

# AI-STJの作製と評価

理研・延與放射線研 佐藤広海

KEK・素核研 羽澄昌史、田島治、後田裕、住澤一高、樋口岳雄

東工大・理 石野宏和

マイクロ波検出を目指したAI-STJの開発を開始  
現状の報告

# 背景:CMB観測

CMB:宇宙マイクロ波背景放射

「宇宙の晴れ上がり」(t=38万年)の時の「光」

★ CMBの観測 ← COBE, WMAP 温度揺らぎの存在

→宇宙の「再電離」の検証→インフレーション理論の検証

→宇宙の組成比の決定

(バリオン4%、ダークマター20%、ダークエネルギー76%)

COBE

→宇宙年齢の測定( $137.3 \pm 1.6$ 億歳)

★ CMB偏光Bモード測定(未測定)

→原始重力波の存在証明

→インフレーション時期の決定

周波数:50~300GHzのマイクロ波領域を「同一検出器で」観測

WMAP

# 超伝導体の選択

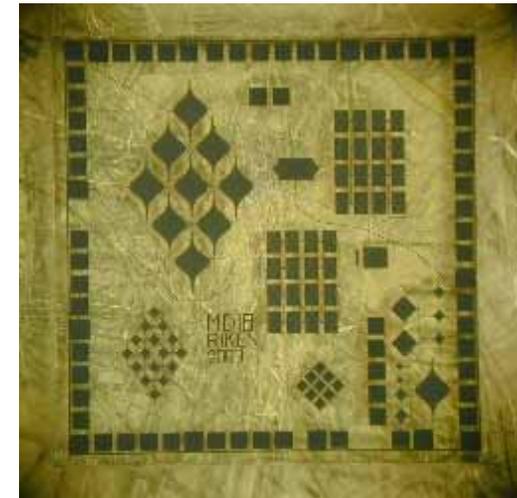
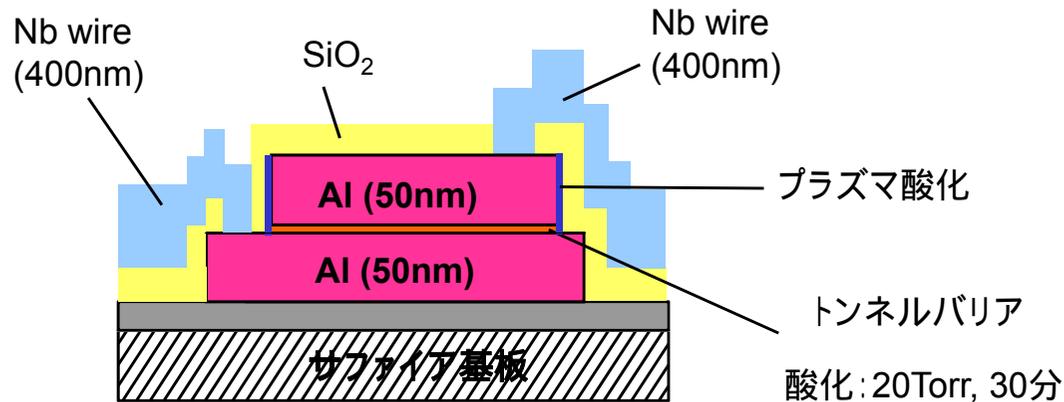
超伝導体	臨界温度 ( $T_C$ ) [K]	ギャップエネルギー ( $2\Delta$ ) (meV)	フォトン検出閾値 [GHz]	ビデオ検出帯域 [GHz]
Nb	9.23	3.1	750	375-750
Pb	7.193	2.4	580	290-580
Ta	4.39	1.4	340	170-340
In	3.4035	1.1	270	135-270
Al	1.196	0.34	80	40-80
Ga	1.091	0.31	75	37-75
Mo	0.92	0.26	60	30-60
Zn	0.852	0.22	50	25-50
Cd	0.56	0.15	36	18-36
Ti	0.39	0.10	24	12-24
Hf	0.165	0.04	10	5-10

