

ウランビーム加速用 薄い回転式炭素ディスクの開発

2019年7月31日

第16回日本加速器学会年会

京都大学吉田キャンパス, 京都

長谷部裕雄¹、奥野広樹¹、多々見篤²、立花正満²、村上睦明²
今尾浩士¹、福西暢尚¹、上垣外修一¹

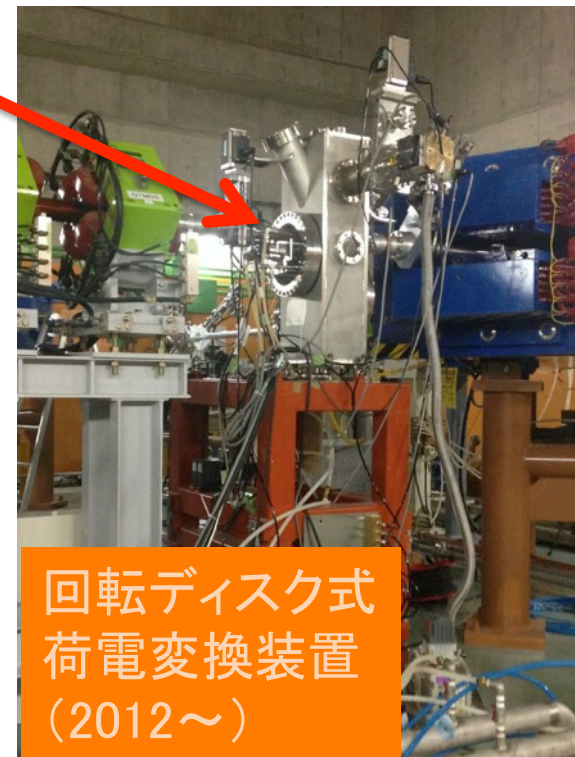
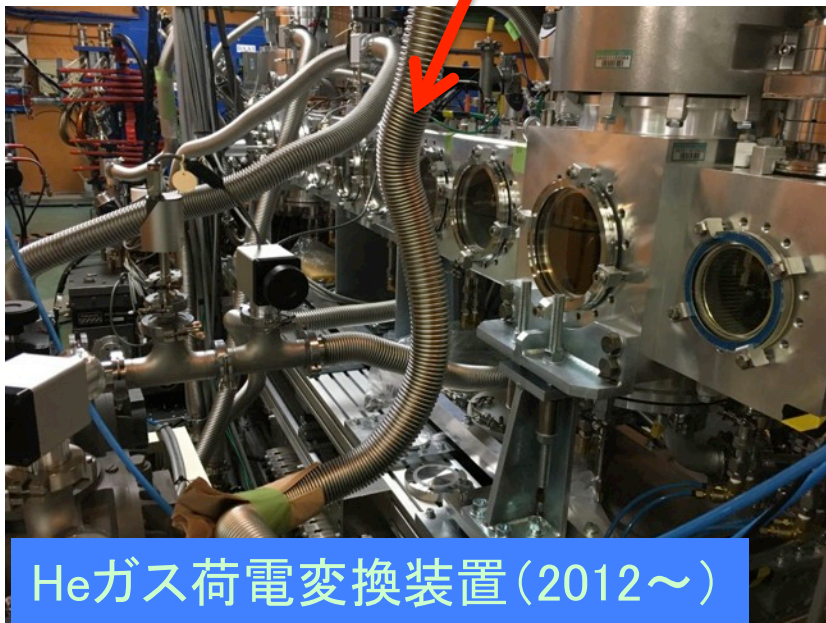
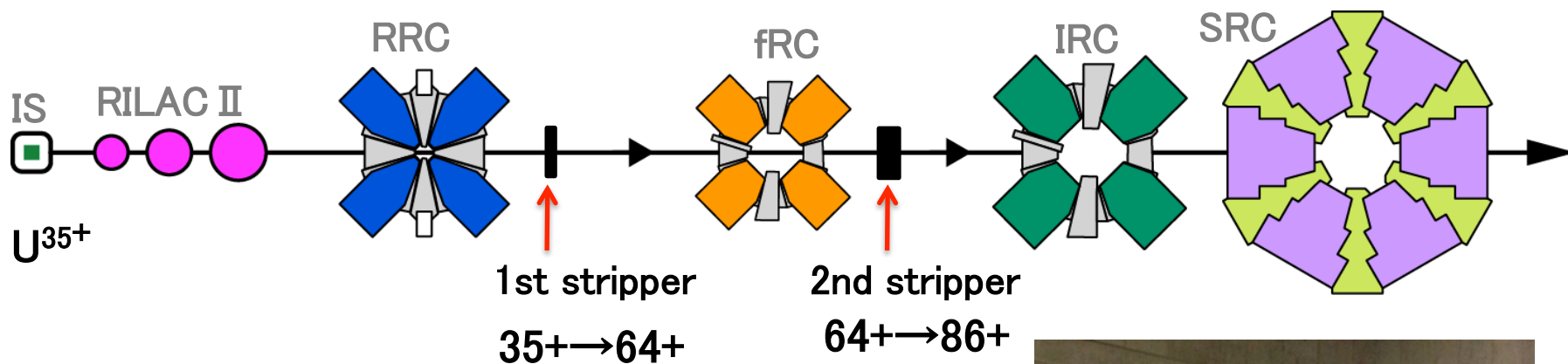
¹)理化学研究所 仁科加速器研究センター

