



TITLE:

# Polarization behavior of high-T<sub>c</sub> superconducting terahertz emitters( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Elarabi, Asem S Amar

---

CITATION:

Elarabi, Asem S Amar. Polarization behavior of high-T<sub>c</sub> superconducting terahertz emitters. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-09-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21370>

RIGHT:

許諾条件により本文は2019-09-24に公開

|  |   |    |                     |
|--|---|----|---------------------|
| 京都大学   | 博士(工学)  | 氏名 | Elarabi Asem S Amar |
| 論文題目   | Polarization behavior of high- $T_c$ superconducting terahertz emitters<br>(高温超伝導体テラヘルツ光源の偏光特性に関する研究) |    |                     |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、高温超伝導体単結晶を基にした積層固有ジョセフソン接合からの電磁波放射に関する普遍的な理解を目指し、放射電磁波の偏光を観測・制御する系統的な研究をまとめたもので、6章からなる。</p> <p>第1章は序論であり、研究背景と研究目的を述べている。まず、テラヘルツ電磁波とその光源および検出器、応用について概説している。次に、超伝導現象とジョセフソン効果について概説したのち、本研究の直接の背景となる高温超伝導体 Bi2212 からのテラヘルツ波放射について述べている。さらに、偏光度を精密に記述するストークスパラメータが導入され、電磁波の偏光を制御するために本研究で用いられるパッチアンテナ理論が説明されている。最後に、本研究の位置づけおよび目的として、メサ構造の形状およびホットスポットと呼ばれる局所的な温度上昇と偏光の関係を明らかにして、高温超伝導体テラヘルツ光源から放射される電磁波の偏光を制御することの学術的重要性と波及効果が述べられている。</p> <p>第2章では、Bi系高温超伝導体の結晶育成方法、偏光の制御されたテラヘルツ波を発振する素子作製方法、および作製した素子の電流電圧特性、発振周波数、偏光特性の評価方法について述べている。ワイヤーグリッド偏光子と金属製四半波長板を用いたストークスパラメータの評価法を述べている。</p> <p>第3章では、正方形の角を取った形のメサ構造から最高で 99.7% の円偏光率の放射が得られた結果について述べている。これは、既存の連続テラヘルツ光源で最高の円偏光度である。本章では、高い円偏光度を得るために必要なデバイス構造の特徴が数値計算と比較して議論されている。本章で周波数スペクトルは議論されているが、円偏光度の低いバイアス条件のデータを用いている。また、先行研究として報告されている、メサの一部を加熱した場合の円偏光放射の数値計算と比較して、放射される電磁波のカイラリティ（電場の回転方向）を推定し、量子暗号通信への可能性を指摘している。</p> <p>第4章では、円盤状の一部を切り欠いた構造の素子からの偏光度と発振周波数を観測し、円偏光放射条件での発振周波数スペクトルを初めて測定している。本章の結果から、円偏光度と発振周波数の関係が実験的に明らかになり、パッチアンテナ理論との精密な比較から、積層する多数の固有振動数の異なるジョセフソン接合間の引き込み振動が円偏光領域の拡張を与えていること指摘している。このように、切対角正方</p> |   |    |                     |

|   |        |    |                     |
|---|--------|----|---------------------|
| 京都大学  | 博士(工学) | 氏名 | Elarabi Asem S Amar |
| <p>形と切込円盤の双方で円偏光が得られたことは、パッチアンテナモデルの有用性が示されたことになる。</p> <p>第5章では、高温超伝導体テラヘルツ光源の実証当初から研究が行われてきた長方形メサに立ち戻り、ストークスパラメータによる偏光の精密評価を行っている。ここでは、従来から指摘されているホットスポットの出現に伴ってメサ構造内におけるジョセフソンプラズマの定在モードが変化する事象の検証を試みている。測定の結果、ストークスパラメータの不連続性が複数の箇所で観測され、ホットスポットの出現と関連付けて検討している。また、この結果は、円偏光デバイスにおける円偏光度の解析と制御に関しても、ホットスポットの存在を意識しなければならないということを示唆している。</p> <p>第6章では、本論文の成果をまとめ、今後の課題と展望について論じている。円偏光デバイスについては、正方形状と円盤状メサの長所と短所を比較し、円偏光度の空間分布や電場のカイラリティ制御など、さらなる多機能化に向けた研究・手法を提案している。長方形メサにおけるストークスパラメータの測定からは、円偏光を含めた多様な偏光状態を評価する際の留意点について言及し、ストークスパラメータからメサ構造表面の高周波電流分布を推測し、固有ジョセフソン接合間の同期現象の解明することの重要性が述べられている。</p> |        |    |                     |

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、高温超伝導体単結晶からなるテラヘルツ光源の特性に着目し、モノリシックデバイスでの偏光制御という、ほかのテラヘルツ光源では得られない機能を目指すと同時に、偏光特性の詳細解析から発振の起源を探ることを目標とする。本論文で得られた成果は次のとおりである。

1. 切対角正方形のメサ構造から、ほぼ理想的な円偏光の放射を観測することに成功した。これは、発信源とアンテナが一体となっている高温超伝導体テラヘルツ光源の特徴を如実に表している。ほかのテラヘルツ光源では、発振周波数と円偏光アンテナ周波数のわずかな齟齬のため、比較的低い円偏光度にとどまっているが、高温超伝導体テラヘルツ光源では、両者が「歩み寄る」という興味深いふるまいを示す。
2. 切欠円盤形状のメサ構造において、比較的強力な放射が観測され、円偏光度の周波数依存性が明らかになった。このことから、アンテナデザインの多様性が、本論文の前提となっているパッチアンテナ理論の有用性を支持していると言える。さらに、発振強度と形状の関係が実用に向けた新たな問題として提案される。
3. 長方形メサ構造からの放射電磁波のストークスパラメータを測定し、局所的な温度上昇の効果を示唆する不連続性を観測した。ここから、ストークスパラメータが発振デバイスの電流分布を示す新しい指標となることがわかった。

以上まとめると、本論文は、円偏光状態を出力可能な高温超伝導体テラヘルツ光源の実現ならびにその偏光特性に関する詳細な解析の報告である。これらの成果は、モノリシックデバイスによる円偏光出力という、分光計測を含む広範な応用が期待されるだけでなく、固有ジョセフソン接合スタックという多数の非線形振動子が結合した系からの電磁波放射現象の理解にも重要な知見をもたらし、基礎から応用に至るまで広範な工学の学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成30年7月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。