

Title	アンテナ結合薄膜ウォームキャリアサブミリ波検出素子の研究
Author(s)	清水, 隆
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39473
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"〉 大阪大学の博士論文について 〈/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	清 水 隆
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 2 2 6 0 号
学位授与年月日	平成 8 年 2 月 2 2 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	アンテナ結合薄膜ウォームキャリアサブミリ波検出素子の研究
論文審査委員	(主査) 教授 蒲生 健次 (副査) 教授 山本 錠彦 教授 小林 猛

論 文 内 容 の 要 旨

近年、光と波の境界領域であるサブミリ波帯の周波数領域は、数少ない周波数資源として注目され、この帯域を利用した応用を目指して多くの研究が進められつつある。特に、この帯域は大気中での減衰が大きいことを逆に利用し、近距離無線通信への応用等へ期待されている。また、サブミリ波帯は、マイクロ波と赤外光の両方の特徴が生かせる周波数帯であり、例えば、マイクロ波のフェイズドアレイ技術を利用できる可能性や、赤外と同様に分子の励起スペクトルの周波数帯であることを利用したりリモートセンシングへの応用も期待できる。さらには、高周波数を利用した通信容量の拡大や高解像度センシングなど多くの期待がかけられている。

さて、このようなサブミリ波帯の応用拡大のためには発振器の開発とともに検出器の開発研究も重要な課題の一つである。サブミリ波用検出器には、量子型、熱型および電磁波直接検波型があるが、その中で量子型検出器は、液体窒素さらには、液体ヘリウムでの冷却が必要となり、熱型は室温動作が可能なものの応答速度が遅いという欠点を有している。これに対して、電磁波直接検波型は、マイクロ波帯の検波器をミリ波、サブミリ波へと拡張した検出器で、それには冷却タイプの超電導ジョセフソン素子と室温動作のアンテナ結合素子がある。その中でアンテナ結合素子は、半導体もしくは金属に微細のタングステンウインスカーを立てた構造の素子で、室温動作・超高速応答という利点をもっているものの、その構造上、機械的振動に非常に弱く、その応用は、プラズマ診断やレーザー光の発振周波数の決定等の特殊な分野に限られている。この欠点を解決し応用範囲を拡大するには、素子の薄膜化が必要である。原川らは電磁波直接検波型素子の1つであるウォームキャリア素子を薄膜化したピンホール型薄膜ウォームキャリア素子を製作し、世界で初めて28THzでのアンテナパターンの測定に成功している。しかし、その感度は非常に低く、さらに一層の改善が必要である。筆者は、このウォームキャリア素子を取りあげ、サブミリ波帯で動作する高感度薄膜素子の製作を目指した研究に取り組んできた。本論文は、その研究のまとめであり、以下の内容を有している。

第1章 序論

本章では、近年注目を集めているサブミリ波帯の重要性およびこの周波数帯の検出素子の開発の現状および課題について述べている。さらに、本研究の意義を明らかにする。

第2章 ウォームキャリア素子の動作機構

マイクロ波・ミリ波帯でのHarrisonの電子による熱起電力効果モデルを遠赤外領域まで拡張したウォームキャリア遠赤外光素子の検出理論を示す。次に、実際に製作した点接触素子によりミリ波および遠赤外レーザ光に対する検出実験から、高周波が応答しているI-V特性の非線形性を求め、ウォームキャリア素子のI-V特性の非線形が、理論で予想した通り遠赤外領域まで維持されていることを示す。

第3章 ピンホール薄膜ウォームキャリア素子の検出特性

絶縁膜SiO₂で覆われたGe単結晶上に薄膜細線(アンテナ)を有するピンホール型ウォームキャリア素子のアンテナ特性と熱処理効果について実験的な検討を行い、SiO₂上の薄膜細線が損失の大きな薄膜ロングワイヤアンテナとして動作していること、熱処理を加えることによって製作工程中に生じた結晶の損傷は回復できるものの、絶縁膜で覆われたGe単結晶上に薄膜アンテナを置く構造では、感度向上に限界があり、高感度の薄膜素子を得るためには利得の高い薄膜アンテナと検波能力の高い薄膜ウォームキャリア素子からなる新しい構造の素子を製作する必要があることを示す。

