

小型超低消費電流のPIRモーションセンサ

Micro-Miniature Ultra Low Current Consumption Motion Detector Using Passive Infrared Sensor

西川 尚之* · 畑谷 光輝* · 本多 由明** · 角 貞幸** · 上津 智宏***
Takayuki Nishikawa Teruki Hatatani Yoshiaki Honda Sadayuki Sumi Tomohiro Kamitsu

PIR モーションセンサにおいて、陽極酸化法によるバックフォーカス 1 mm、開口径 ϕ 3 mm（従来面積比 1/9）のシリコンレンズ、ディープスリープ方式による消費電流 1 μ A（従来比 1/50）の ASIC、および立体部品内蔵方式による小型回路ブロックの開発によって、高さ 6 mm（従来比 1/2）の小型で超低消費電流を実現した。

このセンサは、移動速度 0.3 ~ 1.0 m/s の範囲で 70 × 25 cm のターゲットに対して検知温度差 4 °C 以上を示すことから、通常の人体の移動検知に十分な性能を有している。

A micro-miniature and ultra-low current consumption motion detector using a passive infrared sensor has been achieved by developing a 1-mm short-focus anodized silicon lens with an aperture diameter of 3 mm (area reduced to 1/9 of the previous model), an ASIC operable with a 1 μ A current consumption (1/50 from the previous model) using a deep sleep method, and a compact circuit block containing 3D components.

The developed sensor is 6 mm high (1/2 of the previous model) and has a detectable temperature difference of 4 °C against a 70x25 cm target moving at a speed of 0.3~1.0 m per second, sufficient for detecting a normal human movement.

1. ま え が き

近年、地球環境問題への関心の高まりから、省エネルギー目的のため、人の動きを検出して自動的に照明器具や家電機器などをコントロールする PIR（赤外線受動型）モーションセンサの需要が拡大している。また、電子部品の小型化に伴い、電気機器の小型・薄型化が急速に進んでおり、携帯機器など電池を用いる機器の普及も拡大している。このため、モーションセンサの小型・低消費電流化が強く求められるようになってきている。さらにさまざまな機器に搭載されるようになり、デザイン性を損なわないことも求められている。しかし、現行の赤外線センサはその構造と特性から小型・低消費電流化が困難であり、幅広い普及には至っていない。

PIR モーションセンサは人体から輻射される赤外線を検知するセンサで、赤外線を集光する光学系、赤外線検出素子、アンプ、および比較器から構成される。赤外線検出素子としては一般的に高感度な焦電素子が用いられ、素子か

らの出力をアンプで増幅し、所定レベルの出力変化を比較器で捉えることで人体を検知する¹⁾。

光学系としては、一般にはポリエチレンレンズが用いられる。ポリエチレンレンズは安価であるが、屈折率が低く赤外線の吸収が大きいため、バックフォーカスが短くかつ明るいレンズが形成できない。またアンプと比較器の回路部分を一般のオペレーショナルアンプ等で構成した場合、数十点のディスクリット部品が必要であり、小型化が困難である。さらに通常の回路構成では回路駆動に数十 μ A が必要であり、超低消費電流化も困難である。

2. 小型超低消費電流PIRモーションセンサの概要

前述の問題点を解決する技術開発項目は以下のとおりである。

- (1) 薄型で高感度を可能にするシリコンレンズの開発
- (2) 超低消費電流化を可能にする ASIC の開発
- (3) 熱絶縁構造をもち、かつ電子部品を高密度に実装する立体部品内蔵技術の開発

* 情報機器事業本部 情報機器R & Dセンター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

** 新規商品創出技術開発部 New Products Technologies Development Department

*** 情報機器事業本部 情報機器ものづくり・調達センター Manufacturing & Procurement Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

開発品の構成を図1に示す。

シリコンレンズ、立体部品内蔵回路ブロックに含まれる焦電素子および超低消費電流 ASIC などの人体検知に必要なすべての構成部品を TO-5 キャンパッケージの中に実装している。これにより、外付けの電子部品やレンズを必要としない小型で超低消費駆動が可能なモーションセンサを実現している。