²)(株)カネカ Material Solutions New Research Engine

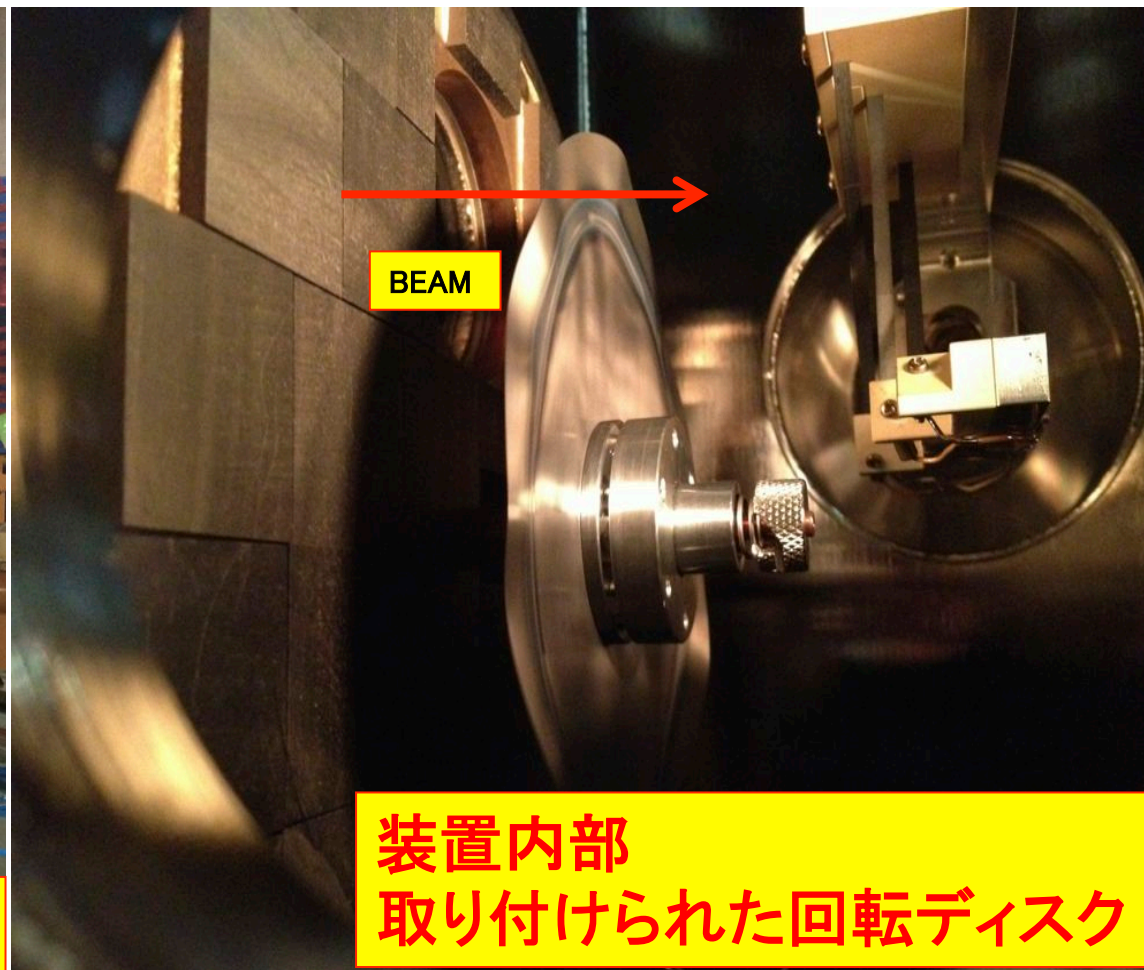
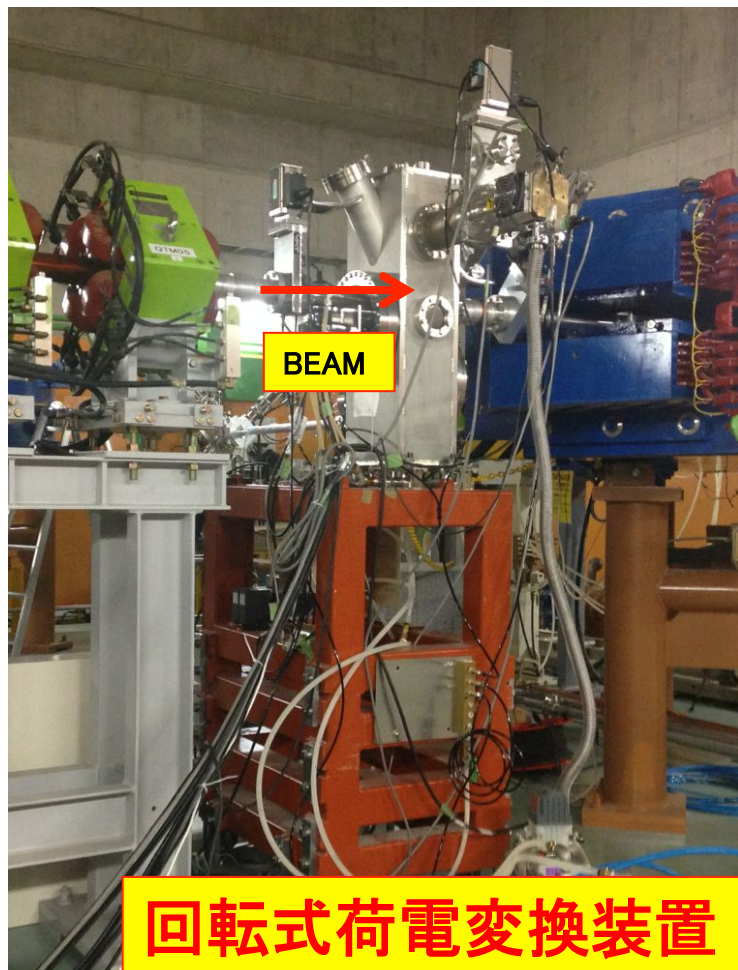
目次

- 1.回転式荷電変換装置について
- 2.カネカ・グラファイトシート
- 3.カネカ・薄いグラファイトディスク
- 4.荷電変換結果
- 5.SEM分析・観察結果
- 6.まとめ

Uビーム加速時の荷電変換



回転ディスク式荷電変換



Be-diskを使用した荷電変換

(2012 - 2014年 4枚使用)

Disk 2 t=0.085 mm ダイヤモンド研磨



寿命 (総照射粒子数)

固定炭素薄膜: 7.12×10^{15} (71+)

ベリリウムディスク: 1×10^{18} (64+)

Disk 2

2013/4-5
2014/3-4

照射中モニター画面

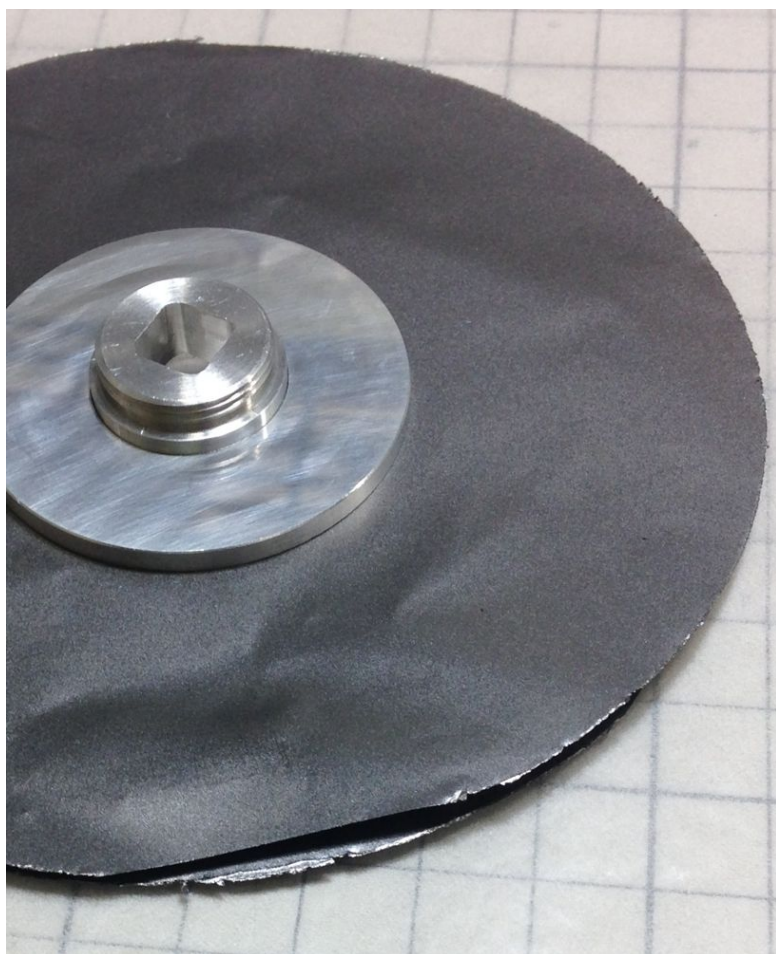


熱サイクル疲労現象

1.68×10^{18}

グラファイトシート (GS)

