

多価イオン-固体表面衝突における放出二次電子観測の為のエネルギー分析器の製作

電子物性工学専攻 渡會慎一

1 序論

多価イオン（価数が2価以上のイオン）は大きな内部エネルギーを有するという特徴がある。例えば、水素の電離エネルギーは13.6 eVであるが、 Ar^{17+} の場合では4 keVになり、 U^{91+} になると130 keVものエネルギーを必要とする。[1]

イオンが固体表面に衝突すると、電子・光・原子等の様々な二次粒子が放出される。特に多価イオンでは中性化の際に大きな内部エネルギーを解放する為に上述の現象がより促進されると考えられる。これは、多価イオンが電子に対して強い吸引力をもち、固体表面に接近した時には、共鳴中性化と自動電離などの脱励起過程を多数回繰り返しながら中性化が進むためである。二次電子放出の研究では運動エネルギー移行による放出過程の研究は数多くあるが、低速で高価数の多価イオンを用い、上述のような電気的エネルギーの影響を扱った研究は少数である。

多価イオン-固体表面衝突実験の二次電子放出過程の詳細な機構の解明にはまだ至っていない。例えば、絶縁体を標的とした実験は、まだほとんど行われていない。また、二次電子放出過程と二次イオン放出などの他の過程との関係や、二次電子が放出した後の表面格子の改質についても未解明な点が多い。そこで、本研究では、イオン-固体表面衝突において基本的な現象である二次電子放出に着目し、そのエネルギー分析を行うことによって中性化過程への知見を得るものとする。

2 実験の目的

我々の研究室では多価イオンを生成する装置としてEBIT（電子ビーム衝撃型イオン源）を用いている。EBITは、高エネルギー高輝度電子ビームの作る空間電荷ポテンシャル、及び、電子ビームの軸方向に井戸型ポテンシャルをすることによってイオンを閉じ込め、電子衝撃によってイオンの逐次電離を行い、多価イオンを生成する装置である。高価数の多価イオンを生成し、イオンを冷えた状態で閉じ込めておくことができるという特長がある。本研究では、EBITを用いた多価イオン-固体表面衝突における二次電子のエネルギー分布を観測する為の高感度・高分解エネルギー分析器の開発を目的としている。具体的には、以下の2点である。

高分解能を実現する為に、疑似半球型エネルギー分析器を使用する。

高感度を実現する為に、高透過率の電子レンズを製作・評価する。

我々のEBITで引き出される多価イオンビームの収量が少ない為、特に、

が重要な要素となる。

3 実験装置

3.1 疑似半球型エネルギー分析器(Simulated spherical capacitor; SSC)

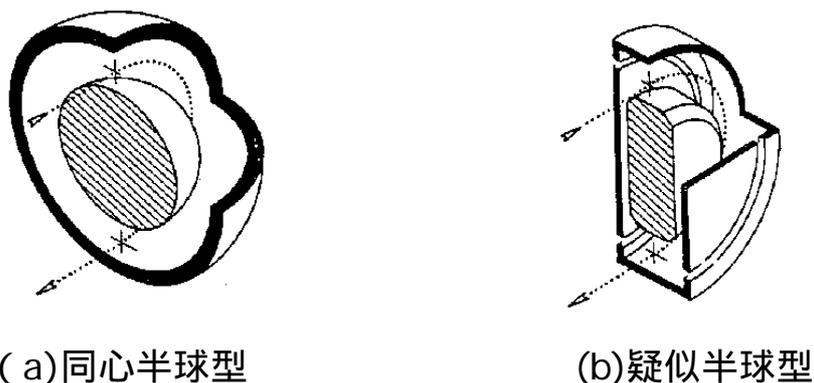


図 1.同心半球型と疑似半球型[2]

半球型エネルギー分析器のエネルギー分解能が良いという特性をいかしつつ、小型化・製造の容易さの実現をめざしたのが疑似半球型エネルギー分析器である。図 1 (b)に疑似半球型エネルギー分析器の断面図を示す。内球、外球に加え、2枚の側板の電極で構成されており、側板電極による補正により、中心軌道付近において半球型エネルギー分析器と同じポテンシャル分布、電場分布を実現している。

