

# 可視～遠赤外域単一光子検出のための超伝導トンネル接合素子検出器(STJ)の開発

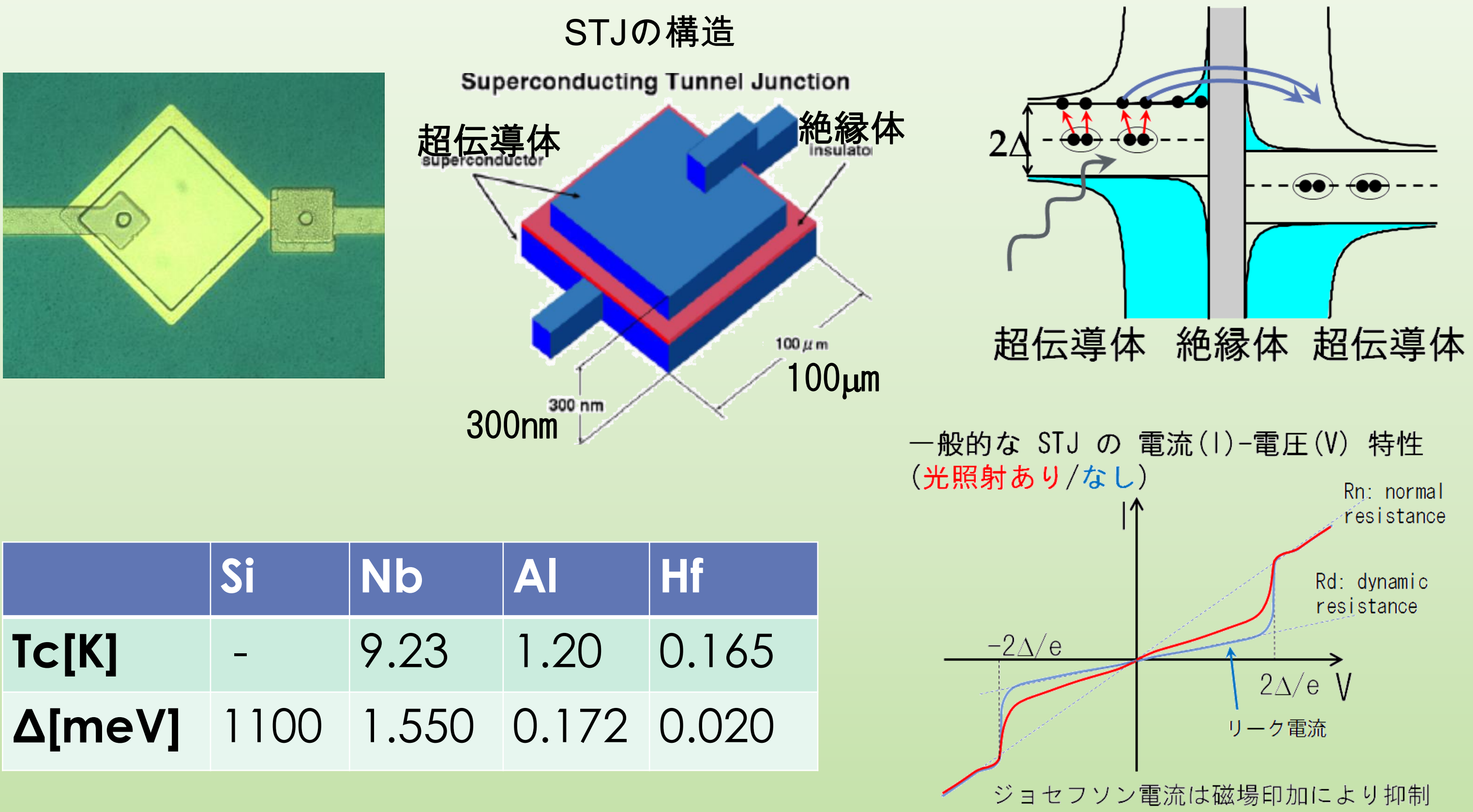
武政健一, 八木俊輔, 若狭玲那 (筑波大学数理物質系)

COBAND(Cosmic background neutrino decay search)実験 Collaboration

S.H.Kim , Y.Takeuchi, K.Takemasa, K.Nagata, K.Kasahara , K.Moriuchi, R.Senzaki, S.Yagi, R.Wakasa, Y.Ootuka(筑波大), S.Mima, K.Kiuchi (理研), Y.Arai, M.Hazumi , I. Kurachi(KEK), H.Ishino(岡山大), T.Yoshida, C. Asano(福井大), Y.Kato (近畿大), S.Matsuura (関西学院大), S. Kawahito (静岡大), H.Ikeda, T.Wada, K. Nagase, S.Baba(JAXA/ISAS), S.Shiki, M.Ukibe, G.Fujii, M.Ohkubo (産総研), E.Ramberg, J.H.Yoo, M.Kozlovsky, P.Rubinov, D.Sergatskov(Fermilab), S.B.Kim(ソウル大)

