

ガラスキャピラリによるイオンビームの大気中取り出し

成沢 忠* 神戸 宏* 山本哲也** 岸本誠一**

* 高知工科大学電子・光システム工学科
〒782 - 8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185

** 高知工科大学総合研究所
〒782 - 8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185

E-mail : narusawa.tadashi@kochi-tech.ac.jp, kanbe.hiroshi@kochi-tech.ac.jp
yamamoto.tetsuya@kochi-tech.ac.jp, kishimoto.seiichi@kochi-tech.ac.jp

要約：本研究では、ガラスキャピラリを用いて真空槽内と大気とをダイレクトに結びイオンビームを大気中に取り出す実験を行った。この方法では、これまで用いられてきたイオンビーム大気取り出し法に比べ、より安全にしかも高強度のイオンビームを取り出すことが可能と考えられる。ここでは、キャピラリの作製方法と、大気取り出しラインの構築や大気中でのイオンビームの測定の取り組みについて報告する。

Abstract : In this study, we tried to carry out high energy ion beams into the atmospheric environment using glass capillary optics. This method is safer than other method and we can expect larger flux intensity because the capillary has a focusing effect for MeV ion beams. We present fabrication method of the glass capillaries and ion beam current measurements in the air.

1. はじめに

高速イオンビームで励起された X 線を検出する組成分析 (Particle Induced X-ray Emission : PIXE) は、試料に含まれている ppm オーダーの微量元素を測定できることや、取り扱いが非常に簡単であるという点から半導体分野だけでなく医療・環境・考古学など非常に幅広い分野で利用されている。しかし、一般的にこれらの分析は真空内で行われるため、生体試料など試料の種類によっては取り扱いが非常に難しかったり、現実的には不可能であったりする。そのために、これまでもイオンビームを大気中に取り出して、そのような試料を測定しようという試みがあり実現されている。現在、最も一般的にイオンビームを大気中に取り出す方法として用いられているのは、真空槽と大気との間に非常に薄い有機膜を取り付け、この有機膜を透過させることによってイオンビームを大気中に取り出す方法である。しかし、この方法では有機膜にイオンビームを照射するために、イオン

たり、現実的には不可能であったりする。そのために、これまでもイオンビームを大気中に取り出して、そのような試料を測定しようという試みがあり実現されている。現在、最も一般的にイオンビームを大気中に取り出す方法として用いられているのは、真空槽と大気との間に非常に薄い有機膜を取り付け、この有機膜を透過させることによってイオンビームを大気中に取り出す方法である。しかし、この方法では有機膜にイオンビームを照射するために、イオン

ビームのフラックス強度が低下したり、膜の破損によって加速器に重大なダメージを与えてしまったりする。

そこで本研究ではこれに代わる新しい方法として、真空槽と大気をガラスキャピラリと呼ばれるガラス細管を用いることで接続し、これにイオンビームを透過させることによってイオンビームを大気中に取り出すことを試みた。ガラスキャピラリは薄膜に比べて強度が強く破損の恐れが少なくなる。さらに、真空槽と大気を直接結ぶことが出来るため、イオンビームのフラックス強度の低下を防止することも出来る。またガラス内壁と高速イオンビームとの相互作用によって高強度のイオンビームを取り出すことができる可能性がある。

2. ガラスキャピラリの作製

ガラスキャピラリの作製には内径 0.8mm、外径 2.0mm、長さ 90mm のガラス管を用いる。これをガラスキャピラリ作製器に取り付ける。取り付けられたガラス管はカンタル線のヒータ部分で加熱される。ガラス管が軟化したところで、下端の重さを利用してガラス管を引き伸ばすことによってガラスキャピラリは作製される。加熱時間や加熱温度を変えることで、出来上がるガラスキャピラリの長さや出口内径を変えることが可能である。ガラスキャピラリの作製はこのように非常に簡単な工程によって作製されるが、実際に出来上がったガラスキャピラリを SEM で観察したところ、細くなった場合には出口内径が 300nm 程度まで細くなっていることが確認されている¹⁾。

3. 排気実験

ガラスキャピラリを用いて実際に真空槽と大気とを接続した場合、どの程度の真空度が得られるのか、またガラスキャピラリの内径をどこまで大きくすることが出来るのかを調べるのが重要である。そのために図 1 に示すような、

