

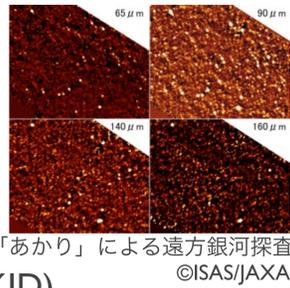
超伝導共振器を用いたテラヘルツ検出器の開発

○関根 正和 (東京大学/国立天文台)、関本 裕太郎、野口 卓、唐津 謙一、宮地 晃平 (国立天文台)
成瀬 雅人 (埼玉大学)、新田 冬夢 (筑波大学/国立天文台)、関口 繁之 (東京大学/国立天文台)

1. イントロダクション

* テラヘルツ・遠赤外線観測

- ・テラヘルツ・遠赤外線によるガス・ダストの観測
→高赤方偏移の銀河や銀河団
→ダストに覆われた巨大ブラックホール
→原始惑星円盤
- ・将来のテラヘルツ・遠赤外観測衛星のための超伝導カメラの開発を目指している。



* 他の超伝導検出器に対するMKIDの利点

- ・周波数方向の多重化により、10 k pixel以上の多素子読み出しが容易
- ・伝送線路にコプラナ線路(CPW)を用いた場合、超伝導膜一層のみで構成
→構造がシンプルのため高い歩留まりが期待できる

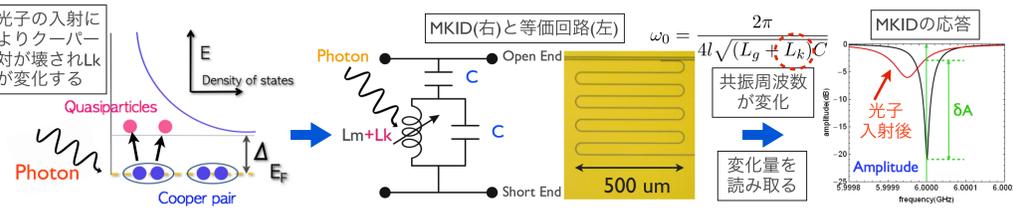


* テラヘルツ・遠赤外観測用MKIDの開発

- ・MKIDは力学インダクタンスの変化を読み取る検出器
→超伝導ギャップエネルギー以上のエネルギーを持つ光子を検出できる
- ・MKIDの雑音を最小にするには超伝導転移温度(T_c)の1/10以下で動作させる

* Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID)

- ・本研究では超伝導カメラの検出器にMicrowave Kinetic Inductance Detector (MKID)を採用している。MKIDとは
- ▶マイクロ波帯 (4 - 10 GHz) で動作させる $\lambda/4$ 超伝導共振器
- ▶入射光子によりクーパー対が破壊され、超伝導体の力学インダクタンス(Lk)が変化する



* 超伝導薄膜にNbやNbTiNを用いたMKIDの開発

1. Al-MKIDなどより T_c が高いため1 K以上の動作が可能
→Dilutionなどが必要なく冷却面での負荷が少ない
2. 1 THz (300 μm)より短波長であれば検出可能
→将来の遠赤外線衛星等に有望なアレイ検出器となる

	Al	Nb	NbTiN
Gap Energy $2\Delta_0$ [meV]	0.36	2.80	4.55
Gap Frequency [GHz]	90	700	1100
T_c [K]	1.2	9.2	15

* NbTiN-MKIDのミリ波天文学への応用

- ・MKIDをAl/NbTiNのハイブリッド構造にし準粒子を閉じ込めることで光学効率をあげる
→直接的には遠赤外検出器だが、CMB偏光観測を含むミリ波天文学への応用も期待できる

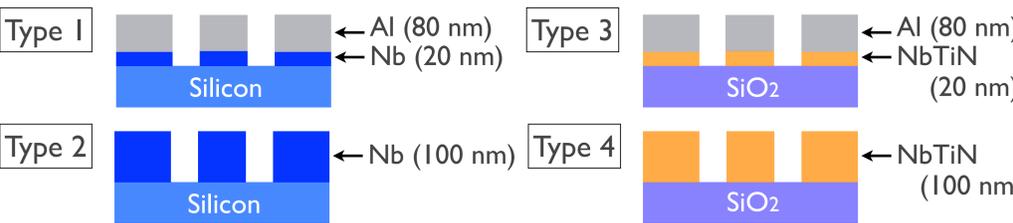
2. サブミリ波/テラヘルツ帯MKIDの製作

* 近接効果を利用したギャップエネルギーの制御

- ・近接効果：超伝導体と常伝導体を接合すると、クーパー対が常伝導体側に滲み出す
→近接効果によりギャップエネルギーを制御し、サブミリ波帯から感度をもつMKIDも製作
→Alを使用する事で、Al/NbTiNハイブリッドMKIDの製作プロセスの確立を目指す

