CMBカメラ開発における アルミ超伝導トンネル接合素子（STJ）の基礎特性評価

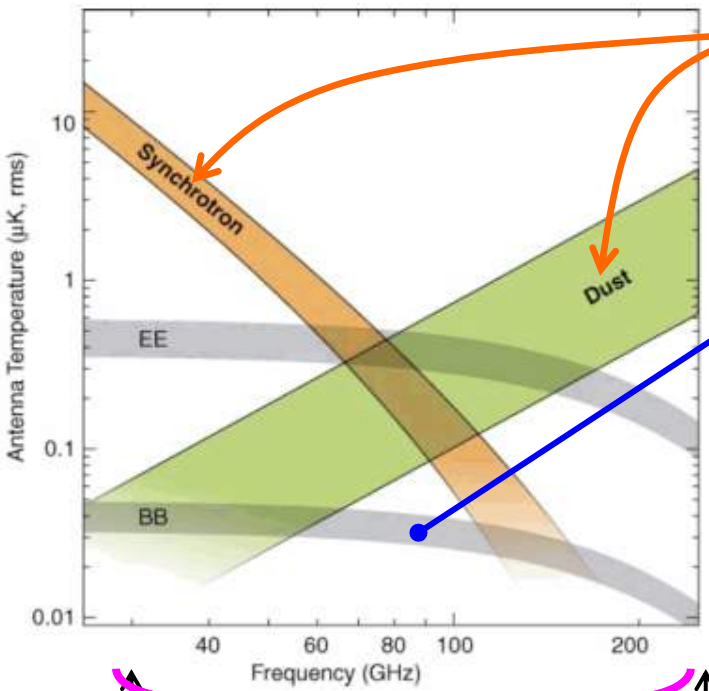
岡山大，高エ研[A]，理研[B]
美馬覚〇，石野宏和，樹林敦子，羽澄昌史[A]，住澤一高[A]，
樋口岳雄[A]，吉田光宏[A]，田島治[A]，佐藤伸明[A]，佐藤広海[B]，
他 KEK測定器開発室：超伝導ミリ波カメラ開発グループ

アウトライン

1. 研究背景
2. STJ
3. STJの試作
4. I-V測定
5. 理研からKEKへ移設
6. まとめと今後

1. 研究背景:CMBの偏光観測

- 宇宙マイクロ波背景輻射のBモード偏光成分の測定をしたい
  - 宇宙のインフレーション起源の原始重力波の間接測定とその研究になる！



邪魔者(foreground)を理解しつつ
~40GHz と ~200GHz

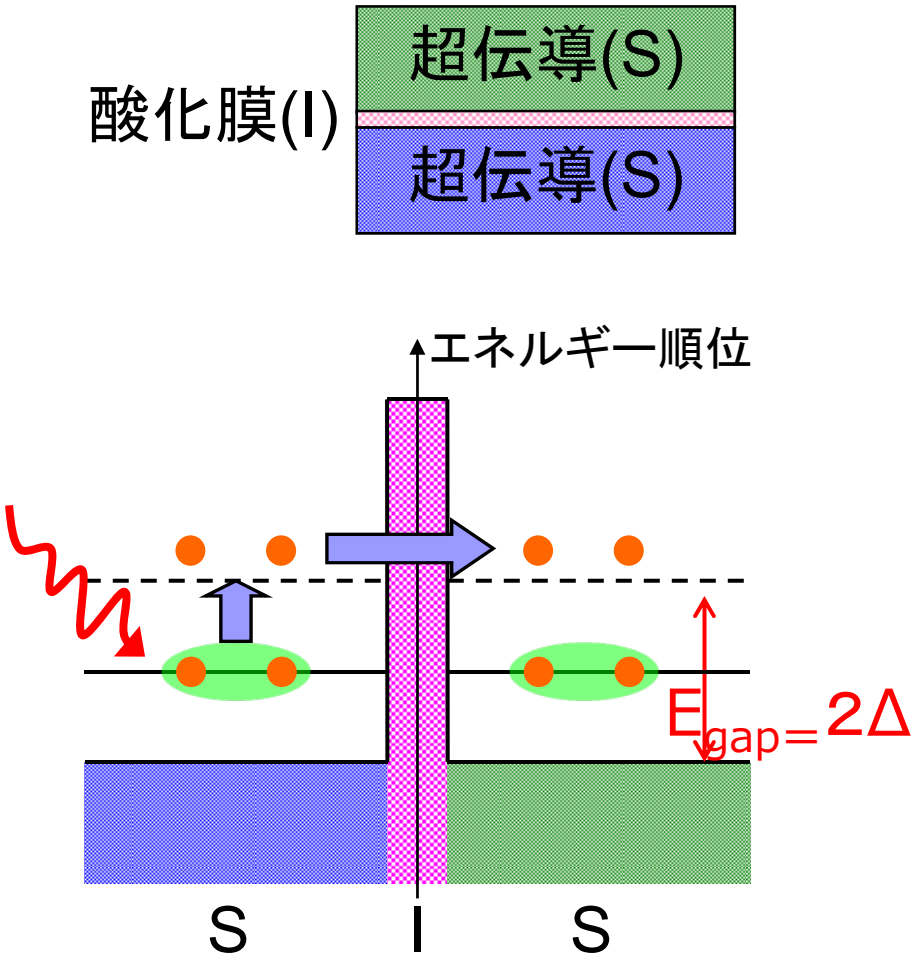
Bモードの測定をしたい
~90GHz付近で最良のS/N

ミリ波帯
⇔30~300GHz(0.1~1.2meV,波長1~10mm)
に高い感度があるセンサーアレイがほしい!!

