

Ver. 12/28

超伝導検出器の多重読み出しに用いるプリント  
フロントエンド回路 基板の開発

総合研究大学院大  
高エネルギー加速器科学研究科  
素粒子原子核専攻

学籍番号: 20111451

石塚 光

平成27年1月9日

## 概要

CMB (Cosmic Microwave Background; 宇宙マイクロ波背景放射) の温度異方性は、これまでの実験で精密に測定されてきた。これにより、ビッグバン宇宙模型は宇宙の標準模型として今日定着している。しかし、この模型には「地平線問題」、「平坦性問題」、「残存粒子問題」などの問題があることが知られている。これらの問題を解決する有力な模型のひとつとして、インフレーション宇宙模型がある。インフレーション宇宙模型は、宇宙の初期に時空が指数関数的に膨張することで、これらの問題を一挙に解決する。この急激な膨張は、原始重力波を生成し、その痕跡はCMBの偏光地図に表れると期待される。GroundBIRD実験はこの原始重力波によって偏光地図に表れるBモードと呼ばれる信号の検出を目的とした地上実験である。GroundBIRDは地上から全天のおよそ30%を観測する。一般に、観測領域を制限するのは検出器の $1/f$ ノイズである。GroundBIRDはこのノイズの影響を受けない観測を行うために、望遠鏡自身が高速で回転(20 RPM)しながら測定を行う。また、GroundBIRDは検出器として超伝導検出器MKIDを採用する。MKIDは極低温( $< 300$  mK)で動作するため、光学系への熱流入を抑えることが肝要である。MKIDは一本のフィードラインから多数の素子を読み出すことが容易なため、読み出し系への配線数を減らすことができる。現在、市販のADC/DACドーターボード(アナログボード)を使って、比較的簡単に読み出し系を構成することができているが、この市販品にはローパスフィルタが実装されているため透過特性が悪く、使用帯域が制限される。また、クロック生成器の周辺が必要以上に複雑なため、消費電力が大きく動作が不安定になる等の困難を抱えている。これらの問題を解決するために、広帯域かつシンプルな構成のアナログボードを開発を行った。

なにで自分の研究が、いようちゃんときく。

# 目次

<del>第1章</del> 序論	4
第2章 インフレーション宇宙論と宇宙マイクロ波背景放射	5
2.1 ビッグバン宇宙論	5
2.2 インフレーション宇宙論	5
2.3 CMB 偏光観測と現状	5
第3章 GroundBIRD 実験	6
3.1 装置	6
3.1.1 冷却システム	6
3.1.2 検出器	6
3.1.3 読み出し系	6
第4章 <del>Microwave Kinetic Inductance Detectors</del> <sup>超伝導検出器MKID</sup> とその読み出し系	7
4.1 動作原理	7
4.2 周波数多重読み出し	7
4.3 既存の読み出し系	7
第5章 プリント基板の開発	8
5.1 要求分析と仕様策定	8
5.2 設計と試作	8
第6章 試作 <del>プリント</del> 基板の評価	9
6.1 試作時の諸問題の洗い出しと解決	9
6.2 バンド幅	9
第7章 結論	10
付録A dummy appendix	11

# 图 目 次

# 表 目 次

## 第1章 序論

いらない

## 第2章 インフレーション宇宙論と宇宙 マイクロ波背景放射

- 2.1 ビッグバン宇宙論
- 2.2 インフレーション宇宙論
- 2.3 CMB 偏光観測と現状

## 第3章 GroundBIRD 実験

### 3.1 装置

#### 3.1.1 冷却システム

#### 3.1.2 検出器

#### 3.1.3 読み出し系



## 第4章 ~~Microwave Kinetic Inductance Detectors~~ 超伝導検出器MKID とその読み出し系

Microwave Kinetic Inductance Detectors (MKID) は、マイクロ波帯に感度をもつ超伝導検出器である。MKID はマイクロ波を受信するアンテナと超伝導共振器、それに C-coupled したフィードラインから構成される (図 ??)。また、MKID は各共振器で固有の共振周波数  $\omega = 1/\sqrt{LC}$  をもち、このインダクタンス  $L$  の変化を検出することで、入射する光子のエネルギーを測定する。

この章では、MKID の動作原理を説明した後に読み出し方法について述べる。また、読み出しの鍵となる信号の多重化について触れて、MKID のノイズレベルについて議論する。最後に CMB 偏光観測用としての MKID について述べ、その利点についてまとめる。

MKID のウリである周波数多重読み出しと、市販回路によるシステムがいろいろとその不満をあげる。本研究はその不満の原因となる課題を解決するものである。

### 4.1 動作原理

### 4.2 周波数多重読み出し

### 4.3 既存の読み出し系 とその未解決課題

これはかじょう書きと  
すると良い  
例は、  
- 省エネ  
- (直接的なコスト-パフォーマンスの)  
シンパルなロジック  
- 広帯域性

## 第5章 プリント基板の開発

前章へ

MKIDの多重読み出しは、配線数を低減させ、それにより冷却系への熱流入を抑制することで、極低温での安定な動作を実現する。通信用として流通している市販品を用いることで、比較的簡単に読み出し系を構成することができる。しかし、市販品にはローパスフィルタが実装されているため透過特性が悪く、使用帯域が制限される。また、クロック生成器の周辺が必要以上に複雑なため、消費電力が大きく動作が不安定になるという問題がある。これらの問題を解決するために、広帯域かつシンプルな構成のプリント基板の開発を行った。

この章では、新しい基板に要求される性能についてまとめる。そして、従来用いていた市販品と比較して、設計の変更点や改良点について触れる。最後に、納品した基板を紹介し、次章の基板の評価の橋渡しをする。

動作のばらつき

整理

### 5.1 要求分析と仕様策定

仕様は表になっていると見やすい。

新しく開発するADC/DACドーターカード(RHEA<sup>1</sup>)に要求される性能を表にまとめる。基本的な性能は、従来のドーターカード(FMC150)

表 5.1: RHEA に求められる性能

ADC	2 channel, 200 MSPS
DAC	2 channel, 200 MSPS

### 5.2 設計と試作

<sup>1</sup>RHEA は、「Rhea is a High spEed Analog circuit」の略で、南米に生息する陸鳥 (ground bird) から名づけた。

おぼろげ

前章の課題に対して、それぞれどのような解決策を述べる。

## 第6章 試作~~プリント~~基板の評価

6.1 試作時の諸問題の洗い出しと解決

6.2 バンド幅

課題毎にsectionを作り、ひとつひとつ定量的に解決の有無を評価する。

## 第7章 結論

## 付 録 A    dummy appendix

appendix はこのようになります。

# 謝辞

謝辞はこのようなになります。

## 参考文献

[1]