

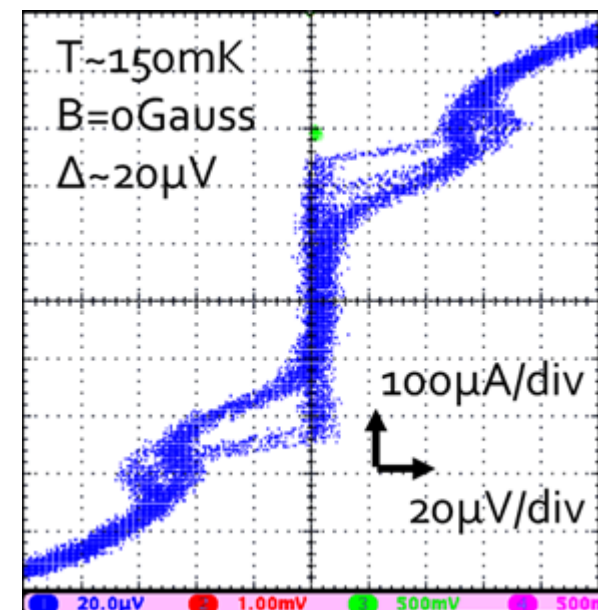
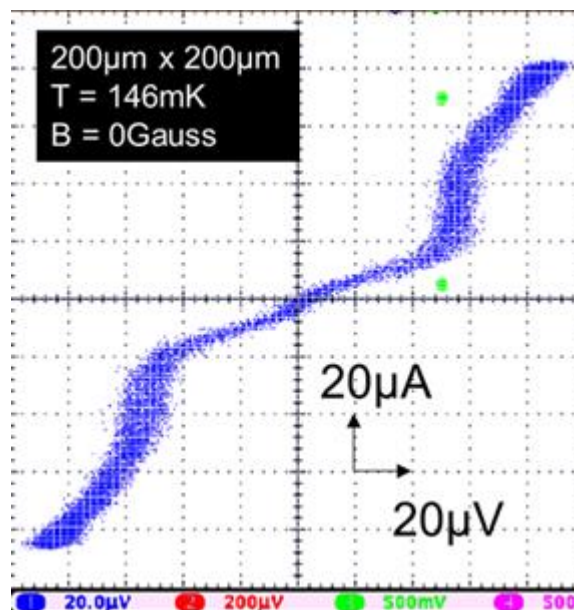
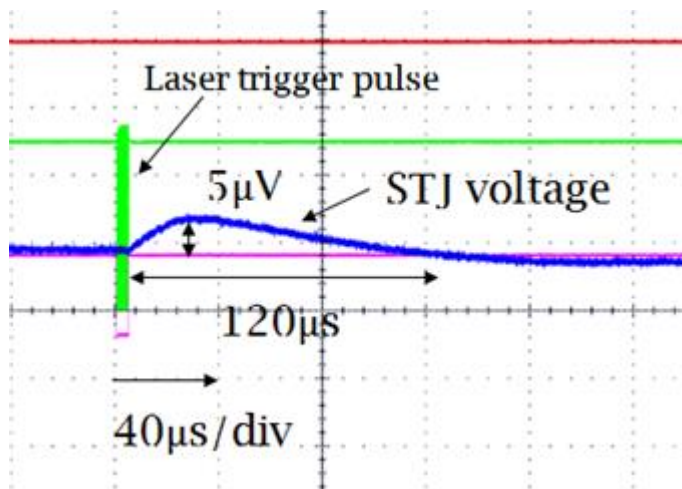
# Hf-STJ開発進捗

