

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4264751号
(P4264751)

(45) 発行日 平成21年5月20日 (2009.5.20)

(24) 登録日 平成21年2月27日 (2009.2.27)

(51) Int. Cl. F 1
F 2 5 B 9/00 (2006.01)
 F 2 5 B 9/00 H
 F 2 5 B 9/00 Z

請求項の数 2 (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2005-222786 (P2005-222786)	(73) 特許権者	301021533
(22) 出願日	平成17年8月1日 (2005.8.1)		独立行政法人産業技術総合研究所
(65) 公開番号	特開2007-40561 (P2007-40561A)		東京都千代田区霞が関1-3-1
(43) 公開日	平成19年2月15日 (2007.2.15)	(72) 発明者	佐々木 仁
審査請求日	平成19年3月14日 (2007.3.14)		茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
(出願人による申告) 平成17年度文部科学省「ベンチャー開発戦略研究センター」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	東海林 彰
			茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
		(72) 発明者	山森 弘毅
			茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
		審査官	山村 秀政
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極低温冷凍機の温度安定化制御方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

冷却手段により冷却されるコールドヘッド、及び試料を載置して冷却するサンプルステージを有する極低温冷凍機の温度安定化制御方法において、

冷凍機駆動用モーターの位置制御信号または位置検出信号に基づき、該冷凍機の膨張収縮サイクルと同期させて、ヒーターによる周期的な加熱を行うことにより、冷却パワーの変動を相殺させ、温度変動を抑制し、

前記温度変動の抑制は、前記サンプルステージの相対温度変動を高感度に測定する温度計と、サンプルステージの平均温度を測定する温度計により、周期的な変動と、平均温度ドリフトに分けて制御を行う極低温冷凍機の温度安定化制御方法。

10

【請求項2】

冷却手段により冷却されるコールドヘッド、及び試料を載置して冷却するサンプルステージを有する極低温冷凍機の温度安定化制御装置において、

冷凍機駆動用モーターの位置制御信号または位置検出信号に基づき、該冷凍機の膨張収縮サイクルと同期させて、ヒーターによる周期的な加熱を行うことにより、冷却パワーの変動を相殺させ、温度変動を抑制し、

前記温度変動の抑制は、前記サンプルステージの相対温度変動を高感度に測定する温度計と、サンプルステージの平均温度を測定する温度計により、周期的な変動と、平均温度ドリフトに分けて制御を行う極低温冷凍機の温度安定化制御装置。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷凍サイクルに起因する周期的温度変動を抑制することができる極低温冷凍機の温度安定化制御方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

冷凍機は1サイクル/秒程度の周期で断続的に熱の吸収を行なうため、例えば10K程度に冷却されるコールドヘッド部分で大きな温度変動を発生する。冷凍機のサンプルステージとコールドヘッド間に、例えば、ステンレス製のシム(円盤状)を挿入して、コールドヘッドと熱的に分離した試料ステージ(サンプルステージ)を設け、この部分に試料を設置することにより、コールドヘッドとサンプルステージ間の熱抵抗によって温度変動が軽減させることができる。

10

【0003】

しかし、コールドヘッドとサンプルステージ間の熱抵抗を大きくできない(冷えなくなる)ため、温度変動の軽減に限界があり、サンプル位置において100mK-p程度の温度変動が生じる。また、その結果として、例えば試料としてジョセフソン素子アレーを用いて電流電圧特性(I-Vカーブ)の測定を行う場合、素子両端に印加するバイアス電流を臨界電流値よりわずかに大きな5mA程度に設定した場合、図5に示すように温度依存性の大きなI-Vカーブによって、出力電圧が1Hzの温度変動を受け、図6に示すように出力電圧に正弦波的な変動が生じる。

20

【0004】

このように、極低温冷凍機は、一般に1サイクル/秒の周期で断続的に吸熱を行なうため、低温部(コールドヘッド)で大きな温度変動を発生し、その結果、コールドヘッドに取り付けられた測定サンプルの温度が変動し、測定値の変動等の悪影響を及ぼすことになる。

【0005】

また、サンプルステージにヒーターを設置することにより、サンプルステージの平均温度を精密に制御することは可能である。しかし、ヒーター制御は、前述の1サイクル/秒の早い温度変化に追従できないため、周期変動の改善は困難である。

【特許文献1】特開平5-245394号公報

【特許文献2】特開平6-86940号公報

30

【特許文献3】特開2002-5534号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

極低温冷凍機は、極低温領域における物性測定や精密計測において広く用いられているが、冷凍機の膨張収縮サイクルに起因する1Hz、100mK程度の周期的な温度変動が不可避であり、測定においてS/N比の劣化を引き起こす。