AlとAl/Taのビデオ検出で、50-300GHzのほぼ全域をカバーできる可能性あり。  
Alのフォトン検出もフィルターと組み合わせて試験できる。  
Alの動作温度(= $T_C/10$ )はおよそ120mK。ADR冷凍機でテストできる。  
実現には、Al-STJの試作(まだ実績なし)が急務である。

# AI-STJの作製

KEK・素核研のグループと共同でAI-STJの作製を開始

素子は理研のプロセス装置を用いて作製



5mm チップ

- 基板: サファイア 0.4mm<sup>t</sup>
- AIのエッチングパターン露光の前に25nmのSiO<sub>2</sub>膜をスパッタし、  
現像の際に現像液によってAIが溶けるのを防ぐ
- AIはCF<sub>4</sub>ガスによるエッチングで加工(低圧力で間欠エッチング)
- Junction Defineのレジストを残したまま、酸素プラズマで素子のエッジを酸化

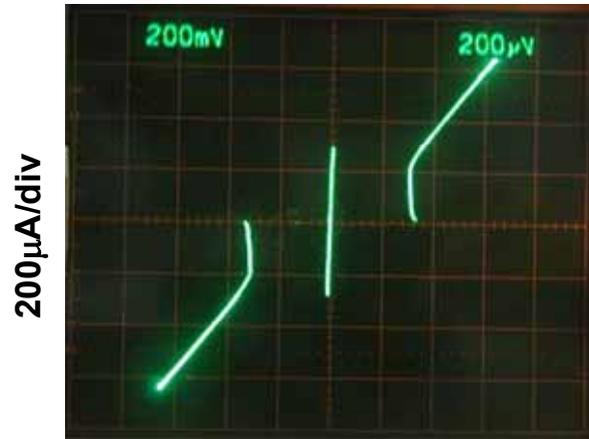
# AI-STJの評価@0.4K(1)

$^3\text{He}$ 減圧型冷凍機で $\sim 0.4\text{K}$ に冷却

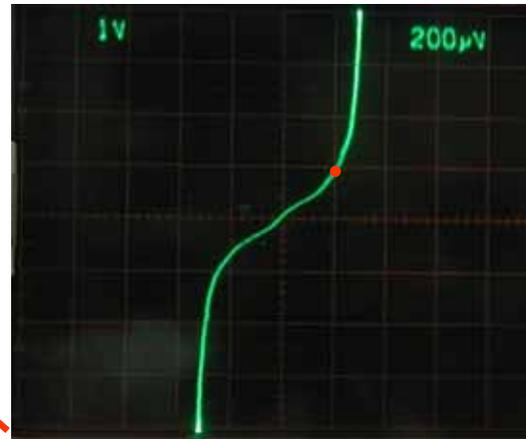


電流-電圧曲線

✦ ダイヤ型:  $50\mu\text{m}$ 角



$2\Delta = 0.34\text{mV}$



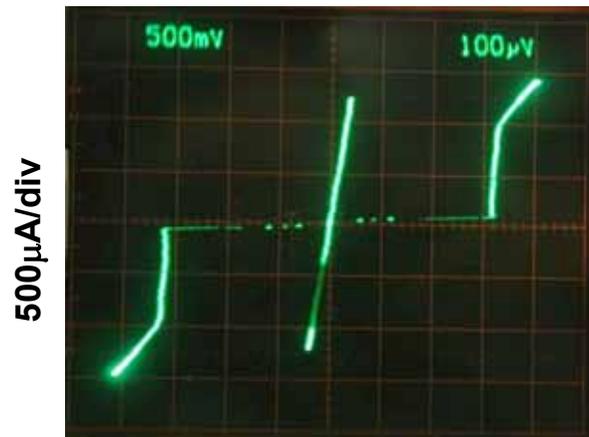
$I_{\text{leak}} = 900\text{nA}$  @  $0.2\text{mV}$

