

MEMS技術による小型高感度赤外線アレイセンサ

Small-Sized, Highly Sensitive Infrared Array Sensor Using MEMS Technology

山中 浩* 吉田 岳司*
Hiroshi Yamanaka Takeshi Yoshida

赤外線アレイセンサは、物体から放射される赤外線をMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術で形成された画素で受光し電圧に変換する機能をもつもので、断熱性の高い薄膜片持ち梁構造で画素を形成することで、小型で高感度なセンサを実現した。

An infrared array sensor is an infrared ray detector which has multiple elements. This sensor converts infrared ray energy to the value of the temperature of an object. Each pixel has a thermally isolated thin-film structure; as a result, an infrared array sensor with small size and high sensitivity is developed.

1. 赤外線アレイセンサ技術の概要

赤外線アレイセンサは、物体から放射される赤外線を受光して、温度分布データ（熱画像）を出力するセンサである。赤外線を検知する部分には、画素がアレイ状に配置されているため、レンズを用いて結像させることで熱画像が得られる。画素は、シリコンウエハ上に電気配線、半導体素子などの電気・電子機能と、MEMS技術を用いた構造体が一体で形成されており、この構造体を微細化することにより小型で高感度な特性が得られる。画素の概略構造を、第1図に示す。画素の受光部は、薄膜状の構造体となっており、熱電対の測温接点を受光部に配置し、基準接点をシリコン基板上に配置することで両接点間の熱絶縁性を確保している。これにより、赤外線

が照射されたときに両接点間に温度差が生じ、熱電対により熱電変換される。

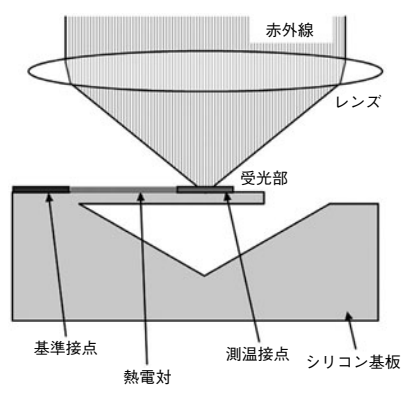
2. 赤外線アレイセンサの高感度化

赤外線アレイセンサの高感度化には、測温接点と基準接点の温度差を大きくすること、つまり赤外線エネルギーに対する測温接点の温度変化量を増大させることが有効であり、そのためには微細な断熱構造体形成が不可欠となる。以下に性能設計および製造工程について解説する。

赤外線センサの感度 R_V は (1) 式で表される。

$$R_V = \frac{\eta_{IR} \cdot A \cdot S \cdot n}{G \sqrt{1 + \omega^2 \tau_T^2}} \dots\dots\dots (1)$$

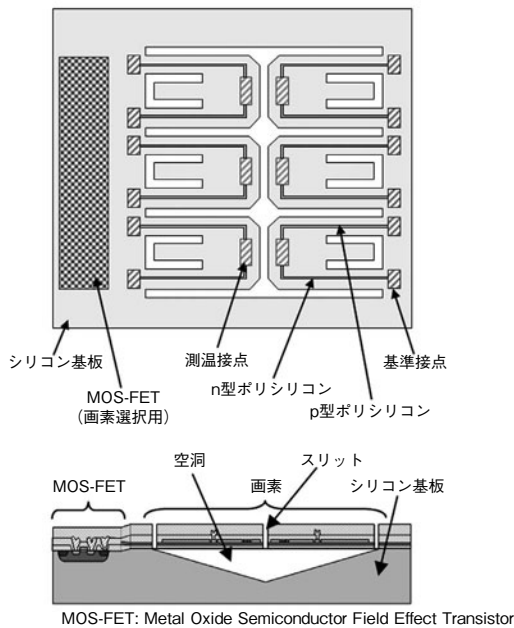
η_{IR} : 赤外線吸収率, A : 画素面積,
 S : ゼーベック係数, n : サーモパイルの対数,
 G : 熱コンダクタンス, τ_T : 熱時定数,
 ω : 入射赤外線の角周波数



第1図 画素の概略構造
Fig. 1 Approximate structure of pixel

高感度化には熱コンダクタンス低減が重要であり、そのためにMEMS技術により受光部を薄膜構造体で形成する。同時に量産性に優れた構造とすることも重要である。従来はシリコン基板を、裏面（受光部が形成されている面とは異なる面）から画素エリアの厚み方向全体をエッチングすることで薄膜構造体を形成するが、この構造ではウエハを1枚ずつエッチングするドライエッチング工法となり、プロセスコストが増大してしまう。そこで、多数枚のウエハを一括でエッチングできる安価なウェットエッチング工法を開発し、第2図に示すようにシリコン基板表面からシリコン基板の厚み方向の一部をエッチ