* MKIDの製作

1. スパッタ装置を用いて超伝導薄膜を誘電体基板上に成膜する
2. AlはWet Etching、Nb、NbTiNはDry EtchingによりCPW(gap : 2 μm , center : 3 μm)を形成

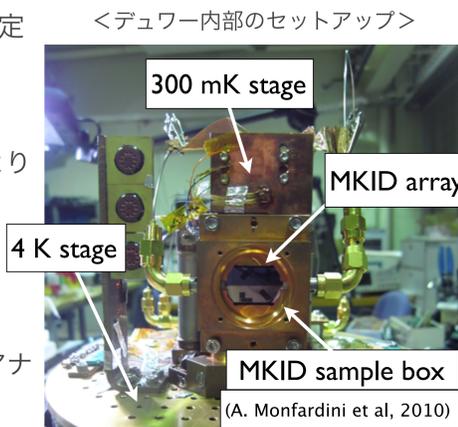


3. 測定システム

* 各MKIDを転移温度の1/10以下の温度で測定するため、300 mKにて実験を行った。

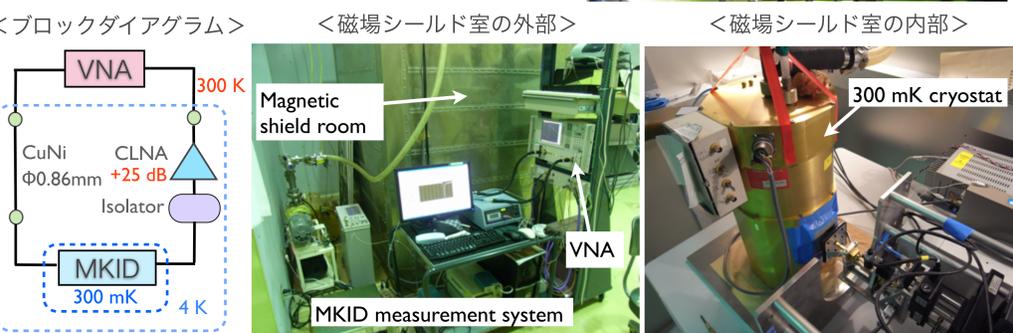
* 300 mK Sorption Cooler

- ・⁴Heの減圧により1.5 Kを、³Heの減圧により300 mKを達成
- ・最低到達温度 : 300 mK
- ・持続時間 : 約8時間



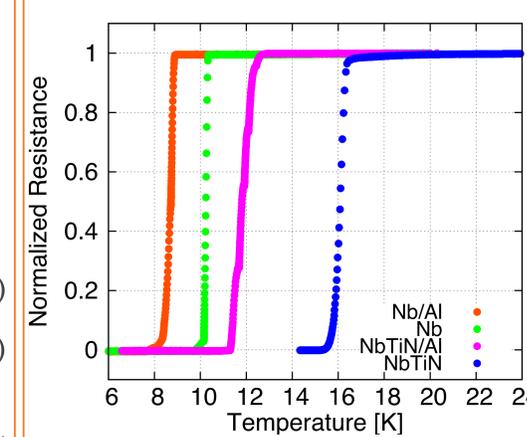
* 測定セットアップ

- ・MKIDの測定にはベクトルネットワークアナライザ(VNA)を使用した



4. 結果

* 各超伝導膜の転移温度の測定



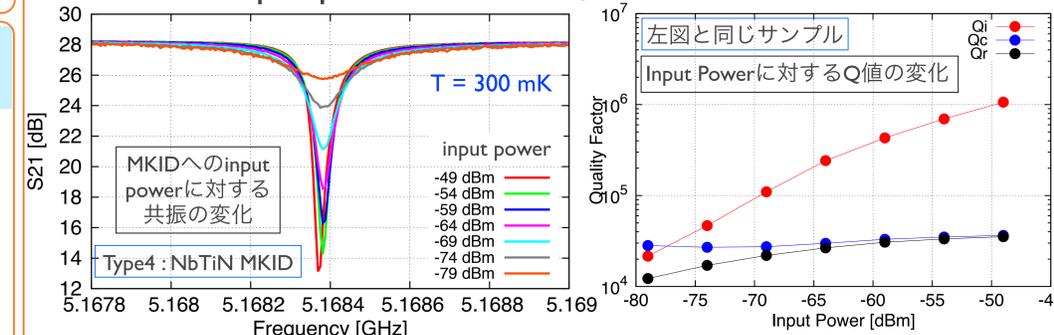
- ・近接効果により、超伝導性が常伝導体との界面において減少する
→Al積層型の T_c は超伝導体単体の T_c よりも低下する