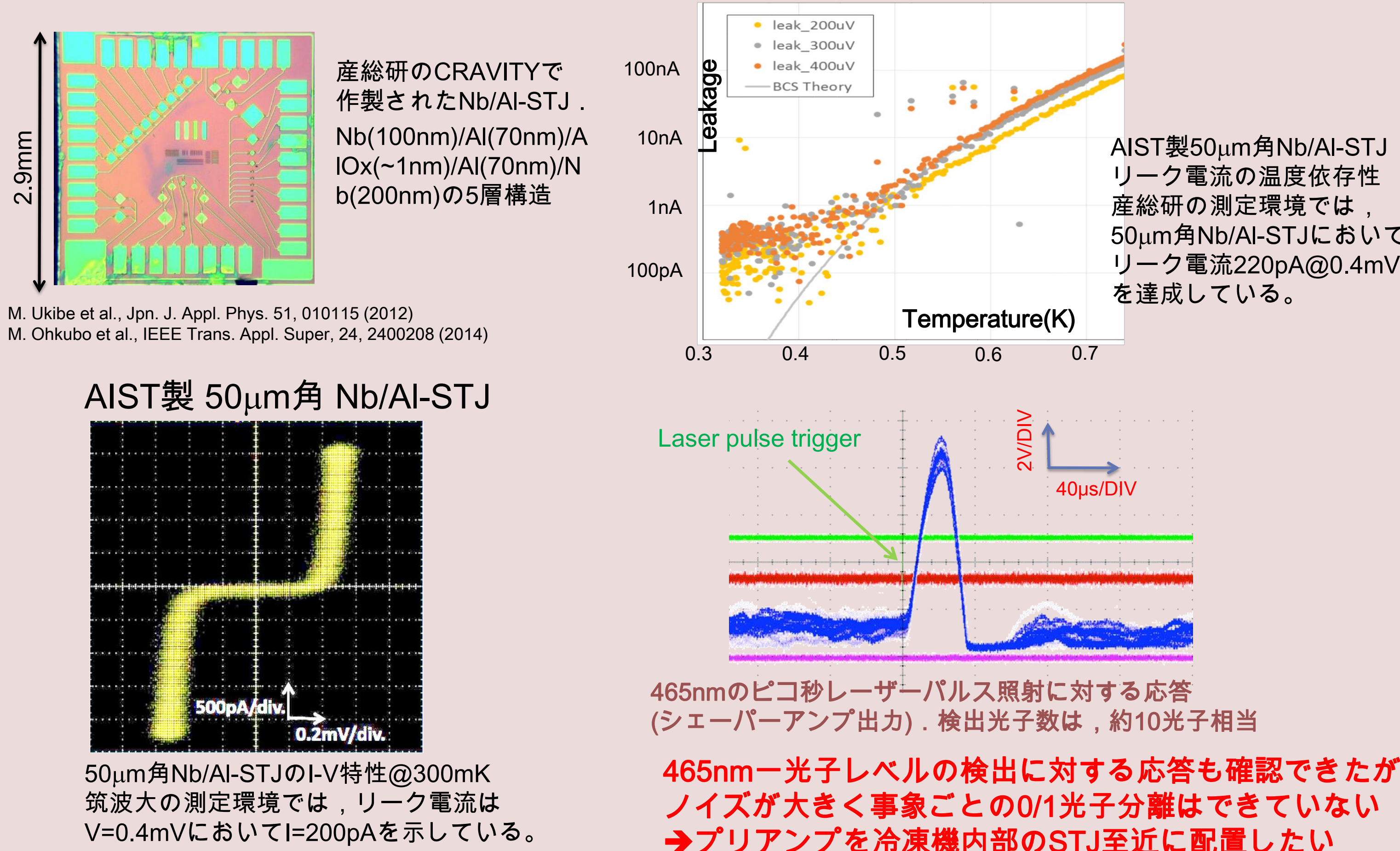
## Superconducting Tunnel Junction (STJ) 原理