(株式会社カネカ製)



$$0.035 \text{ mm} \times 2 = 7 \text{ mg/cm}^2 \times 2 = 14 \text{ mg/cm}^2$$

GS特性

特性表

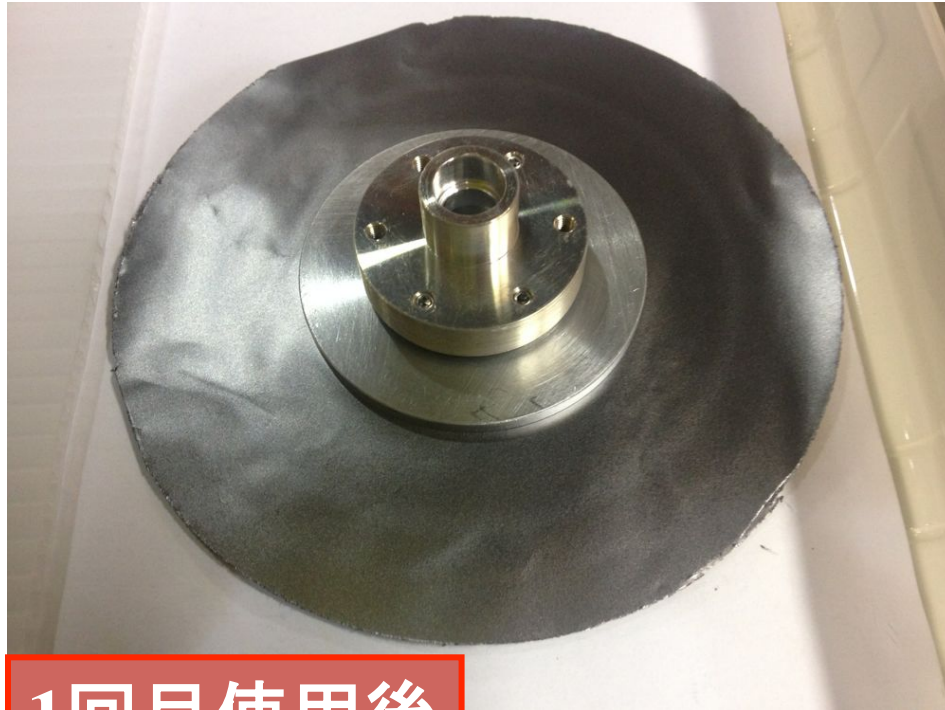
KANEKA HPより

	単位	測定方法	特性値	
			グラフィニティ 25μm	グラフィニティ 40μm
厚み	μm	マイクロメーター	25	40
熱伝導率	平面方向	光交流法	1500	1500
	厚み方向	レーザーフラッシュ法	5	5
熱拡散率	cm ² /s	光交流法	9.0	9.0
密度	g/cm ³	カネカ法	2.0	2.0
引張り強度	MPa	ASTM-D-882	40	40
屈曲性能	回	JIS-C5016,R=2mm,135°	10000以上	10000以上
電気伝導度	S/cm	JIS K 7194	13000	13000
耐熱温度	°C	TG-DTA	500	500
吸水率	%	JIS K 7209	0.1以下	0.1以下

平面方向の熱伝導率は銅やアルミより数倍高く、高密度
黒鉛と比べたら10倍も熱伝導度がいい(銅:398 アルミ:236 黒鉛:100~250)

GSを使用した荷電変換

2015年3-5月と10-12月



1回目使用後

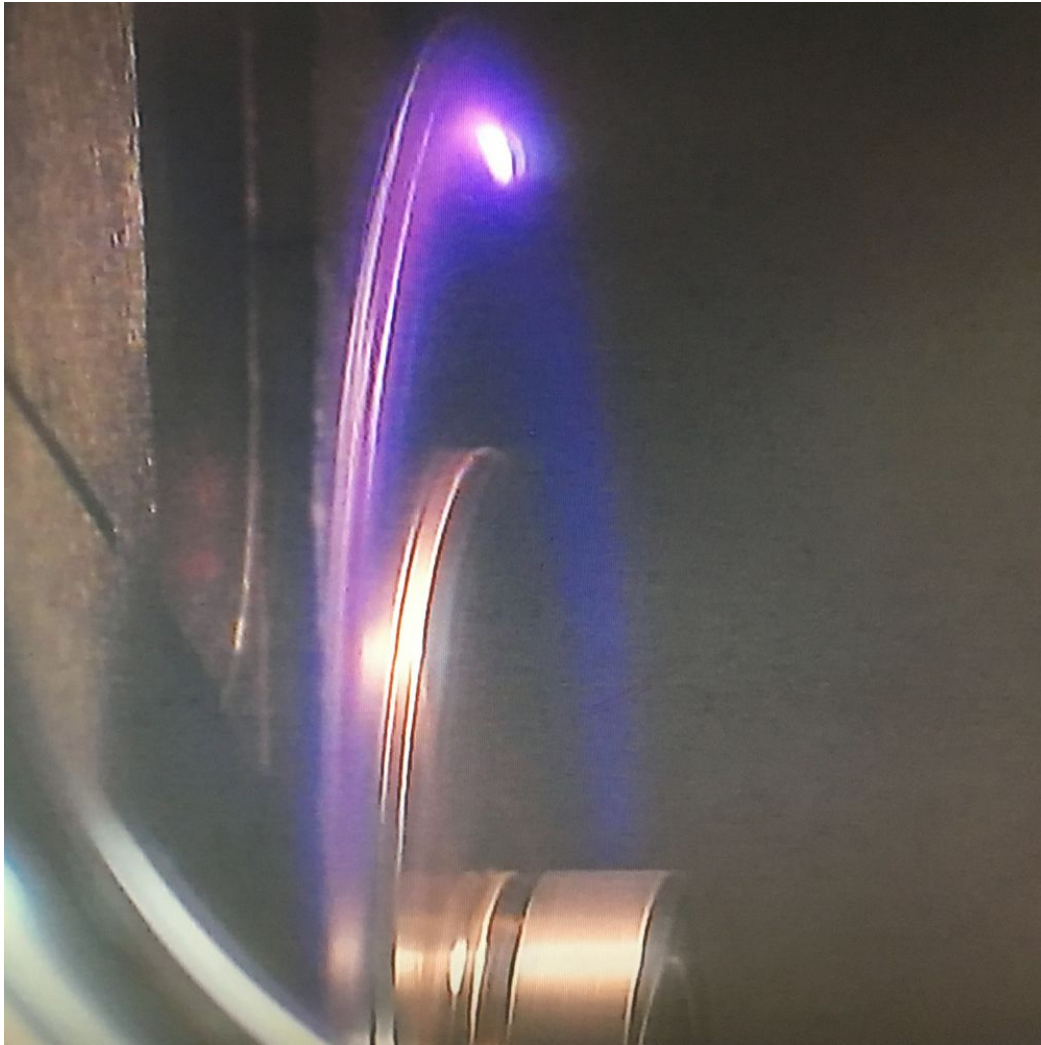


2回目使用後

照射ビーム電流: 17.5 μA
熱負荷: 280 W
ウラン総粒子数
1回目: 1.41×10^{18}
2回目: 7.75×10^{17}
合計: 2.19×10^{18}

ウランビーム照射時・使用後荷電変換膜

2018年10月



U^{64+}

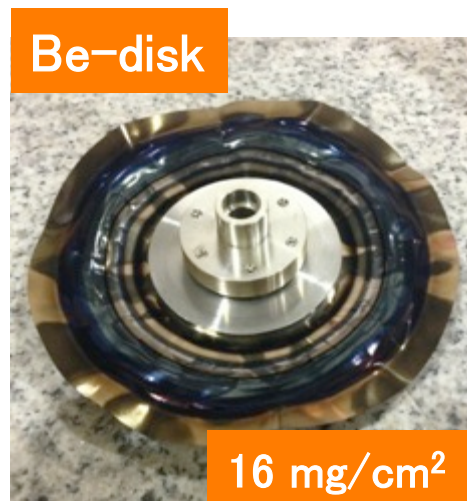
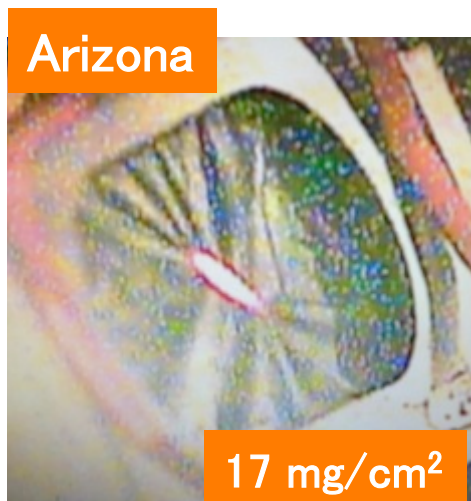
$E=50 \text{ MeV/u}$

