

仕様書

1. 件名

極低温用ノイズソース

2. 研究の概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所 量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル研究センター(以下、「産総研」という)では、将来のデジタル社会の情報処理基盤を支える次世代コンピューティング技術の研究開発を推進している。大規模データの高速かつ効率的な解析処理に向けて、量子コンピューティング技術と AI などの古典コンピューティング技術の相互補完的な活用による高度な融合計算技術の確立を目指している。量子デバイスの研究開発においては、産総研が実施してきた量子ビットデバイスの大規模集積化に向けた研究開発を推進している。以上の取り組みを通じて、新たな融合計算技術の社会実装を推進し、経済的社会課題の解決、新たなビジネスの創出、及びそれらの利益がもたらすグローバルビジネスエコシステムの構築を目指す。

3. 装置の概要

本装置は、超伝導量子デバイスの研究開発において、増幅素子などの雑音性能を Y ファクタ法により評価するための基準雑音源である。本装置は、輸送特性、光特性、超伝導回路評価用無冷媒希釈冷凍機システム(BlueFors 社製 LD400, 資産番号:24AB9594, シリアルナンバー:SO01983.210)(以下、「既存のシステム」という。)中の極低温ステージに設置し、抵抗体の温度を変えることで基準雑音を生成可能にするものである。なお、小型、非磁性であることに加えて、量子デバイスの動作に必要な極低温、低雑音、真空断熱環境を乱さないことが要求される。また、室温と極低温の間の熱サイクル耐性も必要である。

4. 装置の基本構成

本装置は、下記 4.1～4.8 で構成する。詳細は、別紙の構成概略図を参照のこと。

4.1 熱浴

4.2 減衰器

4.3 熱リンク

4.4 ヒータ

4.5 温度センサ

4.6 同軸ケーブル

4.7 コネクタ

4.8 その他全般的な要件

5. 基本構成別仕様

5.1 熱浴

- ① 雑音源の本体を構成するものであり、無酸素銅製のブロック(0.4～0.5 kg)であること。
- ② 銅ブロックには、非磁性金メッキ(下地にニッケルやクロムなどの磁性体を使用しない)を使用すること。
- ③ 既存のシステム内の Cold plate(0.1 K)ステージに設置することを基本とするが、他にも Base(10 mK)ステージ、Still(0.9 K)ステージ、4 K ステージにも設置が可能であること。

5.2 減衰器

- ① 減衰器 2 個と、それらを接続するための SMA アダプタ 1 個により構成される。
- ② 各減衰器は、バルクヘッド型、減衰量 10 dB、チップ上に搭載された Ni-Cr 薄膜抵抗ネットワークとし、銅製ケースに格納すること。各減衰器はまた、両側ともに 2.92mm jack インターフェースをもつものとし、中心導体は金メッキ Be-Cu 合金とする。
- ③ 各減衰器は、上述 5.1 の熱浴と常に等しい温度に保つ必要があるため、熱浴内部に強固に密着させて固定し、十分に高い熱接触性能を確保できること。
- ④ 各減衰器は、10 mK 温度下、周波数範囲 500 MHz～11 GHz において反射損失-20 dB 以下とする。また、室温と 10 mK との間の温度変化に伴う減衰量の変動は 0.02%以下とする。

5.3 熱リンク

5.1 の熱浴と既存のシステム内の各温度ステージとの間の熱伝導を担うものである。M3x50mm ステンレス製ネジ 3 個と、それらが貫通するアルミナ製フィッシュスパンビーズ(断面積/長さ比 3.9mm、M3 ネジが貫通可能)で構成される。また、ネジの長さとしビーズ数を調節することで、熱伝導度を調節可能とすること。

5.4 ヒータ

5.1 の熱浴本体に設置し、熱浴および 5.2 の減衰器の温度を上昇させるものであり、抵抗型ヒータであること。他端が 2pin の LEMO コネクタで終端されたケーブルを備えること。

5.5 温度センサ

5.1 の熱浴本体に設置し、その温度を計測するものである。酸化ルテニウム温度センサとし、8 mK～100 K を含む温度領域において校正されていること。また、ドイツ国立計量研究所(PTB)または同等以上の国立標準研究所の低温度目盛 PLTS-2000 にトレーサブルであること。他端が 4pin の LEMO コネクタで終端されたケーブルを備えること。

5.6 同軸ケーブル

- ① 本装置と既存のシステム内の他の温度ステージに設置されたマイクロ波ポートとの間の接続には、ニオブチタン製同軸ケーブル(特性インピーダンス 50 Ohm)を使用すること。

