Osaka University Knowledge Archive

Title	微細半導体素子のデバイスシミュレーションに関する研究
Author(s)	園田, 賢一郎
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39737
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【37】

氏名	園田賢一郎（そのだけんいちろう）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 12496 号
学位授与年月日	平成8年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子工学専攻
学位論文名	**微細半導体素子のデバイスシミュレーションに関する研究**
論文審査委員	（主査） 教授 濱口 智尋 教授 吉野 勝美　教授 西原 浩　教授 尾浦憲治郎 教授 溝口理一郎

論文内容の要旨

本論文は微細半導体素子のデバイスシミュレーションに関する研究の成果をまとめたもので，以下の7章により構成されている。

第1章では，半導体素子のデバイスシミュレーションに関する研究の歴史的背景や発展について述べ，本研究の目的と位置付けを明確に示している。

第2章では，デバイスシミュレーションの基本方程式であるBoltzmann輸送方程式とPoisson方程式について述べている。まず，キャリア輸送の半古典的モデルからBoltzmann輸送方程式を導出し，その適用限界について述べている。つぎに，電磁界を記述するMaxwell方程式からPoisson方程式を導出し，その適用限界について述べている。

第3章では，デバイスシミュレーションの基本方程式の代表的な解法であるモンテカルロ法とモーメント法について述べている。まず，モンテカルロ法をバンド構造の表現方法で分類した後，本研究で使用したモンテカルロ法について述べている。つぎに，モーメント法の基本方程式であるモーメント保存式をBoltzmann輸送方程式から導き，さらに現在のデバイスシミュレーションで広く用いられているドリフトー拡散モデルとエネルギー輸送モデルがモーメント法から導かれることを述べている。

第4章では，モーメント法の基本方程式であるPoisson方程式とモーメント保存式とを有限差分法を用いて数値的に解く方法について述べている。まず，コントロールボリューム法を用いた有限差分法と，その利点について述べている。つぎに，この方法を用いて離散化したPoisson方程式とモーメント保存式を示している。

第5章では，ドリフトー拡散モデルを用いたデバイスシミュレーションにおいてインパクトイオン化を高精度に予測する手法について述べている。まず，微細MOSFET（Metal−Oxide−Semiconductor Field Effect Transistor）のドレイン近傍の高電界領域における電界を記述する擬2次元モデルで与えられる電界の下で，インパクトイオン化をモンテカルロ法を用いて定量的に評価し，インパクトイオン化が電界と電界の変化率だけで表現可能であることを初めて見いだしたことを示している。そして，従来は単にフィッティングパラメータと見なされていたインパクトイオン化モデルのパラメータを電界の変化率の関数として表現している。つぎに，このインパクトイオン化モデルを用いて基板電流を解析式で表現し，特性長の実験式と理論式との違いが電界の空間変化に起因することを初めて明らかにしたことを述べている。さらに，新しいインパクトイオン化モデルをドリフトー拡散モデルを用いたデバイスシミュ

レーションに適用した計算結果を示し，インパクトイオン化の予測精度を向上させたことについて述べている。

第6章では，エネルギー輸送モデルを用いたデバイスシミュレーションにおいてインパクトイオン化を高精度に予測する手法について述べている。まず，インパクトイオン化を平均エネルギーだけで表すことの問題点を，モンテカルロ法で求めた電子のエネルギー分布を用いて明らかにしている。そして，平均エネルギーだけでなく平均2乗エネルギーも用いると不均一電界の下でのインパクトイオン化を正確に表現できることを初めて見いだしたことを示している。つぎに，エネルギー輸送モデルを用いたデバイスシミュレーションで平均2乗エネルギーを計算するために開発した方法を示している。そして，新しいインパクトイオン化モデルと上記の方法とを，エネルギー輸送モデルを用いたデバイスシミュレーションに適用して得られた計算結果を示している。

最後に，第7章において本研究による成果をまとめ，総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

半導体素子の微細化とともに，素子の電気的特性を数値計算によって予測するデバイスシミュレーションを用いてLSIを効率的に開発することが必須となってきている。デバイスシミュレーションで信頼性の高い解を得るためには，そこで用いられている物理モデルの適用限界を明らかにしておく必要がある。本論文では，このような背景に基づいて，現在最も信頼できる計算手法であるモンテカルロ法を用いて微細半導体素子内のインパクトイオン化を検証し，インパクトイオン化に対する従来のモデルの問題点を解明して新たなモデルを提案している。その研究成果の要点はつぎの通りである。

擬2次元モデルの特性長を用いたインパクトイオン化のモデル化に関する研究からは以下のことが解明されている。

(1)擬2次元モデルで与えられる不均一電界下のインパクトイオン化を，モンテカルロ法を用いて計算し，電界と擬2次元モデルの特性長とを用いてモデル化している。そのモデルの物理的な意味をキャリア輸送理論を用いて説明し，従来は単にフィッティングパラメータとして取り扱われていたインパクトイオン化モデルの係数がMOSFETの物理的寸法のみの関数で表されることを示している。

(2)(1)で得られたインパクトイオン化モデルを用いて微細MOSFETの基板電流を解析式で表し，従来から指摘されていた擬2次元モデルの特性長に対する理論式と実験式との矛盾が，インパクトイオン化が均一電界下と不均一電界下とで異なることに起因することを示している。

(3)(1)で得られたインパクトイオン化モデルを現在最も広く用いられているドリフト－拡散モデルを用いたデバイスシミュレーションに適用し，基板電流を高速で高精度に計算可能であることを示している。

分布関数のモーメントを用いたインパクトイオン化のモデル化に関する研究からは以下のことが解明されている。

(4)電子のエネルギー分布関数は，均一電界，不均一電界に関わらず，平均エネルギーと平均2乗エネルギーの二つのモーメントで正確に表現できることを示し，エネルギー分布関数をモーメントで表したモデル式を示している。

(5)(4)で得られた分布関数のモデル式を用いて，インパクトイオン化を二つのモーメントで表したモデル式を示している。

(6)エネルギー輸送モデルを用いたデバイスシミュレーションにおいて，平均2乗エネルギーを求めるために開発した手法を示している。

(7)(5)で得られたインパクトイオン化のモデル式と，(6)で得られた手法とを用いて，n^+nn^+構造とMOSFETにおけるインパクトイオン化を計算した結果，モンテカルロ法で得られた値に近い解が得られることを示している。

以上のように，本論文は，デバイスシミュレーションにおけるインパクトイオン化の計算について多くの知見をもたらし，デバイスシミュレーションを用いたLSI開発に重要な情報を提供するもので，電子工学に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。