

超伝導テラヘルツ波検出器を用いたイメージングに関する研究

プロジェクト代表者：田井野徹（理工学研究科・准教授）

1 はじめに

テラヘルツ波は、光と電波の中間領域に位置する電磁波と定義されている。この周波数帯（約0.3～10 THz）では、これまでその利用が困難であったことから未開拓電磁波領域と位置づけられていた。しかし近年、簡便なテラヘルツ波発生装置の開発に伴い、テラヘルツ波の発生と検出に関する研究が国内外において盛んに行われるようになった。テラヘルツ波は、前述の通り、光波と電波の利点を併せ持つことから、X線と異なり生体に対して安全性を保ちながら物質透過が可能であり、また様々な物質に対して固有の吸収スペクトルを有することが明らかになってきている。その応用として、分光診断やイメージング診断等が提案されている。これらの提案を満たす精密測定が可能なイメージングデバイスは、現在のところ皆無である。

申請者は、精密測定可能なイメージングデバイスとして、広帯域で高速検出が可能な超伝導トンネル接合（Superconducting Tunnel Junction：STJ）を用いた検出器に着目し、STJ素子を用いたテラヘルツ波検出器の開発を行っている。本研究では、テラヘルツ波に対する検出面積拡大と高感度化を目的とした。

2 基板吸収型 STJ 検出器

STJ素子をテラヘルツ波帯に対応する手法として、基板吸収による検出方法がある。テラヘルツ波に対して、高い吸収率を有する基板を用いることで、テラヘルツ波帯に対して高感度かつ高速な検出器が構築可能である。図1に、基板吸収型STJ素子の概念図を示す。テラヘルツ波は基板側から照射し、基板でそのエネルギーを吸収する。その過程で発生するフォノンを準粒子に変換し、テラヘルツ波を検出する。

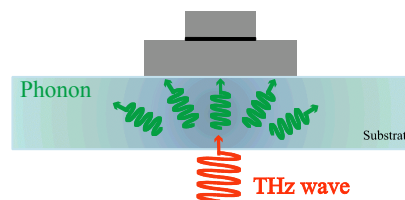


図1 基板吸収型STJ検出器の概念図

3 STJ素子を用いたテラヘルツ波検出器の大面积化と高感度化

基板で発生したフォノンを準粒子に変換しSTJ素子で検出する過程において、STJ検出器構造の最適化はテラヘルツ波検出面積の拡大につながる。昨年度の研究結果より、STJ素子の下部電極サイズを接合サイズ（上部電極： x ）+準粒子拡散長（ l ）とすることで、下部電極内で生成された準粒子は、再結合することなく検出信号として寄与できることを明らかにした（図2参照）。

この準粒子拡散長は、STJ素子を構成する超伝導材料により異なる。通常、超伝導電極材料として用いられるNbの準粒子拡散長は約10 μm であった。この準粒子拡散長が伸びれば、検出面積の拡大につながる。そこでテラヘルツ波検出器としての電極材料として、Nb/Alと

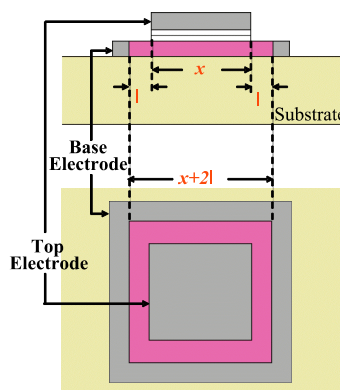


図2 準粒子拡散長を考慮した素子構造

Al の 2 種類について検討と実験を行った。

まず Nb/Al の 2 層膜を有する STJ 検出器は、下部電極が Nb と Al から成っている（通常は Nb のみ）。そのため、基板で発生したフォノンは Nb 層で準粒子に変換され、その準粒子は Al 層へと到達した後にトンネル障壁を超えることになる。ここで Al は、Nb と比較して超伝導ギャップが小さい。そのため、発生した準粒子はトラップ効果によって、より多くの準粒子の生成が可能となる。作製した検出器の顕微鏡写真を図 3 に示す。準粒子拡散長を容易に算出できるような配置と成っている。この作製した素子にテラヘルツ波を照射し、検出波高値の観測を行った。ここで、照射した素子の面積は $400\sim 40000\ \mu\text{m}^2$ の 5 種類とした。その結果を図 4 に示す。図中のフィッティングカーブより、拡散長は約 $50\ \mu\text{m}$ と見積もることができる。

次に下部電極が Al のみで構成した STJ 検出器の検討を行った（注：上部電極も Al 電極で構成されている）。Al で構成される STJ 素子は、Nb 電極と異なり、その作製が非常に難しい。申請者による平成 16 年度の総研プロジェクトの成果を用いて、Al 電極を有する STJ 検出器の作製を行った（図 5 参照）。なお詳細は紙面の関係上割愛するが、作製に当たって Al 薄膜の平坦性を考慮した作製条件を見いだしている。Al 電極を有する STJ 素子を用いてテラヘルツ波の検出に初めて成功した。しかしながら、検出に成功している素子が 1 種類しかないことから、現在のところ拡散長の算出には至っていない。Al は準粒子寿命が非常に長いこと、エネルギーギャップが Nb と比較して小さいことなどの理由から、更なる拡散長の拡大が期待でき、現在も検出器の作製を継続している。

これまで検出器構造には基板吸収型を用いてきたが、更なる感度向上を目指した新しい構造を有する検出器の検討を行っている。これまでにシミュレーション、フォトマスクの設計まで完了している。今後、検出器の作製とテラヘルツ波照射実験によって検証を行って行く予定である。

4 まとめ

テラヘルツ波検出器の高感度化と大面積化を目指し、STJ 素子の構造の検討を行った。STJ 素子を構成する電極として、Nb/Al と Al の 2 種類に着目して検出器の作製を行った。それぞれの検出器にテラヘルツ波を照射し、その結果、Al 電極を有する STJ 検出器の準粒子拡散長は、現在のところ算出できていないものの、Al 電極を有する STJ 検出器を用いたテラヘルツ波の検出に、初めて成功した。また Nb/Al 電極を有する STJ 検出器の準粒子拡散長は約 $50\ \mu\text{m}$ となることがわかった。これら結果から（Al 電極検出器の測定結果は今年度中に算出）、準粒子拡散長に基づいたテラヘルツ波検出器設計の指針を得ることができた。今後は検出器の高速応答に着目したテラヘルツ波検出システムの構築を行う予定である。

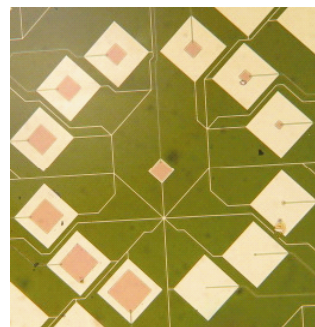


図3 Nb/Al電極を有するSTJ検出器の顕微鏡写真

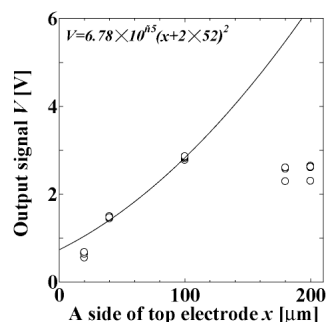


図4 テラヘルツ波検出結果

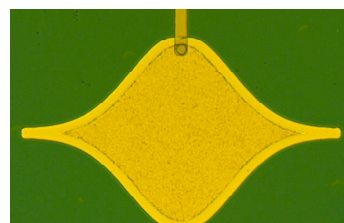


図5 Al電極を有するSTJ検出器の顕微鏡