

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26日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21340072

研究課題名（和文）2300K 高温環境下で 300h に耐えられるハイブリッド型長寿命炭素フォイルの開発

研究課題名（英文）Development of high durability long-lived hybrid carbon foils with 300h under 2300K high temperature

研究代表者

菅井 勲 (SUGAI ISAO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・研究員

研究者番号：80150291

研究成果の概要（和文）：研究代表者らが開発した制御型直流アーク放電法を用いて厚さ 300-400 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の HBC-フォイルを作成し東工大の 3.2MeV の DC ネオンビーム、KEK の 650KeV の DC 負水素イオンビーム、それに米国ロスアラモス研究所の 800MeV のパルス負水素イオンビームを用いて照射性能試験を行った。結果はいずれの場合でも 1800K-2300K の高温環境下に加熱された HBC-フォイルは市販のフォイルの 250 倍、ナノダイヤモンドフォイルの 100 倍以上の寿命を示した。

研究成果の概要（英文）：We have prepared various type HBC-foils by Controlled DC/AC arc-discharge method. The lifetime of these foils were measured with three different ion energies provided from Tokyo Institute of Technology, KEK and Los Alamos National Laboratory USA. The HBC-foils showed superior characteristics, especially the lifetimes of 250 and 100 times longer than that of CM-foil and nano diamond foil. Even at high temperature of 1800-2300 K.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	3,200,000	960,000	4,160,000
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：炭素フォイル、ストリッパフォイル、大強度陽子加速器

1. 研究開始当初の背景

現在稼働中の J-PARC の大強度陽子加速器はこの数年以内にビーム出力が 1MW にグレードアップする。陽子イオンは負水素イオンから電子 2 個を炭素フォイルで剥ぎ取ることに

り得られる。1MW では炭素フォイルの温度が 1800K 以上になり市販の炭素フォイルではすぐ破損し運転不能になる。このため 1800K 以上の超高温環境下でも高温放射線損傷に強い長寿命の開発が強く望まれていた。

2. 研究の目的

市販の炭素フォイルは最近の高エネルギー大強度加速器からの大電流イオンビームに対してその寿命が短寿命であるため、加速器の運転効率の低下、そのフォイル交換時の人体への放射線被曝が大問題となってきた。厚い炭素フォイル ($>150\mu\text{g}/\text{cm}^2$) は大強度イオンビームにより高温放射線損傷(変形、膜厚減少、ピンホール)が顕著になる。その結果荷電変換効率の低下を招き周辺の機器は高放射化となる。この高温損傷による炭素フォイルの劣化を極力少なくすることを研究の目的とする。

3. 研究の方法

通常の炭素フォイルは高温熱蒸着法によって作成されている。この炭素フォイルの粒子は2~4 nmの構造からできているのでイオンビームで高温に熱せられるとその熱収縮により短時間に大きなフォイルの変形が起こる。我々は熱収縮速度を緩和するために200-500nmのクラスター粒子構造を持つ炭素フォイルを作製した。さらに1800K以上の高温では熱による蒸発とイオンビームスパッター作用によってフォイルの膜厚が減少するので低蒸気圧と低スパッター率のボロンを混合したハイブリッド型炭素フォイルを開発した。

4. 研究成果

制御型直流アーク放電法を用いて炭素クラスターに適當慮を混合して作製した厚さ $300\text{--}400\mu\text{g}/\text{cm}^2$ のHBC-フォイルを東工大バンデグラーフ加速器の3.2MeVネオンイオンビーム、KEKのコッククロフト加速器の650 keVの直流負水素イオンビーム、それに米国ロスアラモス研究所の800 MeVパルス負水素イオンビームの3種の荷電イオンビームで照射実験を行った。

東工大での結果；市販の米国のACFフォイルの250倍、ナノダイヤモンドフォイルの100倍の高寿命を示した。この場合各フォイルの温度は $1800\pm 300\text{K}$ であった。

KEKの結果：シングルとダブルHBC-フォイルはそれぞれ205hと260hを示した。

カナダ国TRIUMF研究所のDLCフォイルと

市販のACFフォイルはそれぞれ約1hであった。この両フォイルはビームに沿って穴があいた。又ナノとマイクロ構造のダイヤモンドフォイルは最大20hを示した。この両タイプのダイヤモンドフォイルはビーム照射方向に対して照射下部が大きな変形を示した。

ロスアラモス研究所の結果：ここでテストした何れのフォイルも営業運転に使われた。

ここでのHBC-フォイル(20mm x 70mm)は約 $120\mu\text{g}/\text{cm}^2$ のフォイルを3枚重ねたもので~5mmのカーボンファイバーで変動しないように取り付けられたものである。寿命はナノダイヤモンドフォイル(15 mm x 40mm)の数倍以上の高寿命を示した。この場合のHBC-フォイルは破損しなくても一定期間の照射で新しいフォイルに取り換えた。従って、何れのHBC-フォイルは再度使用可能である。上記3種の実験結果から、HBC-フォイルは他のテストした何れのフォイルに比べて変形が少ないこと、膜厚減少は最大照射前の厚さの30%前後であることが分かった。このHBC-フォイルの密度を測定した結果、 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ を示しテストした何れのフォイルに比べて最も軽い。この低密度こそが高温環境下でも熱収縮速度を緩和し変形を緩慢にしていると思われる。