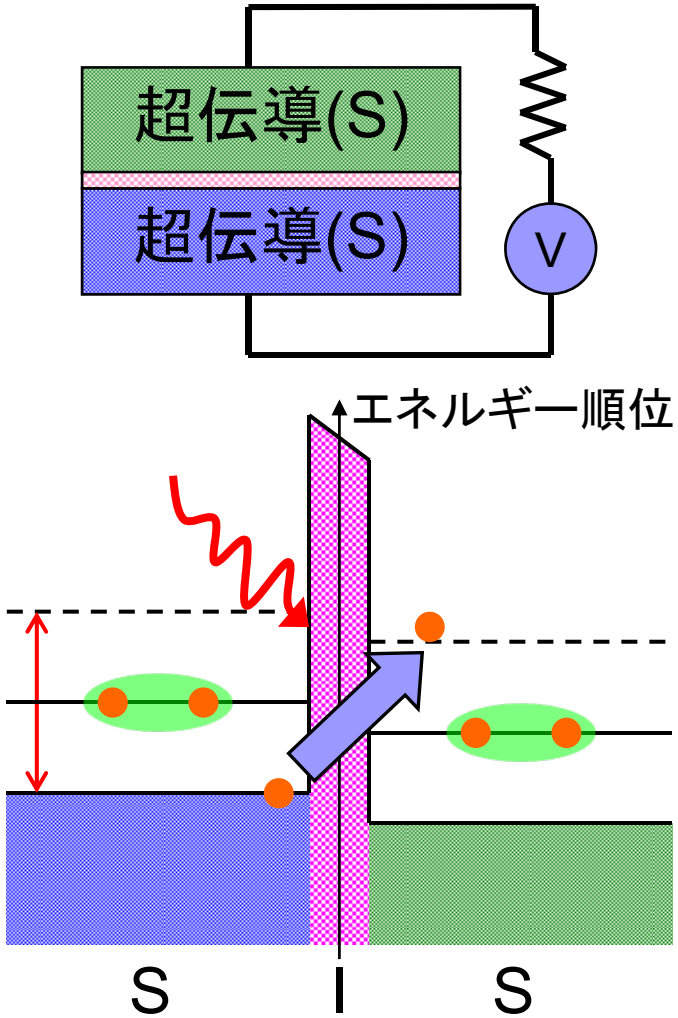
波長10mm　　波長 1mm

2. STJ:検出原理

Photon検出

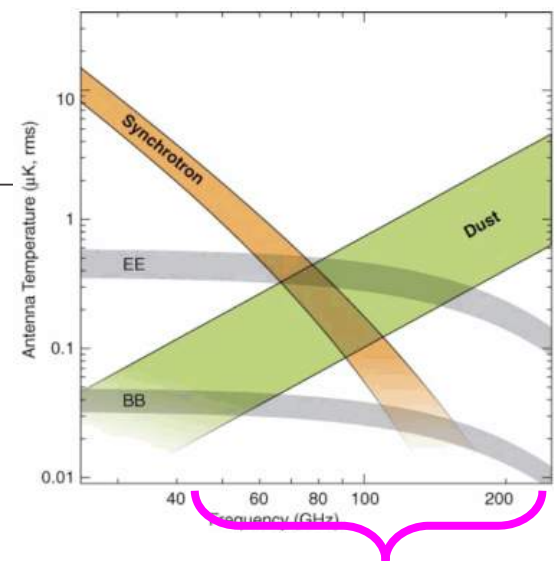


ビデオ検出



超伝導体の選択　　2Δ(0K)＝3.528kTc

超伝導体	臨界温度 (T_C) [K]	ギャップエネルギー (2Δ) [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	
Ti	0.39	0.10	24	
Hf	0.165	0.04	10	

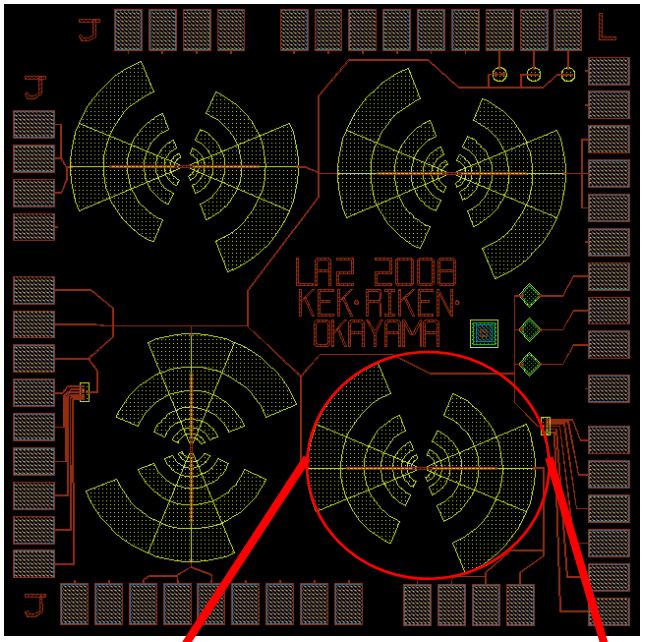


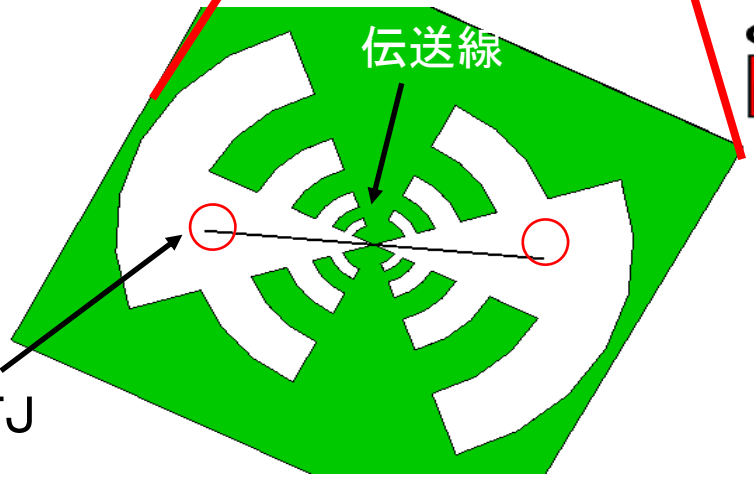
- Alのフォトン検出とビデオ検出で、30-300GHzのミリ波帯のほぼ全域をカバーすることが可能
- Alの動作温度(=Tc/10)はおよそ120mK
- テストにはADRか希釈冷凍機が必要