SCDレビュー  
20180911@KEK

筑波大学 武政

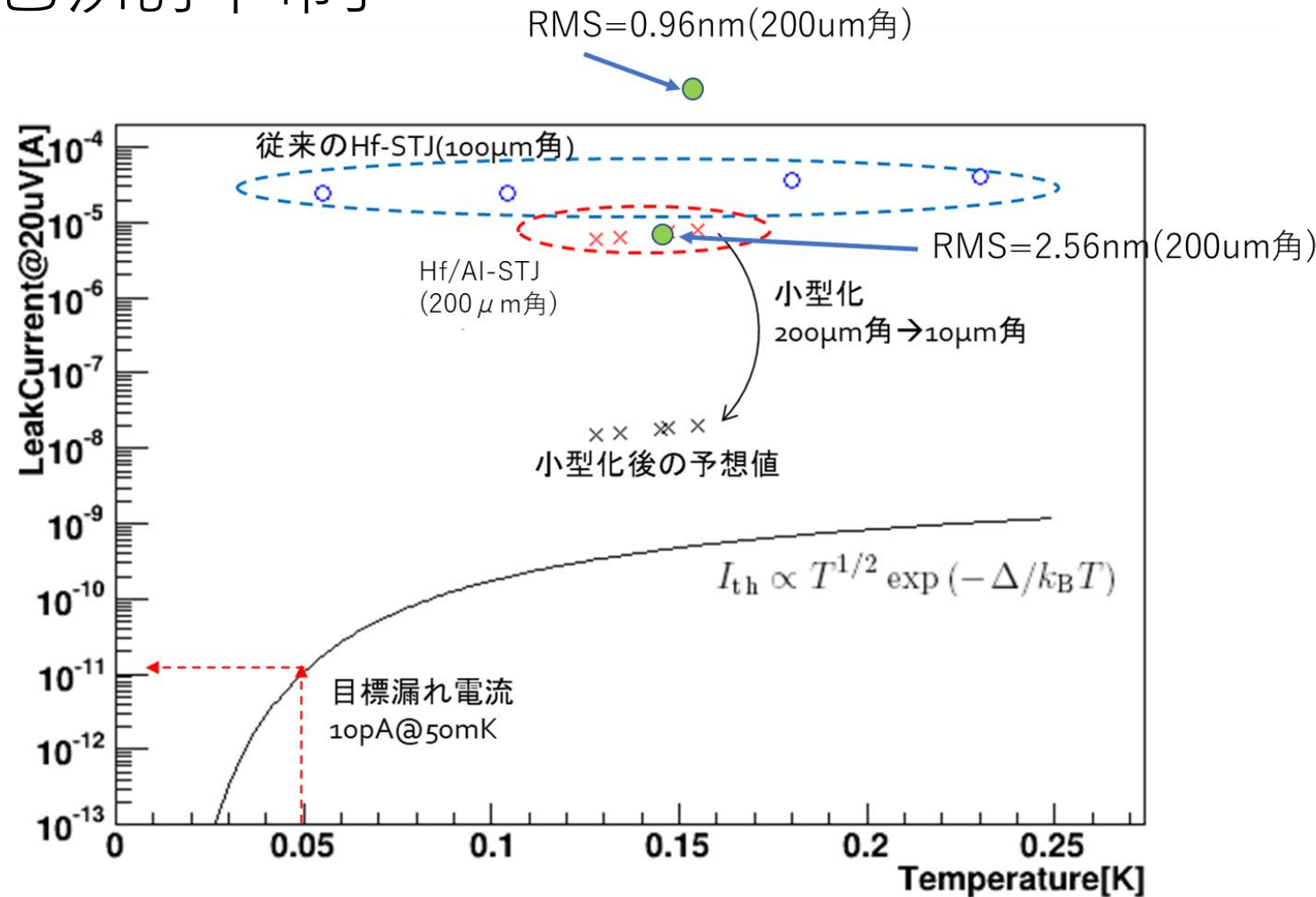
# 昨年までの成果

- 絶縁膜上に10nm程のAl層を追加したHf-STJにて漏れ電流の抑制( $5\mu\text{A}@140\text{mK}$ , 従来と比べて1/16)と可視光への応答を確認した。
- 絶縁膜の品質向上のため、Hf薄膜の表面粗さの改善を試みた。
  - 表面粗さを改善(RMS=2.6nm)することでHfのみを用いて、Al層を追加した素子と同等の漏れ電流を実現した。
  - さらに表面粗さの小さい(RMS=0.96nm)ものでは、漏れ電流は大きい( $170\mu\text{A}@150\text{mK}$ )ものの、大きいジョセフソン電流を観測した。



# 小型化による漏れ電流抑制

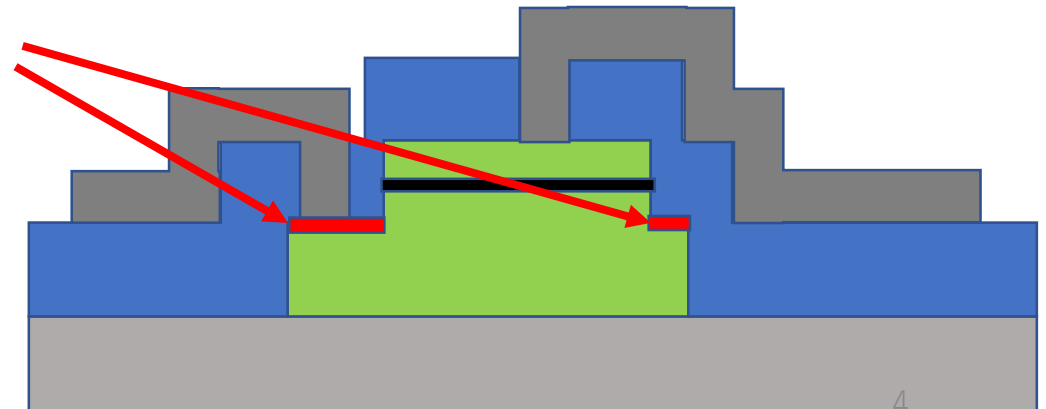
- Hf表面の粗さの改善や酸化条件の探索を行い漏れ電流の改善を図っている。
- それとは別に、小型化による漏れ電流の抑制を試行している。
- これまで200  $\mu\text{m}$ 角の素子を評価してきた。
- 小型化の効果を見るため10  $\mu\text{m}$ 角を新たに作成、評価した。



