

氏 名	木 村 けんじろう
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2658 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 子 工 学 専 攻
学位論文題目	走査型容量原子間力顕微鏡法の開発と半導体デバイスへの応用

論文調査委員	(主 査) 教 授 松 重 和 美	教 授 北 野 正 雄	教 授 酒 井 明
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では高精度な2次元キャリア密度分布計測手法を確立することを目的として、原子間力顕微鏡の高感度な力検出技術を利用した容量計測法である走査型容量原子間力顕微鏡(SCFM)法を新規に開発し、その基本特性を理論的および実験的に原理検証を行い、さらに実デバイスの注入領域におけるキャリア密度解析に適用した一連の研究成果を取りまとめたものであり、以下に示す7章から構成されている。

第1章では、半導体デバイスの縮小化における2次元キャリア密度分布設計の重要性について言及している。その中で、短チャネル効果を抑制するためには、デバイスが極浅接合、パンチスルーストッパー等を備える必要があり、これらに由来する複雑な2次元不純物濃度分布を高精度に計測できる技術が次世代デバイス開発に不可欠であることを述べている。さらに、従来のプローブ顕微鏡を応用した各種2次元キャリア密度分布計測技術のうち、実用的な観点から走査型容量顕微鏡(SCM)が最も有望であることを示すと同時に、その定量性と空間分解能に関する問題点を指摘している。それらを踏まえた上で、SCMの性能を上回る可能性を持つ新しい概念に基づいた走査型容量原子間力顕微鏡(SCFM)法を開発することを本論文の目的として示している。

第2章では、SCFM法と関連の深いSCMおよびケルビンプローブ顕微鏡(KFM)に関してそれらの原理および装置構成の詳細を述べ、特にSCMに関しては解決すべき課題を明らかにしている。

第3章では、本研究で開発したSCFM法の原理を記述し、従来手法であるSCMおよびKFMに対する優位性を示している。さらに、SCFM法を実現するための装置構成を紹介し、接触モードおよびダイナミックモードの原子間力顕微鏡(AFM)に適用可能であることを説明している。また、SCFM装置の特徴として静電気力の高調波成分を高感度に検出するために、接触モードではカンチレバーの接触共振、ダイナミックモードではカンチレバーの2次共振を利用する方法を提案している。また、SCFM法の基本特性を明らかにするために、各種近似モデルに基づいたSCFM信号の数値解析結果を示しており、定量的なキャリア密度分布を取得するための設定すべき必要条件を明らかにしている。

第4章では、SCFM法の原理検証を実験的に行った結果について述べている。その中で、SCFM信号—キャリア密度特性との関係、およびpn接合位置が探針電位に依存することを明らかにしており、局所領域におけるSCFM信号—探針電位特性の計測が、高精度なキャリア密度測定および接合位置の同定に必須であることを示している。一方、SCFM測定上の問題点として、探針電位による測定履歴の発生およびカンチレバーの変位検出用レーザー光による光生成キャリアに起因したSCFM信号変化を指摘しており、ピエゾ抵抗素子や圧電薄膜等を備えた自己検出型カンチレバーの利用が望ましいことを示している。さらに、一連の基本特性に関する実験結果をもとに、SCFM信号からキャリア密度を算出するモデルを構築することを前提に、測定方法上考慮すべき点を明らかにしている。

第5章では、SCFM法を実デバイスの2次元キャリア密度分布計測に適用した結果について述べている。その中で、2次イオン質量分析法による1次元不純物濃度プロファイルとSCFM信号プロファイルを比較することによって、半定量的

な2次元不純物濃度分布を取得可能であることを実証している。さらに、デバイスを動作させた状態で2次元キャリア密度分布を計測可能にさせる新たな試料作製法を提案し、それを利用することによってサブシュレッシュヨールド特性における2次元反転層形成過程の直接計測に成功した結果を示している。

第6章では、SCFM, KFM等のカンチレバーの複数の共振モードを利用して高精度な探針—試料間距離制御および静電気力検出を同時に達成するために、特殊共振構造を有するカンチレバーを提案している。2種類の構造即ち、弾性ヒンジ構造と動吸振器構造を備えるカンチレバーを提示し、それらを用いてSCFMの高感度化に成功した結果を示している。

第7章では、本研究を総括し、今後の展開について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、2次元キャリア密度分布計測技術である走査型容量原子間力顕微鏡（SCFM）法を新規に開発し、半導体デバイス評価へ応用した一連の成果を取りまとめたものである。本論文によって得られた主な研究成果は以下の通りである。

1. 表面電位分布計測技術であるケルビンプローブ顕微鏡（KFM）と半導体容量計測技術である走査型容量顕微鏡（SCM）の概念を基に、双方の利点を兼ね備えた新しい半導体キャリア密度計測手法としてSCFM法を提案した。

2. 各種近似モデルに基づいてSCFM信号の基本特性に関する数値解析を行い、定量キャリア密度計測を実施するために設定すべき測定パラメータの必要条件を示した。

3. SCFM法において使用する探針先端面積に比べ、十分広い領域においてキャリア密度一定である評価用試料を用いてSCFM法の原理検証を行った。その結果、SCFM法で得られる変位微分容量—探針電位特性とキャリア密度には密接な関係が存在することを示し、キャリア密度を定量評価するためにはこの特性の測定が必須であることを示した。

4. SCFM法を実デバイスのソースドレイン領域におけるキャリア密度分布評価に適用し、定量手法として知られている2次イオン質量分析法（SIMS）の測定結果と比較することにより、半定量的な2次元不純物濃度分布が得られることを実証した。

5. 駆動状態のMOSデバイスにおけるキャリア密度分布計測を実現するための試料作製法の開発を行い、サブシュレッシュヨールド特性における2次元反転層形成過程の直接計測に成功した。

以上、本論文では新しい半導体キャリア密度計測手法としてSCFM法を開発するとともに、それを用いた2次元キャリア密度計測が次世代電子デバイスの動作メカニズムを解明する上で重要な知見を与えることを明らかにしており、学術上、実用上、寄与するところが多い。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものとして認める。また、平成18年2月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。