

| | |
|--------------|---|
| Title | 酸化物超電導ジョセフソン接合と高周波センシングに関する研究 |
| Author(s) | 福本, 吉人 |
| Citation | |
| Issue Date | |
| Text Version | none |
| URL | http://hdl.handle.net/11094/38760 |
| DOI | |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

氏 名 福 本 吉 人

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 1 1 0 9 6 号

学 位 授 与 年 月 日 平 成 6 年 2 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 電 導 ジ ョ セ フ ソ ン 接 合 と 高 周 波 セ ン シ ン グ に 関 す る 研 究

論 文 審 査 委 員 (主査)
教 授 小 林 猛(副査)
教 授 浜 川 圭 弘 教 授 山 本 錠 彦 教 授 蒲 生 健 次

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は筆者が(株)神戸製鋼所超電導・低温技術センターにおいて実施した酸化物高温超電導ジョセフソン接合とその高周波センシング特性についての研究をまとめたものであり、本文7章と謝辞および論文目録から構成されている。

近年、ミリ波、サブミリ波などの高周波帯域が、人類に残された未開拓の豊富な周波数資源として多方面から注目を集めている。このような超高周波帯域では、従来高周波センサとして用いられてきた半導体ショットキーダイオードを使用することは困難であり、超電導ジョセフソン接合を用いた新しい高周波センサの開発が必要となる。折しも酸化物高温超電導物資 (HTS) の発見により、このような超電導デバイスを液体窒素温度近傍で手軽に使用できる可能性が生まれた。本研究では酸化物超電導ジョセフソン接合 (HTS-JJ) を実現し、その高周波センシング特性を明らかにすることを主目的とする。さらにその応用について実験的システムを構築し、HTS-JJ 高周波センサの可能性を明らかにし、実用するにあたって解決すべき問題点に言及する。

第1章では HTS の発見とエレクトロニクス分野における研究の現状を概観し、本研究の位置づけを明らかにする。

第2章では超電導ジョセフソン接合とこれを用いた高周波センシングを検討する上で必要となる理論的取り扱いを整理する。さらに HTS-JJ 研究の現状と問題点を明らかにし、本研究の指針を明確にする。

第3章では HTS エレクトロニクスを構築するために必要とされる高品質の超電導薄膜作製について述べる。反応性 RF マグネトロンパッタ法を用いた YBaCuO 薄膜の作製において、薄膜の組織ずれと結晶性低下をもたらす高エネルギー酸素負イオンによる薄膜の再スパッタ現象を解決するために、オフアキシススパッタ法を導入し、その有効性を確認する。さらに作製した薄膜のエピタキシャル性や結晶性、超電導特性を RHEED, RBS, 電気特性、磁気特性によりキャラクタライズし、液体窒素温度近傍で動作する HTS デバイスに有効に活用できることを明らかにする。

第4章では HTS の特徴的な物性 (短コヒーレンス長, 低キャリア濃度) を活かした新しいジョセフソン接合として、エピタキシャル薄膜中に人工的に結晶粒界を組み込んだ人工粒界ジョセフソン接合の作製を試みる。表面にステップを形成した MgO 基板上に成長する傾角粒界を用いたステップエッジ型ジョセフソン接合 (SEJJ) を実現する。

作製した接合の直流 I - V 特性から直流ジョセフソン効果を実証し、SEJJ が抵抗シャント接合 (RSJ) で表わされることを明らかにする。さらに I - V 特性と臨界電流の温度依存性から接合の微視的描像として微小結合エレメントの並列アレーモデルを提案する。

第 5 章では SEJJ の高周波特性を明らかにする。12~110GHz の非常に広範囲の周波数で交流ジョセフソン効果を調査し、マイクロ波、ミリ波帯での高周波センシングの可能性を示唆する。高周波センシングとして広帯域のダイレクトディテクションと狭帯域のヘテロダイナミックディテクション (ミキシングディテクション) を実現する。ダイレクトディテクションでは、液体窒素温度近傍において液体ヘリウム温度の Nb 点接触接合に匹敵する特性が得られることを明らかにする。またマイクロ波、ミリ波の基本波ミキシング、高調波ミキシングでは、ジョセフソン効果に基づく高性能な周波数ミキシング特性が得られることを明らかにし、最適バイアス条件下でのセンシング感度やダイナミックレンジを見積る。さらに HTS-JJ の応答周波数について考察し、実に 2 THz 以上の応答周波数を有することを世界に先駆けて実証する。

第 6 章では SEJJ 高周波センサ応用を検討する。まずミリ波、サブミリ波帯において検討されている応用用途を概観する。このうち通信、リモートセンシングについて実験的システムを構築し、SEJJ 高周波センサの可能性と解決すべき問題点を明らかにする。具体的には、マイクロ波帯商用衛星テレビ放送の受信やミリ波帯域での準光学イメージセンシングを行なう。これらの実験は HTS-JJ (デバイス) をシステム化する初めての試みである。

第 7 章では第 2 章から第 6 章で得られた研究成果を総括し、本研究の結論とする。

論文審査の結果の要旨

新電子材料として誕生した酸化物高温超電導体は液体窒素冷媒で十分活用できることから、その効果的な応用に関する研究が活発に行われるようになった。このような状況にあって、本論文は酸化物高温超電導体素子化に必要・不可欠な基礎技術、ジョセフソン接合の評価、100GHz を超える超高周波応答特性の評価を通じて、超高感度電磁波センシングシステムを実現するための一連の基礎研究成果をまとめたものである。

高温超電導体材料のプロセス技術はまだまだ未熟であり、素子化には薄膜成長から微細加工・マウント技術までの、いわば技術の総合科学が必要であった。アファクシス反応性スパッタリング法の早期確立を図り、酸素イオン衝撃の緩和による高品質 YBCO エピタクシャル薄膜の作製に成果を修めた。この方法は現在国内外の多くの機関で使われるように至った。

材料の特徴的物性パラメータである“短コヒーレンス長”を積極的に利用した“人工粒界ジョセフソン接合”に作製技術を樹立し、動作温度を液体窒素以上の高温に高めることに成功した。基板結晶に作り付けた段差を利用する新しいエピタクシャル技術の開発によるもので、比較的制御性の高い“人工傾角粒界”の機能発現の始まりにもなった。この接合の特性から高温超電導体内の“2 電子対”形成の描像が一層明確になったと言える。110GHz という超高周波でバイアスされたジョセフソン接合のミキシング特性から貴重な物理量“超電導エネルギーギャップ”を見積もった。接合内部の電子波振動は実に 2.3THz にも達し、エネルギーギャップを約 5 meV と見積もった。また、接合が極めて高いセンシング性能を持つことも判明した。

最後に、高温超電導ジョセフソン接合を用いる電波センシングシステムに関する検討を行った。具体的な例として商用衛星放送受信システムとミリ波 (110GHz) 2 次元イメージセンサに関する検討実験が行われ、いずれにおいても高い有用性が示された。

以上の研究成果は超電導エレクトロニクスおよびセンシング工学分野の基礎研究ならびに実用化技術に貢献するところが多大であり、博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。