# 小型化するための問題点

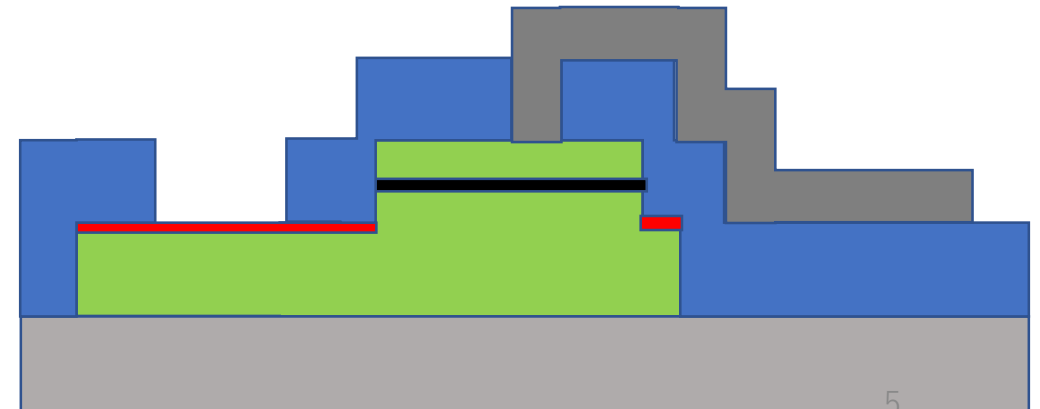
- HfはICP-RIEで形状加工するが、削った表面はフッ化Hfが生成されてしまう。
- 通常のSTJの構造では、下部電極の読み出し線との接触点に5nm程度のフッ化Hfが残ってしまい、導通が取れない。
  - 読み出し線形成前の逆スパッタでは貫通できない強度。
- 読み出し線が付けられないため、小さいSTJの測定が困難。
- → 構造を変更することで対応。

エッチングでできたフッ化Hf



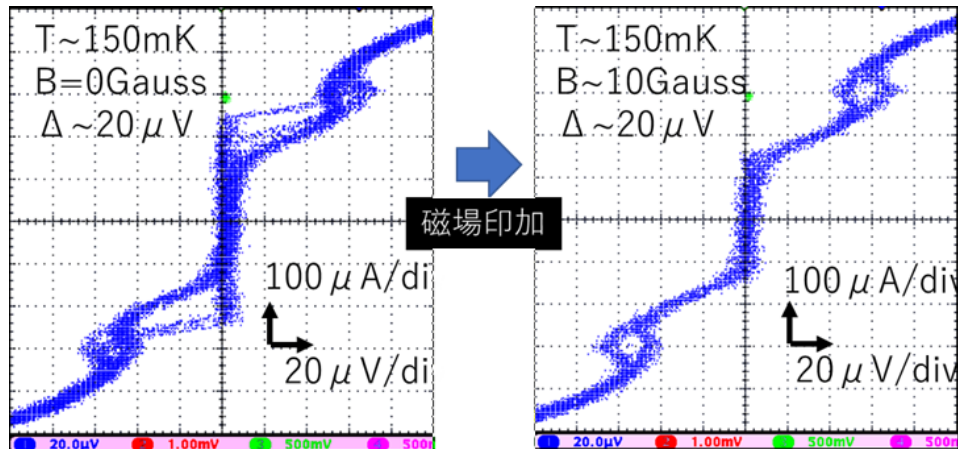
# 構造の変更

- ICP-RIEで生成されたフッ化Hfはワイヤーボンディングで貫通して導通が取れることを確認済み。
- 下部電極と一体化した読み出し電極を作成し、ボンディングでフッ化Hfを貫通することで導通をとれるようにした。
- これにより $10\mu\text{m}$ 角の測定が可能になった。

