

# ニュートリノ崩壊光探索のための Nb/Al-STJの研究開発V

日本物理学会2014年秋季大会（佐賀大学本庄キャンパス）

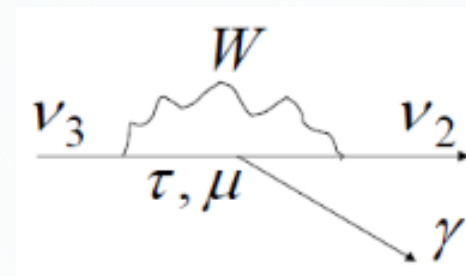
筑波大数理, 理研<sup>A</sup>, KEK<sup>B</sup>, 岡山大<sup>C</sup>, JAXA<sup>D</sup>, 総研大<sup>E</sup>, Fermilab<sup>F</sup>, 福井大<sup>G</sup>, 近畿大<sup>H</sup>  
○森内航也, 金信弘, 武内勇司, 武政健一, 笠原宏太, 金丸昌弘, 奥平琢也, 市村龍哉  
先崎蓮, 美馬寛<sup>A</sup>, 羽澄昌史<sup>B</sup>, 新井康夫<sup>B</sup>, 石野宏和<sup>C</sup>, 松浦周二<sup>D</sup>, 池田博一<sup>D</sup>, 和田武彦<sup>D</sup>,  
長勢晃一<sup>E</sup>, Erik Ramberg <sup>F</sup>, 吉田拓生<sup>G</sup>, 加藤幸弘<sup>H</sup>

# 実験の目的 ニュートリノ崩壊光探索

我々の実験では存在が预言されている宇宙背景ニュートリノの崩壊光を探索する。

質量の小さいニュートリノに崩壊するときに放出する光子のエネルギーを測定する

$$\nu_3 \rightarrow \nu_2 + \gamma$$



- 質量の測定  $m_3 = \frac{m_3^2 - m_2^2}{2E_\gamma}$

ニュートリノ振動実験による結果( $m_3^2 - m_2^2$ )と合わせることでニュートリノ質量の決定

- ニュートリノ崩壊の寿命

SMでは寿命 $\tau = O(10^{43} \text{ year})$ , Left-Right Symmetric Model では $\tau = O(10^{17} \text{ year})$   
現在の実験による寿命の下限値は $\tau > O(10^{12} \text{ year})$

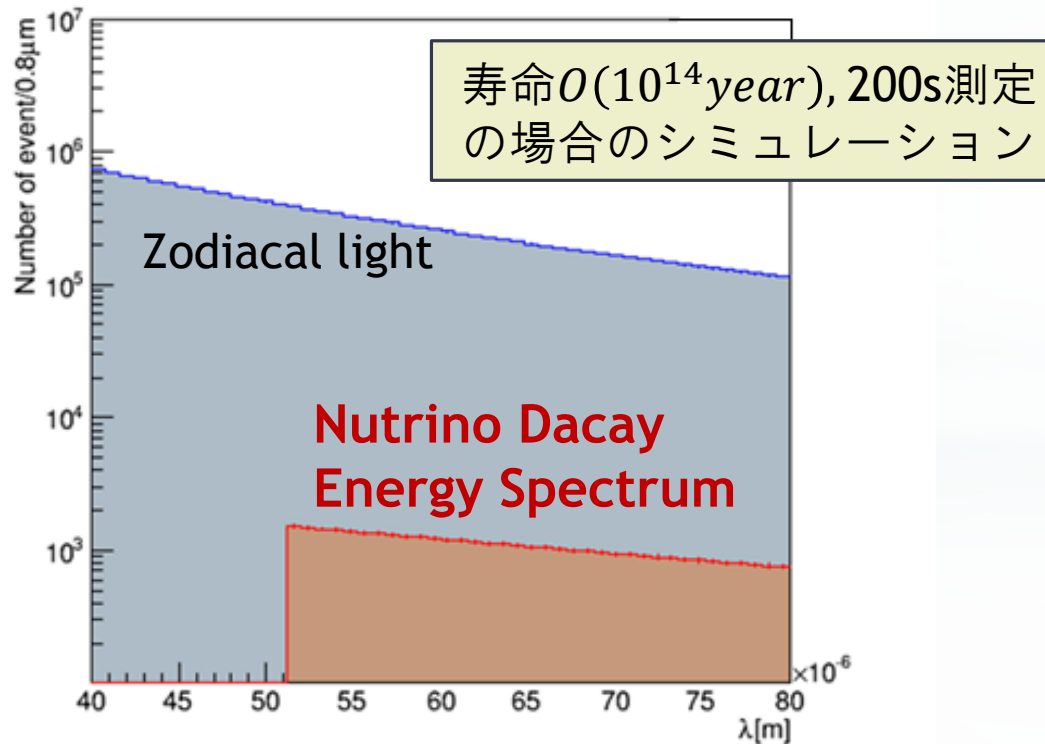
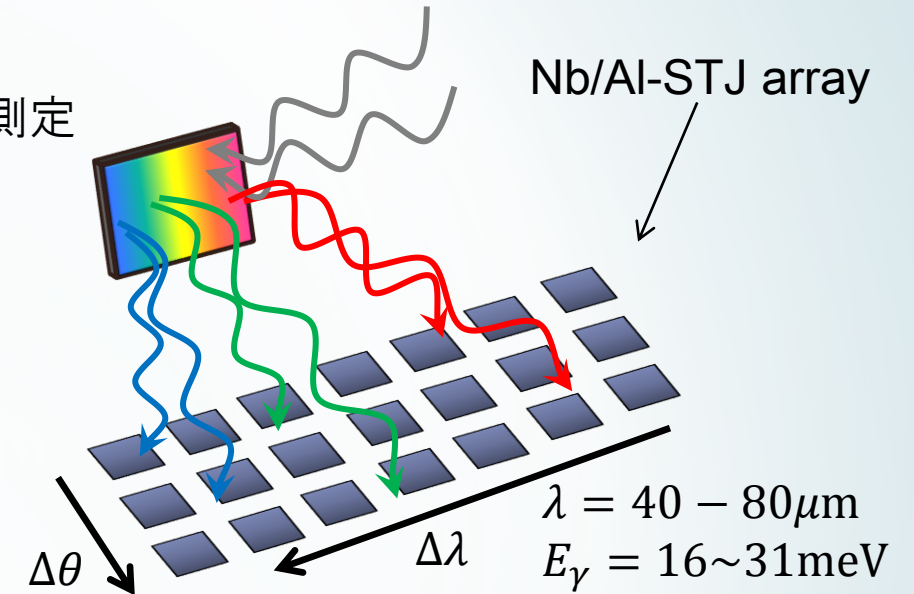
我々のロケット実験では寿命の下限値を2桁引き上げる。衛星実験ではさらに3桁。

