

平成 22 年 5 月 28 日現在

| | |
|------------|--|
| 研究種目： | 若手研究 (B) |
| 研究期間： | 2007 ~ 2009 |
| 課題番号： | 19740247 |
| 研究課題名 (和文) | サブミクロン MeV 重イオンの液体照射による二次粒子収量測定 |
| 研究課題名 (英文) | Yield measurement of secondary particles from liquid surface under heavy ion bombardment |
| 研究代表者 | 石井 邦和 (ISHII KUNIKAZU) 奈良女子大学・理学部・助教 |
| 研究者番号： | 00397837 |

研究成果の概要 (和文)：イオンビーム照射による液体を含む様々な物質からの二次粒子収量測定を最終的な目的として研究を行った。まずキャピラリーによるイオンビーム細径化を行うために引き出したイオンビームのサイズ分布を測定した。ガラスキャピラリーを用いた場合に引き出したイオンビームにハロー成分が含まれていたため、メタルキャピラリーによるイオンビーム引き出し技術を開発した。またこのキャピラリーを用いて大気圧物質分析技術の開発も行った。二次粒子収量測定に関してはこれからの課題となってしまったが、素性の良いイオンビーム引き出し技術を開発できたことに本研究の意義がある。

研究成果の概要 (英文)：We have studied in order to measure absolute yields of secondary particles from various surface including liquid material. At first we have measured size distributions of extracted ion beam using glass capillary. As a result, we have found the 'halo' components in size distributions via glass capillary. In order to obtain an ion beam without 'halo' components, we have developed an extraction technique of ion beam using an metal capillary and an in-air-material analysis technique with this capillary.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 1,400,000 | 0 | 1,400,000 |
| 2008 年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 2009 年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 総計 | 3,300,000 | 570,000 | 3,870,000 |

研究分野：原子物理学、放射線物理学

科研費の分科・細目：物理学、原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：PIXE、ガラスキャピラリー、マイクロイオンビーム、二次粒子収量

1. 研究開始当初の背景

現在、高速重イオンと液体の相互作用は素過程を探る物理現象として興味深いだけで

なく、様々な応用面からも興味を持たれている。特にがん治療の方法として、高速重粒子線治療法が確立されてきているために、重イ

オンと液体との衝突現象の素過程の解明が期待されている。高速重イオンは液体中に照射されると、主に飛程限界付近で液体中の原子や分子中の電子にほとんどのエネルギー付与を行って止まることが **Bragg peak** として知られている。エネルギー付与された液体中の分子は主に電離され、水和電子やラジカルとなって回りの細胞などに影響を及ぼすことが放射線の間接作用として有名である。したがって、これらの液相中での電離現象や中性ラジカルの生成素過程の定量的な解明が求められているのが現状である。主にヒトを含む生体は60%以上が液相の水で構成されているために、水の液相中での高速重イオンの衝突素過程を探る研究は人道的にも意義深いと言える。

ところが現在までに液体と重イオンの衝突実験の成果、特に定量的な二次電子収量や二次イオン収量の研究がほとんどないのが現状である。これは、液相と実験を行う真空との相性が非常に悪いためである。例えば水の場合では273Kで4.58 Torrという蒸気圧のため、液体を真空中に入れると即時に蒸発してしまう。そのため、真空は悪くなりまた蒸発熱により液体は低温となり凍ってしまう。この問題点を克服するために近年では径20ミクロンの液体分子線を用いた液相と重イオンビームの実験が開始された。この実験はプロトンイオンビームの液相中でのエネルギーロスをSSDを用いて測定したものである。現在は液体から放出される二次イオンの質量スペクトル測定を行い始めたところであり、二次イオン収量、水和分子を含むクラスター放出などを期待している。ただし、液体分子線によるこの方法は実験的取扱いが非常に難しく容易に曲がったり止まったりしてしまうのが難点である。

また近年ガラスキャピラリーを用いたサブ

ミクロンサイズのイオンビーム生成技術が開発されている。高知工科大学で開発されたこの技術は理化学研究所のFIB技術によって微細加工がなされ、1ミクロンを下回る径まで加工できる。このガラスキャピラリーを応用することにより比較的安価で簡単にマイクロビームを作ることができる。このマイクロビームを使用して液体標の実験を行うことが本研究の基本的なアイデアである。現在まで行われている他の水や生体分子を含む高分子とイオンビーム照射実験は全て気相あるいは固相の標的であり液体標的のイオンビーム照射実験をやる意義は深い。

2. 研究の目的

本研究を通じて、イオンビーム・液体衝突の素過程を探ることを大きな目標とする。具体的には、まず水より凍りにくく、真空中で扱いやすいエタノールを標的として実験を行っていく。エタノールにイオンビーム照射した結果生じる二次電子及び二次イオン収量及び、イオン種の同定を行う。またエタノールで成功した後、水を標的として同様の実験を行う。水は水素結合により周りの水分子と結合しているため、水のクラスターとしての放出が期待でき、液相固有のイオンビームによるイオン化やラジカル化等の情報が得られると期待している。これらを定量的な収量としてまとめ論文雑誌等に投稿してだけでなく、データベース等にしていく。