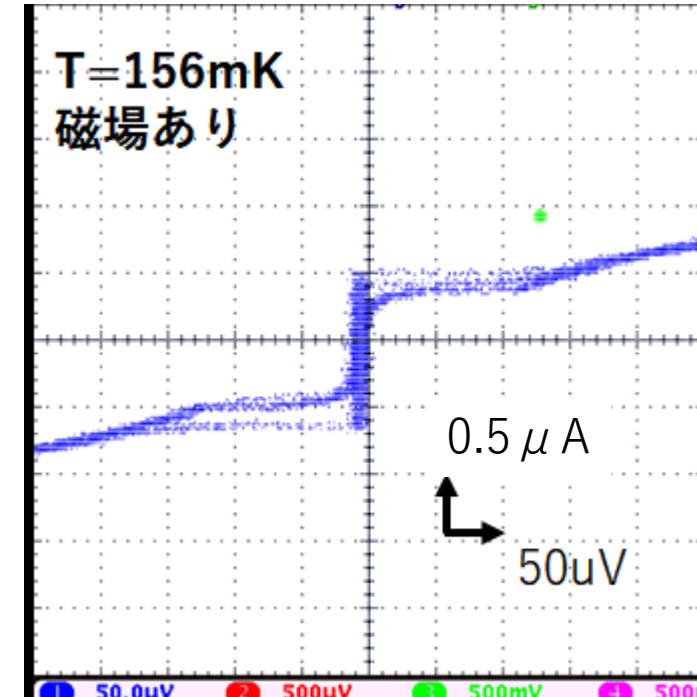
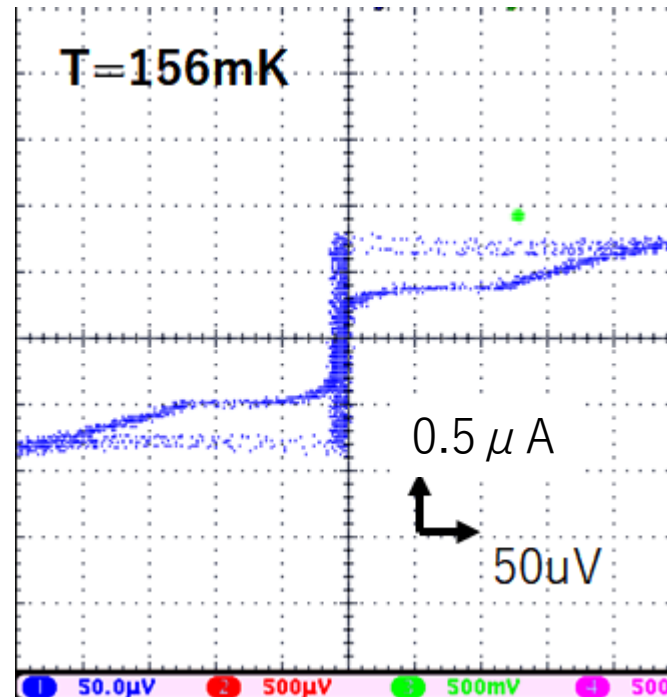


# 小型化による漏れ電流抑制

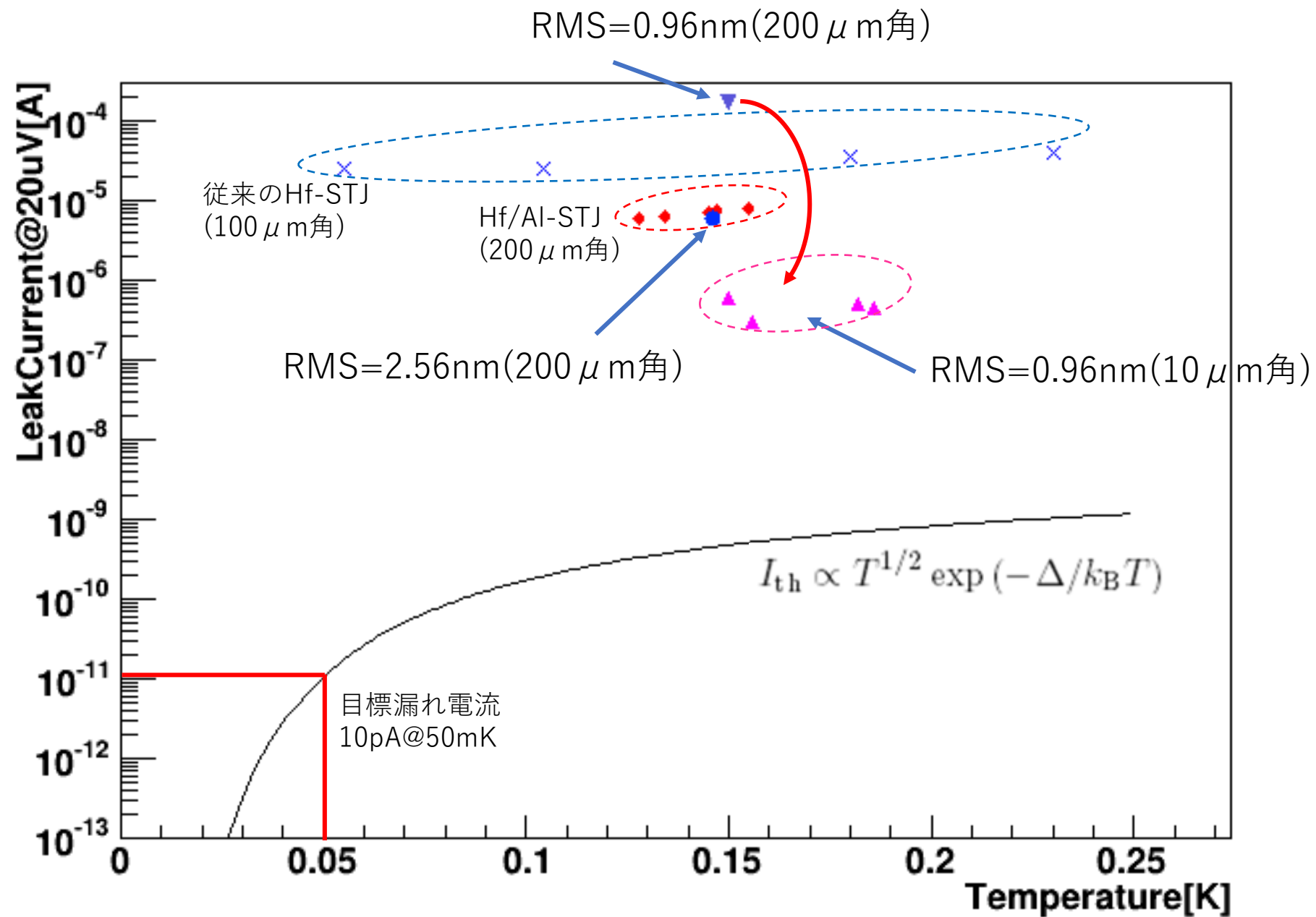
- 構造の変更により、配線付きで導通が取れている。
- 漏れ電流 $\sim 0.3 \mu\text{A} @ 20 \mu\text{V}$ 
  - 同条件で作成した $200 \mu\text{m}$ 角の素子と比較して、 $1/560$ に減少。(面積は $1/400$ )
- $\Delta = 50 \sim 100 \mu\text{eV}$  (ストレスか? 配線のNbの影響か?)