約 $20 \text{ e}\mu\text{A}$

熱負荷 330 W

2段階ウランビーム荷電変換

$U^{64+} \rightarrow U^{86+}$
50 MeV/u



	固定膜 (Arizona)	Beディスク	カネカ GS
時期	2007-2011	2012-2014	2015~
最大ビーム強度	2-3 eμA	12 eμA	17.5 eμA
寿命	7.12 × 10 ¹⁵ (71+) 9 時間	1 × 10 ¹⁸ (64+) 20 日	2.19 × 10 ¹⁸ (64+) 2 × Beam Time 40 日
費用	約120万円 (1日) 約3600万円 (1月)	約150万円 1 枚	約15万円 2 枚

GS

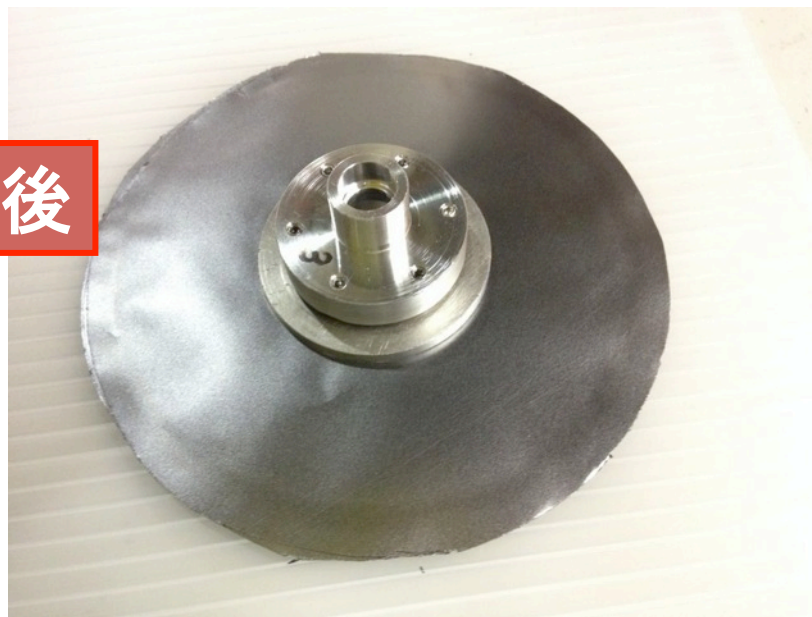
他イオンビームにも使用



Xe
7+7+4.5
18.5 mg/cm²
2016年4月-5月
2019年5-6月

複数枚使用
通過ビーム問題無い
膜厚3種類組み合わせ
7, 4.5, 3.7 mg/cm²
使用する膜厚選別可能

使用後



Kr
7+7+7
21 mg/cm²
2015年5月-6月
2019年3-4月

Graphite thin film (GTF) disk

U ビーム MS 2016年6月

E=50 MeV/u

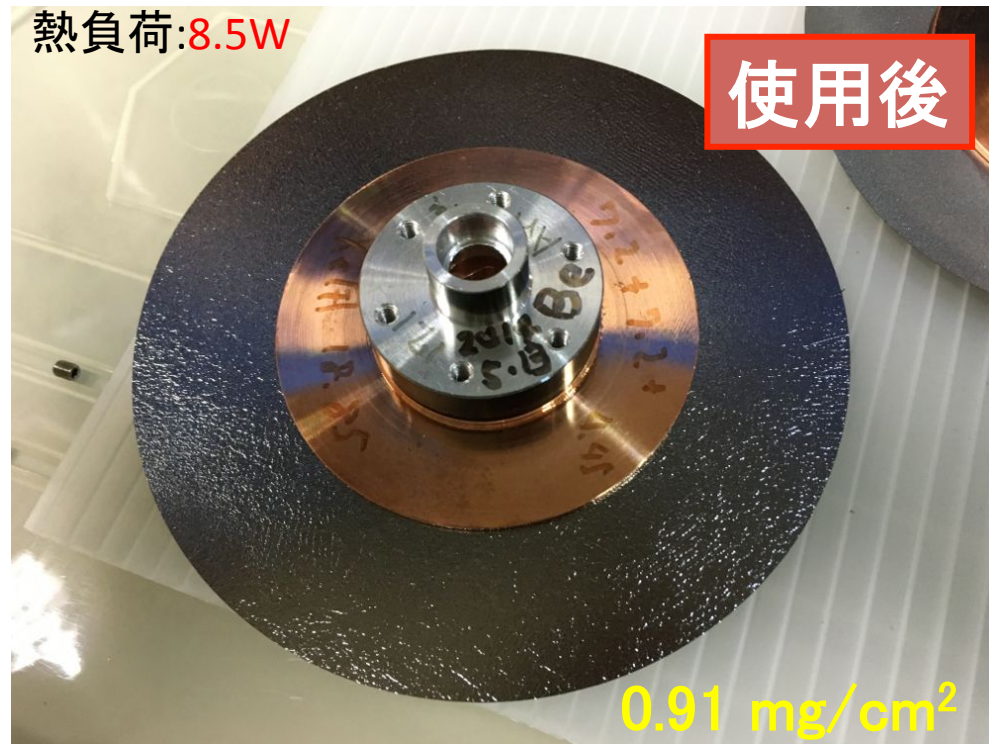
U⁶⁴⁺

ビーム電流: 10 μ A

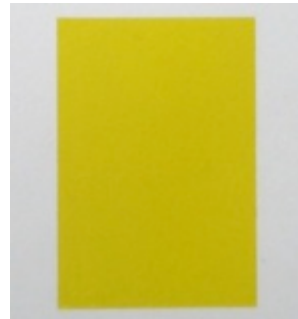
