

ニュートリノ崩壊光探索に向けた Nb/Al-STJの開発

筑波大学 森内航也 日本物理学会 第71回年次大会

筑波大数理, 理研^A, KEK^B, 岡山大^C, 福井大学^D, 近畿大学^E, 関西学院大^F,
静岡大^G, JAXA^H, AIST^I, Fermilab^J, Seoul Nalt. Univ.^K

森内航也, 金信弘, 武内勇司, 武政健一、木内健司、永田 和樹、笠原宏太、先崎蓮、八木俊輔、美馬寛^A, 新井康夫^B,
倉知郁生^B, 羽澄昌史^B, 石野宏和^C, 吉田拓生^D, 広瀬龍太^D, 加藤幸弘^E, 松浦周二^F, 川人祥二^G, 馬場俊祐^H, 池田博一^H, 和田武彦^H,
長勢晃一^H, 志岐成友^I, 浮辺雅宏^I, 藤井剛^I, 大久保雅隆^I, Erik Ramberg^J, Paul Rubinov^J, Dmitri Sergatskov^J, Soo-Bong Kim^K

Outline

- ・ ニュートリノ崩壊光探索実験
- ・ Nb/Al-STJの特性
- ・ 遠赤外分子レーザーを用いたNb/Al-STJ性能評価
- ・ まとめ

ニュートリノ崩壊光探索

質量の小さいニュートリノに崩壊するときに出る光子のエネルギーを測定する

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

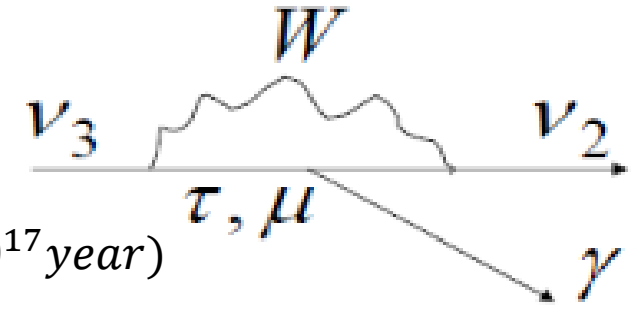
ニュートリノ振動実験による結果($m_3^2 - m_2^2$)と合わせることで
ニュートリノ質量の決定。

- 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值は $\tau > O(10^{12} \text{ year})$

