

# 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・助教）

## 1 はじめに

光と電波の間には、これまで利用が困難であったテラヘルツ波という未開拓領域の電磁波が存在する。テラヘルツ波とは、周波数にして約  $0.3\sim 10\text{THz}$  の電磁波を指し、電波と光波の中間に位置する。そのため、様々な物質に対して透過性、空間分解能を有し、X線と異なり生体に対する安全性を備えている。また近年、テラヘルツ波帯には、様々な物質固有の吸収スペクトル（指紋スペクトル）を持つことが明らかになってきている。この応用として、分光診断やイメージング診断などが提案されている。それに伴い、精密な測定が可能なイメージングデバイスの必要性も高まっている。

従来のテラヘルツ波検出器には、大別して熱型（広い周波数に対して一定の感度を有するが応答速度が遅い）と量子型（限られた周波数帯域に置いて高速応答）の2種類の検出器が用いられてきた。申請者は、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、そのSTJ検出器の中でも基板吸収型STJを用いた検出器の開発を行っている。

本研究では、基板吸収型STJ検出器を用いた検出面積の拡大と高感度化を目的とした、STJ素子構造についての検討と、1素子によるテラヘルツ波分光測定を行った。

## 2 基板吸収型STJ検出器

STJは2枚の超伝導体で薄い絶縁層を挟んだ構造からなる。STJの超伝導対電極に、ギャップエネルギー以上のエネルギーが入射するとクーパー対が解離して準粒子が生成される。この準粒子が絶縁層をトンネリングすることで流れる電流を検出信号として読み出す。ここで基板吸収型STJ検出器は、図1に示す通り、エネルギー吸収体として基板が用いられる。エネルギーが基板側から入射されると、そのエネルギー吸収によって発生したフォノンがSTJの下部電極に達し準粒子が生成される。

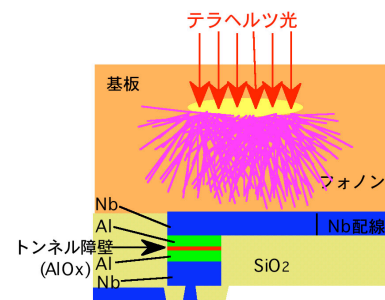


図1 基板吸収型STJ検出器

## 3 超伝導体内の準粒子拡散長

基板吸収型STJは、テラヘルツ波を基板側で受け、基板内で発生したフォノンを介してSTJによって検出信号を生成する。基板内で発生したフォノンは図1に示すようにSTJの下部電極で受ける。下部電極内で生成された準粒子のうち、再結合することなくトンネルバリアまで到達した準粒子が信号に寄与することとな

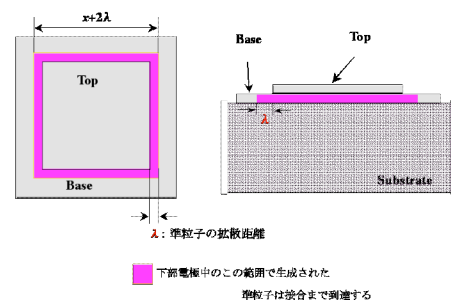


図2 STJと準粒子拡散長

る。そのため、図 2 に示すような下部電極サイズを接合サイズ（上部電極）+準粒子拡散長以上にしても信号増大には寄与しない。

超伝導体内の準粒子拡散長を見積もるため、同一チップ上に下部電極の面積を一定、接合の面積を変化させた素子を作製した。作製した素子の構造、各層の膜厚を図 3、表 1 に示す。また作製した素子のサイズを表 2 に示す。

表 1 作製した素子の各層の膜厚

材料	役割	膜厚 [nm]
Nb	配線	600
SiO <sub>2</sub>	絶縁層	350
Nb	上部電極	150
Al	トラップ層	60
AlO <sub>x</sub>	トンネル障壁	
Al	トラップ層	60
Nb	下部電極	200