- 超伝導には, エネルギーギャップが存在:  $\Delta$
- $\Delta \sim 1.5\text{meV}(\text{Nb}), \Delta \sim 0.02\text{meV}(\text{Hf})$  ( $\Leftrightarrow$  半導体  $\sim 1\text{eV}$ )
- 超伝導体/絶縁体/超伝導体の構造
- 上部と下部の超伝導体の間にバイアス:  $0 < |V| < 2\Delta/e$
- 光入射によるエネルギー( $E_\gamma$ )でクーパー対電子が励起(準粒子)
  - 入射エネルギーに比例した数の準粒子:  $N_{qp} = E_\gamma / 1.7\Delta$
  - エネルギー分解能(発生準粒子数のゆらぎ):  $\frac{\delta N_{qp}}{N_{qp}} = \sqrt{\frac{F}{N_{q.p.}}} = \sqrt{\frac{1.7\Delta \cdot F}{E_\gamma}}$
- 励起した準粒子が絶縁体をトンネルし, 電流として観測
- 信号の時定数が短い (超伝導体がNbの場合  $\tau \sim 1\mu\text{s}$ )

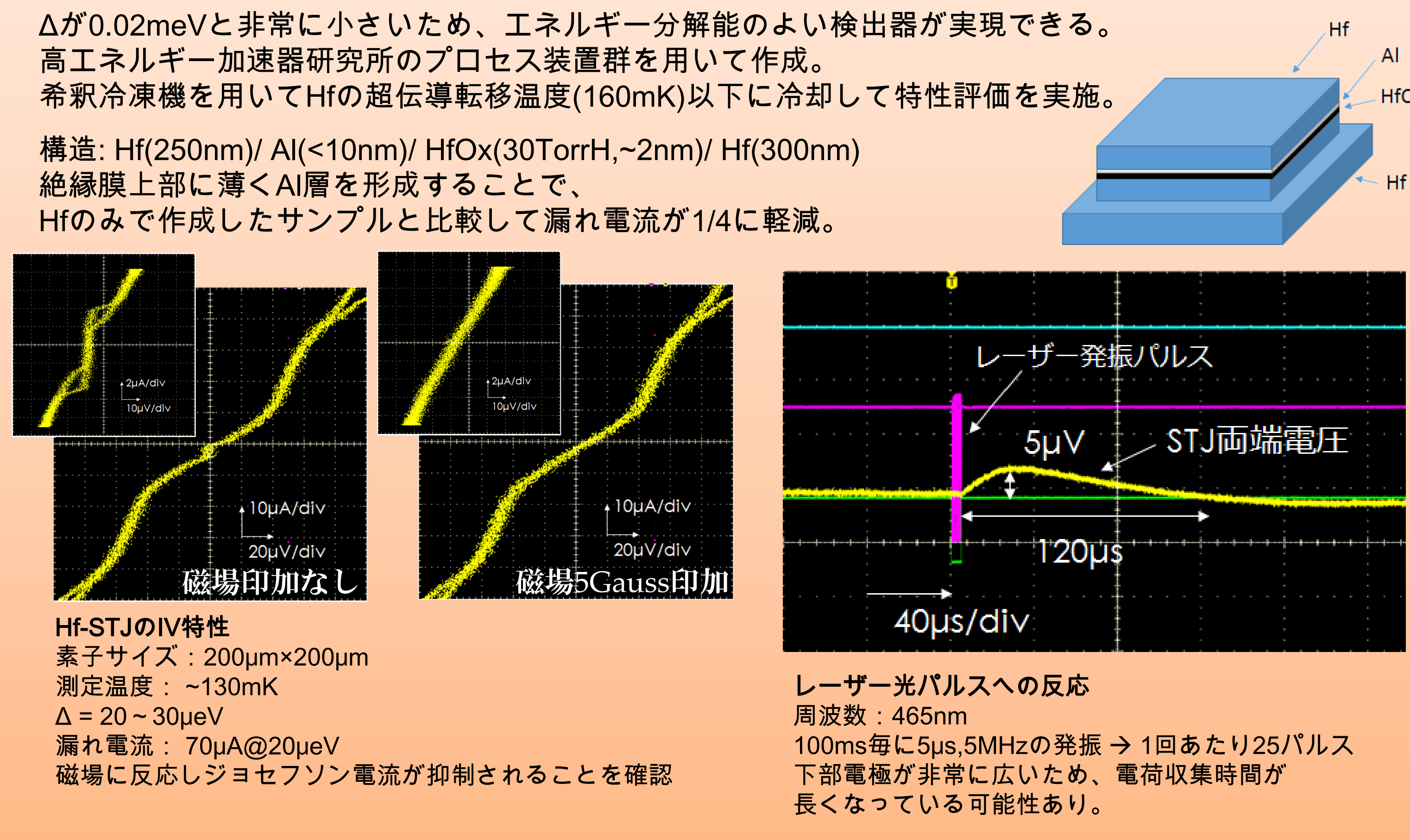


	Si	Nb	Al	Hf
Tc[K]	-	9.23	1.20	0.165
$\Delta[\text{meV}]$	1100	1.550	0.172	0.020