回転スピード: 1000 rpm



熱負荷: 8.5W

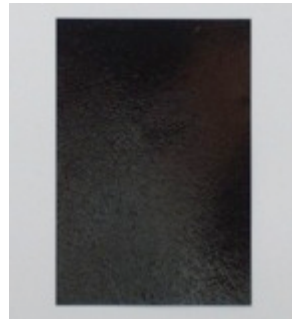


カネカ・GTF



Polyimide film
2 – 25 μm

1400 °C
→

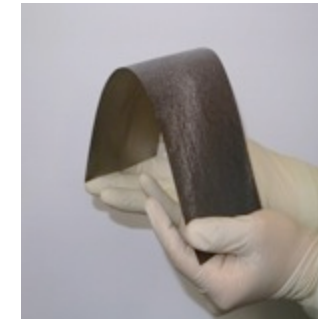


Carbonized film

2900 °C
→



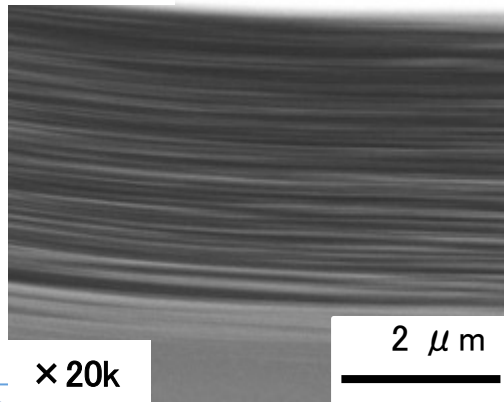
Graphite sheet
0.23 – 2.2 mg/cm^2



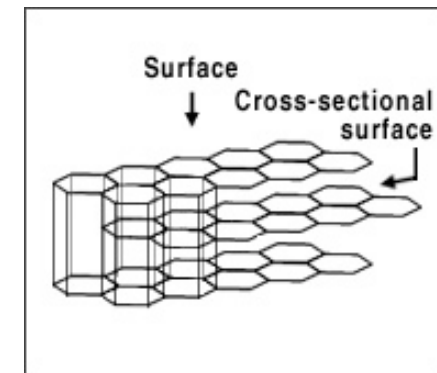
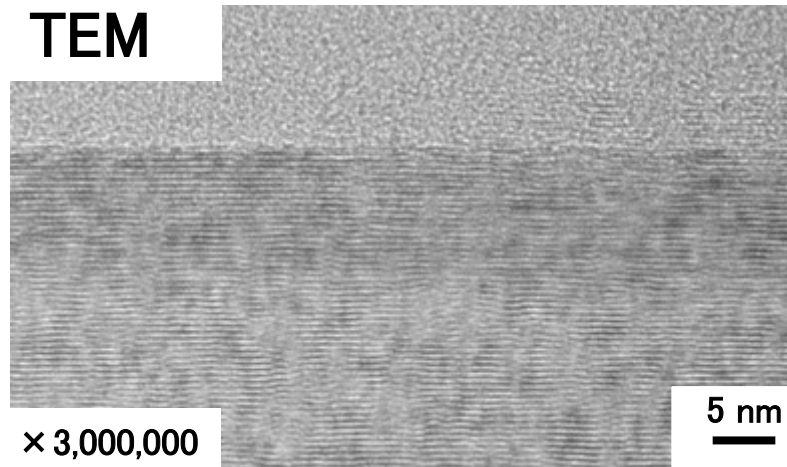
- Large area
- Flexible

Cross section image of SEM and TEM

SEM

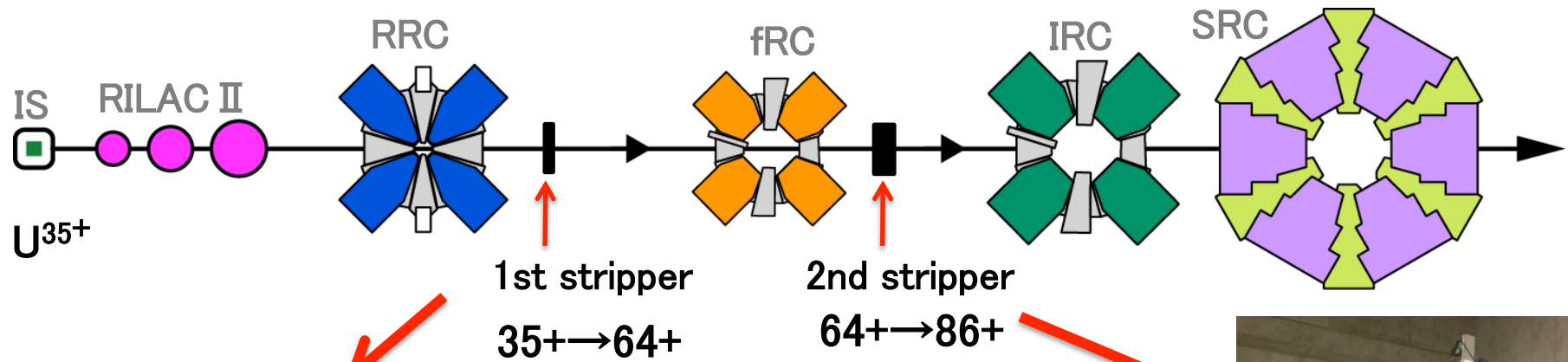


TEM



Crystal structure

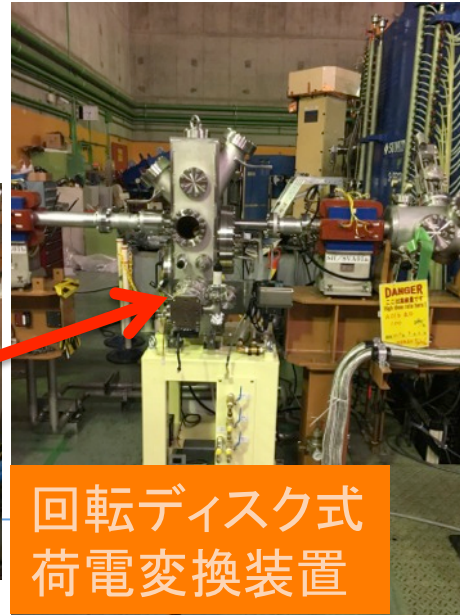
Uビーム加速時の荷電変換



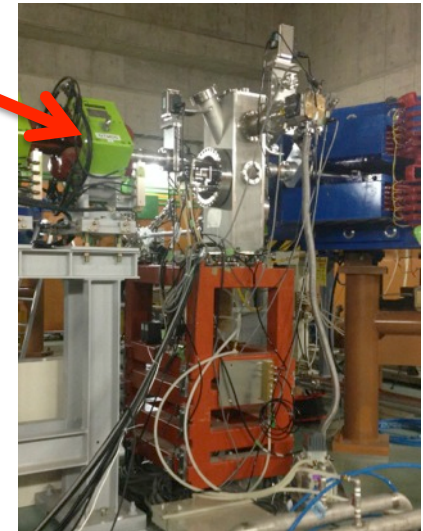
回転筒型
荷電変換装置
2011年



Heガスストリッパー
(2012~)



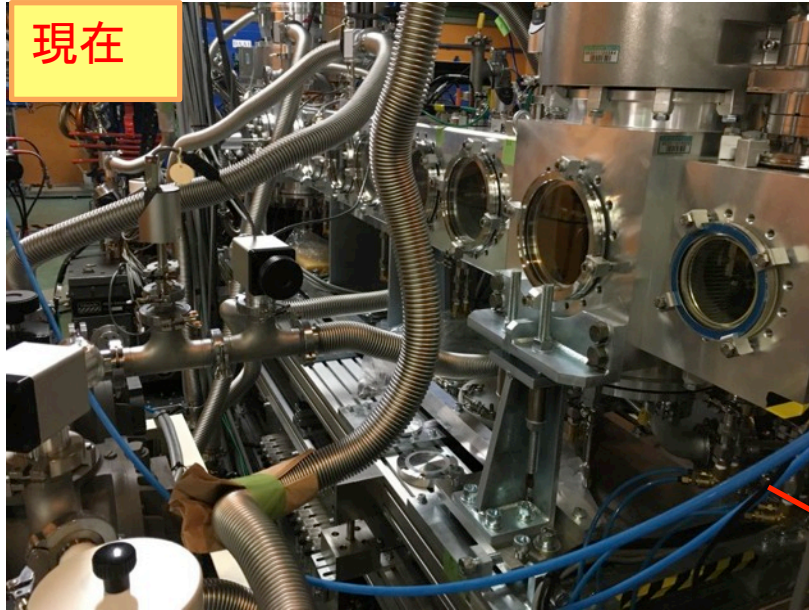
回転ディスク式
荷電変換装置



回転ディスク式
荷電変換装置
(2012~)