そこで、本発明は、係る問題点を解決して、冷凍サイクルに起因する周期的温度変動を抑制することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

40

【0007】

本発明の極低温冷凍機の温度安定化制御方法は、冷却手段により冷却されるコールドヘッド、及び試料を載置して冷却するサンプルステージを有する極低温冷凍機の膨張収縮サイクルと同期させて、ヒーターによる周期的な加熱を行うことにより、冷却パワーの変動を相殺させ、温度変動を抑制する。

【0008】

また、本発明の極低温冷凍機の温度安定化制御装置は、冷却手段により冷却されるコールドヘッド、及び試料を載置して冷却するサンプルステージを有する極低温冷凍機の膨張収縮サイクルと同期させて、ヒーターによる周期的な加熱を行うことにより、冷却パワーの変動を相殺させ、温度変動を抑制する。この温度変動の抑制は、前記サンプルステージ

50

の相対温度変動を高感度に測定する温度計と、サンプルステージの平均温度を測定する温度計により、周期的な変動と、平均温度ドリフトに分けて制御を行う。冷凍機の膨張収縮サイクルとの同期は、冷凍機を駆動するモーター位置を検出して、該モーター位置に同期して制御を行う。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、従来技術では100mKまでしか軽減できなかった周期的温度変動を、数mK程度まで抑制することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、例示に基づき本発明を説明する。図1は、極低温冷凍機のコールドヘッドと試料ステージの図である。図示の極低温冷凍機のコールドヘッドは、前述の冷凍サイクルにより極低温に冷却される。図示の試料ステージは、試料（例えば、ジョセフソン素子アレイ）を載置したCuプレートとCuブロックによって構成されている。Cuプレートの上面には、試料がチップキャリア等を介して配置され、試料とCuプレートとCuブロックとが熱的に結合された試料ステージを形成する。コールドヘッドと試料ステージの間には、断熱効果のあるステンレスを材質としたSUSスペーサが設けられ、CuブロックはSUSボルト等を介して熱的に分離された状態でコールドヘッドに取り付けられる。サンプルステージの温度は、例えばCuブロックに備えられた抵抗温度計により検出される。或いは、温度センサーとして抵抗温度計に代えて、若しくはそれに加えて、ジョセフソン温度

10

20

【0011】

温度変動が周期的な熱の発生に起因する場合には、最も有効な温度変動の軽減法は、熱の発生部において、逆位相の周期的な発熱を付加することが考えられる。しかしながら、冷凍機の場合には吸熱の変動であるため、コールドヘッドにヒーターを設置して周期的温度変動をキャンセルすることができない。そこで、本発明は、コールドヘッドから熱的に分離された試料ステージにヒーターを設置し、冷凍機の膨張収縮サイクルと同期させて、ヒーターによる周期的な加熱を行うことにより、冷却パワーの変動を相殺させ、温度変動を抑制する。

30

【0012】

図2は、極低温冷凍機のサンプルステージの温度制御を行うための、制御回路の一例を示す図である。温度変動を軽減するためのヒーターを、できるだけ熱接触の良い方法でサンプルステージ（それを構成するCuブロック）に取り付ける。ヒーターパワーを算出するための入力信号として、

(1) サンプルステージの相対温度変動(T1)を高感度に測定する温度計#1

(例えば図1のCuブロックに設置されるジョセフソン温度センサー)

(2) サンプルステージの平均温度(T1)を測定する校正された温度計#2

(例えば図1のCuブロックに設置される抵抗温度計)

(3) 冷凍機駆動用モーターの位置検出信号

を用い、周期的な変動と、平均温度ドリフトに分けて制御を行う。

40

【0013】

温度計#1には高速性(サンプリング周期1ms程度)、温度計#2には高安定性(サンプリング周期は100ms程度)が重要であるが、温度計#1と温度計#2を共用することも可能である。ヒーター出力は、温度計#1、#2のデータから最適なヒーター出力を計算し、ステップモーターの位置制御パルス信号に同期させて、DA変換を行って出力する。

【0014】

これによって、サンプルステージの温度変化は、(a)冷凍機のモーター位置に同期した

50

周期的な温度変化(変動は早いが規則正しい)と、(b)それ以外の原因による変動(緩慢で不規則な温度ドリフト)に分けて検出する。これらの2種類の温度変動に対して、それぞれ最適なフィードバックを行う。具体的には、下記の通り。