# ロケット実験

Nb/Al-STJと回折格子による分光によりエネルギースペクトルを測定

$E_\gamma = 25\text{meV}$  ( $m_3 = 50\text{meV}$ ) を仮定

- バックグラウンドには黄道光がある
- 遠くの宇宙からくる崩壊光は赤方偏移の影響を受けるためエネルギーの低い方向に広がる



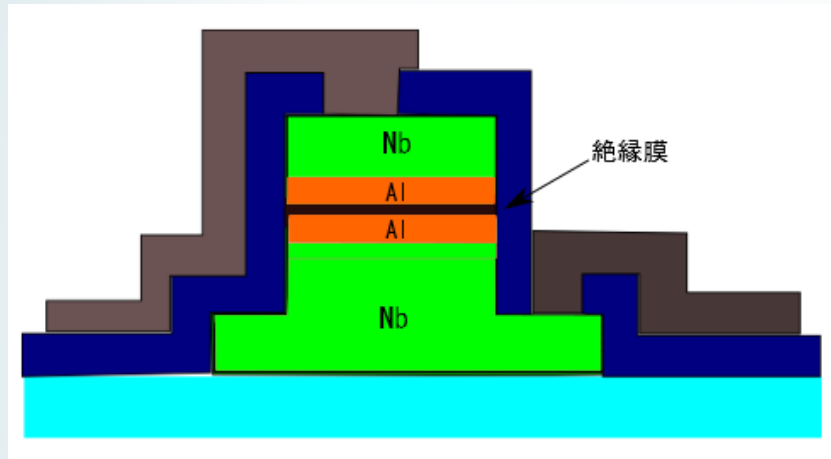
検出器への要求  
エネルギー領域 16~31meV  
Energy resolution 2%@25meV

読み出し  
STJと同一基板上でのSOIFETによる増幅、  
3Kステージでチャージアンプを用いて増幅させる。

# STJ(Superconducting Tunnel Junction)

STJは超伝導体/絶縁膜/超伝導体の接合で形成された素子（ジョセフソン素子）である

Nb/Al-STJの構造



	Nb	Al
転移温度 $T_c$ (K)	9.23	1.20
エネルギーギャップ $\Delta$ (meV)	1.550	0.172

準粒子生成数

$$N = G_{Al} \frac{E_\gamma}{1.7\Delta}$$

$G_{Al}$  : Al層によるトラッピングゲイン

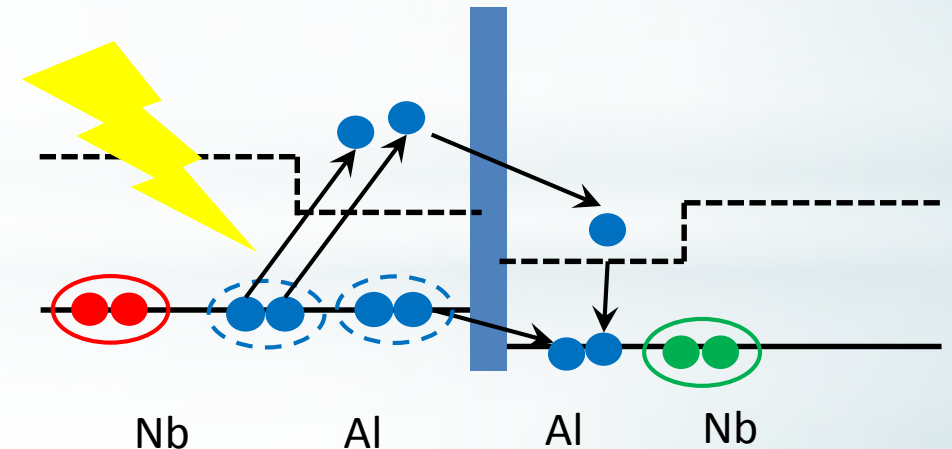
$E_\gamma$  : 入射光子のエネルギー

検出器としての動作原理

- 1.超伝導体層のクーパ対が光子を吸収し、準粒子を生成
- 2.上部超伝導層から下部超伝導層に電圧をかけておくことで準粒子がトンネルし、電流が生じる。
- 3.トンネル電流を測定する。

