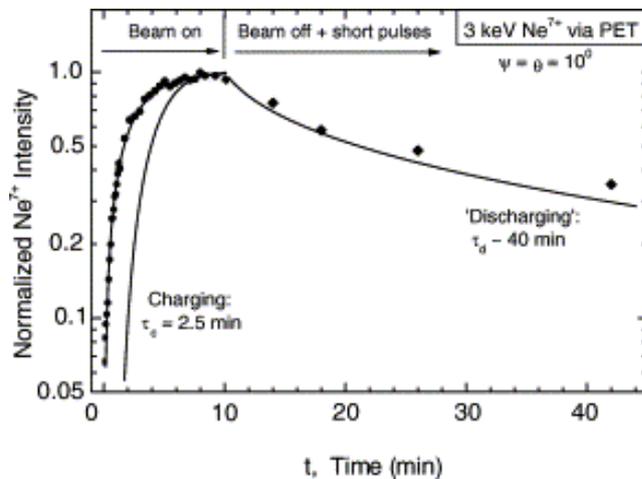


ガラスキャピラリーの製作と 多価イオンによる通過実験

山田千櫨研究室 中山亮

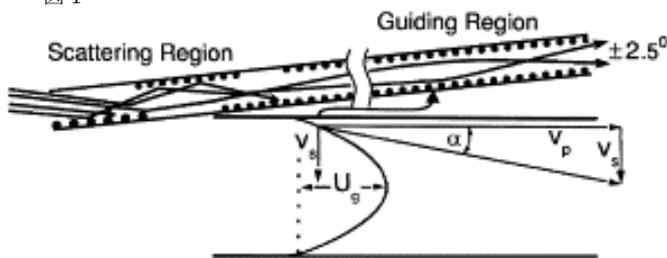
[背景]

近年、絶縁体で作られたキャピラリー（細管）でイオンビームがガイドされる効果が盛んに研究され始めている。これを用いると、速度の低いイオンビームや速度にバラつきのあるものも効率よく絞ることができ、表面微細加工や、イオンをプローブとして用いた様々な応用が考えられる。ガイドされるとは具体的にどういうことか、以下に最近の研究の一例として N.Stolterfoht らの論文を引用し、説明する。



N. Stolterfoht et al. Nucl. Instr. And Meth. B 203(2003)246-253

図 1



N. Stolterfoht et al. vacuum 73(2004)31-37

図 2

図 1 は、PET 膜よりイオンエッチング法で作られた、 $\phi 100\text{nm}$ 、長さ $10\mu\text{m}$ のキャピラリーに、 3keV で引き出された 1.3nA の Ne^{7+} のイオンビームを照射し続けると、イオンの電子捕獲による内壁の帯電（図 2）により衝突が抑えられて、通過するイオンの数がある一定量まで増える、といったものである。

この他のグループでも研究が行われているが、照射に用いているのはいずれも低価数のイオンである。

一方、我々の研究室では、Tokyo-EBIT と呼ばれるイオン源にて高価数の多価イオンの生成が可能となっており、そこで高価数の多価イオンでは絶縁物キャピラリーを用いた場合、ガイディング効果は得られるかを見るために、実験を行った。

[キャピラリーの製作]



図3 ガラスキャピラリー製作装置

まず材質として、絶縁体でかつ加工が容易なガラス（パイレックスガラス）を用いた。図3に製作装置の全体像を示す。ガラス管（外径6mm、内径1mm）を電熱線（カンタル線φ3.3mm）にて熱しながら、おもりで真下に引っ張る、という方法をとった。モーターとコントローラーで常時左右の回転を可能にしており、ガラス管に均等に熱が伝わるように工夫した。電源としては、最大出力電圧50Aのスライダックを用いた。具体的な方法としては、

- ① ガラス管にはじめ大きめな荷重をかけ、電圧をかけていく（図4）。
- ② 4V程の電圧をかけるとパイレックスガラスの軟化点（約821℃）に達し、ガラス管が伸び始めるので、一旦電圧を落とし、おもりを適時減らし、再度電圧をかける（図5）。
- ③ この作業を繰り返していくと、ガラス管が次第に細くなっていき、最後には伸びきって、細い先端が現れる（図6）。
- ④ できたものをダイヤモンドワイヤソーで実験に適した長さに先端を切断する（図7）。