【0015】

冷凍機のモーター位置に同期した周期的な温度変化は、数周期(数秒間)に渡って加算平均をとってS/N比を向上させたのち、振幅と位相を調整して、上記のヒーターにフィードバックする。

他の原因による緩慢で不規則な温度ドリフトは、モーターの1周期に渡って加算平均した平均温度を用い、通常のPID制御によって上記のヒーターにフィードバックする。

【0016】

10

図3は、本発明の方法を用いて、サンプルステージの温度制御を試みた結果を示す図である。ヒーターには、温度変動に同期して正弦波的に変化するパワーを印加した。制御を行わない場合(Control-OFF)と、制御を行った場合(Control-ON)をそれぞれ10周期(1s)分記録して、比較のために同じ時間軸上にプロットしている。温度検出用抵抗ブリッジの出力は50Hzでサンプリングしているが、ノイズを抑えるために、3個ずつ移動平均をとってスムージングしている。制御を行わない場合、100mK程度の周期的な温度変動が生じているのに対して、制御を行っている状態で、正弦波状の周期的に変動するパワーを加えることによって、温度変動は数mKに改善されている。

【0017】

図4は、温度変動の抑制によって、測定が改善された例を示す。ジョセフソン標準素子の発生する電圧ステップの幅の向上が見られる。図中、データは、それぞれ制御を行わない場合(Control-OFF)と、制御を行った場合(Control-ON)のI-Vカーブを示している。Control-ONの場合、電圧ステップの両肩ともに急峻な立ち上がりを有するIVカーブが測定されるのに対し、Control-OFFの場合には100mK程度の温度変動によってI-Vカーブが50 μ A程度の振幅で左右に振動し、さらに平均化された結果、電圧ステップ幅が20%程度減少している様子を見ることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】 極低温冷凍機のコールドヘッドと試料ステージを示す図である。