今回用いた疑似半球型エネルギー分析器の性能は、

内球の半径；60mm,外球の半径；96mm

側板間の間隔；60mm

内外球間の電圧； $V_a - V_b = 0.975E_0$ (E_0 ；電子の通過エネルギー)

エネルギー分解能； $E/E_0 = 1/156 + \theta^2$ (スリット幅；1mm)

と見積もられる。 θ は電子の入射角である。また、レンズの出口スリットはエネルギー分析器の入口スリットを兼ねている。

3.2 電子レンズ

前述のように、EBITから引き出される多価イオンビームの量は少ないため、観測される二次電子の収量も少ないことが予想される。そこで、B.Wannberg[3]らが設計した電子レンズを参考に、高透過率の電子レ

レンズを設計・製作した。

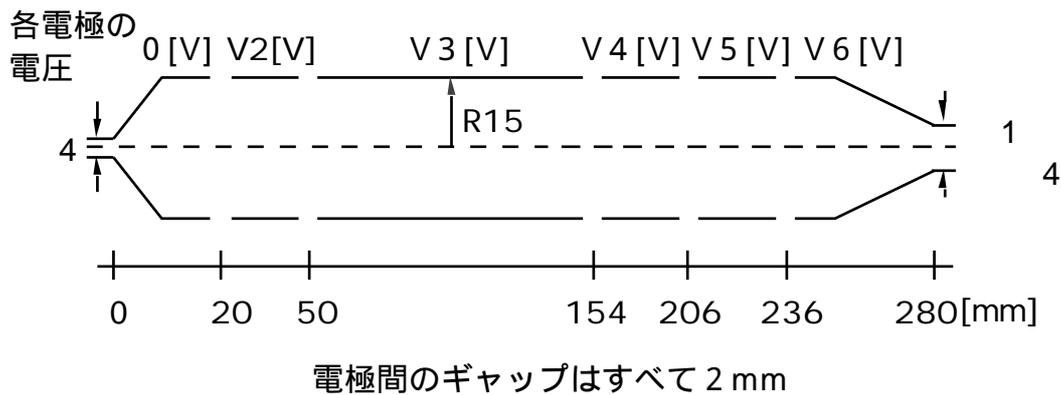


図2.設計した電子レンズの概図

1 : 2 ~ 1 : 30 の範囲の減速比において、V2、V3、V4、V5 を調節を簡便にしつつ、物点に対する像点の位置をなるべく、レンズの出口スリット付近に一定に保つ、倍率を1 ~ 2倍の変動に押さえる、ということで、明るく、減速比の変化によるレンズ特性の変動をなるべく抑えた電子レンズを目指した。

設計した電子レンズのシュミレーションは、図3のように、レンズの入口から、50mmのところから点電子源があると想定し、SIMIONという、荷電粒子の軌道計算をするソフトを用いて、電子ビームの入射角 θ をかえて、軌道計算を行った。電子レンズの出口には口径が1mmのスリットをはめたときに、なるべくの大きな軌道を通る電子ビームが、電子レンズを通り抜けられるような、各電極の電位V2,V3,V4,V5の値を減速比を変化させてプロットしたのが、図4である。ここで、 E_0 は入射電子のエネルギー、 E_i はレンズを通過後の電子のエネルギー、V6は減速電圧である。また、V2、V3、V4、V5を図4に従って調節した時の、減速比と倍率の関係を図5に示す。