我々の実験では寿命の下限值引き上げも目指す。



ニュートリノ崩壊光探索実験

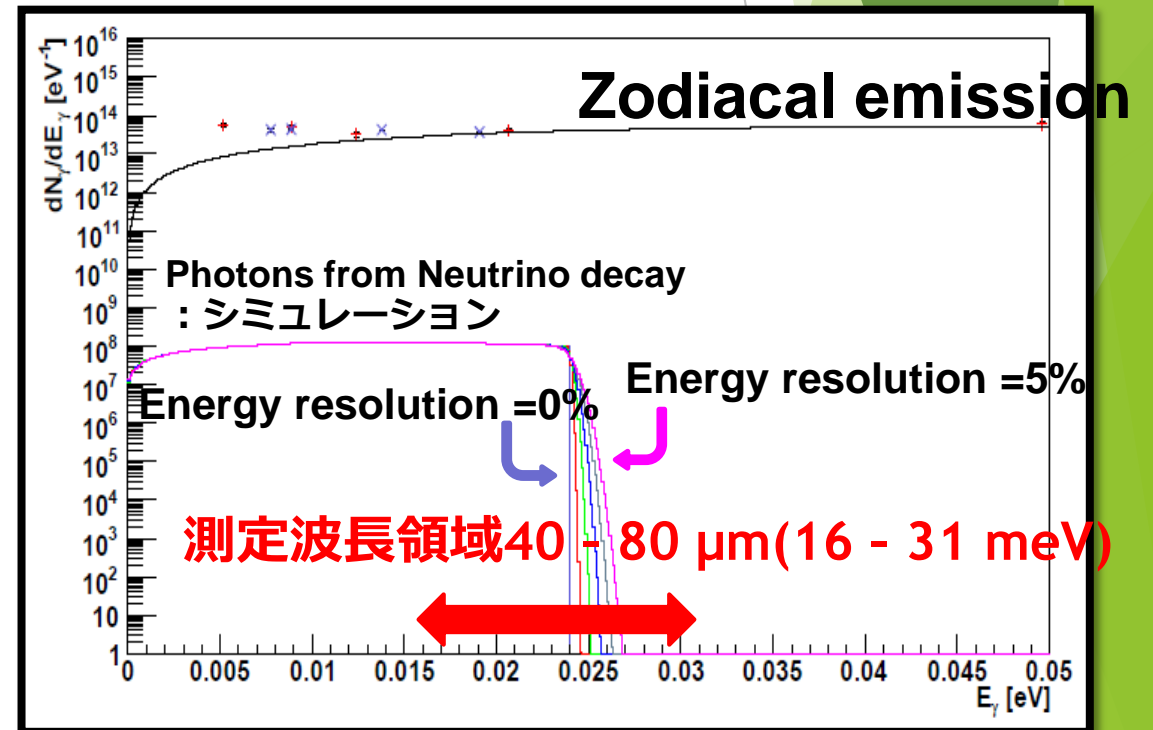
長いニュートリノ寿命 $> 10^{12} \text{ year}$

⇒ 大量のニュートリノ源:

宇宙背景ニュートリノの崩壊光の観測

遠赤外領域で高いエネルギー分解能が可能である

⇒ **超伝導検出器**



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

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（STJ内での増幅機構）

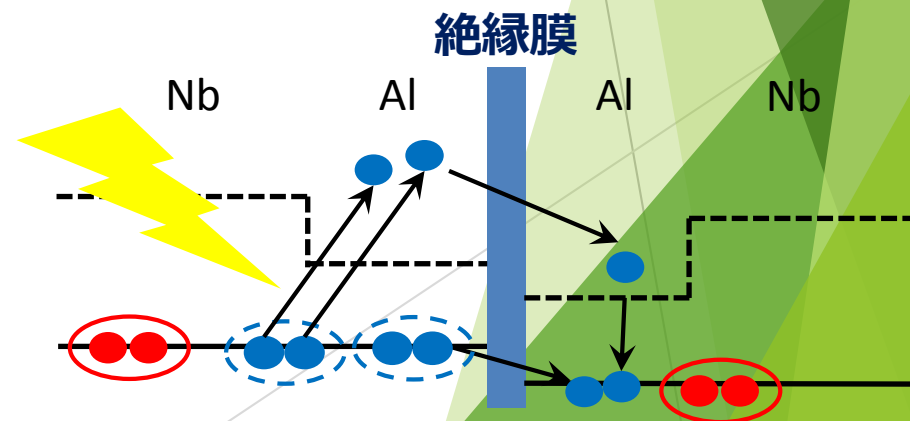
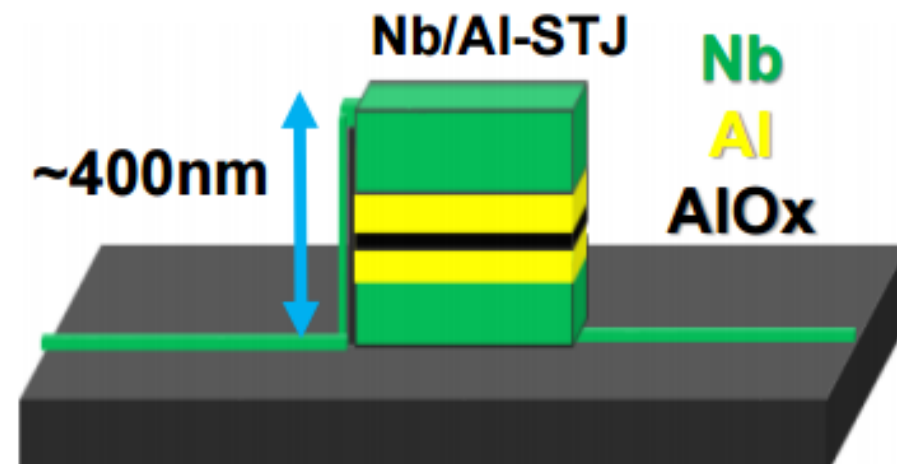
Al層があることにより、絶縁膜付近での準粒子の存在確率があがる。トンネルした粒子がクーパ対に戻ろうとすると、別のクーパ対を解離、新たに準粒子を生成することで発生準粒子を倍増させる。