$$J_c = 11.6\text{A/cm}^2$$

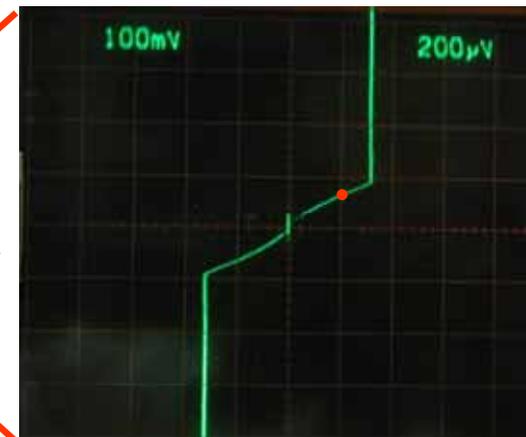
$$\rho = 25.0\mu\Omega \cdot \text{cm}^2$$

$$R_n = 1.0\Omega$$

✦ 正規分布型:  $100\mu\text{m}$ 角相当



$2\Delta = 0.32\text{mV}$



$I_{\text{leak}} = 70\mu\text{A}$  @  $0.2\text{mV}$

$$J_c = 12.5\text{A/cm}^2$$

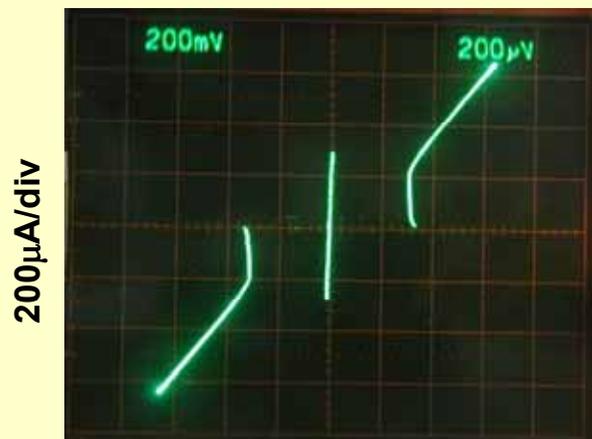
$$\rho = 28.6\mu\Omega \cdot \text{cm}^2$$

$$R_n = 0.28\Omega$$

# AI-STJの評価@0.4K(2)

## 抵抗率「 $\rho$ 」に関する比較

★ ダイヤ型: 50 $\mu$ m角



$$J_c = 11.6 \text{ A/cm}^2$$

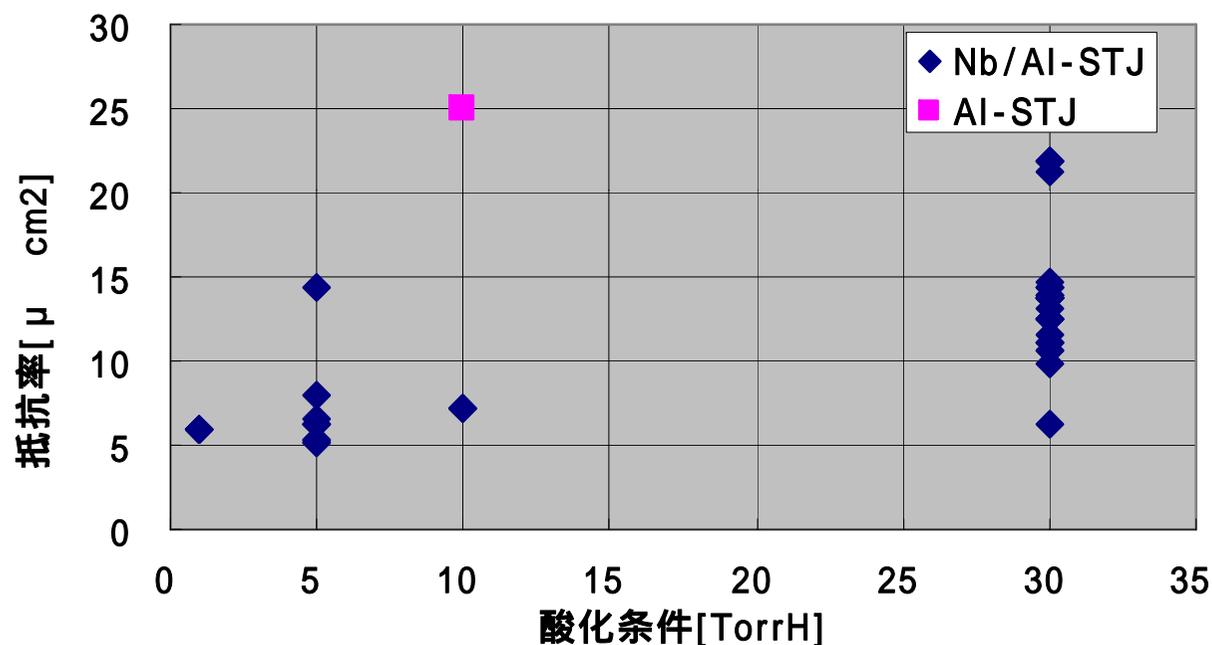
$$\rho = 25.0 \mu\Omega \cdot \text{cm}^2$$

