

サブ波長構造吸収膜を有する赤外線センサ

太田, 最実
日産自動車 (株)

新川, 吉和
OKIセミコンダクタ宮崎(株)

福本, 貴文
日産自動車 (株)

福山, 康弘
日産自動車 (株)

他

<https://hdl.handle.net/2324/7361472>

出版情報 : IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines. 130 (7), pp.327-332, 2010-07-01. 電気学会
バージョン :
権利関係 : © 電気学会 2010



A Far-Infrared Sensor with a Subwavelength Structured Absorber

Yoshimi Ohta Member (Nissan Motor Co., Ltd., ohta-yoshimi@mail.nissan.co.jp)

Yoshikazu Arakawa Non-member (Oki Semiconductor Miyazaki Co., Ltd., arakawa246@mzk.okisemi.com)

Takafumi Fukumoto Non-member (Nissan Motor Co., Ltd., ta-fukumoto@mail.nissan.co.jp)

Yasuhiro Fukuyama Non-member (Nissan Motor Co., Ltd., ya-fukuyama@mail.nissan.co.jp)

Masaki Hirota Member (Nissan Motor Co., Ltd., m-hirota@mail.nissan.co.jp)

Keywords : infrared, sensors, thermoelectric, subwavelength, absorptivity

We fabricated a thermoelectric far-infrared sensor with a subwavelength structured (SWS) absorber. The SWS effectively reduces surface reflection loss over a wide spectral region and enhances the absorptivity. We experimentally observed that the infrared sensor with the SWS absorber had about 20 % higher responsivity than that with the flat surface absorber.

An infrared sensor is an extremely useful means of human body detection and non-contact thermometry because it can detect the presence of a person even at night without any illumination.

The wavelength of infrared radiation emitted by the human body lies in the far-infrared spectral region around 10 μm . It requires some ingenuity to detect infrared radiation because of its extremely low energy level compared with that of visible light. We have been developing a high performance and low-cost infrared sensor with a structure and materials compatible with the conventional CMOS process.

The design approach of the SWS absorber is based on a differential method that is called finite difference time domain method (FDTD).

Fig. 1 (a) shows the infrared sensor with the SWS absorber. Fig. 1 (b) shows that with the flat surface absorber. The size of the sensor, the absorber, and the region of the SWS are set at 100 μm $\times$ 100 μm , 75 μm $\times$ 75 μm and 55 μm $\times$ 55 μm , respectively. The SWS absorber in Fig. 1 (a) consists of dots with pitch $W = 4.0$ μm , dot size $d = 2.5$ μm and dot height $h = 1.9$ μm . Both absorbers are made of SiO_2 and SiN . Fig. 2 shows the cross sectional views

of the SWS absorber and the flat surface absorber.

The absorber is thermally isolated from the Si substrate. Two L type beams including thermopiles support the absorber. The thermopiles are made of p-type or n-type polysilicons. When infrared radiation rises the temperature of the absorber, the thermocouples convert its temperature rise into electricity.

Fig. 3 shows the measured absorption properties. In the range of 8-13 μm wavelength, suitable for human body detection, the average absorptivities of the SWS absorber and the flat surface absorber were 81 % and 64 %, respectively.

The responsivities of the infrared sensor with the SWS absorber and that with the flat surface absorber were 3900 V/W and 3100 V/W, respectively. We experimentally observed that the SWS absorber improve the responsivity of the sensor by about 20 % compared to the flat surface absorber.

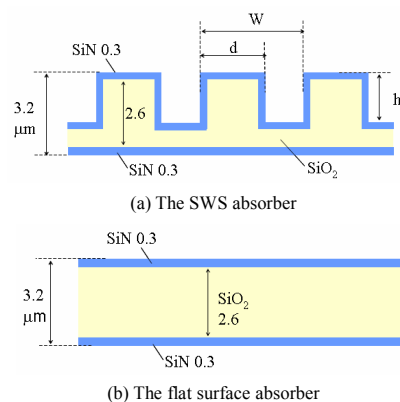


Fig. 2. Schematic cross sectional views.

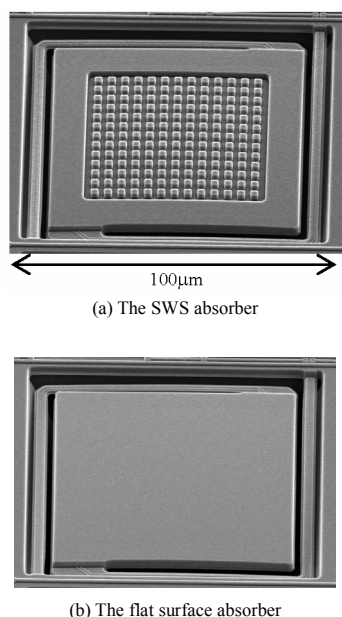


Fig. 1. Micrographs of the fabricated infrared sensors.