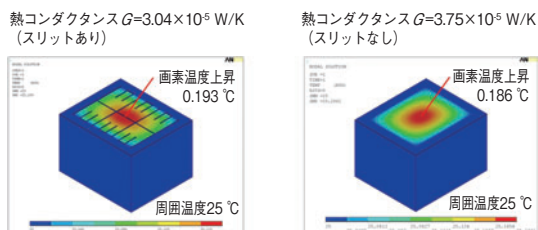
* デバイス社 電子部品・電子材料事業グループ
Electronic Components and Materials Business Group, Industrial Devices Company



第2図 画素構造
Fig. 2 Structure of sensor pixel

ングする構造とした。

この構造は、量産性が高いものの、薄膜構造体とシリコン基板のエッチングされた面との距離が短くなり断熱性が低下することが懸念されるが、薄膜構造体の平面形状の最適化により、熱コンダクタンス低減を実現した。ここで、熱コンダクタンスの導出には熱解析を用い、その結果を第3図に示す。熱解析では、従来の構造（第3図右）と新しく設計した構造（第3図左）の比較を行い、新しく設計した構造の方が画素温度がより上昇し、熱コンダクタンス低減が図られていることがわかる。また、受光部の温度上昇が 10^{-3} Kオーダーであることから自然対流の影響は無視できると考え、画素周囲の気体との熱交換に熱伝達は考慮せず、熱伝導のみ考慮して熱解析を実施した。



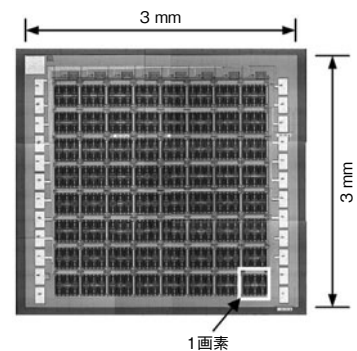
第3図 画素の熱解析
Fig. 3 Thermal analysis of pixel

ここで、さらに詳細に画素の構造を説明する。画素は6個の片持ち梁（ばり）に分割されており、さらに片持ち梁の一部をシリコン基板から分離させるスリットをもつ構造としている。これにより、画素の測温接点と基準接点との間に、高い断熱性をもたせることが可能となる。熱解析の結果から、スリットをもたない薄膜構造と比較すると、熱コンダクタンスを18.9%低減させることができた。また、1つの片持ち梁には、p型ポリシリコン配線とn型ポリシリコン配線からなる熱電対を9対直列に接続したサーモパイルを形成しており、さらに6個の片持ち梁に形成したサーモパイルを互いに直列に接続することで、54対のサーモパイルを形成し高感度化している。第2図では、簡略化して1つの片持ち梁に1対のみ形成した図としている。

なお、サーモパイル材料にポリシリコンを用いたのは、シリコン半導体工程との親和性が高いためである。分離のために形成したスリットは、シリコン異方性エッチング工程で測温部裏側に空洞を設けるときのエッチング液侵入溝としても使われる。

3. 64画素赤外線アレイセンサの実現

エリアの温度分布またはエリア内の人検知を行うために、小型で高感度な画素設計技術および製造技術を基にした画素の二次元アレイ化を行った。各画素には、画素選択用のMOS-FETを隣接して形成しており、画素を選択して順次出力できる構成としている。第4図に、縦8、横8の二次元マトリクス状に64個の画素を配置したチップを示す。チップサイズは3 mm×3 mmで、画素ピッチは約300 μmという小型でありながら、赤外線アレイセンサのNETD（雑音等価温度差）は0.5 °C以下という、赤外線アレイセンサとしてはトップレベルの高い性能を実現した。なお、ICでは、増幅、アナログ→デジタル変



第4図 二次元マトリクス状画素の写真
Fig. 4 Photograph of matrix pixels

特
集

換機能のほかに、画素の信号と温度補償用サーミスタの信号から、赤外線を放射している物体の温度に変換する演算機能をもっており、演算結果はI²C インターフェイスを通して温度分布データ（熱画像）として外部に出力される。

4. 動向と展望

非接触で温度分布データ（熱画像）が得られる赤外線アレイセンサは、機器の運転の高効率化（省エネ運転）や利便性の向上を図るうえで重要なデバイスである。エアコン、電子レンジ、冷蔵庫といった温度制御を必要とする生活家電機器の運転制御用温度センサへの適用をはじめ、今後は人の位置や存在を検知して制御する照明器具や電子看板などへの応用が期待される。一方で、MEMS技術の進展により、画素の断熱性の向上や、赤外線吸収率の向上など、画素の高性能化、小型化に向けた開発が進んでおり、今後いっそう多くの分野に普及が進むと考えられる。