

ERL研究会@KEK

2012.7.30-31

超伝導検出器による テラヘルツ波検出と応用

独立行政法人理化学研究所
テラヘルツイメージング研究チーム
大谷知行

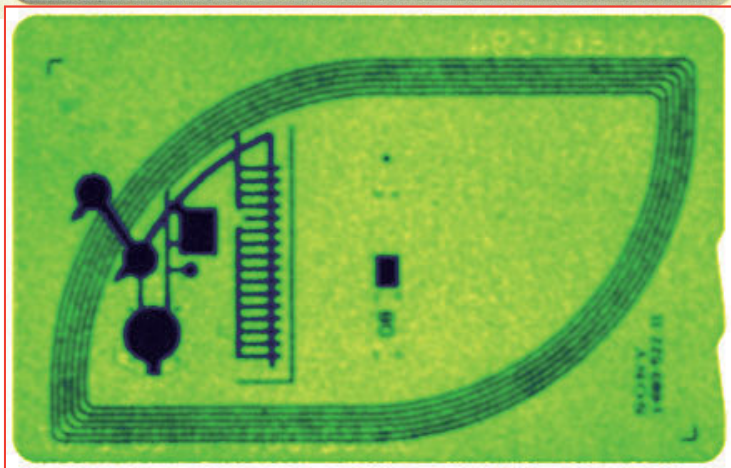
研究の背景

STJによるテラヘルツ波検出

MKIDsによるミリ波・テラヘルツ波検出

(テラヘルツ分光と応用について)

テラヘルツ波による物質透視イメージング

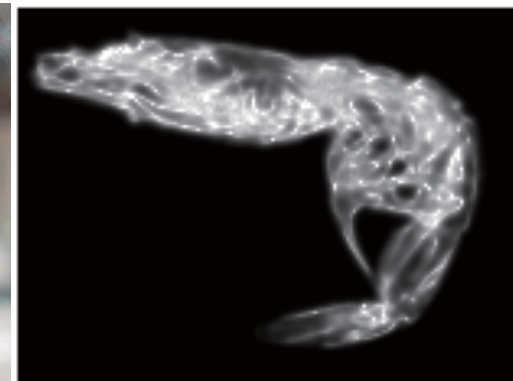


周波数 : 0.6 THz (波長0.5mm)

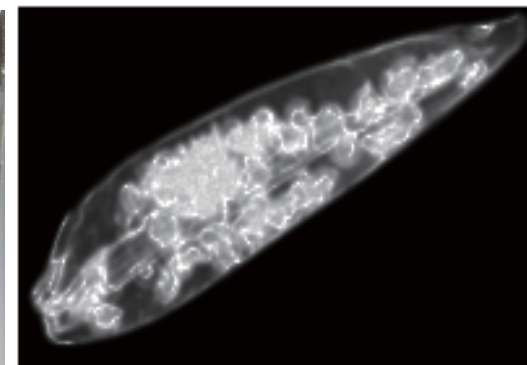
空間分解能 : 0.5 mm

Dobroiu *et al.*, *Applied Optics* 43, 5367 (2004)

さくらえび



赤とうがらし



可視光のイメージ

THz波イメージ

周波数 : 1.0 THz (波長0.3 mm)

空間分解能 : 0.4 mm

Kawase., *Optics & Photonics News* 15, 34 (2004)

新たなイメージング応用の可能性

常温イメージング検出器

(NEC、NICT)

常温の赤外線ボロメータアレイ

<http://www.nec.co.jp/geo/en/products/hx3100.html>



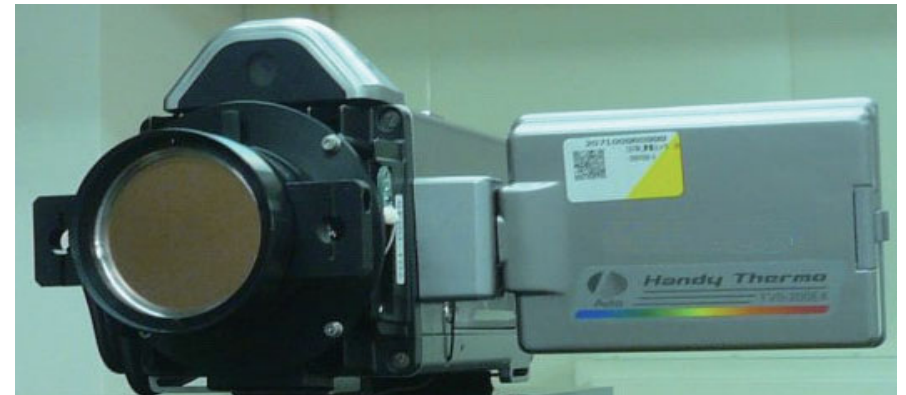
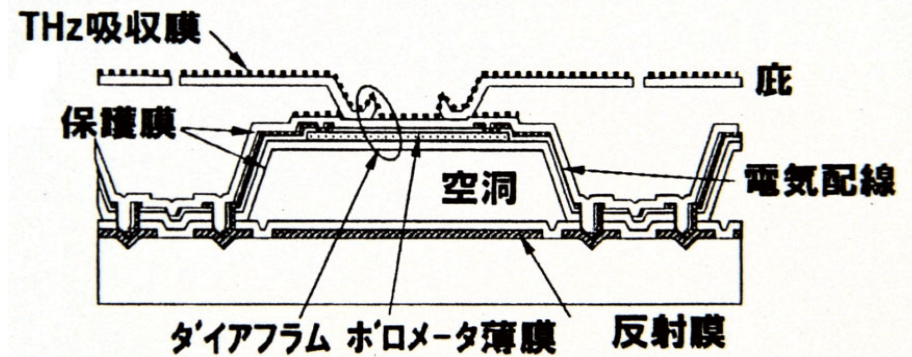
320x240画素

10 μ m帯

30 frame/sec



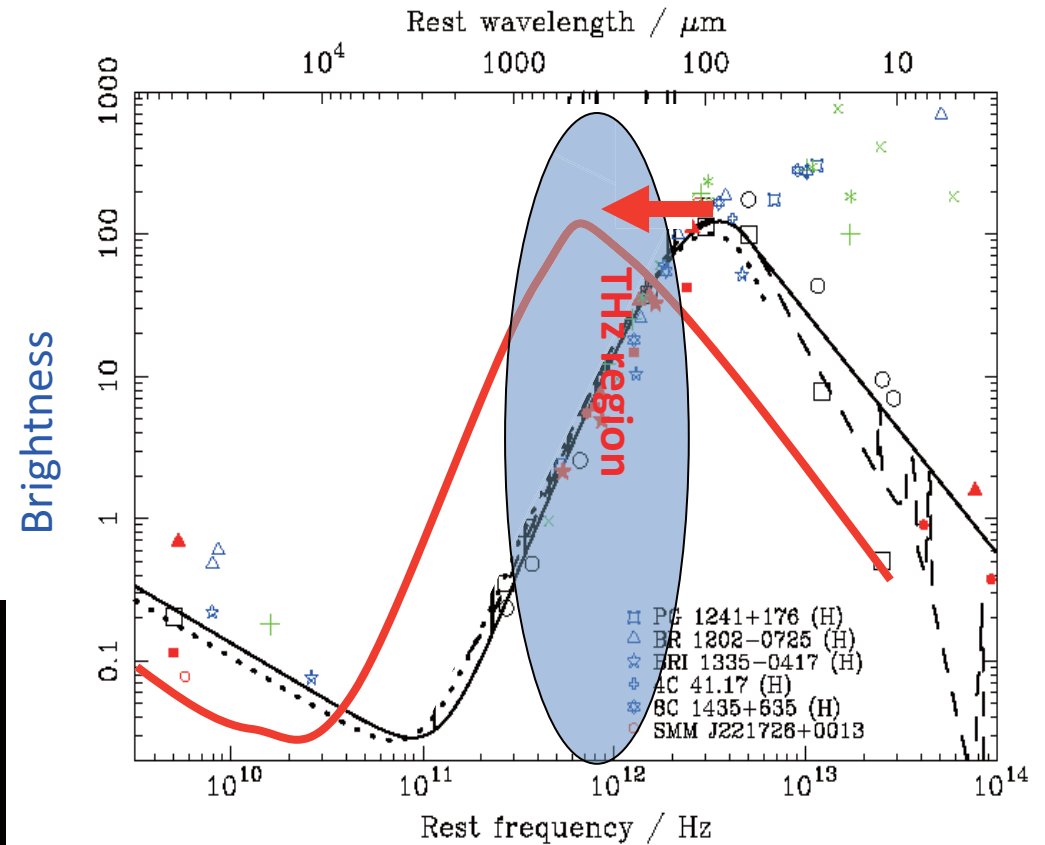
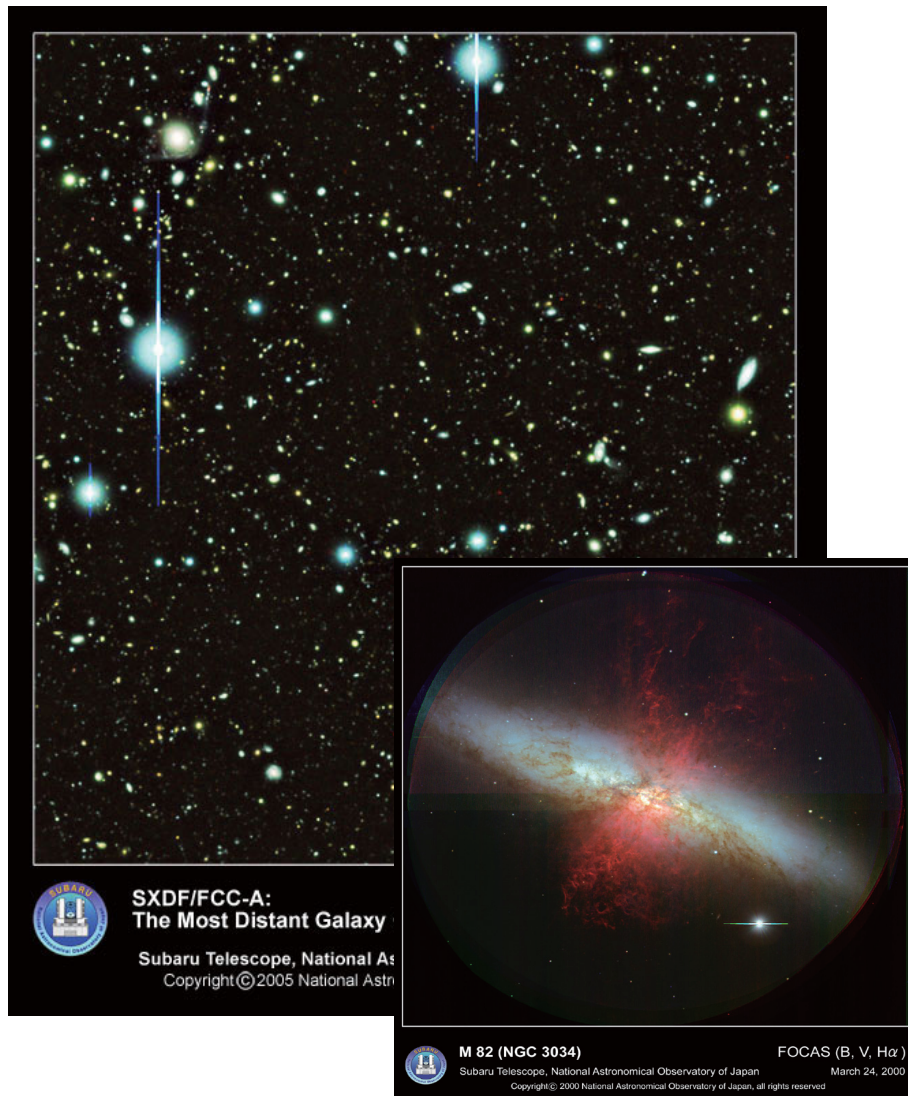
THz波用に改造



