

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760621
 研究課題名(和文)ヘリウムビームを用いた飛行時間測定弾性反跳粒子検出法による軽元素分析法の開発
 研究課題名(英文)Development of analytical method of light elements using TOF-ERDA with He ion beam
 研究代表者
 安田 啓介 (YASUDA KEISUKE)
 財団法人若狭湾エネルギー研究センター・研究開発部・主査研究員
 研究者番号：00359241

研究成果の概要：ヘリウムビームを用いた飛行時間測定弾性反跳粒子検出法(TOF-ERDA)による軽元素分析法の開発を行った。測定に必要な検出器を製作し、その基本性能を調べた。その結果、本研究で開発した測定系で酸素までの軽元素を十分な検出効率かつ同位体分離が質量分解能で測定できることを示した。また、これをイオン注入試料の測定に適用し、注入された炭素の深さ分布を測定できることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	0	1,800,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：加速器・ビーム工学、イオンビーム分析

1. 研究開始当初の背景

(1) イオンビーム分析は、解析に必要とされる物理量(反応断面積等)の蓄積が豊富であり、また利用する反応が明快であるため、信頼性の高い材料分析手法である。また、イオンビームは物質中での透過性が高いために表面だけでなく内部までもを非破壊で分析できるという大きな特徴を持つ。

(2) イオンビーム分析では主に水素の分析に用いられる弾性反跳粒子測定(ERDA)法、ナトリウムより重い元素の分析が可能な粒子励起 X 線分光(PIXE)法、重元素の分析に適したラザフォード後方散乱(RBS)法が代表的な手法である。一方炭素、窒素、酸素と

いった軽元素は、生体物質、半導体等の分野においてその分析が重要であるにもかかわらず上記の手法では測定が困難である。これら軽元素のイオンビーム分析には以下のよう方法が用いられる。

重陽子ビームを用いた核反応(NRA)法
 重イオンビームを用いた(重イオン)

ERDA 法

共鳴散乱法

NRA 法は重陽子ビームが必要であるが、放射線管理上の問題からこれを行なえる施設は限られ、試料が放射化するという問題も生じる。重イオン ERDA 法では高エネルギーの重イオンビームが必要であり、試料に重イオ

ンビームを照射した際の照射損傷が問題となる。共鳴散乱法は適用できる元素が限られてしまう。このような理由から上記の手法に替わる新しい軽元素イオンビーム分析法の開発が求められていた。

2. 研究の目的

ヘリウムビームを用いた飛行時間測定(TOF)ERDA法による炭素、窒素、酸素等の軽元素分析法を確立する。測定に必要な検出器系、データ処理系を構築する。高分子膜、イオン注入試料を用いて測定を行い、深さ分解能、検出感度などを求めて、本分析手法の性能評価を行なう。また、この手法を軽元素イオン注入試料の分析に応用する。

3. 研究の方法

(1) 本研究では透過型検出器とエネルギー検出器の2台の荷電粒子検出器を用いて反跳粒子のエネルギーと飛行時間を測定する。透過型検出器は、荷電粒子が薄膜を通過した際の二次電子をマイクロチャンネルプレート(MCP)検出器で検出する。エネルギー検出器には市販のシリコン半導体検出器を用いた。透過型検出器は本研究で開発を行った。二次電子放出用薄膜の厚さや材質を変えてさまざまなイオンに対する検出効率の測定を行い、検出器の最適化を行った。

(2) 開発した透過型検出器を用い、信号処理系、データ収集系を整備してTOF-ERDA測定システムを構築した。これを用いてTOF-ERDA測定を行い、粒子識別性能や深さ分解能等の基本性能の評価を行った。また、本手法を用いて炭素イオン注入試料の測定を行った。

4. 研究成果

(1) タンデム加速器を用いて水素、ヘリウム、炭素イオンに対する透過型検出器の検出効率を測定した。測定のセットアップを図1に示す。厚いAuターゲットで散乱した粒子を透過型検出器とシリコン半導体検出器(SSD、CANBERRA PD25-11-300AM)で測定した。薄膜には以下の2種類を用いて比較を行った。

