

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏名 武部 幸三郎 印

題目 H型フラクタルアンテナを用いたマルチバンドマイクロボロメータに関する研究

学位論文の概要及び要旨

本論文は、H型フラクタルアンテナを用いたマルチバンドマイクロボロメータに関する研究の成果をまとめたものである。

アンテナ結合型マイクロボロメータは応答時間が短く、低消費電力、広帯域検知などの特徴を持っている。また、モノリシック構造のため容易に作製することが可能であり、多くの分野への応用が期待されている。アンテナ結合マイクロボロメータは、電磁波をアンテナによって受信し、アンテナ内を電流が流れることによって生じる熱がアンテナと接続されたボロメータ材料の温度変化を発生させ、それによって生じるボロメータ材料の電気抵抗変化を利用したデバイスである。

一方、フラクタルと呼ばれる自己相似性を持つ構造は科学と工学分野において様々な用途に応用できるポテンシャルを持っている。特にフラクタルの電磁放射・吸収の特性のチューニングは最も重要なアプリケーションの一つであり、アンテナとして用いた時に複数の周波数帯で共振することが知られている。

本論文において、H型フラクタル構造のアンテナを用い、複数の波長帯で感度を持つアンテナ結合マイクロボロメータの実現に向けてアンテナの設計、作製、評価を行った成果を報告する。

はじめに、H型フラクタルアンテナを、ダイポールアンテナ長と共振波長の関係式と有限要素法シミュレーションによって設計した。ターゲットとする共振波長を125 μm と500 μm として、ダイポールアンテナ長と共振波長の関係式よりアンテナ長を求めた。求めたアンテナ長のサイズでアンテナのシミュレーションモデルを作成し、偏光した電磁波がアンテナに入射するときのアンテナの抵抗損失を有限要素法によりシミュレーションした。その結果、抵抗損失のピークは2つの波長帯で生じたが、ターゲットとする波長よりも長波長側にピークが位置していた。そこで、アンテナ内部に流れる電流の経路をシミュレーションにより確認し、電流経路長をもとに再度ダイポールアンテナ長と共振波長の関係式を使用してアンテナサイズを求めた。求めたアンテナサイズで再度シミュレーションを行った結果、若干の差異はあるが概ね抵抗損失の2つのピーク位置はターゲット波長と一致していた。さらに、アンテナの抵抗損失ピーク波長がよりターゲット波長に一致するようシミュレーションによってアンテナサイズの微調整を行った。

次に、シミュレーションにより得られたサイズのアンテナを作製した。SiO₂付きSi基板の上にAu

から成るアンテナとバイアス線のアレイを電子ビームリソグラフィ技術とリフトオフにより形成した。アンテナとバイアス線は $5 \times 5 \text{ mm}$ のエリアの中に $50 \text{ }\mu\text{m}$ ピッチで形成した。

作製したデバイスの透過特性をフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) とテラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS) により測定したところ、透過率のディップ波長は概ねシミュレーションの抵抗損失のピーク波長と一致した。

また、ボロメータ材料の抵抗変化を検出するバイアス線がデバイスの電磁波吸収に与える影響についても検討を行った。バイアス線の材質がAuのとき、Auの約 $1/18$ の導電率のTiのときについて抵抗損失をシミュレーションにより計算した。偏光した電磁波の電場の振動方向がバイアス線と垂直になるとき、バイアス線がある場合とない場合においてアンテナで生じる抵抗損失に顕著な違いは見られなかった。一方、偏光した電磁波の電場の振動方向がバイアス線と平行な場合、バイアス線で共振がみられる波長帯でアンテナがある場合とない場合にアンテナで生じる抵抗損失に差異がみられた。また、バイアス線の材質が異なることによってもバイアス線で生じる抵抗損失強度、ピーク波長に差異がみられた。

次に、アンテナの中央部にギャップがあり、そのギャップ間に VO_x が形成されているときの抵抗損失をシミュレーションにより計算した。シミュレーションでは VO_x を代表して VO_2 の物性値を用いた。常温における抵抗損失は1つの波長帯でのみピークが生じた。 VO_2 の 90°C における導電率は室温の導電率より高くなることに注目し、 VO_2 の 90°C のときの導電率と比誘電率を使用してシミュレーションにより抵抗損失の計算を行ったところ、長波長側のピーク位置はターゲット波長からシフトするものの2つの波長帯でピークが生じた。シミュレーションで得られた結果を確認するため、アンテナ及び 5 nm 厚さの VO_x が形成されたデバイスをおよそ 90°C に加熱して実際に透過率測定を行ったが、シミュレーション結果とは異なり透過率ディップは1つの波長帯で生じた。 VO_x の膜厚を厚くし、かつ VO_x の抵抗値の温度依存性などの物性値を測定して、特性の分かった VO_x がギャップ間に構成されたアンテナの高温下における透過率を測定することは今後の課題である。

最後に、ターゲット波長 $25 \text{ }\mu\text{m}$ と $150 \text{ }\mu\text{m}$ で共振するH型フラクタルアンテナを上記と同様に設計した。設計したアンテナの寸法でサンプルを作製し、FT-IRにより透過率の測定を行った。さらにシミュレーションによりH型フラクタルアンテナで生じる熱の解析を行った結果についても示す。