常温で高速（ビデオレート）の
テラヘルツイメージングを実現

Astronomical Application

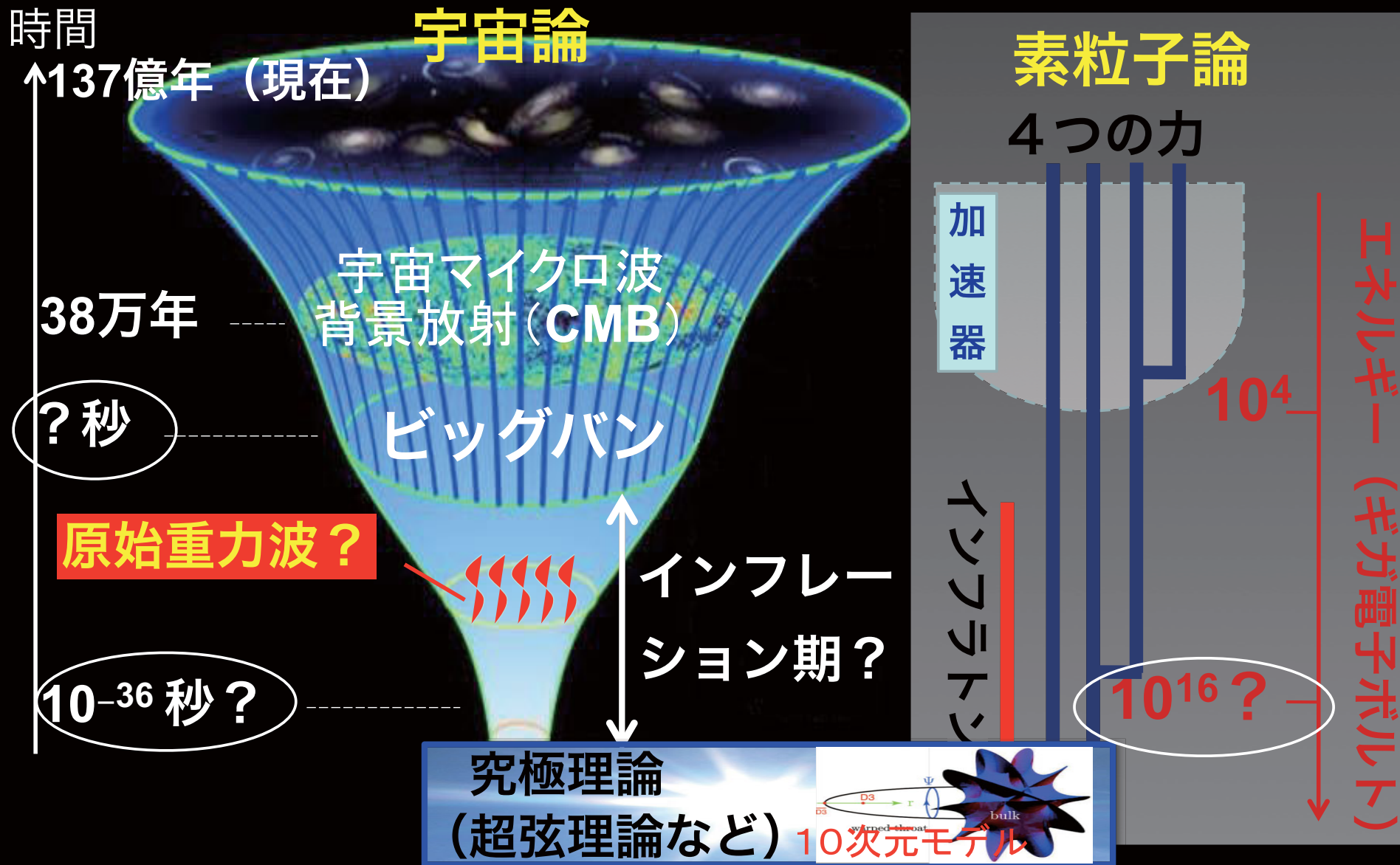
~ Search for primordial galaxies ~



Distant star-forming galaxies are the brightest in THz region

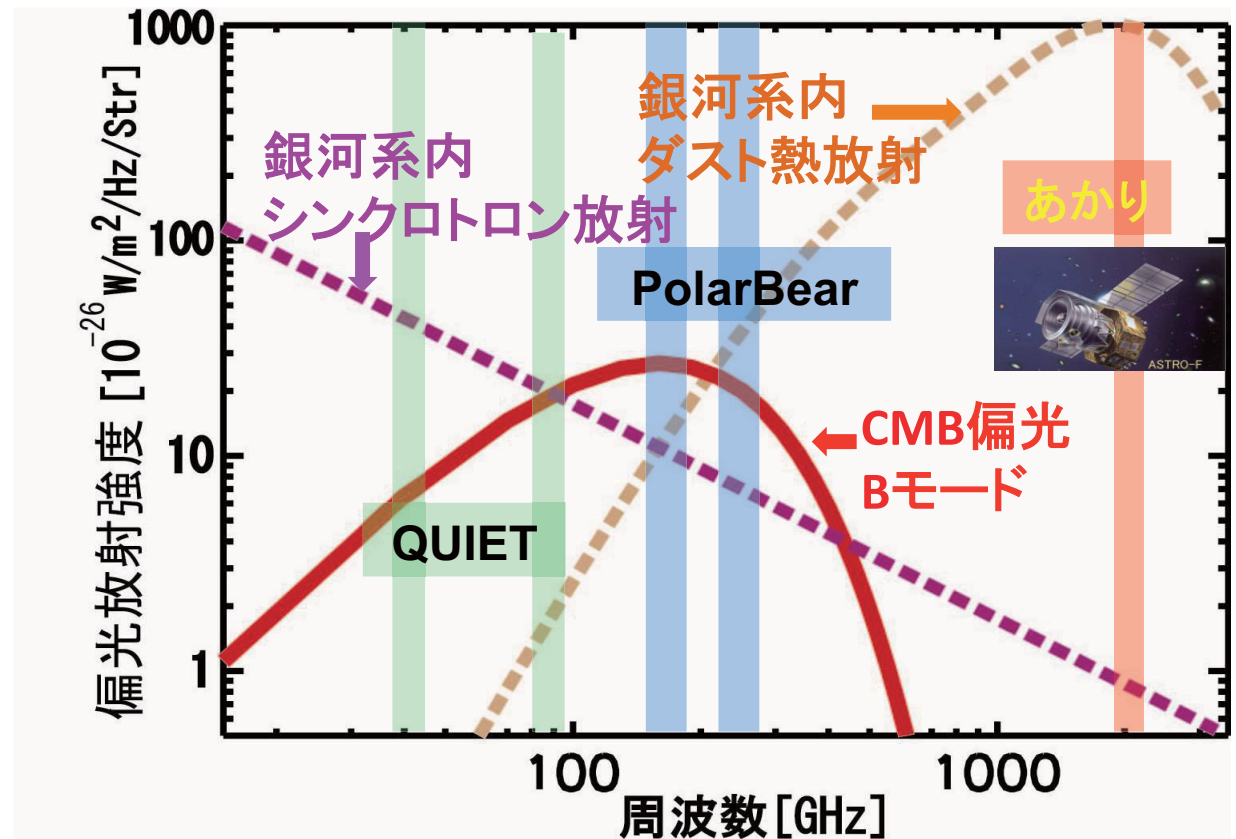
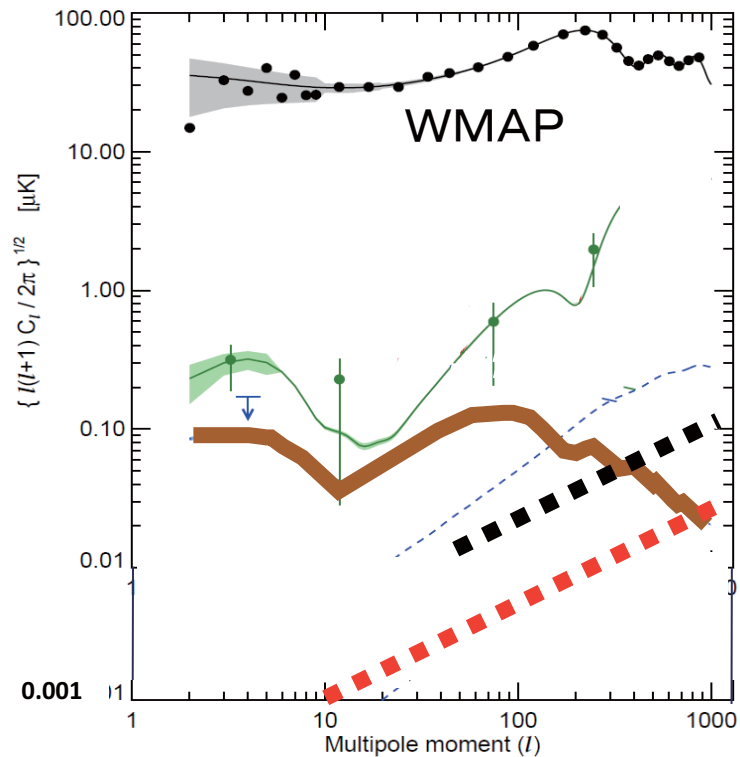
→ Survey observation by Array

