

TiN/Ti 積層膜を用いて CMB 偏光観測に最適化した KIDs の作製と評価

Development and evaluation of TiN/Ti Multi Layer KIDs
for the observation of the CMB polarization

埼玉大院¹, 理研², 東北大院³, KEK⁴ ◯瀬本 宗久¹, 美馬 寛², 木内 健司²
明連 広昭¹, 成瀬 雅人¹, 大谷 知行^{2,3}, 田島 治⁴, 小栗 秀悟², 鈴木 惇也⁴, 田井野 徹¹
Saitama Univ.¹, RIKEN², Tohoku Univ.³, KEK⁴ ◯M. Semoto¹, S. Mima², K. Kiuchi²
H. Myoren¹, M. Naruse¹, C. Otani^{2,3}, O. Tajima⁴, S. Oguri⁴, J. Suzuki⁴, T. Taino¹
E-mail: m.semoto.392@ms.saitama-u.ac.jp

【はじめに】

宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background : CMB[1])は宇宙最古の光である。その偏光成分の精密観測によって、宇宙初期における時空の急激な加速膨張、インフレーション[2]が検証できる。この極めて微弱な信号の分析には、高感度かつ多画素の検出器が要求される。

我々は、CMB 偏光観測に特化した地上観測実験 GroundBIRD(GB 実験)を進めている。ミリ波受信機には力学インダクタンス検出器 (Kinetic Inductance Detectors : KIDs[3]) を採用している。その観測周波数帯は 145 GHz、220 GHz であり、それぞれ 20 %程度の帯域幅を有する。

KIDs は超伝導検出器の一つである。超伝導体のエネルギーギャップは、半導体に比べ極めて小さく、そのため超高感度な検出器を実現可能である。KIDs は、1000 個程度の超伝導共振器と 1 対の読み出し線路からなり、1 対の配線で信号を周波数空間で多重化して読み出せる。そのため、極低温に冷却する超伝導検出器への熱流入を抑えられる。

今回、我々は超伝導体に TiN と Ti を採用し、それを積層した TiN/Ti 積層膜を用いて、超伝導転移温度を GB 実験に最適化した KIDs の作製した。作製した KIDs を用いて光学的に無負荷な環境とミリ波を照射した環境での性能評価を行い、特に検出可能周波数と超伝導転移温度の相関を解析して報告する。

【TiN/Ti 積層膜の KIDs】

KIDs は、超伝導体のエネルギーギャップ以上の電磁波を検出でき、BCS 理論よりエネルギーギャップは式(1)のように表すことができる[4]。

$$h\nu_{\text{th}} \geq 2\Delta = 3.52k_{\text{B}}T_{\text{c}} \quad (1)$$

ここで h はプランク定数、 ν_{th} は検出可能周波数、 Δ は超伝導体のエネルギーギャップ、 k_{B} はボルツマン定数、 T_{c} は超伝導転移温度である。

TiN と Ti を用いると、超伝導近接効果によって T_{c} の面内分布を抑えつつ、 T_{c} を制御可能であることが報告されている[5]。我々もその技術を用い、TiN(T_{c} :4 K 程度)と Ti(T_{c} :0.4 K 程度)の積層膜で T_{c} を制御し、3 インチウエハ内での T_{c} 面内分布を 5 %以内に制御する技術を確認した[6]。

KIDs の感度は動作温度が T_{c} の 1/10 程度で最良となる。一方で、観測周波数を検出できることが要求される。そこで本研究では、GB 実験で用いる冷凍機の温度($T = 0.25$ K)のもとで、検出感度の最大化を目的として TiN/Ti 積層膜の T_{c} を制御し、感度を最適化する。

【TiN/Ti 積層膜の KIDs の作製と評価】

TiN/Ti 積層膜の KIDs(T_{c} : 1.72 K)を用いて透過特性を測定した。共振器特性を解析して Q 値や応答性を評価した。Fig.1 は、共振器特性の温度依存性を示す。これらの結果から KIDs として動作していることが確認できた。

式(1)の係数は、実験的には超伝導材料によって異なるため、作製した KIDs のミリ波応答を測定することで T_{c} と ν_{th} の関係を実測する。この値を用いて、最適化を実現する。

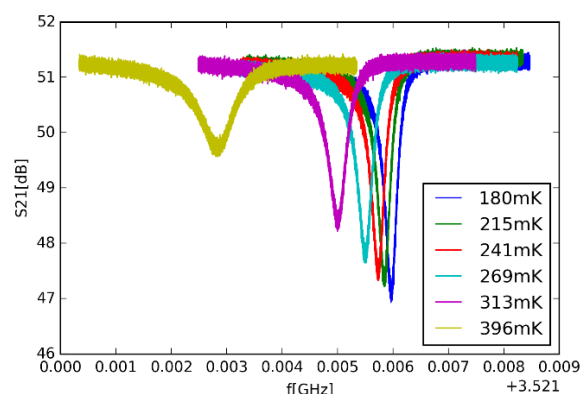


Fig.1 Temperature dependence of resonance curve. We measured a KID resonance from 180 mK to 396 mK.

参考文献

- [1] R.W. Wilson, A.A. Penzias, "Isotropy of Cosmic Background Radiation at 4080 Megahertz", Science 156 (3778), 1100-1101 1967.
- [2] K. Sato, Monthly Notices of Royal Astronomical Society 195, 467 1981.
- [3] K. Day et al., NATURE VOL.425, 23 OCTOBER 2003.
- [4] M. Tinkham, Introduction to Superconductivity, 2nd ed. McGraw-Hill, New York, 1996.
- [5] Michael R. Vissers et al. Appl. Phys. Lett. 102, 14 June 2013.
- [6] 古谷野 他, 第 76 回応用物理学会学術講演会, 15a-4A-3, 2015.