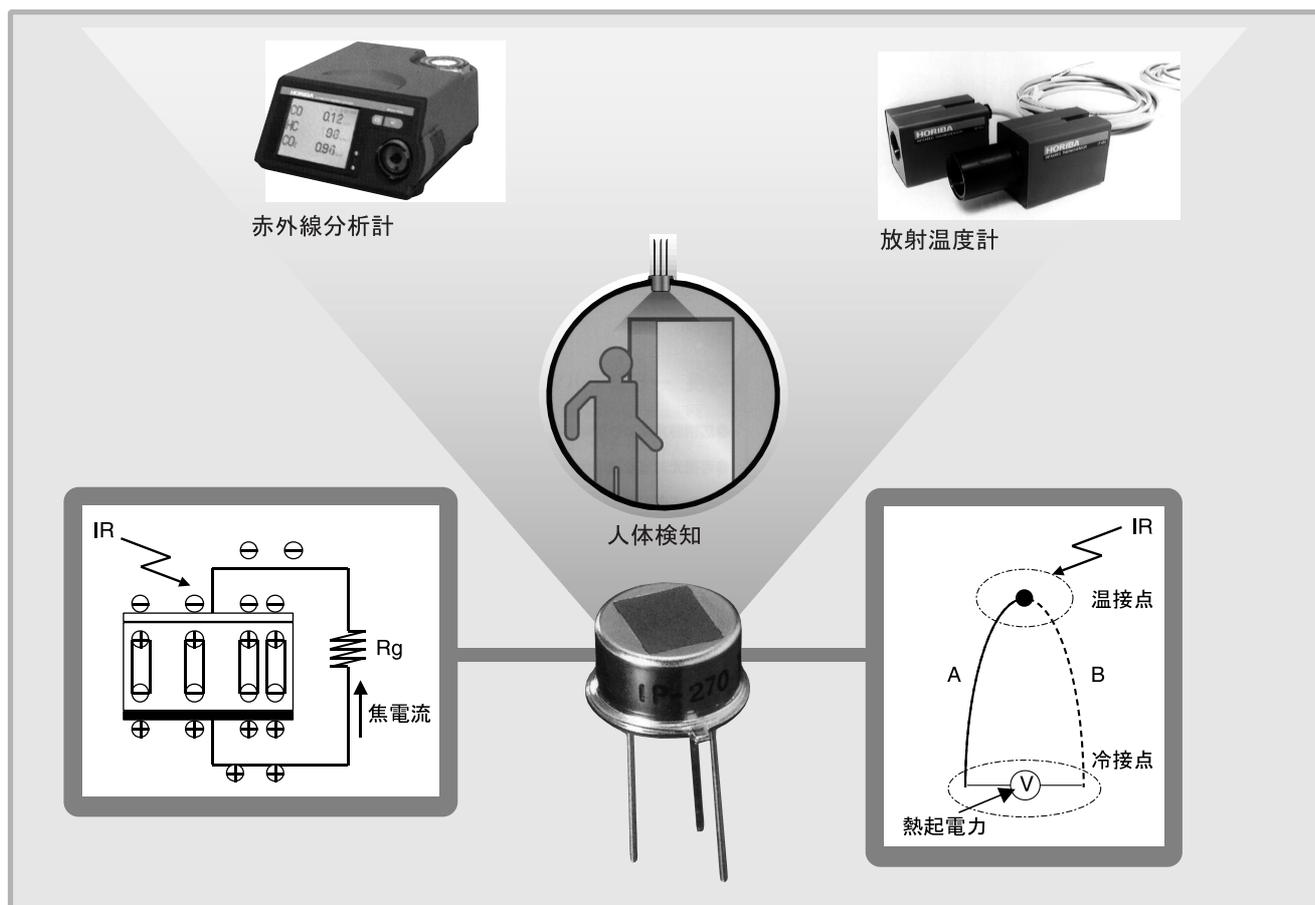


薄膜技術を用いた赤外線センサ

New Infrared Sensors Using the Thin Film Technology

富永 浩二，中田 嘉昭



要旨

近年、Si基板を用いてマイクロマシニング技術を利用した各種のセンサが開発されている。また、薄膜化技術の進歩にともない、機能性セラミックスの薄膜を作製することができるようになってきた。現在、ホリバはこれらの技術を駆使して、新たなセンサを開発中である。本稿では、「薄膜パイロセンサ」と「Siサーモパイル」について、動作原理、製作方法とともに、高速応答・高感度の優れた特性を紹介する。

Abstract

The application of micromachining technology to silicon has resulted in the development of many types of sensors. Advances in thin film technology have created functional ceramic films. By taking advantage of recent developments in these technologies, Horiba is developing two new infrared sensors: a thin film pyroelectric sensor and a silicon thermopile. This article discusses the high sensitivity and rapid responsiveness of the sensors and explains how they work and how they are produced.