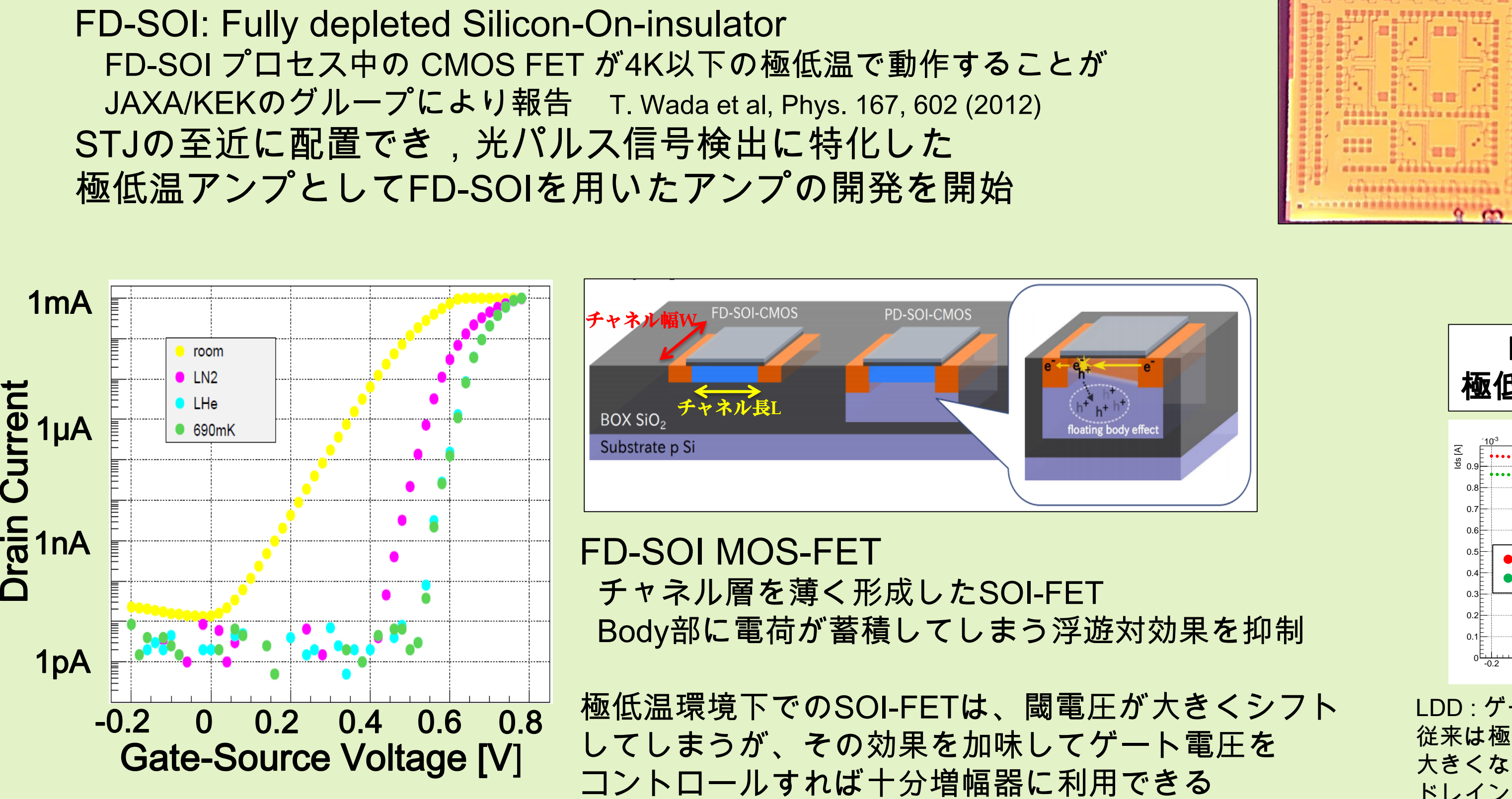
## 1光子観測のためのNb/Al-STJ開発



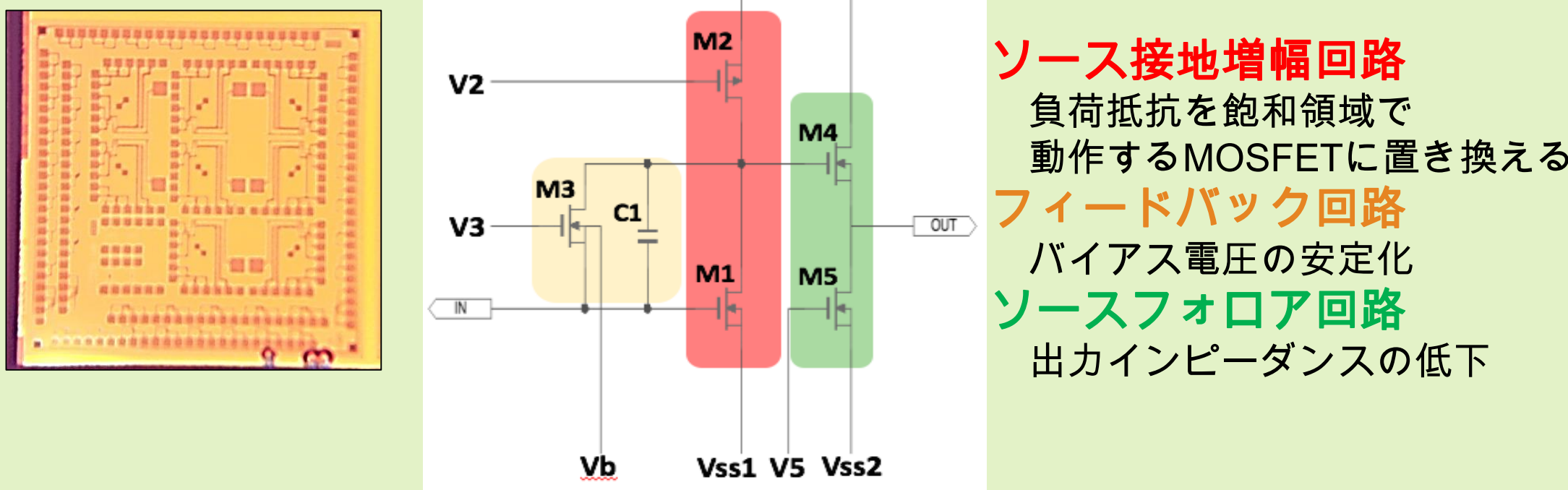
## Hf-STJ開発



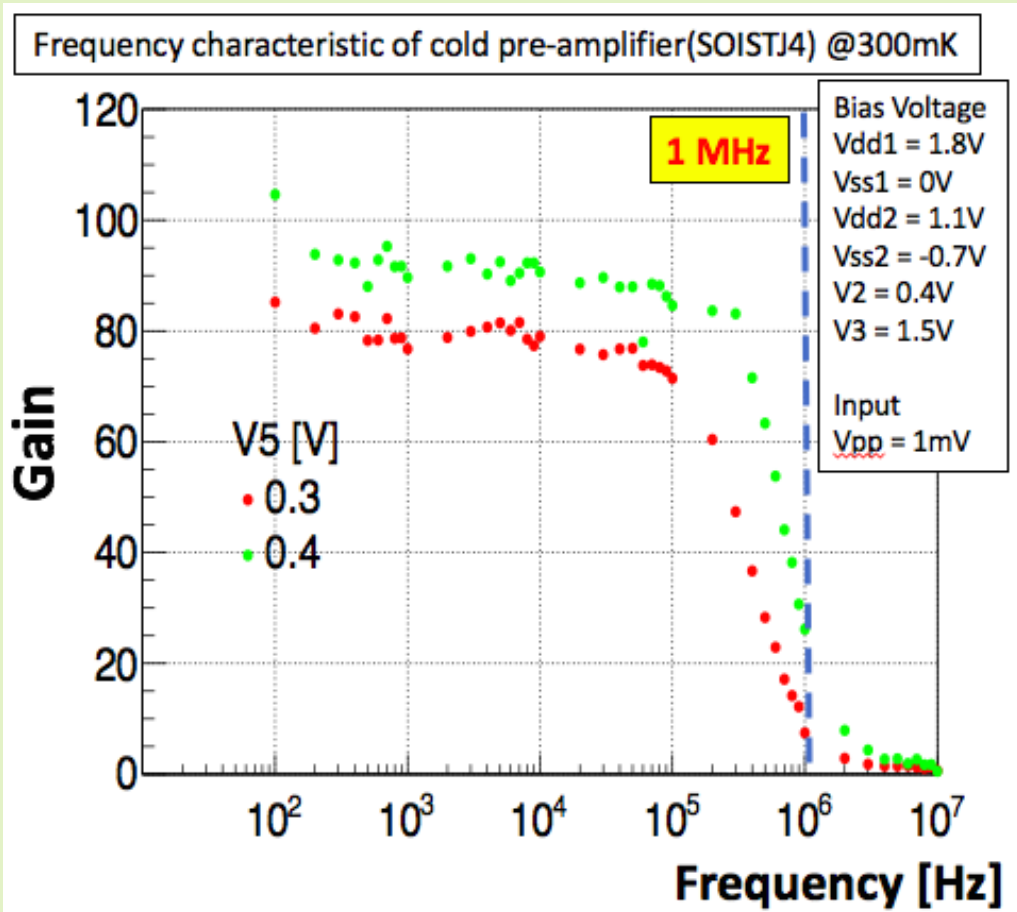
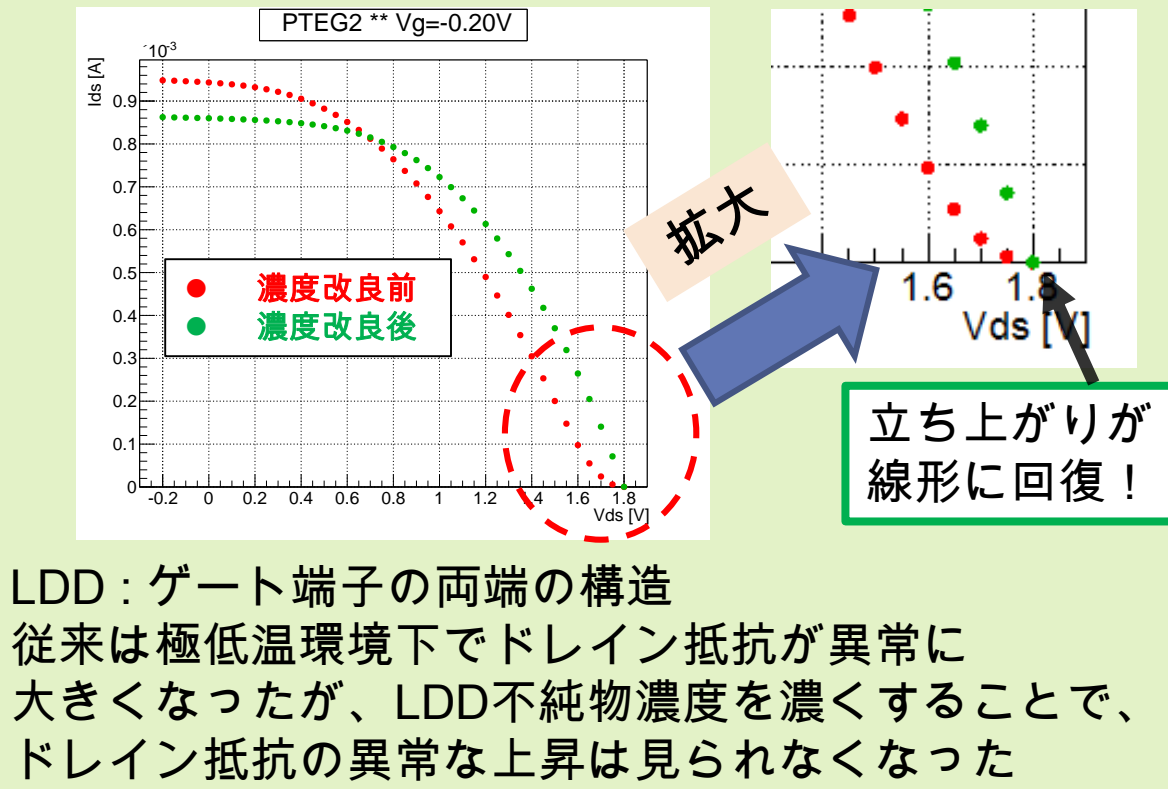
## SOI技術を用いた極低温アンプの開発