同条件で作成した $200 \mu\text{m}$ 角の素子  
(読み出し配線なし)



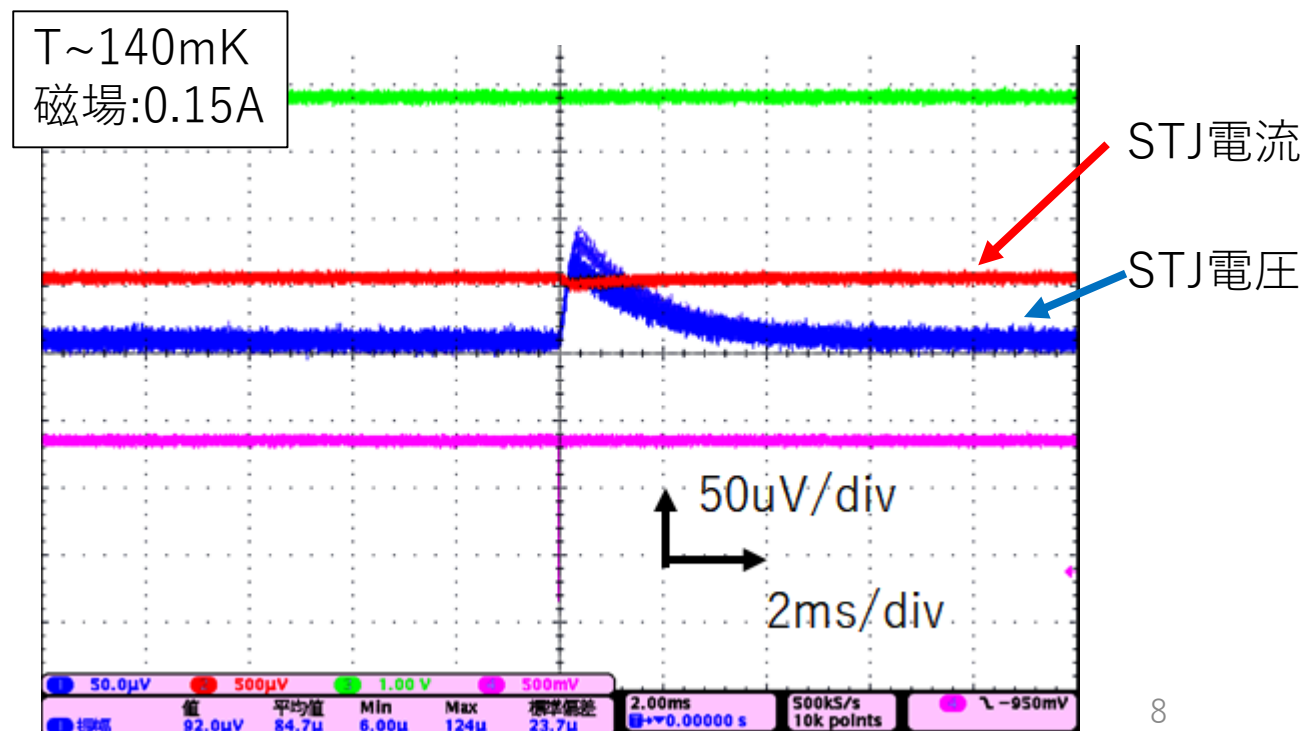
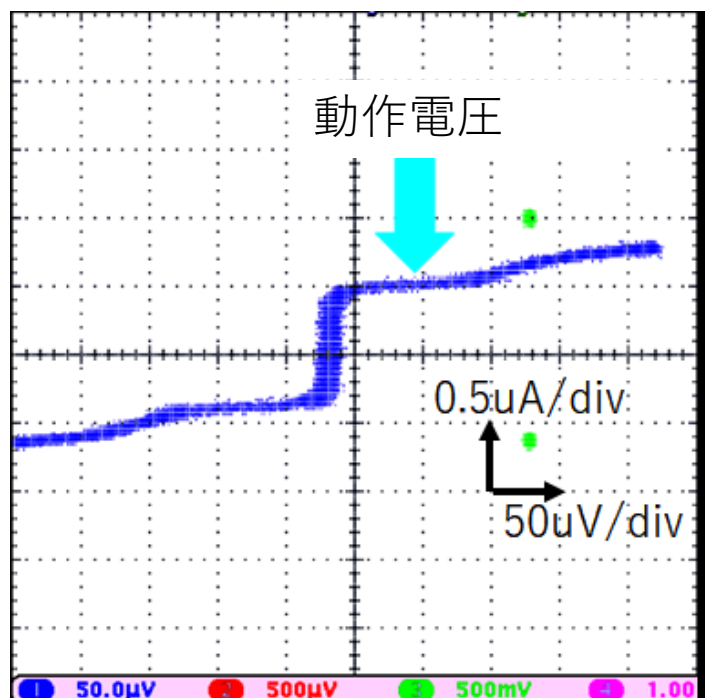
小型化した $10 \mu\text{m}$ の素子