CMBカメラデザイン

- 理研で光検出の実績のある、アンテナ接続Nb/Al-STJのデザインを利用
  - Al-STJ用に72GHzに最適化したアンテナ用のマスクを作成

アンテナ付Al-STJのチップのデザイン



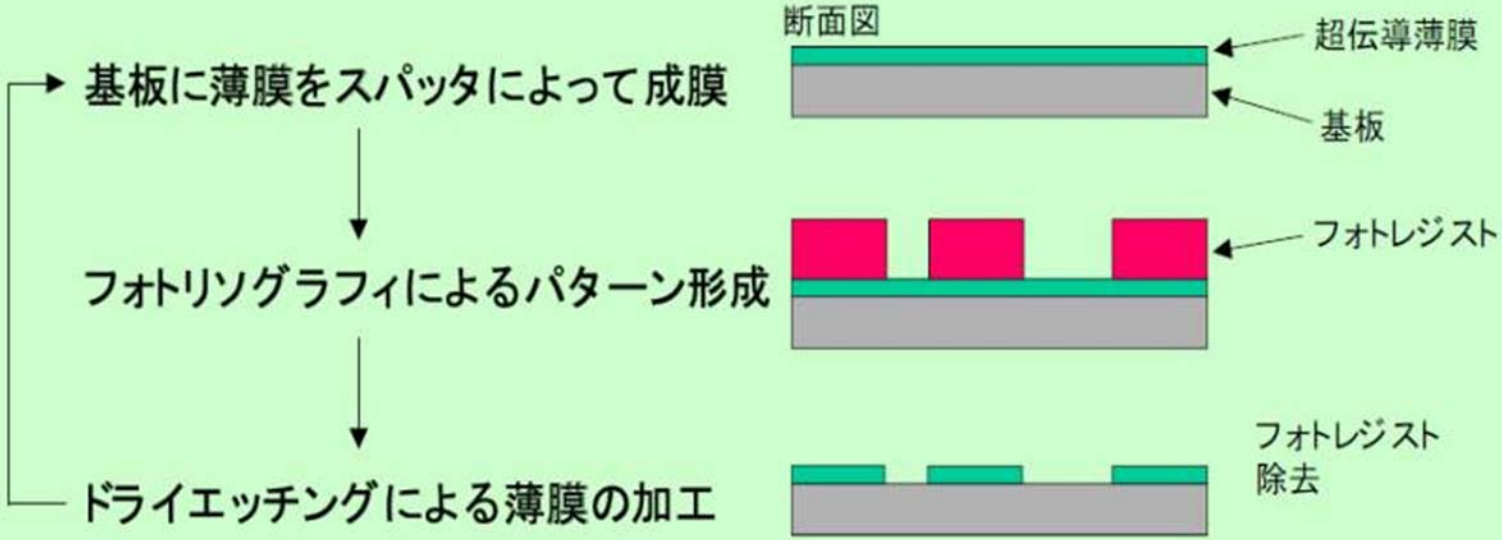


アンテナのデザイン

3. Al-STJ試作：和光理研

クリーンルーム

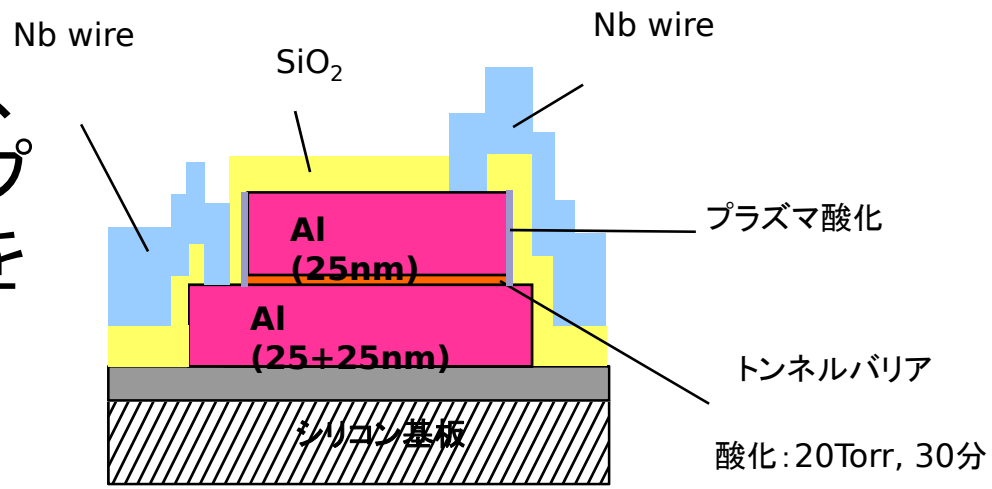
STJ作製専用
プロセス装置
群を所有



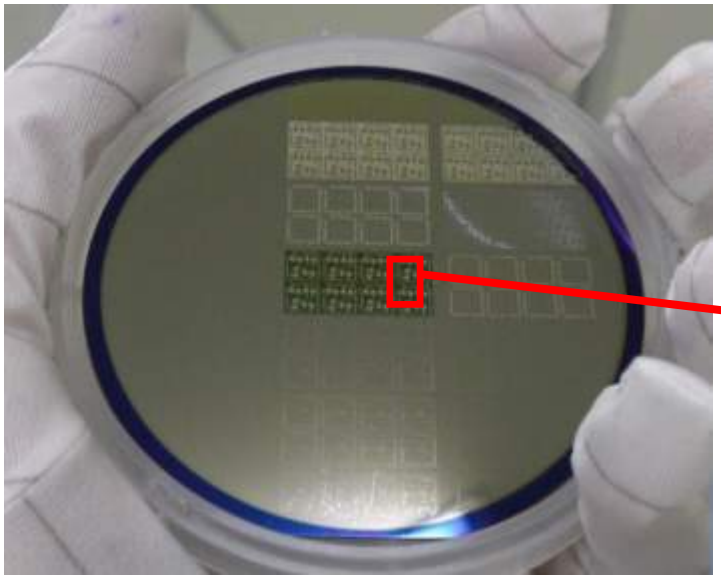
Al-STJの構造

- アンテナ接続STJのサイズは7μΦ
  - アライナーの位置あわせ精度より)
- AlはCF4ガスによるエッチングで加工(低圧力で間欠エッチング)
- SIS構造作成のレジストを残したまま、酸素プラズマで素子の側面を酸化

S	Al	25 nm
I	AlOx	数nm (20Torr X 0.5Hour)
S	Al	25 nm
アンテナ(Al)		25 nm
Al2O3		100 nm
シリコン基板		