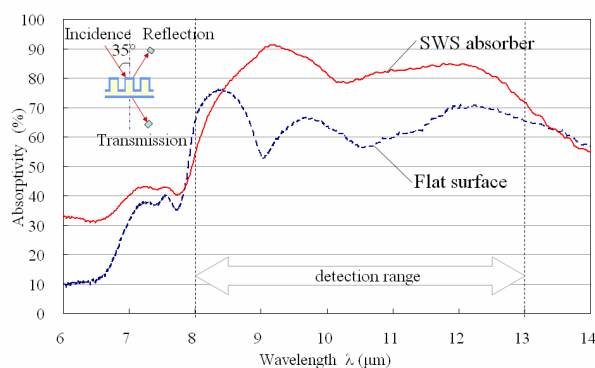


Fig. 3. Absorptivities of the SWS absorber and the flat surface absorber. Dot period $W = 4.0$ μm , dot size $d = 2.5$ μm and dot height $h = 1.9$ μm .

サブ波長構造吸収膜を有する赤外線センサ

正員 太田 最実*

非会員 新川 吉和**

非会員 福本 貴文*

非会員 福山 康弘*

正員 廣田 正樹*

A Far-Infrared Sensor with a Subwavelength Structured Absorber

Yoshimi Ohta*, Member, Yoshikazu Arakawa**, Non-member, Takafumi Fukumoto*, Non-member,

Yasuhiro Fukuyama*, Non-member, Masaki Hirota*, Member

A thermoelectric far-infrared sensor with a subwavelength structured (SWS) absorber is presented. The sensor has a low cost potential because it is fabricated with the conventional CMOS manufacturing process and micromachining technology. To increase the responsivity of the sensor, we have developed the SWS absorber that has high infrared absorptivity of more than 80 %. The sensor achieved high responsivity of 3,900 V/W. The sensor has external dimensions of $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$. The fabricated SWS absorber has $4\ \mu\text{m}$ pitch and $1.9\ \mu\text{m}$ height. The SWS absorber effectively reduces surface reflection loss over a wide spectral region and enhances the absorptivity. We observed that the sensor with the SWS absorber had 20 % higher responsivity than that with the flat surfaced absorber.

キーワード：赤外，センサ，熱電，サブ波長構造，吸収率

Keywords : infrared, sensors, thermoelectric, subwavelength, absorptivity

1. はじめに

8-13 μm の赤外線を検出する赤外線センサは、人体から輻射される赤外線を検知することができる。そのため、照明光不要で昼夜を問わず人体の検知が可能であることや、非接触で温度測定が可能であることから、自動車の夜間歩行者警報システム⁽¹⁾⁽²⁾や、エアコンなどの用途⁽³⁾に有効である。

微弱なエネルギーである赤外線を検知するには高度な赤外線検出技術が必要となるが、近年のマイクロマシニング技術の発展により、冷却型と遜色ない性能をもつ非冷却型の赤外線センサが開発されてきている^{(4)~(8)}。

サーモパイル型赤外線センサ^{(9)~(15)}は、非冷却で使用でき、チョップやペルチェ素子が不要であることに我々は注目し、シリコン CMOS プロセスと両立する材料と構造を用いて、低コストかつ高感度なサーモパイル型赤外線センサの開発を行ってきた⁽²⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

赤外線吸収膜には、金黒膜⁽²⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾や、シリコン材料であ

る SiN⁽¹²⁾や SiO₂⁽¹³⁾などが用いられる。金黒膜は、高い吸収率を持つが専用の蒸着装置が必要なことや、綿状であるため均一な膜形成が難しく大口径化の面で不利であった。一方、SiO₂や SiN は、通常表面が平坦な面で形成されており、表面反射率が高く高感度化には不利であった。

近年、材料表面に波長より小さいサイズで凹凸の微細構造を周期的に形成することで、吸収、透過波長を任意に制御する方法⁽¹⁶⁾や、表面反射が広範な波長領域で低減する現象⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾、表面プラズモンポラリトン^{(19)~(21)}または表面フォノンポラリトン⁽²²⁾⁽²³⁾との共鳴結合により、吸収率または輻射率が増加する現象が報告されている。

今回サブ波長構造吸収膜 (Subwavelength structured (SWS) absorber) を適用した、シリコンプロセス材料のみからなるサーモパイル型赤外線センサを初めて作製した。SWS 吸収膜の寸法設計は、FDTD シミュレーションを用いて行い、センサの作製はシリコン CMOS プロセスを用いた。作製した吸収膜の吸収率の測定とセンサ感度の評価を行い、SWS 吸収膜による吸収率の向上と、センサの高感度化を確認したので報告する。

2. サブ波長構造 (SWS) 吸収膜の設計

〈2・1〉 サブ波長構造 (SWS) 吸収膜の構造 Fig. 1 (a) に示すように、今回用いる SWS 吸収膜は、ドットサイズ d 、

* 日産自動車 (株)
〒237-8523 神奈川県横須賀市夏島町 1
Nissan Motor Co., Ltd.

1, Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-8523
** OKI セミコンダクタ宮崎 (株)
〒889-1695 宮崎県宮崎郡清武町大字木原 727
Oki Semiconductor Miyazaki Co., Ltd.
727, Kihara, Kiyotake-cho, Miyazaki 889-1695

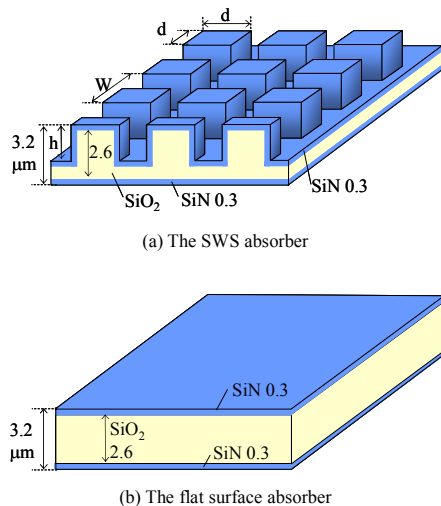


Fig. 1. Schematic diagrams of absorbers.

高さ h の直方体のドットを周期 W でアレイ状に配列した構造体である。Fig. 1 (b)には、比較に使用する平坦な吸収膜の斜視図を示す。平坦な吸収膜の膜構造は、膜厚 $3.2 \mu\text{m}$ ($\text{SiN } 0.3 \mu\text{m}$, $\text{SiO}_2 2.6 \mu\text{m}$, $\text{SiN } 0.3 \mu\text{m}$) の3層構造である。SWS吸収膜は、この平坦な吸収膜をドライエッチングでパターンニングすることにより形成する。

今回の吸収膜は、 SiO_2 と SiN とから成る。それぞれ Si-O , Si-N の振動モードの吸収があり、 SiO_2 は $9.1 \mu\text{m}$ を中心に、 SiN は $11.5 \mu\text{m}$ を中心に吸収帯をもつ。

〈2・2〉 FDTD シミュレーション SWS 吸収膜の周期 W , 高さ h , ドットサイズ d の寸法設計を行うため、FDTD 法 (Finite difference time domain method) を用いて吸収率を求めた。FDTD 法は、空間をメッシュ化して Maxwell 方程式を解き、電場成分、磁界成分を計算する。任意の形状を比較的簡単に計算できるが、3次元空間の計算にはメモリと計算時間が膨大となるため今回は近似的に2次元空間で寸法設計を行った。

Fig. 2 (a) に、シミュレーションモデルを示す。黒枠が SWS 吸収膜である。入射光は、TM 偏光の単色平面波とし、吸収膜表面に垂直に上から下に入射した。なお境界条件として、 x 方向は周期条件、 y 方向は境界壁は吸収精度の高い完全吸収層 (PML) とした。 SiO_2 , SiN 膜の複素屈折率には、プラズマ CVD で堆積した SiO_2 膜と SiN 膜の値⁽²⁴⁾を用いた。実際に作製した膜の製法とは若干異なるが、光学特性はほとんど同じと考えられる為此の値を用いた。

Fig. 2 (b)に、周期 $W = 4.0 \mu\text{m}$, ドットサイズ $d = 2.0 \mu\text{m}$, 高さ $h = 1.7 \mu\text{m}$ の SWS 吸収膜と、平坦面の波長依存性を示す。検出波長 $8\text{--}13 \mu\text{m}$ ほぼ全域で SWS 吸収膜の吸収率が高いことが分かる。

次に入射波長 λ を $9.1 \mu\text{m}$ と固定し、寸法に対する依存性を計算した。人体から放射される赤外線が $9\text{--}10 \mu\text{m}$ でピークを取ること、 SiO_2 の吸収スペクトルが $9.1 \mu\text{m}$ でピークを持つことからこの波長を設定した。 SiO_2 の複素屈折率は $1.3+2.8i$, SiN の複素屈折率は $1.2+0.5i$ を用いた⁽²⁴⁾。

