

Title	半導体デバイス・材料評価のための分析電子顕微鏡の高度化に関する研究
Author(s)	高口, 雅成
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/61853">https://doi.org/10.18910/61853</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 高口 雅成 )

論文題名

半導体デバイス・材料評価のための分析電子顕微鏡の高度化に関する研究

## 論文内容の要旨

本論文は、筆者が1989年から現在までに株式会社日立製作所中央研究所在職中に行ってきた分析電子顕微鏡装置開発とこれを用いた半導体・材料評価に関する研究と、2010年から大阪大学大学院情報科学研究科において行った分析電子顕微鏡における軽元素の高感度化に関する研究成果をまとめたものであり、次の5章から構成されている。

第1章は、半導体デバイス、材料におけるナノ計測の課題とこれに対応した本研究の目的および達成するための課題について述べ、また本論文の構成を説明する。

第2章では、格子像レベルの高倍率で非点・焦点補正に使える高感度電子顕微鏡用撮像装置の開発について述べる。材料応用研究においては、定量的、動的かつデジタルデータとしてのデータ取得が重要であることを認識した。これに対応するため、分析電子顕微鏡の高度化を図ることとした。まずデータを電氣的に高速で撮像する装置を開発した。静止画記録用撮像装置としては、CCDカメラが一般的であるが、ここでは、ハービコン撮像管を応用した高感度な2次元撮像装置を開発した。特に性能を最大化するために電子を光に変換するシンチレータの材質と構造の最適化を行ったので、その詳細について述べる。次に、走査透過型電子顕微鏡のための電子線検出器について説明する。電子線をナノメートルサイズに収束して試料面上で走査する走査透過型電子顕微鏡(STEM)は試料構造を反映した透過像のみならず、X線分析器と組み合わせた分析電子顕微鏡としての機能が有用である。ここでもシンチレータ構造の最適化が性能向上に重要な役割を担ったことから、その詳細について述べる。

第3章では、試料を多方向から観察して3次元像を得る3次元電子顕微鏡法の開発と評価結果について述べる。材料やデバイスの観察や分析が高度化していく中、透過型の電子顕微鏡法においては、得られる2次元像は電子線進行方向に対する積算像であり、試料の持つ奥行き構造は像上に積算されてしまい分離できないという本質的課題があった。この問題に対して、高精度に多方向からの観察を行う試料ステージやホルダ、試料作製法を検討し、CT処画像理技術を融合した3次元電子顕微鏡法を開発したので、装置開発と評価結果の詳細について述べる。

第4章では、走査透過電子顕微鏡をベースにした半導体デバイス解析装置の開発と応用、すなわち、分析電子顕微鏡機能を高感度化することで、従来不可能だったMOSトランジスタにおけるドーバントプロファイルの可視化を行った。n型についてはEDX型X線分析システムを高感度化することで2次元プロファイルの評価を可能とした。p型については、WDX型X線分析器を応用し、X線集光レンズを改良することで高感度化を実現した。これについては1次元のイオン打ち込み試料にてドーバントレベルの高感度分析が可能であることを示した。本章ではそれぞれの装置原理と性能評価結果について述べる。

第5章では、本研究で得られた結論をまとめ、設定した当初目標と得られた成果の比較を行うと共に、今後の課題と対策について述べる。

以上。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (高口 雅成)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	中前 幸治
	副 査	教 授	尾上 孝雄
	副 査	准教授	三浦 克介
	副 査	特任教授	谷口 研二 (工学研究科附属オープンイノベーション教育研究センター)
<b>論文審査の結果の要旨</b>			
<p>本論文は、半導体デバイス・材料評価のための分析電子顕微鏡の高度化に関する研究をまとめたものである。得られた主な成果は次の通りである。</p> <p>(1) 半導体デバイス、材料のナノメートルサイズの分析・評価における電子顕微鏡を用いた計測の現状について議論し、課題を明らかにしている。</p> <p>(2) 透過電子顕微鏡観測データを電氣的に高速で撮像するため、ハーピコン撮像管を応用した高感度な2次元撮像装置を開発している。さらに、性能を最大化するために電子を光に変換するシンチレータの材質と構造の最適化を図っている。</p> <p>(3) 半導体材料の3次元走査電子顕微鏡像を得るために、多方向から高精度に観察が可能な試料ステージ、試料ホルダ、試料作製法を検討している。これらの検討結果とCT画像処理法を用いて3次元走査電子顕微鏡法を確立している。</p> <p>(4) 走査透過電子顕微鏡をベースにしたX線分析装置(EDX型とWDX型)に、位相限定法という高感度な位置ずれ計測画像処理法を用い、実時間でドリフト計測し、その情報を用いて電子ビーム照射位置を補正している。これにより、長時間の観測が可能になり、感度が向上している。半導体デバイスのn型ドーパントについてはEDX型X線分析システムにより可視化が可能になっている。さらに、WDX型X線分析器のX線集光レンズを改良することで高感度化している。これにより、半導体デバイスのp型ドーパントプロファイルの可視化をも可能にしている。</p> <p>以上のように、本論文は半導体デバイス・材料評価のための分析電子顕微鏡の高度化に関して多くの新しい知見を含んでおり、情報システム工学の発展に寄与するところが大きい。よって、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。</p>			