# 光応答

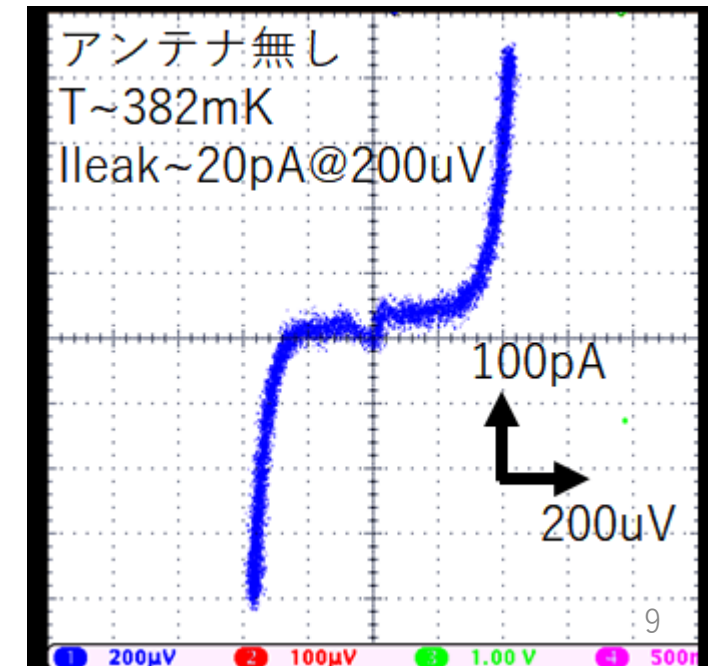
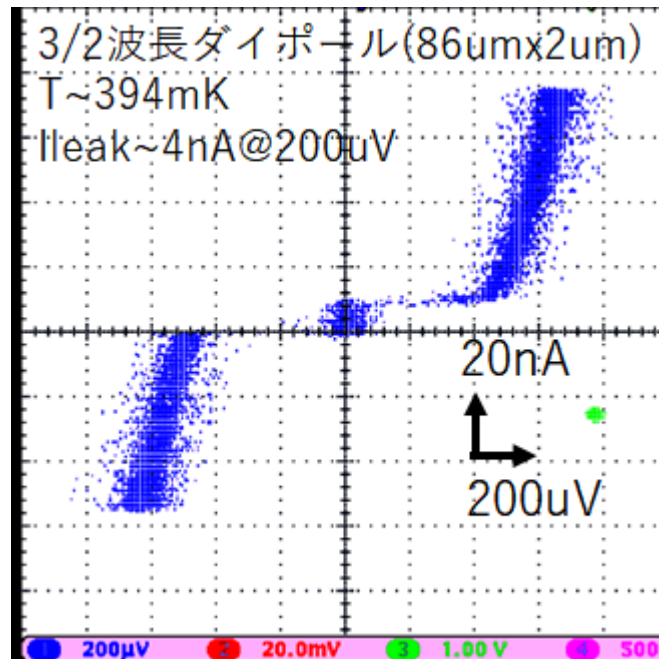
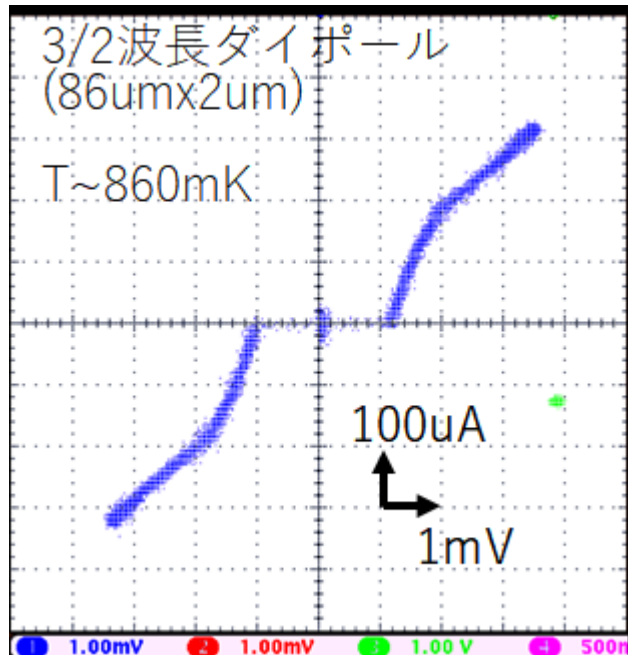
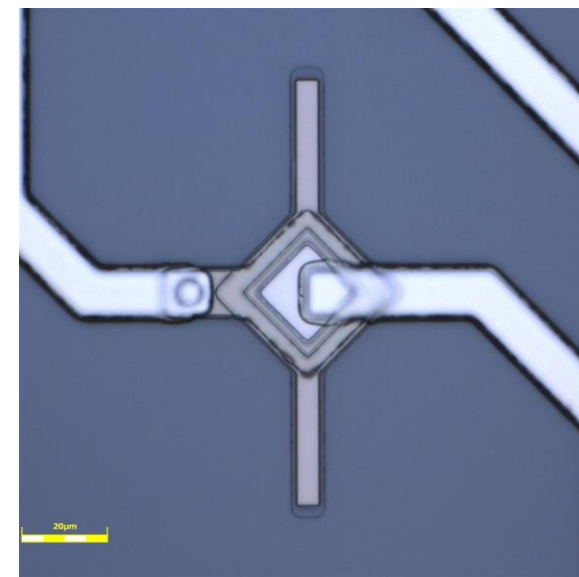
- $\lambda = 465\text{nm}$ レーザーを光ファイバーを通してSTJに照射。
- DC光は
  - 出力弱いと反応みえず
  - 出力上げると超伝導破れる。
- STJにかける電圧を動かしても極性変わらず。
- 準粒子ではなく温度上昇による超伝導の破れが見えていると考えられる。
- より低温で熱ノイズを抑制した状態で評価数必要がある。