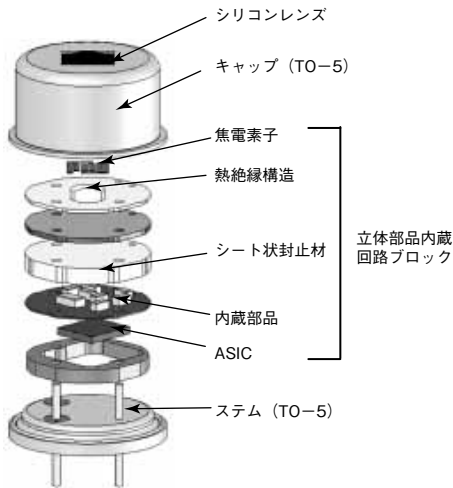


図1 開発品の構成

筆者らは、従来のセンサに比べて小型化と大幅な低消費電流化を図り、かつ人体検知に必要なすべての機能を搭載した小型超低消費電流の PIR モーションセンサを実現したので、以下で報告する。

3. 陽極酸化法を用いた短焦点シリコンレンズ

3.1 シリコンレンズの概要

赤外線センサの小型化を図るため、現在一般的に使用されているポリエチレンレンズに比べて透過率と屈折率の高い赤外線光学材料であるシリコン基板にレンズを形成する技術開発を行った。従来はシリコンをレンズ形状に加工するために研磨などの伝統的な工法に頼らざるを得ず、低コスト化が難しかった。そこで陽極酸化法を用い、シリコンウェハ上にレンズ形状を大量に加工できるプロセス技術を開発した。

3.2 陽極酸化法

シリコンレンズの加工工程を説明する。陽極酸化法では、フッ酸 (HF) 系の電解液中で、シリコン基板を陽極とし、白金 (Pt) を陰極として電流を流すと、低電流領域でシリコンが溶出して多孔質 (ポラス) の層が形成される。この層の厚みは陽極酸化時の電流密度に依存するため、電極の形状により電流密度分布を作ること、厚みに分布をもたせることが可能となる。またこの多孔質層は非常にエッチングレートが早いので、多孔質層のみを選択的に除去す

ることができる。つまり、電流密度分布の形成においてパラメータとなる電極の形状、基板抵抗、基板厚みを設計することで、必要なレンズ曲面を形成することができる。

まず、電流密度分布をレンズ形状に沿うようにシリコンウェハの片面にアルミニウム電極をパターンニングして陽極酸化を行うと陽極酸化されない部分 (レンズ部) と陽極酸化されて多孔質状になった部分とができる。この状態で多孔質状になった部分を除去すると、シリコンウェハ上にレンズ形状をした凸形状の構造を一面に形成できる。図2にシリコンレンズ形成の概念を示す。また図3にレンズの断面写真を示す。陽極酸化法により単一曲面が形成されているのがわかる。

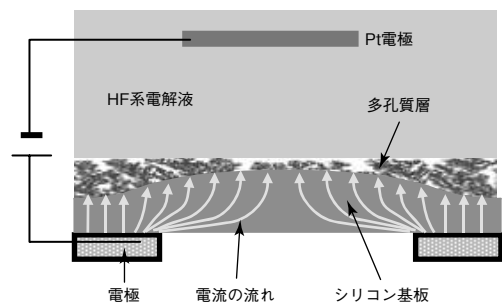


図2 シリコンレンズ形成の概念

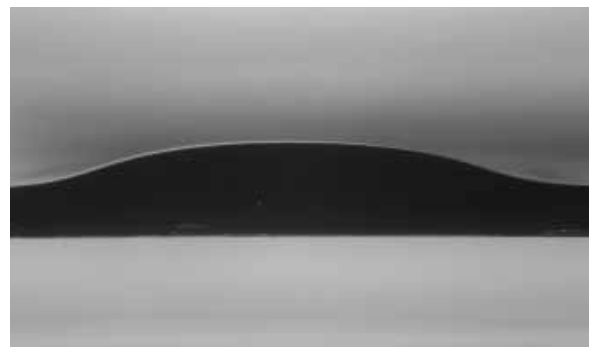


図3 レンズの断面写真

陽極酸化法によるレンズ形成の利点は、一般の半導体プロセスで使われるレジストパターンを用いて作製したシリコンレンズに比べ、高い凸形状 (約 300 μm) を形成できることである。また回折格子やフレネル形状などにする必要がないため、エネルギーロスを少なくすることができ、さらに屈折力の大きなレンズ曲面を作ることで、開口径が大きく短焦点のレンズが製造可能となる。くわえてシリコンウェハに大量にレンズを加工できるため、低コスト化が可能となる。