トラッピングゲイン

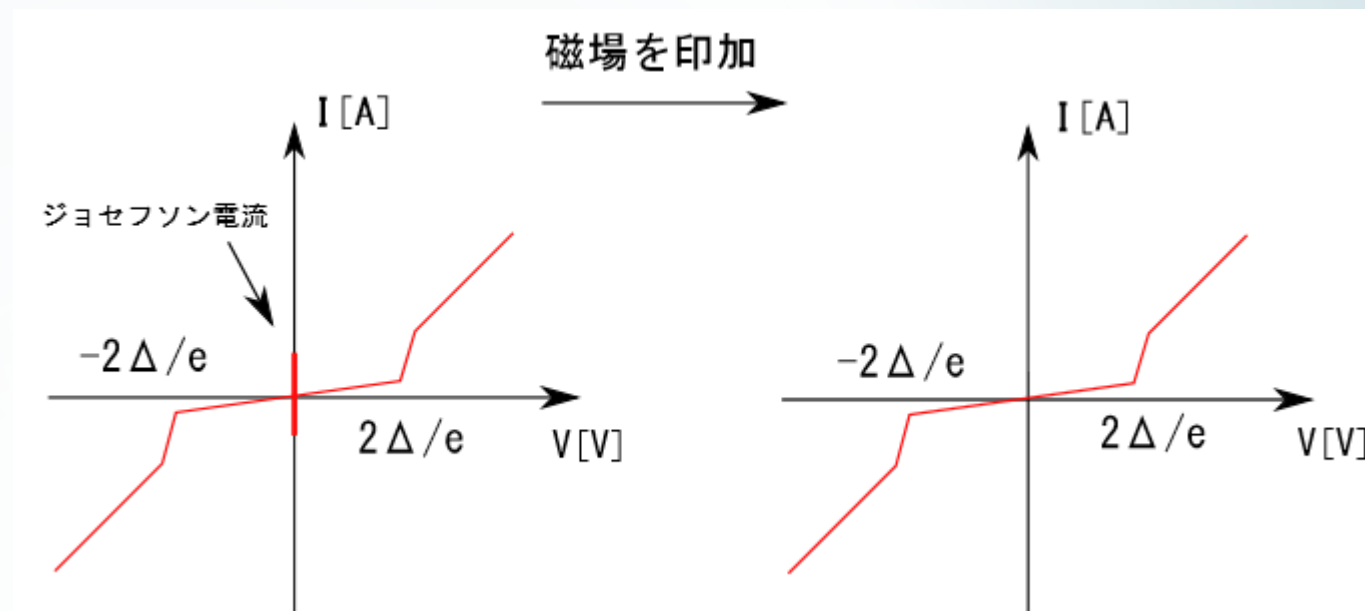
Al層があることにより、絶縁膜付近での準粒子寿命が延びる。  
トンネルした粒子が反対側の層のクーパ対を壊し、クーパ対を作る。



# Nb/Al-STJの性能評価

## •Nb/Al-STJのI-V曲線

磁場を印加しジョセフソンカレントを抑制。  
ジョセフソン接合が形成されていることを確認。



理想的には  $\frac{2\Delta}{e}$  まで電流が流れないが、実際には熱励起された電子のトンネル、または絶縁膜の欠陥によって電流が流れる。（リークカレント）  
熱励起によるものは十分低温にすることで抑えられる。転移温度の1/10程度の温度でリークカレントを少なくしてから検出器として動作させる。

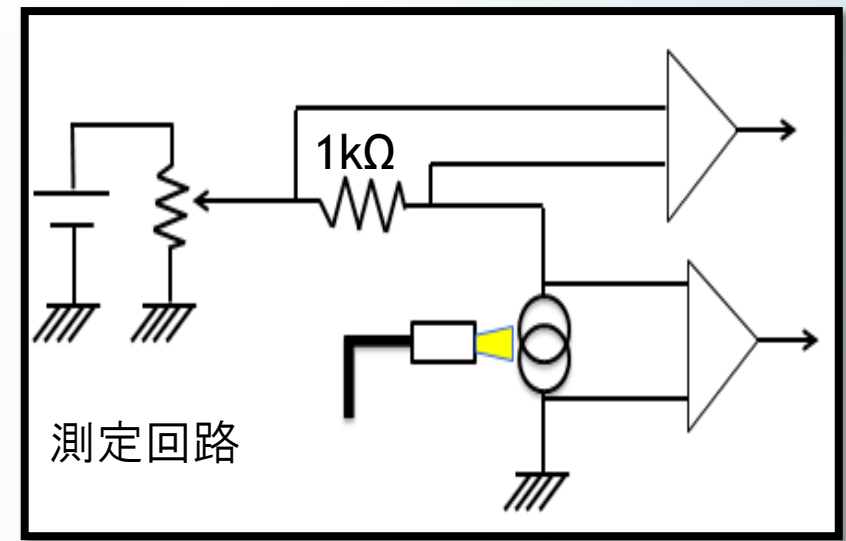
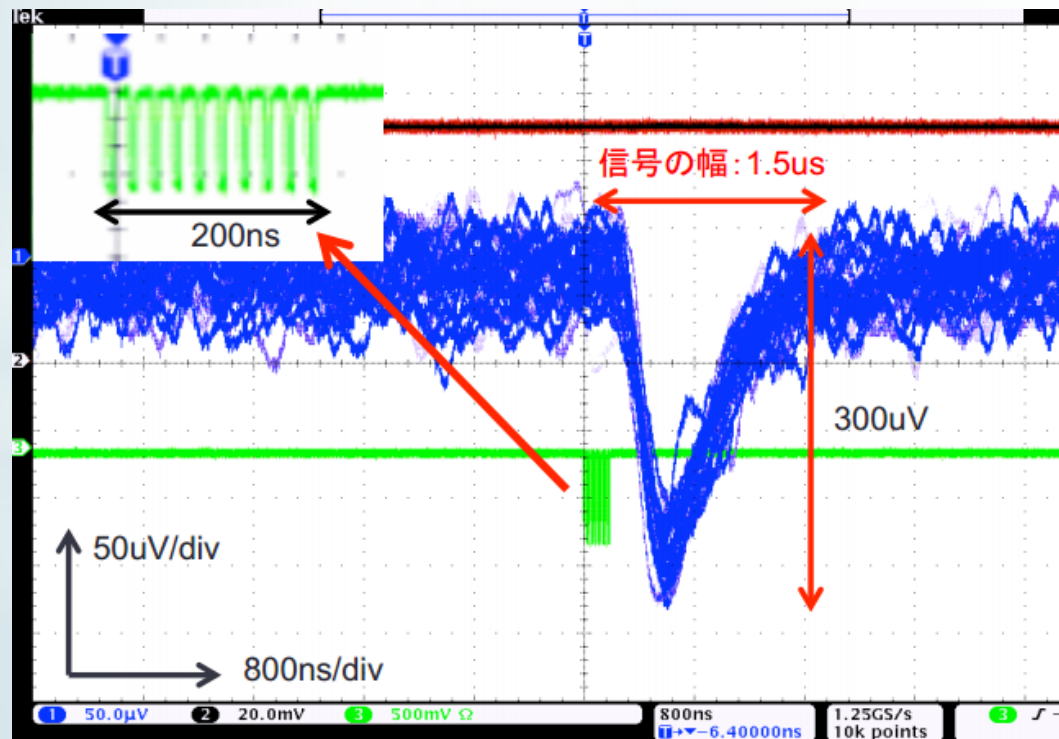
現在はKEKで美馬氏(理研)によって作成されたNb/Al-STJで測定を行っている。