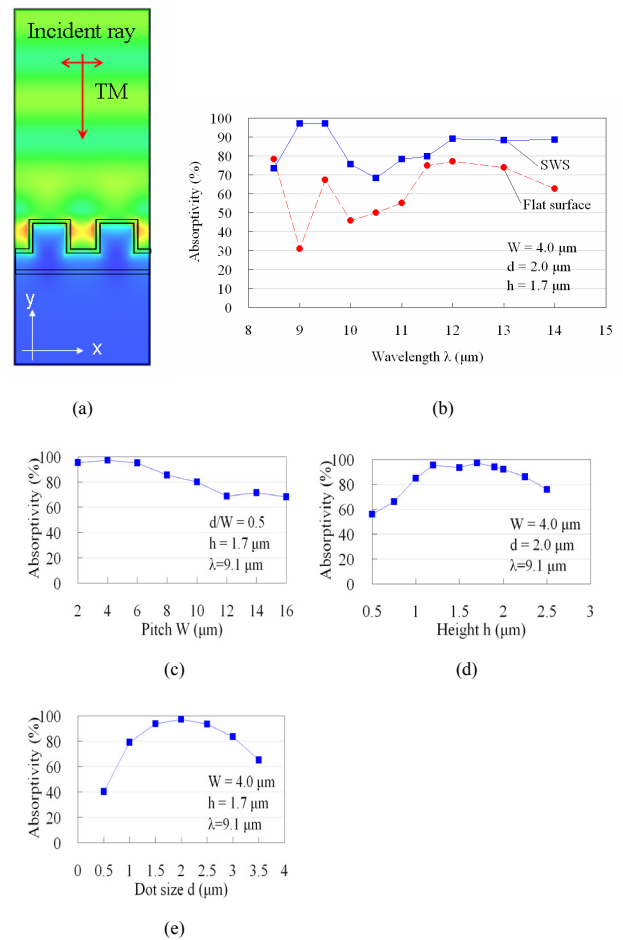


Fig. 2. (a) Simulation model. (b) The calculated spectral absorptivities for the flat surface (circle) and for the SWS absorber (square) with pitch $W = 4.0 \mu\text{m}$, dot size $d = 2.0 \mu\text{m}$ and height $h = 1.7 \mu\text{m}$. (c) The calculated absorptivity as a function of pitch W . (d) The calculated absorptivity as a function of height h . (e) The calculated absorptivity as a function of dot size d .

Table 1. Design parameters for infrared absorbers.

Sample	Dot pitch $W (\mu\text{m})$	Dot size $d (\mu\text{m})$	Dot height $h (\mu\text{m})$
No.1	4.0	2.5	1.7
No.2	4.0	2.0	1.7
No.3	4.0	1.5	1.7
No.4	Flat surface		

Fig. 2 (c)に、周期 W に対する吸収率の依存性を示す。 $h = 1.7 \mu\text{m}$, $d/W = 0.5$ に固定し、 W を $2\text{--}16 \mu\text{m}$ まで変化させ吸収率を求めた。 W が細くなるほど吸収が増え、最大値は $W = 4.0 \mu\text{m}$ に於ける吸収率 97% であった。そのため今回の設計では $W = 4.0 \mu\text{m}$ で設計した。

Fig. 2 (d)に、高さ h に対する吸収率の依存性を示す。 $W = 4.0 \mu\text{m}$, $d = 2.0 \mu\text{m}$ に固定し、 h を $0.5\text{--}2.5 \mu\text{m}$ まで変化させ吸収率を求めた。最大値は、 $h = 1.7 \mu\text{m}$ における 97% であ

った。そのため今回の設計では、 $h = 1.7 \mu\text{m}$ で設計した。

Fig. 2 (e) に、ドットサイズ d に対する吸収率の依存性を示す。 $W = 4.0 \mu\text{m}$, $h = 1.7 \mu\text{m}$ に固定し、 d を $0.5\text{--}2.5 \mu\text{m}$ まで変化させ吸収率を求めた。最大値は、 $d = 2.0 \mu\text{m}$ に於ける吸収率 97 % であった。

以上のシミュレーションの結果から、SWS 吸収膜の最適設計値は、周期 $W = 4.0 \mu\text{m}$, $d = 2.0 \mu\text{m}$, $h = 1.7 \mu\text{m}$ であることが分かった。

今回、Table 1 に示す設計値の 3 種類の SWS 吸収膜を有する赤外線センサ No. 1-3 と、参照用として平坦面の吸収膜の赤外線センサ No. 4 の計 4 種類作製した。

3. サーマパイル型赤外線センサ

〈3・1〉 サーマパイル型赤外線センサの構造 Fig. 3 (a)に Si 基板上に作製した赤外線センサの平面レイアウト模式図を、(b)に断面図を示す。サーモパイル型では、p 型、n 型 poly Si のゼーベック効果を用いて、赤外線吸収により加熱された吸収膜と Si 基板との温度差を検出する。吸収膜は、Si 基板から熱的に分離され、L 字型の 2 本の梁によって支持される。この梁の中にサーモパイルとなる p 型、n 型 poly Si が 1 本ずつ内蔵されており、計 2 対使用されている。また、吸収膜内のアルミ配線を通して、poly Si を pnpn の順で直列接続している。センサ、吸収膜のサイズは、それぞれ $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$, $75 \mu\text{m} \times 75 \mu\text{m}$ 。ドット状の SWS が形

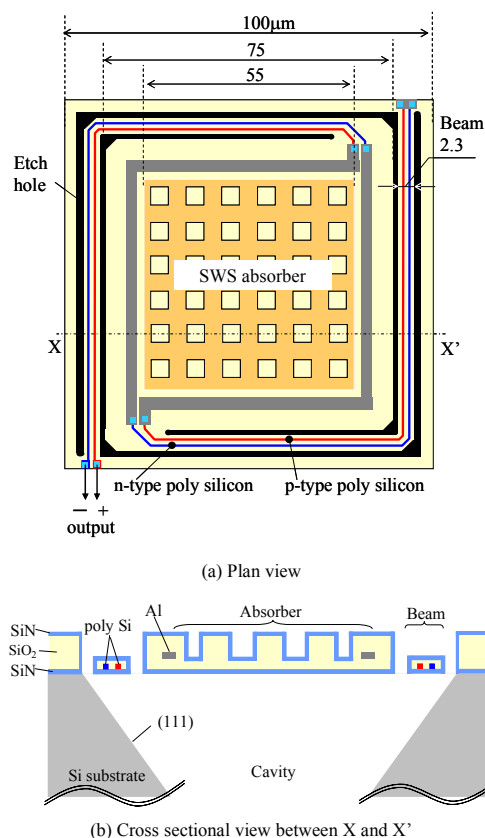


Fig. 3. Schematic diagram of the thermoelectric infrared sensor.