- ② 中心導体は 0.2 mm 径の NbTi 製、誘電体材料は外径 0.66 mm の PTFE 製、外部導体は 0.86 mm 径の NbTi 製であること。
- ③ ケーブルの両端には、非磁性金メッキされた Be-Cu 製コネクタを接続すること。また、NbTi ケーブルの外部導体に Cu パイプを圧着し、Cu パイプを介してコネクタをはんだ付けすること。コネクタ規格については、SMA または 2.92mm とするが、詳細は別途指定する。
- ④ ケーブルの特性インピーダンスは、4 K において 50 ± 3 Ohm とする。
- ⑤ ケーブルの長さや曲げの形状については、別途指定する。

5.7 コネクタ

ケーブル、減衰器、アダプタなどのマイクロ波コンポーネント間はコネクタにより接続される。これらのコネクタの規格については、別途指定する。

5.8 その他全般的な要件

- ① 基準雑音電力: 雑音源温度 0.1 K～5 K を含む範囲で連続的に可変であること。また、その雑音電力スペクトル密度 $S(f)$ は、次式に従うこと。

$$S(f) = hf / (\exp(hf/kT) - 1) + hf/2$$

ただし、 h , k , f , T はそれぞれプランク定数、ボルツマン定数、測定周波数、熱浴温度である。

- ② 周波数: 0.1 GHz～16 GHz を含む周波数範囲をカバーすること。
- ③ 入出力インピーダンス: 50 Ohm であること。
- ④ 本装置を構成する材料は非磁性とする。
- ⑤ 本装置は、既存のシステム内部に設置可能であること。具体的には、4 K、0.9 K、0.1 K、10 mK ステージに設置可能とし、ISO KF25 ポートを使用すること。
- ⑥ 構造・寸法: 円柱形状とし、径 10 cm 以下、高さ 14 cm 以下とする。
- ⑦ 5.4 ヒータと 5.5 温度センサは、既存のシステムの温度コントローラと接続し制御可能であること。また、温度コントローラによる制御方法について、サポートを行うこと。
- ⑧ 本装置のケーブルにマイクロ波信号を入力しこれに基準雑音を付加して出力するフィードスルーモードと、ケーブルの出力側のみから基準雑音を出力するシングルエンドモードの、2 種類の動作が可能であること。
- ⑨ 本装置を 0.1 K ステージに設置した場合、熱浴の温度を 0.1 K～5 K を含む温度範囲で制御可能であること。また、本装置から被測定物およびその周辺に対するバックアクションヒーティングが十分に小さいこと。本装置を 0.1 K ステージに設置し 5 K に温度上昇させた場合の Base(10 mK)ステージ温度は、30mK 以下とする。
- ⑩ 本装置の温度制御時定数は、銅ブロック熱容量/熱リンク部熱伝導度の比で決まり、温度依存性をもつものとする。温度と時定数の関係は、0.1 K のとき 500 sec 以下、5 K のとき 10 sec 以下とする。
- ⑪ 既存のシステム内に設置された超伝導パラメトリック増幅器、HEMT 増幅器、アイソレータなどのマイクロ波コンポーネント、および室温に設置された増幅器などを含む読み出し用増幅器

系統に対して、利得、雑音温度の測定実績を有すること。また、700 mK 以下のシステム雑音温度を 200 mK 以下の不確かさによる測定実績を有すること。

6. 特記事項

- ① 本装置の組み立ておよび既存のシステムへの設置について、サポートをすること。また、使用中に部品等が破損した場合は、修理・交換等に関するサポートをすること。

7. 納品確認試験

調達請求者が、本装置を据付調整し仕様書を満たしていることを確認したうえで、装置が正常に作動することを確認する。

8. 納入物品

- ① 極低温用ノイズソース 一式
 - ② 取扱説明書 1部(電子媒体または紙媒体)
- ※電子媒体の場合、原則として USB メモリ等の外部電磁的記録媒体は用いないこと。

9. 納入の完了

本装置は、「8. 納入物品」に記載された納入物品が過不足なく納入され、仕様書を満たしていることを確認して、納入の完了とする。

10. 納入期限及び納入場所

納入期限: 2025 年 10 月 31 日

納入場所: 茨城県つくば市梅園 1-1-1

国立研究開発法人産業技術総合研究所

量子・AI 融合技術ビジネス開発グローバル研究センター(G-QuAT)

中央事業所 2 群 2-11B 棟 02212 室

11. 付帯事項

- ① 受注者は、納入時に本装置の安全操作及び一般的な保守について説明を行うこと。
- ② 納入された製品における能力内の使用中に発生した納入の完了後1年以内の故障については、その修理、調整等責任をもって無償で行うこと。
- ③ 本仕様書の技術的内容及び知り得た情報に関しては、守秘義務を負うものとする。
- ④ 本仕様書の技術的内容に関する質問等については、調達請求者と協議すること。本仕様書に定めのない事項及び疑義が生じた場合は、調達担当者と協議のうえ決定する。

以上

極低温雑音源装置構成概略図

