



Title	量子格子気体法による極微細素子内部の電子波伝搬解析に関する研究
Author(s)	酒井, 敦
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46976
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。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名 ^{さか}酒 ^い井 ^{あつし}敦

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 20336 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 18 年 3 月 24 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第4条第1項該当

工学研究科電子情報エネルギー工学専攻

学 位 論 文 名 量子格子気体法による極微細素子内部の電子波伝搬解析に関する研究

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 谷 口 研 二

(副査)

教 授 谷 野 哲 三

教 授 北 山 研 一

教 授 片 山 光 浩

助 教 授 松 岡 俊 匡

助 教 授 丸 田 章 博

助 教 授 森 伸 也

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は極微細素子内部の電子波伝搬の解析に関する研究の成果をまとめたものであり、全6章で構成されている。

第1章では量子コンピュータの歴史とそれを利用することによって量子系を高速にシミュレートできる量子格子気体法 (QLGA) について紹介した後、本研究の背景と目的について概略を述べた。

第2章では、1次元周期境界条件の下での量子格子気体法モデルをデバイスシミュレーションに適用するために、多次元開放系のモデルへと拡張した。Schrodinger 方程式の解析解と量子格子気体法のシミュレーション結果を比較することにより、提案したモデルの妥当性を示した。

第3章では、薄膜 SOI MOSFET 中のキャリア輸送が、Si/SiO₂ 界面の凹凸によってどのような影響を受けるかを調べた。薄膜 SOI 構造を模した2次元および3次元の量子ポイントコンタクトのチャネル内に界面ラフネスがあると仮定し、QLGA シミュレーションを実行した。凹凸の向き方によってキャリアの透過係数が異なるが、2次元と3次元でそのばらつき度合に差があることから、極微細素子の特性ばらつきを正確に見積もるためには3次元シミュレーションが必要であることを明らかにした。

第4章では、プラズマ振動によりバイアス電圧が時間的に揺らいでいる場合に、極微細素子内のトンネル現象が受ける影響について調べた。MOSFET のゲートリーク電流および n-in ダイオードのソース・ドレイントンネル電流を解析した結果、入射電子のトンネル時間とポテンシャル揺らぎの周波数に依存して透過係数が変化することから、特に低バイアス領域でトンネル電流が増大することを示した。

第5章では、界面ラフネスがあるポテンシャル障壁へのトンネル効果を、2次元 QLGA シミュレーションを用いて解析した。従来、MOSFET のゲートリーク電流は1次元系のトンネル解析が主流であったが、酸化膜厚が 1 nm 程度にまで薄くなりつつある現状を踏まえると、Si/SiO₂ 界面の凹凸が膜厚揺らぎに与える影響は無視できないことから、1次元のトンネル解析の問題点を指摘した。また、界面ラフネス散乱によって入射波の界面平行方向運動量の一部が垂直方向運動量に変化し、その結果、透過係数が大きく変化することを示した。さらに、簡易ラフネスを仮定したシミュレーションを通して、界面ラフネス散乱の影響を考慮したトンネルモデルを提案し、その妥当性を示した。

第6章では、本論文で取り上げた各研究の成果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

MOSFET に代表される半導体デバイスは急激な勢いで微細化が進んでおり、今やそのサイズはナノメートルの領域にまで達しつつある。そのような極微細素子においては、その動作に量子効果が本質的な意味を持つようになる。従って、極微細素子内のキャリア伝導機構の解析には量子効果の正確な取り込みが必須である。本研究は時間依存 Schrodinger 方程式のセルオートマトンの解法である量子格子気体法を、従来用いられてきた 1 次元周期境界条件のモデルから多次元開放系のモデルへと拡張し、それを用いて極微細素子内の電子波伝播を解析しており、デバイスの微細化によって顕著になる時間的、空間的なポテンシャル揺らぎがデバイス特性に及ぼす影響について新たな知見を与えている。その主要な成果は以下の通りである。

- (1)これまで基礎研究の段階にあり、1 次元周期境界条件の下での単純な系の解析にのみ適用されていた量子格子気体法の多次元開放系モデルを初めて提案している。Schrodinger 方程式の解析解と比較することによって提案したモデルの妥当性を示している。
- (2)薄膜 SOI MOSFET 内のキャリア輸送が、Si/SiO₂ 界面の凹凸によってどのような影響を受けるかを調査・解析している。凹凸の形状によってチャネル内の透過係数が変化するが、2 次元と 3 次元でそのばらつき度合いが異なることから、極微細素子内のばらつき特性の解析には 3 次元シミュレーションの必要性を明確にしている。
- (3)高濃度にドーピングされたデバイス内ではプラズマ振動により高周波領域において 100 meV 程度の電位揺らぎが生じているが、この影響によってトンネル電流がどのように変化するかを解析している。電子のトンネル時間と電位揺らぎの周期に依存して透過係数が変化するシミュレーション結果より、低バイアス領域においてはプラズマ振動の影響が無視し得ないことを初めて明らかにしている。
- (4)Si/SiO₂ 界面に凹凸がある場合の MOSFET のゲートリーク電流を解析している。界面に平行方向の波数に依存してトンネルが増幅されることを指摘している。トンネル増幅の物理的起源に対する考察も行われており、入射側界面の凹凸による入射波の散乱がトンネル増幅に効くことを明らかにしている。この結果は極薄ゲート絶縁膜を用いることが確定的な次世代 LSI 技術に重要な示唆を与えている。

以上のように、本論文は空間的な素子構造ばらつきおよび時間的なポテンシャル揺らぎが素子特性に与える影響を詳細に検証しており、今後開発が進められていく極微細素子の解析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。