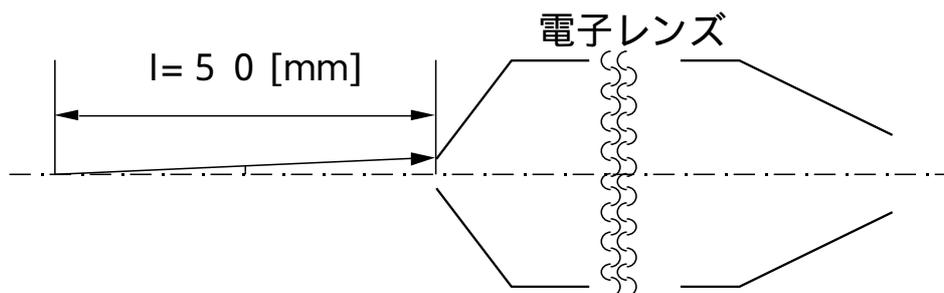


図3.レンズのシュミレーション

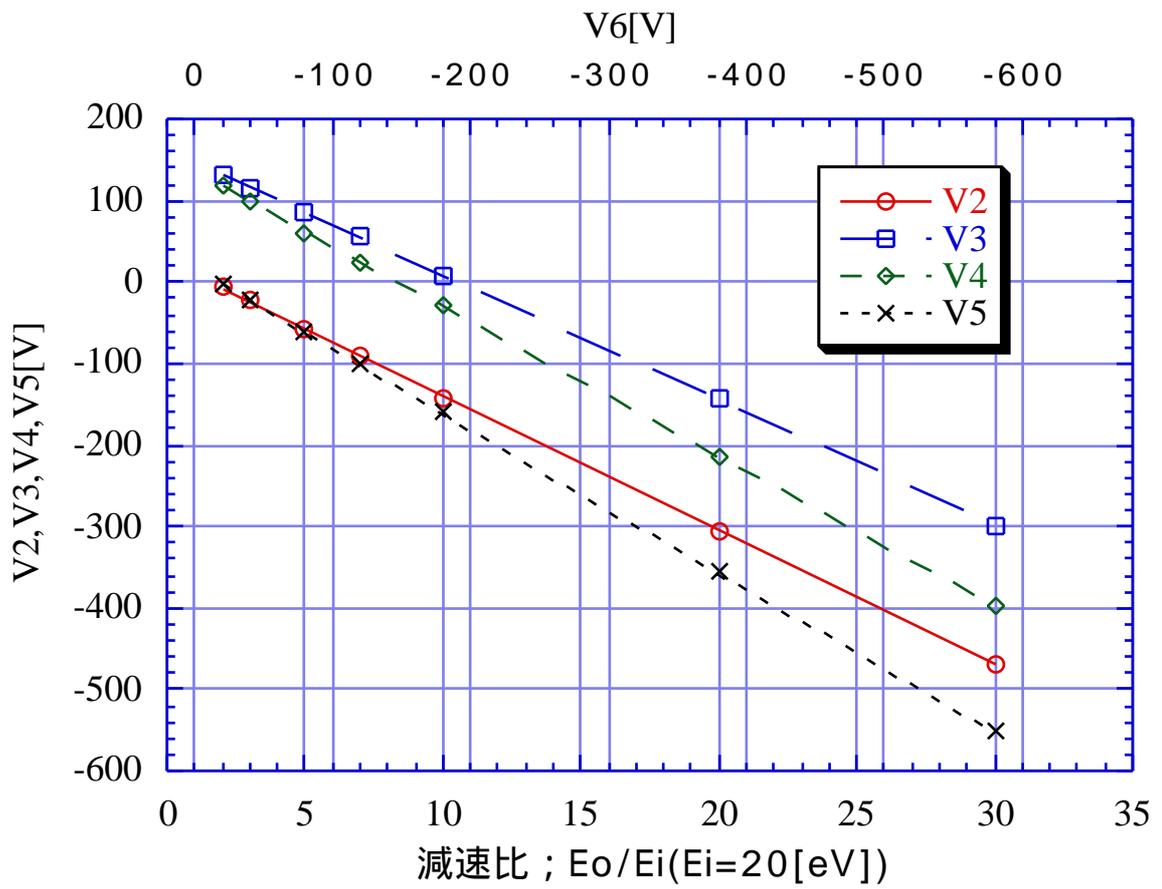


図4 .最適レンズパラメータ

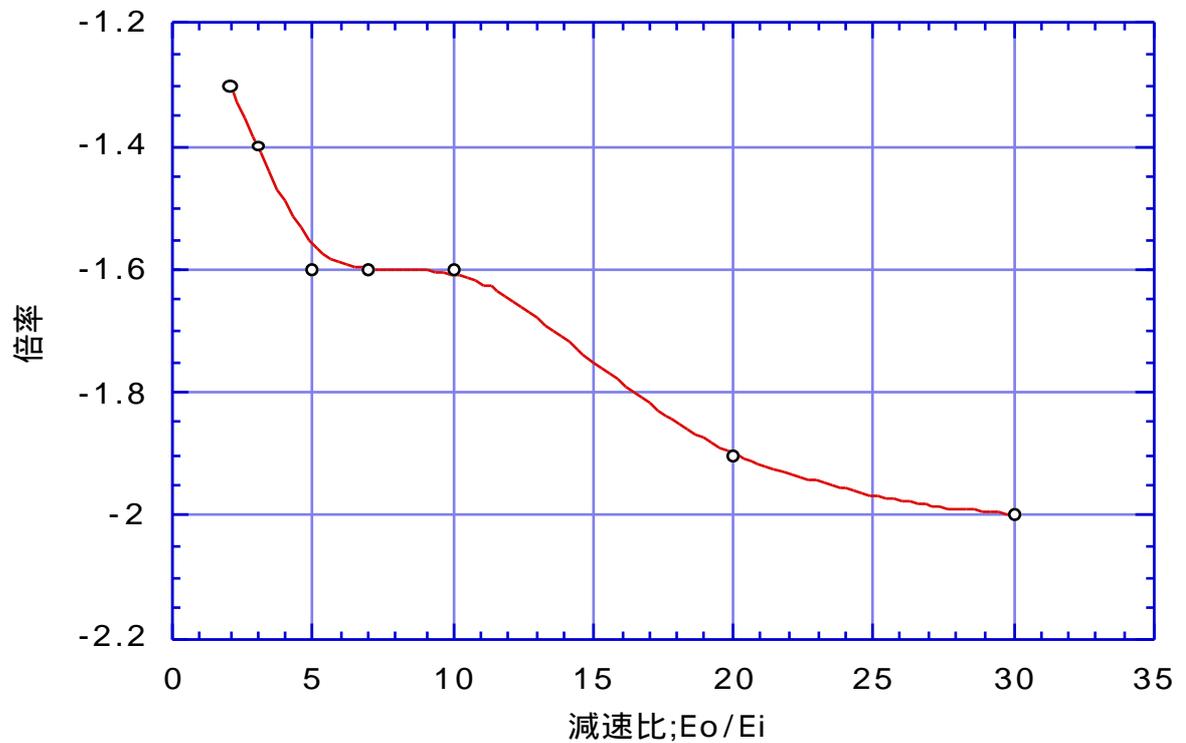


図5 .減速比と倍率

4 実験

EBITで生成された多価イオンを用いて、多価イオン-固体表面実験を行う前段階として、新たに設計・製作した電子レンズの評価をおこなう。そのために、以下の事を行う。

XeのNOO Auger電子のエネルギー分析を行い、スペクトルを得る。その際、電子レンズの減速比の異なるスペクトルを比較する。

1価のイオンビームを固体表面に衝突させた時の2次電子のエネルギー分布を観測する。

エネルギー分析器のエネルギー較正する為に実験を行い、その上で、電子レンズの性能評価、明るさを評価する為に、実験を行う。

図6に の実験を行うための実験装置の概略を示す。ガスノズルから導入されたXeに電子ビームを衝突させ、放出される二次電子をエネルギー分析器で観測する。また、アライメントをとるために、ガスノズルはゴニオメーターに取り付け、XYZの3軸及び、Z軸の周りの回転が可能になっている。 の実験を行う時は、ガスノズルを標的固体を装着する為のサンプルホルダーに、電子銃をイオン銃に交換する。

5 まとめ

実験の不手際により、XeのNOO Auger電子のエネルギースペクトルをとることができず、エネルギー分析器の較正ができなかった。したがって、電子レンズの性能評価も出来ずじまいである。今後、これらの事をおこなうことはもちろんだが、それ以外にも課題がいくつかあるので、ここではその事について触れる。

第1の課題として、二次電子のエネルギースペクトルをコンピュータで取り込めるように改良することが挙げられる。これは、Auger電子のような微弱な二次電子の信号を長時間かけて積算できるようにするためである。

第2に電子レンズの収差対策としてアパーチャ - を取り付けること、電子レンズの入口にデフレクターを取り付けるなどして、電子レンズの明るさをさらに向上させることである。