インフレーションと自然界の究極理論



A02:初期宇宙探査のための超高感度アレイデバイスの研究開発

参加機関:理研、KEK、国立天文台、岡山大

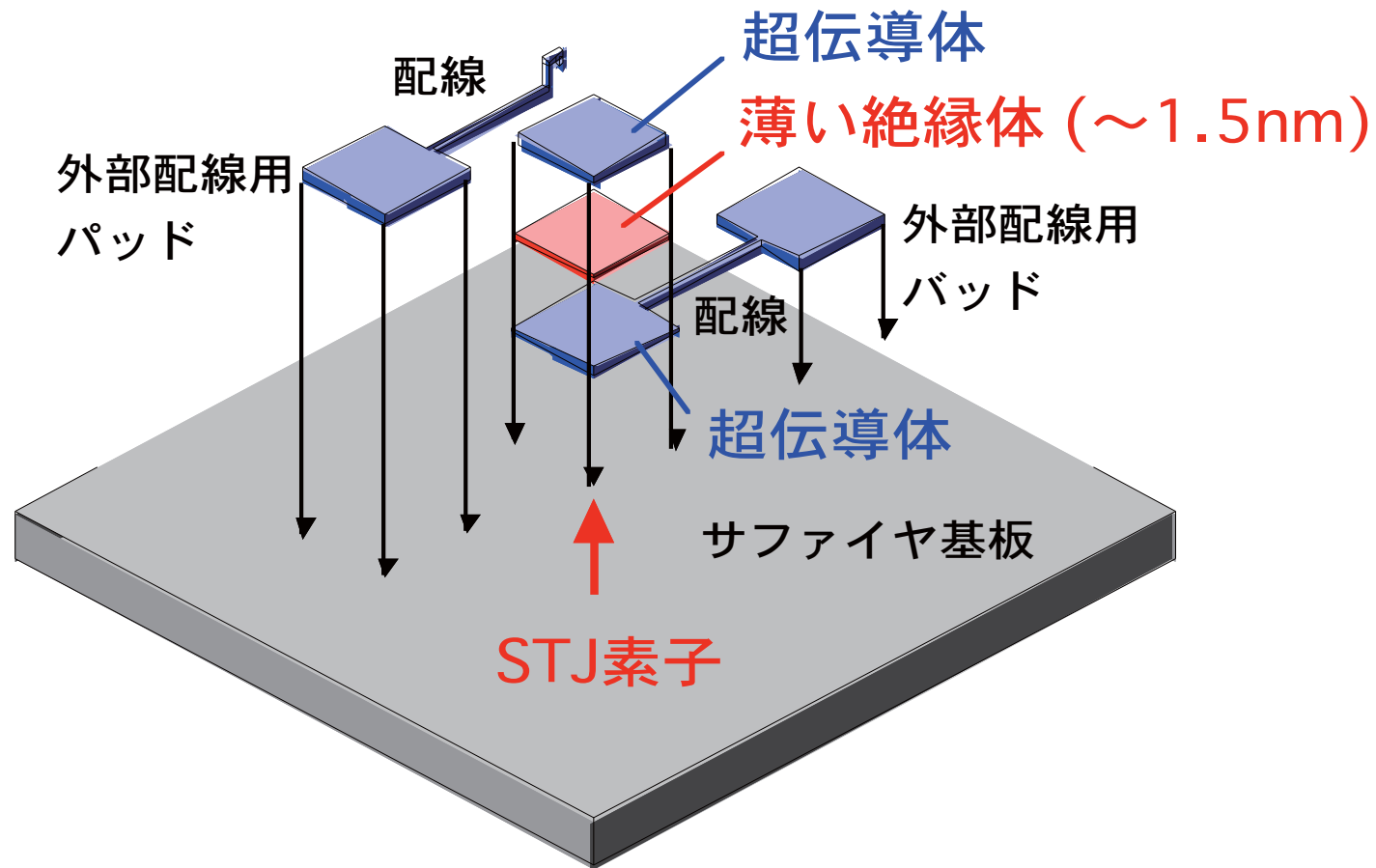


“検出器を制するものはCMBを制する”

超伝導トンネル接合素子 (STJ)

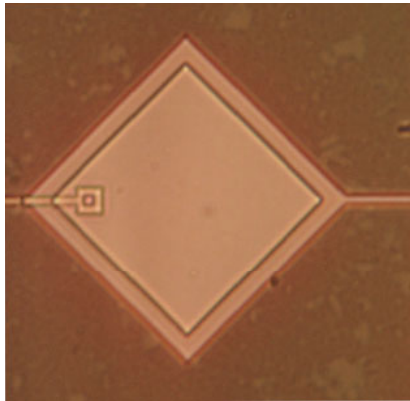
ジョセフソン素子

超伝導体-絶縁体-超伝導体 (SIS素子)

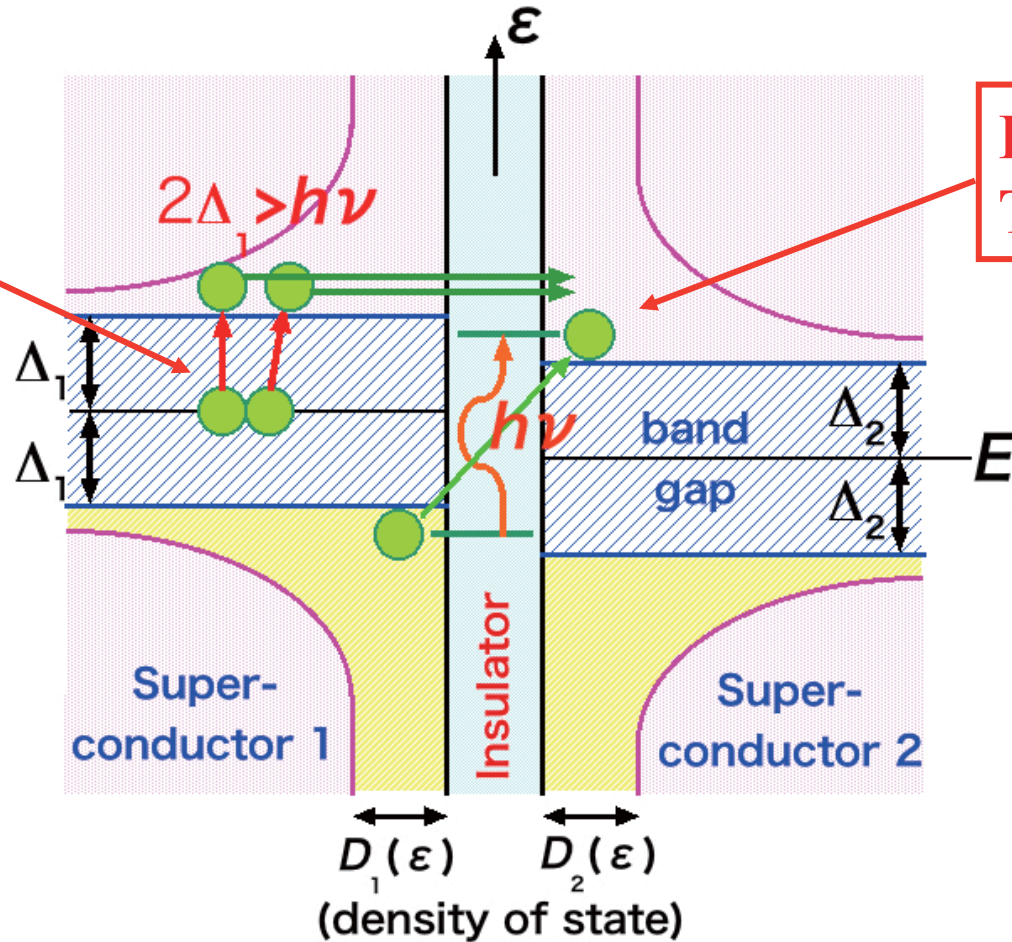


Tunneling Processes in quantum detection

Cooper Pair
Breaking ... (2)