# アンテナ結合型STJ

- 小型化で漏れ電流改善が見込めるが、 $10\mu\text{m}$ 角の素子はターゲットの $\lambda \sim 50\mu\text{m}$  ( $E \sim 25\text{meV}$ ) に対して小さく受光効率が落ちてしまう。
- 対策としてアンテナ結合型STJを作成。
  - 品質の良いNb/Al-STJにアンテナをつけたものを試作した。
- 福井大学所有の遠赤外分子レーザー ( $\lambda = 57.2\mu\text{m}$ ) での評価を予定している。
  - アンテナデザイン(ダイポール, ループ), アンテナ長さ/太さ, アンテナ上SiO<sub>2</sub>有無の違いによる受光効率を評価する予定。



# まとめ

- 漏れ電流抑制のため、小型化した素子を作成・評価した。
- 漏れ電流は面積に反比例して減少しており、期待していた効果を示した。
- ストレスか読み出し配線を付けたためか、 $\Delta$ の悪化が見られた。
  - 配線をHfで作成し、 $\Delta$ の悪化なしで配線が付けられないか試す。
- 素子の評価温度が $T_c$ ギリギリ付近のため、熱ノイズが非常に大きく光応答の評価が困難。
- より低温( $\sim 100\text{mK}$ )での評価を行う。
  - 筑波大学の希釈冷凍機の改善を進めている。
  - また、韓国太田のKAISTにサンプルを持っていき評価を行うことを予定している。
- 小型化による受光効率の低下を防ぐため、アンテナ一体型STJを開発している。
  - アンテナ形状や大きさなどの違いによる受光効率の変化を調査する。



# Hf-STJ

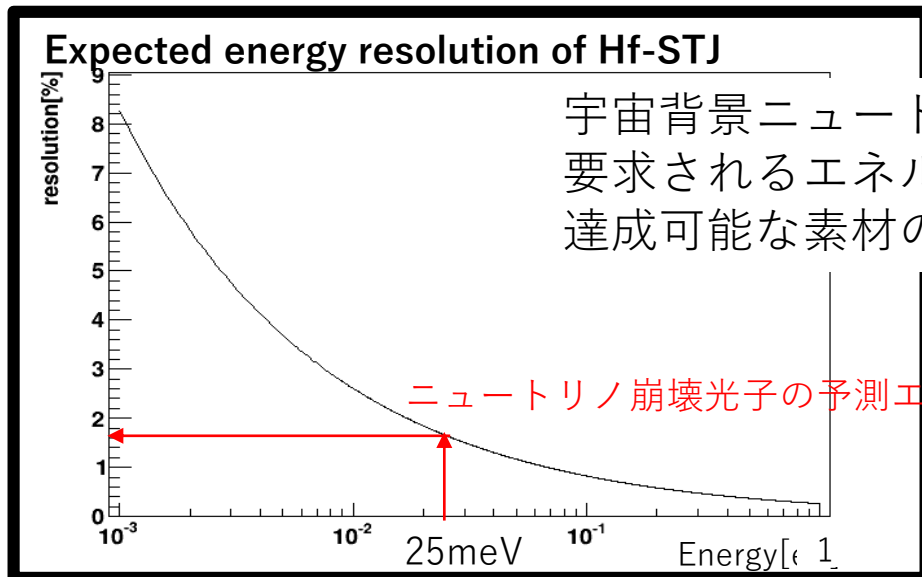
- 超伝導エネルギーバンドギャップの非常に小さいハフニウムを  
超伝導電極に用いることでエネルギー分解能に優れる光検出器を実現する。