(A) 面密度が $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、直径が 2mm の炭素フィルム

(B) 面密度が $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、直径が 10mm の炭素フィルムに面密度が $16\mu\text{g}/\text{cm}^2$ のフッ化カルシウムを蒸着したもの

SSD で検出された粒子数に対する透過型検出器と SSD で同時に検出された粒子数の比を検出効率として、これを SSD で測定されたエネルギーの関数として表した。図2に測定結果を示す。水素、ヘリウムに対しては(B)の薄膜を用いたほうが(A)に比べて検出効率が高いことが分かる。炭素に対してはエネルギーが 10MeV 以上では(B)が検出効率が高いが、5MeV 以下では(A)が検出効率が高いという結

果になった。薄膜でのエネルギー損失や多重散乱による角度広がりや深さ分解能の劣化や透過効率の低下の原因となるため、薄膜の厚さはできる限り薄いほうが望ましい。本研究では測定される炭素のエネルギーは 8MeV 以下であるが、(A)を用いた場合、このエネルギー範囲での検出効率は 95%以上である。以上を考慮して本研究では(A)の薄膜を用いることとした。

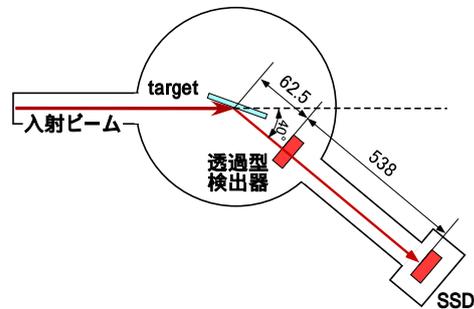


図1 セットアップ

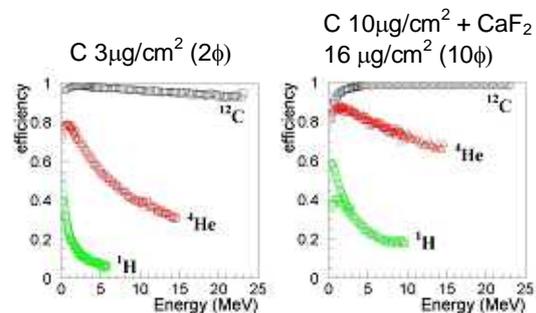


図2 水素、ヘリウム、炭素イオンに対する透過型検出器の検出効率。左は(A)、右は(B)を用いた測定でそれぞれ得られたものである。

(2) 25 MeV 炭素ビームを用いて、厚さ 2nm の Au 層で散乱された炭素の測定で得られた透過型検出器と SSD の時間差スペクトルから、測定系の時間分解能を求めた。得られた結果を図3に示す。この測定から測定系の時間分解能は半値全幅(FWHM)で 0.94nsec と求められた。MCP 検出器の時間分解能は 200psec 程度であることが知られており、測定系の時間分解能については SSD の寄与が大きいと考えられる。

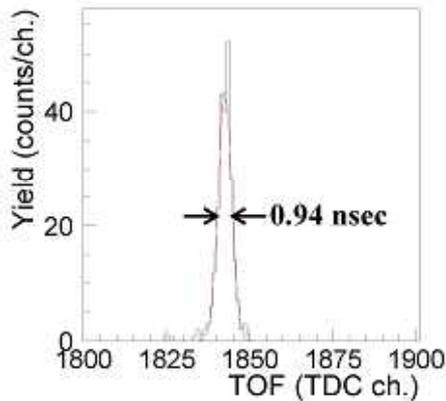


図3 25 MeV 炭素ビームを用いて厚さ 2nm の Au 層で散乱された炭素の測定で得られた透過型検出器と SSD の時間差スペクトル。

(3) 粒子識別性能評価のために、7MeV 炭素ビームを用いた TOF-ERDA 測定によって測定系の質量分解能を求めた。測定試料には 50keV の水素を注入したシリコンを用い、散乱および反跳粒子を測定した。結果を図 4 に示す。水素、炭素、シリコンに対する質量分解能はそれぞれ 0.14、0.61、2.7 だった。これから酸素程度までは質量分解能が 1 以下であると推測され、同位体レベルで分離して測定が可能なが示された。