### 極低温用前置増幅器 試作機



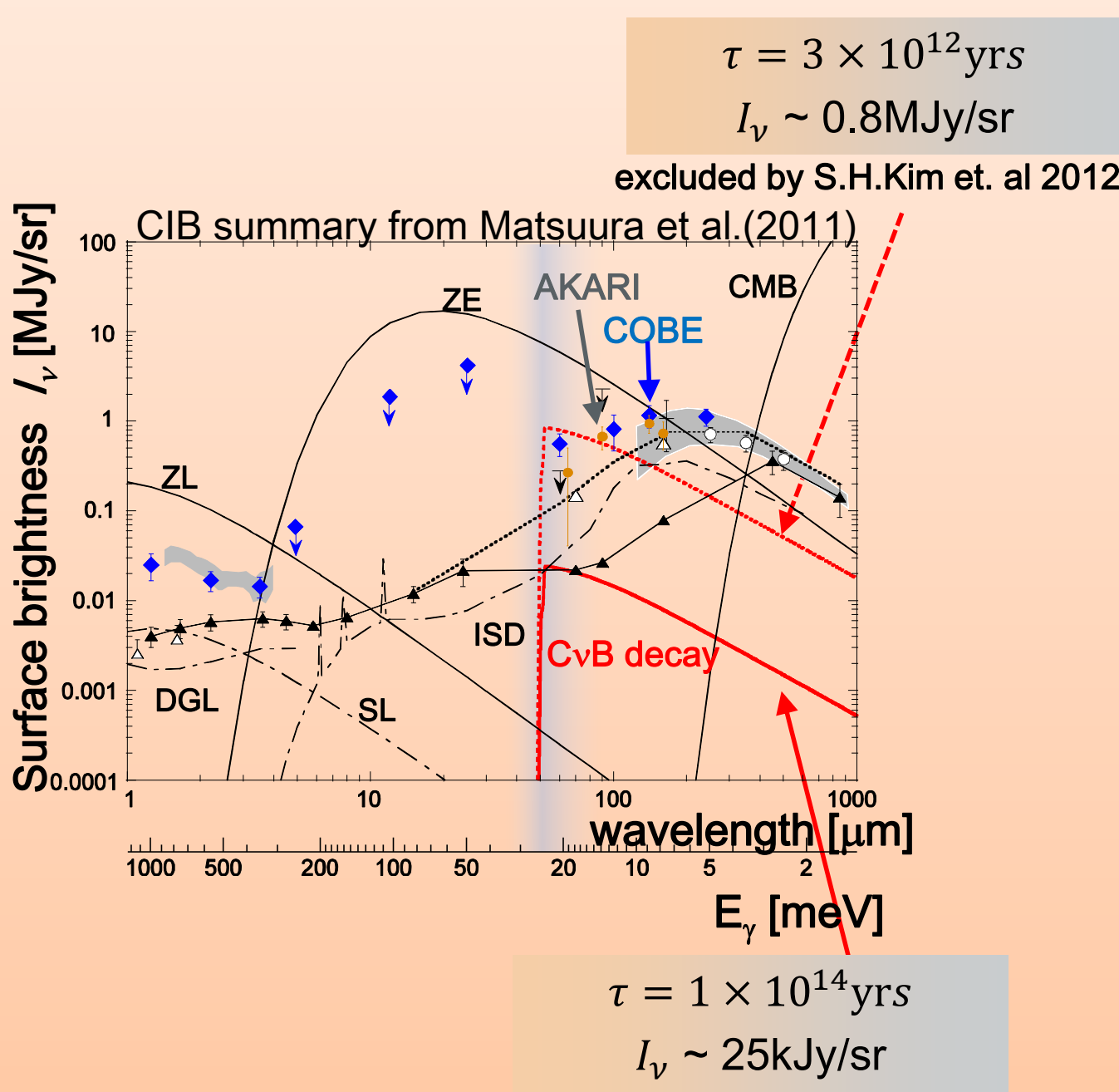
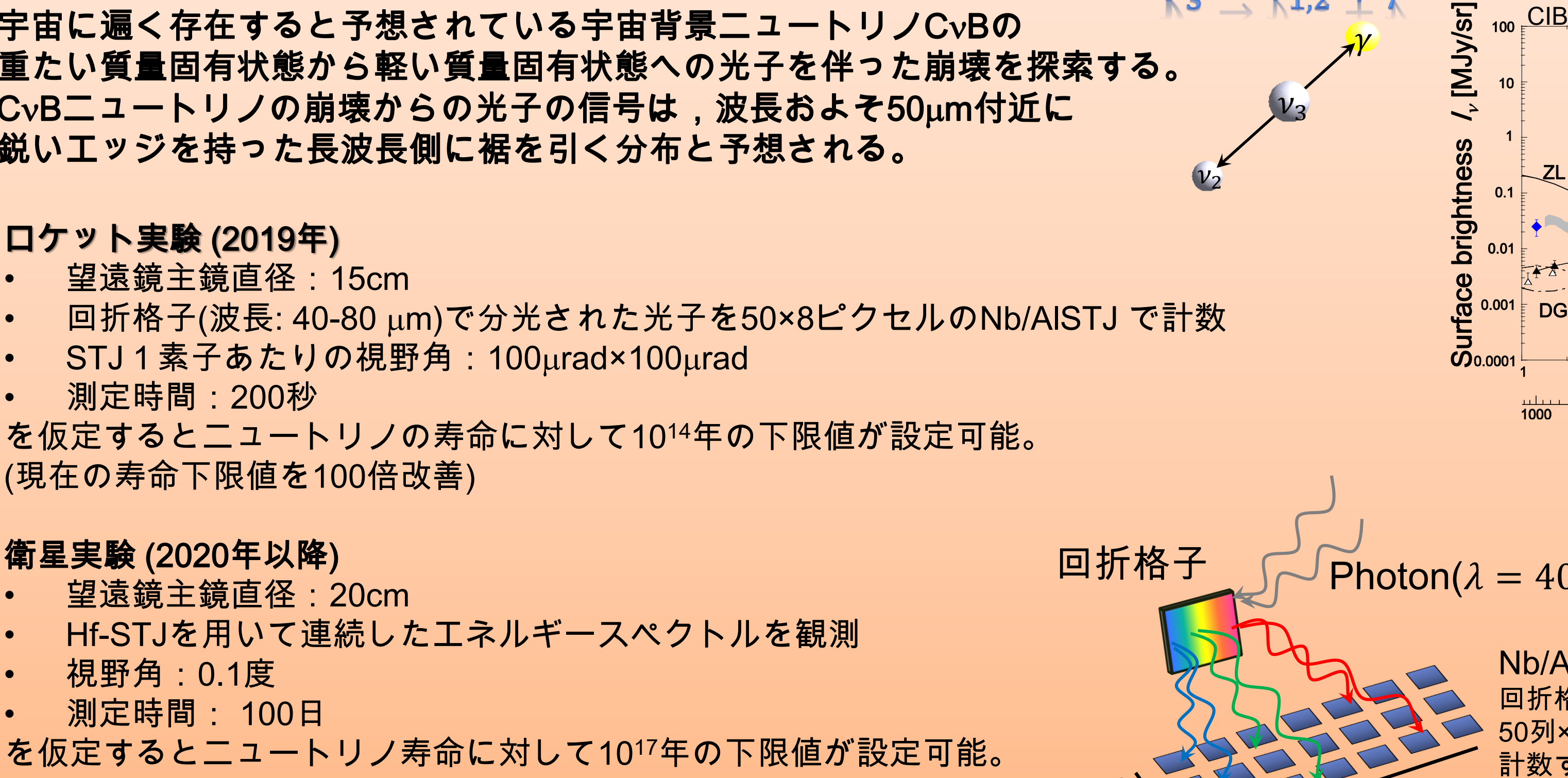
### LDD不純物濃度改良による極低温環境下での異常特性の改善