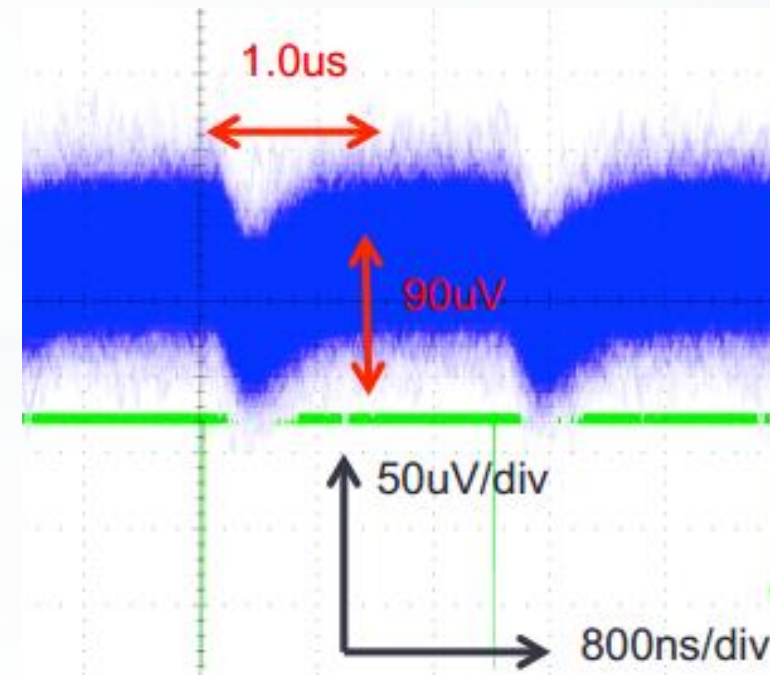
# 100 $\mu$ m x 100 $\mu$ m Nb/Al-STJの光応答