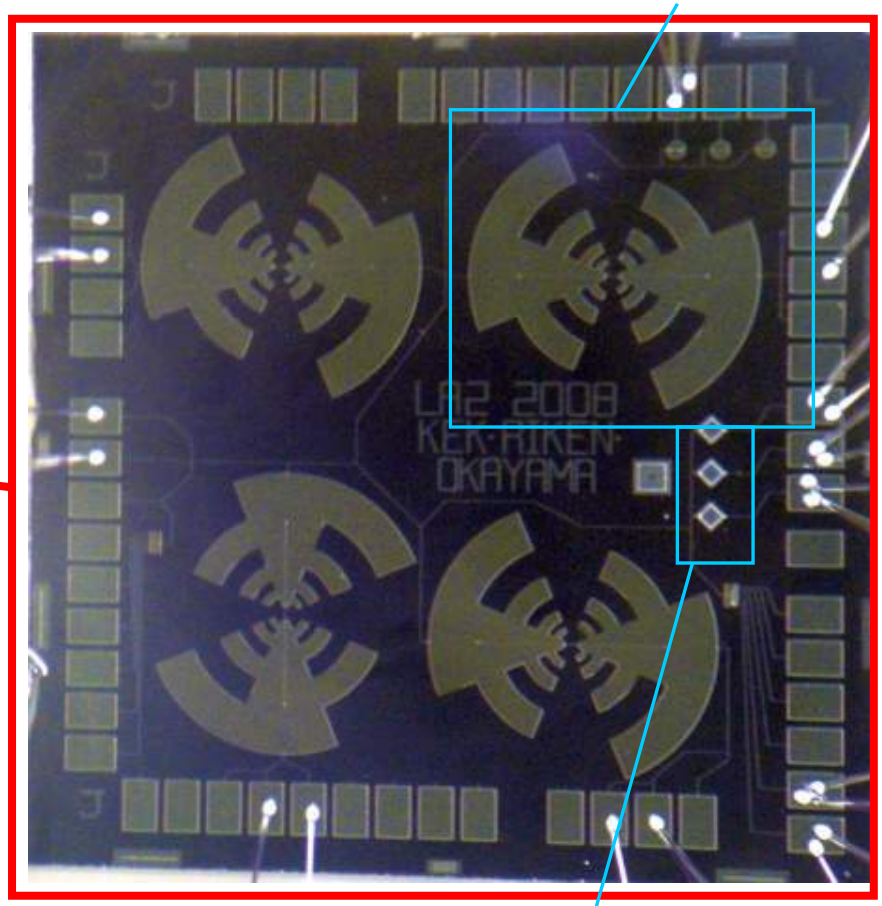


完成したAl-STJ



5mm角のチップが2×4枚

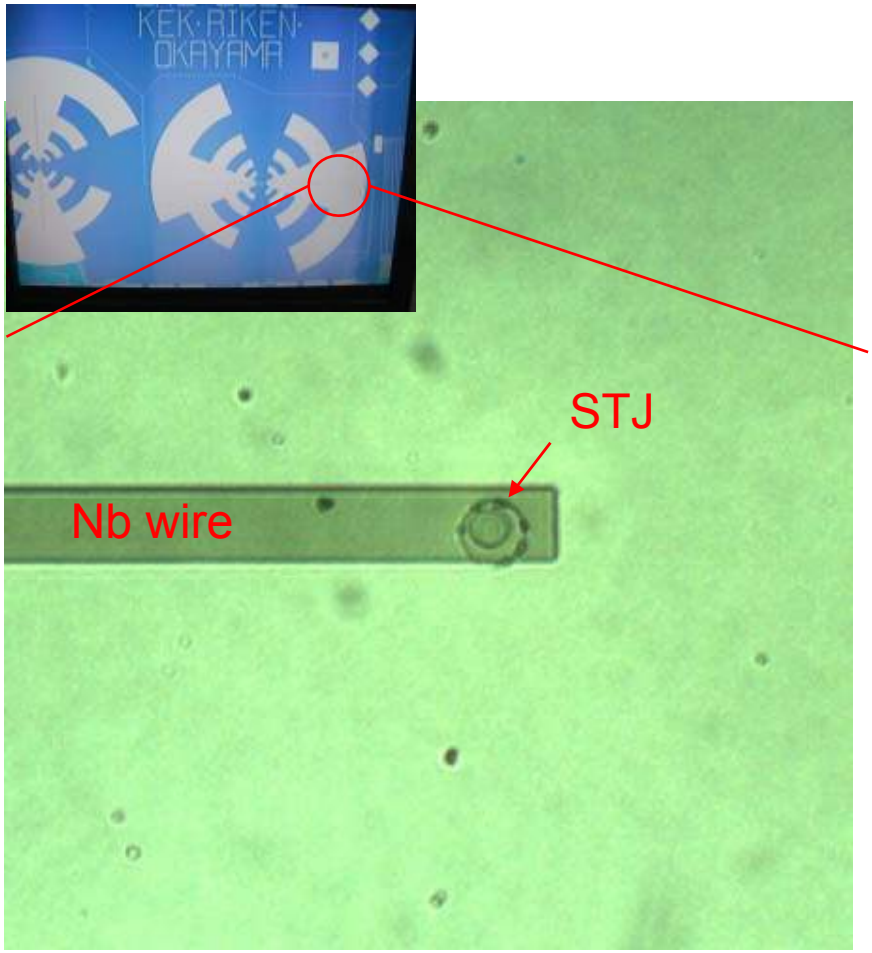
アンテナ付STJ（7μΦ）



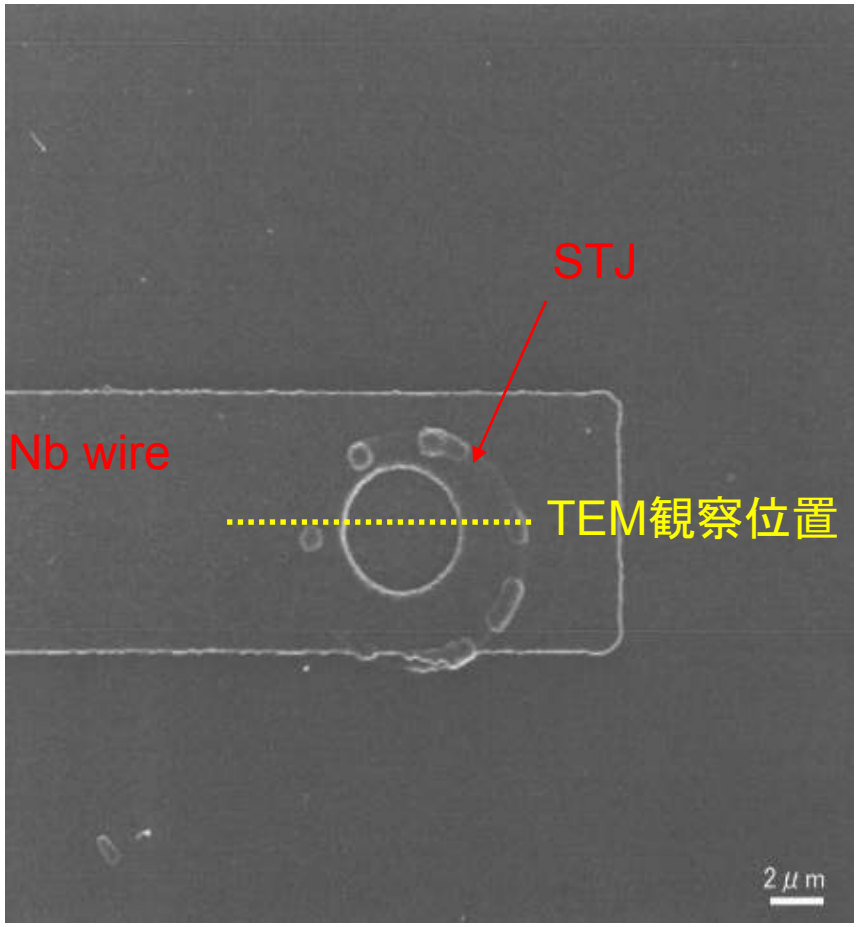
5 mm

STJ（SIS構造）の確認用
（X線用100μmのダイヤ型）

TEMによるAl-STJの断層写真1

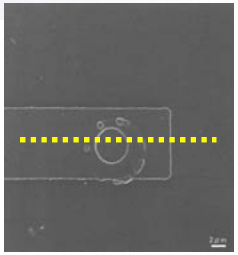