ウランビーム加速：初段の荷電変換部

現在



← Heガスストリッパー装置
全長：約6 m
大型真空ポンプ：多数
維持費：大
ビーム通し：難しい

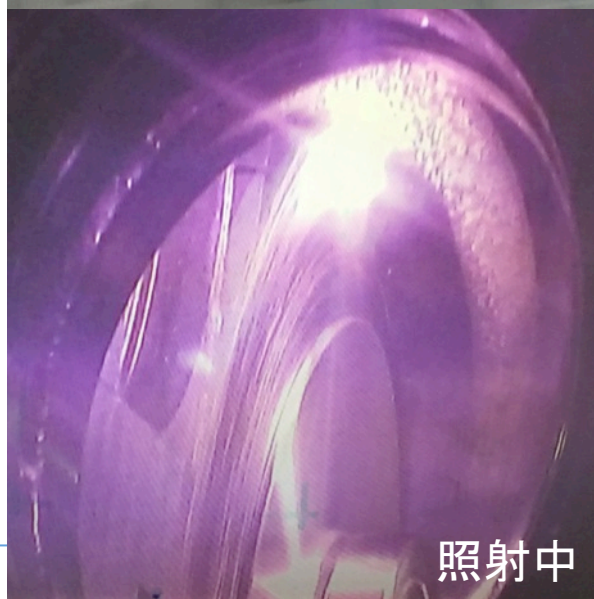
再び炭素膜へ



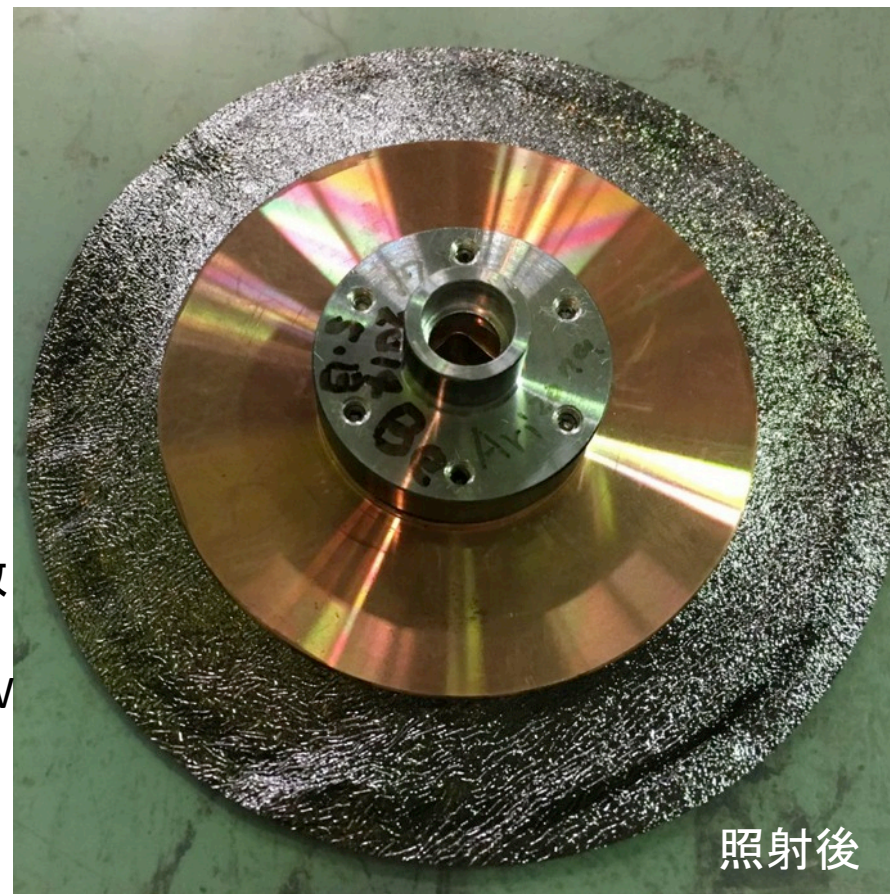
回転ディスク式荷電変換装置→
全長：0.5 m
小型真空ポンプ：1式
維持費：小
ビーム通し：簡単

GTF-disk (1.5 μ m) : ウランビームMT

2018年10月16日～19日



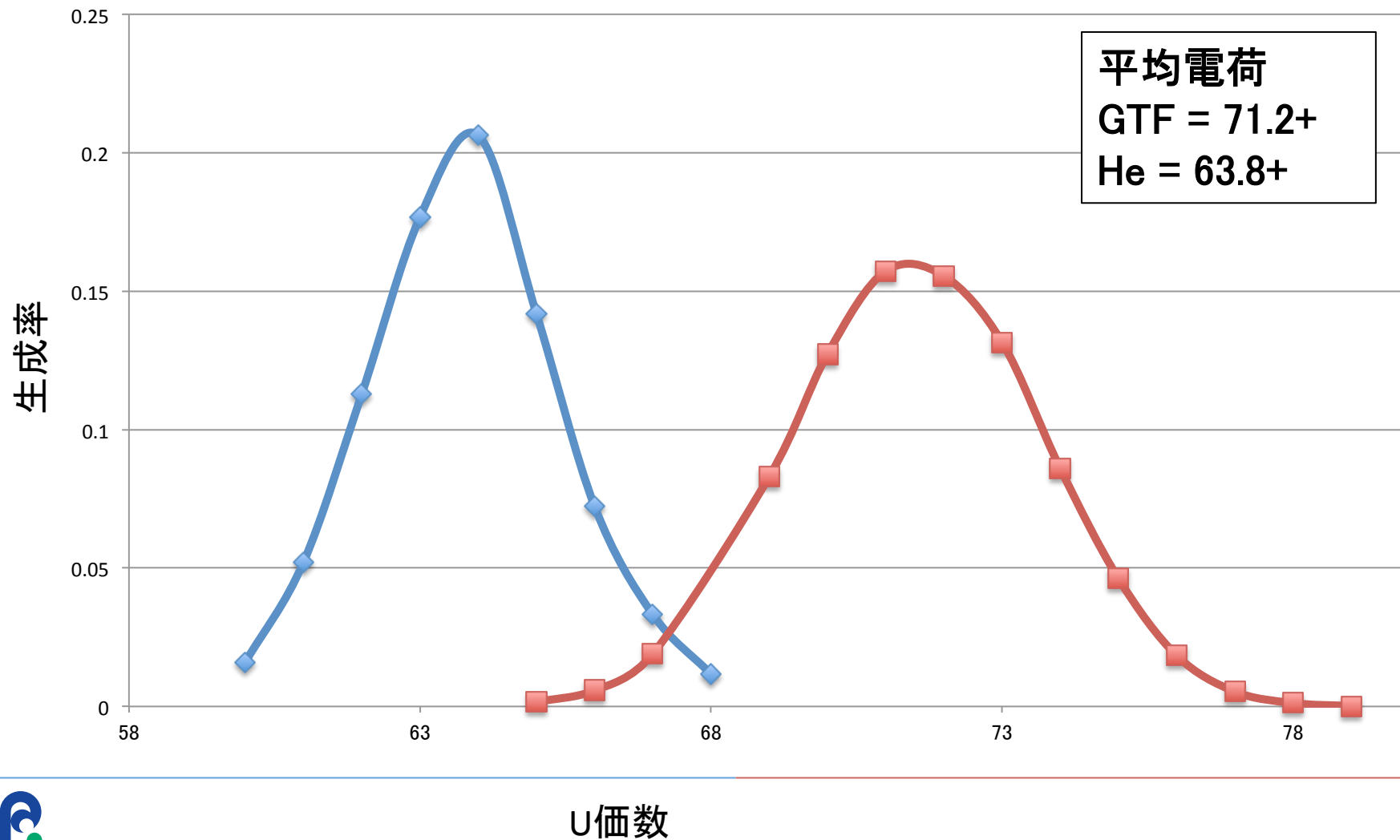
照射電流
35+,45 e μ A
照射粒子数
5.8x10¹⁶個
熱負荷56 W
回転数
160 rpm