Nb/Al-STJの信号の幅は1 $\mu$ s程度

波長 $\lambda=1.31\mu\text{m}$ , 50psのパルス光を10パルスまとめて照射したときの信号。T~1.8K



波長465nm, 50psのパルス光を1パルスを照射したときの信号。T~1.8K



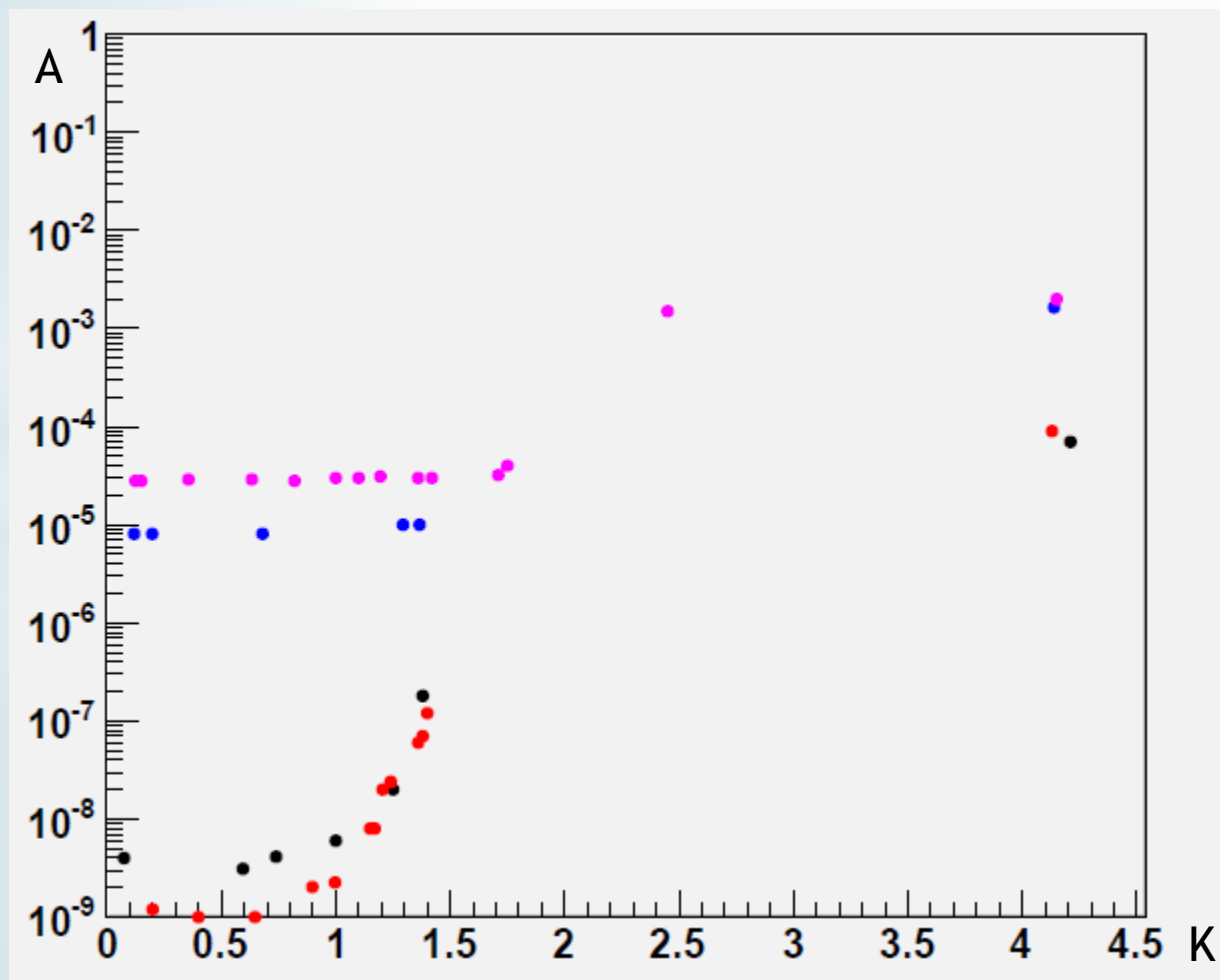
## 検出器の開発      25meVの1光子検出への要請

Nb層で1光子25meVが吸収されたときに発生すると期待される電荷数およそ100e ( $G_{Al} = 10$ )

- ・リークカレントに対する要請  
STJの信号が1usだと仮定（100eを1usで出力する）  
リークカレントに起因する発生電荷数の揺らぎの3倍以上信号を得たい  
  
⇒リークカレント170pA程度まで抑えなければいけない
- ・ノイズに対して  
低温で動作させることができるSOIFETとSTJを組み合わせる。  
STJと同一基板上に増幅回路を形成したSOI-STJを開発中
  - STJから配線が不要、信号にノイズが乗る前に増幅できる
  - Array化が容易であることから、我々の目的に適している

# リークカレントの温度依存性

● ● :  $40\mu\text{m}^2$   
● ● :  $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$



40 $\mu\text{m}^2$ のNb/Al-STJで0.8K以下で  
リークカレント1nA程度

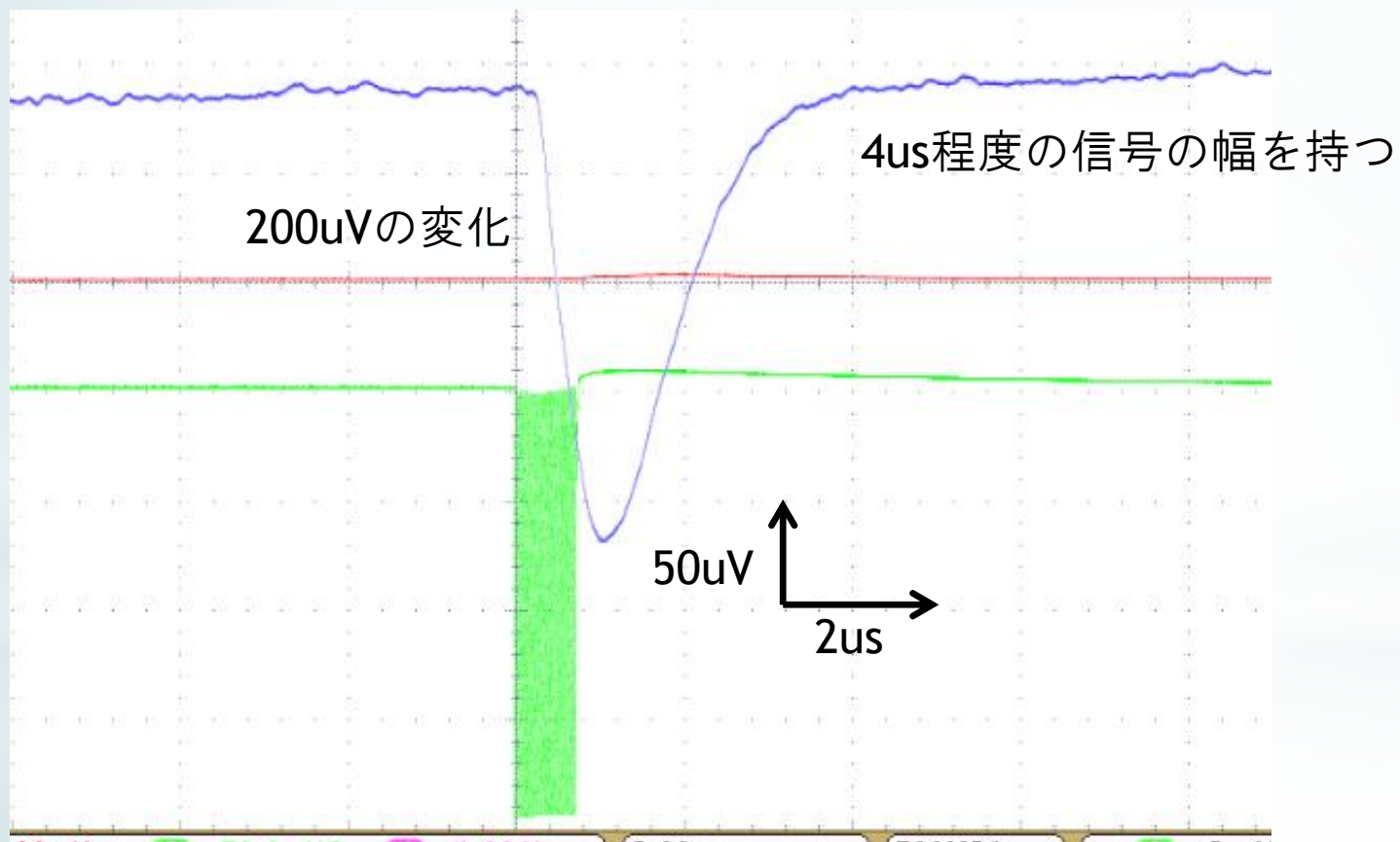
赤とピンク、黒と青はそれぞれ同チップ上のSTJ  
リークカレントのサイズ依存性が見られる。