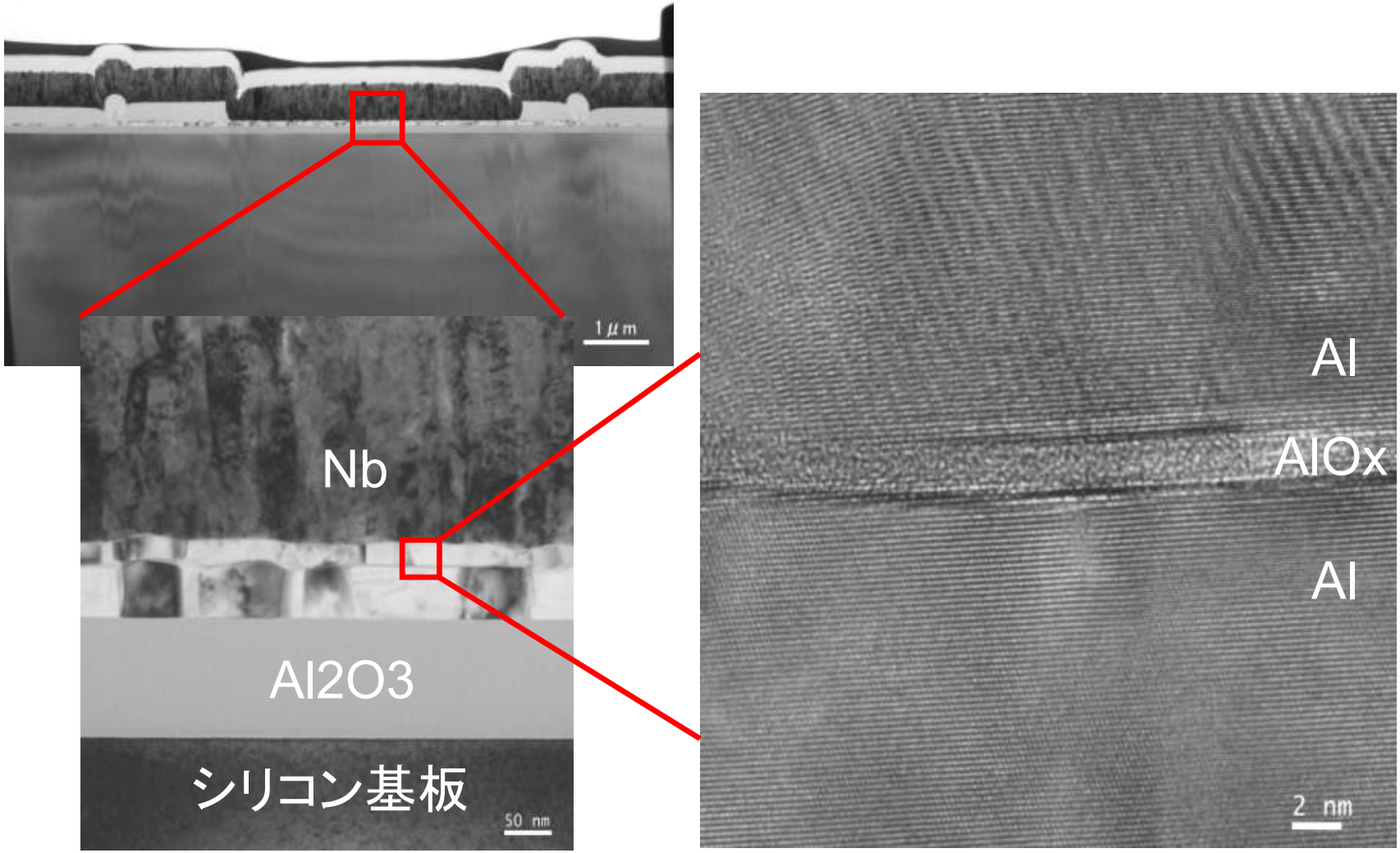
光学顕微鏡像



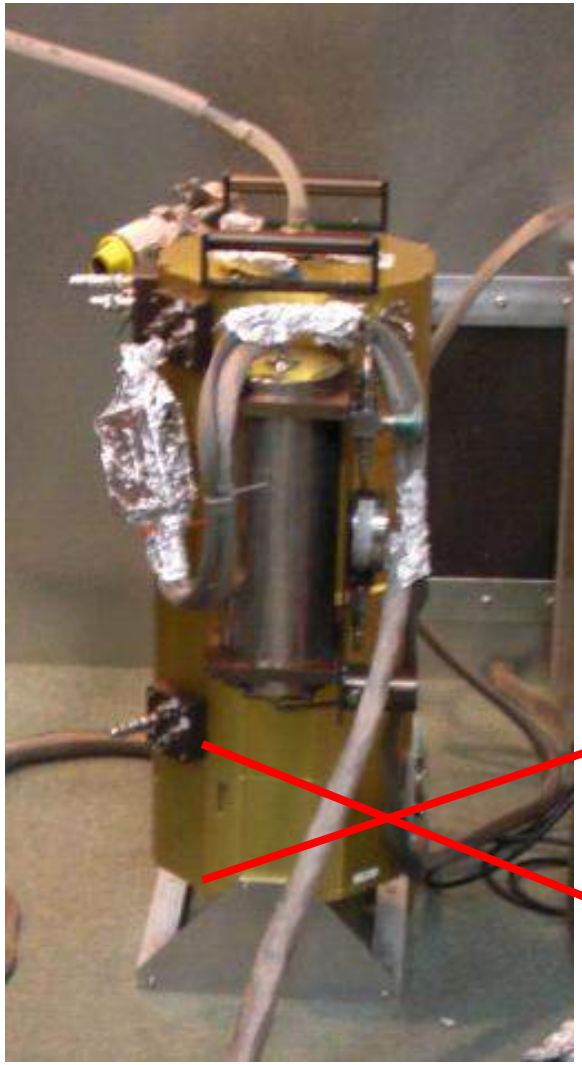
FIB-SIM像

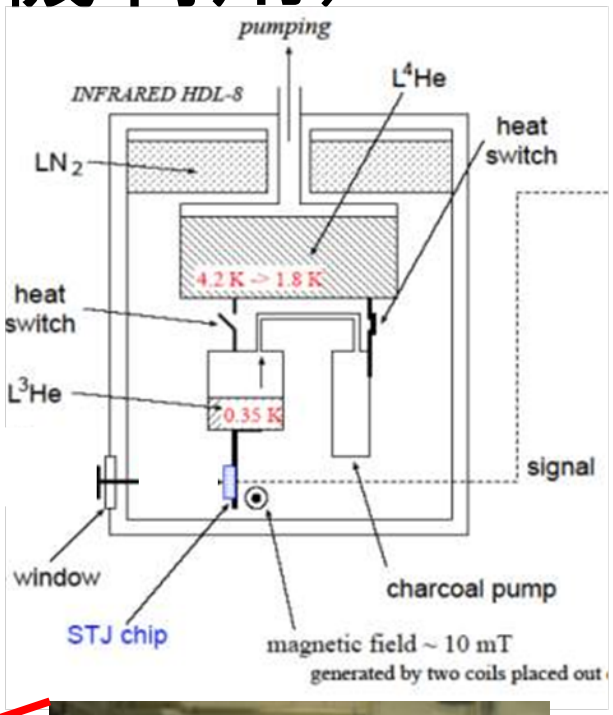
TEMによるAl-STJの断層写真2

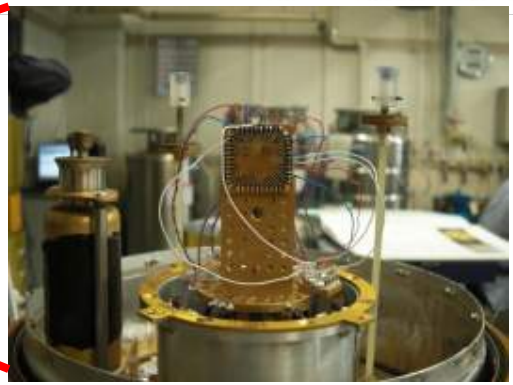




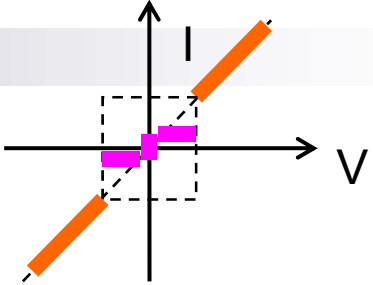
4. I-V測定(0.3K冷凍機利用)



