗布した基板に炭素を蒸着して薄膜を作り、基板を端から水に浸して水面上に膜を剥離して浮かべる。水没させておいた枠を水面から引き上げつつ4角か円形の穴の枠に貼り付けるのが一般的な方法である。

KEK-PS Booster は '85年11月より40MeV H⁻ 入射となり¹⁾²⁾の1辺開放型の60mg/cm²厚炭素膜が使用されている。これは“コ”の字形の枠の開放側先

端にタングステンの10mmφの線を渡す。30mg/cm²の膜を照射部を2重に貼り合わせる。2重膜貼り合わせの膜の支持部は0.1mmのAl板を膜が挟む構造である。建設が始まった大強度の陽子加速器 J-PARC 3GeVシンクロトロン 180MeV H⁻ 入射にペイントが計画されており³⁾、荷電変換膜への要請は膜厚300mg/cm²で Fig.1 に示すように水平方向120mm、垂直方向50mmより一回り大きくかつ片側支持されることである。

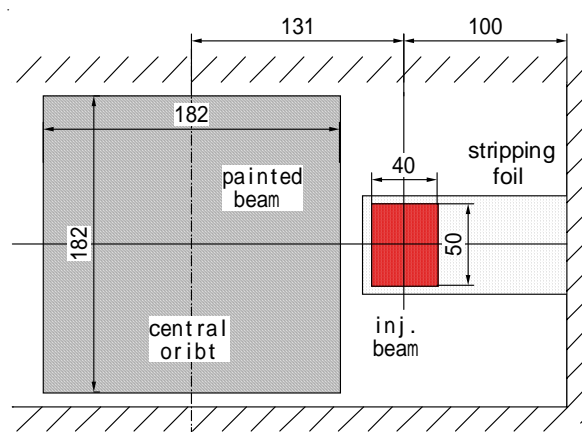


Fig.1 Requirements for J-Parc stripping foil

3. 湾曲片支持型荷電変換膜

3.1 湾曲片支持型荷電変換膜の特徴

経験上 ACF-Metal社製の蒸着膜に限るが厚い

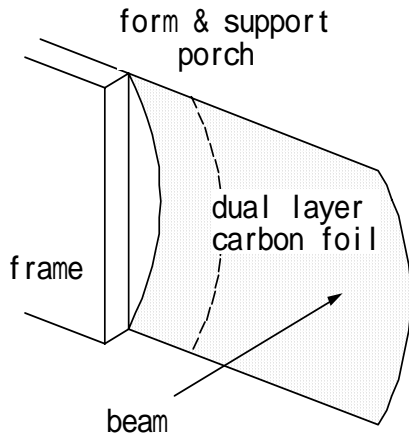


Fig. 2 Structure of single side support stripping foil

500 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 程度の膜でも上辺支持し垂れ下がる“暖簾型”以外で膜自体での平面維持は無理であった。そこで従来のマウント方法を基本として以下の方法により Fig.2. の曲面の自立膜を製作した。特徴は

- 1) 膜面を平面ではなく緩く湾曲させ湾曲した片側1辺で支持と形状維持をする構造。
- 2) 湾曲した支持部を縦の1辺とし、対辺も同等の湾曲形成板を置き上下に膜受けを付けた4角形空間のジグを水没させておき、水面上に薄膜を剥離し、水面を下げつつ貼り付けて湾曲形成する製造方法。(Fig.3)
- 3) 要求される半分の厚さの膜を2層として支持部は薄い支持板を膜が挟む構造。
- 4) ジグの傾きを変えられる構造として貼り付けが進み下がる水位に対応して常に湾曲の水線の接線が垂直となる操作をしながら貼り付ける製造方法。(Fig.3)
- 5) 貼り付け乾燥後膜面をジグ上で放射熱により膜面をアニールする方法。
- 6) 最後にジグより支持部以外の3辺を鋭利な刃で切り取る方法。

3.2 マウント上の要点1、曲面形成

平面の薄板を曲面や折り曲げにより強度を得るのは機械加工においてはごく普通の方法である。しかし荷電変換膜として使われる膜厚域では膜を直接加工することは強度上不可でありマウント時に曲面形成を行った。水中の枠に膜を貼り付ける過程において水切り線は膜水面上直線でなければならないが水切り線に直角方向は水面に対して自由度はある。しかしながら水切り線上膜が水面に斜めであると膜の表面張力による濡れ部分が表裏非対称となり水面上で膜面直角の水平成分が発生し膜面が歪み亀裂が入ることもある。そこで円弧に形成される膜の角度に対応してジグを傾けて水切り位置では接線が垂直とな