2つのチャンバーの境界部分にガラスキャピラリを取り付けられるような構造を持つチャンバーを用意した。右側のチャンバーには大気導入用バルブが取り付けられていて、両方のチャンバーを真空に引いた後でこのバルブを開けると右側のチャンバー内に大気が導入される。このときガラスキャピラリのコンダクタンスと真空ポンプの排気速度との釣りあいで左側のチャンバー内ではどの程度の真空度を保つことができるのかを調べる。ガラスキャピラリの出口内径に対する、左側のチャンバーの平衡圧力を図 2 に示す。本学の加速器施設では、平衡圧力が 10^2 Pa 以下であればイオンビームを安定に照射することが可能である。図 2 で示したように、左側のチャンバーを 10^2 Pa 以下に保つことができる最大の出口内径は約 $20 \mu\text{m}$ であることがわかった。

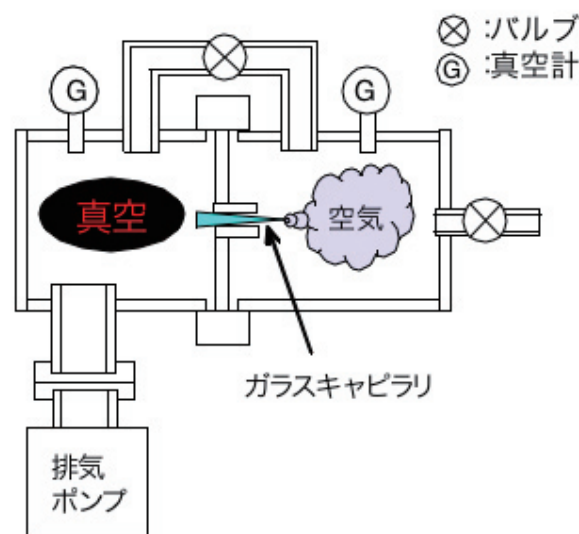


図 1 排気実験用チャンバーの概略図

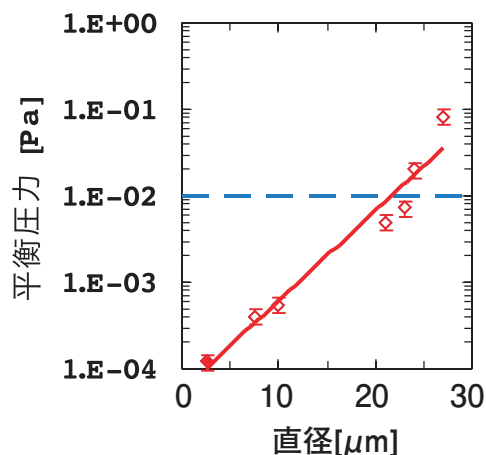


図2 出口内径の違いによる平衡圧力の変化

4. イオンビーム大気取り出し実験

排気実験で用いたチャンバーを流用して、本学の加速器設備に新たにイオンビーム大気取り出し用ラインを構築した。その概略を図3に示す。ガラスキャピラリのアラインメント用ステージとして、4軸の微動ステージを用意した。また、サンプルステージとして脱着が容易に出来るマグネット式の3軸ステージを用意した。まず、図3に示すようにイオンビームがキャピラリを透過して大気中に出てきているかを調べるために、サンプルステージに電流計を接続して電流を測定した。

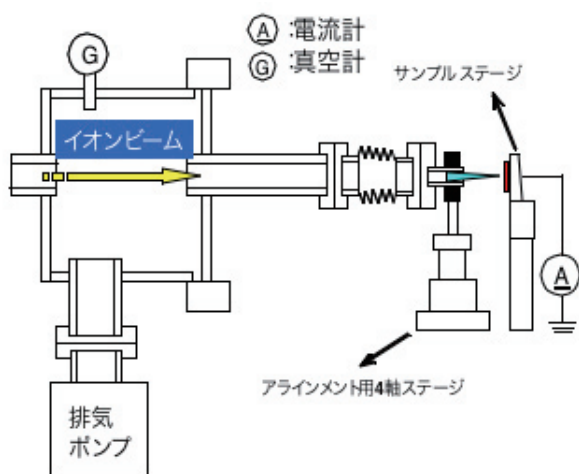


図3 大気取り出しラインの概略図

今回の大気取り出し実験では2MeV He^+ イオンビームを用いた。このイオン種、及びエネルギーを用いたのは本学の加速器施設におい

てこれまでのところ最もよく用いられているためである。透過させるガラスキャピラリの出口内径は、排気実験で決められた最大内径である20 μm のものを用いた。

このガラスキャピラリにイオンビームを照射し、サンプルステージ上で電流値の測定を行ったところ最大で $\sim 80\text{pA}$ の電流値を得ることが出来た。この電流値はキャピラリ出口とサンプルステージ面との間の距離の関数で、上記80pAはほとんど接触するくらいに距離を短くしたときの値である。この距離を $\sim 2\text{cm}$ 以上になると、ビーム電流はゼロになってしまうことを確認している。