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
(可視光測定から $G_{al}=10$)
 E_γ : 入射光子のエネルギー

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

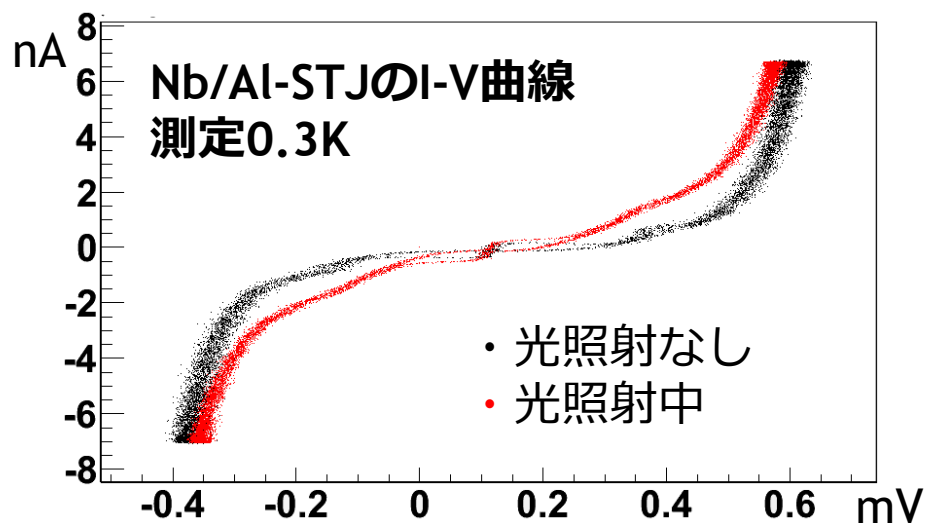
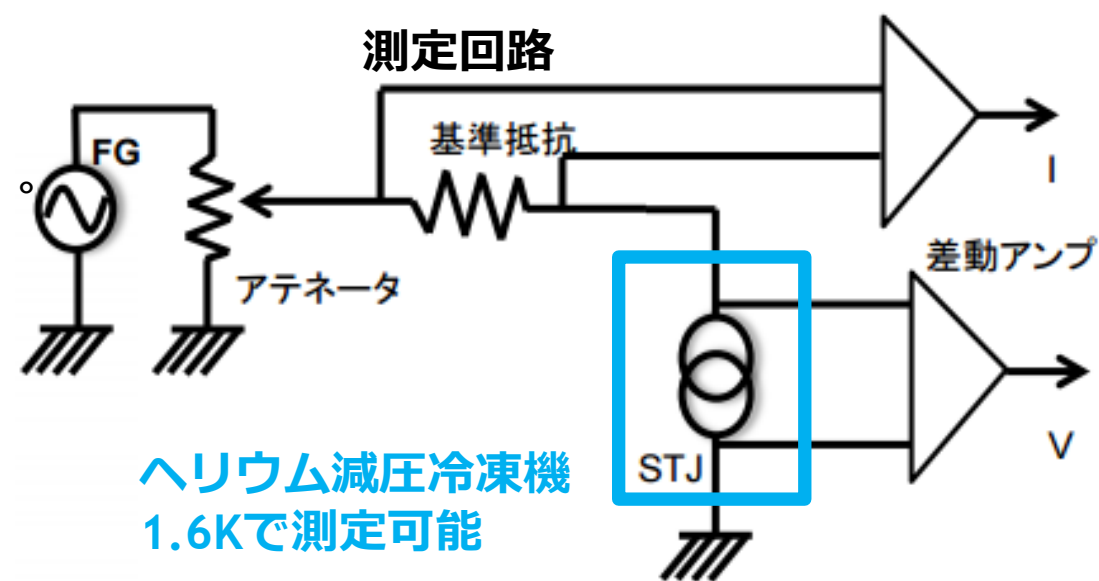


