

3次元電子顕微鏡の研究開発

I 試験研究の全体計画

1. 研究の趣旨

現在、我々の周りには環境、エネルギー関連などの諸問題が増大している。一方、真に豊かな生活への要求も強く、これらを実現する社会の構築が強く求められている。この対応のためには科学・技術、なにかんずく、高機能材料、先端デバイス等の開発への関心が高まっている。これを実現するためには、本質に迫ることを可能とする先端的計測ツールの知的基盤整備を行うことが、必要となっている。

材料、デバイス等の高性能化、あるいは新しい高機能材料、新デバイスの創出は、原子レベルの微細構造を制御することによって達成される。例えば、耐熱高強度セラミックスや半導体レーザーなどでは、結晶中の欠陥や不純物などの空間分布、元素の結合状態や種類によって特性が決定される。それらの機能、特性などを含めた微細構造評価、新現象の発見には、原子レベルでの3次元観察と高精度な結合状態や元素の分析が必要不可欠である。

このように微細構造の計測技術は、重要であるにもかかわらず、従来の計測技術では内部構造の2次元的な観察しかできないことや、ナノメートル領域の元素結合状態を高精度で測定できないなどの問題があり、新しい装置の実現が必要とされている。

本開発は、このような状況に鑑み、次世代材料、デバイス等の研究において、飛躍的進歩（ブレイク・スルー）を可能とする固体内部構造をサブナノメートルオーダーの分解能で立体観察するとともに、元素の種類と結合状態を分析でき、さらに、科学・技術の広い範囲に波及効果を及ぼす研究支援ツールである「3次元電子顕微鏡」を開発、提供することにある。そのために、以下の研究開発を行う。

まず、第I期において、要素技術の開発と、その評価を行うテストベンチとして、3次元電子顕微鏡の試作機の開発を行う。そのために、①3次元電子顕微鏡の装置構成技術に関する研究およびシステムの開発、②3次元電子顕微鏡の画像処理技術に関する研究、③3次元電子顕微鏡による材料、デバイス構造評価に関する研究、④3次元電子顕微鏡の評価技術および標準試料作製技術に関する研究、を行う。次に第II期では、これら第I期の評価結果に基づき、さらなる高機能化、適応性向上を図り、初期の目標性能を発揮する3次元電子顕微鏡を開発する。

2. 研究概要

研究の飛躍的進歩を可能にし、また、波及効果の大きい

先端的3次元観察・分析装置を目指して、固体内部構造を0.5nm以下の空間分解能で立体観察するとともに、元素の結合状態と元素の種類をエネルギー分解能0.5eV以下で分析する3次元電子顕微鏡を開発する。そのために、以下の研究開発を行う。

(1) 3次元電子顕微鏡の装置構成技術に関する研究およびシステムの開発

高空間分解能の3次元像観察と高エネルギー分解能の結合状態・元素分析に資するため、試料微動系、超高真空系、電子線照射・検出系、電子エネルギー分析系等の装置構成技術の研究するとともにシステムの開発を行う。

① 試料微動系・超高真空系に関する研究およびシステムの開発（理化学研究所）

高精度な3次元観察に資するため、ナノメートルオーダーに管理した微動系により、試料の位置と傾斜角度を高精度で制御する試料ステージおよび複雑な微動メカを内包する試料室の超高真空化技術に関する研究およびシステムの開発を行う。

② 電子線照射・検出系に関する研究（日立製作所）

高S/Nかつ高分解能な3次元観察に資するため、高輝度な電子線をサブナノメートル径に収束する電子レンズおよび高感度、高解像度電子検出系により、試料への電子線入射条件制御と、試料内で散乱された電子の高S/N検出を行う電子線照射・検出系に関する研究を行う。

③ 電子エネルギー分析系に関する研究（日立製作所）

高精度な結合状態、元素分析に資するため、低収差化電子光学系と高安定化電気回路により、試料を透過した電子のエネルギーを高分解能で測定する電子エネルギー分析系に関する研究を行う。

(2) 3次元電子顕微鏡の画像処理技術に関する研究

高精度、高速な3次元データの取得と電子顕微鏡操作のユーザフレンドリー化に資するため、高精度・高速CT画像処理と観察操作自動化用画像処理等の画像処理技術の研究する。

① 高精度・高速CT画像処理に関する研究（理化学研究所）

高精度・高速な3次元データの取得に資するため、離散データ群から立体像を画像処理や3次元データの高速処理により、試料を傾斜しながら観察した複数の電子顕微鏡像から立体微細構造を再構築する高精度・高速CT画像処理に関する研究を行う。

② 観察操作自動化用画像処理に関する研究（工学院大学）

電子顕微鏡操作のユーザフレンドリー化に資するため、

位相スペクトル法や相互相関法の画像演算処理により、電子顕微鏡像の焦点、非点、視野ずれ等を高精度で検出し、かつ、それらを自動的に補正する観察操作自動化用画像処理に関する研究を行う。

(3) 3次元電子顕微鏡による材料、デバイス構造評価に関する研究

開発した3次元電子顕微鏡の高度な活用に資するため、電子顕微鏡像の観察法とデータ解析法、エネルギー分析データの測定法とデータ解析法を研究する。

① 電子顕微鏡像の観察法とデータ解析法に関する研究 (名古屋大学)