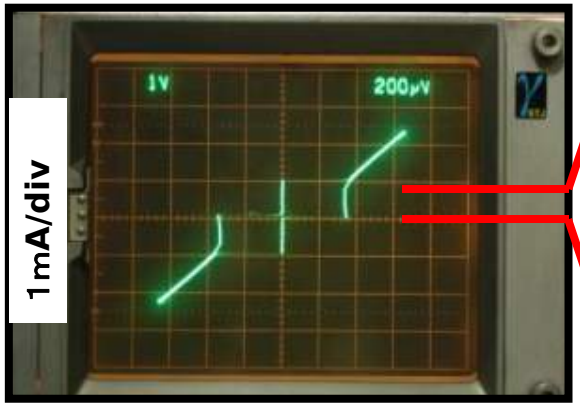




I-V測定（0.47K）



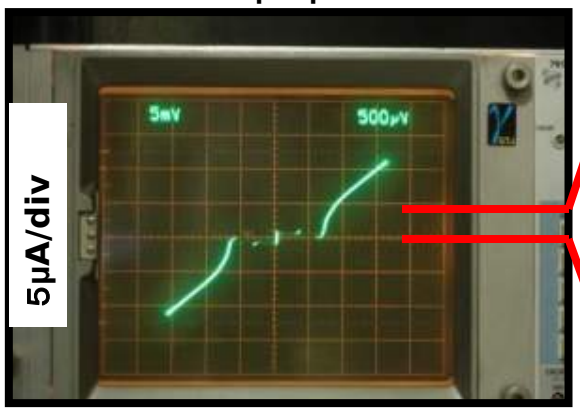
100μmダイヤ型



磁場有り

2Δ＝340μV
リーク電流(100μV)
=5μA
Rn=0.3Ω

アンテナ接続φ7μm x 2



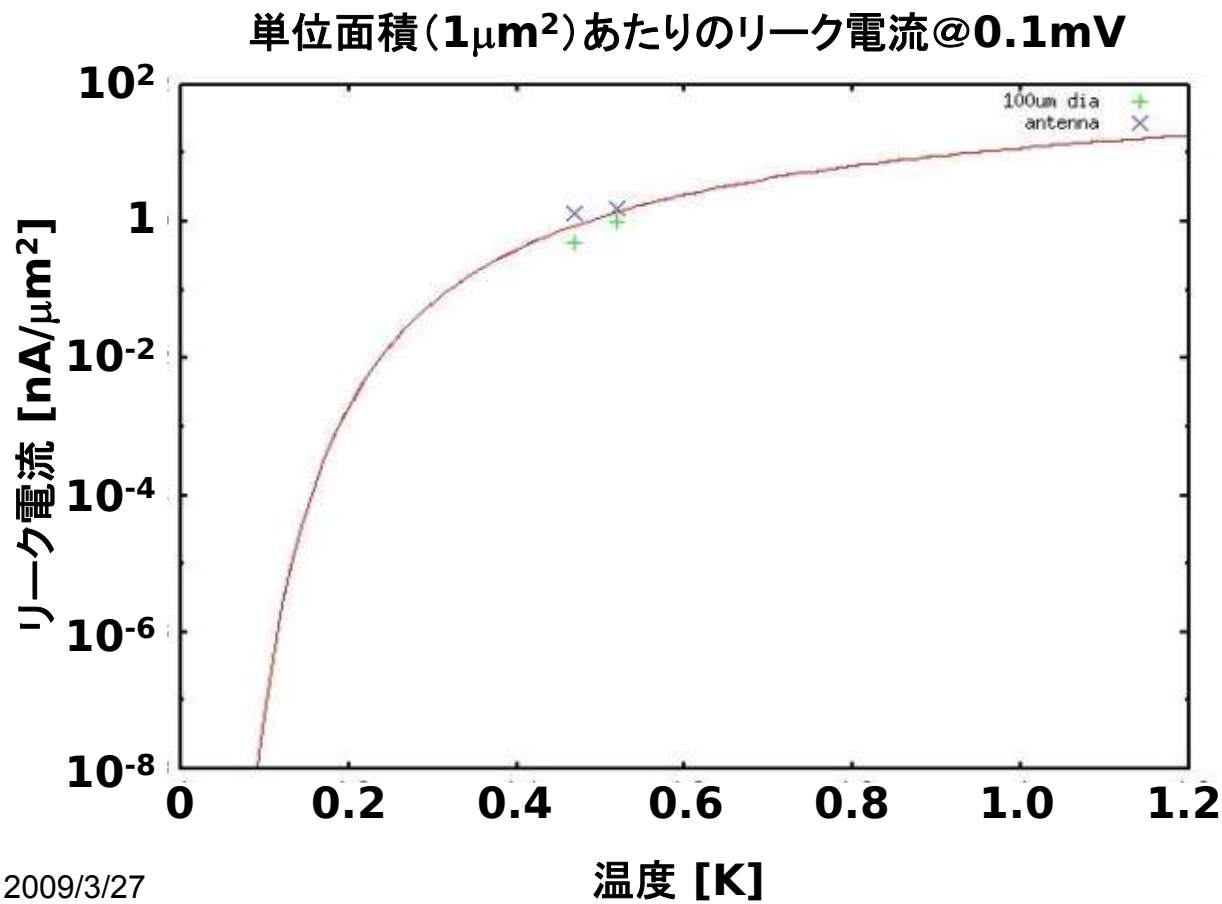
磁場有り

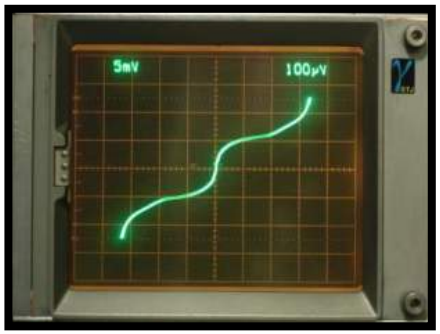
2Δ×2＝650μV
リーク電流（200μV）
＝15nA
Rn=0.3Ω

リーク電流の評価（0.47K,0.52K）

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

←この式と比較





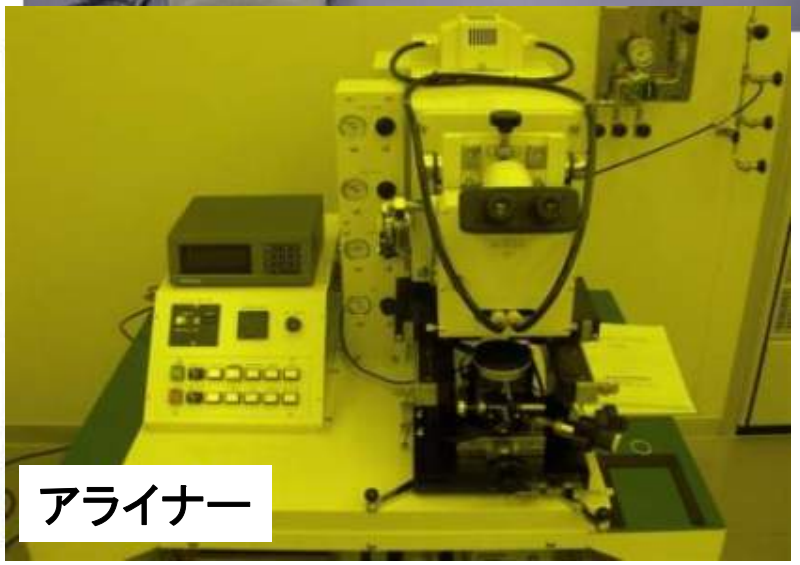
この素子をさらに低温に冷却し、どこまで下がるか調べる

計算に乗ると、
～pA@0.1K

5. 理研からKEKへ移設

理研

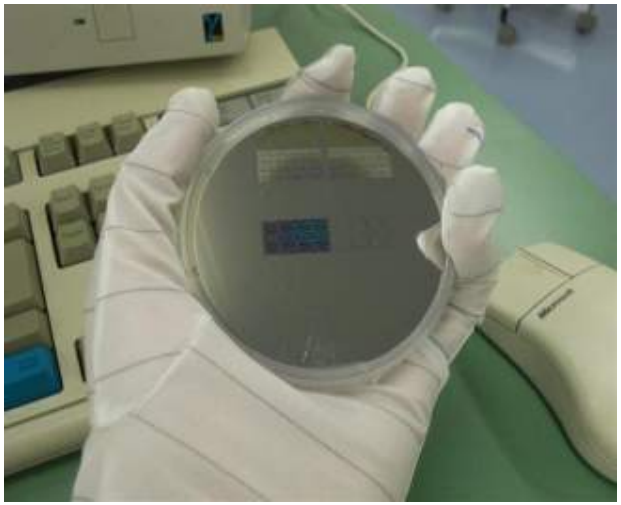
KEK

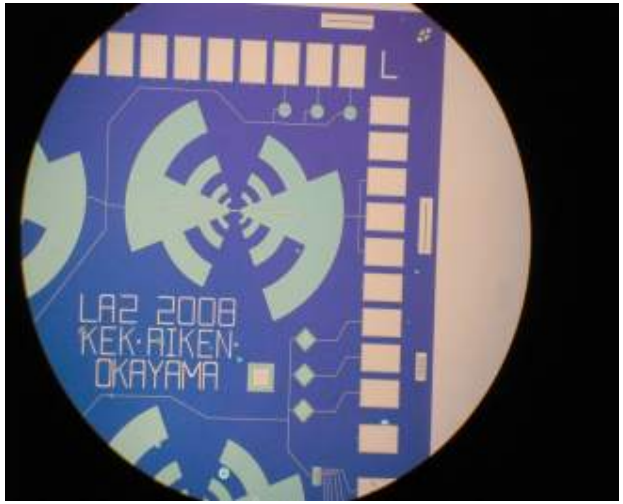


Nb/Al-STJ試作@KEK

- 移設前の2008.09.26に理研で作成したNb/Al-STJと同じレシピ
- **結果（アンテナ接続STJ）**