【図2】 制御系を示す概念図である。

30

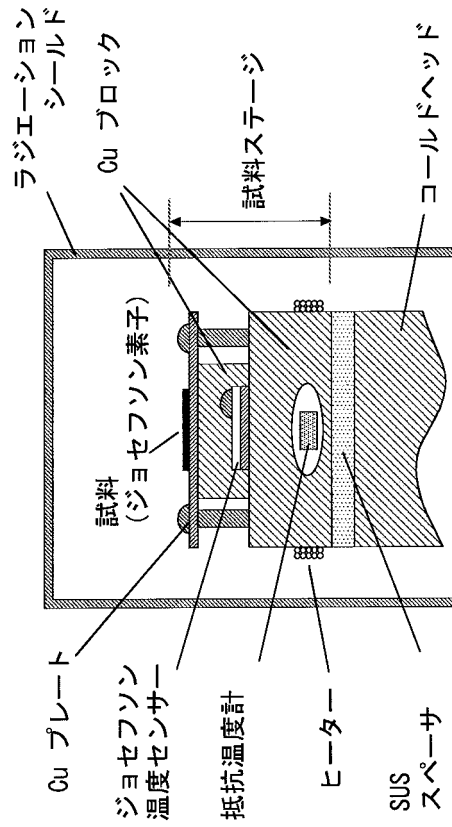
【図3】 温度変動の抑制の例を示すグラフである。

【図4】 温度変動の抑制によって、測定が改善された例を示すグラフである。

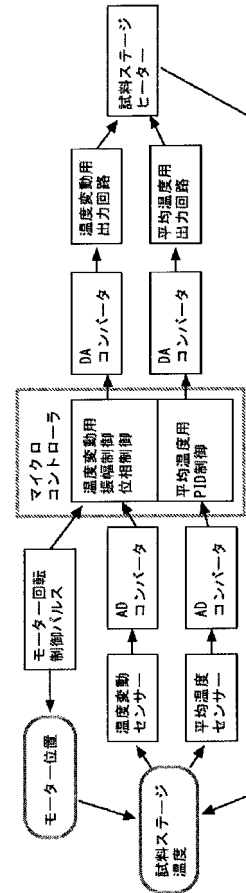
【図5】 従来技術による、温度依存性の大きなI-Vカーブを示すグラフである。

【図6】 従来技術による、出力電圧の正弦波的な変動を示すグラフである。

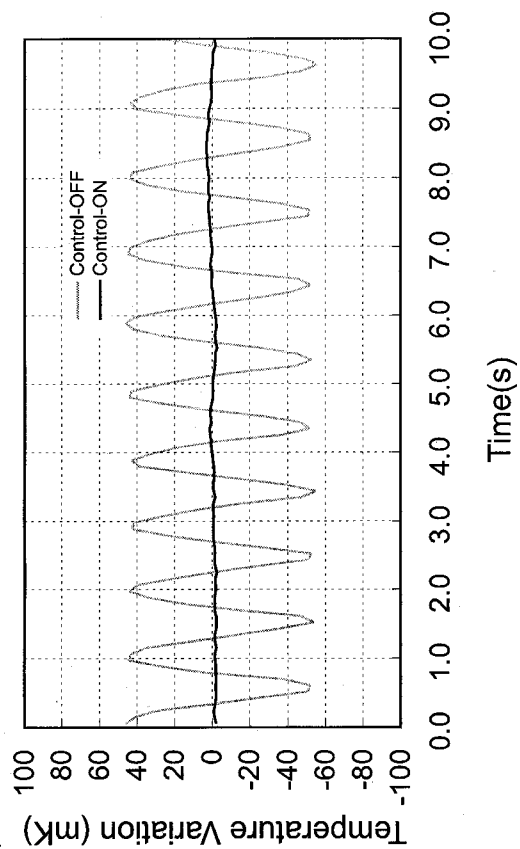
【図 1】



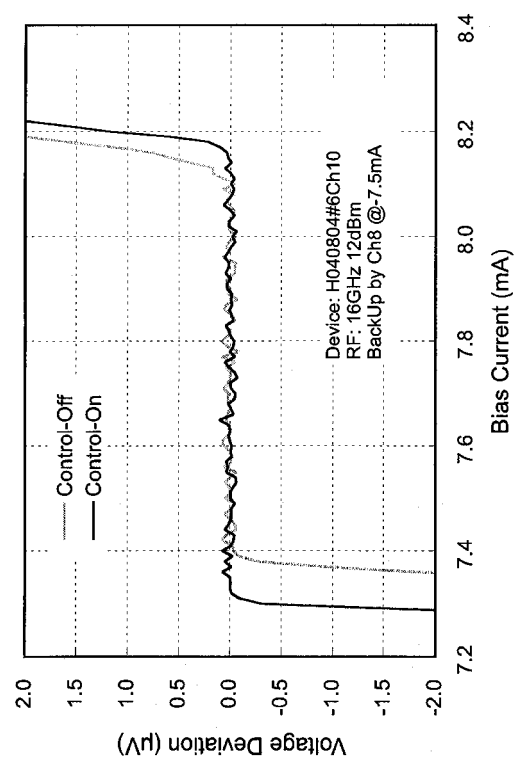
【図 2】



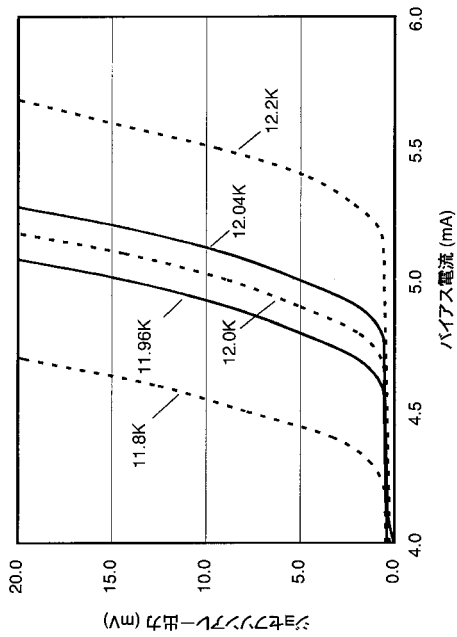
【図 3】



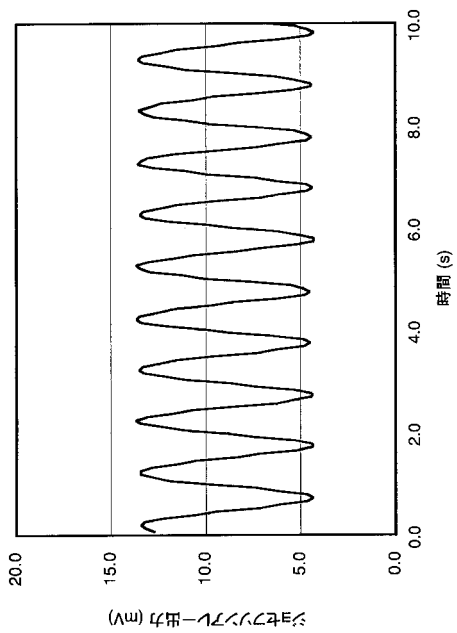
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭61-052562 (JP, A)
特開平07-146020 (JP, A)
特開2005-148003 (JP, A)
特開2002-071235 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F25B 9/00