成された領域は、 $55 \mu\text{m} \times 55 \mu\text{m}$ 。エッチングホール、梁、poly Si の幅は、それぞれ $1.4 \mu\text{m}$, $2.3 \mu\text{m}$, $0.35 \mu\text{m}$ である。

サーモパイル型赤外線センサの感度 R (V/W)は(1)式で与えられる。

$$R = n\alpha R_{th}\eta F \quad (1)$$

ここで n はサーモパイルの対数であり、 α はサーモパイル一対当りのゼーベック係数 (V/K), R_{th} は、赤外線吸収膜と Si 基板との間の梁の熱抵抗値 (K/W) である。 η は赤外線吸収膜の吸収率、 F は開口率である。今回設計した赤外線センサは、 $n = 2$, $\alpha = 0.49 \text{ mV/K}$, $F = 57\%$, $\eta = 100\%$ の場合、感度 4300 V/W , 電気抵抗 $230 \text{ k}\Omega$ ⁽²⁾ の構造である。

〈3・2〉 作製プロセス 赤外線センサの作製プロセスを Fig. 4 に示す。図では、Fig. 3 (b)の左半分を図示する。

(a) 最初に Si (100) 基板上にエッチング犠牲層となる poly Si 膜、ダイヤフラムとなる Si_3N_4 膜 $0.3 \mu\text{m}$ を LP-CVD により形成し、サーモパイルとなる p 型、n 型の poly Si を形成する。さらに層間絶縁膜となる BPSG (Boron phosphorus silicate glass) 膜を $0.7 \mu\text{m}$ 堆積した後、配線のためのアルミを形成する。次に PE-TEOS (Plasma enhanced tetra ethyl ortho silicate glass) 膜を堆積し CMP (Chemical mechanical polishing) により平坦化することで、 $1.9 \mu\text{m}$ のメタル-メタル間の層間絶縁膜とする。この段階で $2.6 \mu\text{m}$ の SiO_2 膜が形成される。

(b) 次に、赤外線吸収膜部分の SiO_2 膜を高さ h だけドライエッチングすることにより吸収膜へのドット形成を行う。また同時に梁の薄膜化を行う。ただし平坦面の吸収膜の赤外線センサ No. 4 については、梁の薄膜化のみを行う。

その後さらにドライエッチングにより梁と吸収膜を分離

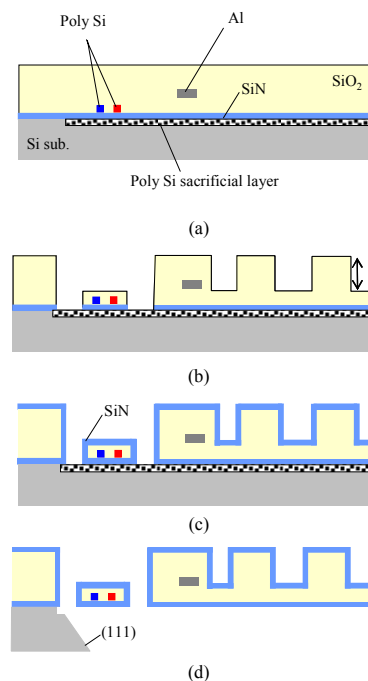


Fig. 4. Fabrication process.

する。

(c) この後、保護膜としてプラズマ CVD により PE-SiN 膜を全面に 0.3 μm 堆積した後、エッチングホール部をドライエッチングし poly Si エッチング犠牲層を露出させる。

(d) 最後に TMAH によって、poly Si エッチング犠牲層を除去し、Si の (111) 面が露出する逆ピラミッド型の空洞を形成し⁽²⁵⁾、吸収膜と梁を Si 基板から分離する。

以上の工程により、吸収膜が基板から熱的に分離された高断熱構造と、高赤外線吸収構造を形成することができる。

この構造は、元々平坦な面をエッチングして SWS 吸収膜としているため、吸収膜部分の熱容量が低減される。このため、No. 1-3 の赤外線センサは、No. 4 の赤外線センサよりも応答性が高いと考えられる。

また、シリコンプロセスを用いて作製することができることに加え、特殊な材料を使用しないため、量産化に適した構造である。

4. 結果と考察

〈4・1〉 作製した赤外線センサ 作製した赤外線センサは、Table 1 に示す 4 種類であった。作製サンプル間の違いは、吸収膜の構造のみであり、それ以外の梁の膜厚など構造はすべて同じ条件、同じ基板内で形成した。