  - **リーク電流@400μV**
    - **移設後：300nA**
    - **移設前：120-200nA**

→移設前と同じ結果が得られた。





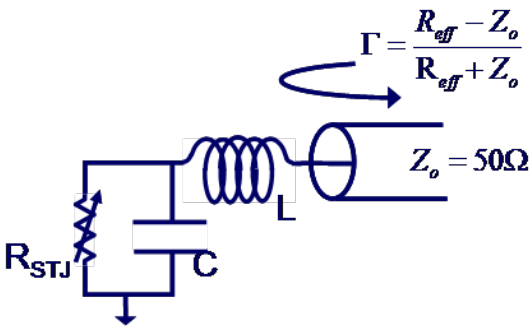
5. まとめと今後

- まとめ
  - 目的:STJを使ったミリ波(30~300GHz, 0.1~1.2meV)測定器の開発
  - Al-STJをアンテナ接続のデザインで試作
    - → Al-STJのI-V特性を確認。良いSIS構造のAl-STJが出来た！
  - KEKでの本格的なSTJ作製開始

- 今後
  - 100GHzの発振器を使ったミリ波照射試験(Al-STJ)
  - 低リーク電流を目指し、膜厚や大きさなどのパラメーター依存性を調査
  - 素子数を増やしてアレイ化したCMBカメラの試作

バックアップ

多チャンネル化：周波数ドメイン読み出し

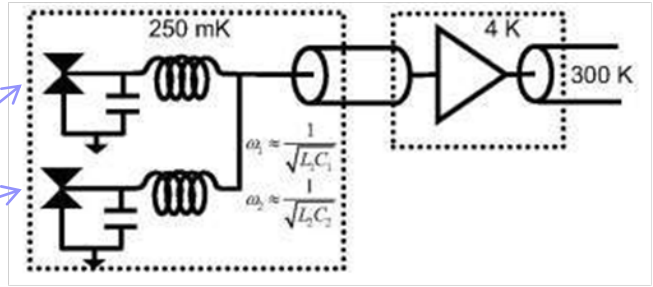


$R_{eff} = L / R_{STJ} C$　　$\omega_o = 1 / \sqrt{LC}$

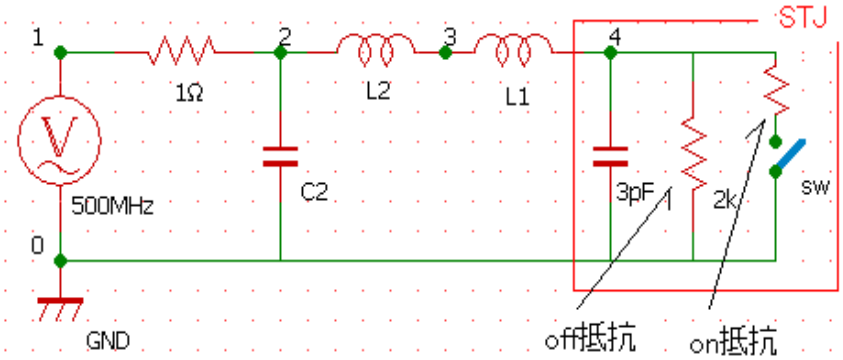
Yale大学がRF-STJによる周波数ドメイン読み出しを提唱
IEE Trans. Appl. Superconductivity Vo.17 p.241 (2007)
STJ多チャンネル化へのブレークスルーとなる可能性あり。

