

宇宙観測のための超伝導検出器の研究開発

古賀健祐^{1,2}，高橋研太^{1,2}，有吉誠一郎²，古川 昇²，大谷知行^{1,2}

¹東北大院・理，²テラヘルツイメージング研究チーム²

テラヘルツ (THz) 光は周波数 0.3 ~ 10 THz (波長では 1,000 ~ 30 μ m) 程度の電磁波であり、赤外線と電波の中間領域に位置する。この帯域はこれまで、発光や検出の困難さからその利用が不十分であったが、近年の研究開発により THz 波特有の透過性や特異な吸収スペクトル等の性質が再認識され、それをいかした応用が数多く提案されている。また、研究分野での利用も模索されており、最遠方宇宙探査や創世期の宇宙観測への利用に向けた研究開発も活発化している。本研究では、極限的な感度が求められる THz 帯の高感度検出器として、超伝導体を用いたマイクロ波力学インダクタンス検出器 (Microwave Kinetic Inductance Detectors ; MKIDs) の研究開発を進めている。

MKIDs の動作原理は以下の通りである。超伝導体は、Cooper 対の慣性に付随する特有のインダクタンス (力学インダクタンス) を有しており、放射の入射等により Cooper 対が解離すると力学インダクタンスが変化する。従って、受光用アンテナと超伝導共振回路を結合させておき、放射入射に伴う共振特性 (振幅、位相) の変化を読むことで高感度の検出器として動作する。また、共振周波数を少しずつ変えた画素を 1 本のマイクロ波伝送線路に交流結合させることで 1000 ch オーダーの同時読み出しが可能となるため、大規模なアレイ型イメージング検出器が比較的容易に実現可能である。

我々は、組成によって超伝導転移温度が 0.4-5K の間で制御可能、かつ、膜抵抗が大きく検出時のインピーダンス整合を取るのが容易な TiN 超伝導体を用いた検出器開発を進めている。昨年度は、既存の交流スパッタ装置で積層した薄膜を用いて素子作製を行い、共振スペクトル構造を確認した。しかし、達成される超伝導転移温度が不安定であり、より制御性の高い成膜法の開発が必要なることが明らかになった。そこで本年度は、直流スパッタ装置に電流制御ユニットを導入し、作製条件の探索から開始した。作製は窒素雰囲気中でスパッタして行った。図 1 は装置に印加した電圧および電流の特性曲線であり、Ti のみの場合と TiN の場合を示している。TiN のブランチで Ti-rich と示している領域では、高電力を印加しているため Ti の配合量が多くなっており、最終的に Pure Ti のブランチに漸近している。この条件で作製した膜の超伝導転移温度は Pure Ti の転移温度に近い 0.38K 程度となっている。一方、N-rich の領域では、電力が低く Ti の配合量が少なく、超伝導転移温度は 4.7K に到達した (図 2)。なお、基板材料については、R 面サファイヤと MgO について作製し比