またより生体内での反応に近づけるため、液相の水の中に生体高分子を溶かしたものを標的として実験を行う。これを現在までの乾燥させた生体高分子のイオンビーム照射による分子解離実験の結果と比べることにより、生体内でのイオンビーム照射時にどれくらい周りの溶媒（ここでは水）の影響があるかどうかを探ることができると考えてい

る。例を挙げれば、ヒトの血液や溶媒中の DNA 構成要素がイオンビーム照射によりどうなるのか等を研究していきたい。

3. 研究の方法

まず始めにガラスキャピラリーを用いたイオンビームの開発及び性能検査を行った。ガラスキャピラリーによるマイクロビーム生成技術は高知工科大学及び理化学研究所により既に確立されている技術である。ガラスキャピラリーを理化学研究所から借り受けて奈良女子大学に設置してあるタンデム型バンデグラフ加速器ペレトロンを用いたマイクロイオンビーム生成の技術開発を行った。具体的にはガラスキャピラリーを用いて生成したマイクロイオンビームのエネルギー、エネルギー幅およびビーム分散の度合いという基本的な情報を抑えるために、ガラスキャピラリーから SSD (もしくは PSD) の距離を変えてマイクロビームのエネルギー及び分散度合いの測定を行った。また、ガラスキャピラリーによって引き出したイオンビームの応用的な研究という側面から、大気圧条件下での物質分析法を開発した。

マイクロビーム生成予備実験に並行して液体標的衝突による二次粒子の収量測定実験用の真空チェンバー及び標的部分を作成した。標的液体は真空中にて即座に蒸発していくが、真空外から液体クロマトグラフィー用送液ポンプにて真空側に押し出す設計とした。ポンプ圧力は真空中での蒸発と釣り合うようにシリンジポンプを用いて調整可能とした。イオンビーム照射によって生じた二次粒子は GRID により加速され、マイクロチャンネルプレートを用いて検出できるようにした。

4. 研究成果

まず最初にガラスキャピラリーによって引き出したイオンビームの性能評価を行った。具体的にはステージに固定した Cu の細線に対する PIXE 分析を、ガラスキャピラリーから引き出したイオンビームを用いて行った。その結果を図 1 に示す。図 1 中の下図に示したのがガラスキャピラリーによって引き出したイオンビームのサイズ分布であり、ビームサイズ分布の裾が広がっていることがわかる。これはハロー成分と呼ばれている成分であり、ガラス内壁をイオンビームが貫通した成分またはキャピラリー出口において大角散乱した成分であることがわかった。図中の実線はキャピラリー中を貫通したハロー成分ときちんと真ん中を通ったコア成分の合成としてシミュレーションした結果である。