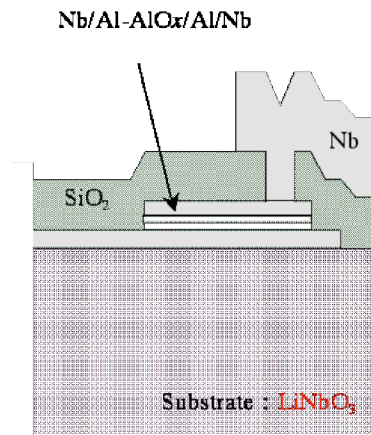


表 2 作製した素子の電極サイズ

上部電極	下部電極
5 μm□	70 μm□
20 μm□	
25 μm□	
40 μm□	
50 μm□	
60 μm□	

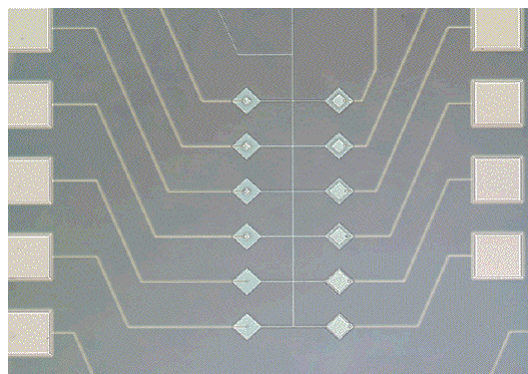


図 3 作製した素子の構造（上）と顕微鏡写真（下）

作製した素子にテラヘルツ波を照射して、その出力信号の観測を行うことで、準粒子拡散長の見積もりを行った。図 4 は、素子のサイズとテラヘルツ波照射により得られた出力信号の依存性を示す。ここで、出力信号の波高値は 300 波形の平均値である。同図より、出力波高値は素子サイズに比例していない。つまり、図 2 に示した通り、出力波高値は素子面積から準粒子拡散距離

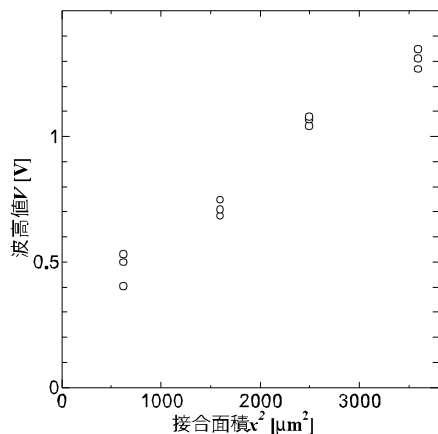


図 4 素子サイズと出力波高値

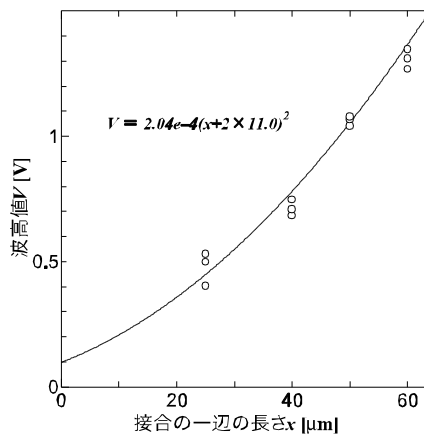


図 5 素子一辺の長さxと出力波高値

を含めた面積に比例していると考えられる。ここで出力信号を  $V$ 、素子面積（上部）の一辺の長さを  $x$ 、準粒子拡散長を  $\lambda$  とすると、 $V = a(x + 2\lambda)^2$  で記述することができる。図 5 より、準粒子拡散距離は約  $11 \mu\text{m}$  と見積もることができた。

#### 4 基板吸収型 STJ 検出器を用いたテラヘルツ分光測定

テラヘルツ波帯に存在する吸収スペクトルは、対象とする物質により異なることが知られている。これを、基板吸収型 STJ 検出器を用いて確認するため、異なる物質に対するテラヘルツ波分光測定を行った。