STJの電流電圧特性

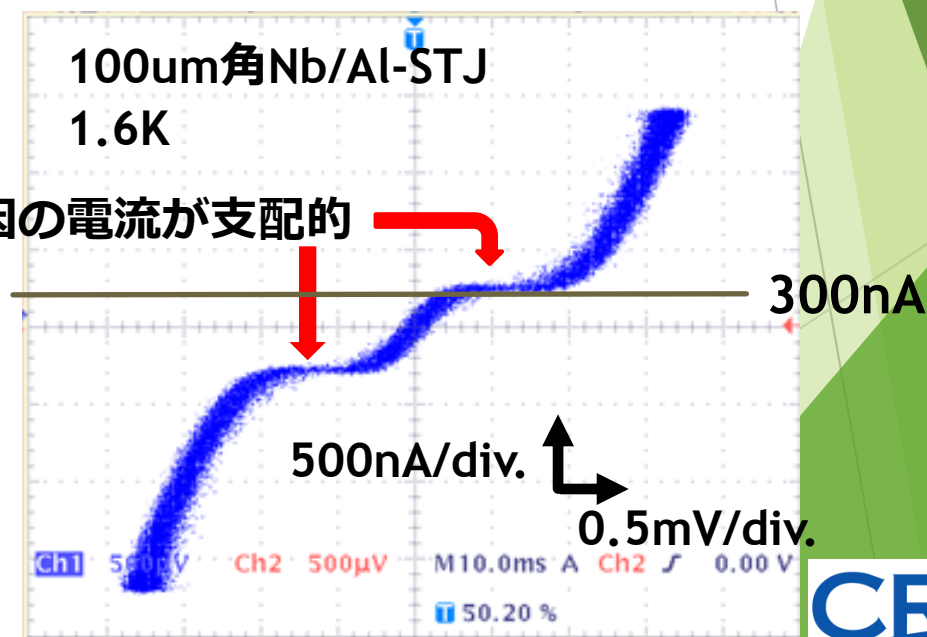
磁場を印加しジョセフソンカレントを抑制し、
検出器として動作させる。

動作電圧では光入射なしでも電流が流れる（リークカレント）。

- ・熱励起された電子のトンネル
- ・測定系起因
 - 絶縁膜に垂直な磁束の侵入によるリークカレントの増大
 - 測定系の振動による準粒子の発生
 - 測定回路のGNDの不安定性
- ・絶縁膜の欠陥に流れる電流



熱励起起因の電流が支配的



熱起因のリークカレント

超伝導転移温度の1/10程度の温度で
熱励起起因の成分は支配的ではなくなる。

遠赤外分子レーザーを用いた Nb/Al-STJの性能評価実験

遠赤外分子レーザー (福井大学遠赤センター)

中部大学 中山和也

福井大学 吉田拓生, 浅野千紗, 中村昂弘

光チョッパー
繰り返し周波数
最大200Hz, パルス幅2.5ms

CO₂レーザー装置

CO₂+N₂+He混合ガスin 高電圧(~10kV)をかけ混合ガスを励起

共振器長2.5 m付近で微調

回折格子

出力ミラー
(出力口12mmφ)

CO₂レーザーがアルコールガスを励起

共振器長2.5 m付近で微調(内径:35mm)

蒸気

アルコール容器

分子レーザー装置

入力ミラー

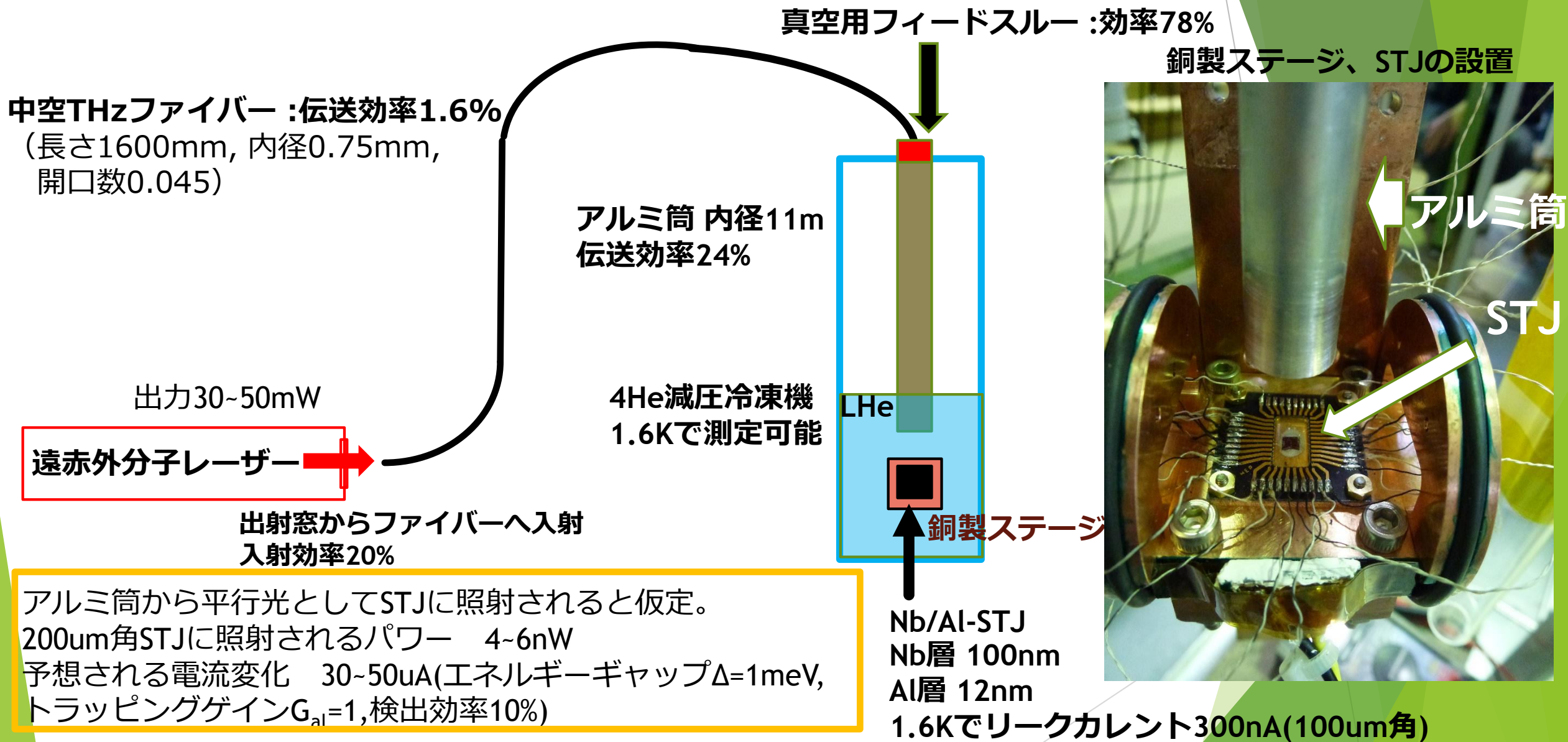
真空ポンプへ

確認されている発振線			
媒体分子	波長 (μm)	E_y (meV)	出力 (mW)
CD ₃ OH	43.7	28.4	(6)
CD ₃ OH	52.9	23.5	4.2
CH ₃ OD	57.2	21.7	72
CD ₃ OH	86.4	14.4	(25)
CH ₃ OH	118.8	10.4	38
CH ₂ F ₂	184.3	6.7	(298)
CD ₃ OH	253.7	4.9	(28)
CH ₃ CN	453.4	2.7	(0.4)

STJの評価実験に用いた波長

※第2回 CiRfSEワークショップ 福井大 浅野さん発表資料より

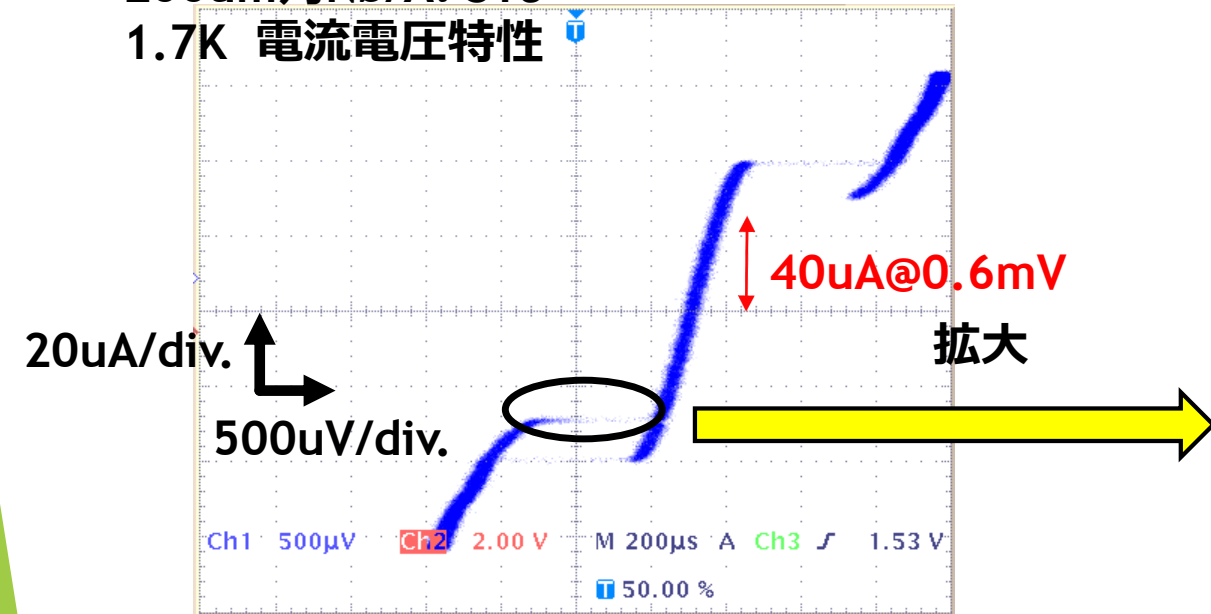
遠赤外線の冷凍機内への導入



遠赤外光に対するSTJ応答の測定結果

200 μ m角 Nb/Al-STJ

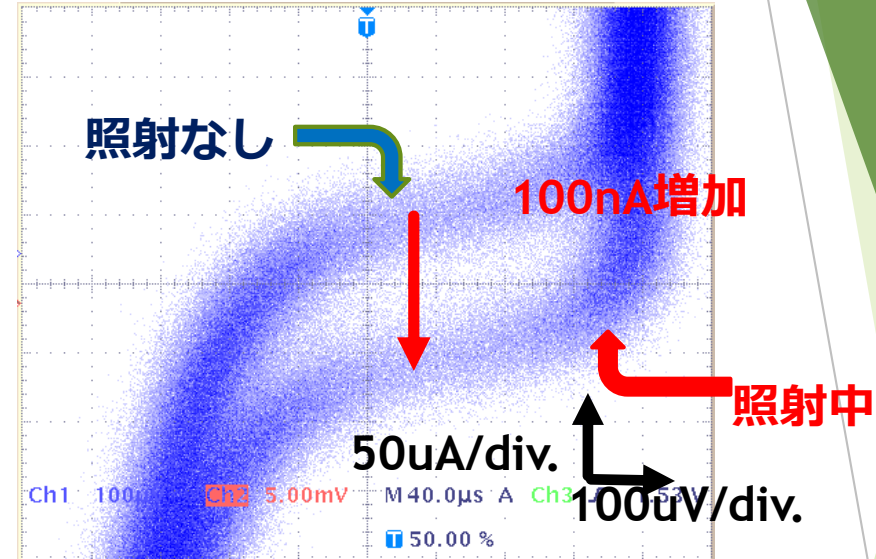
200 μ m角Nb/Al-STJ
1.7K 電流電圧特性



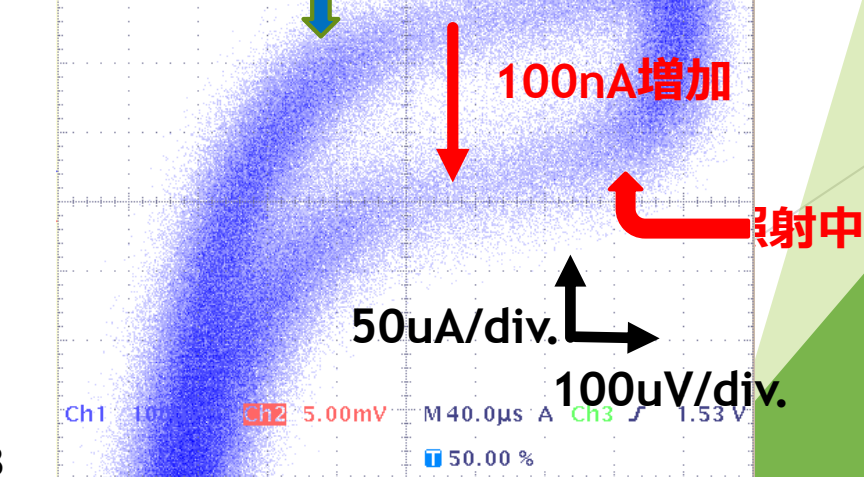
照射パワー4~6nW