- STJのエネルギー分解能:  $\sigma_E = \sqrt{(1.7\Delta)F\varepsilon}$
- 25meVの光子に対して2%程度のエネルギー分解能

- STJは熱ノイズ抑制のため、 $T_c$ の1/10以下に冷却して使用する。

→  $\Delta$ が小さいとエネルギー分解能は良くなるが、  
 $T_c$ は低くなり取り扱いにくくなる。 $2\Delta = 3.5k_B T_c$  (BCS theory)

$\Delta$ : エネルギーバンドギャップ  
 $F$ : ファノ因子  
 $E$ : 入射光子のエネルギー  
 $T_c$ : 超伝導転移温度

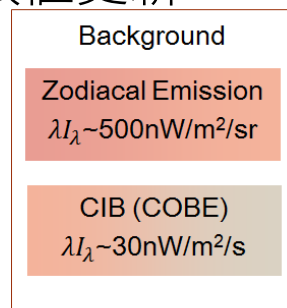
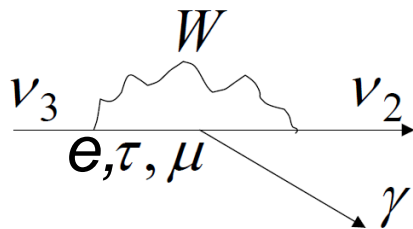


Material	$T_c$ [K]	$\Delta$ [meV]
Nb	9.29	1.55
Pb	7.2	1.365
Ta	4.48	0.7
Sn	3.7	0.575
Al	1.18	0.172
Ti	0.39	0.058
Hf	0.165	0.021
Ir	0.099	0.014
Be	0.023	0.0034
W	0.016	0.0025
Rh	0.002	0.0003

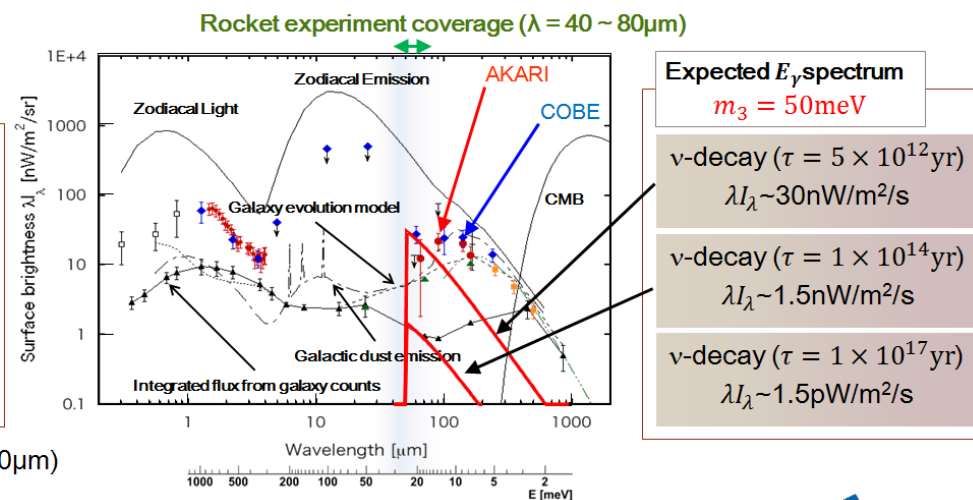
# Hf-STJの利用例

## • COBAND(COsmic BAcground Neutrino Decay search)実験

- 宇宙赤外線背景輻射のエネルギー分布を測定し、その中から宇宙背景ニュートリノ崩壊事象を探す。
  - 宇宙背景ニュートリノの発見
  - ニュートリノ質量の決定 or 寿命の下限值更新



at  $E_\gamma = 25 \text{ meV}$  ( $\lambda = 50 \mu\text{m}$ )



## • COBAND衛星実験

- 人工衛星にて100日間のデータ収集(2020年以降)
- $\tau(\nu_3) \sim 10^{17}$ 年の感度
- 望遠鏡: 直径20cm, 視野:  $0.1^\circ$
- 検出器: Hf-STJ ( $E_\gamma \sim 25 \text{ meV}$ を分解能2%以下で連続的に測定できる必要がある)