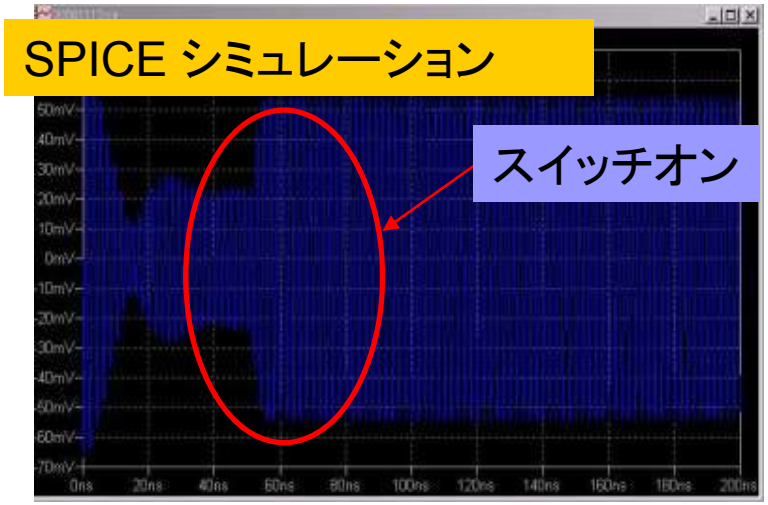
周波数ドメインの
多重化
（ラジオみたい）

アンテナ結合
STJ



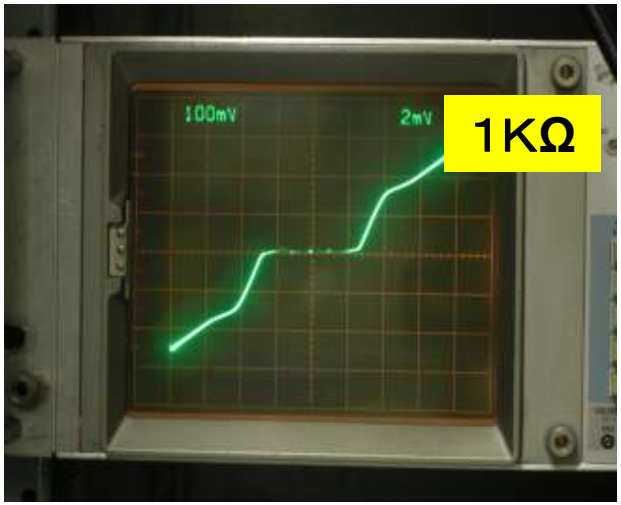
リレーを用いた読み出し回路の試作

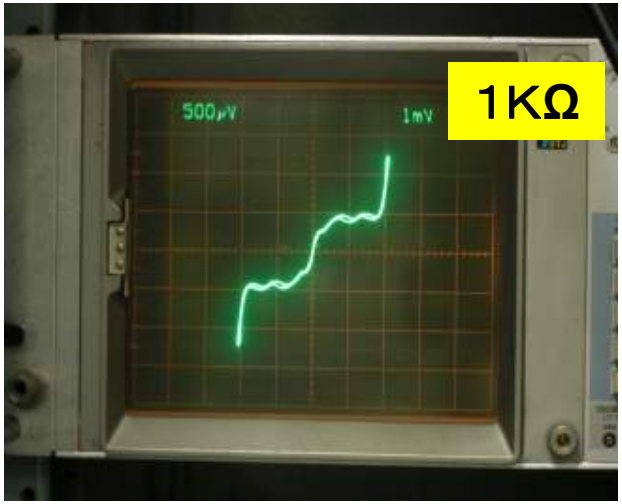




- リレーのスイッチを入れることで、インピーダンスのマッチがとれなくなり、反射が起こる。

アンテナ（A1）1.6K

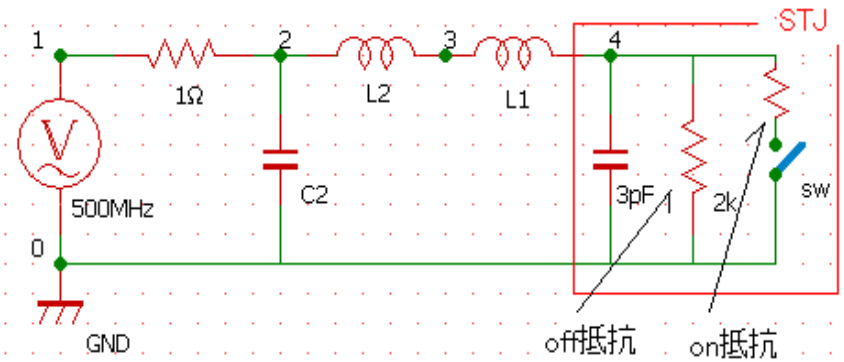




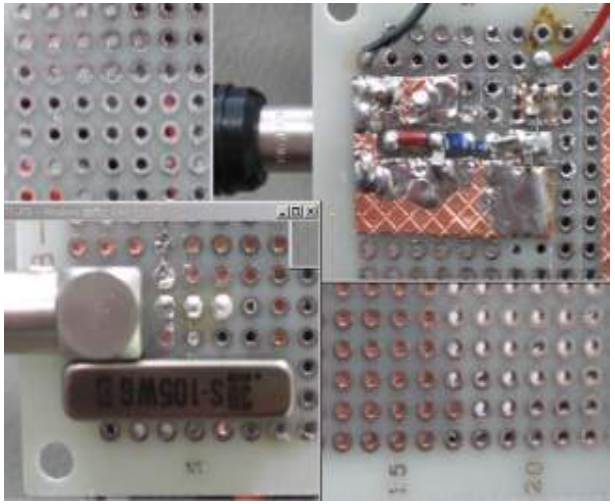
リーク電流@400μV:300nA
ギャップ：2.8mV

リーク電流（080926試作A）
：120-200nA

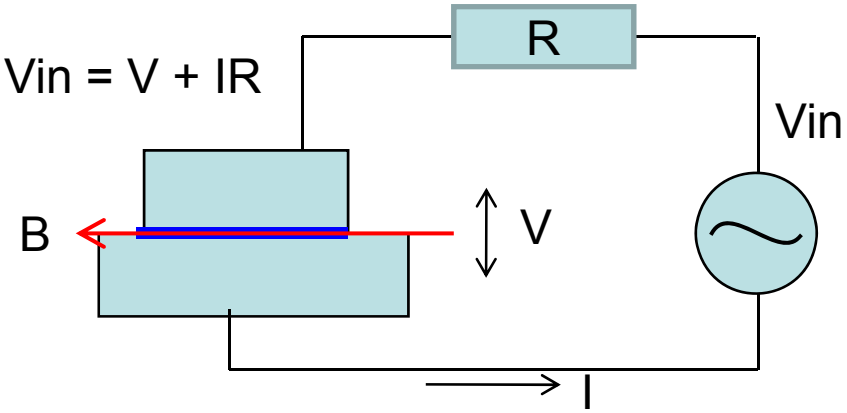
STJ読み出し回路の試作

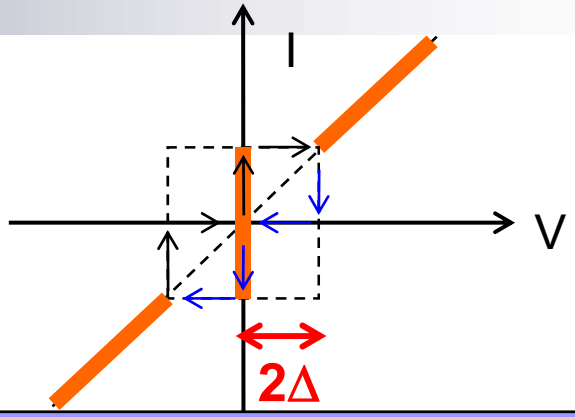


- STJの代わりにリレーを使い回路を試作

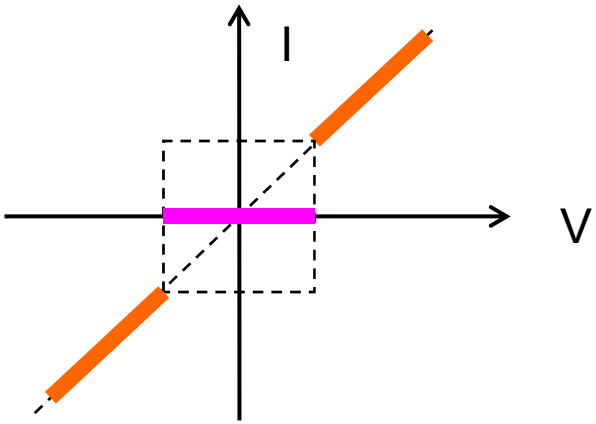


Al-STJのI-V測定

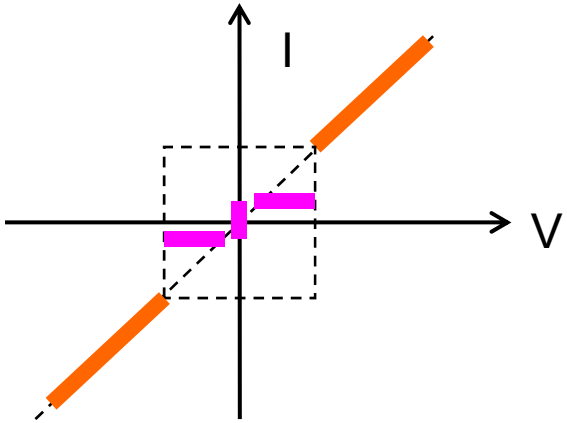




磁場無
トンネルバリアをクーパー対が抜けられる(ジョセフソン効果)



磁場有（理想的）
トンネルバリアに磁力線が入り込むためクーパー対が通れない



磁場有（実際）
実際はリークカレントがある
トンネルバリアが不完全