Fig. 5 (a)に、作製した 3 種類のドットの中で、最も吸収率が高い測定結果であった No.1 の赤外線センサを示す。(b) には、SWS 吸収膜の拡大図を、(c)には Fig. 1 (b)の平坦な吸収膜を持つ No. 4 を示す。

Fig. 5 (b)に示したドットの拡大図から、ドットの仕上がり

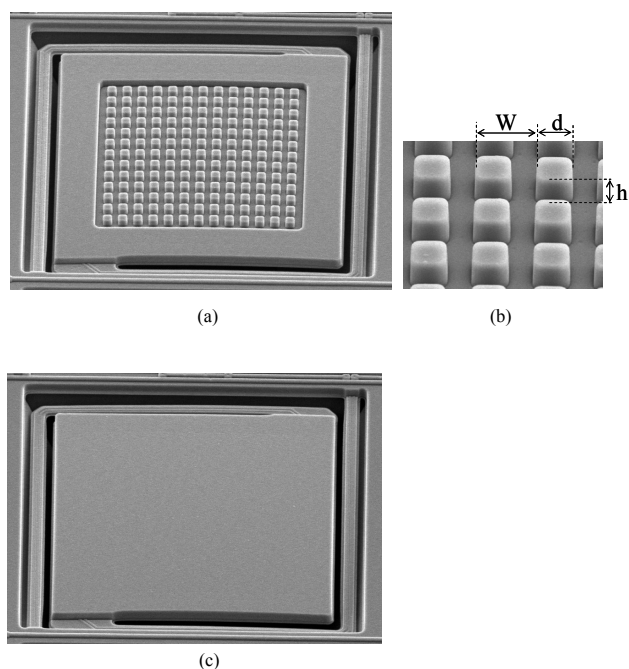


Fig. 5. Scanning electron micrographs with 45 deg tilted.

((a) The fabricated No. 1 infrared sensor. (b) Magnified view of the SWS absorber ($W = 4.0 \mu\text{m}$, $d = 2.5 \mu\text{m}$ and $h = 1.9 \mu\text{m}$). (c) The fabricated No. 4 infrared sensor.)

寸法は、周期 $W = 4.0 \mu\text{m}$ 、ドットサイズ $d = 2.5 \mu\text{m}$ 、高さ $h = 1.9 \mu\text{m}$ であった。高さ h の設計値 $1.7 \mu\text{m}$ からのずれは、SWS 吸収膜形成時のエッチングの際における製造バラツキによるものである。

〈4・2〉 SWS 吸収膜の分光特性 作製した赤外線センサの吸収膜の分光特性を、顕微 FTIR (スペクトラテック社製 IR μ S) を用いて測定した。入射光は、ビーム径 $\phi 30 \mu\text{m}$ 、入射角 35° 、無偏光の条件で吸収膜に入射した。SWS 吸収膜のドット周期は $4.0 \mu\text{m}$ と、赤外線センサの検出波長 8-13 μm の領域の半分以下の長さであるため、0 次以外の回折光はほとんど生じないことから、0 次の反射光強度と、透過光強度を測定した。

No.1 と No.4 のセンサの吸収膜の反射率、透過率、吸収率の波長特性を Fig. 6 に示す。

Fig. 6 (a)の反射率 $R(\lambda)$ の結果から、平坦な面に比べて SWS 化することで、反射が広範囲な領域にわたって大きく低減していることが分かる。

Fig. 6 (b)の透過率 $T(\lambda)$ の結果では、平坦な吸収膜のほうが 9-10 μm 付近では透過率がほぼ 0 である。これは反射が大きいと透過率が下がったこと、あるいはエッチングされていないので吸収材料の体積が多いため吸収が大きいために考えられる。10-14 μm ではほとんど差はない。

Fig. 6 (c)に吸収率を示す。吸収率 $A(\lambda)$ は Fig. 6 (a), (b) の反射率 $R(\lambda)$ と透過率 $T(\lambda)$ を用いて次の換算で求めた。

$$A(\lambda) = 100 - R(\lambda) - T(\lambda) \quad (2)$$

SWS 吸収膜の 8-13 μm の領域での吸収率の最高値は、90 %を達成しており、平均 81 %であった。一方平坦面の吸収率の最高値は、75 %であり平均 64 %であった。検出波長のほぼ全域で、吸収率が大きく向上したことが分かる。

この要因は、構造と材料物性に起因する事象が同時に起こるため、定量的に解析はできないが、SWS によって屈折率が段階的に変化したことにより屈折率の急変による表面反射が低減されたこと、9 μm 帯での Si-O の振動モード、11 μm 帯での Si-N の振動モードに起因する表面フォノンポラリトンとの共鳴結合により吸収が増加し反射が低減されたことが考えられる。

シミュレーションの結果 Fig. 2 (b)と測定値 Fig. 6 (c)は、検出波長 8-13 μm ほぼ全域で共に SWS 吸収膜の吸収率が高くなる傾向は一致するが、定量的には差異がある。この差異の原因として、形状、入射光の入射条件の違いが考えられる。

