

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 森田 真人

本論文は、近年のナノテクノロジーの目覚ましい発展に伴う、微小材料の評価・解析に答え得る局所領域分析法として、アトムプローブ顕微鏡(AP)に着目し、その分析原理をより詳細に解明することで、高精度化や汎用性の向上を図ったものである。そのため汎用性の向上をキーワードに設定し、APの汎用性を①分析のし易さ、②分析の信頼性、③応用範囲、の三点から評価し、その中で特に致命的な問題である「測定中の試料破壊」、「不明確な測定条件指針」、「低い再構築計算精度」、「狭い応用範囲」の4点の解決を以下に示す章構成で行った。

第一章 序論

第二章 アトムプローブ装置

第三章 試料破壊の抑制法の開発

第四章 レーザー補助型電界蒸発機構の解明

第五章 試料形状変化の補正による空間分解能の向上

第六章 有機物（炭素主成分）のアトムプローブ分析

第七章 表面反応顕微鏡の開発

第八章 結論

以下、各章について簡単に説明する。

第一章では、近年のナノテクノロジーの発展に伴う材料の微細化・集積化と併せて、これら材料の評価・解析技術に答え得る分析手法としてのAPの位置づけ・意義について述べている。そして、本研究の目的としてAPの汎用性の向上を掲げ、現状APが抱えている問題点を明確にしている。

第二章では、本研究で用いたAP装置について、他のAP装置と比較しながら装置設計と測定方法について述べている。また、試料の作成法をはじめ、AP測定に必要な一連の流れについて触れている。

第三章では、APの致命的な欠点であった電界応力による測定中の試料破壊の

問題とその解決策として新規局所電極の開発について述べている。本研究では新規局所電極という従来の抑制法とは全く違う原理で、非常に独創的な手法で電界応力の低減を行っている。新規局所電極は、先端部分の電界を維持したまま、試料破壊がおこる根元部分の余計な電界を低減することが可能で、試料破壊の抑制が行える。この成果により、破壊の頻度は激減し、分析の成功率は飛躍的に高まり、AP の汎用性の大幅な向上が達成されたことが示されている。

第四章では、レーザーによって支援された電界蒸発の機構を解明することにより、測定条件の明確な指針を確立することで、「分析のし易さ」や「分析の信頼性」の問題の解決を図っている。本研究では、レーザー照射側と陰側に生じる電界蒸発タイミングの差を観測することで、レーザーにより発生した熱が電界蒸発を補助していることを証明し、レーザー照射条件によって変化する測定データについて熱の知見から説明付けることに成功している。

第五章では、レーザー照射によって変形した試料形状が再構築像に及ぼす影響について、試料表面の温度分布と材料固有の電界蒸発確率の温度依存性からその補正方法を提案している。さらに実際の測定において、その補正方法を用い、試料形状の変化の影響を補正することに成功し、分析精度が著しく向上したため、分析の信頼性の問題が改善されたことを示している。

第六章では、AP の応用分野を広げるために、グラファイトや CNT を用いて有機物の分析の知見の取得を行い、有機物の AP 分析の可能性について検討している。

第七章では、AP の汎用性を向上させるため AP を利用した新たな分析原理である表面反応顕微鏡の提案を行っている。また表面反応顕微鏡に関連した、いくつかの実験をすることでその実現の可能性を示している。

第八章では、第一章で掲げた目的と照らし合わせて、第三章～第七章までの成果を纏め、本論分によって、AP の汎用性の大幅な向上が達成されたことを示している。しかし一方で、今後に残る課題を挙げ、本研究の展望について述べている。

以上から、AP の汎用性を低下させている原因となっている①測定の困難さ、②データの信頼性、③適用材質の制限、の 3 つの問題は、本研究成果によって大幅に改善されたため、AP の汎用性の大幅な向上が達成された。そして、AP が次世代のナノテクノロジー材料を評価・解析することに応え得る分析装置へと発展することに、多大なる貢献を行うことができた結論付けることができる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。