増幅器入力100kHzまでのsin波に対し出力利得 約80 を獲得

現在、STJ信号を増幅するための測定系を構築しており、増幅に成功すれば現状よりS/Nがよくなることが期待される

## 宇宙背景ニュートリノ(CvB)の崩壊探索への応用



## まとめ

- 可視～遠赤外域の一光子分光・一光子計数が可能な光検出器の開発を行っている。
  - 半導体と比較してエネルギーバンドギャップが極めて小さい超伝導体を用いた検出器で且つ、パルス応答が高速なSTJの使用を検討。Nb/Al-STJとHf-STJの開発を行っている。
  - STJ信号読出しとして極低温で動作することが確認されたSOI技術によるアンプ回路を開発。300mKの極低温環境下において100kHzまでの入力信号に対して80倍の利得を確認。
- 遠赤外域一光子計数検出器の応用として、宇宙背景ニュートリノ崩壊探索実験を計画中。

### 謝辞

本研究は、科研費新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」計画研究B02班(科研費番号25105007)および、KEK測定器開発室SCDプロジェクトのサポートを受けています。本研究に使用されたNb/Al-STJは、KEK先端計測実験棟・大実験室内クリーンルーム、および(独)産業技術総合研究所(AIST)の超伝導クリーンルームCRAVITYにおいて作製されました。本研究に使用されたSOI基板は、東京大学大規模集積システム設計教育研究センター(VDEC)を通し、シノプシス株式会社、日本ケイデンス株式会社およびメンター株式会社の協力で設計されました。