

氏名	北村 健郎
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博 甲 第 7670 号
学位授与年月日	平成 28 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	

高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  の単独メサ構造によるテラヘルツ波発振現象に関する研究

主査	筑波大学教授	理学博士	門脇 和男
副査	筑波大学教授	理学博士	服部 利明
副査	筑波大学講師	博士(理学)	柏木 隆成
副査	筑波大学講師	博士(理学)	南 英俊

## 論 文 の 要 旨

北村健郎君は異方性の強い高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  の層状超伝導性に由来する固有ジョセフソン接合を利用した超伝導 THz 波の発振現象について、発振強度の高強度化や発振周波数の広域化に関する一連の研究を大学院博士課程では主導的に行ってきた。まず、従来の発振素子の作製法である超伝導基板上に形成するメサ構造の問題点(発熱)を見直し、単結晶  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  を用いて信頼性の高い単独メサ構造に作成方法を変更した。そのため、発振素子であるメサの作成プロセスから見直し、試行錯誤を繰り返しながら、高強度発振が得られる再現性の高い単独メサ構造の作成方法を開発した。そのメサを用いて、形状を段階的に小さく刻んでいく方法で、同一試料で長さを細かく制御し、発振条件を制御することで、どのような物理的パラメーターが発振強度や発振周波数を強く規定しているかについて、系統的な研究を行った。その結果、発振強度の最大値が矩形メサの長さの 2 乗に比例すること、長さを変化させても発振周波数スペクトルに本質的な変化は見られない事、等を明らかにした。

従来、高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  から発振される THz 波は再現性に乏しく、デバイス作成時の歩留まりが大変悪かった。たとえ、発振しても発振出力にも大きなばらつきがあり、数 10  $\mu\text{W}$  クラスの発振が得られることは大変まれであった。この理由について、多くの研究がなされてきたが、本質的な原因がなかなか解明されなかった。一方で、理論的な解析から、単独メサ構造にすることで、発振強度を大幅に改善できることが指摘されてはいたものの、単独メサ構造を再現良く作製する技術的な経験がなく、なかなか理想的な単独メサ構造を作製した実験的研究ができなかった。

この点を改良する方法として北村健郎君は単独メサの作製法を徹底的に見直し、再現性良く発振が得られるメサの作製法を試行錯誤繰り返すことで開拓した。そして、このメサを用いて、系統的に矩形メサの

長さ方向を FIB 加工することで切断し、短くすることで、発振強度が長さの 2 乗に比例して強くなることを確かめ、電磁波放射理論と矛盾しないことを突き止めた。また、先に提案されているジョセフソン接合の場合、2 重放射モデルの正しいことを確認した。

## 審 査 の 要 旨

### 〔批評〕

高温超伝導体の固有ジョセフソン接合からの THz 波の放射に関しては、全く別の観点から致命的と思われる重大な欠点が指摘されていた。それは発振時、固有ジョセフソン接合全体を電圧状態に励起する必要があり、それは外部から印可される直流電流によってなされるのが通常の方法であるが、この直流電流のために素子における発熱は単位体積あたり約 1 MW にも達し、この膨大な発熱のため発振素子は温度上昇を余儀なくされ、素子の温度が熱浴から大きく乖離してしまうことである。実測すると、低電流側では何とか超伝導を維持できるものの、高電流側では、もはや熱浴の温度がたとえ 4.2 K であっても超伝導さえ維持できないほど高温になってしまう。また、奇妙なことにホットスポットという、メサの中に局所的に温度が  $T_c$  以上に上昇してしまう現象も観測され、結局、発振状態のほとんどの領域で、熱的に極めて不均一、かつ不安定な状況が実現されていることが明らかにされてきた。一部にはこの問題が、かえって発振のトリガになって発振に有効であるというという解釈さえ行われてきた。

上記の発振強度を向上させる問題と、この発熱問題を一挙に解決する有効な手段として単独メサ構造が注目を浴びてきたのである。北村健郎君はこの点に特に注目して、自ら積極的に単独メサ構造を、高排熱構造に改良する技術を開拓すると同時に、合わせて一挙に強度問題や再現性の問題を解決する技術を、地道に、系統的な方法で行い、それに対する一つの解を与えた点、高く評価出来る。具体的にはメサに蒸着した金膜とサファイヤ基板に蒸着した金膜を圧着し金属膜を介して発熱を吸収しようとする最も簡単な方法である。これは単純であるが、現状では最も信頼性の高い排熱方法であると同時に電極としても利用できるという利点があり、最終的にはこの方法で歩留まり良く発振強度 30  $\mu$ W 程度、周波数 1 THz を越えるメサを作製できる技術を与えた。これは、今後、この素子を製品化する際には必要不可欠の課題の一つを克服したと考えられ、この分野の発展に大きく寄与した点、高く評価出来る。また、この結果をまとめた博士論文は学術的にも技術開拓の面に於いても博士の学位にふさわしいと評価出来る。

### 〔最終試験結果〕

平成 28 年 2 月 18 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

### 〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。