1 はじめに

熱型赤外線センサであるパイロセンサ(焦電センサ)やサーモパイルは、従来から様々な種類のものが存在する。しかし、それらの多くはスポット型であり、多点測定、面測定といった高次元測定や、多機能化への発展には課題が多い。

一般に焦電素子は、粉体原料を焼結したセラミックス(バルクセラミックス)を50~100 μmの厚みに加工し、分極処理を施して得られる。このセラミックスを薄膜技術を用いて製作したセンサを薄膜パイロセンサと呼び、バルクセラミックスからなるセンサをバルク型センサと呼んで区別する。

一方サーモパイル素子は、一般に厚さ20~50 μmの有機フィルム上に2種類の金属膜を蒸着して製作される。これに対し、Siサーモパイルはマイクロマシニング技術を用いて厚さ2~3 μmのマイクロキャビティ上に熱電対を形成して得られる。

これらの薄膜技術を用いた赤外線センサは従来のセンサと比較して高速応答、高S/N比である。さらに、アレイ化、多機能化など次世代のセンサとして潜在的な魅力が大きい。また、大量生産することにより、ローコスト化も可能である。

ホリバはこれらの薄膜技術、マイクロマシニング技術を用いた各種のセンシングデバイスの研究開発に取り組んでいる。本稿ではガス分析計や放射温度計、人体検知センサなどのホリバの赤外線技術において、今後の発展の中心となり得るこれらのセンサについて紹介する。

2 薄膜パイロセンサ

2.1 動作原理

焦電素子には自発分極を持つよう一般に、あらかじめ分極処理を施しておく。自発分極の値は素子の温度の関数になっており、素子の表面電荷は、素子温度に変化がなければ、周囲の浮遊電荷によって中和されている(図1(a))。赤外線が入射して素子の温度が上昇すると、自発分極の値が変化する。この時、素子表面には過渡的に浮遊電荷が残るが、図1(b)に示すように、素子と並列に負荷抵抗を接続しておくで電荷の流れが起こる。この様に赤外線の変化に追従して生じる電流を焦電流、この現象を焦電効果という¹⁾。

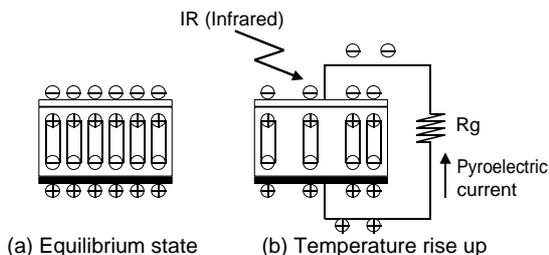


図1 動作原理

(a) 平衡状態 (b) 昇温時

Principle of operation

(a) Equilibrium state (b) Temperature rise up

2.2 製作方法

焦電材料は強誘電体であるチタン酸ジルコン酸鉛系PZT ($\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$)セラミックスを使った。PZTセラミックスを薄膜化させる方法として有機金属化学気相成長法(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD)を用いた。MOCVD法は、有機金属をガス化させて、化学反応(酸化反応・熱分解反応)によってセラミックス薄膜を基板上に堆積する方法であり、基板材料としてMgO単結晶を選択すると、エピタキシャル結晶配向成長が可能となる。ホリバは、独自にPZT薄膜の成膜方法を出願した。

(特許登録 第1896389号)

薄膜焦電素子は次のような工程(図2)で製作する。

MgO単結晶基板上にスパッタリング法により下部電極膜を形成する。

下部電極膜上にMOCVD法によりPZT薄膜をc-軸方向にエピタキシャル成長させる。

PZT薄膜上にスパッタリング法により上部電極膜を形成後、上部電極膜、PZT薄膜、下部電極の順で形成する。これらの上に絶縁膜を形成する。このとき、電極取り出し用のコンタクトホールとMgO基板のエッチング用ホールを形成しておく。

