

バックグラウンド削減の為に二次電子シールド導入による TOF-ERDA の検出感度向上

(環境計測学) 竹内幹

1. 緒言

イオンビームを用いて試料内の組成分析をする方法の一つである ERDA(Elastic Recoil Detection Analysis)は、数 MeV に加速したイオンが試料内原子と弾性衝突する際に反跳する粒子を測定する方法である。当研究室では TOF-ERDA(Time Of Flight ERDA)を用いた測定を実施している。TOF-ERDA では反跳粒子のエネルギーと速度を同時に測定し、二つの相関から粒子弁別を行うことにより、試料に含まれる複数の元素を一度に測定することを可能にする[1]。SSD(Silicon Semiconductor Detector)で粒子のエネルギー、二台の透過型検出器から速度を測定する。本要旨では試料に近い透過型検出器を前方透過型検出器(FD)、遠い透過型検出器を後方透過型検出器(BD)と呼ぶことにする。

分析を行うにあたり精度、測定時間の観点から検出感度は重要である。ERDA の一つである ΔE -E 法での酸素の検出感度は、170 MeV のヨウ素ビームで 10 ppm[2]であるのに対し、TOF-ERDA での酸素の検出感度は、12 MeV の銅ビームで 640 ppm である[3]。TOF-ERDA の検出感度が低い要因としては、ビームの種類やエネルギーの大きさで決まる散乱断面積が ΔE -E 法の方が 3.7 倍大きく、立体角も ΔE -E 法の方が 50 倍大きいこと等が挙げられるが、測定の際のバックグラウンドが TOF-ERDA の方が多いことも要因の一つとして考えられる。二次電子が周囲から FD に入射し MCP で検出したことで、BD や SSD と比較して FD のカウント数が多くなってしまうことが、バックグラウンドが多い原因の一つだと考えられる[4]。

本研究では、FD 周辺に新型の二次電子シールドを導入することで周囲からの二次電子を遮蔽し、バックグラウンド削減と検出感度向上を目指した。

2. 実験

これまでの TOF-ERDA 測定では前方からの二次電子を遮蔽するためのシールドが使われていた。以降これを従来型シールドと記す。しかし、従来型シールドでは周囲からの二次電子を遮蔽できない。本実験では周囲からの二次電子の遮蔽を可能にするために、FD の前方・側面・上部を隙間無く覆う新型シールドを作製し、TOF-ERDA におけるバックグラウンドと酸素の検出感度を、新型シールドと従来型シールドでそれぞれ計測し比較した。

検出下限の面密度 σ_l は

$$\sigma_l = \frac{\sigma}{Y_\sigma} 3\sqrt{Y_b} \quad (1)$$

で求められる。ここで、 Y_b はバックグラウンド数、 σ は面密度、 Y_σ は試料測定の収量である。(1)式より面密度が既知の試料の測定によって、面密度としての検出感度を求めることができる。

検出感度を測定するにあたりイオン注入法により試料を作製した。イオン注入装置を用いて大きさが $15 \times 25 \text{ mm}^2$ のシリコンウェーハにエネルギー 50 keV の酸素イオンを注入した。この試

料に含まれる酸素の面密度をラザフォード後方散乱法で計測すると $1.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ であった。

TOF-ERDA 測定では、エネルギーは 8 MeV の 3 価の炭素イオンビームを用いた。試料に照射するビームの電流値は新型シールド使用時で約 13 nA、従来型シールド使用時で約 17 nA であった。試料は酸素注入試料と未注入試料の二つで、未注入試料の測定でバックグラウンドを評価した。測定時間はそれぞれ 2.5 時間で、30 分毎にデータを 5 回測定した。

3. 結果と考察

未注入試料の TOF-ERDA 測定で得られたバックグラウンド数の結果を図 1 に示す。同一入射粒子数での結果を比較するために、従来型シールドの結果をフィッティングし、バックグラウンドと入射粒子数の関係を求めた。結果を図 1 の直線で示す。入射粒子数 2.2×10^{14} 個で新型シールドのバックグラウンド数が 408、従来型シールドのバックグラウンド数が 523 となり、新型シールド導入によりバックグラウンド数を 23% 削減することができた。

次に TOF-ERDA 測定の検出感度の結果を図 2 に示す。同一入射粒子数での結果を比較するために、従来型シールドの結果をフィッティングし、検出感度と入射粒子数の関係を求めた。結果を図 2 の直線で示す。入射粒子数 2.2×10^{14} 個で新型シールドの検出感度が $1.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、従来型シールドでの検出感度が $2.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ となり、新型シールド導入により検出感度を 31% 改善することができた。

新型シールドの導入によるバックグラウンド削減が 23% だったことから、バックグラウンドは前方を含む周囲からの二次電子によるものだけではないということが分かる。その他の原因としては、反跳粒子を通過させるために二次電子シールドに添付されているスリットを、反跳粒子と同様に直進し通過してくる二次電子によるものもあると考えられる。今後はスリットの入射部分のサイズを変更するなど新型シールドの改善に取り組み、検出感度の更なる向上を目指す。

[参考文献]

- [1] 安田啓介, 「TOF-ERDA による軽元素分析法の開発」, まてりあ第 52 巻第 8 号, 2013 年 8 月
- [2] A. Bergmaier et al. Nucl. Instr. And Meth. in P hys. Res. B 136-139 (1998) 638-643
- [3] 梶取悠太, 「TOF-ERDA による酸素の検出感度測定」, 環境計測学研究室, 2017 年 2 月
- [4] 黒田虹輝, 「バックグラウンド削減による TOF-ERDA の検出感度向上」, 環境計測学研究室, 2018 年 2 月

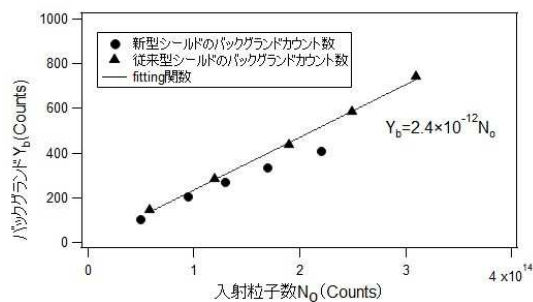


図 1 バックグラウンド測定の結果。●が新型シールド、▲が従来型シールドの測定結果。

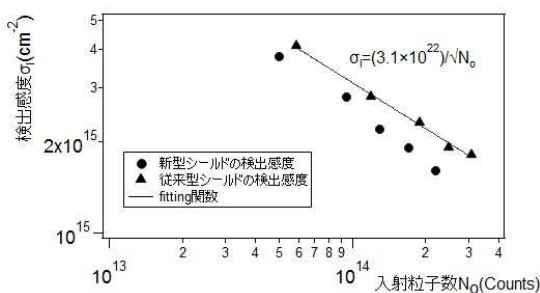


図 2 検出感度測定の結果。●が新型シールド、▲が従来型シールドの測定結果。