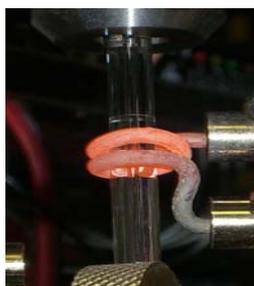


図4

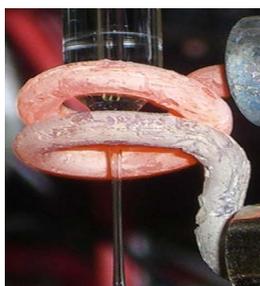


図5



図6

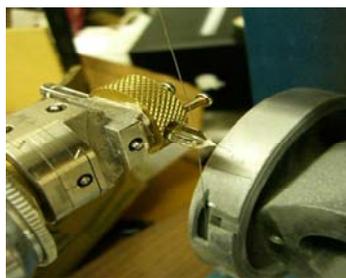


図7

このような方法で現在のところ、数百nm～のキャピラリーが製作可能となっている（図8）。

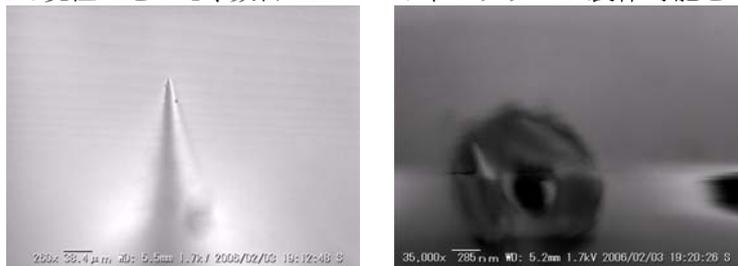
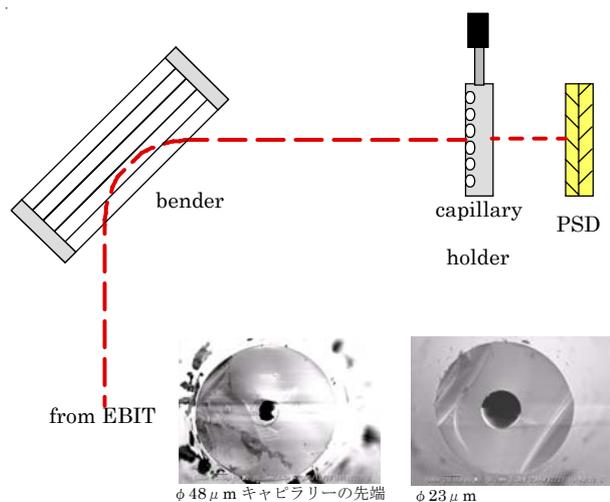


図8 SEMによる内径約400nmのガラスキャピラリーの先端とその拡大像

[実験 1]



Bi (価数混在) 多価イオンを用い、内径 $48\mu\text{m}$ 、 $23\mu\text{m}$ のキャピラリーに照射した。PSD(Position Sensitive Detector)を用いて通過した多価イオンの位置を検出できるようにした (図 9)。

その結果、今回初めて EBIT からの多価イオンがキャピラリーを通過できたことを確認できたが、イオン源の変動を除けば、キャピラリーの内壁の帯電状態による通過してきたイオンの数の時間変化は見られなかった (図 10)。

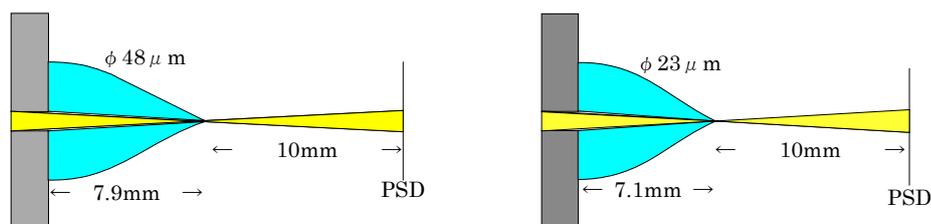


図 9 実験概略図 I

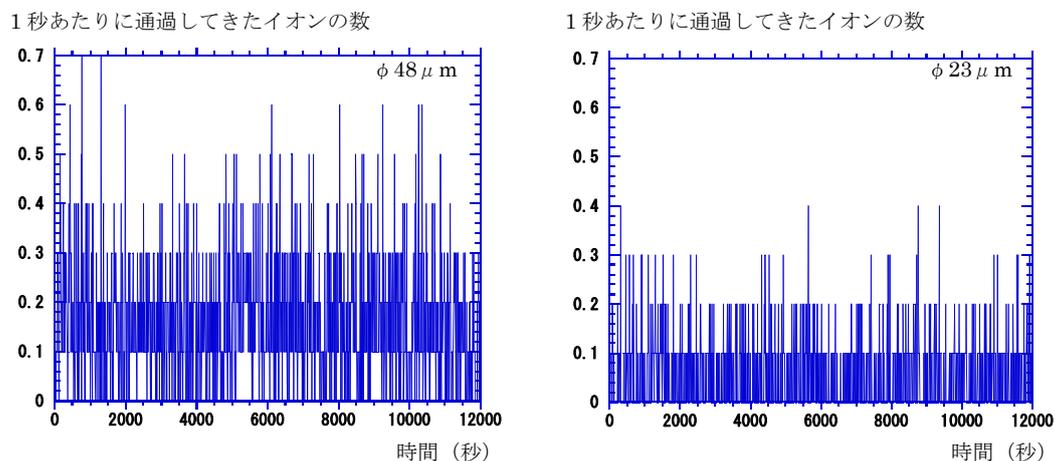


図 10 通過してきたイオンの数の時間変化

そこで、イオン銃を併用することでイオンビーム電流をあげることを考え以下の実験を行った。

[実験 2]