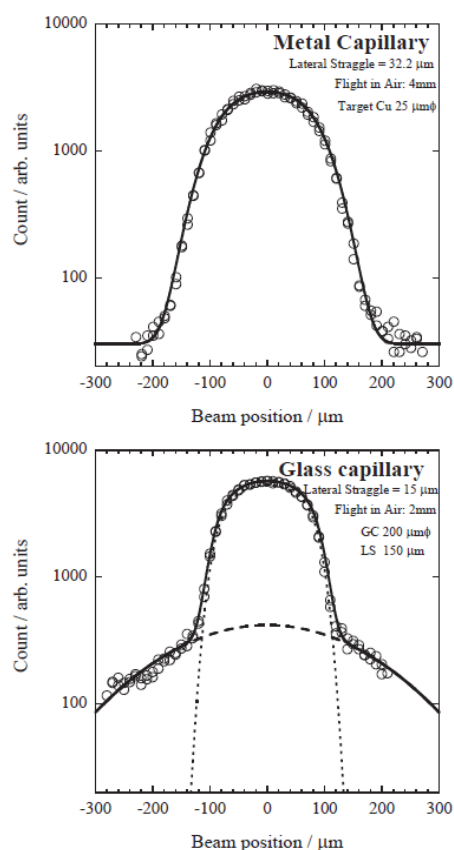


図 1 : キャピラリーから引き出したイオンビームのサイズ分布。上図はメタルキャピラリー、下図はガラスキャピラリーによるもの。

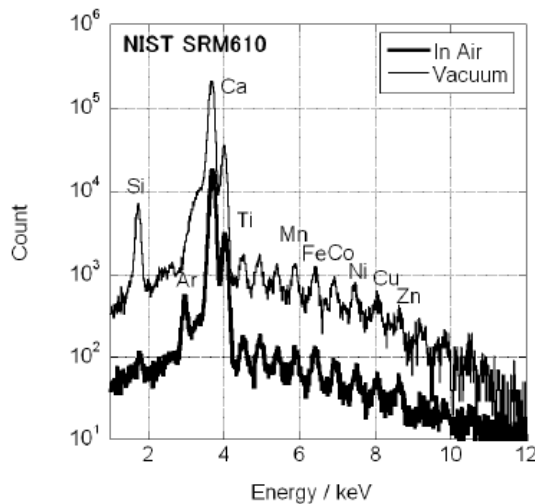


図2：標準物質 SRM610 の PIXE スペクトル

本研究を進めるのにあたり、ハロー成分は二次粒子測定に対してきちんとした定量測定の障害となるためキャピラリの最適化を行った。具体的にはキャピラリの材質及びサイズ、テーパ角、出口径を変えて出射イオンビームのビーム径測定を行った。結果として金属製の注射針を用いたメタルキャピラリが、ハロー成分がなくコア成分のみの素性の良いイオンビームを引き出せることが分かった。この結果については現在論文にまとめており、Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 誌に投稿をする予定である。

また、キャピラリを真空大気圧間の隔壁として用いたイオンビーム物質分析技術の開発も並行して行った。図2に NIST のガラス標準物質 SRM610 の PIXE スペクトルを載せる。これはキャピラリを用いて大気圧中で得たスペクトルと、真空中でキャピラリなしで取ったスペクトルである。図をみるとわかるように基盤の一部である Ca よりも特性 X 線のエネルギーの大きい元素に対して真空中と大差のないスペクトルが得られ、キャピラリを用いた大気圧物質分析が行えることを示

唆している。これまで述べてきたキャピラリを通過したイオンビームの素性に関すること及びその応用的な技術については国際会議及び国内会議で発表を行った。

二次粒子収量測定に関しては二次粒子測定を行うための飛行時間分析装置の開発が終わり、現在予備実験中である。現在のところ予備実験としてイオンビームのキャピラリを用いた収束細径化、検出器の校正、真空排気機構のチェック等が終了しており、これから液体標的の実験を行っていく予定である。研究実施計画からは遅れてしまったが、素性の良いイオンビームが得られるようになったことがこれまでの特筆すべき成果であり、定量的な二次粒子収量測定に役立つものとなる。

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)

[学会発表] (計 11 件)

国際会議

① N. Fujita, K. Ishii and H. Ogawa

“Development of In- Air- RBS Method with Tapered Glass Capillary”

XXVI International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions

2009年7月22日 Karamazoo アメリカ

② K. Ishii, N. Fujita and H. Ogawa

“Progress report of material analysis with glass capillary in Nara Women’s University”

Workshop on Interaction of ions with insulators (Wiii08)

2008年9月9日 飯山 日本

国内会議

③藤田奈津子、石井邦和、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いたイオンビーム物質分析法の開発 III”

日本物理学会 第 65 回年次大会

2010 年 3 月 20 日 岡山大学

④藤田奈津子、石井邦和、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いたイオンビーム物質分析法の開発”

フォーラム 21「イオンビームを用いた物理とその応用」研究会

2010 年 1 月 9 日 奈良女子大学

⑤藤田奈津子、石井邦和、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いたイオンビーム物質分析法の開発 II”

日本物理学会 2009 年秋季大会

2009 年 9 月 26 日 熊本大学

⑥藤田奈津子、石井邦和、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いたイオンビーム物質分析法の開発”

原子衝突研究協会第 34 回年会

2009 年 8 月 30 日 首都大学東京

⑦藤田奈津子、石井邦和、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いたイオンビーム物質分析法の開発”

日本物理学会 第 64 回年次大会

2009 年 3 月 28 日 立教大学

⑧藤田奈津子、石井邦和、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いた P I X E 分析”

原子衝突研究協会第 33 回年会

2009 年 8 月 5 日 北海道大学

⑨石井邦和、藤田奈津子、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いた MeV 重イオンによる大気圧中物質分析”

マイクロビームアナリシス第 141 委員会第 134 回研究会

2008 年 12 月 3 日 奈良女子大学

⑩藤田奈津子、石井邦和、小川英巳

“ガラスキャピラリを用いた P I X E 分析”

原子衝突研究協会第 33 回年会

2009 年 8 月 5 日 北海道大学

⑪石井邦和、楠井愛、藤田奈津子、松井千恵、

小川英巳、坂本直樹

“奈良女子大学におけるガラスキャピラリを用いた PIXE 分析の現状”

日本物理学会 第 63 回年次大会

2008 年 3 月 23 日 近畿大学

[その他]

ホームページ

<http://www.phys.nara-wu.ac.jp/~radphys/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石井 邦和 (ISHII KUNIKAZU)

奈良女子大学・理学部・助教

研究者番号 : 00397837

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし