

サーモパイル

目次

1. 概要

p.01

2. 構造

p.02

3. 特性

p.03

- 3-1 感度
- 3-2 ノイズ
- 3-3 温度特性
- 3-4 直線性
- 3-5 周波数特性

4. 使い方

p.04

- 4-1 基本回路
- 4-2 サーミスタ付回路

5. 応用例

p.05

- 5-1 CO₂センサ
- 5-2 炎検知
- 5-3 放射温度計

1. 概要

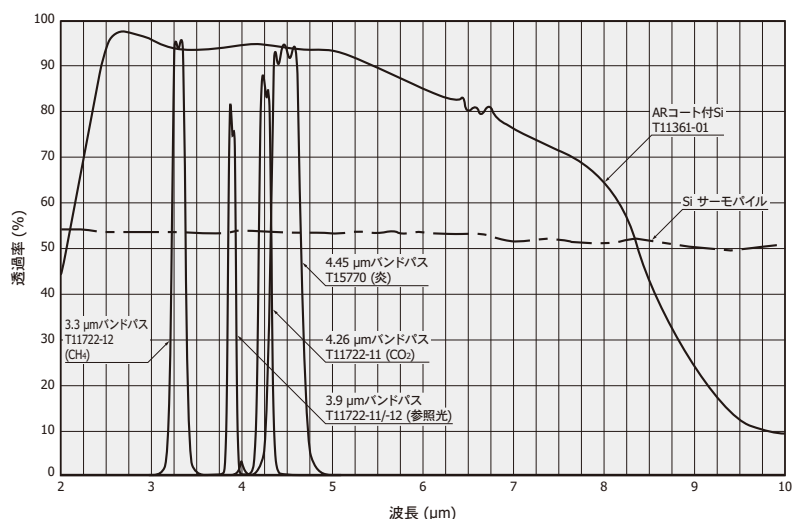
赤外線検出素子は、熱型と量子型に大別されます。サーモパイルは、ゼーベック効果を利用し赤外線の入射エネルギー量に比例した熱起電力が得られる熱型検出素子です。量子型検出素子は、高感度・高速応答で、高い精度が必要とされる分光器・分析機器などに使われます。それに対して、熱型検出素子は、感度の波長依存性がなく、冷却不要で長寿命・低コストです [表1-1]。熱型検出素子のサーモパイルは、窓材を用い感度波長を

選択することにより [図1-1]、ガス分析・炎検知・放射温度計に使われます [表1-2]。

[表1-1] 熱型検出素子と量子型検出素子の比較

項目	熱型検出素子	量子型検出素子
感度	☆☆	☆☆☆
応答性	☆☆	☆☆☆
感度の波長依存性	なし	あり
冷却	不要	用途により必要
コストメリット	☆☆☆	☆

[図1-1] 窓材の赤外透過率特性



[表1-2] 浜松ホトニクス社のサーモパイル

型名	素子数	パッケージ	窓材	感度波長域	サーミスタ	用途
T11361-01	1	TO-18	ARコート付Si	3~5 μm	○	ガス分析
T15770			バンドパスフィルタ	4.45 μm	—	炎検知
T11722-11	2	TO-5	バンドパスフィルタ	3.9 μm, 4.26 μm	○	ガス分析
T11722-12				3.9 μm, 3.3 μm	○	

2. 構造

当社製サーモパイルでは、大きな出力電圧を得るためにSi基板上に多数の熱電対を直列接続しています。温接点側（受光部）を熱分離構造にすることで、光の吸収による発熱をメンブレン（薄膜）上にとどめ、温接点・冷接点間の温度差を大きくしています。メンブレン上には、光の吸収効率を上げるために赤外吸収膜を付けています。熱分離構造については、MEMS技術を用い、メンブレン（薄膜）が中空に浮いているように加工しています。なおサーモパイルには、ゼーベック係数（熱起電力量）が大きく、半導体プロセスで形成可能な材料を使用しています。

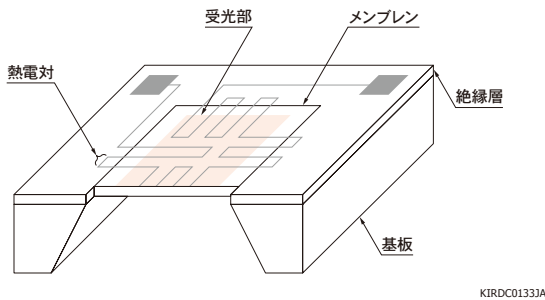
この構造により、赤外線が入射するとメンブレン上の温接点が温まり、冷接点との間に温度差（ΔT）が生じ、それに伴う熱起電力（ΔV）が得られます。

受光面に均一な光を入射した場合、メンブレンの中央で最も温度が高くなります。出力電圧を大きくするためには、できるだけ温接点をメンブレンの中央に配置して、冷接点をメンブレンの周辺に配置する構造が有効です。各熱電対において、温接点と冷接点の配置が異なるため、温接点と冷接点の温度差は異なり、出力電圧も異なります。n個の熱電対を直列に接続した場合、サーモパイルの出力電圧は熱電対の出力の和で表されます [式 (2-1)]。

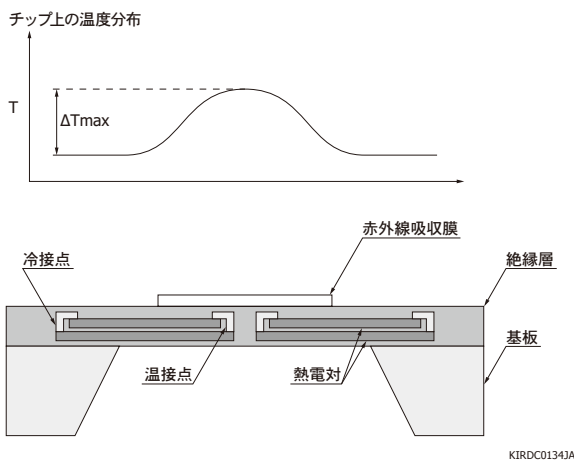
$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots + \Delta V_n = n \times \Delta V_{ave} \dots\dots\dots (2-1)$$

ΔV : サーモパイルの出力電圧
 ΔVn : 熱電対の出力電圧
 ΔVave: 各熱電対の出力電圧の平均

[図2-1] 断面構造



[図2-2] メンブレンの温度分布 (均一な入射光)と断面



3. 特性

3-1 感度

サーモパイルの感度は、均一な入射光に対する出力電圧で定義されます [式 (3-1)]。

$$S = \Delta V / (D \times A) \dots\dots (3-1)$$

S : 感度 [V/W]
ΔV: 出力電圧 [V]
D : 入射光の光密度 [W/cm²]
A : 受光面積 [cm²]

受光面に対して小さいビーム径のスポット光が入射した場合の感度は、均一な入射光で定義した感度とは異なります。また、スポット光の入射位置によっても感度は変化します。

3-2 ノイズ

サーモパイルのノイズでは、素子抵抗のジョンソンノイズが支配的です。ノイズ (V_N)は、式 (3-2)で表されます。

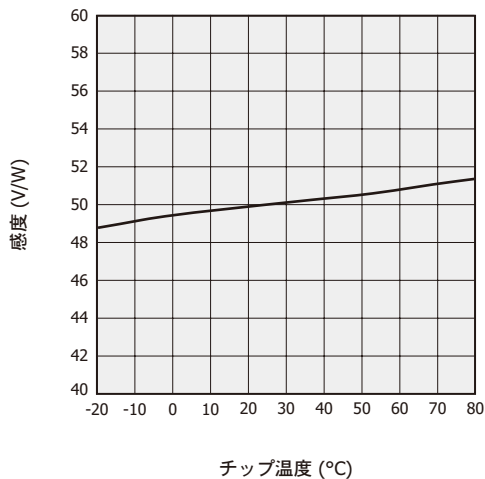
$$V_N = \sqrt{4k T R_d \Delta f} \text{ [V rms]} \dots\dots (3-2)$$

k : ボルツマン定数
T : 絶対温度
R_d: 素子抵抗
Δf : 帯域幅

3-3 温度特性

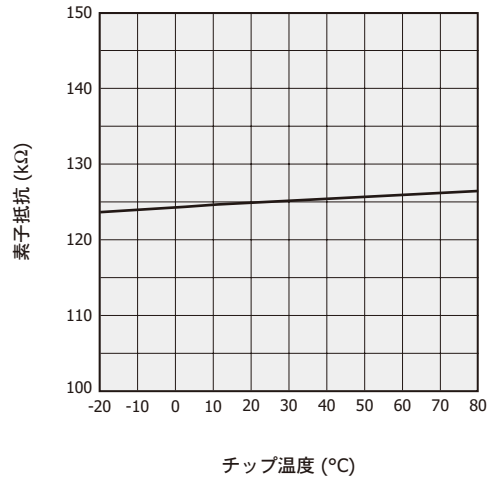
サーモパイルの感度および素子抵抗には温度特性があります。

[図3-1] 感度の温度特性 (シングル素子 T11361-01, 代表例)



KIRD805223A

[図3-2] 素子抵抗の温度特性 (T11361-01, 代表例)

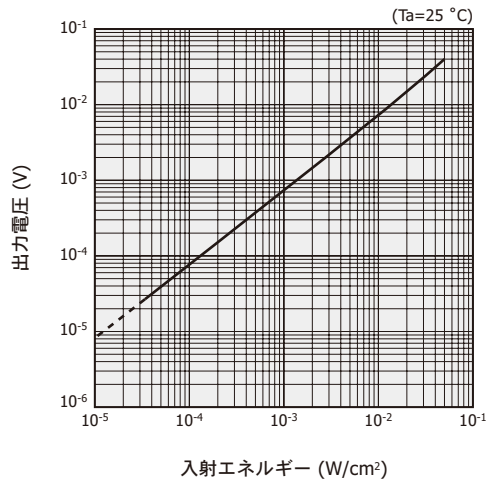


KIRD805231A

3-4 直線性

入射エネルギーと出力電圧の関係の例を図3-3に示します。サーモパイルの出力電圧は入射エネルギーと比例関係にあります。

[図3-3] 出力電圧—入射エネルギー (T11361-01, 代表例)

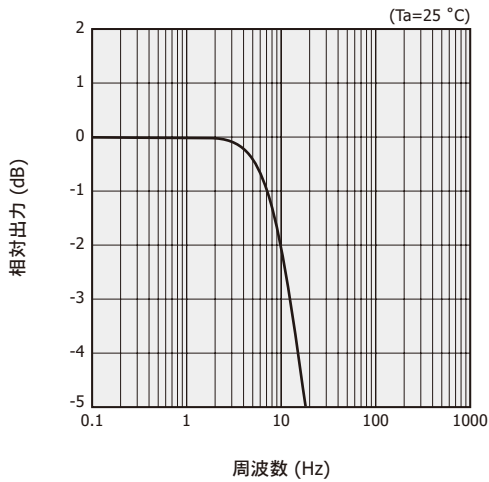


KIRD805603A

3-5 周波数特性

図3-4は、受光面サイズが異なる場合の感度の周波数特性を示します。受光面サイズが大きいほど、周波数応答は低下する傾向にあります。

[図3-4] 周波数特性 (T11361-01, 代表例)



KIRDB0561JC

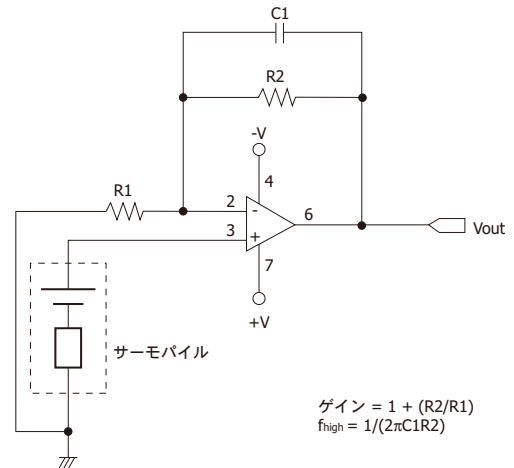
4. 使い方

4-1 基本回路

サーモパイルの信号を増幅するための基本回路を示します。

» 両電源タイプ

[図4-1] 増幅回路 (両電源タイプ)