図 6 は、テラヘルツ分光測定の設定アップの概念図と測定風景を示している。テラヘルツ波

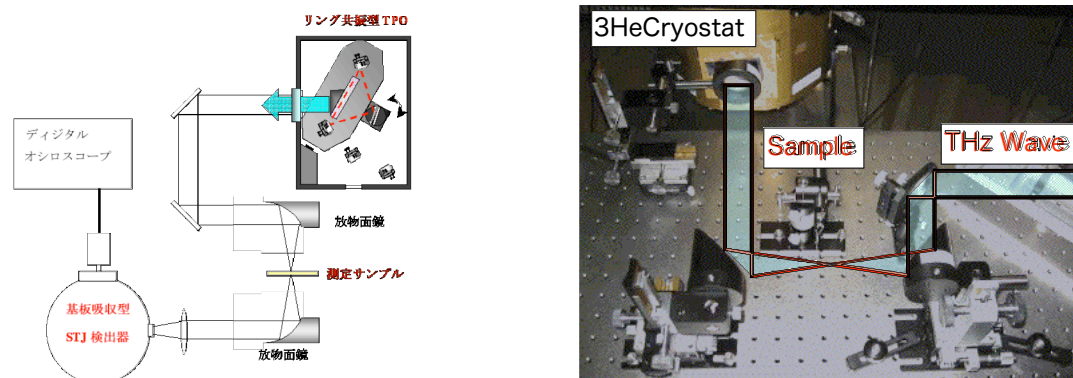


図 6 テラヘルツ分光測定の設定アップの概念図（左）と測定風景（右）

光源（Ring Terahertz Parametric Oscillator：R-TPO）から出射したテラヘルツ波は、ミラーやレンズを通じてサンプルに集光する。サンプルからの透過光をミラーやレンズを通じて、基板吸収型 STJ で受ける。

測定サンプルとして、フルクトースとマルトースの 2 種類の粉体を用いた。その結果を図 7 に示す。同図より、2 種類のサンプルの分光スペクトルの吸収ピークは明らかに異なる。フルクトースの吸収ピークが  $1.7\text{THz}$  付近にあるのに対し、マルトースでは  $1.6$ 、 $1.9\text{THz}$  付近に存在している。

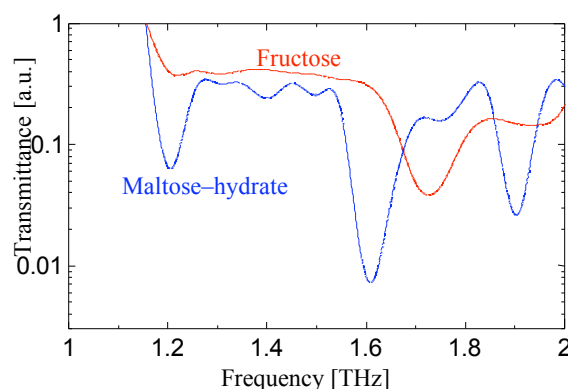


図 7 マルトースとフルクトースの分光スペクトル

#### 5 まとめ

本研究では、基板吸収型 STJ 検出器を用いた検出面積の拡大と高感度化を目的として、STJ 素子構造についての検討を行った。準粒子拡散長という概念を用いることで、素子構造（サイズ）の最適化を行うことができた。この結果から、単接合を複数配置するアレイ化を行うことで、更なる面積拡大を図る。また、マルトースとフルクトースをサンプルとして、基板吸収型 STJ 検出器を用いて（1 素子）テラヘルツ波分光測定を行った。2 種類の分光スペクトルは明らかに異なる吸収ピークを持っており、超伝導検出器を用いたテラヘルツ波分光測定に初めて成功した。

## 平成19年度成果リスト

### ○誌上発表

・ **Taino T.**, Ishii H., Yoshimura S., Otani C., Ariyoshi S., Myoren H., Kawase K., Shibuya T., Sato H., Shimizu M. H., Takada S., Terahertz Electromagnetic-waves Detector Using Nb-based Superconducting Tunnel Junction on LiNbO<sub>3</sub> Substrate Absorber, *Physica C*, 463-465, pp.1119-1122 (2007).

### ○学会発表

・ 石井宏和, **田井野徹**, 大谷知行, 渋谷孝幸, 有吉誠一郎, 佐藤広海, 明連広昭, 高田進, 基板吸収型並列STJアレイ検出器によるTHz検出器の高感度化, 第68回応用物理学学術講演会講演予稿集, p. 305 (2007.9.5). 北海道工業大学