ほかの大きさのSTJでも測定し、面積、周長などの  
依存性について調べる必要がある。

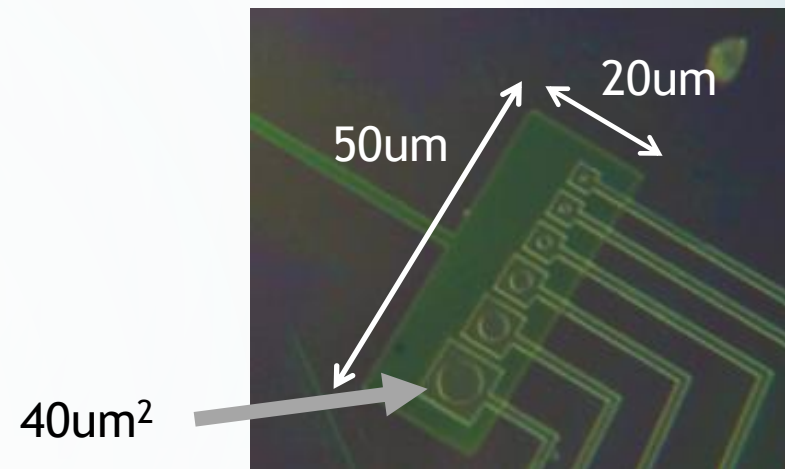


# 40 $\mu\text{m}^2$ Nb/Al-STJの光応答

波長465nm, 50psのパルス光を照射したときの信号  
T~1.8K



100 $\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ のNb/Al-STJでは信号の幅は1 $\mu\text{s}$ 程度であったものが40 $\mu\text{m}^2$ のNb/Al-STJでは信号が長くなっている



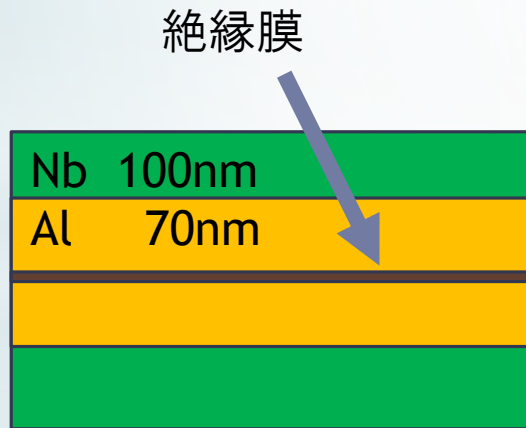
40 $\mu\text{m}^2$ のSTJはunder layer が広い  
それが原因になっている可能性がある  
新たに設計したSTJで確かめる