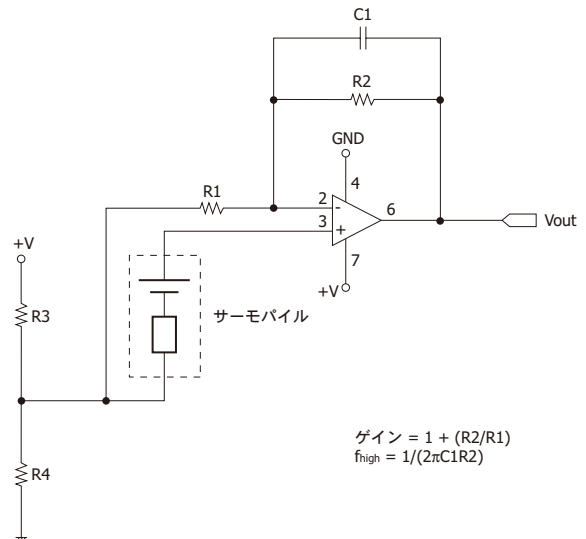


KIRDC00493B

» 単電源タイプ

単電源タイプのオペアンプは、グラウンド付近ではオペアンプのオフセット電圧と非線形による誤差が発生するため、サーモパイルの片側をバイアスして動作させます。図4-2の増幅回路の例では、オペアンプの電源電圧を $R3 \cdot R4$ の抵抗分割でバイアスしています。

[図4-2] 増幅回路 (単電源タイプ)

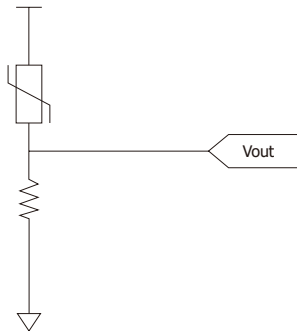


KIRDC00503C

4-2 サーマスタ付回路

サーモパイルの感度には、温度依存性があります。非接触温度計やガスセンサなどで高精度に計測するためには、サーミスタ出力を使ってサーモパイル感度の温度補正をする必要があります。サーミスタは、リニアライズ回路に接続します [図4-3]。サーモパイルとサーミスタの信号をそれぞれマイコンに入力して、サーモパイルの感度を補正する方法が一般的です。

【図4-3】サーミスタのリニアライズ回路



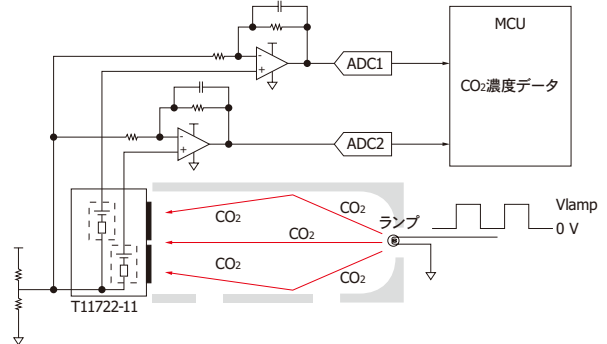
KIRD00135EA

5. 応用例

5-1 CO₂センサ

サーモパイルは、非分散型赤外線 (NDIR: Non Dispersive Infrared) 検出方式のCO₂センサに用いられます。CO₂センサの構成例を図5-1に示します。

【図5-1】CO₂センサの構成例



KIRD001363B

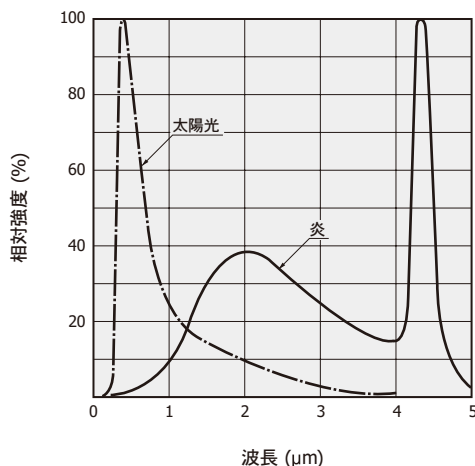
CO₂には4.26 μm 付近の波長に非常に強い吸収帯があります。この波長帯を含む中赤外域の光源 (例: タングステンランプ) を使用します。図5-1の構成例では、光の進む距離とCO₂濃度によって光源からの光は減衰し、減衰した出力からCO₂濃度を算出します。CO₂濃度に応じて、サーモパイルと光源の距離を適切に設定する必要があります。低濃度のCO₂を測定する場合は、サーモパイルと光源の間隔を長くして、高輝度の光源を使う必要があります。

