The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Identification of artifacts in high-resolution SIMS depth profiling with reactive ion bombardment
Author(s)	片岡, 祐治
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49502
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【58】

氏　　名	片　岡　祐　治（かた　おか　ゆう　じ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２５５２　号
学位授与年月日	平成 20 年 10 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第４条第２項該当
学　位　論　文　名	Identification of artifacts in high-resolution SIMS depth profiling with reactive ion bombardment （反応性イオン照射を用いた高分解能 SIMS 深さ方向分析におけるアーティファクトの検証）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　浜口　智志 （副査） 教　授　平田　好則　　教　授　岡田　成文

論　文　内　容　の　要　旨

二次イオン質量分析法(SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry)はイオン照射によるスパッタリングを利用した物理分析法で，微量元素の深さ方向分析が可能なことから，半導体，金属，セラミックス，有機物などの幅広い分野で，材料，プロセス，デバイスなどの評価に用いられている。特に近年では，相補性金属酸化膜半導体(CMOS：Complementary Metal-Oxide Semiconductor)をはじめとする各種デバイスの高密度・微細化に伴ってナノレベルの分解能を持った深さ方向分析が不可欠であり，SIMSにおける深さ分解能の向上が強く望まれている。

この要求に応えるため，現在，SIMSでは低エネルギー化した一次イオン(1 keV以下)を用いた測定が頻繁に行なわれている。しかし，ナノレベルの分解能を必要とする近年の材料・プロセスの評価では，一次イオンの低エネルギー化のみでは解決できない問題が存在する。SIMSでは，高感度を得るために一般に，酸素やセシウムなど反応性に富む元素のイオンが一次イオンとして用いられているが，これら反応性一次イオンの低エネルギー照射は試料表面との相互作用において分析精度の低下に繋がる複雑な物理現象をより容易に引き起こす。

本研究では，分析精度低下の要因となる物理現象として，Transient効果(スパッタリングが定常に達するまでの間にスパッタリング収率や二次イオン化率などが照射時間に伴って変化する現象)，表面荒れ(測定中に試料表面に凹凸が生じる現象)，アトミックミキシング（スパッタリングの過程で試料中に含有される元素が再分布する現象）および試料含有元素の拡散・偏析(測定中に試料中に含有される元素が拡散し，界面などに偏析する現象)について一次イオンの入射エネルギーと角度を変えた実験から挙動解析を行い，それらが測定結果にもたらすアーティファクトを検証した。具体的なアーティファクトとしては,Profile shift（測定プロファイルが見かけ上，表面方向にシフトする現象）およびProfile broadening（測定プロファイルの形状が見かけ上，膨らんで見える現象)に着目し,上記物理現象の発生を抑制するとともにこれらのアーティファクトを軽減するための一次イオン照射条件を明確にした。さらに，最適な一次イオン照射条件の下で得られた高精度なSIMS深さ方向分析結果と高分解能ラザフォード後方散乱分光（HRBS: High-resolution Rutherford Backscattering Spectroscopy)による深さ方向分析の結果を比較し，最適条件下では Profile siftを1～2 nmに，またProfile broadeningをほぼ完全に抑えられることを示した。

また，最終的な結論として，上記アーティファクトを軽減し，高感度かつ高精度な深さ方向分析結果を得るためには，Transient効果，表面荒れ，アトミックミキシング，試料含有元素の拡散・偏析のすべてを併せて制御することが不可欠で，その制御にはスパッタリング収率が最も重要な因子となることを明らかにした。すなわち，測定に際しては一次イオンのエネルギーと試料表面への入射角度を適切に選ぶ必要があり，それらの最適な組み合わせによってナノレベルの分解能を引き出すことが可能である。

論文審査の結果の要旨

固体中に存在する微量元素の深さ方向を分析する手法として、二次イオン質量分析法(SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry)は幅広い分野で用いられている。特に、大規模集積回路(VLSI)の高密度・微細化に伴って、従来よりも浅い領域に存在する微量元素の、より正確な深さ方向分布の同定が必要となり、SIMS における深さ分解能の更なる向上が強く望まれている。SIMS では、イオン照射により表面からスパッタされる物質を同定することにより、固体中の微量元素の深さ方向分布を推定するが、より浅い領域に存在する元素の分布を測定するためには、入射イオン（1 次イオン）の入射エネルギーを下げなければならない。このため、近年、1keV 以下の一次イオンを用いた高精度な SIMS による分析法が高い注目を集めている。

従来の SIMS で用いられていた高エネルギー入射されるイオンにくらべて、1keV 以下の低エネルギー入射されるイオンは、固体表面を通過して、固体内部の原子とより複雑な相互作用を行う。このため、低エネルギー1 次イオンを用いる SIMS において、スパッタされる粒子の直接計測から微量元素の深さ分布を推定する際に、従来の SIMS 分析の理論・手法を直接適用して実験結果を解析すると、誤った分析結果を得る。こうした誤った結果を、本論文の著者片岡氏らは「アーティファクト」と呼んでいる。

本論文は、片岡氏がSIMSの専門家として、世界に先駆けて、こうしたアーティファクトの問題に早い時期から取り組み、様々な実験的、理論的研究の末得られた、低エネルギー1次イオン入射SIMSにおける正しい微量元素深さ方向分析手法が示されている。

具体的には、片岡氏は、本研究において、分析精度低下の要因となる物理現象として，次の４つの効果に特に注目した。(1) Transient 効果(スパッタリングが定常に達するまでの間にスパッタリング収率や二次イオン化率などが照射時間に伴って変化する現象)、（２）表面荒れ(測定中に試料表面に凹凸が生じる現象)、（３）アトミックミキシング（スパッタリングの過程で試料中に含有される元素が再分布する現象)、および（４）試料含有元素の拡散・偏析(測定中に試料中に含有される元素が拡散し，界面などに偏析する現象)である。

特に、片岡氏は、Profile shift（測定プロファイルが見かけ上，表面方向にシフトする現象)および Profile broadening（測定プロファイルの形状が見かけ上，膨らんで見える現象)を詳しく調べ、上記物理現象の発生を抑制するとともにこれらのアーティファクトを軽減するための一次イオン照射条件を明確にした。

以上のように、本論文は、低エネルギー1次イオン入射SIMSを用いて、高感度かつ高精度な深さ方向分析結果を得るための手法を世界に先駆けて提案し、微量元素分析の発展に大きく貢献した。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。