引き出し電極を形成する。

赤外線を受光したい領域に赤外線吸収膜を形成する。

最後に、感応部直下のMgO基板をエッチングで除去して、マイクロキャビティ構造を形成する。

なお、PZT薄膜をc-軸方向にエピタキシャル成長することにより、高感度化が可能となるほか、分極処理が不要になり、薄膜焦電素子の製作工程が簡素化される。

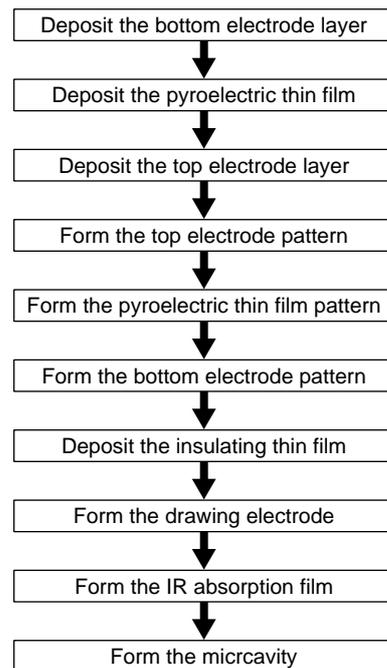


図2 薄膜パイロセンサの製作工程

Fabrication process of pyroelectric IR thin film sensor device

2.3 特性評価

薄膜焦電素子を負荷抵抗とインピーダンス変換用のFETとを接続するとともに金属パッケージに実装し、薄膜パイロセンサの特性を評価した。なお、パッケージの窓材にはKRS-5を用いた一例を示す。

(1) 応答速度

バルク型センサの応答速度は約 300ms であるのに対して、薄膜パイロセンサは約 30ms である。薄膜を用いることによって約 1/10 以下にすることができる。

(2) 感度

薄膜パイロセンサ(受光面積 1.3mm²)とバルク型センサ(受光面積 2mm²)の電圧感度(R_v)および比検出能(D^*)の周波数依存性を図3及び図4に示す。なお、測定には500Kの黒体炉を用いた。

まず、電気的な面からの使いよさの指標となる電圧感度に関しては、薄膜パイロセンサでは約5Hz以下で一定になるが、バルク型センサでは5Hz以下でも増加していく。この結果から、薄膜パイロセンサは主に高い周波数領域の用途に適しているのに対し、バルク型センサは低い領域で、例えばセキュリティ分野などでの人体検知用に適していることがわかる。

次に種類の異なる検出器の特性を比較する際の指標である比検出能(D^*)は、薄膜パイロセンサはバルク型センサより約5倍程度大きく、よりS/N比が高い結果が得られた。