$$R_n = 1.0 \Omega$$

酸化条件: 酸素20Torr、30分

10 Torr·hour

ここ1年程度で作製したNb/Al/AIOx/Al/Nb-STJで得られた $\rho$ の分布



今回のAI-STJは、Nb/Al-STJよりも大きな $\rho$ を示している

表面状態の違いによるものか？

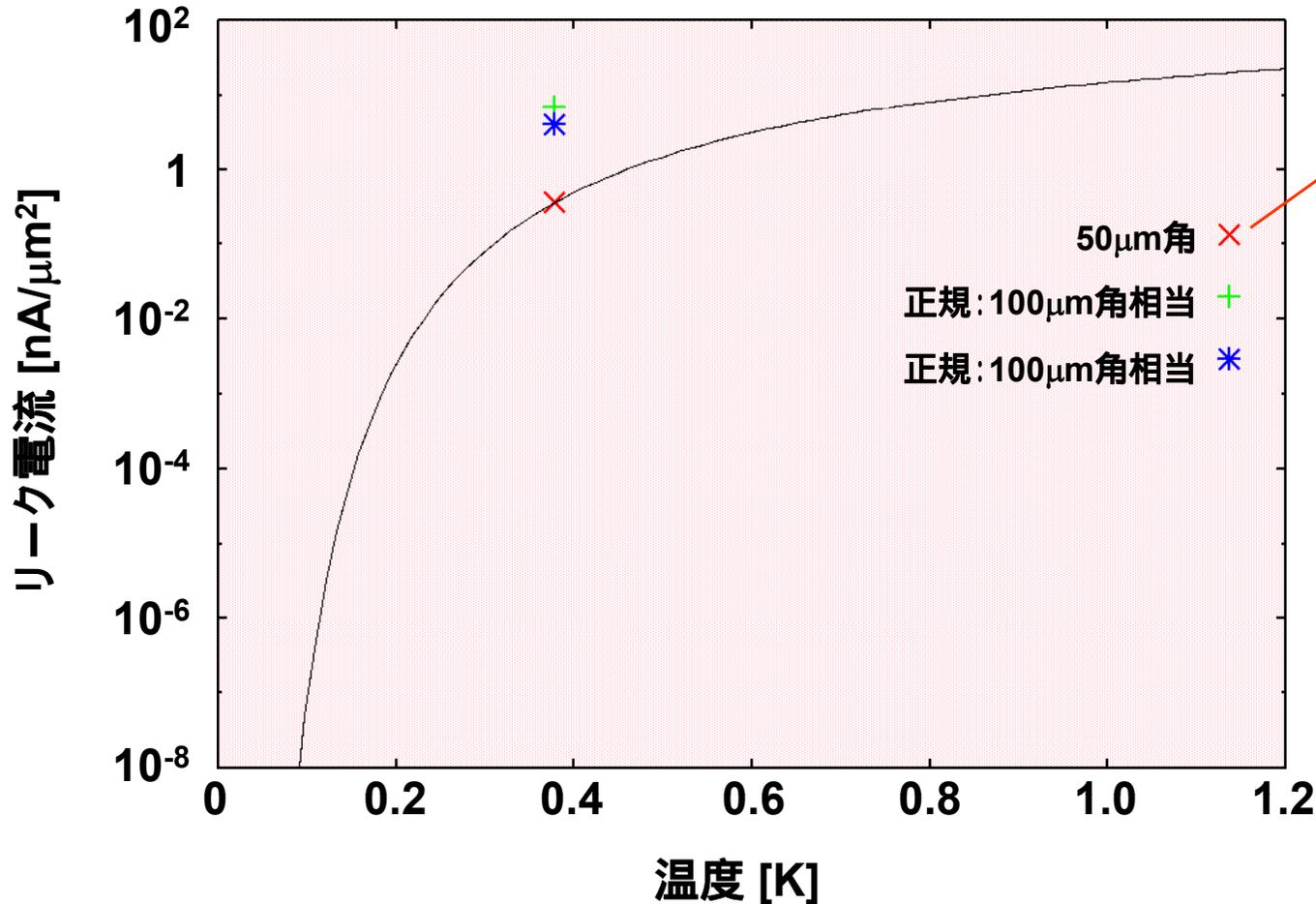
# AI-STJの評価@0.4K (3)

