

氏名 (本籍)	片山 清文 (三重県)
学位の種類	博士 (工学)
学位記号番号	甲第 122 号
学位授与年月日	平成 12 年 3 月 24 日
専攻	電子情報システム工学専攻
学位論文題目	量子電子波導波回路用計算機支援設計ソフトに関する研究 (Computer Aided Design of Quantum Electron Waveguide Circuits)
学位論文審査委員	(主査) 教授 田中 嘉津夫 (副査) 教授 藤田 廣志 教授 河瀬 順洋

論文内容の要旨

本論文は、誘電体回路の解析手法の一つとして提案されている導波モード分離型積分方程式を量子電子波導波回路に適用し、量子電子波導波回路用計算機支援設計 (CAD) の開発が可能かを調べることを目的としており、得られた結果は次のとおりである。

電子波の基本方程式である Schrödinger 波動方程式は、1 電子であり、電子のエネルギーが一定の場合は、Helmholtz 型の方程式となる。このことから、誘電体回路解析のための導波モード分離型積分方程式を量子電子波回路に適用し、量子電子波回路に対する導波モード分離型積分方程式を導出している。

量子電子波導波回路では、導波路ポテンシャル分布が導波路外部で無限大という近似のもとでは、電子は導波路内部にだけ存在し、導波路中を完全反射により伝搬していく。導波路外部のポテンシャルが有限であり、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャルより低い場合、電子は導波路にそって伝搬し、導波路外部に放射することはない。この場合、電子波導波路は誘電体導波路と類似した問題となる。また、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャルより高い場合、電子は導波路中を全反射して伝搬し、導波路不連続部において導波路外部に放射することがある。後者の 2 つについては、これまで解析報告例はほとんど見当たらない。しかし、導出している導波モード分離型積分方程式では、これらのどの場合も Green 関数を変更するだけで、ほぼ同じアルゴリズムを用いて解析することができ、CAD ソフトのソルバーとして極めて望ましい性質を持っていることを明らかにしている。

単一モード条件を満足する 2 つの無限長導波路が任意形状結合部により結合されている量子電子波導波回路に対する従来の積分方程式を導出し、導出した方程式は無限長の積分路を持ち、境界要素法を用いて計算機で解くことは困難であるが、電子波をモード条件を満足する波動とモード条件を満足しない波動に分離することにより、境界要素法を用いて計算機で解くことのできる導波モード分離型積分方程式を導出過程を示している。また、Y 型分岐回路に対して導波モード分離型積分方程式を拡張している。

導出した導波モード分離型積分方程式を自明な解を持つ量子電子波回路に適用し、厳密解と数値解が一致することを示し、導波モード分離型積分方程式の数学的妥当性を明らかにしている。

導波モード分離型積分方程式に、展開関数として2次関数、試験関数としてDelta関数を用いた境界要素法を用いて、曲がり回路、Y型分岐回路を解析している。各回路において、電子が導波路外部に放射する場合と電子が導波路外部に放射しない場合について解析し、それぞれについて透過特性を調べている。また、導波路結合部の形状を変えることにより量子電子波導波回路の透過特性を改善することができることを明らかにしている。

単一モード、曲がり回路に対する導波モード分離型積分方程式を、多モード、多分岐量子電子波回路に対する導波モード分離型積分方程式に拡張し、その一般的表現を導出している。導波モード分離型積分方程式は、多モード、多分岐回路、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャルより高い場合、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャル低い場合も同様に扱うことができ、また、同じアルゴリズムを利用できるため、量子電子波回路用CADの基礎理論として有効であることを明らかにしている。

論文審査結果の要旨

本論文は、誘電体回路の解析手法の一つとして提案されている導波モード分離型積分方程式を量子電子波導波回路に適用し、量子電子波導波回路用計算機支援設計(CAD)の開発が可能かを調べることを目的としており、得られた結果は次のとおりである。

電子波の基本方程式であるSchrödinger波動方程式は、1電子であり、電子のエネルギーが一定の場合は、Helmholtz型の方程式となる。このことから、誘電体回路解析のための導波モード分離型積分方程式を量子電子波回路に適用し、量子電子波回路に対する導波モード分離型積分方程式を導出している。

量子電子波導波回路では、導波路ポテンシャル分布が導波路外部で無限大という近似のもとでは、電子は導波路内部にだけ存在し、導波路中を完全反射により伝搬していく。導波路外部のポテンシャルが有限であり、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャルより低い場合、電子は導波路にそって伝搬し、導波路外部に放射することはない。この場合、電子波導波路は誘電体導波路と類似した問題となる。また、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャルより高い場合、電子は導波路中を全反射して伝搬し、導波路不連続部において導波路外部に放射することがある。後者の2つについては、これまで解析報告例はほとんど見当たらない。しかし、導出している導波モード分離型積分方程式では、これらのどの場合もGreen関数を変更するだけで、ほぼ同じアルゴリズムを用いて解析することができ、CADソフトのソルバーとして極めて望ましい性質を持っていることを明らかにしている。

単一モード条件を満足する2つの無限長導波路が任意形状結合部により結合されている量子電子波導波回路に対する従来の積分方程式を導出し、導出した方程式は無限長の積分路を持ち、境界要素法を用いて計算機で解くことは困難であるが、電子波をモード条件を満足する波動とモード条件を満足しない波動に分離することにより、境界要素法を用いて計算機で解くことのできる導波モード分離型積分方程式を導出過程を示している。また、Y型分岐回路に対して導波モード分離型積分方程式を拡張している。

導出した導波モード分離型積分方程式を自明な解を持つ量子電子波回路に適用し、厳密解と数値解が一致することを示し、導波モード分離型積分方程式の数学的妥当性を明らかにしている。

導波モード分離型積分方程式に、展開関数として2次関数、試験関数としてDelta関数を用いた境界要素法を用いて、曲がり回路、Y型分岐回路を解析している。各回路において、

電子が導波路外部に放射する場合と電子が導波路外部に放射しない場合について解析し、それぞれについて透過特性を調べている。また、導波路結合部の形状を変えることにより量子電子波導波回路の透過特性を改善することができることを明らかにしている。

単一モード、曲がり回路に対する導波モード分離型積分方程式を、多モード、多分岐量子電子波回路に対する導波モード分離型積分方程式に拡張し、その一般的表現を導出している。導波モード分離型積分方程式は、多モード、多分岐回路、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャルより高い場合、電子のエネルギーが導波路外部のポテンシャル低い場合も同様に扱うことができ、また、同じアルゴリズムを利用できるため、量子電子波回路用 CAD の基礎理論として有効であることを明らかにしている。

以上要するに、本論文は、量子電子波回路の解析手法として、導波モード分離型積分方程式による取り扱い手法を明確にし、これまで解析されていないような回路の取り扱い手法を明らかにしている。また、導波モード分離型積分方程式は、ほとんど同じアルゴリズムを用いて解析を行うことができ、量子電子波回路用計算機支援設計の基礎理論として、その有用性を示したものであり、学術上、実際上寄与することが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学術論文として価値あるものと認める。

最終試験結果の要旨

公聴会後に、学位論文に関する口頭質問を行い、これを最終試験に代え、合格と判定した。