

氏 名	近 藤 正 樹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1827 号
学位授与の日付	平成 11 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	工学研究科電子通信工学専攻
学位論文題目	MOSFET のパラメータ抽出と統計的モデル化に関する研究

(主査)

論文調査委員 教授 田丸啓吉 教授 松波弘之 教授 中村行宏

論 文 内 容 の 要 旨

集積回路技術の進歩により、微細素子を使用した回路動作の解析と検証が重要になってきている。回路解析には回路シミュレータが使用されているが、回路シミュレーションの信頼性は、計算に使用するMOSFETのモデルの精度に大きく依存する。しかし現在までに微細MOSFETの2次元的あるいは3次元的効果を全て正確に記述できるモデルは存在しない。今後も素子寸法の更なる微細化で種々の新たな微細効果が問題になると予測され、新規モデルが登場すると考えられる。回路設計に素早く着手するためには、各種MOSFETモデルの性能を短時間で比較評価して最適なモデルを選択するための革新的な手法が必要である。本論文は、回路シミュレーションの基本要素技術であるパラメータ抽出手法と素子ばらつきを考慮した統計的モデル化手法の2点を対象として、MOSFETモデルの種類を選ばない系統的な手法の実現について述べている。論文は5章から構成されている。

第1章は序論で、本論文の基本的事項と研究の概要および論文の構成について述べている。本研究の特徴は、パラメータ抽出および統計的モデル化の両問題に対して、中間モデルという共通の概念を適用した点にある。概念的な問題解決の手順は、第1段階で実測した電気特性に含まれる情報の中から有意な情報のみを抽出して、中間モデルという形で一括して整理する。次に第2段階で中間モデルに含まれる情報を対象とするMOSFETモデルにマッピングする。中間モデルの形式はそれぞれの手法に固有のものであって、MOSFETモデルの種類には依存しない。従って、第1段階はモデルに依存しない共通の手順である。第2段階はモデルに固有の手順である。つまり、モデル非依存部分とモデル依存部分を明確に分解して階層化するというのが中間モデル導入の目的である。これによって、手法の規則化および系統化を実現している。

第2章では、多くのMOSFETモデルに対して系統的に適用できるパラメータ抽出手法を提案している。本手法を用いることで、MOSFETモデルの性能評価および回路シミュレーションへの適用までの作業がわずかな労力でできる。まず、中間モデルの概念について説明し、その具体的な構成方法を紹介している。MOSFETの動作原理を表す長チャネルMOSFET基本方程式から、普遍的な共通構造を抽出し、MOSFETの物理方程式と基本的パラメータからなる中間モデルと中間パラメータを得る。中間パラメータはモデルに依存しない一定の方法で計算できるので、個別のMOSFETモデルのパラメータに変換する。この場合計算できるのは物理的意味の明確なパラメータのみで、残りのパラメータは数値的に合わせ込む。5種類のMOSFETモデルを用いた実験の結果を示し、提案手法の有効性を検証している。

第3章では、MOSFETモデルの種類を選ばない統計的モデル化手法を提案している。本手法を用いれば、形状や物理的な条件のばらつきを正確に反映した統計モデルが容易に得られる。まず、統計的モデル化問題に対して中間モデルの概念を導入する方法について説明している。MOSFETのパラメータは素子の物理量と電気特性量で決まる。物理量と電気特性量の関係を統計的に解析し、次に電気特性量とパラメータの関係を解析する。その結果パラメータのばらつきを物理量で表すことができる。このようにして、電気特性量という中間状態を介して物理量空間のばらつき情報をパラメータ空間に写像する。中間状態を定義する手段として中間モデルを導入する。ばらつきの中間状態は中間モデルのパラメータに関する統計情

報として表現される。中間モデルを用いた統計的モデル化の手順を詳細に説明し、中間パラメータのばらつきを説明するのに必要な物理量は6種類であることを明らかにしている。また先端微細プロセスの実測データを用いた実験の結果を示し、提案手法の有効性を検証している。

第4章では、本研究が提案するパラメータ抽出手法および統計的モデル化手法を実装したCADシステムの試作例について述べている。同CADシステムを使用して設計した電流モード循環型AD変換器の実例を示し、提案手法の有効性を総合的に確認している。

第5章は結論で、本論文の内容をまとめている。

論文審査の結果の要旨

集積回路技術の進歩にともない、微細素子を用いた回路の動作解析の精度が問題になってきた。回路動作の解析に使用する回路シミュレーションの信頼性は、計算に使用するMOSFETのモデルの精度に依存している。しかし現在まで微細化による影響を全て正確に記述できるモデルは存在していない。

本論文は回路シミュレーションの基本要素技術であるMOSFETパラメータ抽出手法と素子特性のばらつきを考慮した統計的モデル化手法について、MOSFETモデルの種類に独立な、系統的な手法を実現した研究成果をまとめたもので、得られた主な結果は以下のとおりである。

1. パラメータ抽出および統計的モデル化の両問題に対して、中間モデルという共通の概念を適用する手法を考案した。この手法では、概念的な問題解決の手順として、実測した電気特性に含まれる情報の中から有意な情報のみを抽出して中間モデルを作る共通手順である第一段階と、中間モデルに含まれる情報を、対象とする個別のMOSFETモデルに写像する固有手順である第二段階から成る階層的形式をとっている。これにより手法の規則化と系統化を実現した。
2. MOSFETの動作原理を表す物理方程式と基本的パラメータからなる中間モデルおよび中間モデルのパラメータを求める方法と個別モデルのパラメータに変換する方法を導いた。この方法により多種類のMOSFETモデルに対して系統的に適用できるパラメータ抽出手法を確立した。5種類のMOSFETモデルを用いた実験を行い、本手法の有効性を示した。
3. 電気特性量を中間状態として、物理量空間のばらつき情報をMOSFETのパラメータ空間に写像する統計的モデル化手法を考案した。中間状態を定義する手段として中間モデルを導入し、ばらつきの中間状態は中間モデルのパラメータに関する統計情報として表現する。本手法により形状や製造条件のばらつきを正確に反映した統計モデルが容易に得られることを実測データを用いた実験で検証した。
4. 上記のパラメータ抽出手法と統計的モデル化手法を実装したCADシステムを試作し、実際のアナログ集積回路の設計に使用して、本手法の有効性を総合的に確認した。

以上要するに本論文は、中間モデルという共通の概念を適用する手法を考案し、この中間モデルを使用して、多種類のMOSFETモデルに普遍的に適用できるパラメータ抽出および統計的モデル化の手法を確立した成果をまとめたもので、得られた結果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成11年2月10日に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。