## リーク電流の考察

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

←この式と比較

単位面積(1 $\mu\text{m}^2$ )あたりのリーク電流@0.2mV



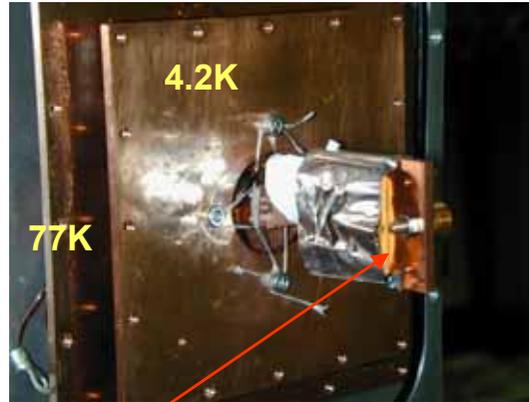
この素子をさらに低温に冷却し、どこまで下がるか調べる

計算に乗ると、  
~ pA@0.1K

# AI-STJの評価 with ADR

ADRで冷却し、電気特性評価・X線測定を試みる

しかし、現状では、うまくいっていない...

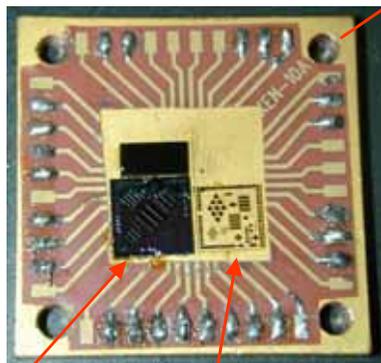


鼻を延長せず、(ほぼ)無負荷状態では  
**88mK**まで到達し、88mK→120mKまで14  
時間 (0.04mK/分)

鼻を延長せず、マンガン線20本を配線し  
V測定テストを実施した際、到達温度  
**112mK**で、112mK→137mKまで4時間  
(0.1mK/分)

しかし、鼻をつけると、到達温度は**176mK**  
で、しかも温度が直ぐに上昇してしまう  
(10mK/分 程度) / 配線はNb/Ti × 24本

現在、原因究明中



AI-STJ

Nb/AI-STJ



# まとめ

## ● AI-STJのマイクロ波検出応用

→ 将来、CMB観測実験の検出器としての利用を目指す

今年度から、理研 KEKでAI-STJの開発を開始

### 現状

- 素子作製(2バッチ)→まだ歩留まりは悪いが、0.4Kで特性の良い(リーク電流が計算値と一致する)素子ができた
- より低温での特性評価→ADRが準備不足

### 今後:今年度の予定

- 素子作製→0.4Kでの評価を続ける
- ADRが正しく冷えない原因をつぶし、0.1K付近での静的特性評価
- X線の検出