

論文内容要旨 (和文)

平成 15 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻 電子光工学講座

学生番号 03522303

氏 名

關谷尚人



(英文の場合は、その和訳を () を付して併記すること。)

論文題目 高感度超伝導マイクロ波受信システムの試作と評価に関する研究

高温超伝導体はマイクロ波領域において常伝導体（銅、金、銀など）と比較し損失が 2~3 桁低いという特徴を有する。このことからアンテナ、フィルタ、ミキサなどのマイクロ波デバイスに応用することで常伝導体では実現できない高効率・低損失という特徴を有し、それらデバイス応用の研究が盛んに行われている。しかし、これまでの応用の多くは素子のアレイ化や要素素子単体の作製と評価にとどまり、デバイスを集積化した超伝導集積化デバイスの報告例はいまだ少ない。

そこで、我々は超伝導デバイスを集積化した高性能なシステムの実現を目指している。その一例として、送・受信超伝導アンテナ、超伝導分配器、超伝導ミキサ等を集積化した超伝導マイクロ波受信システムを提案し、その優位性を明らかにした。以下に本論文の各章の内容を記す。

第一章では、本研究の背景と目的について述べた。はじめに、近年の移動体通信の発展にともなうマイクロ波分野の重要性について示す。次に高感度センサの必要性和マイクロ波デバイスを超伝導化することの有用性について述べ、最後にシステムとしてマイクロ波超伝導デバイスを集積化することの意義について述べた。

第二章では、はじめに、超伝導マイクロ波受信システムの概要を述べ、次に超伝導マイクロ波受信システムを構成するアンテナ、方向性結合器、ミキサの基礎理論について述べた。最後に高温超伝導薄膜と超伝導マイクロ波デバイスに適した基板材料について述べ、各デバイスの超伝導化について言及した。

第三章では、超伝導マイクロ波受信システムの設計・試作・評価方法について述べた。アンテナと方向性結合器を設計するシミュレータとしてマイクロ波デバイス設計シミュレータ sonnet em の計算原理と信頼性について説明した。アンテナと方向性結合器の作製手順として、フォトリソグラフィとドライエッチング技術について述べた。また、超伝導ミキサを試作するためのレーザエッチング装置について述べた。最後に、各デバイス単体の測定系と受信システムの測定系について述べた。

第四章では、超伝導マイクロ波受信システムにおける各デバイスの設計・試作・評価の結果について述べた。まず、超伝導アンテナの反射特性と利得測定を行った。その結果、所望の周波数で共振するアンテナを試作することができた。また、超伝導アンテナは常伝導アンテナに比べ利得が 2dB 高くなることを明らかにした。次に、超伝導方向性結合器の設計を行い、所望の特性を有する方向性結合器の設計を行うことができた。超伝導ミキサの試作において、良好な素子特性を得られる膜厚の最適化を行った。最後に、設計、試作した超伝導アンテナと方向性結合器を超伝導化し、ミキサには半導体を用いたもの

を集積化した超伝導／常伝導ハイブリットマイクロ波受信システムを試作した。その結果、超伝導を用いたシステムは常伝導だけで構築したシステムより高効率であることを明らかにした。また、アンテナ、方向性結合器、ミキサをすべて超伝導化した際、システム全体でどの程度、感度が向上するか理論的に明らかにした。

第五章では、超伝導アンテナを実用化する際、問題点となっている帯域幅について述べた。超伝導アンテナは超伝導体のもつ高い Q 値により帯域幅が 0.8%～1.1%といわれており応用上大きな問題点のひとつとなっている。そこで、パッチアンテナの両側に共振器を配したギャップ結合型共振器付きマイクロストリップアンテナを試作し広帯域化を行った。

第六章では、超伝導マイクロ波受動デバイスの新たなトリミング手法について提案した。一部、実用化に達している超伝導マイクロ波受動デバイスだが、所望の特性を有するように試作する技術はいまだ十分解決しているとはいえない。そこで、我々はレーザエッチングを用いデバイス作製後にトリミングを行う手法について、ギャップ結合型共振器付き超伝導アンテナと 3 段超伝導ヘアピンフィルタを用い、その有効性を示した。

第七章では、本論文で明らかになった点を総括し、超伝導マイクロ波受信システムの研究における今後の課題と展望について述べた。

(10pt 2,000 字程度 2 頁以内)

論文内容要旨 (英文)

平成 15 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻 電子光工学講座

学生番号

氏 名

關谷 尚人



論文題目 Research on examination and fabrication of a high sensitivity superconducting microwave receiving system

We have designed and fabricated a microwave receiving system integrated with superconducting devices which can detect suspicious persons. The system consists of a transmitting antenna, a receiving antenna, a power divider using a directional coupler, and a mixer. The microwave Doppler effect is used in our system for detection. A superconducting antenna with a resonant frequency of 10.525GHz and a superconducting directional coupler were designed and fabricated for the system. An electromagnetic simulator was used for design and analysis.