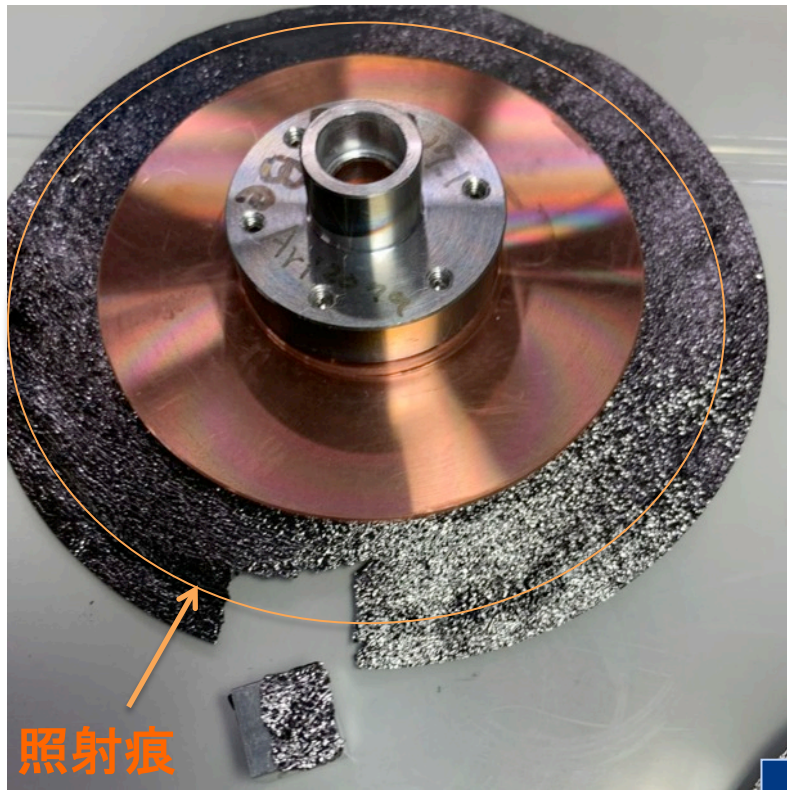
GTF-disk (1.5 μm): 価数分布測定

2018年10月19日

GTF disk vs He gas

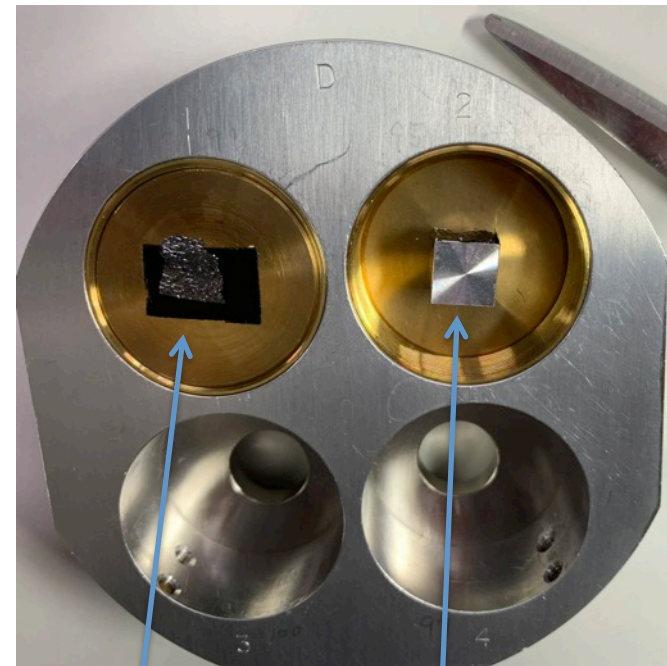


GTF disk表面・断面SEM(EPMA)観察



照射痕

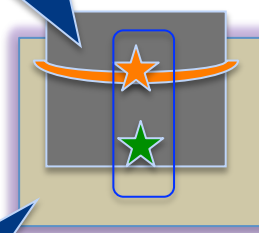
照射後のGTF disk
ハサミでカット



GTF disk表面

GTF disk断面

照射痕

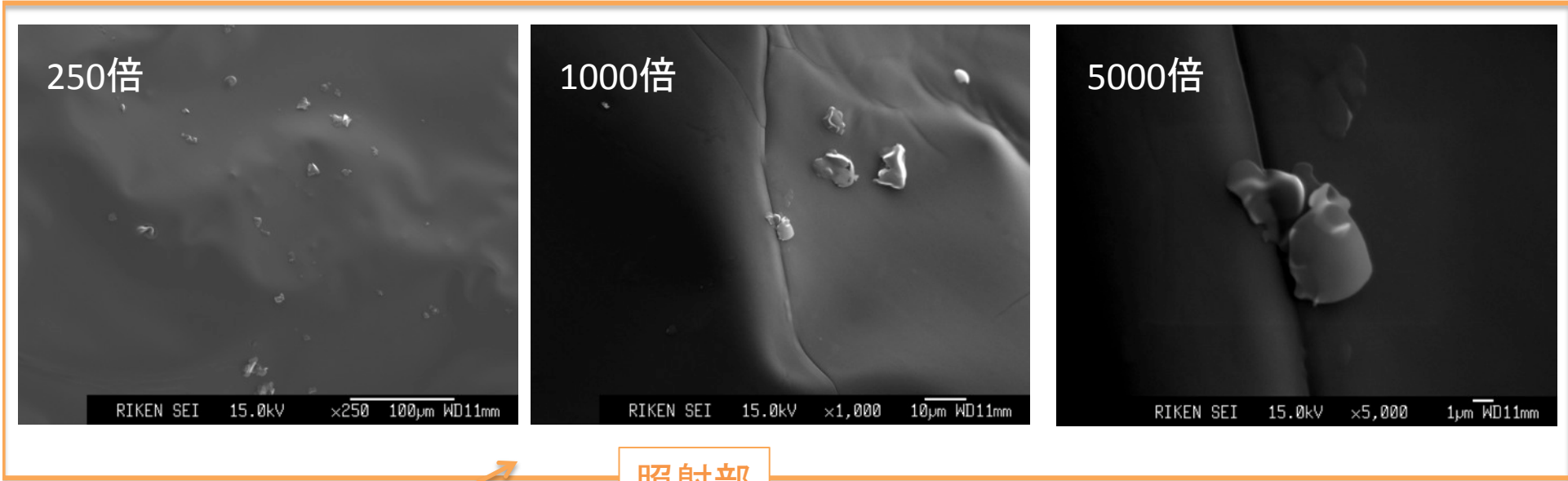


★ 照射部

★ 非照射部

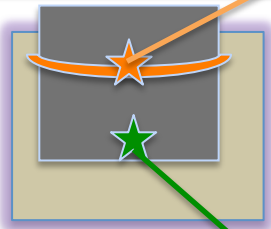
カーボンテープ

アルミブロック



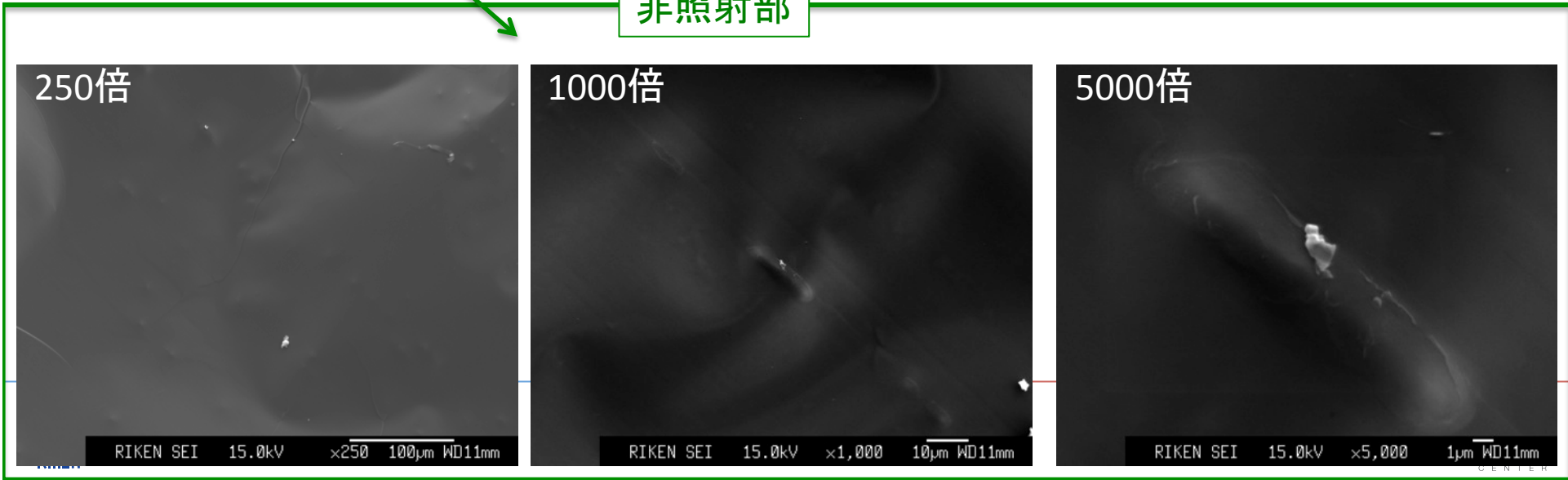
照射部

