

W20a 極低温電子回路の開発

平尾孝憲、芝井広、渡部豊喜、永田洋久 (名大理)、野田学 (名古屋市科学館)、他 ASTRO-F チーム

遠赤外線検出素子は 2K 程度に冷却して使用する必要がある。一方低雑音化を考慮すると読み出し回路を検出素子の近くに置くことが重要である。従来は、読み出し回路として接合型電界効果トランジスタ (JFET) を液体窒素温度程度に昇温して使用していたが、発熱が大きく熱輻射も伴うことから、検出素子の近くに置くことが困難であった。そこで ASTRO-F 衛星では、高感度化のために 4K 以下で動作可能な FET を使用することにした。

シリコン MOSFET, ガリウムヒ素 JFET には液体ヘリウム温度で動作可能なものがあり、天文分野で使用された例もある。我々は、低消費電力, 低雑音, 開発スケジュール等を勘案した上で, 国内 LSI メーカーの製作するシリコン MOSFET を採用し集積回路化を図ることにした。

これまでに, いくつかの P チャネル MOSFET, N チャネル MOSFET の 2-4K における静特性, 雑音を測定した。P チャネル MOSFET については入力換算雑音で $\sim 1\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ (@1Hz) (積分容量 10pF の場合 $60e^-$ 程度に相当) を達成することを確認した。また, 集積回路に使用するポリシリコン抵抗, コンデンサについても 2-4K での動作試験を行なった。その結果, ポリシリコン抵抗の抵抗値は常温時の約 1.7 倍になることがわかった。またコンデンサの容量値はほとんど変化しないことが明らかになった。

以上の結果を踏まえ, ソースフォロア方式の電荷積分型読み出し回路, 高ゲイン反転増幅回路 (2 種類), 8ch 簡易型マルチプレクサを中心とする集積回路を設計した。製作は今回使用する MOSFET の開発元に依頼した。

ソースフォロア方式については, あらかじめ単体の FET および Ge:Ga 検出器を組み合わせる電荷積分型読み出し回路として動作することを確認している。また高ゲイン反転増幅回路は, HSPICE によるシミュレーションにより 1000 倍以上のゲインが得られるように最適化されている。このような高ゲインの極低温増幅回路は, 世界的にもこれまでに製作例がない。

本講演では, 各種集積回路の 2-4K における動作試験の結果を報告する。