

Spiral-MKIDs を用いた 2 次元テラヘルツ波イメージング

Two dimensional imaging of terahertz waves using Spiral-MKIDs

山形大学¹、^o倉科 大輔¹, 三上 直紀¹, 中島 健介¹, 齊藤 敦¹

Yamagata Univ.¹, ^oDaisuke Kurashina¹, Naoki Mikami¹, Kensuke Nakajima¹, Atsushi Saito¹

E-mail:tnw47532@st.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

近年、テラヘルツ波が電波の透過性と光波の直進性を併せ持つ電磁波として注目されている。テラヘルツ波は、物質に対して同定性があり、医療・セキュリティ応用や物性研究、天文観測研究などへの利用が期待されている。しかし、テラヘルツ波の 2 次元リアルタイム分光はほとんど実現されていない。

我々は、同一のパターンでスパイラルアンテナとスパイラル型マイクロ波共振器の機能を併せ持つ Spiral-MKIDs を考案し[1]、NbN 薄膜を用いることにより、4K 冷凍機で動作するテラヘルツ波のリアルタイムの 2 次元分光の実現を目指している。

これまで、素子のアレイ化は最大 81 素子まで実現されている。しかし、作製したどの素子においても明瞭な 2 次元イメージングは実現できていない。この原因として、テラヘルツ波照射に伴う基板全体への熱伝播が考えられる。本研究では 9 素子アレイ Spiral-MKIDs を作製し、基板全体への熱伝播の影響を調査し、抑制方法を明らかにしたので報告する。

2. 実験方法

サファイア基板上的 NbN(3.5nm) を用いて Spiral-MKIDs の 9 素子アレイを作製し、GM 冷凍機を用いて 3.7 K 及び 2.1 K まで冷却した。MKIDs の通過特性(S_{21})の測定にはベクトルネットワークアナライザを用いた。-50 dBm の信号を MKIDs に入力し、出力を低雑音増幅器(LNA)で+35 dB 増幅させて通過特性を測定した。

光照射時の基板温度の上昇による影響を確かめる為に MKIDs の左半分をアルミテープで塞ぎ、基板とコールドヘッドの接着にインジウムシートとアピエゾンをそれぞれ使用し同様の測定を行った。MKIDs に対して、液体窒素に浸した電波吸収体を翳すことによって、77 K (Cold)と 300 K (Hot)の熱輻射を照射した際のマイクロ波特性の違いから共振周波数のシフト量 Δf_c を求めた。ここで、遮蔽されて光が当たらない左上の素子を KID1、光があたる右下の素子を KID9 とした。

到達温度を 3.7 K と 2.1 K に変化させ、光学チョッパーを用いて素子に光を照射する事で素子の応答速度を測定した。

2 次元テラヘルツイメージングには、計測・制御システムのプログラミングツール Lab View を用いた。それぞれの周波数を 9 分割された画面の 1 マスに対応させて、信号強度の 0 から 1 の変化を色の強弱に対応させることによってテラヘルツ波の照射を 2 次元画像に変換した。

3. 実験結果及び考察

KID1 及び KID9 の共振周波数のシフト量 Δf_c の比を図 1 に示す。熱接触にインジウムを使用し 2.1 K

まで冷却した場合に KID1 と KID9 の応答に約 7 倍の差が確認できた。規格化出力の周波数依存性を図 2 に示す。時定数関数を用いてそれぞれにフィッティングした曲線を細い実線で示し応答速度を求めた。2.1 K では $\tau = 113 \mu\text{s}$ 、3.7 K では $\tau = 30 \text{ ms}$ となった。接着方法や到達温度を変える事によって共振周波数のシフト量及び応答速度が変化したことから、基板温度の上昇による変化と光の照射による量子的な変化が同時に発生しているのではないかと考えられる。

次に、熱接触にインジウムを使用し 2.1 K に冷却した状態で、光学系を調整し左半分は赤外線光を照射した時の素子を赤外線カメラで撮影した結果を図 3 に示す。この時の MKID アレイによる 2 次元イメージング画面を図 4 に示す。光照射の有無に対応する位置で明瞭なコントラスト像が得られた。

以上の結果より、熱コンタクトを改善することで基板全体への熱伝播を抑制し、応答速度の向上及び、明瞭な 2 次元イメージングの実現が可能であることがわかった。

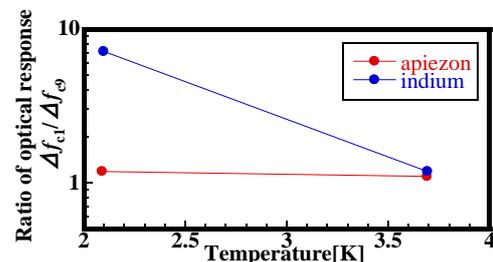


Fig. 1 Dependence of $\Delta f_{c0}/\Delta f_{c9}$ on temperature using vacuum grease and indium.

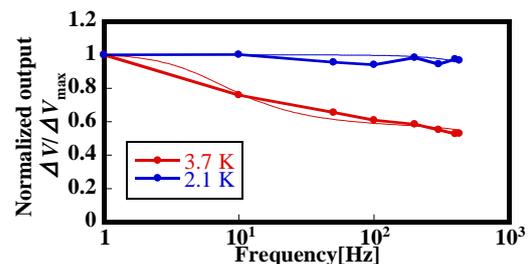


Fig. 2 Frequency dependence of normalized output $\Delta V/\Delta V_{max}$.



Fig. 3 Infrared camera image. Fig. 4 Two dimensional image.

4. 参考文献

[1] S. Ariyoshi, et al., *TEION KOGAKU*, Vol. 47, No. 9, pp. 554-561 (2012).