$$2\Delta_0 \approx 3.52k_B T_c$$

	T_c [K](*)	Gap Energy $2\Delta_0$ [meV]	Gap Frequency [GHz]
Nb/Al	8.7	2.64	640
Nb	10.2	3.09	750
NbTiN/Al	11.8	3.58	870
NbTiN	16.1	4.88	1180

(*)測定誤差 ± 1 K程度

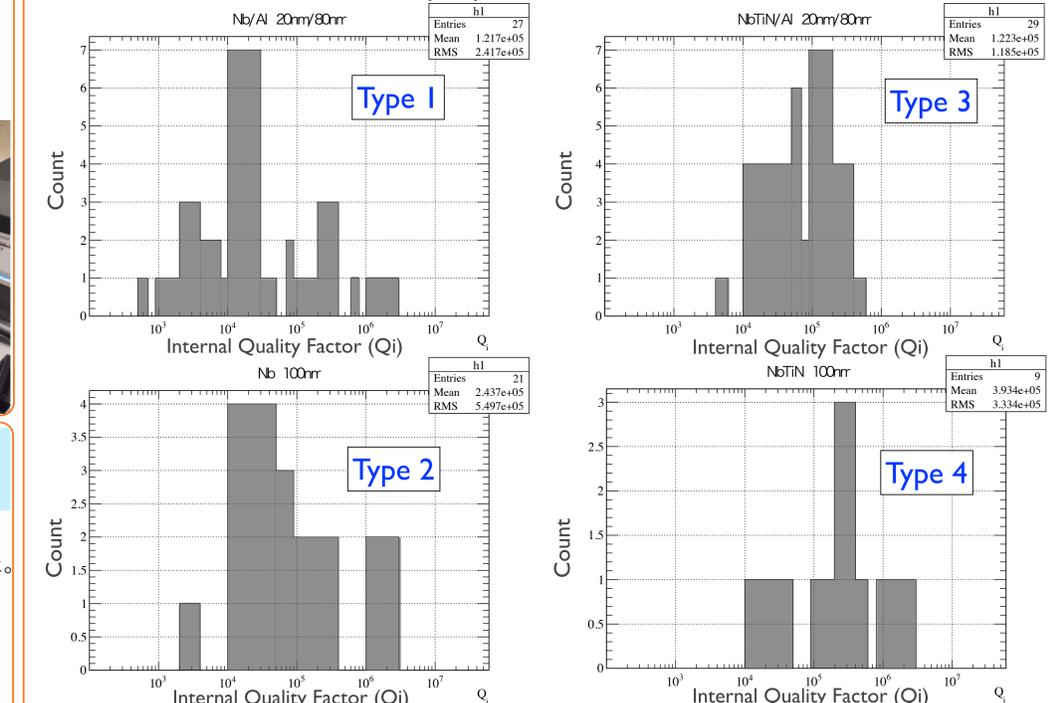
* MKIDへのinput powerに対するQ値の変化



* Qが高くなる最適なinput powerがある

* 各MKIDのQ値分布

- ・Q値 : Q_i が最大になる時のinput powerでの値をプロットしている



5. まとめと今後の展望

- ・Nb単体、NbTiN単体、および近接効果を利用したAl膜積層型MKIDの開発を行った。
- Al膜積層型は近接効果によりNb単体、NbTiN単体よりもギャップエネルギーが低くなることを確認した。
- ギャップエネルギーの制御に成功し、サブミリ~テラヘルツ帯での使用が可能であることを示した。
- ・製作した4タイプのMKIDについて、 Q_i は平均で 10^5 、最大値は 2×10^6 と高いQ値を達成した。

＜今後の予定＞

- ・製作した4タイプのMKIDのノイズ測定、準粒子寿命の測定を行いNEPを導出する。

* References

1. P. Day et al., *Nature*, **425**, 817 (2003) 2. S. Yates et al., *Appl. Phys. Lett.*, **99**, 073505 (2011)

* すべてのタイプに対して、Q値(Q_i)が平均で 10^5 を達成した

* Q_i の最大値は 2×10^6 を達成し、サブミリ~テラヘルツ帯MKIDとして高いQ値を実現した