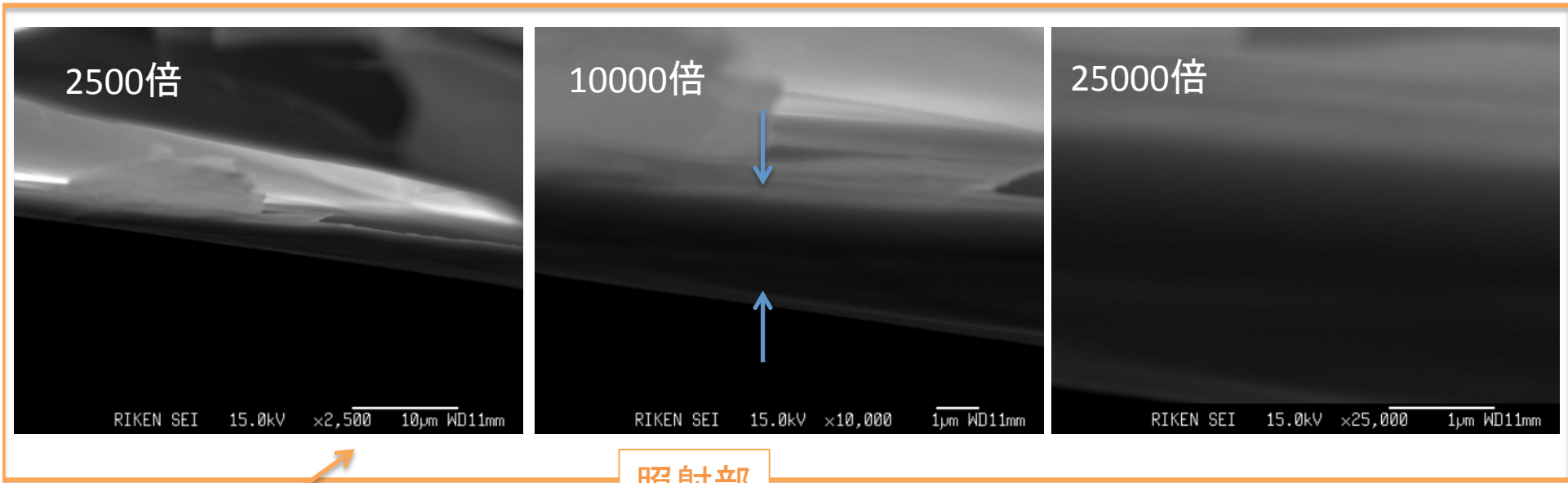
照射痕



GTF disk表面SEM画像

非照射部



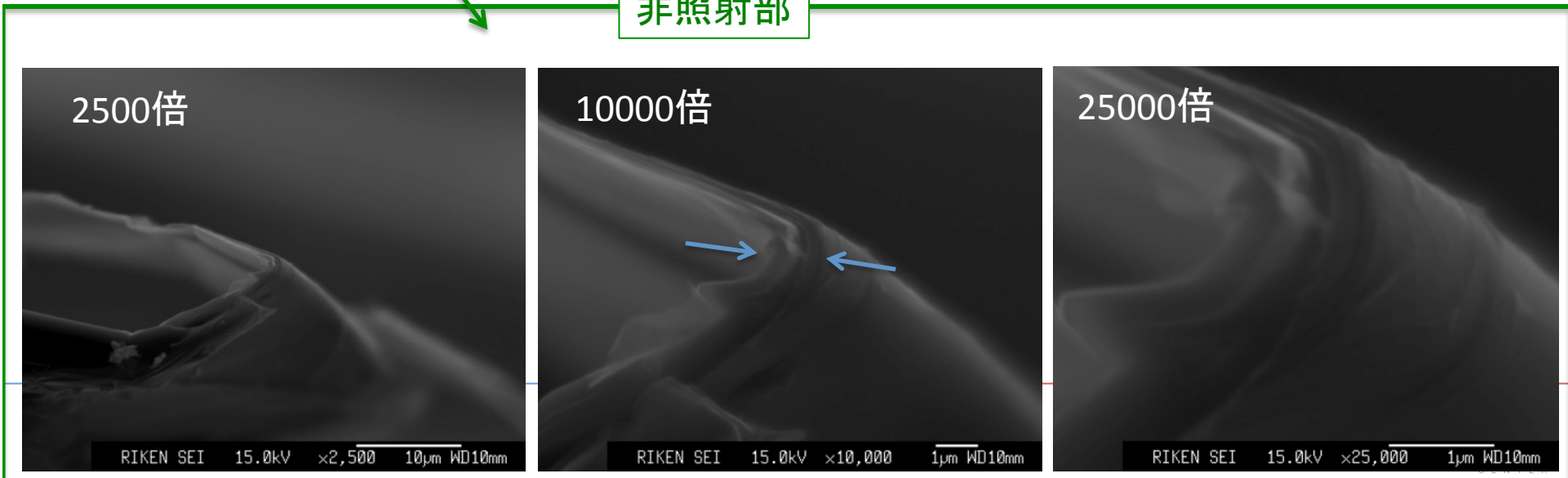


照射部



GTF disk断面SEM画像

非照射部



まとめ

◆厚さ1.5umカネカGTF diskはウランビーム初段の荷電変換膜として機能する事が確かめられた。

得られる価数は同じ膜厚の炭素膜と同様71+

生成率も固定炭素膜と同等

高速回転させても破れず長寿命

◆GTFにウランビームが照射されると炭素の結合が弱化し数層、数ミクロンの大きさに剥がれる事がSEM観察で判明した。

照射部表面観察においてGTF表面の膨らみ、剥がれた箇所多数

◆SEM断面観察にて、ビーム照射部は非照射部に比べ層の数が減って見える。

◆荷電変換膜として使用出来なくなるほどの膜厚変化は起こっていない。

◆カネカGTFはGS同様に荷電変換膜に適している。

◆今後も荷電変換膜としてGTFの開発を続ける。