

超伝導共振器を用いたミリ波サブミリ波カメラの開発

成瀬雅人、関本裕太郎(国立天文台、東京大学)、野口卓、鶴澤佳徳、宮地晃平(国立天文台)、新田冬夢(筑波大学)



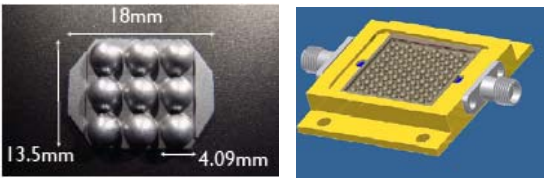
概要

国立天文台・先端技術センターでは1000素子規模のミリ波・サブミリ波帯直接検出器を開発している。これらの研究はKEK, 理研, 岡山大学と協力して、宇宙背景放射 偏光精密測定計画(LiteBIRD)への搭載を目指して行われている。ミリ波・サブミリ波帯での高感度検出器としては超伝導転移端センサー(TES), 超伝導接合検出器(SIS), 超伝導薄膜の表面インピーダンスの変化を読み取る共振回路検出器(KIDs)などがある。これらの中で、多素子化の際に鍵を握る多重読み出しが容易で、単純な構造をもち高い歩留まりを期待できるKIDsの開発を進めている。これまでNbN膜を用いたKIDsの研究を行い、複素数へと拡張した超伝導ギャップエネルギー(Noguchi, et. al, 2009)をMatthias-Bardeen理論へ適用することで、共振のQの温度変化をうまく説明できることを示した。さらに、共振器のQを大きくするためにはギャップの虚数部を小さくしなければならないことがわかった。また、ギャップの虚数部の大きさは準粒子寿命と深い関係があることが示唆されており、虚数部の大きさを見積もることで超伝導体の膜質を定量的に評価できると考えている。これらの手法を用いて、ミリ波の信号に対して感度をもつAl膜を使ったKIDsの開発を行っており、0.1 Kで共振のQが500000を超えるような値を得ている。さらに光学系も含めた電波カメラ開発の現状及び、様々な膜質をもったAl KIDsの特性評価の結果を報告する。

1, サブミリ波カメラの開発 @ATC-NAOJ

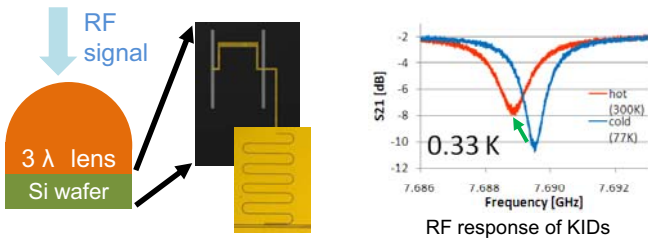
Road map

year	detector	detector + optics	remarks
2010	120 pixel	9 pixel	multiplex readout
2011	-	102 pixel	10^{-17} (W/Hz ^{1/2})
2012	-	1024 pixel	System



220 GHz用9素子レンズアレイと440 GHz用102素子アレイ

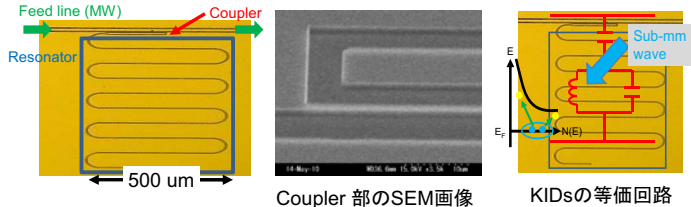
2, カメラの光学系



Double slot antenna and Hyper-hemispherical lens (Operation frequency depends on only this optics design.)

