

氏名(本籍)	やま くら てつ や (千葉県) 山 倉 鉄 矢 (千葉県)		
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	博 甲 第 5265 号		
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Development of THz band quasi-optical Hot-Electron Bolometer Mixer employing superconducting NbTiN microbridge (NbTiN 超伝導細線を用いたテラヘルツ帯準光学ホットエレクトロンボロメータミキサの開発)		
主 査	筑波大学教授	理学博士	梅 村 雅 之
副 査	筑波大学教授	理学博士	中 井 直 正
副 査	筑波大学教授	理学博士	金 信 弘
副 査	産業技術総合研究所	グループ長 工学博士	神 代 暁

論 文 の 内 容 の 要 旨

従来の電波天文学においては技術的に容易な低周波数帯の観測技術から始まり、現在は 1THz 以下のサブミリ波帯観測技術の開発まで行われている。しかし、1THz 以上のテラヘルツ帯や遠赤外線では通常の銀河が最も明るく輝いている周波数帯であり、また星形成の母体である高温高密度の分子ガスから放射される高励起の輝線や中性炭素などからの輝線が多数存在するので極めて重要である。宇宙から来るテラヘルツ波や遠赤外線は大気中の水蒸気や酸素に吸収されて地上からは困難であるが、南極大陸内陸部の標高 3810m にある日本のドームふじ基地は平均気温が -54°C 、冬季の最低気温が -80°C にもなる極寒の地である。そのため水蒸気は非常に少なく酸素も薄く、このようなテラヘルツ波や遠赤外線の観測には地上で最も適した土地である。

本論文では、南極ドームふじ基地で 1.5 ~ 1.9THz で観測するためのヘテロダイン受信機の混合器(ミキサ)用素子としてホット・エレクトロン・ボロメータ・ミキサ (HEB) を開発したものである。ヘテロダイン受信機の混合器用素子としては従来の SIS 素子はニオブや窒化ニオブを用いているために 1THz 以上の周波数では感度がなく、またテラヘルツ帯でも感度のある半導体混合器は雑音温度が高い(感度が低い)。そこで最も有望なのが超伝導体を用いた HEB であるが、外国で試みられている窒化ニオブでは感度や安定性に問題がある。そこで本論文では窒化ニオブチタン (NbTiN) を用いて混合器の開発を行った。

電子線リソグラフィ、光リソグラフィ、複合成膜装置、ICP エッチング装置等を用いて基盤の上に金の電極や NbTiN などを数ナノメートルの厚さの均一な膜や配線として順次生成し、最適な特性が得られる HEB を作成した。それをツインスロットアンテナに組み込み、その前に置いた準光学方式(超半球レンズ)の集光部によって天体からのテラヘルツ波をアンテナに照射し、回路によって HEB に集電した。ヘテロダイン機能の測定の前にまず RF だけを入れて HEB に感度があることを確認するとともに感度の周波数特性を測定した。次に RF とともに局部発振信号を入力し、周波数の混合機能の測定と最適化を行った。HEB

混合器のバイアス電流・電圧の最適点を求め、その出力である中間周波数の電力の安定性と雑音レベルを測定したが、海外で開発されている HEB 混合器と同様に中間周波数の電力は不安定であった。そこで、バイアス電流と中間周波数電力の関係を求めたところ、バイアス電流の変化とともに中間周波数電力が最大となる極値が存在することがわかった。しかもそこでは雑音レベルも低いことが明らかになった。この特性を活かして、中間周波数電力が極値となるバイアス電流の値で HEB 混合器を動作させると時間安定度が飛躍的に向上し、雑音レベルも低下させることができた。それにより、1.5 THz において受信機雑音が 3500 K となった。しかし、そのかなりの部分は HEB 混合器よりも前にある光学系の損失であることがわかっており、その改善により受信機雑音を 1670 K 程度まで改善することが期待できる。また HEB 混合器の NbTiN 薄膜の膜質向上により T_c が向上するので混合器の変換効率が上がり、受信機雑音をさらに向上させることができると考えられる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は世界的に開発が望まれている電波天文用テラヘルツ受信機の実現において NbTiN を使った独自の HEB 混合器を高度な成膜技術を用いた素子製作という基礎から開発したものである。特に HEB 混合器の開発において世界的に大きな問題となっている雑音レベルの向上と出力電力の安定性の両立という課題を、HEB 混合器のバイアス電流の極値で使用するという独創的なアイデアにより大きく改善したことは高く評価される。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。