

Title	酸化物超伝導ジョセフソン接合を用いた高周波受信素子の高感度化に関する研究
Author(s)	吉川, 修一
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/40302
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

氏 名	吉 川 修 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 2 8 9 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 9 年 3 月 18 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	酸化物超伝導ジョセフソン接合を用いた高周波受信素子の高感度化に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 青 木 亮 三 (副査) 教 授 白 藤 純 嗣 教 授 佐 々 木 孝 友 教 授 川 合 知 二

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、電波利用の急激な増加に伴う周波数資源開発の必要性という社会的背景において、将来の超高周波デバイスとして期待されている酸化物超伝導ジョセフソン接合についてミリ波・サブミリ波受信素子としての高感度化を目的に、接合形成技術及び評価技術の開発を行った研究についてまとめたものであり、序論、結論を含めて7章より構成されている。

第1章では、序論として本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、酸化物超伝導ジョセフソン接合を用いたミリ波・サブミリ波帯受信素子の性能向上に必要な要素の理論的検討を行っている。酸化物超伝導体の大きなエネルギーギャップ(数10 mV)およびインピーダンス整合度を考慮した広帯域ビデオ検波感度および狭帯域ヘテロダイン検波についての理論表式を初めて導出し、高感度化の条件として、高 $I_c R_n$ 化、高 R_n 化、高 T_c 化が必要であることを示している。

第3章では、高 R_n 化の方策としてグラニュラー型ジョセフソン素子の $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 焼結体における粒界の改質を検討している。さらに高抵抗材料である Bi_2O_3 粉末をこれに混入し焼成した結果、粒界部に高抵抗層を析出させることに成功している。それにより検波感度は素子の常伝導抵抗 R_n の2乗に比例して増加し、GaAs ショットキーダイオードの300 Kにおける検波感度および雑音性能を上回ることを確認している。

第4章では、高 R_n 化および高 $I_c R_n$ 化の方策として、ジョセフソン接合の直列アレイ化を検討している。高周波集積回路作製に有利な段差型接合形態を用いて、ジョセフソン接合10段直列アレイ素子、ラジアルスタブチューナ、50Ω 伝送線路、ローパスフィルタなどから構成される YBCO 超伝導モノリシック回路を作製し高精度測定を行った結果、直列アレイ化により実効入射パワー効率の上昇および検波感度が改善されることを明らかにしている。また解析には独自のビデオ検波感度表式を用いることにより、今までにない理論値と実測値の良い合致を確認している。

第5章では、高 T_c 化の方策として $Tl_2Ba_2CaCu_2O_x$ 薄膜 ($T_c=108$ K) を用いたジョセフソン接合の直列アレイ化を検討している。段差型ジョセフソン接合6段直列アレイを作製し、そのミリ波受信素子としての性能を評価した結果、YBCO系ジョセフソン接合に比べ、 R_n および $I_c R_n$ 積において77 K以上での優位性を確認している。

第6章では、高 R_n 化および高 I_cR_n 化が期待される Tl系2212薄膜型固有ジョセフソン接合の高周波受信素子としての可能性を検討している。メサ面積 $5\mu\text{m}$ 角のc軸方向の電気伝導特性を測定した結果、高温超伝導体のエネルギーギャップを反映して SIS 接合1個あたり20 mV に達する大きな I_cR_n 積を観測している。また、高周波応答性能を評価した結果、77 K では遮断周波数がジョセフソン周波数よりも大きく、THz 領域まで応答可能であることを確認している。

第7章では、本研究の内容を総括して、本論文の結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

世界的な情報通信網の普及と高度利用の一般化に伴い、周波数帯域のミリ波サブミリ波領域への展開とその領域利用に関する技術開発は必須の課題となりつつある。本論文はミリ波サブミリ波帯受信素子の高感度化のために超伝導ジョセフソン接合を応用しようとして、とくに酸化物超伝導材料の適用に関する理論的実験的研究の結果をまとめたものであり、その成果を要約すると次の通りである。

- (1) ミリ波サブミリ波帯受信素子の性能向上に必要な要素検討を行い、酸化物超伝導体の大きなエネルギーギャップとインピーダンス整合を考慮したヘテロダイン検波の理論的表式を導出し、高感度化の条件として高 T_c 化、高 I_cR_n 化とりわけ高 R_n 化の必要性を明らかにしている。
- (2) 高 R_n および高 I_cR_n の方策としてジョセフソン接合の直列アレイ構造を採り上げ、段差型ジョセフソン接合10段アレイ素子を含む YBCO 超伝導モノリシック高周波集積回路を作製し、実効入射パワー効率および検波感度を測定して、従来の受信素子に比べて格段の性能向上を確認実証している。
- (3) 高 T_c 化、高 R_n 化が期待される $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ ($T_c=108\text{ K}$) の高品質エピタキシャル薄膜成長を行い、層間の固有ジョセフソン接合を利用した高周波受信素子の開発を試みた結果、エネルギーギャップに匹敵する高 I_cR_n 積20 mV を観測し、THz 領域までの応答可能性を確認している。

以上のように本論文はミリ波サブミリ波帯高感度受信素子に酸化物超伝導を応用するための適用条件を明確にし、直列アレイ構造のジョセフソン接合素子を含む高周波集積回路を作製して格段の性能向上を確認しており、これらの成果は超伝導工学、通信工学の分野の発展に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。