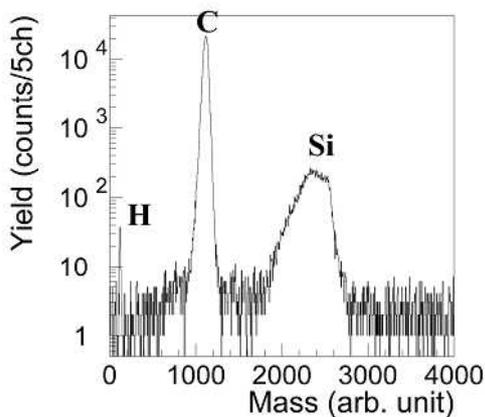


図4 質量スペクトル

(4) 深さ分解能評価のために、シリコンウェハーにコーティングした炭素 (厚さ 3nm) を測定した。ビームには 10.1MeV にヘリウムを用いた。得られた炭素のエネルギースペクトルを図 5 に示す。エネルギー分解能は 103keV だった。これから炭素測定の深さ分解能は

29nm と求められた。測定されたエネルギー分解能には SSD のエネルギー分解能と運動学的なエネルギー広がり の 2つが寄与していると考えられる。後者は測定系の幾何学的配置を工夫することによって軽減することが可能であり、より優れた深さ分解能で測定することが可能であると考えられる。

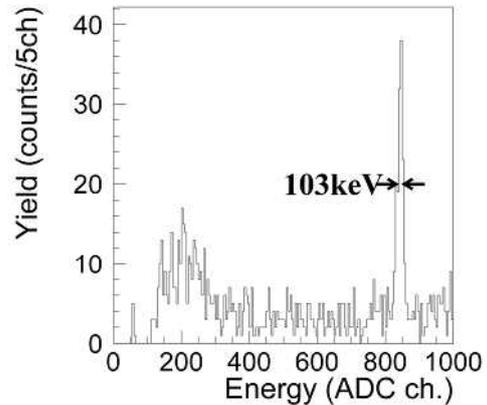


図5 測定された炭素のエネルギースペクトル

(5) シリコンウェハーに炭素イオンを注入した試料の測定を行った。注入時の炭素イオンのエネルギーと注入量は以下のとおりである。

- (A) エネルギー 100keV、注入量 $6.8 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$
- (B) エネルギー 100, 140, 180keV、注入量 各 $6.8 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$

測定で得られた反跳炭素のエネルギースペクトルを図 6 に示す。(A) のスペクトルの 700ch 付近、(B) のスペクトルの 500-700ch 付近のイベントが試料からの反跳炭素である。200ch 付近のイベントはバックグラウンドと考えられる。より高いエネルギーで炭素イオン注入を行った(B)の試料の方が、より深いところまで炭素が存在することを示している。

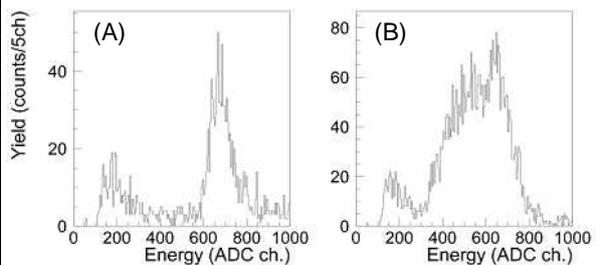


図6 炭素イオン注入試料測定で得られたエネルギースペクトル

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計2件)

安田 啓介・TOF-ERDAによる軽元素分析法の開発・第56回応用物理学関係連合講演会・2009/4/2・筑波大学

安田 啓介・軽元素分析のためのTOF-ERDA測定システムの開発・第9回「イオンビームによる表面・界面解析」特別研究会・2008/12/6・高知工科大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

安田 啓介 (YASUDA KEISUKE)

財団法人若狭湾エネルギー研究センター・研究開発部・主査研究員

研究者番号：00359241

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：