3.3 シリコンレンズの光学特性

作製したシリコンレンズの特性を評価し、光学特性の一例を表1に示す。シリコンは赤外線領域における屈折率が 3.42 と大きいことから、レンズの開口径が 3 mm、厚みが

約 0.3 mm でありながら、バックフォーカスが約 1 mm となる短焦点でかつ明るいレンズの製造が可能であることがわかる。

表 1 シリコンレンズの光学特性

レンズ材料	シリコン
屈折率	3.42
開口径	3 mm
レンズ厚み	約 0.3 mm
バックフォーカス	約 1.0 mm

4. 超低消費電流ASIC

4.1 超低消費電流ASICの概要

一般的にスリープ機能は、通常状態でまったく働いていない回路部分を完全に止めて必要なときだけ起動するという方法であるが、人体検知の信号処理回路の場合、人体検知に必要な回路は常時作動している必要があり、完全に止めることはできない。

そこで、回路全体を完全に止めてしまうのではなく、2段階の閾値電圧を設定することで、人体検知が可能な限界までに電流を下げた状態（スリープモード）で予備検知を行い、予備検知が行われたら即座に電流を増やして正常な状態（検知モード）に戻すことで本検知動作を行う独自のディープスリープ方式を開発した。

4.2 ディープスリープ方式

図 4 に ASIC 内部のブロック図を示す。焦電素子からの微弱な電流信号が IN 端子から入力され、I/V 変換部で電圧信号に変換してフィルタ機能を有する電圧増幅部で増幅する。この増幅した信号を比較器で所定の閾値と比較し、その振幅が所定の値を越えると人体検知信号を出力する。出力部は検出信号のハイレベルを内部電源電圧の値から外部電源電圧の値に変換するレベルシフタを有しており、PMOS トランジスタのオープンドレイン出力である。

図 5 にスリープモードから検知モードに移行して人体検出信号を出力するタイムチャートを示す。ここで (a) は電圧増幅部の出力信号と比較器における閾値電圧を示している。(b) は比較器の出力波形を、また (c) はモード制御部の出力波形を、そして (d) は最終出力波形を示している。横軸は (a) ~ (d) において共通な時間を表す。なお、(a) における VH1 と VL1 はスリープモードと検知モードの切替の閾値、VH3 は人体検知 ON の閾値、VH2 は人体検知 OFF の閾値を示している。

スリープモードと検知モードにおける電流の切替においては微弱な信号を高利得で増幅しているため、必要以上に切り替えると切替時の電圧変動により検知信号を出力して誤動作につながるおそれがある。そこで検知モードにおいてもできるだけ低消費電流になるように設計し、さらに電

流を下げるができる可能性のある部分を精査して限られた特定の部分のバイアス電流を切り替えることでモード間の移行を円滑にしている。これにより、消費電流がスリープ状態で 1 μ A（従来比 1/50）の超低消費電流化を実現している。

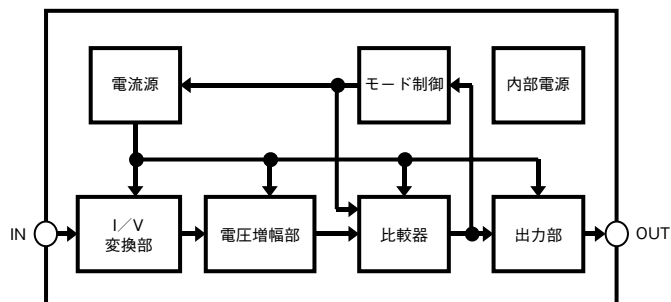


図 4 ASIC内部のブロック図

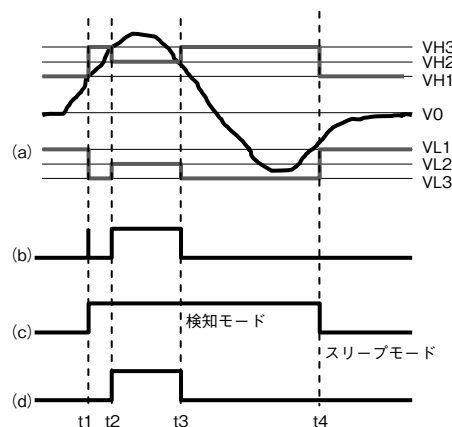


図 5 スリープ機能のタイムチャート

5. 立体部品内蔵技術

PIR モーションセンサの回路ブロックを小型化するためには、ASIC とコンデンサなどの外付部品を高密度に実装すること、およびセンサ感度を確保するため焦電素子の熱検出部の下側に凹形状の熱絶縁構造を設ける必要がある。そこで、当社独自のシート状封止材を用いて基板内部にチップ部品を埋め込むことで高密度実装を行い、かつ同時に表面に立体形状を形成することができる立体部品内蔵技術を開発した²⁾。