シミュレーションでは、ストライプ状の構造に TM 偏光で入射した計算条件であったのに対して、実際の測定では、ドット状の構造に無偏光で入射した条件であった。

さらに、シミュレーションでは吸収膜に対し垂直入射であったが、測定では測定装置の設定上入射角は 35° であった。これらが数値に差異が生じた主な原因と考えられる。

次に測定した波長毎の吸収率 $A(\lambda)$ の値に、人体から輻射スペクトルを重畳し、8-13 μm の範囲で積分することで、

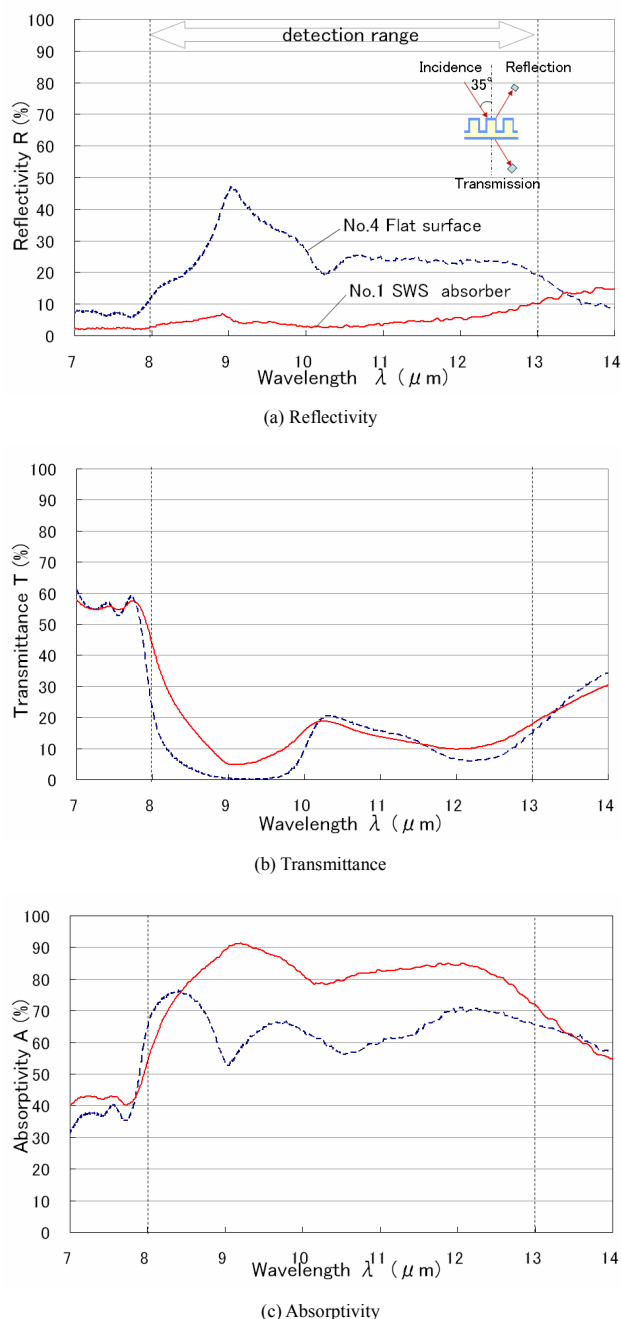


Fig. 6. Measured spectral properties of the SWS absorber No. 1 (solid line) and the flat surface absorber No. 4 (dashed line).

人体からの輻射エネルギーに対するエネルギー吸収率を求めた。算出においては、(3)式を用いた。

$$E = \int_8^{13} W(\lambda) A(\lambda) d\lambda / \int_8^{13} W(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (3)$$

E は、エネルギー吸収率 (%), $W(\lambda)$ は黒体から輻射される単位面積当たりの分光放射発散度 ($Wcm^{-2}\mu m^{-1}$) であり、(4)式から求められる。

$$W(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

h はプランク定数 (6.63×10^{-34} Js), c は光速 (3.00×10^8 m/s),

k はボルツマン定数 (1.38×10^{-23} J/K), T は温度であり 309 K を用いた。

(3), (4)式を用いてエネルギー吸収率 E を計算した結果, No. 1 の SWS 吸収膜は 82 %, No. 4 の平坦面の吸収膜は 65 % であり, 相対値として 26 % エネルギー吸収率を向上させることに成功した。

また今回他に作製した No. 2, No. 3 の SWS のエネルギー吸収率は, それぞれ 78 %, 77 % であり, No.1 の 82 % より小さいが, 光学特性も含めて大差無い結果であった。

〈4・3〉 赤外線センサの感度測定 No. 1 のエネルギー吸収率 82 % と, No. 4 のエネルギー吸収率 65 % を, (1) 式の η に代入することで, No. 1, No. 4 の赤外線センサの感度計算値は, それぞれ 3500 V/W, 2800 V/W となる。