$\nu > \nu_g$



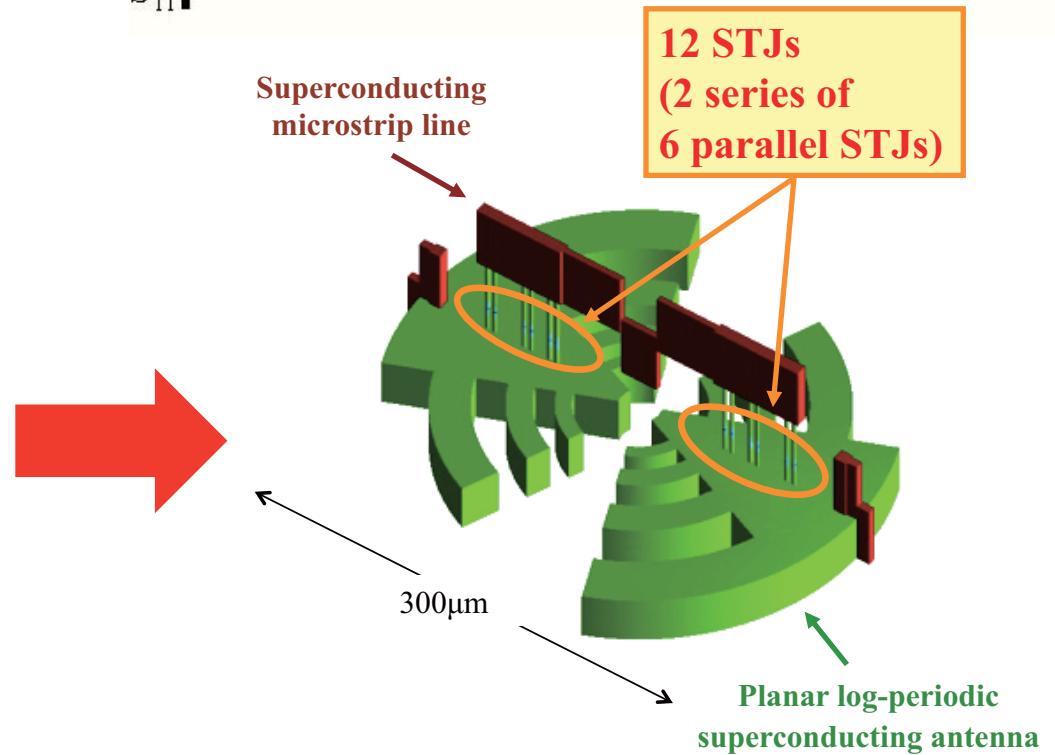
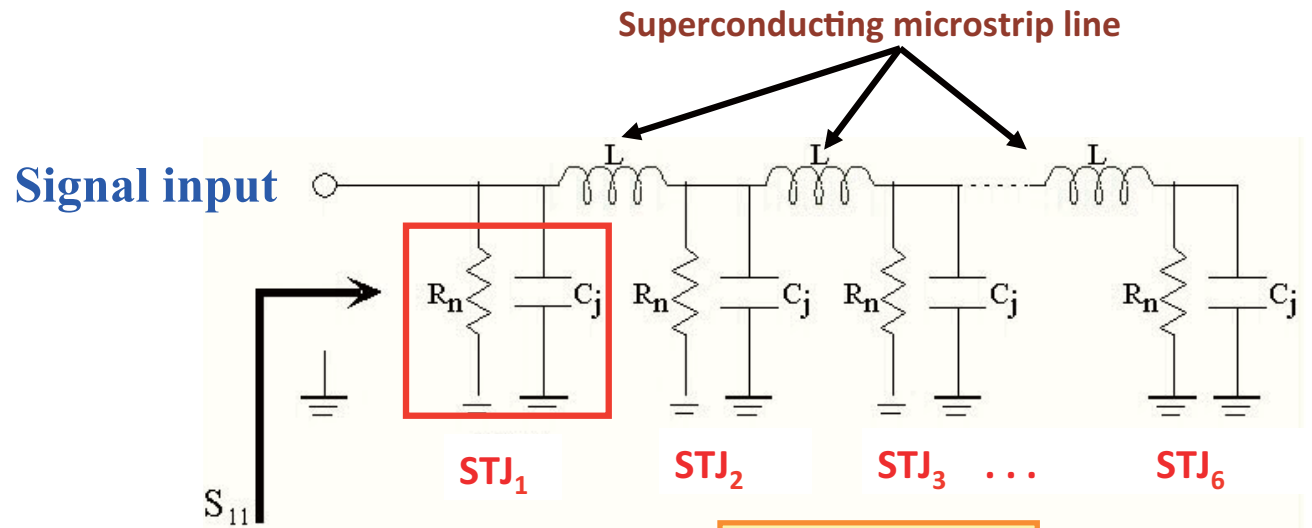
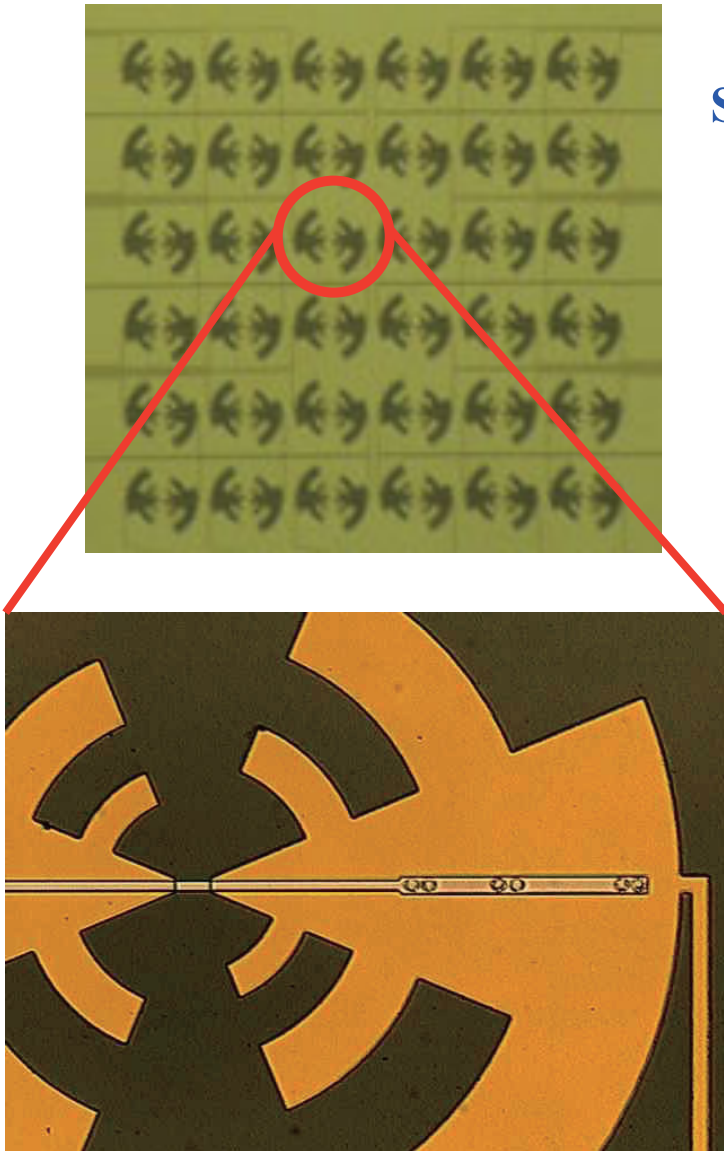
Photon-Assisted
Tunneling ... (1)



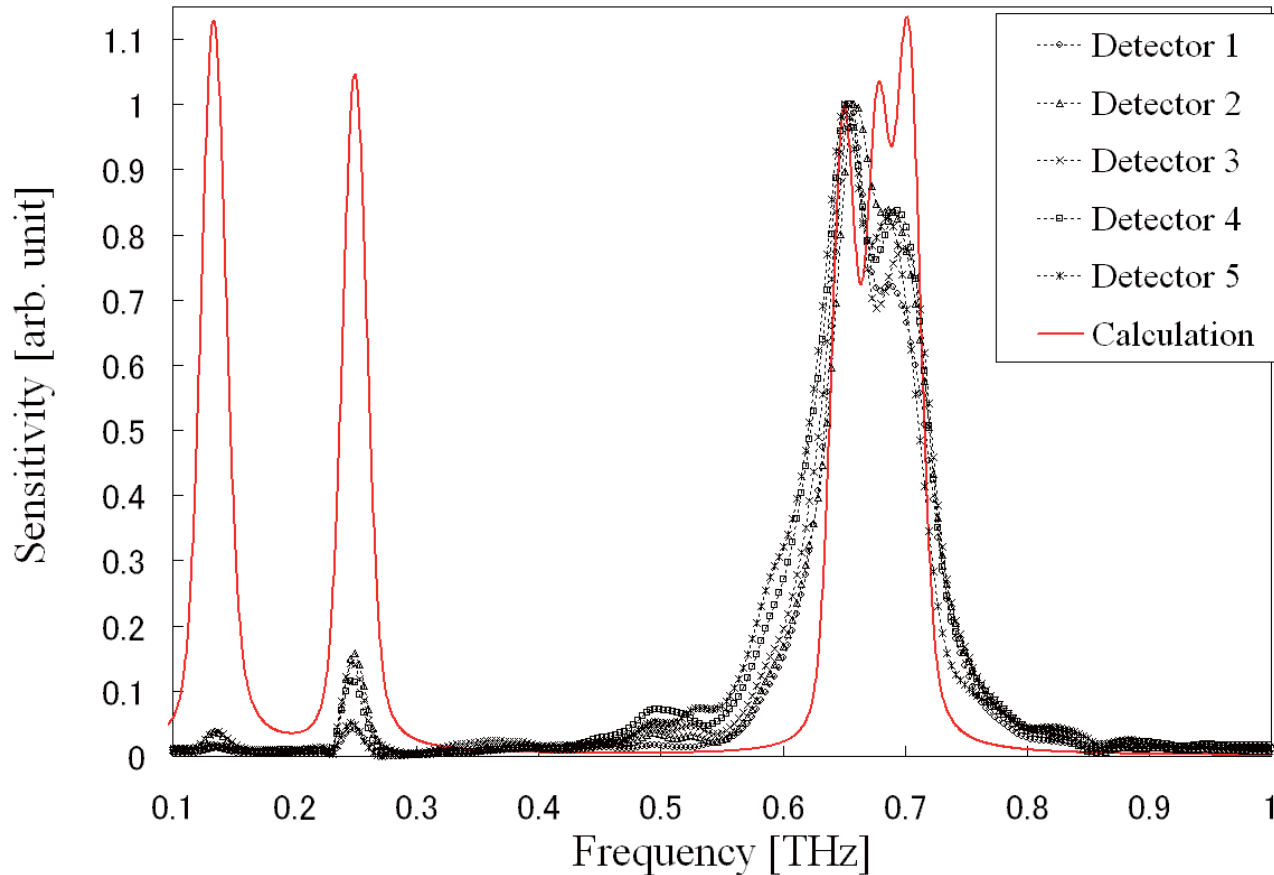
$\nu < \nu_g$

$\nu_g = 2\Delta/h = 0.7 \text{ THz for Nb } (h\nu_g = 3.1 \text{ meV})$

Photon-Assisted Tunneling Detector Array



Measured Spectral Response



(Obtained by FT-IR)

Ariyoshi *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* 88, 203503 (2006)

Center Frequency

0.65 THz

Bandwidth

> 10%

using distributed STJs

(S.-C. Shi et al. 1997)

Sensitivity

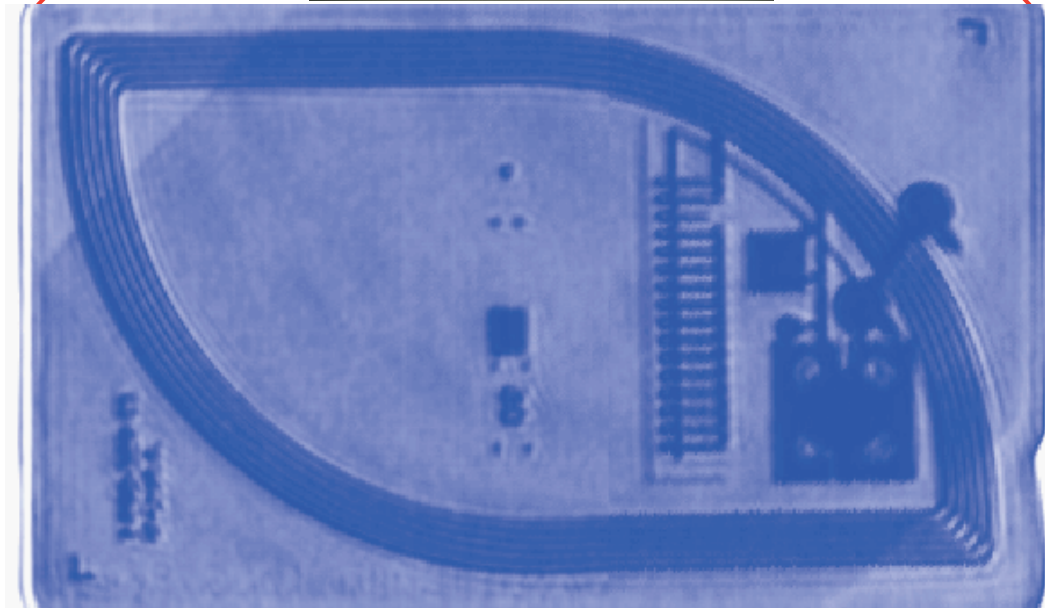
NEP = 1.6×10^{-16} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$