予想される電流変化30~50uA

測定された変化100nA
検出効率は0.2~0.3%程度

チョッパー40Hzで遠赤外光の照射

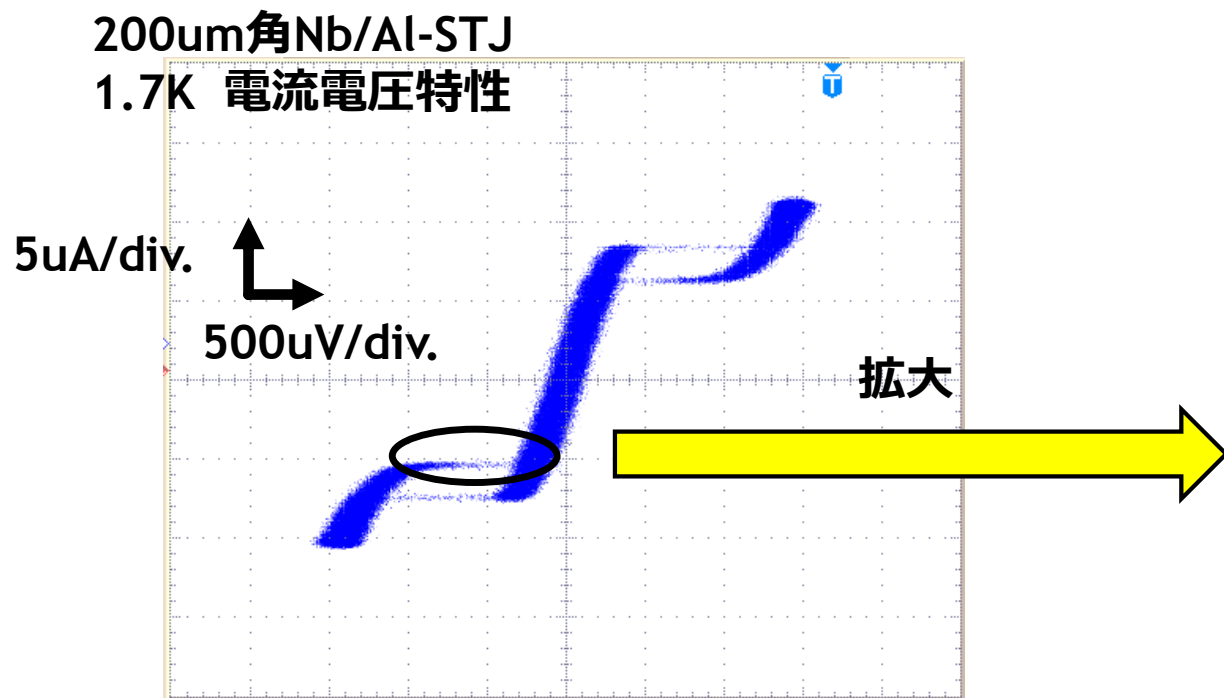


チョッパー200Hzで遠赤外光の照射



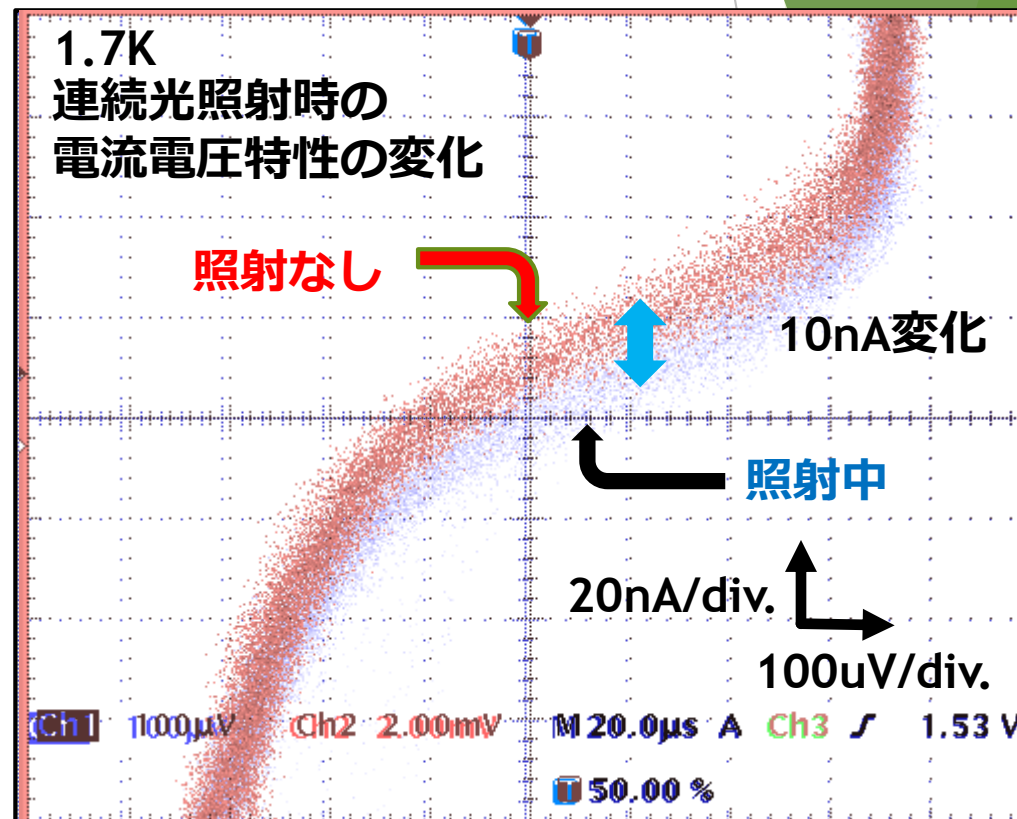
遠赤外光に対するSTJ応答の測定結果

100 μ m角 Nb/Al-STJ



照射パワー1~2nW程度
予想される電流変化10~15 μ A

測定された変化10nA
検出効率0.06~0.1%程度



まとめ

STJの遠赤外光に対する応答信号を確認した
遠赤外光(波長57 μm)のレーザー照射によりSTJの電流電圧特性の変化を測定した。

200 μm 角STJで100nA増加

100 μm 角STJで10nA増加

200 μm 角Nb/Al-STJで検出効率0.2~0.3%程度

100 μm 角Nb/Al-STJで検出効率0.06~0.1%程度

今後

- ・ 遠赤外レーザーを用いて、 μs 程度以下のパルス光応答をSTJで測定
- ・ STJの検出効率の改善のため、反射防止コーティングの開発を進める。