サーモパイル T11722-11は、二酸化炭素 (CO₂) の濃度の高精度計測用に開発したデュアルタイプです。2波長 [4.26 μm : CO₂用, 3.9 μm : 参照光用 (大気中のさまざまな気体で吸収が小さい)] を同時検出できるように、2素子の高感度サーモパイルチップと2種類のバンドパスフィルタから構成されています。光源の発光の不安定性による影響を除去するために2素子の出力の比を計算することで、高精度にCO₂濃度を求めることができます。

5-2 炎検知

炎からの放射波長は、紫外～赤外域にわたって広く分布していますが、波長 4.45 μm (CO_2 共鳴放射)にピークがあります。炎検知には、4.45 μm バンドパスフィルタ付サーモパイルが用いられます。

[図5-2] 炎からの放射波長

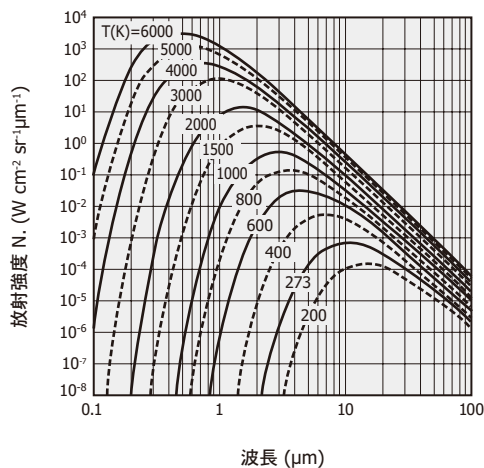


KIRD801473A

5-3 放射温度計

放射温度計は、物体が放射する赤外線エネルギー量を測定して温度に換算します。常温付近の物体の放射エネルギーは、中赤外から遠赤外にピークをもちます。サーモパイルは広い波長範囲で感度をもつため、常温付近の放射温度計に適しています。

[図5-3] 黒体放射の法則 (プランクの放射則)



KIRD800143B

本資料の記載内容は、令和6年5月現在のものです。

製品の仕様は、改良などのため予告なく変更することがあります。本資料は正確を期するため慎重に作成されたものですが、まれに誤記などによる誤りがある場合があります。本製品を使用する際には、必ず納入仕様書をご用命の上、最新の仕様をご確認ください。

本製品の保証は、納入後1年以内に瑕疵が発見され、かつ弊社に通知された場合、本製品の修理または製品の納入を限度とします。ただし、保証期間内であっても、天災および不適切な使用に起因する損害については、弊社はその責を負いません。

本資料の記載内容について、弊社の許諾なしに転載または複製することを禁じます。

浜松ホトニクス株式会社

www.hamamatsu.com

仙台営業所 〒980-0021 仙台市青葉区中央3-2-1 (青葉通プラザ11階)

TEL (022) 267-0121 FAX (022) 267-0135

東京営業所 〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-4 (常盤橋タワー11階)

TEL (03) 6757-4994 FAX (03) 6757-4997

中部営業所 〒430-8587 浜松市中央区砂山町325-6 (日本生命浜松駅前ビル)

TEL (053) 459-1112 FAX (053) 459-1114

大阪営業所 〒541-0052 大阪市中央区安土町2-3-13 (大阪国際ビル10階)

TEL (06) 6271-0441 FAX (06) 6271-0450

西日本営業所 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東1-13-6 (いちご博多イーストビル5階)

TEL (092) 482-0390 FAX (092) 482-0550

固体営業推進部 〒435-8558 浜松市中央区市野町1126-1 TEL (053) 434-3311 FAX (053) 434-5184