Dynamic Range

> 4×10^7

THz imaging with one-pixel detector

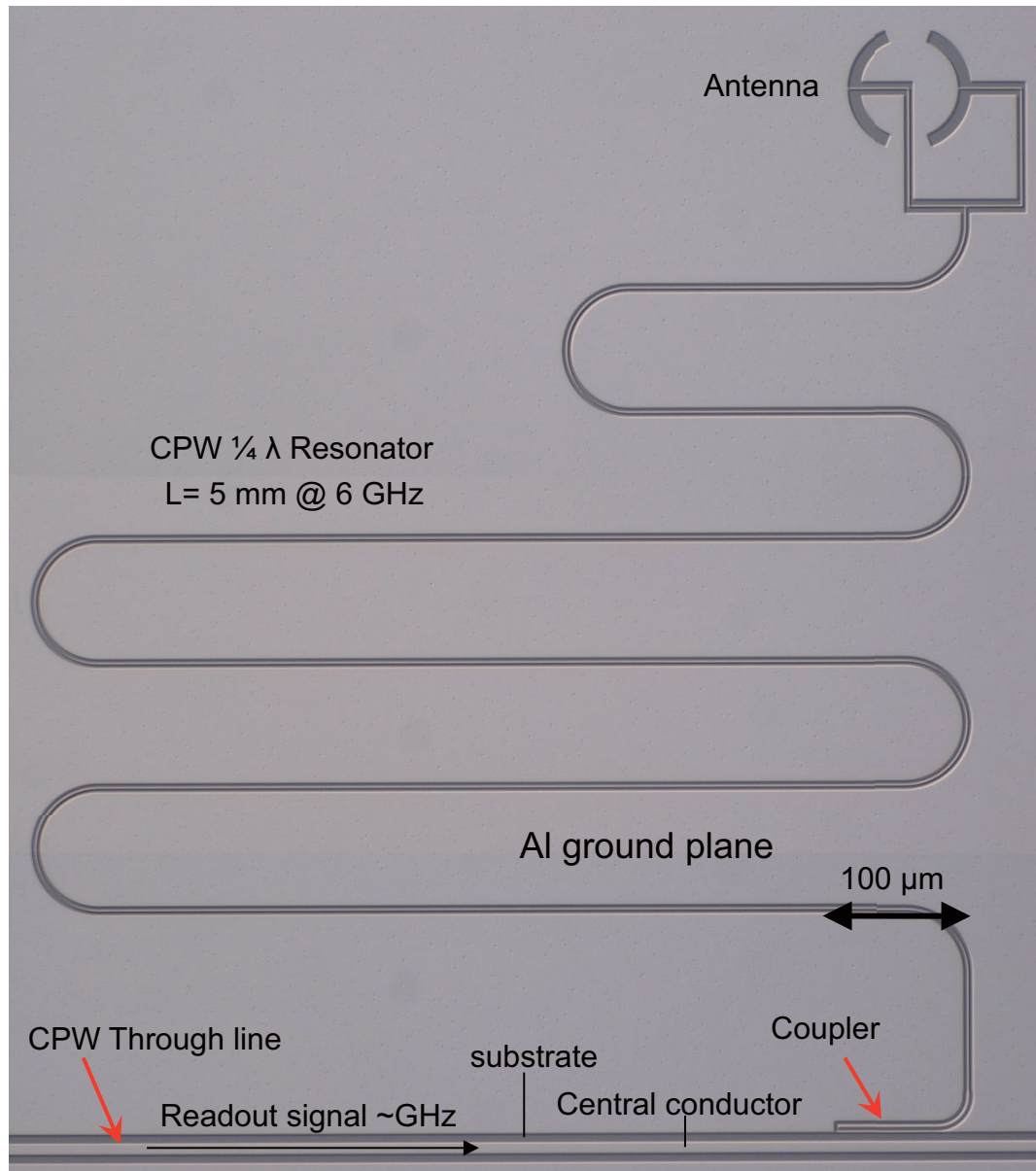
Railway Payment IC Card



Needles in powder milk



MKIDs (Microwave Kinetic Inductance Detectors)



超伝導体のインダクタンス
= 磁気インダクタンス

+ カ学インダクタンス

超伝導電子の慣性力に起因

$$L_k = \frac{m}{nq^2} \frac{l}{S}$$

m: Cooper対の質量

q: Cooper対の電荷

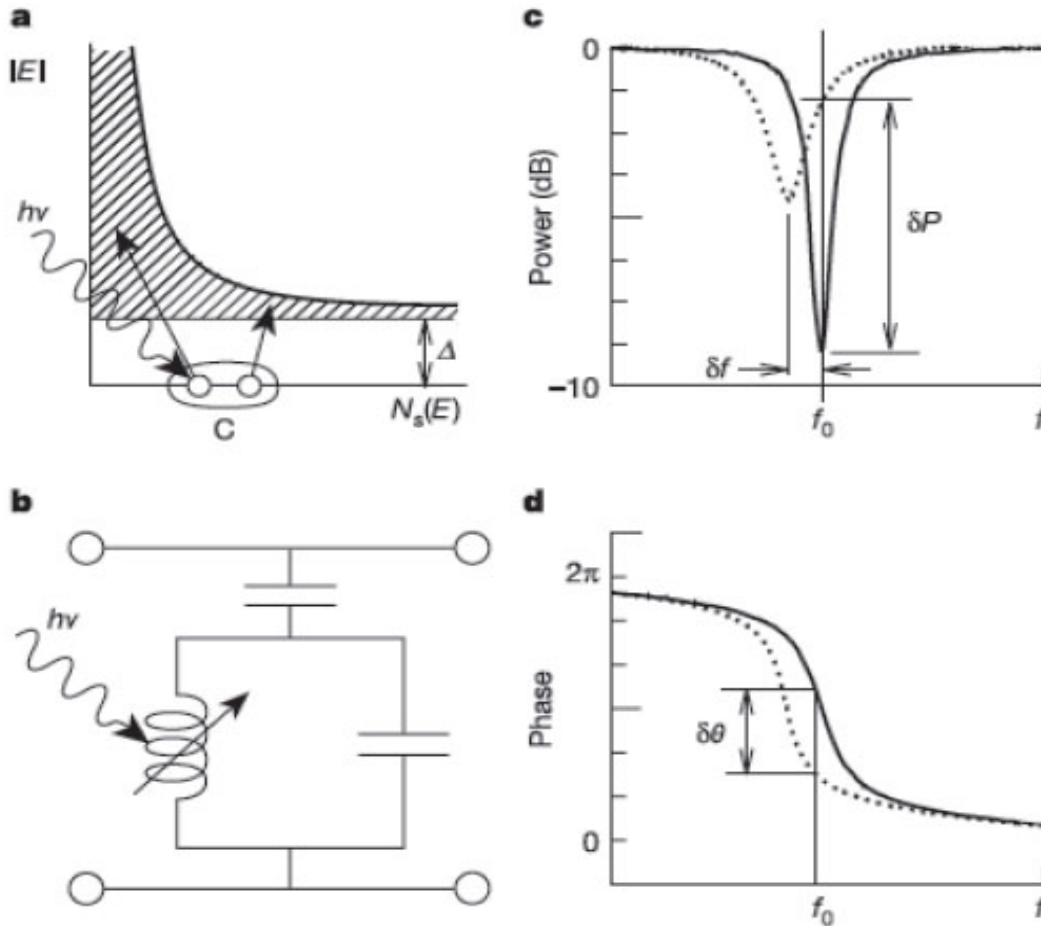
n: Cooper対の密度

l: マイクロストリップの長さ

S: 断面積

**カ学インダクタンスは
Cooper対の密度に反比例**

検出原理



低い周波数(共振周波数)で
Cooper対を揺らしておく

↓
ギャップ周波数を越える
入射光子がCooper対を解離

↓
共振回路のインピーダンス変化
(Cooper対の減少により
力学インダクタンスの増加)

↓
共振周波数の変化

↓
光子の量子検出

MKIDs (Microwave Kinetic Inductance Detectors)