First, return loss characteristic of the $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) antenna on a 10 x 10 x 1.0 mm MgO substrate at 60K was measured. The experimental resonant frequency was 10.511 GHz. and was able to be made in agreement with the design value.

Second, we designed the form of the optical directional coupler. We found from the experiment that it was a directional coupler as a design.

Finally, we examined the device which integrated the antenna, directional coupler, and mixer. A Schottky barrier diode was used as a mixer. These devices were integrated and their operation as a sensor was examined. We measured the Doppler shift using the system and found Doppler shifted waveform. We found that the superconducting integrated sensor system was superior to the normal conductor sensor.

(12pt シングルスペース 300 語程度)

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 18 年 2 月 22 日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 大嶋 重利

副査 石井 修

副査 平田 拓



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学 専攻
氏名 關谷 尚人

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

..... 高感度超伝導マイクロ波受信システムの試作と評価に関する研究

3. 学位論文公聴会

開催日 平成 18 年 2 月 16 日
場 所 7号館 214号室

4. 審査年月日

論文審査 平成 18 年 2 月 16 日 ~ 平成 18 年 2 月 21 日
最終試験 平成 18 年 2 月 22 日 ~ 平成 18 年 2 月 22 日

5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 合格

(2) 最終試験 合格

6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200 字程度)

別紙のとおり

7. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別紙

専攻名	システム情報工学	氏名	關谷 尚人
学位論文の審査結果の要旨			
<p>高温超伝導体で作製したアンテナ、フィルタ、ミキサなどは常伝導素子では実現できない高効率・低損失のものが実現できることが実証され、盛んに研究が行われている。しかし、それらの応用では、超伝導素子単体の性能を生かしたものが多く、超伝導デバイスを幾つか組み合わせ合わせた「集積化デバイス」の応用例は無い。本論文は、超伝導アンテナ、超伝導分配器、超伝導ミキサ等を組み合わせ合わせた高感度なマイクロ波受信システムを検討したものである。</p> <p>第一章では、本研究の背景と目的について述べている。はじめに、近年の移動体通信の発展にもなうマイクロ波分野の重要性について示し、次に高感度センサの必要性和マイクロ波デバイスを超伝導化することの有用性について述べている。</p> <p>第二章では、まず超伝導マイクロ波受信システムの概要を述べ、次に超伝導マイクロ波受信システムを構成するアンテナ、方向性結合器、ミキサの基礎理論について述べている。</p> <p>第三章では、超伝導マイクロ波受信システムの設計・試作・評価方法について述べている。まず、アンテナと方向性結合器を設計する手法について、次にアンテナと方向性結合器の作製手法について述べている。また、超伝導ミキサを試作するためのレーザエッチング技術と各デバイスの測定系についても述べている。</p> <p>第四章では、超伝導マイクロ波受信システムにおける各デバイスの設計・試作・評価に関する結果を述べている。まず、超伝導アンテナの利得、指向性を測定し、所望のアンテナを設計できる技術が確立できたことを述べ、次に、方向性結合器の設計手法を明らかにしている。さらに、高温超伝導ミキサの試作とその評価について述べている。最後に、アンテナ、方向性結合器、ミキサをすべて超伝導化した場合、システム全体でどの程度感度が向上するかを理論的に検討した結果を述べている。</p> <p>第五章では、超伝導アンテナの広帯域化について述べている。パッチアンテナの両側に共振器を配したギャップ結合型共振器付きマイクロストリップアンテナを提案し、広帯域のアンテナの実現の可能性を示唆している。</p> <p>第六章では、レーザエッチング法による新たなトリミング手法について提案している。超伝導アンテナとヘアピンフィルタを用い、その有効性を示している。</p> <p>第七章では、本論文で明らかになった点を総括し、超伝導マイクロ波受信システムの研究における今後の課題と展望について述べている。</p> <p>本研究により得られた超伝導デバイスの集積化に関する知見は、超伝導デバイスの新たな応用を示唆するものであり、超伝導エレクトロニクスの研究の進展に大きく寄与するものと思われる。また本成果は国際会議、学術論文誌等に発表され、高く評価されている。よって、学位論文として十分評価できるものと判断し、合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>専門分野に関する知識については、論文公聴会における質疑、応答や専門誌への投稿の結果より判断し、外国語に関しては、英文の論文発表、国際会議での発表実績により判断し、博士（工学）として必要とされている知識を十分備えているものと判断し、最終試験を合格と判定した。</p>			