

平成21年 3月31日現在

研究種目： 特定領域研究

研究期間： 2006 ~ 2010

課題番号： 18080004

研究課題名（和文） 超伝導多層導波路の高密度三次元設計と評価

研究課題名（英文） Design and Evaluation of Three-Dimensional Integration of Superconducting Multilayer Waveguides for Localized Electromagnetic Waves

研究代表者

水柿 義直 (MIZUGAKI YOSHINAO)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号： 30280887

研究分野： 電子工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学 電子デバイス・電子機器

キーワード： 超伝導 集積回路 インダクタンス ストリップライン 単一磁束量子

1. 研究計画の概要

超伝導集積回路においては、超伝導グラウンドプレーン上に超伝導ストリップラインを配置する高周波導波路が用いられている。その基本構造については1970年代に解析されており、以来、超伝導集積回路における基礎設計技術として使用されてきた。しかしながら、数千、あるいはそれ以上のデバイスが集積された超伝導回路が実現されている現在においては、信号導波路間、また信号導波路と電源ラインとが近接して配置されてきており、従来用いられてきた基本構造のモデルだけでは対応できなくなっている。また、さらなる大規模集積化においては超伝導導波路を多層構造にする必要があるが、その設計手法についてはまだ確立されていない。

そこで本研究課題では、超伝導集積回路設計において今後重要となる多層構造での設計技術、特に単一磁束量子局在電磁波の伝搬に用いる多層導波路の設計技術の確立を目指す。具体的には、次の項目について取り組む。

(1) 数値計算による超伝導三次元構造導波路の物理パラメータ（インダクタンス、キャパシタンス等）抽出技法の確立。（実験結果との対比による評価を含む。）

(2) 単一磁束量子集積回路応用を目指した超伝導三次元構造導波路の設計技術の確立。（既存のプロセス・パラメータを用いた設計と将来のプロセス・パラメータを仮定した設計。）

(3) 超伝導導波路に左手系要素を組み込むことによる、新たな機能の実現可能性の探索。

2. 研究の進捗状況

(1) 数値計算による物理パラメータ抽出とその評価については、特に超伝導多層構造におけるインダクタンスに関して取り組んできた。これまでに以下の結果を得ている。

①超伝導薄膜を挟んで配置された2本の超伝導ストリップラインの自己インダクタンスおよび相互インダクタンスの抽出を行い、実験結果と一致する結果を得ている。特に、2つの超伝導グラウンド層に挟まれた超伝導ストリップラインのインダクタンスが、超伝導グラウンド層間の接続の仕方によって変化することを見出しており、超伝導三次元構造における特異な性質として国内学会口頭発表、国際会議口頭発表、および学術雑誌論文発表をしている。

②高密度集積化が導波路パラメータに及ぼす影響として、同一面内に近接して配置された超伝導導波路間の相互インダクタンス結合について調査し、実験結果との比較を行った。その結果、導波路間隔の減少により相互インダクタンスが急激に増加する傾向が確認された。特に、超伝導グラウンド層が一層のマイクロストリップライン構造において、相互インダクタンスの増加が顕著であることが示された。導波路構造と相互インダクタンスの関係については、国内学会にて口頭発表済みであり、今後は国際会議や学術論文誌にて発表する予定である。

(2) 超伝導三次元構造導波路の設計技術については、超伝導グラウンド層に挟まれて配置された超伝導ストリップラインのインダクタンスを解析的に求める手法を新たに提案し、数値計算および実験との比較によりその有効性を確認した。この方法では、超伝導

体から完全導体への変換規則を定め、この変換規則で得られたモデルに対して完全導体の解析的手法を適用する。この研究成果により、超伝導ストリップラインのインダクタンスを解析的に得ることが可能となった。これまでに国内学会にて口頭発表済みであり、今後は国際会議や学術論文誌にて発表する予定である。

(3) 左手系要素の組み込みについては、継続申請時に追加した項目であり、まだ外部発表に至るほどの成果を得てはいない。これまでに、基本的な容量結合型導波路における単一磁束量子伝送の実験において、その容量値と伝送エラー確率との関係を得ている。なお、集積プロセス上の制限(単位面積当たりの容量値を大きくできない等)により、容量結合型導波路での良質な単一磁束量子伝送は、限られた動作領域にて得られている。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

上述のように、研究項目(1)と(2)については、学術雑誌論文としての外部発表済み、もしくは発表予定であり、順調に進展していると判断できる。一方、継続申請時に加えた研究項目(3)については、研究期間と集積回路作製における制限もあり、良好な結果を得るには至っていない。これら状況より、全体的には「当初の計画以上に進展している」とはいえず、「おおむね順調に進展している」と判断する。

4. 今後の研究の推進方策

研究項目(1)と(2)については、残された検討課題について取り組む共に、得られた成果を何らかの単一磁束量子回路設計に活用し、局在電磁波導波路としての評価を行う。研究項目(3)については、平成20年度中に得られた結果を精査し、本研究期間中に成し得る具体的な研究課題について明らかにする。これにより、「設計までで良しとする課題」と「実験による検証が必須となる課題」とを切り分け、それぞれの研究段階において成果をまとめたい。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Y. Mizugaki, R. Kashiwa, M. Moriya, K. Usami, and T. Kobayashi, “Grounding positions of superconducting layer for effective magnetic isolation in Josephson integrated circuits,” *Journal of Applied Physics*, vol. 101,

pp. 114509-1~114509-4, 2007, 査読有り.

- ② Y. Mizugaki and R. Kashiwa, “Magnetic Shielding Effect of Grounded Superconducting Niobium Layers,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 97, 012056-1~012056-5, 2008, 査読有り.

[学会発表] (計8件)

- ① 柏竜太, 守屋雅隆, 宇佐美興一, 小林忠行, 和田光司, 安藤芳晃, 陳健, 水柿義直, “超伝導シールド層の接地位置の違いによる相互インダクタンスの変化,” 2007年電子情報通信学会総合大会, 2007年3月22日, 名城大学.
- ② 河合章生, 柏竜太, 田中丈之, 守屋雅隆, 小林忠行, 水柿義直, “近似モデルを用いた超伝導薄膜積層構造のインダクタンス計算,” 2008年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2008年9月19日, 明治大学.
- ③ 河合章生, 柏竜太, 守屋雅隆, 小林忠行, 水柿義直, “Nb集積回路における平行線路間の相互インダクタンス評価,” 電子情報通信学会技術研究報告(超伝導エレクトロニクス), 2008年10月30日, 産業技術総合研究所.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

領域のホームページ

<http://www.yoshilab.dnj.ynu.ac.jp/tokutei/>