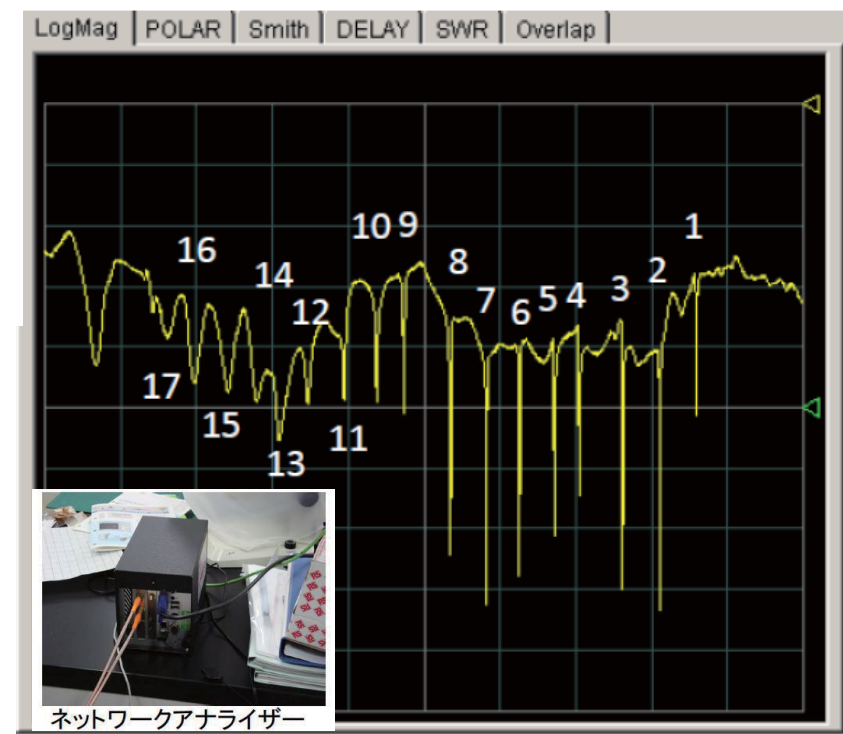
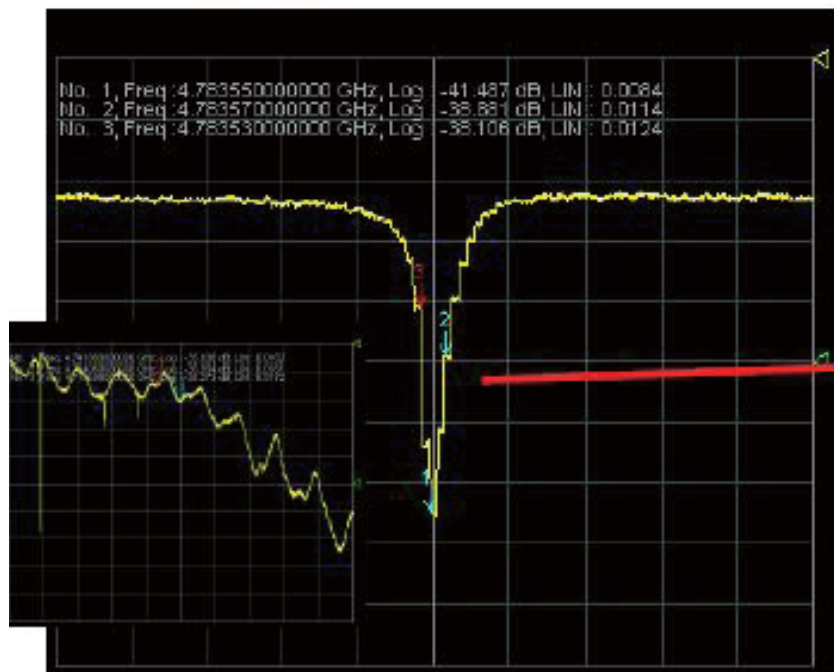
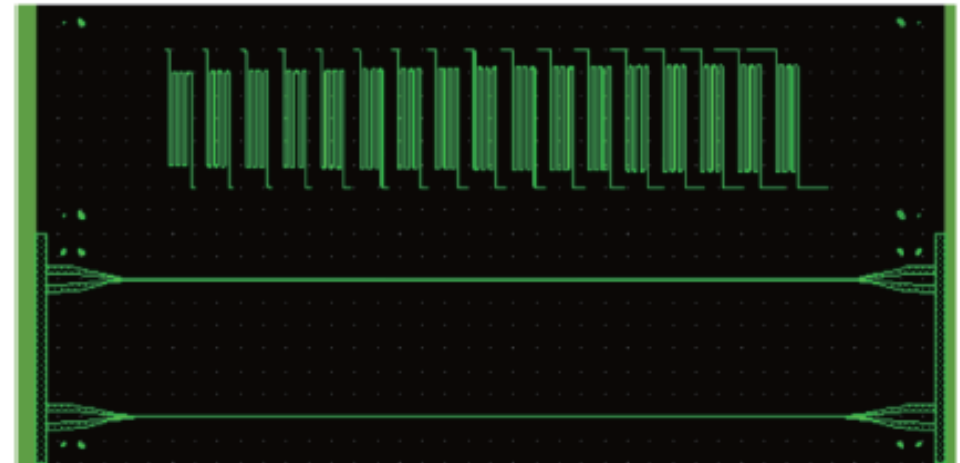
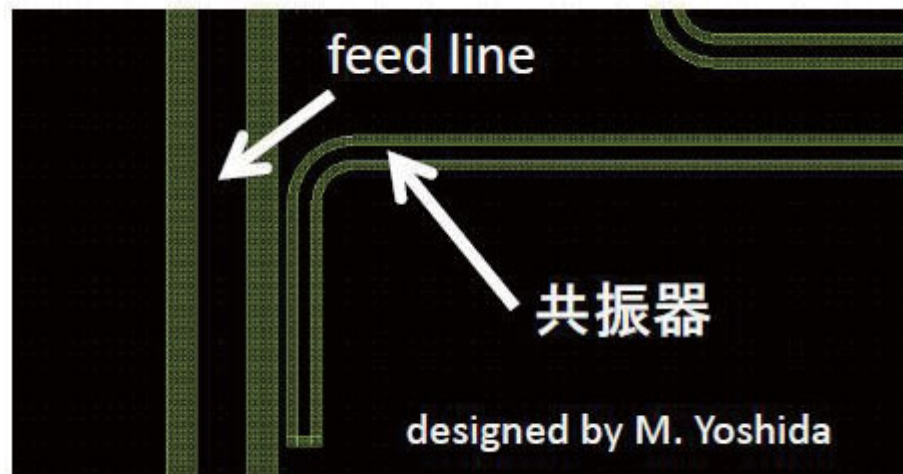
- ・構造がシンプルで作製が容易 (トンネルバリア不要)
- ・大規模な多チャンネル並列読み出し (10^4 – 10^6 ピクセル) が可能
- ・高感度・広帯域 (CPB-STJと同等)
- ・大ダイナミックレンジ
- ・作製の開発要素はSTJと共通

大規模アレイを容易に早期に実現可能

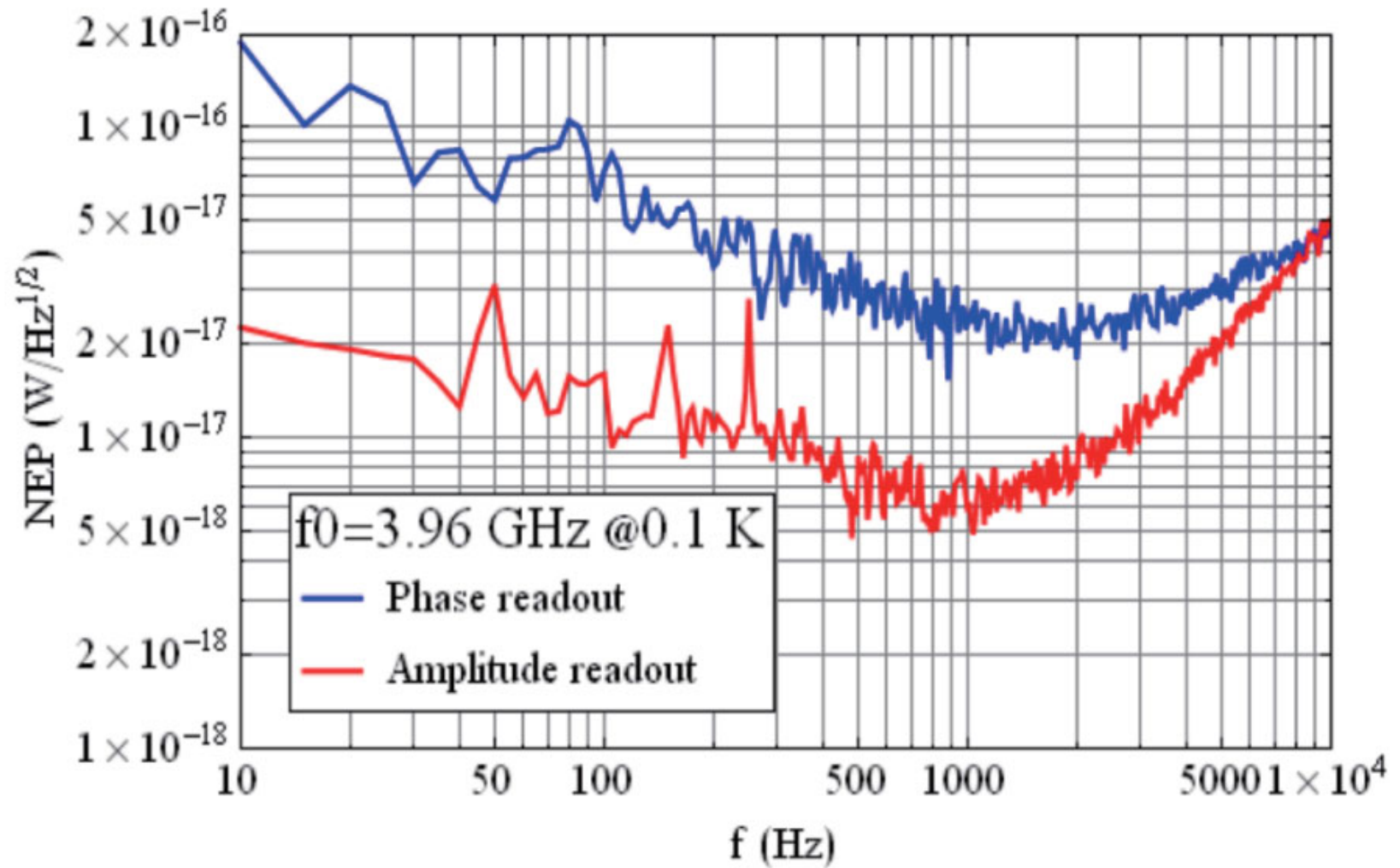


強力なイメージング検出器

実際のデバイス (KEK-MKIDs)



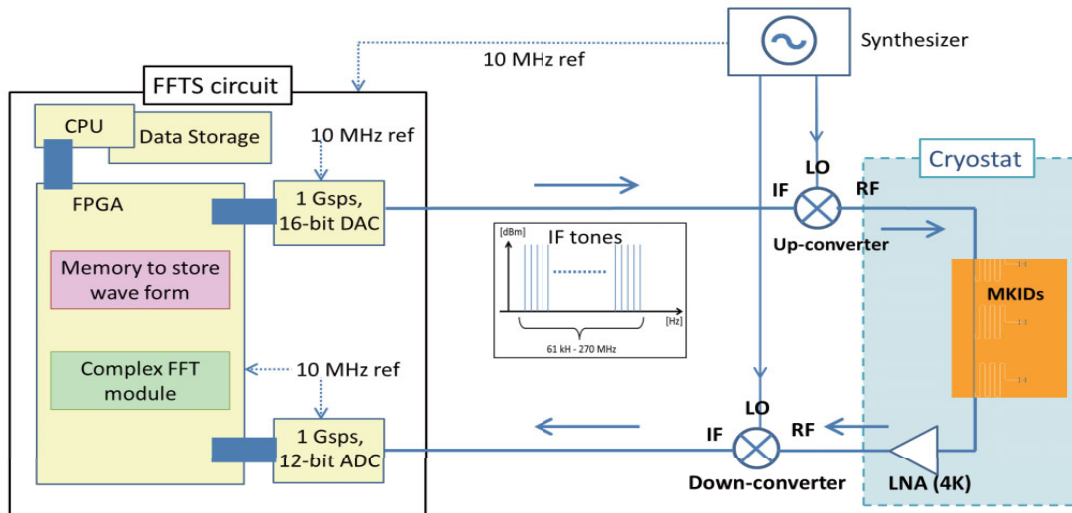
MKIDsの感度



AI-MKIDs : NEP $\sim 5 \times 10^{-18} \text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$

