

TOF-ERDA に用いる位置感応型透過型検出器 の位置分解能に関する研究

(環境計測学) 福島 準也

1. はじめに

TOF-ERDA (Time of Flight Elastic Recoil Detection Analysis) 法では数 MeV のイオンビームを試料に照射すると試料内の原子と弾性衝突が起こり、試料内の原子が反跳され、その反跳粒子の飛行時間とエネルギーを同時に測定することで主に試料の深さ分析を行う。反跳粒子の飛行時間は2台の透過型検出器で、エネルギーはシリコン半導体検出器で測定する。現状では TOF-ERDA 法による深さ分析には立体角の小さな検出器を用いているので、測定に数時間かかってしまう。検出時間を短くする為には検出器の立体角を大きくする必要がある。大立体角でかつ高深さ分解能での TOF-ERDA 測定には反跳角を求めなければならない。理由としては従来の TOF-ERDA 法では検出器の角度広がり反跳角の精度となっており、大立体角化によりその精度が悪くなってしまうが、反跳角を測定することによって角度広がりの影響を受けなくなるからである。反跳角は反跳粒子が通過した二台の透過型検出器での 2 点の位置から求められる。透過型検出器は反跳粒子がカーボンフォイルを通過する際に生じる二次電子を MCP (Micro Channel Plate) 検出器で測定する。位置感応型 MCP 検出器を用いることで MCP 面上での位置からカーボンフォイル上での反跳粒子の通過位置を求めることが出来る。しかし、実際には二次電子が MCP に到達するまでの軌道は広がりを持っており、それだけカーボンフォイル上の通過位置の測定精度が悪くなる。本研究の目的は二次電子の広がりをシミュレーションで確認し、ミラーとフォイル部分の電圧を最適化することにより MCP 面上での位置の広がりが少ない条件を探し、反跳粒子の位置分解能を向上させることである。

2. シミュレーション

本研究では「SIMION Version 8. 0. 4」を用いて透過型検出器のフォイルで生じる二次電子の軌道についてのシミュレーションを行った。位置感応型 MCP 検出器を用いた際の透過型検出器 (位置感応型透過型検出器) の概略を図 1 に示す。反跳粒子が透過型検出器のカーボンフォイルを通過するときに二次電子を生成する。このときに生成した二次電子はカーボンフォイルに印加された電圧により加速され、グラウンドとミラー間の電場により 90° に曲げられて MCP に入射する。図 1 の透過型検出器と同じ形になるように SIMION でフォイル、静電ミラー、

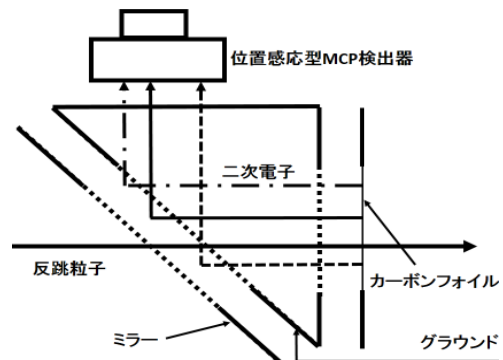


図 1 位置感応型透過型検出器の概略図

MCP の電極を定義し、シミュレーションを行い、フォイル中心から二次電子を発生させたときの MCP 面上での位置の広がりを調べた。本来カーボンフォイルから発生する二次電子は初速度を持つ。そこで入射ビームと反対方向に $\pm 30^\circ$ の広がりをもち、 $4 \pm 4 \text{ eV}$ のエネルギーを持った二次電子を発生させた[1]。そして、フォイル電圧とミラー電圧を変化させた時の MCP 面上での位置の広がりを求めた。

3. 結果及び考察

フォイル電圧を -2000 V 、ミラー電圧を -4000 V にして、フォイル中心から二次電子を 10000 個発生させたときのシミュレーションを図 2 に示す。そのときの二次電子の MCP 面での位置をガウス分布でフィッティングし、そこから MCP 面上での二次電子の広がりを求めた。結果

2.1 mm の軌道の広がりがあることが分かった。まずはフォイル電圧 (-2000 V) を変えずにミラー電圧を -3000 V にして、軌道の広がりの変化を求めた。結果 MCP に入る位置は変わったが、広がりには変化は見られなかった。これよりミラー電圧の変化は MCP 面での二次電子の軌道の広がりには大きな影響を与えないことが分かった。次にミラー電圧 (-4000 V) を変えずにフォイル電圧を -1000 V 、 -3000 V にしたときの広がりを見た。 -1000 V では

3.1 mm 、 -3000 V では 1.7 mm だった。図 3 にフォイル電圧と広がりとの関係を示す。フォイル電圧を上げる事で位置の広がりが小さくなることが分かった。理由としては電圧が大きくなることで二次電子の入射ビーム軸と反対方向の速度成分のみが加速されて角度の広がりが小さくなったからと考えられる。現在の TOF-ERDA 測定における透過型検出器の位置分解能は 2 mm なので、これよりフォイル電圧 -3000 V 、ミラー電圧 -4000 V の時、 0.3 mm 位置分解能が良くなることが分かった。しかし、実際の透過型検出器ではフォイル電圧をある一定のところまでしか上げられないので、それを踏まえたフォイル電圧、フォイルとグラウンド間の距離の最適化を行う必要がある。

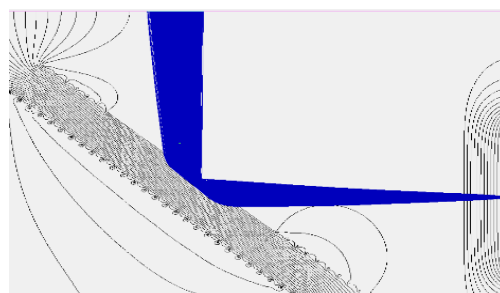


図 2 SIMION によるシミュレーション (左の斜め部分がミラー、右の縦部分がフォイル)

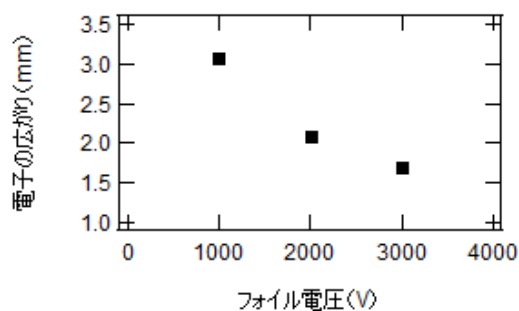


図 3 フォイル電圧による MCP 面での二次電子の軌道の広がりの変化

【参考文献】

- [1] Mikko Laitinen et al, "Secondary electron flight times and tracks in the carbon foil time pick-up detector", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research ,B 336 (2014) 55-62.