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9件)

- ① I. Sugai, M. Oyaizu, Y. Takeda, H. Kawasaki, T. Hattori, K. Kawakami, Suppression of carbon buildup and lifetime improvement by heating carbon stripper foils, Nuclear Instruments and Method in Physics Research B, 査読あり, 269 (2011) 223-228
- ② I. Sugai, Quantitative measurement of oxygen content in Si targets, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A, 査読あり, 655 (2011) 88-94
- ③ I. Sugai, Y. Takeda, H. Kawakami, N. Ohta, H. Makii, H. Miyatake, Adhesion improvement of HIVIPP 12C

targets on Au backings, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A, 査読あり, 655 (2011) 24-33

- ④ I. Sugai, M. Oyaizu, Y. Takeda,
H. Kawakami, K. Kawasaki, T. Hattori,
DEVELOPMENT OF THIN NCS-FOILS BY N⁺ ION
BEAM SPUTTERING AND THIRE
CHARACTERISTICS, Proceedings of
IPAC2011, 査読なし, San Sebastian,
Spain, THPS036, 3499-3501, 2011
- ⑤ I. Sugai, A. Takagi, Y. Takeda, Y. Irie,
M. Oyaizu Y. Yamazaki, M. Yoshimoto,
M. Kinsho,
PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF
HBC-FOILS BY 650KeV H⁻ AND DC HIGH
INTENSITY ION BEAM IRRADIATION,
Proceedings of IPAC2011, 査読なし、
San Sebastian, Spain THPS037,
3502-3504, 2011
- ⑥ 菅井勲、武田泰弘
1800K 高耐熱性ハイブリッド型長寿命炭素
フォイルの開発, 日本物理学会誌,
査読あり, Vol. 65, No. 5, 2010, 331-339
- ⑦ I. Sugai, Y. Takeda, M. Oyaizu,
H. Kawakami, Y. Irie, A. Takagi,
H. Hattori, K. Kawasaki
Double-layer effect on the lifetime of
newly developed HBC-foils for RCS of
J-PARC, Nuclear Instruments and Method
in Physics Research A, 査読あり、613
(2010) 457-461
- ⑧ I. Sugai, M. Oyaizu, Y. Takeda,
H. Kawakami, H. Hattori, K. Kawasaki、
Influence of carbon material and
sputtering angle on stripper foil
lifetime Nuclear Instruments and Method
in Physics Research A , 査読あり
613 (2010) 443-452
- ⑨ I. Sugai, Y. Takeda, H. Kawakami
Production of uniform and thick
enriched isotopic Te targets by means of
the HIVIPP method, Nuclear Instruments
and Method in Physics Research A ,
査読あり, 613 (2010) 407-411

[学会発表] (計 4 件)

- ① 菅井勲, DEVELOPMENT OF THIN NCS-FOILS
BY N⁺ ION BEAM SPUTTERING AND THIRE
CHARACTERISTICS, IPAC2011, September
4-9, 2011, San Sebastian, Spain
- ② 菅井勲, PERFORMANCE CHARACTERISTICS
OF HBC-FOILS BY 650KeV H⁻ AND DC HIGH
INTENSITY ION BEAM IRRADIATION,
September 4-9, 2011, San Sebastian,
Spain
- ③ 菅井勲, Quantitative measurement of
oxygen content in Si targets,
International Nuclear Target
Development Society, September 12-17,
2010, TRIUMF, Vancouver, Canada
- ④ 菅井勲, Adhesion improvement of HIVIPP
12C targets on Au backings,
International Nuclear Target
Development Society, September 12-17,
2010, TRIUMF, Vancouver, Canada

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 荷電変換薄膜および粒子加速器
発明者: 山根功、高木昭、菅井勲
権利者: 大学共同利用機関法人高エネルギー
一加速器研究機構、独立行政法人産業技術
総合研究所
種類: 特許
番号: 4821011
取得年月日: 平成 23 年 9 月 16 日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅井 勲 (SUGAI ISAO)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・加速器研究施設・研究員
研究者番号: 80150291

(2) 研究分担者

高木 昭 (TAKAGI AKIRA)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・加速器研究施設・講師
研究者番号: 10100819

武田 泰弘 (TAKEDA YASUHIRO)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・加速器研究施設・技師
研究者番号：70391745

入江 吉郎 (IRIE YOSHIRO)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・加速器科学支援センター・シ
ニアフェロー
研究者番号：00124173