

審査の結果の要旨

氏名 三浦 義隆

本論文は、近赤外領域における光子数識別能を備えた単一光子計測の新たな領域を開拓するために超伝導転移端を用いたセンサを開発したものであり、5章から構成されている。

第1章は序論であり、量子コンピュータ、近赤外天文計測分野における近赤外光高感度計測への要求に関して述べたのち、現状の近赤外検出器を概観し、光子数識別能を備えた単一光子計測を実現するものとして、本論文で開発を行う超伝導転移端センサ(Transition Edge Sensor: TES)のみが可能であることを述べている。

第2章は、超伝導転移端センサの計測原理と性能について述べたものである。マイクロカロリメータは超低温に保持した吸収体の熱容量が極めて小さいことを利用し、入射光子のもつエネルギーにより十分計測可能な温度上昇を計測するものであるが、温度計として Ir 超伝導体を用いた転移端センサを用いることで非常に高い感度で近赤外単一光子を計測することが可能である。また、マイクロカロリメータの雑音について理論的な考察を行った後に、デジタルフィルタ処理を施した信号の応答波形を示し、信号波形が変化する場合には最適フィルタよりも CR-RC フィルタなどのようなデジタルフィルタ処理が適することを述べている。

第3章は光学系の設計について述べた後、実際に検出器の作製について詳細を示している。薄膜における光伝播のシミュレーション計算コード TFClac を用いて、共振構造を設計し、SiN 基板上に Ir 超伝導体および SiO₂, TiO₂ を堆積させて、反射防止膜を構成し、波長 1.5 μm の近赤外光に対して、光吸収効率 93% が得られている。アライメントについては、光ファイバと検出器を直接結合するのではなく、GRIN レンズを用いて結合する方式をとり、赤外顕微鏡を用いて位置合わせを行うものとしている。検出器の信号応答については、10 μm 角の Ir-TES について物性値をもとにシミュレーション計算を実施し、信号波形を導出し、~200 nsec のパルス幅となることを示している。素子製作においては、

Ir 膜のスパッタリング・パターニングの後に、Nb 電極を生成し、素子を作製した。Ir 膜厚は 20 nm とし、素子サイズは $7\ \mu\text{m}$ 角、 $10\ \mu\text{m}$ 角の素子を作製し、実験に用いている。

第 4 章は実際に製作した Ir-**TES** 素子に対して、近赤外光を照射して行った実験の結果について示している。最初に使用したクライオスタット、温度制御系、光学系などの概要について述べたのち、超低温に保持した検出器から室温の光学系までの接続について示している。素子の基本特性を表す、電流-電圧曲線について解析した結果、素子が電熱フィードバックによる動作を行っていることが確認された。超伝導転移温度は $7\ \mu\text{m}$ 角素子では 289 mK、 $10\ \mu\text{m}$ 角素子では、300 mK であった。波長 850 nm と 508 nm の光を入射させ、単一光子信号が得られることを確認し、また、波長 850 nm と 508 nm の光子エネルギーに比例する大きさの信号が得られることが分かった。さらに、光子数分布の測定を行ったところ、複数光子の計測に成功し、単一光子計測の特徴を示すポアソン分布が得られ、近赤外光の光子数計測に成功した。

第 5 章は本論文の結論であり、Ir-**TES** を用いた近赤外単一光子計測と複数光子の計測に本研究において初めて成功したことが述べられている。

質疑では、素子作製における構造上の工夫、従来の **TES** と比べて近赤外検出器において異なる点、膜質の評価、異なる波長における信号応答波形の違い、シミュレーション計算の前提条件等について質問がなされ、論文の内容についての確認が行われた。

以上のように、本論文は単一光子計測の適用可能な波長限界を大きく広げたものであり、当該分野の進展に寄与するところは少なくない。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。