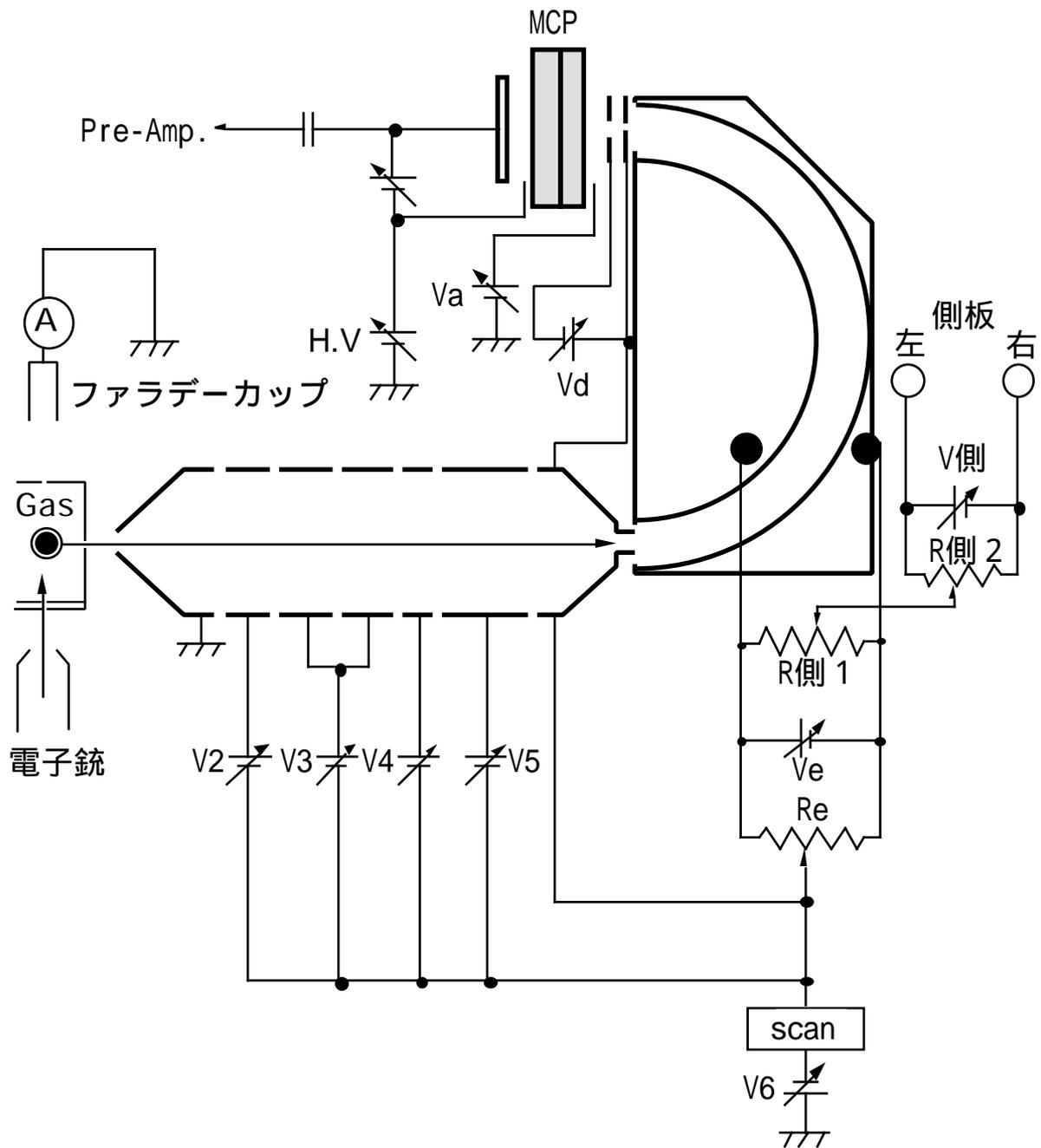


図6.エネルギー分析器配線図

参考文献

- [1] T. A. Carlson, C. W. Nestor, Jr. N. Wasserman, J. D. Mcdowell, Atomic Data 2(1970)63
- [2] K. Jost, J. Phys. E : Sci. Instrum. 12(1979)1006-1012
- [3] B. Wannberg, A. Skölleremo, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 10(1977)45-78