3次元電子顕微鏡の活用の高度化に資するため、電子顕微鏡像の暗視野高分解能観察条件の決定および原子配列構造の理論解析法の開発により、3次元電子顕微鏡の画像データから材料、デバイス構造の情報を最大限に抽出する電子顕微鏡像の観察法とデータ解析法に関する研究を行う。

② エネルギー分析データの測定法とデータ解析法に関する研究 (日本原子力研究所)

3次元電子顕微鏡の活用の高度化に資するため、空間分解されたエネルギー分析データの測定とスペクトル処理、および画像スペクトルデータの多次元拡張により、3次元電子顕微鏡の分析データから原子レベルの元素分布や結合状態を解析するエネルギー分析データの測定法とデータ解析法に関する研究を行う。

(4) 3次元電子顕微鏡の評価技術および標準試料作製技術に関する研究 (理化学研究所)

開発した3次元電子顕微鏡の性能評価に資するため、原子あるいは原子層の単位で原子配列や組成を制御した量子微細構造やSi超微粒子等により、3次元電子顕微鏡で測定された内部微細構造や結合状態・元素のデータが、妥当なものであるかどうかを実験的に確認するための評価技術および標準試料に関する研究を行う。

3. 年次計画

研究項目	9年度	10年度	11年度	12年度	13年度
(1) 3次元電子顕微鏡の装置構成技術に関する研究およびシステムの開発					
① 試料微動系・超高真空系に関する研究及びシステムの開発	Design Review	第1期装置設計・製作		第2期装置設計・製作	取りまとめ
② 電子線照射・検出系に関する研究			調整・評価	調整・評価	
③ 電子エネルギー分析系に関する研究	要素技術開発	評価及び高度化検討		要素技術及びシステムの高度化	取りまとめ
(2) 3次元電子顕微鏡の画像処理技術に関する研究					
① 高精度・高速CT画像処理に関する研究	アルゴリズム検討	CT画像処理法の開発		CT画像処理法の高速・高精度化	取りまとめ
② 観察操作自動化用画像処理に関する研究	アルゴリズム検討	自動化用画像処理法の開発		自動化用画像処理法の高機能化	取りまとめ
(3) 材料、デバイス構造評価に関する研究					
① 電子顕微鏡像の観察法とデータ解析法に関する研究	理論検討	像観察、データ解析法の開発		像観察、データ解析法の高度化	取りまとめ
② エネルギー分析データの測定法とデータ解析法に関する研究	理論検討	スペクトル測定、データ解析法の開発		スペクトル測定、データ解析法の高度化	取りまとめ
(4) 3次元電子顕微鏡の評価技術および標準試料作製技術に関する研究					
		仕様検討	第1期用評価法・標準試料開発	第2期用評価法・標準試料開発	取りまとめ
所要経費(合計)	229百万円				

II 平成9年度における実施体制

研究項目	担当機関	研究担当者
(1) 3次元電子顕微鏡の装置構成技術に関する研究およびシステムの開発 ① 試料微動系・超高真空系に関する研究およびシステムの開発 ② 電子線照射・検出系に関する研究 ③ 電子エネルギー分析系に関する研究	理化学研究所研究基盤技術部表面解析室 理化学研究所研究基盤技術部極限計測技術室 理化学研究所研究基盤技術部極限環境技術室 理化学研究所研究基盤技術部素形材工学研究室 ㈱日立製作所中央研究所先端技術研究部 ㈱日立製作所計測器事業部科学機器第一設計部	岩木正哉 新野俊樹 渡部秀 山形豊 柿林博司 砂子沢成人
(2) 3次元電子顕微鏡の画像処理技術に関する研究 ① 高精度・高速CT画像処理に関する研究 ② 観察操作自動化用画像処理に関する研究	理化学研究所研究基盤技術部極限環境技術室 工学院大学電気工学科電子顕微鏡研究室	加瀬 究 馬場 則男
(3) 材料、デバイス構造評価に関する研究 ① 電子顕微鏡像の観察法とデータ解析法に関する研究 ② エネルギー分析データの測定法とデータ解析法に関する研究	名古屋大学工学部応用物理学教室 日本原子力研究所東海研究所 材料研究部固体物理研究室	田中 信夫 倉田 博基
(4) 評価技術および標準試料作製技術に関する研究	理化学研究所半導体工学研究室	青柳 克信

III 運営委員会

委員	所 属
○岩木正哉	理化学研究所 研究基盤技術部表面解析室室長
青柳克信	理化学研究所 半導体工学研究室主任研究員
砂子沢成人	㈱日立製作所 計測器事業部科学機器第一設計部主任技師
柿林博司	㈱日立製作所 中央研究所先端技術研究部主任研究員
倉田博基	科学技術庁 日本原子力研究所東海研究所材料研究部固体物理研究室副主任研究員
田中 信夫	名古屋大学 工学部応用物理学教室助教授
馬場 則男	工学院大学 電気工学科電子顕微鏡研究室教授

(注：○は運営委員長)