信号読み出し系

FFTによる読み出し



周波数トラッキング

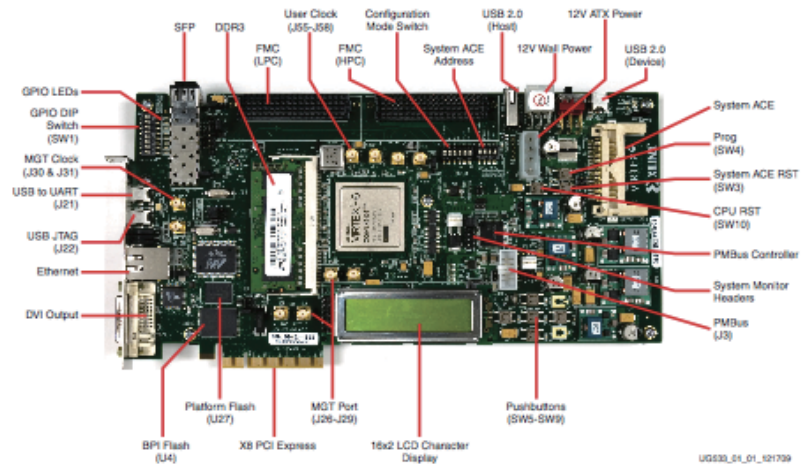
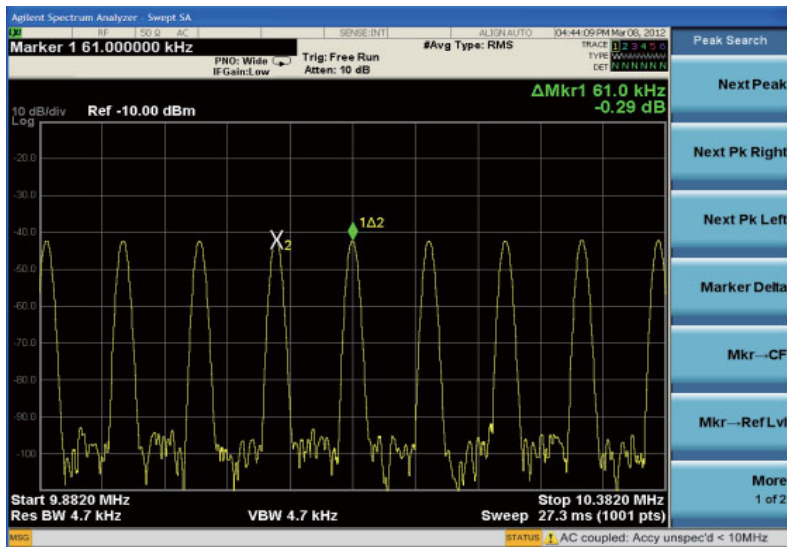
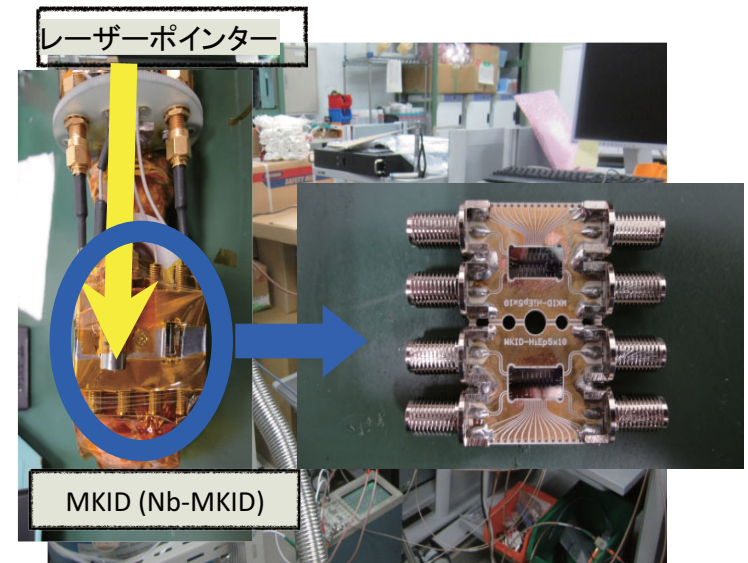


Figure 1-1: Virtex-6 FPGA ML605 Board Features



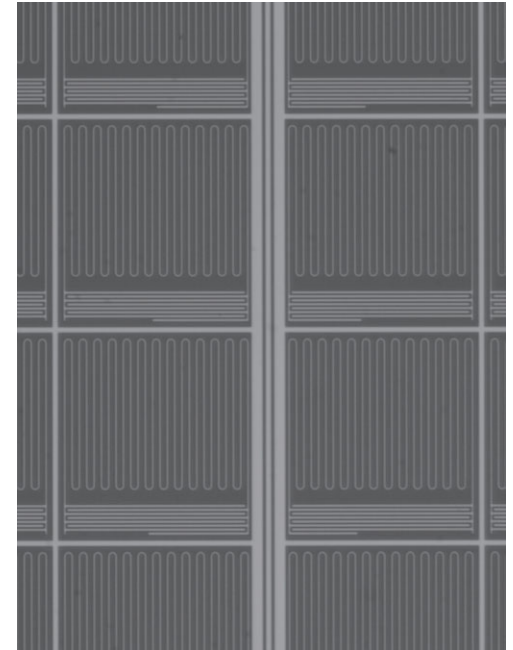
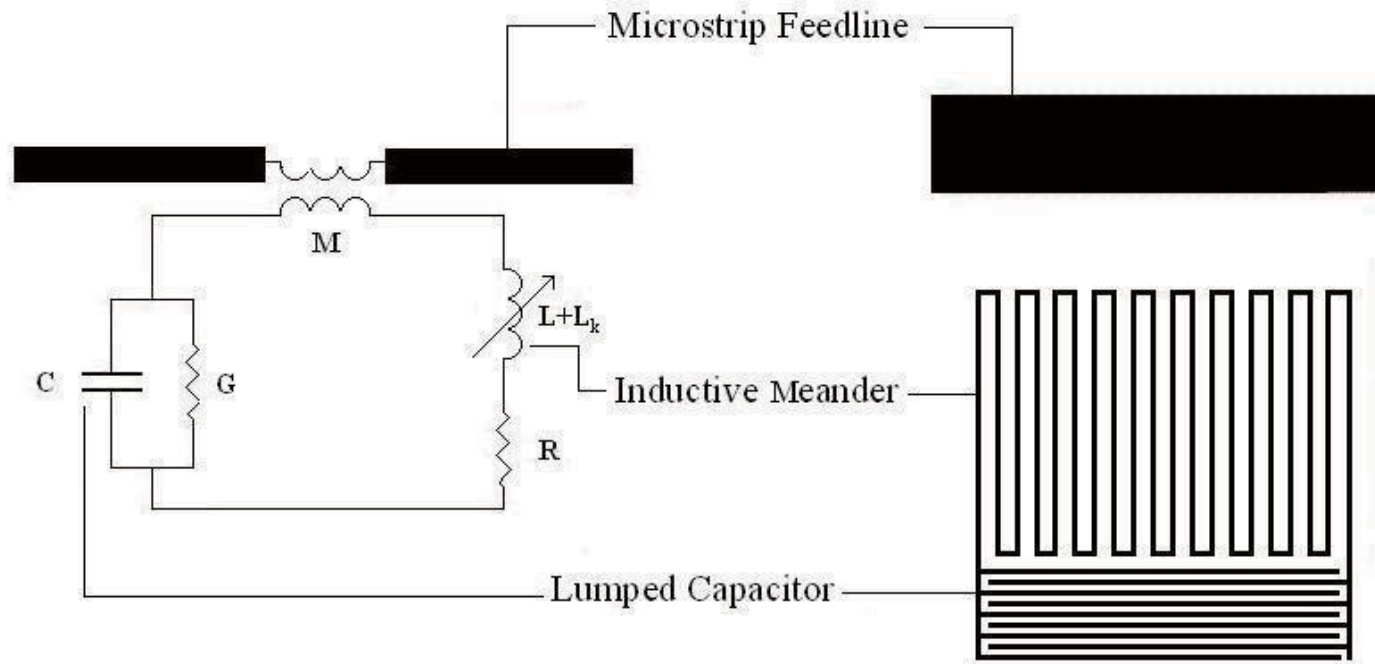
~4000 of
freq. combs

H. Kiuchi *et al.*, in preparation



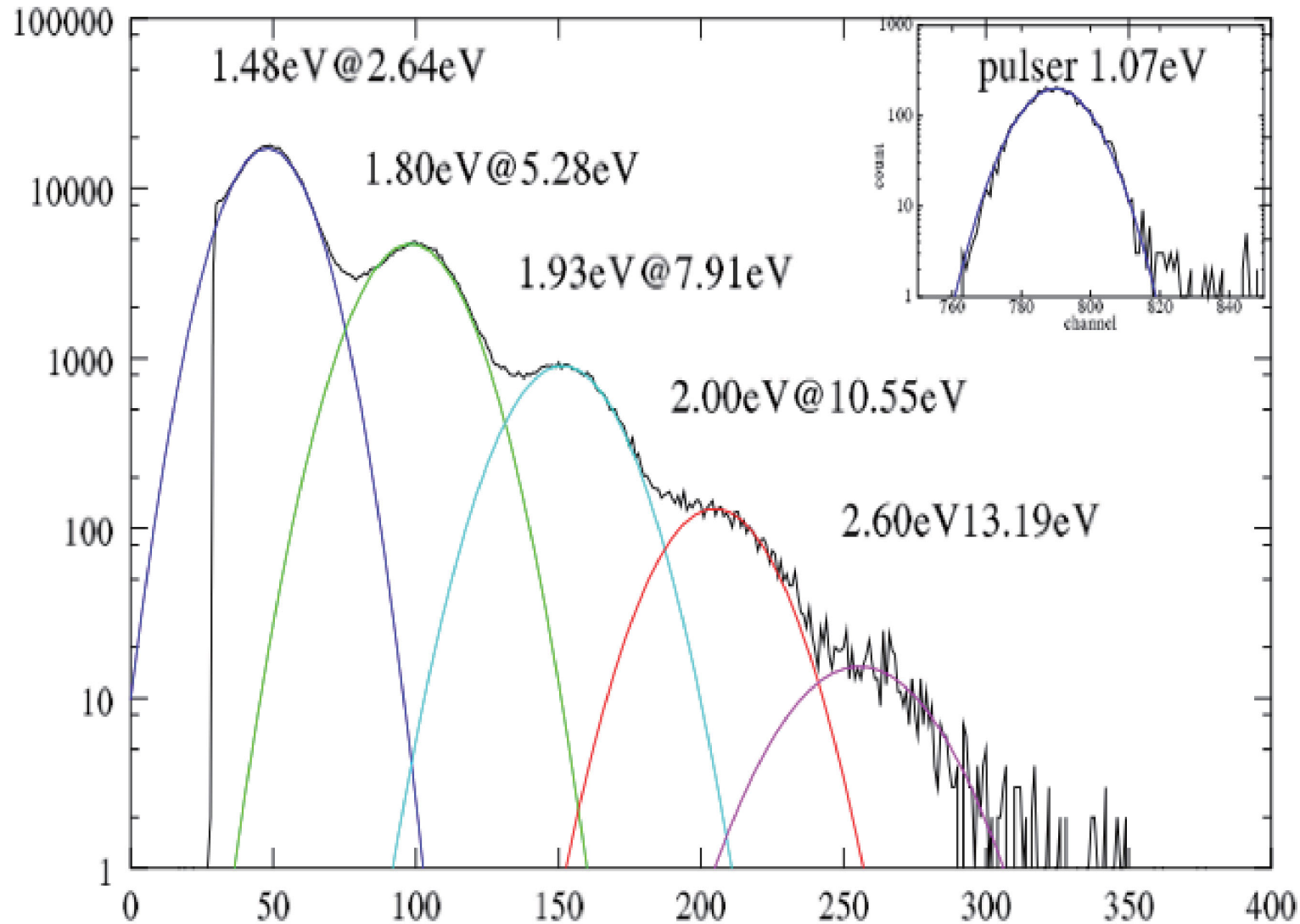
Kibe *et al.*, in preparation

KIDsによる放射線検出 (LEKIDs)

