

Title	高温超伝導体を用いた光-磁束量子変換デバイスの開発
Author(s)	堂田, 泰史
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48590">https://hdl.handle.net/11094/48590</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏名	堂 田 泰 史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 22046 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気工学専攻
学位論文名	高温超伝導体を用いた光-磁束量子変換デバイスの開発
論文審査委員	(主査) 教授 斗内 政吉  (副査) 教授 伊藤 利道 教授 森 勇介 教授 伊瀬 敏史 教授 杉野 隆 教授 西村 博明 准教授 村上 博成

### 論文内容の要旨

本論文は、高温超伝導体における超高速電流変調に基づいた磁束の生成に着目し、その磁束の生成と伝播を応用した新規な光スイッチング素子の開発に関して、著者が大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程で行なった研究成果をまとめたものである。

第 1 章では、光-磁束量子変換デバイスの研究背景および、本研究の概要について明らかにしたのち、本論文の構成を示した。

第 2 章では、提案する光-磁束量子変換デバイスの概要および、それに関する諸原理について述べた。はじめに、ジョセフソン磁束量子フロートランジスタ (JVFT : Josephson Vortex Flow Transistor) を利用した光-磁束量子変換デバイスを提案し、その概要および種類を示した。次に、光-磁束量子変換デバイスにおいて、光によって生成された磁束量子の伝播および電圧出力の働きを担う JVFT の種類、構造、および動作原理について説明した。最後に、高温超伝導体の光応答を紹介した後、高温超伝導体の超高速電流変調および、その新しい原理に基づいた光による磁束の生成について述べた。

第 3 章では、JVFT の作製および、特性の再現性・安定性の評価を目的とした直流電流測定の結果について述べた。JVFT の直流電流応答から、デバイスパラメータの算出および、磁束フロー速度、デバイス動作速度の見積もりを行ない、本デバイス構造が高速光スイッチング素子の基礎構造として有望である事を示した。また、高周波デジタルデバイスである光-磁束量子変換デバイスに JVFT を組み込む場合に必要となる交流特性をパルス信号および正弦波信号で評価した結果について述べた。

第 4 章では、作製した光-磁束量子変換デバイスの評価について述べた。光-磁束量子変換デバイスのジョセフソン接合にフェムト秒パルスレーザーを照射することで、磁束が生成され、その磁束のフローによって誘起された電圧を初めて測定した。さらに、外部磁場および光によって生成される磁束を独立に制御することで、簡単な演算を行なえることを示した。また、パルス幅 100 fs の光パルスに対する出力電圧の応答時間を計測することで、デバイスの超高速性を明らかにした。最後に、単一磁束量子 (SFQ : Single Flux Quantum) 論理回路の光入力インターフェイスとしての応用について検討した。

第 5 章では、本研究で得られた結果を総括し、結論とした。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、高温超伝導体における超高速電流変調に基づいた磁束の生成に着目し、その磁束と伝播を応用した新規な光スイッチング素子を提案している。具体的には、高速動作が期待できるジョセフソン磁束量子フロートランジスタ (JVFT) に極短パルス光を照射し、超伝導電流の変調により生成された磁束を JVFT で伝播させることによって、光から磁束、もしくは電圧に変換する光-磁束量子変換デバイスを提案し、高速光スイッチング素子および、光入力インターフェイスとして応用することが可能であることを述べている。

本研究の課題は、光-磁束量子変換デバイスの光応答特性の評価および、その動作実証である。磁束量子の伝播によって生じる電圧をフェムト秒時間スケールで測定することで、光-磁束量子変換デバイスの動作速度を評価している。また、このような高速光スイッチング素子としての重要性だけでなく、これまで解明されていない JVFT の高速性および、極短パルス光照射下におけるジョセフソン接合中の磁束量子のダイナミクスなどの基礎光物性としての重要な特性についても、新たな知見を得ている。以下に得られた研究成果について要約する。

1. バイクリスタル MgO (001) 基板上に作製した高温超伝導体 YBCO 粒界接合を用いて、光-磁束量子変換デバイスの基礎となる JVFT を作製している。作製プロセスでは、結晶粒界の観察を明確に行なうために暗視野照明法を新たに取り入れることにより、作業時間の短縮およびプロセスの再現性を大幅に高め、デバイスの特性の再現性を向上することに成功している。
2. 数 kHz で強度変調された光パルスに対する電圧応答を直流電流測定で観測している。光照射によって、ジョセフソン接合の臨界電流が減少し、これに伴って増加する出力電圧をバイアス電流によって制御できることを実験的に明らかにしている。
3. 出力電圧の光強度変調依存性を利用したポンプ・プローブ測定システムを新たに構築し、光-磁束量子変換デバイスの応答時間を評価することに初めて成功している。本デバイスが数ピコ秒以下と非常に高速な光応答を示し、これが 100 Gbps 相当のスループットを持つ超高速光スイッチング素子として、動作可能なことを明らかにしている。また、出力電圧の光強度依存性が非線形である事を利用した高機能な光高速入力インターフェイスや光パルスによる光演算素子などに利用できることを示している。

以上のように、本論文は新奇な光-磁束量子変換デバイスの提案から、デバイスの作製プロセスの確立、評価システムの構築および、デバイスの動作実証まで、幅広く行った研究結果について述べたものである。これらの成果は今後、ジョセフソン素子の光応用デバイスを構築する上で重要な知見を与えるものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。