このシート状封止材は、硬化前は B ステージ（液状樹脂を指触乾燥程度にした状態）のシート状で扱うことができ、積層成形時の流動性が非常に高く、ボイドがほとんど発生しない特徴を有している。この流動充填性を活かして、積層成形時に立体構造をもつ金型形状をシート状封止材表面に転写することで形状形成を行う。図 6 に立体部品内蔵技術を用いた回路ブロックの断面構造を示す。

この形成工程では、まず内層基板にチップ部品を実装し、シート状封止材を重ねて立体構造をあらかじめ作っておき、その後真空引きをしながら加熱・加圧を行う。シート状封

止材が B ステージ状態から加熱により流動し、部品や基板の隙間に充填され、さらに立体構造をもつ部品内蔵基板を形成する。硬化・成形した基板は、一般のプリント基板と同じようにパターン形成ができ、露光、エッチング、めっきなどの処理を行い回路基板状にする。この基板に ASIC、および焦電素子を実装することにより回路ブロックが完成する。この立体部品内蔵技術により、回路ブロックの厚みを 1.7 mm にすることができる。

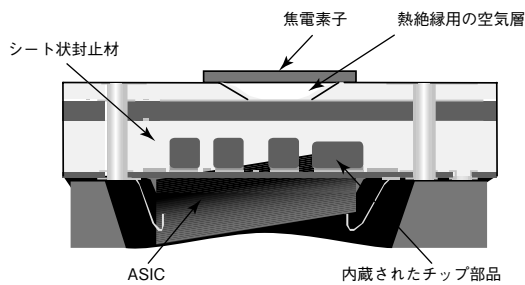


図6 立体部品内蔵技術を用いた回路ブロックの断面構造

6. 特性

開発した小型超低消費電流 PIR モーションセンサの特性と外形寸法を表 2 と図 7 に示す。

表2 開発したセンサの特性

検知方式	焦電型赤外線センサ
高さ	6 mm
パッケージ	TO-5
動作電圧範囲	2.4~6.0 VDC
消費電流	1 μ A (スリープモード Typ)
検知感度	4 $^{\circ}$ C 差以上 (3 m, 0.3~1.0 m/s)

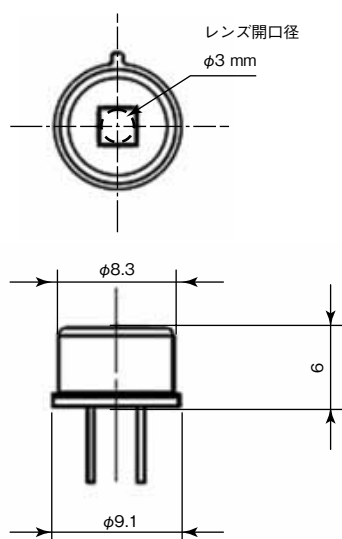


図7 開発したセンサの外形寸法図

TO-5 のキャンパッケージに直接シリコンレンズを実装し、回路部は立体素子内蔵型回路ブロックを用いて小型化

することで、レンズを含む全体の高さは 6 mm となり従来比 1/2 を実現している。またスリープ方式を用いた超低消費電流 ASIC により、消費電流はスリープモードで 1 μ A と従来比 1/50 の低消費化を達成している。さらにシリコンレンズの採用により、レンズの開口径が ϕ 3 mm と従来面積比 1/9 を実現している。

検知エリアを図 8 に示す。センサから 2.5 m 離れた位置において水平方向 2.7 m、垂直方向 1.5 m の大きさである。垂直方向角度は下向きに 5 $^{\circ}$ オフセットしている。