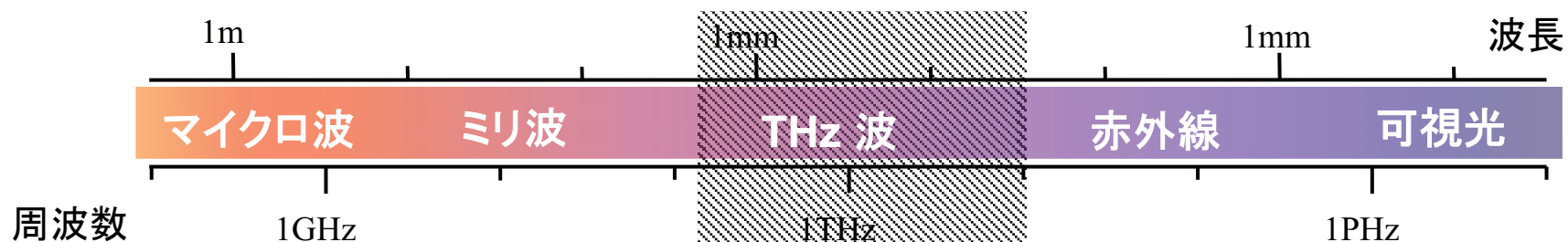


$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(L_{ext} + L_k)C}}.$$

X-ray, soft X-ray, EUV and optical one photon spectroscopy with STJ



テラヘルツ分光からわかるもの



振動周波数:

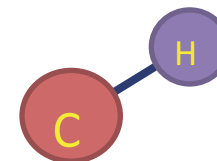
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

k : 力の定数
 μ : 換算質量

分子鎖



テラヘルツ:
高次構造の分子間振動



赤外: 官能基の分子内
振動 (CH, OH, ...)

分子間相互作用や高次構造を反映

分子間／高次構造の違いによる機能の違い

糖
(スクロース, 結晶)



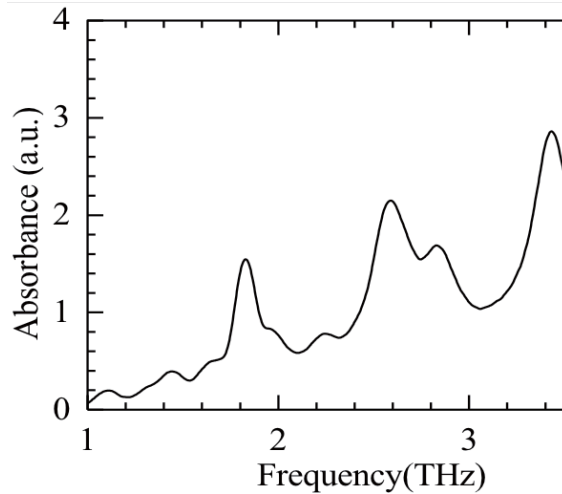
綿菓子
(スクロース, ガラス)



溶かした砂糖



急冷



ふわふわな食感
口の中ですぐ溶ける
||
構造で発現する機能

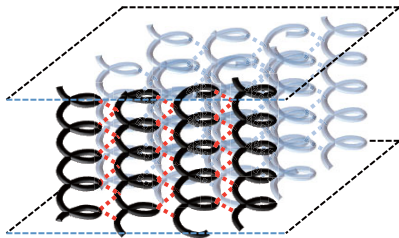
高分子の機能と高次構造

プラスチック

容器, 繊維, etc...



高次構造: ラメラ構造

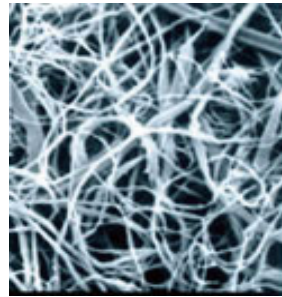


セルロース

繊維, バイオマス資源, etc...



高次構造: ミクロフィブリル

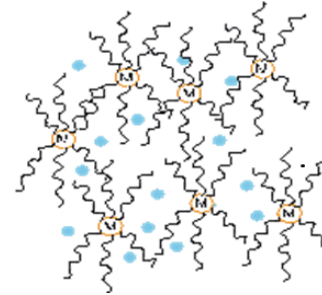


ゲル

医薬品, 化粧品, etc...



高次構造: 超分子構造



ゴム

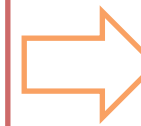
タンパク、DNA

etc

堅さ, もろさ, 加工性, 粘性, 生分解性などの機能が高次構造で生まれる

THzスペクトルと高次構造や物質機能との関係は？

THz分光研究による物理化的な理解

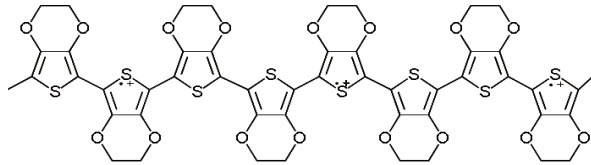


新機能素材開発のツールとして活用可能？

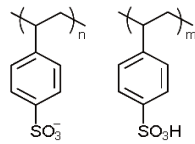
導電性ポリマーの電気伝導特性の非破壊計測

導電性ポリマー-PEDOT:PSS

PEDOT分子
共役π電子系

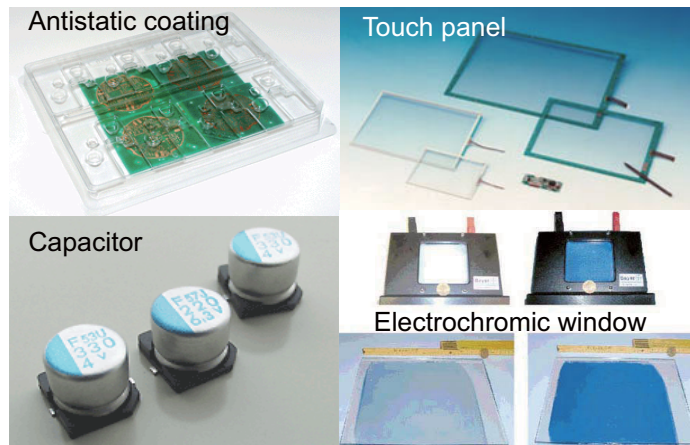


PSS分子

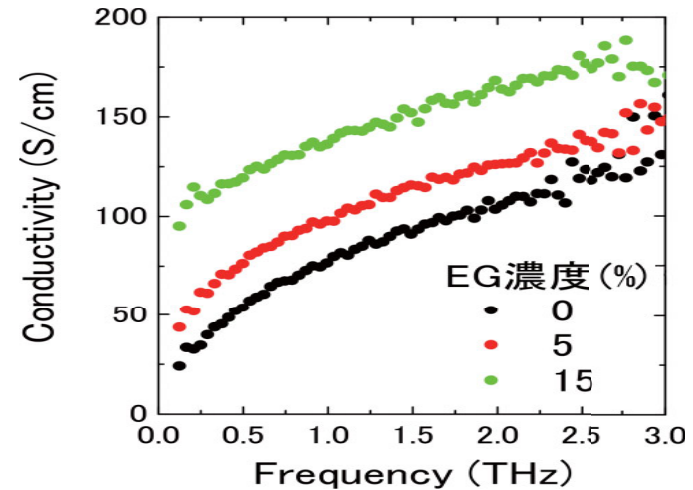


スルホ基(水溶性)

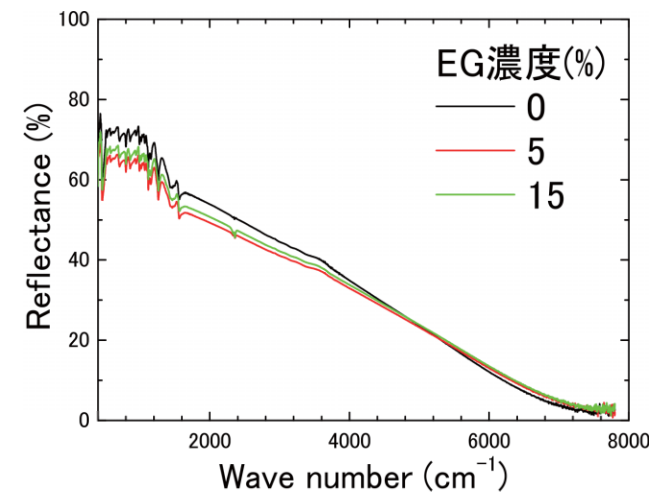
1. 高い導電率、安定した導電性
 2. 可視域の高透明性
 3. 耐熱性、耐光性
 4. 水溶性→加工性
- タッチパネル、電子ペーパー、有機太陽電池などの透明電極材料として期待 (ITO代替)



THz帯電気伝導度



赤外反射スペクトル



THz-赤外測定 of 組合せによる新たな評価法 (THz-IR法) を企業と共同開発→共同特許出願

Acknowledgements

RIKEN-ASI

S. Mima, N. Furukawa



Tohoku Univ.

K. Koga, K. Takahashi



Nagoya Inst. Tech.

S. Ariyoshi



Saitama Univ.

**M. Naruse, T. Taino, T. Hamao,
H. Tanoue, H. Myoren**



KEK

M. Yoshida, H. Watanabe, O. Tajima, M. Hazumi

Okayama Univ.

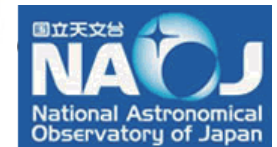
H. Ishino, Y. Kibe, K. Hattori



NAOJ

K. Karatsu, Y. Sekimoto, T. Noguchi

岡山大学



Techno X Co.

M. Kurakado



Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas (MEXT)