

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26790074

研究課題名(和文) ガスストリッパーにおける大強度イオンビームのエネルギー散逸と熱負荷抑制法の研究

研究課題名(英文) Energy dissipation and heat load suppression of intense heavy ion beams in gas stripper

研究代表者

今尾 浩士 (Imao, Hiroshi)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・専任研究員

研究者番号：30585542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ストリッパーによるビームの荷電変換は、多くの大強度イオン加速器計画において必須過程で、その到達強度を決める重要な鍵である。近年理研RIビームファクトリーで実現されたHeガスストリッパーは、加速可能強度を上げる突破口となったが、ビームの巨大なエネルギー損失によるガスの昇温と密度減少の効果が更なる大強度化の原理的問題であった。本研究ではウランビーム通過時のHeガスの温度上昇を様々な条件下で観測し、計算との比較からその低い熱効率を示した。また、差動排気系を有する真空紫外光の分光装置の開発を行い、新しいエネルギーパスを探るためにウランビームの発光過程の観測を試みた。新しい差動排気技術も創成された。

研究成果の概要(英文)：Charge strippers are key devices to determine the possible intensities of the ion beams generated in most heavy-ion accelerator projects. The recent realization of the He gas stripper at the RIBF is an important breakthrough for the intensity upgrade of heavy ion beams. The temperature increase and density reduction of the gas stripper due to the energy loss of the powerful ion beams present as a principal bottleneck for increasing the ion intensities further. In the present study, we measured the temperature rise of the He gas due to uranium beams in various beam conditions and compared with the calculations which showed the low heating efficiency. We also developed the spectrometer for the vacuum ultra-violet lights and tried to observe the light emissions from uranium beams to search the new energy path. The novel differential pumping technology was developed in the present study.

研究分野：加速器物理

キーワード：荷電ストリッパー

1. 研究開始当初の背景

イオン加速器のビーム強度は、それを用いた素粒子・原子核物理の基礎研究や、次世代中性子源等の応用研究の最前線、到達点を決定付ける。ストリッパーによるビームの荷電変換は、多くの大強度イオン加速器計画において必須過程で、到達強度を決める重要な鍵である。一般的な固体薄膜ストリッパーは、現行強度の重元素イオンビーム照射において既に熱と放射線負荷のため使用できず、加速可能な強度を制限する。近年実現されたガスストリッパーは、加速可能強度を上げる突破口となったが、ビームの巨大なエネルギー損失によるガスの昇温と密度減少の効果が更なる大強度化の原理的問題であり、その理解と対策が必要不可欠であった。

2. 研究の目的

イオンビームのガス中でのエネルギー散逸機構を解明し、熱負荷の抑制法を探る。特にエネルギー損失が大きく、真っ先にガスの昇温と密度減少の効果の問題が顕在化するウランビームの熱と光へのエネルギー散逸機構を実験的に研究するための手段を確立し、その研究を行う。

3. 研究の方法

ガスストリッパーとしてはRIBFのHeガスストリッパーを用い、理研リングサイクロトロンからの10.8 MeV/uのウランビームを用いて研究を行った。熱へのエネルギー散逸に関しては、ウランビームの強度を変えながらそのエネルギー変化を測定する。エネルギー変化はHeガスの密度の増減を反映し、温度変化についての情報が得られる。光へのエネルギー散逸機構については特に励起ヘリウム原子・分子からの発光で主となる波長50 nmまでの真空紫外光に的を絞り、分光装置の開発を行う。分光装置を用いてウランビーム通過時の発光過程の観測を行う。