5. 大気中でのイオンビームの飛程

飛程とはエネルギーを持つイオンが物質を通過する過程でその全エネルギーを失うまでに飛行する距離のことである²⁾。しかし、実際にイオンビームの飛程を定義するときはその平均飛程を用いる。この理由としては図4に示すように、イオンビームの飛程には統計的な分布が存在するからである。 a 線は一定の距離を飛行すると、空気を電離するので、 a 線のエネルギーは徐々に小さくなる。しかし、図4に示すように a 線の数としては減少しない。その後、距離を徐々に大きくすると a 線の数は減少してほとんど計数しなくなる。この計数率の減少を考えると a 線のエネルギーは一定でも飛程は一定になっていないことがわかる。よって、飛程には平均飛程が用いられる。

実際に、 a 線のエネルギーを様々に変えて空気中での飛程をシミュレーションした結果を図5にしめす³⁾。今回の実験で用いた2MeVの a 線では空気中の飛程は約1cmであることがわかる。飛程はイオン種およびイオンのエネルギーに依存するが、2MeVの a 線で1cmであればPIXE測定でよく使われるプロトンビームやより高エネルギーの a 線ではもっと長くなることが期待できる。したがって、大気中PIXE測定

に応用する上では好都合である。

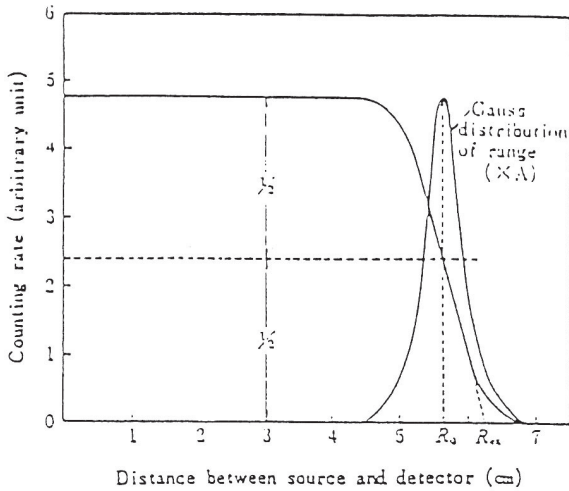


図4 放射線源を用いた飛程の測定

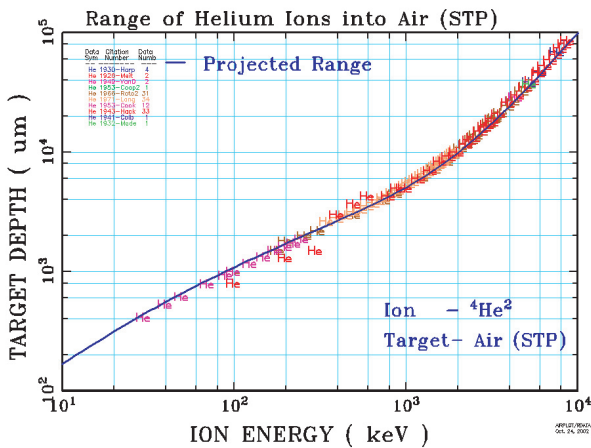


図5 エネルギーの違いによるα線の飛程

6. まとめ

本学の加速器施設に新たにイオンビーム取り出し用ラインを構築して、イオンビームの大気取り出しを行った。ガラスキャピラリの内径を $20 \mu\text{m}$ としたとき、最大で $\sim 80\text{pA}$ の電流値を得ることが出来た。

今後は大気中に取り出したイオンビームを用いて実際の測定を行っていく予定である。

文献

- (1) T.Nebiki, T.Yamamoto, T.Narusawa, E.J.Teo, M.B.H.Breese and F. Watt : J. Vac. Sci. Technol. A 21(5), 2003, 1671-1674
- (2) 「エネルギー工学実験(1)」: <<http://www.es.e.musashi-tech.ac.jp/ouyou-2-1.htm>>, (2005/2/24 アクセス)
- (3) 「Ranges of Ions in Mater」: <<http://www.srim.org/SRIM/Ranges.htm>>, (2005/2/24 アクセス)