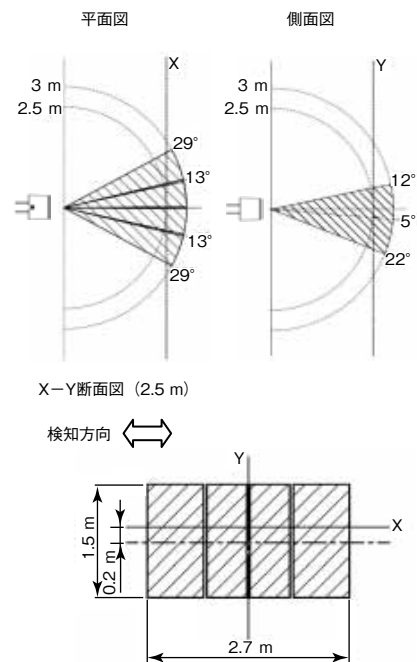


図8 開発したセンサの検知エリア

検知方向は、X-Y 断面図に示すように検知エリアは四つの検知ゾーンから構成されている。隣り合う二つの検知ゾーンを水平方向に横切るように移動する方向を検知方向とする。検知感度はターゲットサイズ 70 \times 25 cm、移動速度 0.3 ~ 1.0 m/s において、検知温度差 4 $^{\circ}$ C 以上を満足しており、通常の人体の移動検知に十分な性能を持っていることがわかる。

開発した小型超低消費電流の PIR モーションセンサを搭載したワイアレスモーションセンサのモデルを図 9 に示す³⁾。このワイアレスモーションセンサの外形は 42 \times 30 \times 9 mm の小型化を達成しており、図 7 に示したセンサを内蔵することによって光学系の開口部形状がフラットで、かつその大きさも目立たないものに仕上がっている。このように、開発したセンサは従来のモーションセンサの光学系と比較してデザインの自由度を飛躍的に向上させるものといえる。

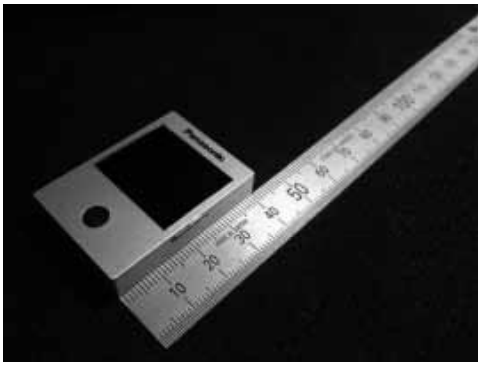


図9 ワイヤレスモーションセンサ

7. あとがき

PIR モーションセンサにおいて、陽極酸化法によるバックフォーカス 1 mm、開口径 ϕ 3 mm (従来面積比 1/9) のシリコンレンズ、ディープスリーブ方式による消費電流 1 μ A (従来比 1/50) の ASIC、および立体部品内蔵方式による小型回路ブロックの開発によって、高さ 6 mm (従来比 1/2) の小型で超低消費電流を実現した。

このセンサは、移動速度 0.3 ~ 1.0 m/s の範囲で 70 × 25 cm のターゲットに対して検知温度差 4 $^{\circ}$ C 以上を示すことから、通常の人体の移動検知に十分な性能を有している。

今後はより低コストと高信頼性を追求し、モーションセンサの一層の普及により、省資源・省エネルギー化の一助になるよう努力したい。

*参考文献

- 1) 井狩 素生, 高田 裕司, 桐畑 慎司: 超小型 PIR 人体検知センサ「NaPiOn」の開発, 松下電工技報, No. 64, p. 52-58 (1998)
- 2) 馬場 大三, 福家 直仁, 高下 博光, 角 貞幸: 部品内蔵で超小型モジュールを実現するシート状封止材, 松下電工技報, Vol. 53, No. 3, p. 77-86 (2005)
- 3) 吉木 和久, 畑谷 光輝, 長田 雅裕, 福井 卓, 杉野 聡, 林 雅則: 電池交換不要なワイヤレス人体センサ, 松下電工技報, Vol. 55, No. 1, p. 36-41 (2007)

◆執筆者紹介



西川 尚之

情報機器 R & D センター
技術士 (機械部門)



畑谷 光輝

情報機器 R & D センター



本多 由明

新規商品創出技術開発部



角 貞幸

新規商品創出技術開発部



上津 智宏

情報機器ものづくり・調達センター