# 新たにNb/Al-STJを設計

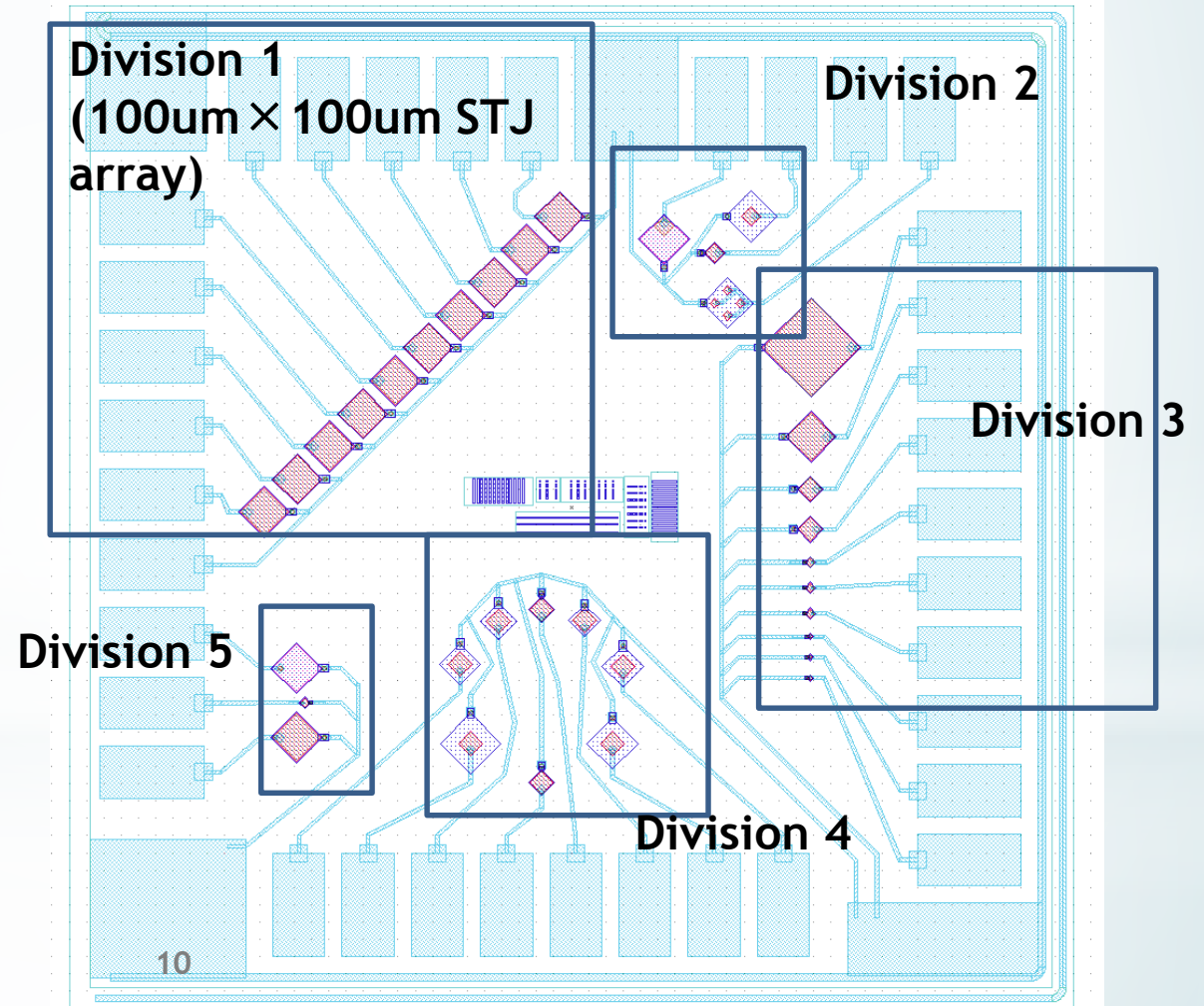
産総研との共同研究を開始した。  
新たにNb/Al-STJを設計し、産総研の技術によりSTJを作製  
先日完成、測定は今後行っていく

