

## He ビームを用いた TOF-ERDA による酸素の検出感度測定

(環境計測学) 新家常之

### 1. はじめに

試料に数 MeV で加速したイオンを照射し試料内の組成分析をするイオンビーム分析法の一つに、軽元素の表面分析の手法として代表的な弾性反跳粒子検出(ERDA: Elastic Recoil Detection Analysis)法がある。これは照射した粒子と試料内原子が弾性散乱し反跳した粒子を測定する方法であり、元素の深さ分布測定を行う際に用いられる。当研究室ではその一種である TOF(Time of Flight)-ERDA 法に関する研究を行っている。TOF-ERDA 法は反跳粒子のエネルギーと飛行時間を同時に測定し、その相関から粒子を弁別することで多元素を一度に測定することを可能にする[1]。エネルギーの測定にはシリコン半導体検出器(SSD: Silicon Semiconductor Detector)、飛行時間の測定には二台の透過型検出器を用いる。

分析を行なう際には検出感度を考慮することが重要であるが、TOF-ERDA 法での検出感度に関しては研究の事例が少なく詳しく知られていない。当研究室における先行研究では、TOF-ERDA 法の酸素の検出感度は銅ビームで 600 ppm、炭素ビームで 6400 ppm と報告されている[2]。本研究では、イオンビーム分析法において一般的に用いられており、多くの加速器施設で扱われているヘリウムビームを用いて、TOF-ERDA 法での酸素の検出感度を求めることを目的とした。

### 2. 実験

本実験では、シリコン中に存在する酸素の検出感度を TOF-ERDA 法によって測定した。

まず TOF-ERDA 法における検出感度は次のように定義した。目的とする元素の粒子の収量を  $Y_l$ 、バックグラウンドの収量を  $Y_b$  として、次式を満たすときは検出が可能であるとする。

$$Y_l \geq 3\sqrt{Y_b} \quad (1)$$

ここで、目的元素が面密度  $\sigma$  で存在する試料を測定した収量を  $Y_\sigma$ 、検出下限での目的元素の面密度を  $\sigma_l$  とおくと、(1)式より

$$\sigma_l \geq \frac{\sigma}{Y_\sigma} 3\sqrt{Y_b} \quad (2)$$

となる。つまり目的元素の面密度が既知の試料を測定すれば、(2)式から面密度としての検出下限すなわち感度を求めることができる。

そこで酸素の存在量が既知の試料を準備した。試料はイオン注入装置を用いてシリコンウェーハにエネルギー 50 keV で酸素を注入して作製した。注入した酸素は TRIM コードでのシミュレーションの結果から中心値 1208 Å で幅 1046 Å の深さに分布しており、面密度はラザフォード後方散乱法で計測したところ  $1.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  であった。

TOF-ERDA 測定では 3.5 MeV のヘリウムビームを用いた。ビームエネルギーは一般的によく扱われるエネルギー値に設定した。またビームに用いたのは 2 価のヘリウムイオンであり、ビーム電流値は 12 nA であった。酸素注入試料と未注入試料の 2 種類の試料について、0.5 h の測

定を5回繰り返し、合計2.5 h分のデータを得た。未注入試料の測定での収量をバックグラウンドとし、注入試料の測定での収量との差をとって酸素の収量を求めた。

### 3. 結果

一般にビーム照射では試料が損傷する可能性が考えられる。そのため入射粒子数に対する酸素の収量の変化を調べた。その結果を図1に示す。今回の測定範囲では収量はほぼ一定の値となり、試料の損傷による酸素の減少は見られなかった。

検出感度は測定時間および入射粒子数に依存していた。入射

粒子数と検出感度の関係について図2に示す。測定結果は2.5 hの測定での検出感度は $5.8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ となった。先行研究における感度は、銅ビームは2 hの測定で $3.1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 、炭素ビームは2.5 hの測定で $3.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ となっている[2]。よってヘリウムビームは、銅ビームに対しては長い測定時間であるが19倍ほど、炭素ビームに対しては同じ測定時間で2倍近く感度が低くなるという結果になった。

次にそれぞれの結果を同一入射粒子数で比較した。先行研究では入射粒子数 $1.0 \times 10^{12}$ 個のときの感度は、銅ビームで $6.4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 、炭素ビームで $4.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ となっている[2]。今回の測定では入射粒子数が異なるため、ヘリウムビームの測定結果をフィッティングし銅ビームと炭素ビームと同じ入射粒子数で比較した。同一入射粒子数 $1.0 \times 10^{12}$ 個のときのヘリウムビームの検出感度は $1.6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ となり、銅ビームに対して250倍、炭素ビームに対しては3.5倍ほど低くなることがわかった。

また結果から、検出感度をシリコンに対する数密度の比として表した。シリコン中の酸素は試料表面から深さ1208 Åを中心として幅1048 Åの間に一様に存在していると仮定した。シリコンの密度を $2.329 \text{ g/cm}^3$ として計算すると、検出感度は11000 ppmとなった。

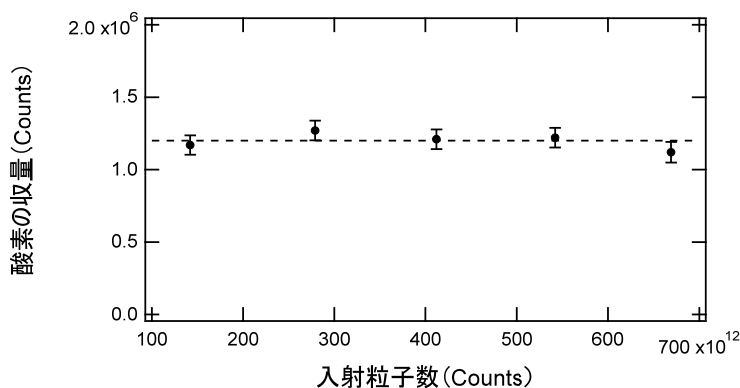


図1 入射粒子数と酸素の収量の関係

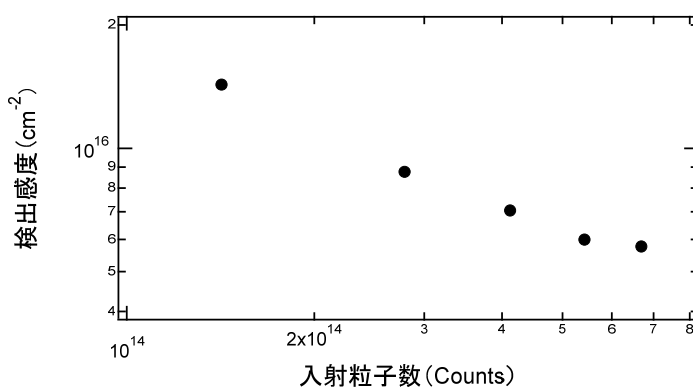


図2 入射粒子数と検出感度の関係

#### [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] 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