

審査結果の要旨

論文提出者氏名 野島 雅

本論文は、近年微細化が進む機能材料・電子デバイスの局所分析を目的とした二次イオン質量分析法の開発およびその評価を行なった成果をまとめたものである。機能材料や電子デバイス開発・製造過程においてはナノレベルでかつ微量元素の分析が求められている。ナノレベルでの元素分布解析法には SCM(Scanning Capacitance Microprobe)や近接場光を用いたラマン分光法などが挙げられるが、微量元素分析においては高感度分析が必須である。二次イオン質量分析(SIMS)法はその特徴の一つとして高感度分析であることが挙げられる。しかしながら、一般にその空間分解能はミクロンオーダーであるため、ナノ領域の元素分布解析を実現するナノビーム SIMS 装置の開発に至った。ナノビーム SIMS 装置の開発においては、高感度な二重収束型の質量分析器に最新の収束イオンビーム(FIB)鏡筒を導入し、装置として高い性能を実現するための装置開発を行なった。さらに本装置のビーム径を詳細に評価することで、ビーム径が分解能に与える影響を考察した。また、二次イオンのユースフルイールドも評価し、実際にナノレベルでの元素分布像を取得することで本研究で目指す目標を達成した。

第 1 章では、近年の電子デバイスの微細化とそこで求められる分析手法についてまとめ、本研究のナノレベルでの局所分析法について有用性を示した。さらに近年 FIB および SIMS 装置の技術動向について示し、本研究の目的および意義を明らかにした。

第 2 章では、ナノビーム SIMS 装置の試作として、主に装置の開発を中心に述べている。装置開発初期においては、振動の影響によりナノレベルでの分析は不可能であった。振動は、要因が異なるいくつかのモードから形成されており、個々の振動に対して調査し対策を行なった。その結果、支配的であった振動は除去されたが、新たに試料動作機構のあそび部分に起因する振動が確認された。したがって、測定試料は FIB 鏡筒に直接配置しかつ二次イオンを高効率で輸送する機構を試作した。これにより、振動の影響を最小限に低減しかつ高感度な分析を可能とした。しかしながら、ここでは測定試料の動作自由度を犠牲にしているため、第 4 章で更なる装置改良を行なっている。

第 3 章では、ナイフエッチ法を用い、ナノビーム SIMS 装置のビームを詳細に評価した。分解能やビーム径は、一般に像観察にて評価されるため曖昧な要素が含まれてしまう。ここでは、ナイフエッチ法で得られたプロフィールからビームおよび測定対象に含まれる要因について独自のモデルを構築することで考察した。モデルではプロフィールは、実効的なビーム・エッチ効果・熱速度成分から形成されており、実効ビーム径は正規分布の標準偏差換算で 22 nm と積算された。また、熱速度成分は液体金属イオン源の温度と共に上昇を示すが、実際の SIMS 分析においては無視できるファクターであることが分かった。

本章で行なったビームの評価法は、本来困難とされたイオンビームのプロファイルの取得を可能とし、客観的評価基準を提唱した点で意義がある。

第4章では、任意のナノ領域の分析を可能とする機構を開発し、装置のコースフルイールドを算出し、さらに二次イオン像の取得を行った。開発された機構は測定試料に四軸の操作自由度を有し、二次イオン輸送光学系は異なる五軸での操作自由度を有している。これにより、高効率での二次イオン検出が可能となった。本機構を用いての装置のコースフルイールドは 1.4×10^5 と見積もられた。この数値は70000個に一つのイオンが検出できることを意味する。更に、10000倍での元素分布像の取得を行った。これによりSIMS法を用いたナノ領域における局所分析が可能となった。

以上、本論文は従来ミクロン領域にしか用いられなかったSIMS法をナノレベルに適用することを目的とし、装置開発を行ないそれを評価したものである。ナノレベルの分析法においては、分解能を評価することがその手法の適用範囲を決定するのに重要である。そこで、独自のモデルを構築し判断基準を設け、それに基づき評価をおこなった点は本研究の特徴的な点である。さらに装置を試作し、実際に元素分布像を取得する段階においても独自の工夫を重ねて研究を行なったことは評価できる。本研究はナノ領域の分析手法のひとつとして大変有望であり、ここで成された成果は今後幅広い分野で生かされると考えられる。

以上のことから、本論文は博士（工学）の学位にふさわしい内容であると判断した。