4. 研究成果

図1は理研リングサイクロトロンからの18.25MHzウランビーム(連続ビーム)照射時のヘリウムガスストリッパー内での温度上昇の入射強度依存性を示したものである。

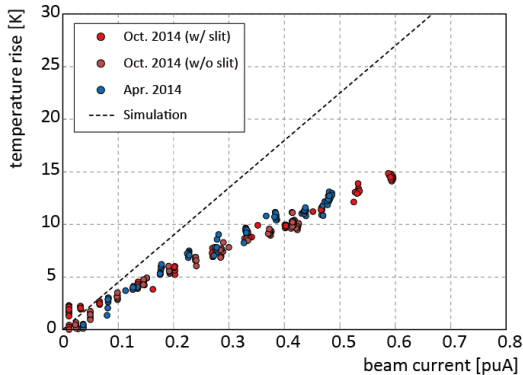


図1: ヘリウムガスストリッパー内での温度

上昇の入射強度依存性

ストリッパー通過後のビームの平均速度の変化は2台の静電誘導型の位相プローブを用いて飛行時間を測定する事で導出された。速度変化(=エネルギー変化)から標的厚さの変化を導出し、状態方程式に従って温度上昇に焼き直すことが出来る。大強度ビームによる密度減少効果を明確にとらえる事が出来て、0.6 pA (~4x10¹²個/s)のビーム強度において15Kの温度上昇に相当する事が分かった。ヘリウムガスはリサイクルされており、温度上昇はその循環流量にも依存する。コリオリ式流量計を用いて我々の条件における循環流量は200 L/minである事を確認した。加速器からのビームの横方向の形状はガウス分布で近似できる事が分かっており、これらの条件を元にストリッパー内で予想される温度分布のCFD計算を行った(図1点線)。計算から実験値は0.6 pAでのエネルギー損失が全て熱に変わった場合の平均温度上昇の約56%である事が分かった。これは熱以外へのエネルギー散逸が5割近くある事を示唆している。

図2上はストリッパー通過後のビーム飛行時間の差について、ビームバンチのチョッピング周波数(f)とdutyを変えて得られたデータのプロットである。ビーム構造については図2下図に示してある。Dutyを変えた時の飽和温度に至る速さの周波数依存性を明確に観測する事が出来た。これはガスの対流による温度の回復時間を反映しており、ガスの平均質量流量に直接的に依存する。実験データから予測される質量流量はCFD計算による値とコンシステントであった。

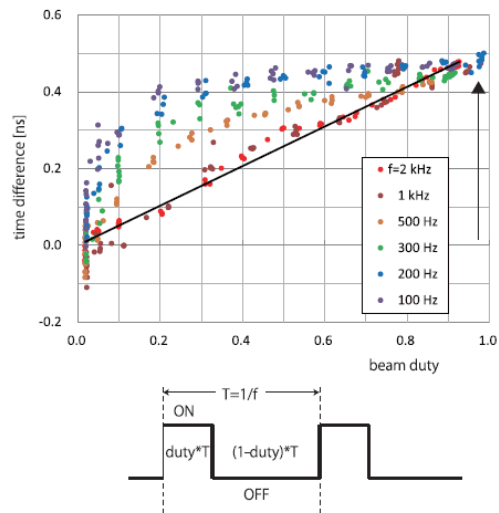


図2: 各チョッピング周波数におけるビーム飛行時間差のduty依存性(上)とビーム構造(下)

光へのエネルギーパスに関する研究の為に、波長範囲50-300nmをカバーする真空紫外分光システムの開発を行った。分光器としては白金コーティングされたグレーティン

グを持つ、瀬谷波岡型のモノクロメータを用いた。真空紫外光の計数用検出器には短波長領域での検出効率を上げるために CSI コーティングされたチャンネルترونを用いた。また、分光器グレーティングの遠隔操作の為に制御システム、及びデータ収集用のソフトウェアの製作を行った。

目的とする波長領域の真空紫外光の輸送では窓材を使用する事が出来ないため、窓なしで差動排気を行う必要があり、その実現は実験の大きな鍵であった。差動排気システムにおいては、2 台のメカカルブースターポンプ、2 台の多段ルーツポンプ、2 台のターボ分子ポンプを使用した。実際に He ガストリッパーにウランビームを通過させ、ビームに同期した真空紫外光の試験的測定を行った(図3)。

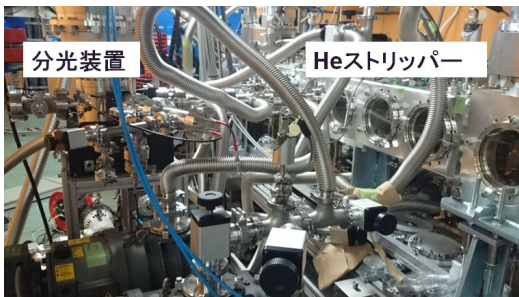
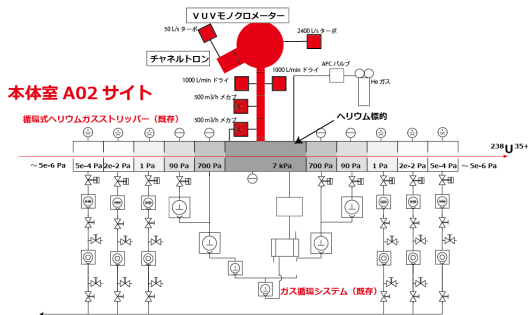