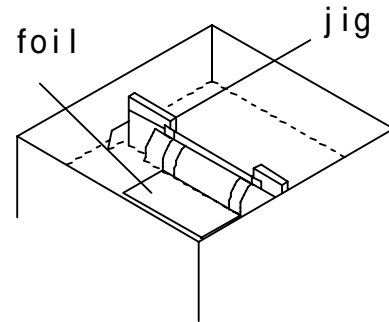


Fig.3 Mounting, half level water

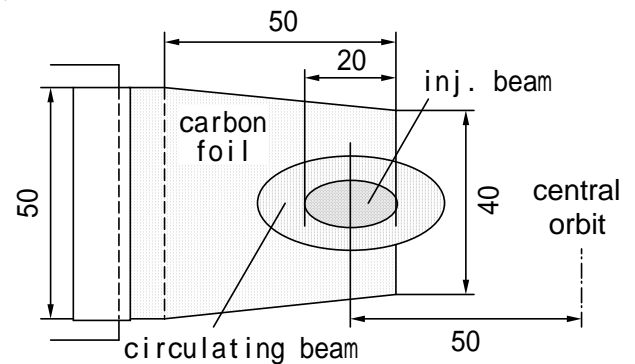


Fig.4 Design of the stripping foil for KEK booster

るように操作をした。

3.3 マウント上の要点2、2層膜

KEK-PSでは要求厚の1/2、2倍面積の膜を中央で折り曲げ水面より引き上げつつ貼り合わせた2層の膜を使用しており本マウントにおいても踏襲した。これは作業が経験上容易なので始めたが結果としてビーム照射においても単層膜より長時間使用できた。製作上については水面から引き上げにおいて単面片側貼りに比べて支持枠両面から膜を貼る方法は表裏対称により膜の濡れ部分による表面張力の水平成分が打ち消されるためと考えられる。完成後支持部は膜が軽く付着とも言えるべき付き方で少々の外力や状態変化で剥離しやすく2層として支持部を両側から挟んだ方が丈夫で取り扱いが容易であった。ビーム照射においても経験上2層の方が長寿命であるが現在合理的説明ができていない。

3.3 マウント上の要点3、貼り付け後のアニール

貼り付け後の膜面にストレスがあるのでジグ上でアニールをした。アニールするには数百度程度は加熱しなければならないが熱は周囲空気を対流させて気流で膜を破る可能性がある。また100度程度以上に枠を加熱すると支持部分に密着していた膜が剥離する。そこで膜を垂直とし、間にマスクを置き八口



Fig. 5 7days



Fig.6 42days

ゲンランプの高熱の放射熱により膜面のみ加熱して支持部には熱が加わらないようにした。

4 . KEK-PS Booster での照射試験。

本構造の荷電変換膜をKEK-PSの運転に使用した。KEK-PSブ - スタ - の40MeV H⁻ 入射はペイントではないが曲面の片支持構造なる膜がマウントから照射まですべての過程で成り立ち得るか確認するためである。 Fig.4 にブ - スタ - 仕様と想定照射位置を示す。 ブ - スタ - 用として従来同等の膜厚 30mg/cm² を2層にして60mg/cm²、有効範囲水平50mm、垂直40mm、入射点の膜供給装置が使用できることを基本条件とした。曲面は目分量で半径50mm、水平中心線より±30deg. とした。 fig.5 が使用開始後7日目、fig.6 は42日目、使用終了時である。

5 . 考察

5.1 膜寿命について

一般論として膜はビ - ム照射により収縮し、物理的に叩かれたように下流側に変形する。

本膜の場合は写真が示すように照射部分を中心に下流側に叩かれたような形と周りに皺、擦れの相当なる変形をした。他例合わせて大方はビ - ム方向から見た投影形状が小さくなり下流の未変換の H₀, H⁻ 検出量が増えて使用を中止した。使用期間は従来より長いくらいであった。

従来の1辺開放3辺支持の荷電変換膜の場合、膜劣化にはほぼ必ず膜の亀裂が伴った。長め使用できた場合も亀裂位置が照射中心から外れている場合が大方である。ビ - ム照射により膜が収縮し、周囲支持辺で固定されているので膜に亀裂がはいると考えられる。本膜においては亀裂が使用不能の直接原因となったことは無かった。



Fig.7 7days Fig.8 42day

5.2 フォイル上ビ - ム入射位置について

Fig.5,6 のビ - ム照射の変色の状況から見て Fig.4 の照射予定位置よりフォイル内部を入射点として運転しているようである。膜上のビ - ム位置は直接観察できないので下流のH₀, H⁻ 検出位置のロスモニターでロスが小さくなる位置にフォイル位置を調整しているのだが現ロスモニターでは不十分のようで今後の課題である。

6 . 結論

湾曲面片支持型荷電変換膜はKEK-PSの運転の使用に耐え従来同等以上の寿命が得られた。想定用途のペイント入射で先端全面が照射された場合についてはやはり未知である。

参考文献

- [1] I. Yamane, et al. :Nucl. Instr. and Meth., A254(1987)225-228
- [2] I. Yamane, et al. KEK Internal 86-4
- [3] I. Sakai et. al., Proc.8th EPAC 2002 Paris, (pp.1040-1042)