第4章 アンテナ結合薄膜ボロメータ

新しい薄膜素子を製作するためには、高感度のウォームキャリア素子(検波素子)の製作研究とともにサブミリ波受信用高利得薄膜アンテナを開発する必要がある。しかし、アンテナで受信された信号を検出する非線形素子は開発中であるため、これに代わる検出器の製作が必要となった。そこで、薄膜アンテナ製作研究用の電力検出素子として、高感度アンテナ結合薄膜ボロメータを製作したことを示す。

第5章 サブミリ波レーザ光受信用薄膜スロットアンテナの製作

サブミリ波帯用薄膜スロットアンテナの設計・製作について述べている。薄膜アンテナの設計はマイクロ波でのモデル実験の結果をもとに行い、微細加工技術を用いて薄膜ボロメータと結合した薄膜スロットアンテナを製作し、スロットアンテナとしては最も周波数の高い2.5THzで動作する薄膜アンテナの製作に成功したことを示す。

第6章 エッジ型薄膜ウォームキャリア素子の製作

エッジ型薄膜ウォームキャリア素子を製作するため、誘電体基板上に結晶性の良いGe薄膜を製作した。このGe薄膜を用いた新しい構造のエッジ型ウォームキャリア素子を提案し、第5章で製作した薄膜スロットアンテナと結合させたスロットアンテナ結合エッジ型薄膜ウォームキャリア素子の製作を行った。製作した素子のミリ波・サブミリ波の動作確認実験を行い、検出に成功したことを示す。

第7章 結論

本章では、第2章から第6章までの研究成果を総括し、本研究で得られた主要な結論について述べる。

論文審査の結果の要旨

高周波数を利用した通信容量の拡大や高解像度センシングなど多くの期待がかけられているサブミリ波帯の応用拡大のためには検出器の開発が重要な課題の一つである。開発が進められている電磁波直接検波型サブミリ波用検出器の中でアンテナ結合素子は、半導体もしくは金属に極細のタングステンウイスキーを立てた構造を持つ素子で、室温動作・超高速反応という利点をもっているものの、その構造上、機械的振動に非常に弱く、その応用は、特殊な分野に限られている。この欠点を解決し応用範囲を拡大するには、素子の薄膜化が必要である。これまでピンホール型薄膜ウォームキャリア素子は直接検波素子として動作することが確かめられていたが、高感度が得られていなかった。

申請者はまず、この素子の特性を詳細に測定し理論と比較することによって、低感度の原因は素子特性および薄膜アンテナの損失によることを明らかにした。すなわち、これまでのSiO₂上に形成した進行波型薄膜アンテナでは、導体損が大きいことを確認して波長程度の小型アンテナにすべきであることを示した。そこで、スロットアンテナを設計・製作し、スロットアンテナとしては最も周波数の高い2.5THzで、受信利得3.5dBを有する薄膜アンテナの製作に成功している。

素子特性の向上には、接合半径が極めて小さい金属・半導体接合を作る必要がある。そのため、エッジ構造素子を考案して、薄膜スロットアンテナと結合させたスロットアンテナ結合エッジ型薄膜ウォームキャリア素子の製作を行った。さらに製作した素子でミリ波・サブミリ波の検出に成功するとともに、アンテナ指向性、検出電圧・バイアス電圧依存性およびハーモニックミキシング特性の検討から、同素子がアンテナ結合ミリ波・サブミリ波ミキサーとして動作していることを確認している。同素子は、700GHz帯では薄膜ショットキーダイオードに比較して約60%の感度であるが、周波数依存性から考えてさらに高周波帯では、ショットキーダイオードより高感度であることを期待させるものである。さらにこれらの実験のため、新しい高感度アンテナ結合薄膜ボロメータの製作も行なっている。

このように本論文は、サブミリ波帯の利用に必要な高感度検出素子の開発に重要な多くの新しい知見を得ており、電子・通信工学の発展に大きく寄与するものであり、学位（工学）論文として価値あるものと認められる。