ジャンクションサイズ以外の変更点

- ・ 保護のために覆っていたSiO<sub>2</sub>の層をなくした
  - ・ Al層の厚さを厚くした。厚さ8nm → 70nm
- 転移温度~3K

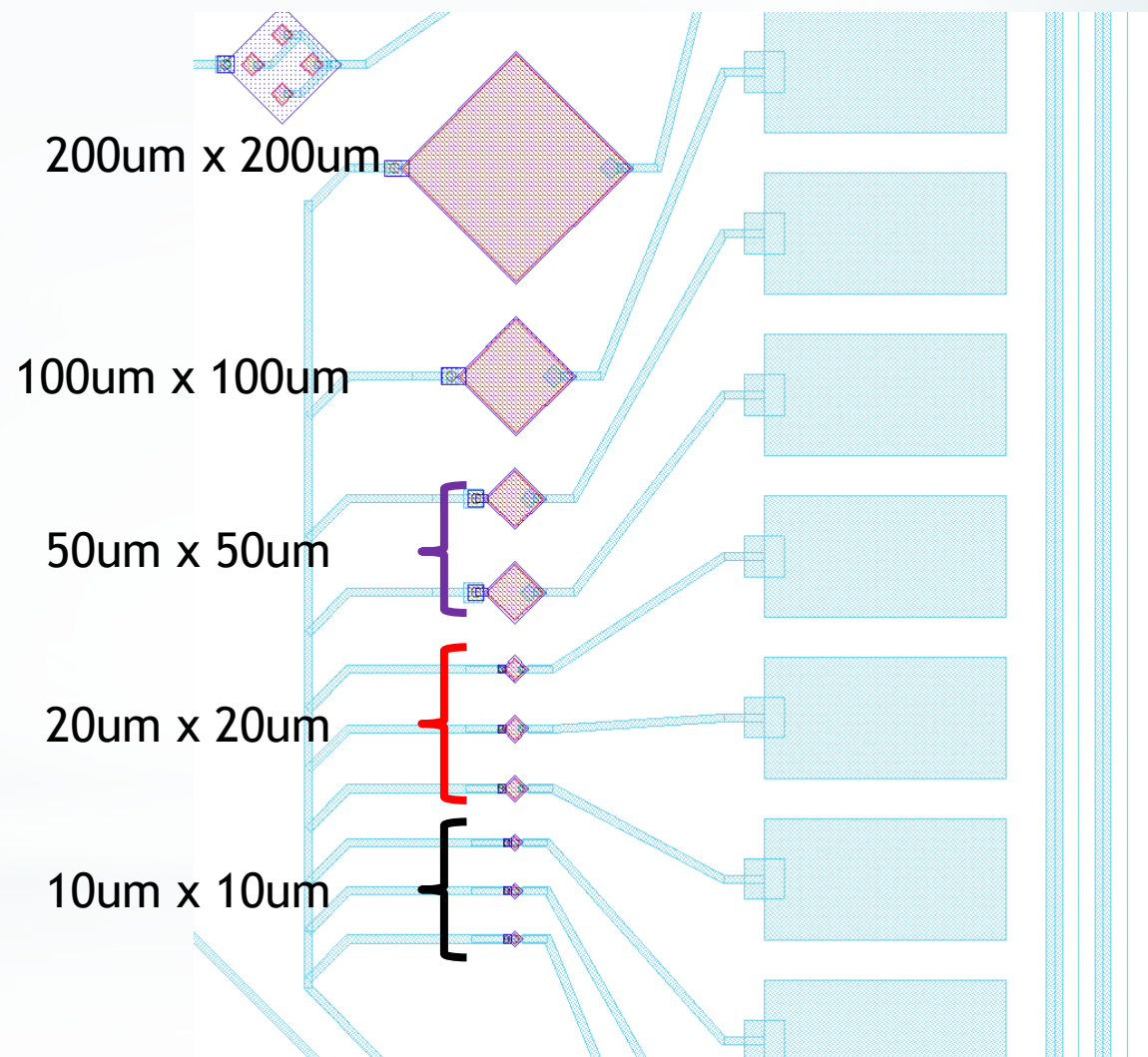


上下で対称な厚さ



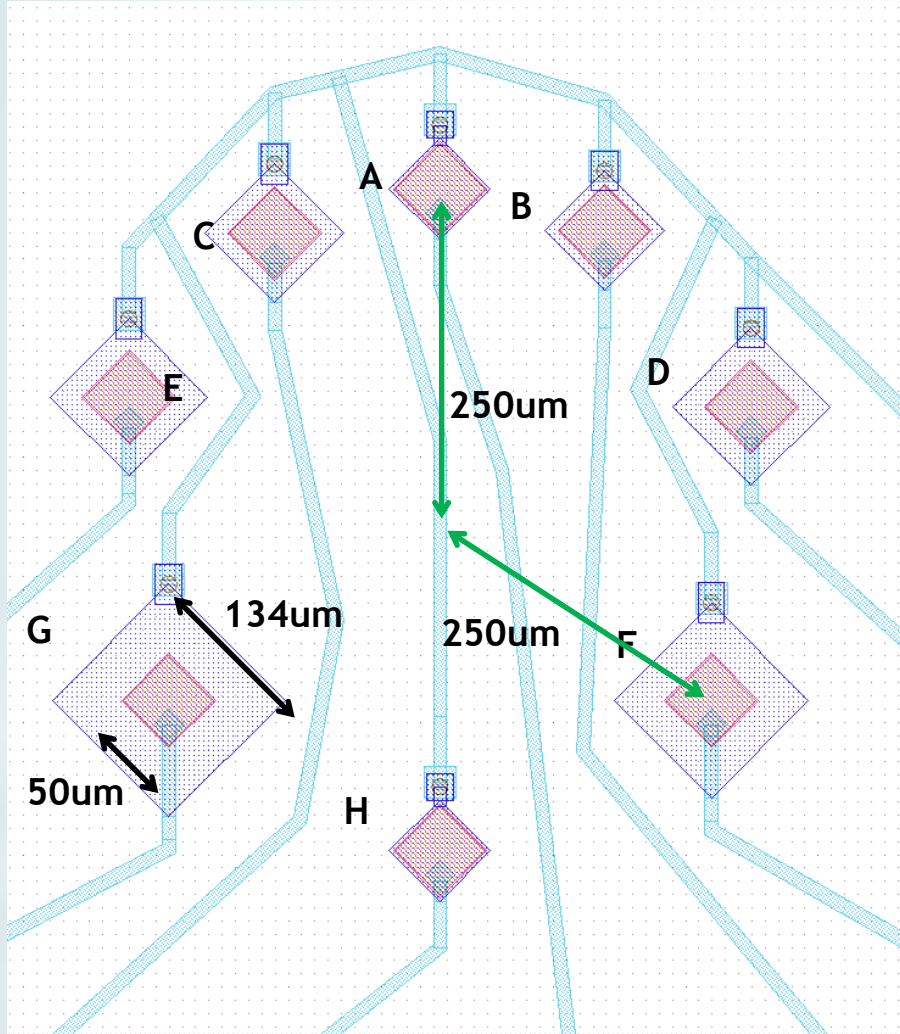
# Division3

- リークカレントの温度依存性、STJのサイズ依存性を測定する
- 20um x 20um, 10um x 10umについては歩留りの評価も行う。





# Division4



- これまでの測定で $40\mu\text{m}^2$  のSTJの信号が長くなっていた原因を確認する。
- Nb中での準粒子の拡散長を調べる。

Upper layer はすべて $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$

Under layer    A:  $54\mu\text{m}$ 角  
                  B:  $64\mu\text{m}$ 角  
                  C:  $74\mu\text{m}$ 角  
                  D:  $84\mu\text{m}$ 角  
                  E:  $84\mu\text{m}$ 角  
                  F:  $114\mu\text{m}$ 角  
                  G:  $134\mu\text{m}$ 角  
                  H:  $54\mu\text{m}$ 角

光の照射位置調整は室温でSTJの光電効果による抵抗の変化を測定し行う。準粒子の拡散長の測定の際には、A,HおよびD,Eを用いて位置の調整を行う。

# 今後

新たに設計したSTJで測定を行う

- リークカレントの温度依存性を測定する
- リークカレントのSTJサイズ依存性について、特に10um\*10um, 20um\*20umのSTJのリークカレントを測定し、我々の要求を満たすか確認する。
- 40um<sup>2</sup>STJの信号が大きい時定数を持つ原因を確認する。Nb中の準粒子拡散長を調べる。
- ほかのDivisionに設計されたSTJについても順次、測定を行っていく。

# まとめ

ニュートリノ崩壊光の探索のためNb/Al-STJの開発を行っている。  
検出器には波長50umの1光子の信号を読み出す性能が要求されるが、未だ測定できていない。

要請される性能の実現のためNb/Al-STJのリークカレントが100pA程度かそれ以下が要求される。  
現在は40um<sup>2</sup>Nb/Al-STJでリークカレントが1nAが達成できている。

今後は新たに設計し、産総研で作製したサンプルを測定する。  
リークカレントのSTJサイズ依存性、準粒子の拡散長、STJの歩留りについての知見を広げる。



# Back up

