

アルミ超伝導トンネル接合素子 (Al-STJ) を用いた 宇宙背景放射 (CMB) 偏光カメラの開発

美馬 覚、石野 宏和、樹林 敦子 (岡大 自然)、羽澄 昌史、住澤 一高、樋口 岳雄、吉田 光宏、田島 治、
佐藤 伸明 (KEK)、渡辺 広記 (総研大)、佐藤 広海、大谷 知行、有吉 誠一郎 (理研)

研究背景

LiteBIRDなどのCMB偏光測定に使用することを目的とした、ミリ波帯に感度のある高感度検出器の開発。

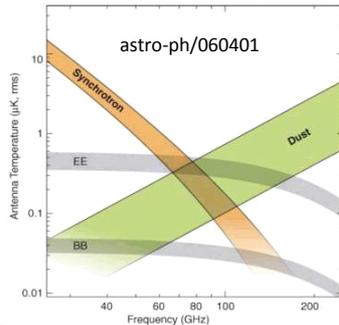
検出器への性能要求

CMB偏光の強度は、我々の銀河からの偏光成分の10分の1程度である。よって銀河からの偏光成分を理解し、精度良く差し引くため、系統誤差のない観測が必要になる。

銀河からの偏光成分の弱い周波数30-300GHz(ミリ波)に感度がある超高感度の検出器が必要となるが、現状で存在しない。

ミリ波に感度を持つ超高感度の検出器の開発が必要。

アルミSTJはよい候補



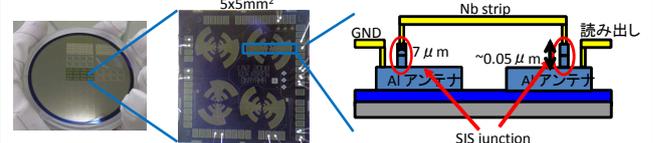
橙と緑が銀河からの偏光成分。BBがBモードCMB偏光パターン

STJ作成方法

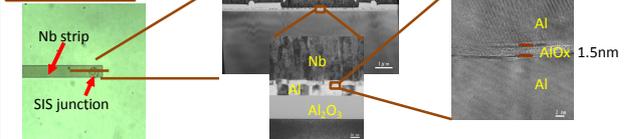
アルミSTJはフォトリソグラフィを用いた微細加工技術(成膜→パターン転写→膜を削るの繰り返し)により作製する。試作はKEKのクリーンルームでおこなっている。



完成したアンテナ接続アルミSTJ



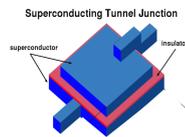
断面写真 (TEM)



STJ

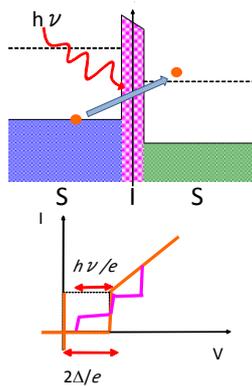
2枚の超伝導体で絶縁体をサンドイッチした構造をもつ(右図)。超伝導体で作るギャップは転移温度(T=0K)と比例関係にある。

$$2\Delta(0K) = 3.528kTc$$



検出原理(フォトアシスト検出)

1. 超伝導体の価電子層にある準粒子(電子)が、入射光子にアシストされもう一方の超伝導体の伝導層にトンネルする。
2. 電磁波の入射をSTJの電流電圧特性の変化として測定できる。



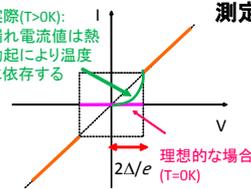
超伝導体の選択

超伝導体	臨界温度 (Tc) [K]	ギャップエネルギー (2Δ) [meV]	フォトン検出閾値 [GHz]	フォトアシスト検出帯域 [GHz]
Nb	9.23	3.1	750	375-750
Ta	4.39	1.4	340	170-340
Al	1.196	0.34	80	40-80
Hf	0.165	0.04	10	5-10

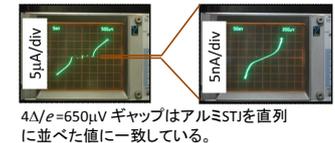
アルミSTJで40GHz以上の周波数をカバー可能

静特性 (Al-STJ)

実際(T>0K):
漏れ電流値は熱励起により温度に依存する



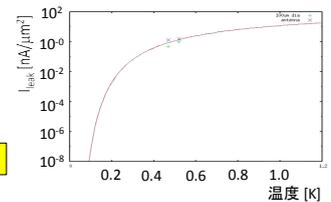
測定結果



漏れ電流:理論式との比較

$$I_{leak} = \frac{1}{eR_0} \frac{\Delta + eV_b}{\sqrt{(\Delta + eV_b)^2 + \Delta^2}} \sqrt{2\pi \Delta k_B T} \exp\left(-\frac{\Delta}{k_B T}\right)$$

漏れ電流値が理論式に一致

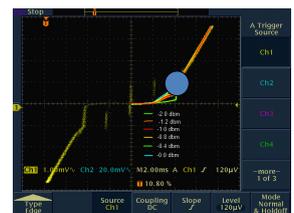


ミリ波照射(アンテナ接続Nb/Al-STJ)

- ・測定温度: 0.3K
- ・ギャップ: $2\Delta = 1.1\text{mV}$

結果

90GHzのミリ波照射により、フォトン検出によるギャップの変化を確認した。右図でギャップは0.3mV(90GHz)の電圧変化が見える



Nb/Al-STJでミリ波を検出