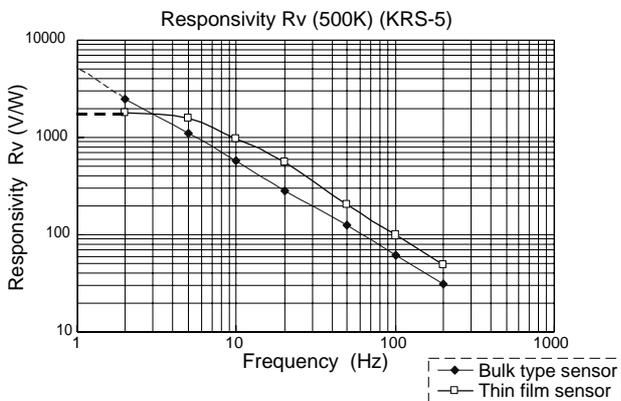


図3 電圧感度(R_v)の周波数特性
Dependent of Responsivity on frequency

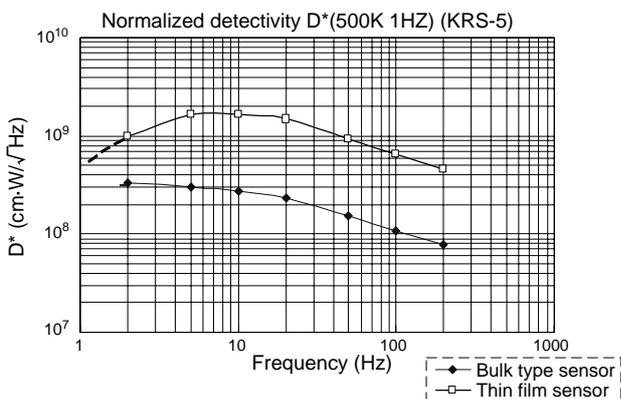


図4 検出能(D^*)の周波数特性
Dependent of Normalized detectivity on frequency

3 Si サーモパイル

3.1 動作原理

サーモパイルは入射赤外線を受光した薄膜部の温度上昇を電圧に変換する熱型の赤外線センサである。2種類の金属でループを組み、二つの接点間に温度差があると、それに応じた熱起電力が発生する(ゼーベック効果; 図5)。これを利用して温度を測定するのが一般に知られる熱電対であり、サーモパイルは熱電対を集積化して直列に数十個つなぐことで感度を大きくしている。

ホリバのSiサーモパイルはマイクロマシニング技術を用いて図6に示すようなマイクロキャビティー構造の素子を製作している。なお、アルミニウムとポリシリコンを熱起電力の材料としている。

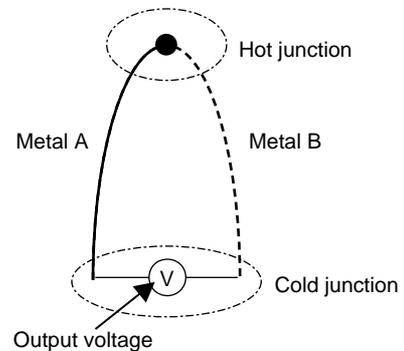


図5 熱電対の動作原理
Principle of Thermocouples

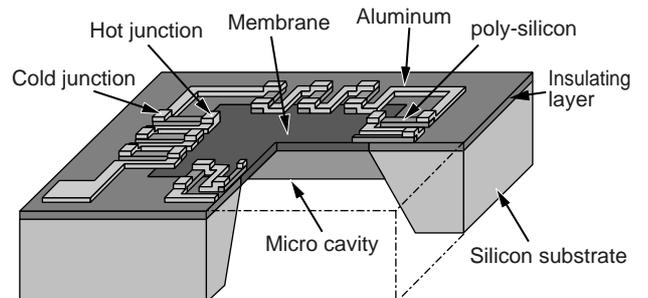


図6 Si サーモパイル
Silicon thermopile

3.2 製作方法

Siサーモパイルの製作は、プレーナプロセス技術とマイクロマシニング技術との融合が、最も大きな特徴である。一般的な半導体プロセスでは、プレーナプロセス、つまり半導体基板表面の数 μm だけを使って行われる。しかしサーモパイルなどの熱型センサでは、高感度化のために感应部を薄膜かつ断熱構造にしなければならず、マイクロマシニング技術(ここでは異方性エッチング技術)が不可欠である。

図7にSiサーモパイルの製作プロセスを示す。ここでの課題は異方性エッチング時のデバイスパターンの保護と、薄膜部の膜応力の緩和であるが、我々は前者を基板の表側にエッチング液が接触しない様にするメカニカルシール法で、また後者を多層化による応力緩和で解決した。

