

宇宙マイクロ波背景放射偏光観測のための 力学インダクタンス検出器の開発

古賀健祐^{1,2}, 有吉誠一郎², 古川 昇², 大谷知行^{1,2}

¹ 東北大 理学研究科, ² 理研・テラヘルツイメージング研究チーム²

[Introduction]

現代の宇宙論では、宇宙の始まりであるビッグバンの前に、宇宙が加速度的に膨張するインフレーションという現象が起きたと考えられ、多数の理論が提案されている。しかし、真の現象を理解し、ひいては究極的な素粒子理論を構築するには実験的検証が不可欠である。このような理論の検証を行う最も有効な観測的手段の1つが宇宙マイクロ波背景放射（Cosmic Microwave Background radiation = CMB）の偏光Bモード観測である。その実現のため、日本ではLiteBIRDと呼ばれるミリ波観測衛星が計画されており、焦点面検出器として60-250GHzの周波数帯の超高感度（NEP = 10^{-18} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ）検出器アレイ（1000画素以上）の開発が求められている。この要求に応える解として我々は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）[1]と呼ばれる検出器の研究開発を進めている。

[MKIDsの動作原理]

超伝導体は、Cooper対の慣性質量に付随する特有のインダクタンス（力学インダクタンス）を持っており、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、受信用のアンテナと超伝導共振回路を結合させておき、放射入射に伴う交流特性（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（交流特性を読むため）検出器の各画素の共振周波数を少しずつ変えることで、1000チャンネルオーダーの同時読み出しが可能になると期待されている。

[超伝導材の選定]

感度を上げるためには超伝導材の選定がきわめて重要である。そこで我々は材料にTiNを選んだ。TiNはその組成によって超伝導転移温度が0~5Kの間で変化することが報告されており、同一素材で観測周波数帯全てをカバーする可能性を秘めている（図1）。また常伝導状態での抵抗率も高いため、大きな力学インダクタンスが得られると期待されている[2]。

超伝導体 (バルク)	超伝導 転移温度 T _c [K]	ギャップ エネルギー 2Δ [meV]	フォトン 検出 [GHz]
Nb	9.23	2.8	> 680
Al	1.19	0.3	> 90
Ti	0.39	0.1	> 30
TiN	4.86	1.4	> 360

図1：主な超伝導材の転移温度とCooper対解離周波数の閾値

[TiN膜の超伝導転移温度制御]

まず最初にTiN膜の超伝導転移温度を制御するため、スパッタ雰囲気中の窒素流量を0~5sccmまで変えてTiN膜をSi基板上に成膜した。

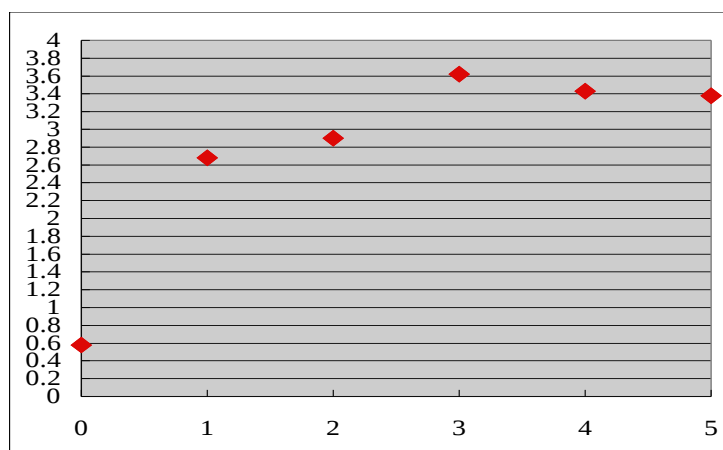
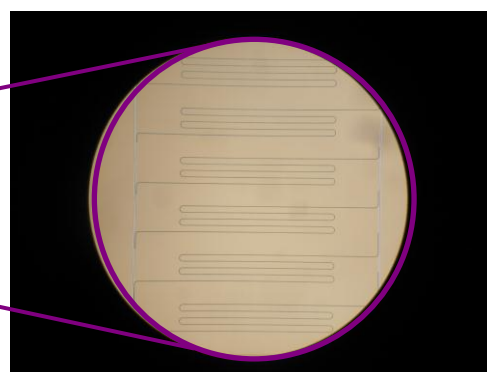
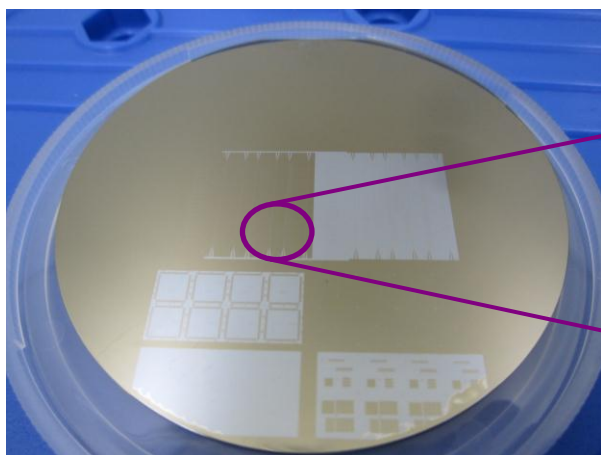


図 2 : 窒素流量 [sccm] (x 軸) の変化による超伝導転移温度 [K] (y 軸) の変化

出来上がった試料をそれぞれ5mm角にカットし、0.3K無冷媒冷凍機を用いて超伝導転移温度を調べた (図 2)。

[TiN-MKIDsの作製]

次に上で得られた結果を踏まえ、超伝導材料にTiNを用いたMKIDsの作製を行った (図 3)。



[TiN-MKIDsの冷却試験]

図 3 : 最初に作製したMKIDs

その後作製したTiN-MKIDsの冷却試験を行った。ネットワークアナライザを用いてMKIDsの共振ピークを探したところ、共振の特徴を示している箇所がいくつか見つかった (図 4)。

[まとめ]

スパッタ雰囲気中の窒素の流量を変えることによってTiN薄膜の超伝導転移温度が変化することを確認した。

TiN-MKIDsの作製&冷却試験を行い、TiN-MKIDsの共振ピークが得られた。

[参考文献]

- [1] P.K. Day et al., Nature **425**, 817 (2003).
- [2] H.G.Leduc et al., arXiv:1003.5584v1 (2010).



図 4 : 冷却試験で得られた共振ピークの例