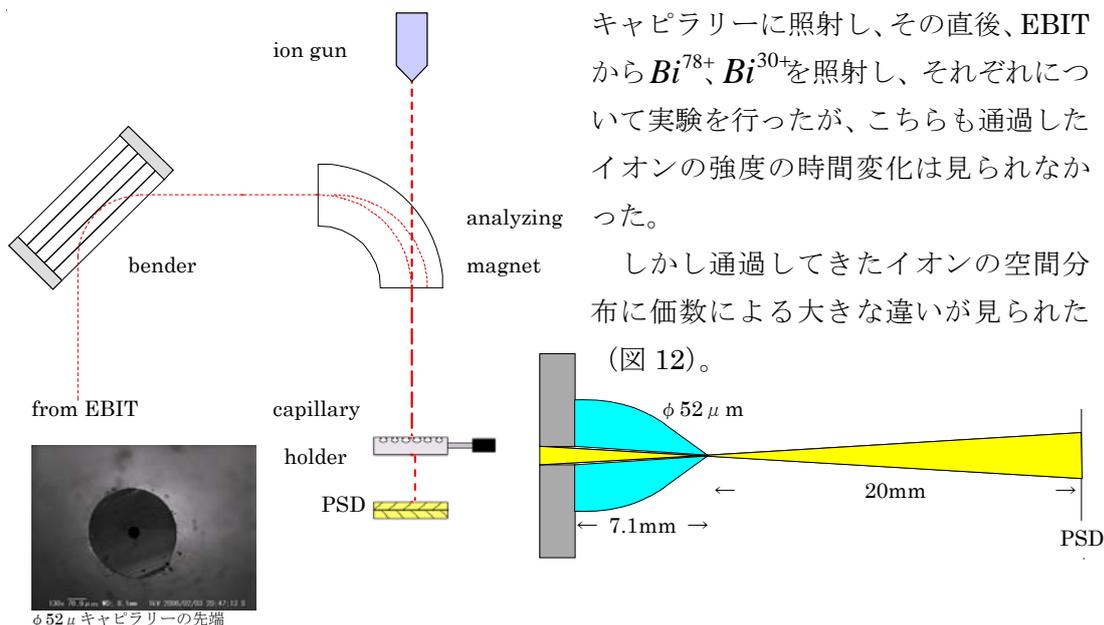


図 11 実験概略図 II

イオン銃にてまず Ar^+ を内径 $52 \mu m$ キャピラリーに照射し、その直後、EBIT から Bi^{78+} 、 Bi^{30+} を照射し、それぞれについて実験を行ったが、こちらも通過したイオンの強度の時間変化は見られなかった。

しかし通過してきたイオンの空間分布に価数による大きな違いが見られた

(図 12)。

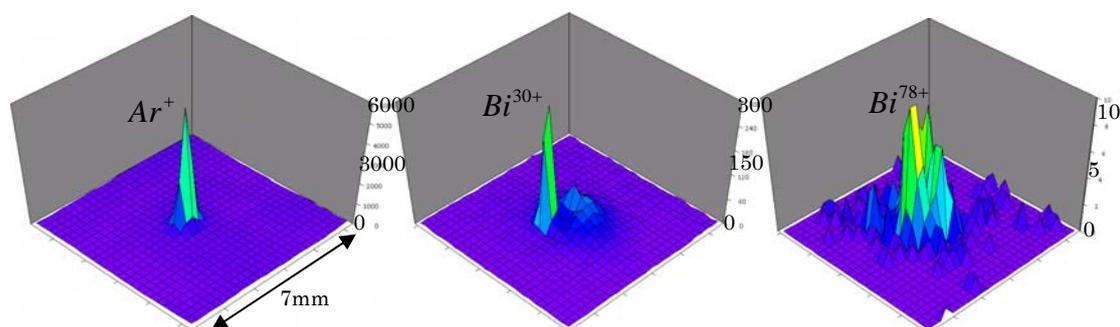


図 12 通過してきたイオンの空間分布

[まとめ]

- ・ ガラスキャピラリーの製作の方法を確立した。
- ・ 今回ガイディング効果は見られなかった。照射イオンのエネルギー、キャピラリーの形状、またキャピラリーに対するイオンの照射位置、などの様々な原因が考えられるため、実験条件を見直す必要がある。
- ・ 通過してきたイオンの空間分布に価数依存性が見られた。今後、静電ディフレクターなどで、価数分析を行っていく。