図 3：真空紫外分光システムセットアップの模式図(上)と実際の写真(下)

ビームを用いた分光測定においてはチェンバーを貫通して直接検出器までやって来るビームに同期したガンマ線、中性子、その他荷電粒子のバックグラウンドが懸念されたが、適切な時間ゲートをかける事で、バックグラウンドは強く抑制され、問題にならないレベルになる事を確認した。

更に He ストリッパーと真空紫外分光器を繋ぐ差動排気系の増強・コンパクト化のための新手法として、ガスジェットカーテン法の開発と最適化を進め、手法を確立させた(特許申請中)。新しい手法を用いることで、漏れやすく排気の難しい He ガスをカーテン状の窒素ガスジェットで封じると共に、漏れにくく、排気の容易な窒素ガスへと短距離でのガス置換を行うことが可能となる。オフラインでの差動排気系テストベンチシステムを構築し、計算機を用いた流体計算と併せて最適

化を進めた(図4)。

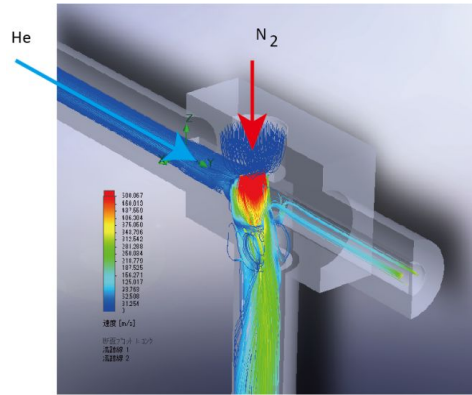


図 4：ガスジェットカーテン法の CFD 計算

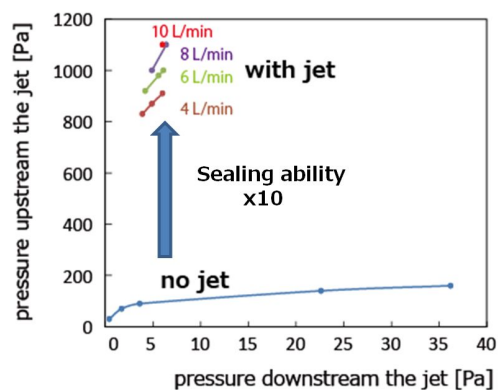


図 5：上流と下流の圧力のガスジェットの有無、流量による違い

これまでに行われた最適化でこのガスジェットカーテン法を用いて、He ガスの封止能力を約 10 倍に上げる事に成功している(図5)。ガスジェットカーテン法を実際に、He ストリッパーの動作圧力である 7kPa から、真空紫外光検出器の動作可能な真空領域(~ 10-4 Pa)の接続において適用する事で、差動排気系の大幅なコンパクト化、大口径化を実現することができている。これにより真空紫外光検出器(Cs コーティングチャンネルترون)をビーム領域により近付けることが可能となり、シグナル検出効率を 30 倍程度改善することが可能となる。

真空紫外光の測定結果、及び相補的に電子放射による真空紫外光の測定の測定を行っておりその解析が進められている。

本研究の結果の一部は 2018 年度に行われた国際会議 IPAC18 で口頭発表された。

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 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

今尾 浩士、「Development of a Gas

Stripper at RIKEN_J, 国際会議 IPAC2018,
口頭発表(招待講演), 2018年, MOZGBE1

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 差圧室連通装置と差圧室連通方法
発明者: 今尾 浩士
権利者: 今尾 浩士
種類: 特許
番号: 特願 2017-099927
出願年月日: 平成 29年 5月 19日
国内外の別: 国内

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今尾 浩士 (Imao, Hiroshi)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器
研究センター・専任研究員
研究者番号: 30585542

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()