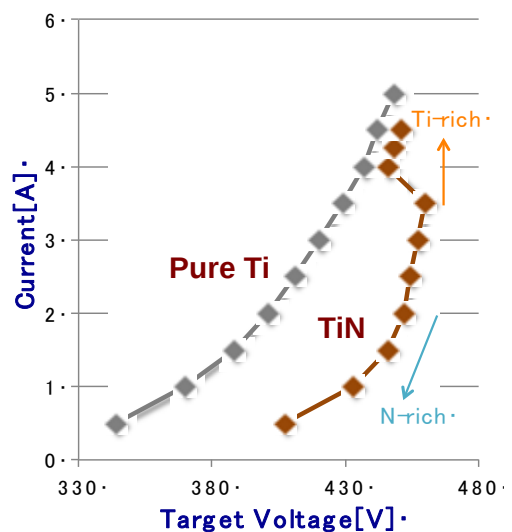


図 1. スパッタ条件の探索結果

較を試みた。このように薄膜作製条件を決定できた。

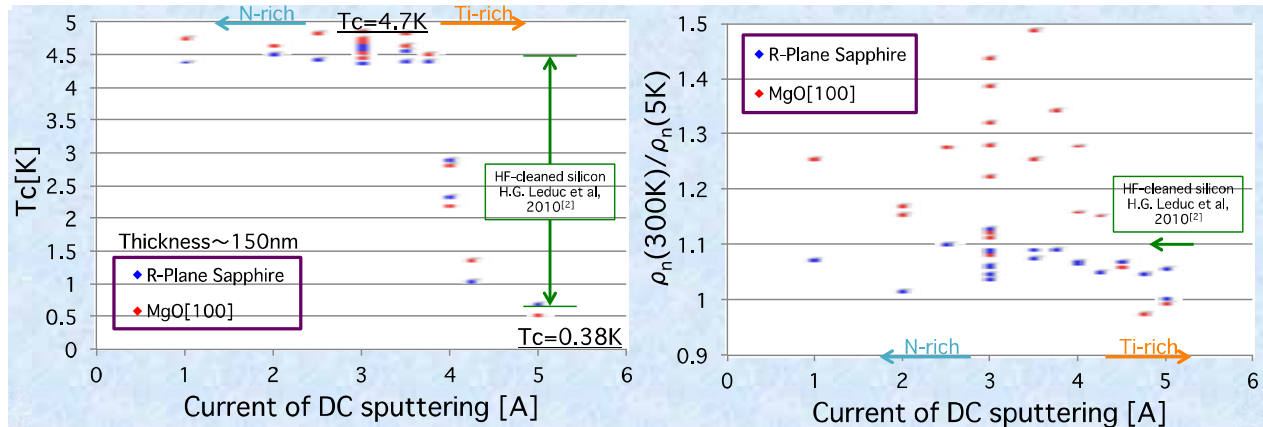


図 2. 電流制御で作製した薄膜の超伝導転移温度

図 3. 作製した薄膜の残留抵抗比

次に、これらの作製膜に対して、まず結晶性の良否を判定するために X 線回折測定を施すとともに残留抵抗比を測定した（図 3）。その結果、どちらの結果も MgO の方が高いことがわかった。ところが、転移温度が約 4.5K となる条件で、両方の基板で同時に（同条件で）成膜し、実際に MKIDs を作製して特性を評価した結果、共振ピークの中心周波数の温度感度、および、Q 値は、ともに R 面サファイヤ基板の方が良好な結果を示した（図 4、5）。この原因はまだ明らかではないが、MgO 基板表面には欠陥準位がかなりの密度で存在するために共振器内での損失が大きいという指摘があり、今回の結果も同様の状況を反映している可能性が考えられる。

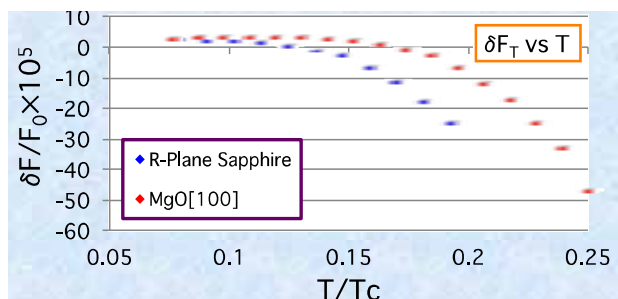


図 4. 共振ピークの中心周波数の温度感度

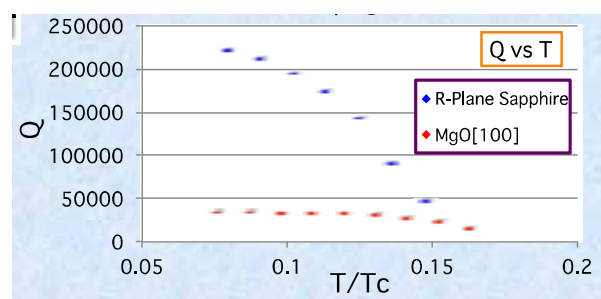


図 5. Q 値の温度依存性