

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 単一磁束量子テラヘルツエレクトロニクスの創製

2. 研究代表者名: 藤巻 朗 (名古屋大学 教授)

3. 研究概要

本研究では、サブテラヘルツ領域で動作する集積回路を目指し、高温超伝導体 (HTS) による単一磁束量子 (SFQ) 回路の基盤技術を構築する。基本となるジョセフソン接合において、性能向上阻害要因等を実験・理論の両面から検討し、その結果から超高速集積回路に耐える積層構造のジョセフソン接合を開発する。急峻な超伝導 / 絶縁体界面の形成が重要であることが分かり、元素置換などを利用した新たな作製手法を提案した。また、サブテラヘルツでの応用には光入出力が必須である。これまでに光ミキシング技術を取り入れた初の手法により 50GHz の信号入力、及び SFQ 動作の静的検出に成功した。

4. 中間評価結果

4 - 1. 研究の進捗状況と今後の見込み

高温超伝導体のジョセフソン接合で主流であったランプエッジ接合に対し、本プロジェクトチームの持つ独自の技術で積層構造素子を開発することにより集積化への道を拓きつつある。高温超伝導接合に関する基礎研究を基に、積層構造の大きな課題である素子バラツキをランプエッジ接合同程度に制御することが可能となっている。この点は今後の展開の基礎となり大きな進捗である。IcRn 積の制御やナノブリッジ形成に関しても進捗が見られるが、こちらは少し遅れ気味である。トンネル接合のモデル化、光ミキシング信号検出システムの確立、高温超伝導体の電流の光変調、磁気光学顕微鏡を用いた高温超伝導体中の磁束量子の観察などでも成果が出ている。高温超伝導接合の理論的検討、超伝導のゆらぎを中心にした基礎研究に関してもレベルの高い成果が出ている。ほぼ予定通りの進捗と判断される。

4 - 2. 研究成果の現状と今後の見込み

(1)高温超伝導体 HTS ジョセフソン接合グループでは、従来のランプエッジ構造の接合と比較してより寄生インダクタンスが小さくできる独自の積層型接合を研究開発し、優れた IcRn 積値を得るとともに、素子バラツキを減らすことに成功した。

(2)光インターフェイスグループでは、光ミキシング法により超伝導素子に 50GHz を越える光信号の入力に成功するとともに、磁気光学効果により光出力インターフェイスを構成する基礎を確立した。

(3)SFQ 基礎グループでは、高温超伝導体ジョセフソン接合の特性を基礎的な立場から検討し、トンネル障壁と高温超伝導体の界面に薄い常伝導体金属が存在するという新しいモデルに到達

した。

このように、比較的良好な進捗状況にある。今後も積層型高温超伝導トンネル接合の特性改善と物性理解に関し、着実な成果が見込まれる。光インターフェイス技術でも進展が期待される。

4 - 3 . 今後の研究に向けて

高温超伝導体の接合を用いても、ジッター抑制のためには Nb 系に近い極低温動作が必要となるとの立場に立てば、本研究の意義は Nb 系では困難なサブテラヘルツ領域での動作の可能性を実証することになる。従って今後検討を要する主なポイントとして、適正なゲート規模を設定した上でプロセスや回路開発を図るとともに、磁気光学効果を利用して光出力のサブテラヘルツ動作を実証することが挙げられる。プロセス技術が Nb 系よりはるかに難しい高温超伝導体では、集積化規模により解決すべき技術課題が異なってくる。このため適正規模の設定が重要となる。光出力側のサブテラヘルツ動作については、実現を図る時に現れる諸課題が不明であるため、サブテラヘルツ動作を実証するための具体的で総合的な試みを進めることが重要と思われる。

4 - 4 . 戦略目標に向けての展望

積層構造を用いた高温超伝導トンネル接合においては素子バラツキ低減、 $I_c R_n$ 積値の向上の見通しなど研究の進展が見られる。サブテラヘルツ域の超伝導回路の実用化の鍵のひとつは超高速の光入出力方式の確立である。現在、光ミキシング法により、超伝導素子に 50GHz を越える光信号を入力することに成功している。プロジェクト後半で、計画より遅れ気味の SFQ 回路の実現と超高速光出力技術が実現出来れば、Nb 系低温超伝導体と相補関係にある高温超伝導体の超高速周波応用への関心が高められることが期待できる。

4 - 5 . 総合的評価

積層構造を用いた高温超伝導トンネル接合の均一性の向上、トンネル接合のモデル化、光ミキシング信号検出システムの確立、高温超伝導体の電流の光変調、磁気光学顕微鏡を用いた高温超伝導体中の磁束量子の観察など成果が出ている。高温超伝導接合の理論的検討、超伝導のゆらぎを中心にした基礎研究に関してもレベルの高い成果が出ている。全体として着実に進んでいる。一方でシリコン回路も高速化が進み、小規模の CMOS インバータでは数ピコ秒のスイッチングが実現されている。しかし、超電導回路は、原理的に電力・遅延時間積に関して、半導体系の回路を数桁凌駕し得るので、回路規模を選び、光入出力を活用してサブテラヘルツ超高速超伝導集積回路動作を実証できれば、その技術的インパクトは極めて大きく、学術への貢献も少なくない。