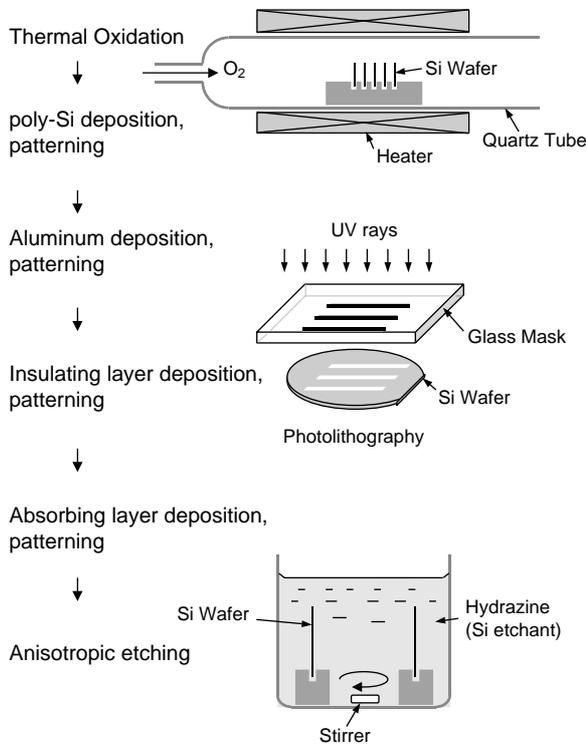


図7 Siサーモパイルの製作工程
Fabrication process of Silicon thermopile

3.3 性能評価

図8は一定の大きさの素子において薄膜部の面積を変えた際の感度と応答速度の関係を示す。薄膜部の面積が大きいほど、熱接点と冷接点間の熱分離が良くなり、感度は大きくなるが応答速度は遅くなるといったトレードオフの関係にある。今回実用化したSiサーモパイルは、従来の有機フィルムを用いたサーモパイルと同程度の感度で応答速度を10分の1(10msec以下)と、世界最速レベルにすることができた(図9)。

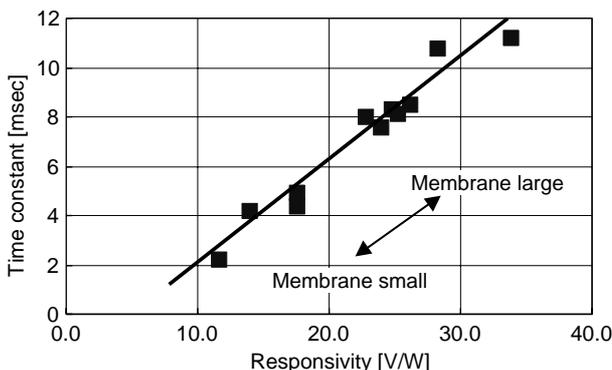


図8 時定数と電圧感度の関係
Time constant vs responsivity

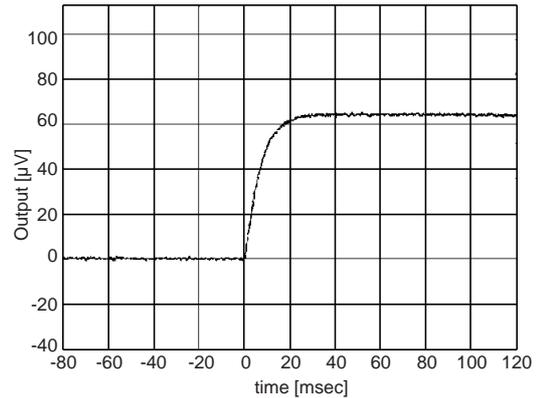


図9 Siサーモパイルの応答
測定条件黒体温度: 500K, 開口径: 10mm, 距離: 100mm
Response of Si-thermopile
Measurement conditions: Temperature of Black Body = 500K, Aperture of Black Body=10mm, Distance=100mm

4 おわりに

以上、ホリバが開発した「薄膜パイロセンサ」と「Siサーモパイル」に関して成果の一部を紹介した。現在、これらのセンサの特性は既存のセンサと同等、あるいはそれ以上のレベルに到達している。今後は、特性の向上をはかるとともに、多素子化・高機能化へ向けて展開する。Siサーモパイルについてはすでにアレイセンサを構想中であり、赤外画像センサの製作を目標として開発中である。

ホリバは「ガス分析計や放射温度計、さらには人体センサ付き電源リモコン「ついちゃうもん」²⁾など赤外線技術を使った各種の応用製品を持っている。各製品に応じて、最適の仕様となるセンサをハイレスポンスに提供する体制を整えている。

本稿がきっかけとなり、読者諸兄からのご意見やご指導をいただけることを切望している。

参考文献

- 1) 松本浩一, 岡本一隆「焦電形赤外線センサ」
Readout No.7, P.57-63 (1993)
- 2) 岡本一隆
「人体センサ付電源リモコンついちゃうもん」
Readout No.21, P.68-73 (2000)



富永 浩二
Koji TOMINAGA
新事業統括センター
開発部



中田 嘉昭
Yoshiaki NAKATA
新事業統括センター
開発部