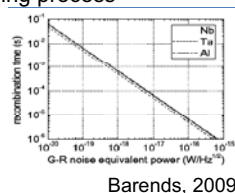
3, Kinetic Inductance Detectors Day et al, 2003

- Superconducting resonators operated in the microwave range (4-8 GHz)
- Pair breaking detectors

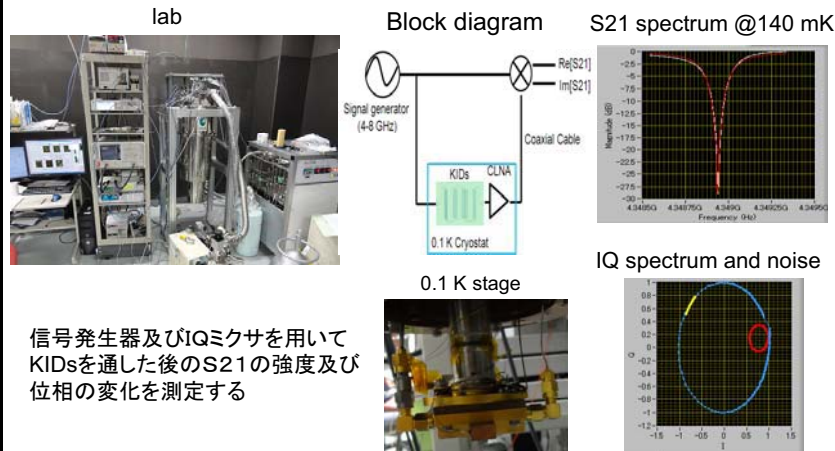


4, KIDsの特徴

- Simple fabrication
 - One superconducting film and one etching process
- Simple system
 - No bias line, only one CLNA
- Frequency multiplexing
 - Commercial products are available
- Broad-band coverage
 - $f > f_g$
- High Sensitivity ($\leq 10^{-19}$ W/Hz^{1/2})

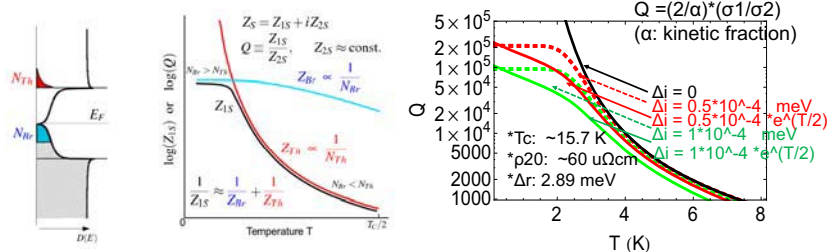


5, 測定系



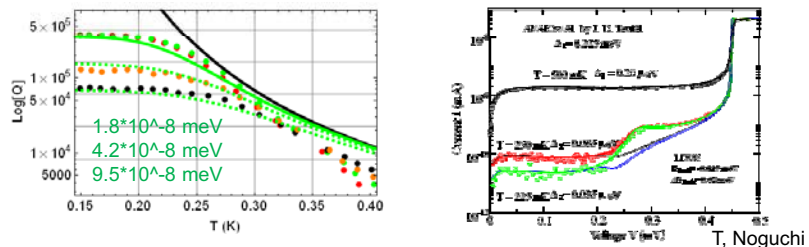
信号発生器及びIQミキサを用いてKIDsを通した後のS21の強度及び位相の変化を測定する

6, 共振器のQと複素ギャップエネルギー



複素ギャップエネルギーの影響を考慮に入れた状態密度と励起エネルギー(左), Q共振器のQと温度(中), ギャップの虚数部を変えたときのQと温度(右)

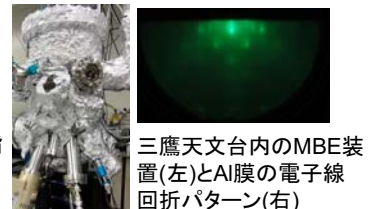
7, 実験結果 (Al KIDsのQ と SISのIVとの比較)



Al KIDs(膜厚 140 nm, Tc 1.2K, s=3 μm, w=2 μm)のQの温度変化(左), Al/AlOx/AlのIVカーブの測定(Teufel et al.)と理論フィット(T. Noguchi.)

8, まとめと今後

KIDsのQの飽和とSISのリークカレントの両方を複素ギャップモデルで説明できることを示した。また、今後はMBE装置を用いてAlの質を向上させ、検出器の性能向上を目指す。



三鷹天文台内のMBE装置(左)とAl膜の電子線回折パターン(右)