No.1 と No.4 の 2 種について, それぞれ 3 個ずつ感度測定を行った。測定は, 大気への熱拡散を防ぐため 0.1 Pa 以下の真空槽内に測定サンプルを設置し, Ge 窓を通して 200 °C の黒体炉から赤外線を輻射した。サンプルからの出力電圧を真空槽から取り出した後, 2000 倍に増幅し電圧をオシロスコープで測定し感度を求めた。

測定の結果, SWS 吸収膜を持つ No.1 は, 3900 V/W。平坦表面吸収膜を持つ No.4 は, 3100 V/W と 1.2 倍出力電圧が向上することを確認した。電気抵抗は, 共に 270k Ω であった。それぞれ 3 個の測定試料での感度, 電気抵抗のパラッキは, 5 % 以内であった。計算値よりも測定値の方が感度, 電気抵抗ともに高い結果となった。これはゼーベック係数 α , 熱抵抗値 R_{th} の違いが原因と考えられるが個別の差異については今後解析が必要である。

以上の結果により吸収膜の吸収率向上によるセンサの高感度化を実証することができた。

5. まとめ

低コスト化が可能なシリコン CMOS プロセスを用いて作製できる構造と材料を用い, 高感度化を目的として初めてサブ波長構造を有するサーモパイル型赤外線センサを作製した。この SWS 構造により表面反射が低減された結果, 平坦な面の場合と比べ, 波長 8-13 μm の範囲においてエネルギー吸収率が 65 % から 82 % へ向上した。また, 実際にこの効果によりセンサ感度が, 1.2 倍向上することを確認し, 3900 V/W を達成した。

これにより低コスト化かつ高感度化が可能な赤外線イメージセンサを実現することが可能であると考えている。

(平成 21 年 9 月 17 日受付, 平成 22 年 2 月 11 日再受付)

文 献

- (1) S. Klapper, R. Kyle, R. Nicklin, and A. Kormos : "Night Vision - Changing the Way We Drive", SPIE, Vol.4360, pp.117-121 (2001)
- (2) M. Hirota, Y. Ohta, and Y. Fukuyama : "Low-cost thermo-electric infrared FPAs and their automotive applications", SPIE, Vol.6940, 694032 (2008)
- (3) 辻 正文・大久保直子・斎藤誠則・浅岡 昭・廣田正樹:「パーソナルエアコンシステムのための乗員表面温度検出の研究」, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.126-05, pp.23-26 (2005)

- (4) C. Hanson : "Uncooled thermal imaging at Texas Instruments", SPIE, Vol.1689, pp.330-339 (1993)
- (5) R. A. Wood, C. J. Han, and P. W. Kruse : "Integrated uncooled IR detector imaging arrays", Proc. of the IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop, pp.132-135 (1992)
- (6) J. J. Yon, E. Mottin, L. Biancardini, L. Letellier, and J. L. Tissot : "Infrared Microbolometer Sensors and Their Application in Automotive Safety", Advanced Microsystems for Automotive Applications 2003, Springer Verlag, ISBN 3-540-00597-8, pp.137-157 (2003)
- (7) T. Ishikawa, M. Ueno, K. Endo, Y. Nakaki, H. Hata, T. Sone, M. Kimata, and T. Ozeki : "Low-cost 320×240 uncooled IRFPA using conventional silicon IC process", SPIE, Vol.3698, pp.556-564 (1999)
- (8) W. Terre, J. Frank, T. Fitzgibbons, and J. Heath : "Expendable infrared sensors", SPIE, Vol.4130, pp.263-270 (2000)
- (9) A. W. Herwaarden and P. M. Sarro : "Thermal sensors based on the Seebeck effect", Sensors and Actuators A, Vol.10, pp.321-346 (1986)
- (10) R. Lenggenhanger, H. Baltes, and T. Elbel : "Thermoelectric infrared sensors in CMOS technology", Sensors and Actuators A, Vol.37-38, pp.216-220 (1993)
- (11) T. Kanno and M. Saga : "Uncooled infrared focal plane array having 128×128 thermopile detector elements", SPIE, Vol.2269, pp.450-459 (1994)
- (12) M. C. Foote and S. Gaalema : "Progress towards high-performance thermopile imaging arrays", SPIE, Vol.4369, pp.350-354 (2001)
- (13) M. Müller, W. Budde, R. Gottfried-Gottfried, A. Hflbel, R. Jume, and H. Kuck : "A thermoelectric infrared radiation sensor with monolithically integrated amplifier stage and temperature sensor", Sensors and Actuators A, Vol.54, pp.601-605 (1996)
- (14) M. Hirota and S. Morita : "Infrared sensor with precisely patterned Au-black absorption layer", SPIE, Vol.3436, pp.623-634 (1998)
- (15) M. Hirota, Y. Nakajima, M. Saito, and M. Uchiyama : "120×90 element thermoelectric infrared focal plane array with precisely patterned Au-black absorber", Sensors and Actuators A, Vol.135, pp.146-151 (2007)
- (16) D. W. Peters, G. R. Hadley, A. A. Cruz-Cabrera, L. I. Basilio, J. R. Wendt, and S. A. Kemme : "Infrared frequency selective surfaces for sensor applications", SPIE, Vol.7298, 72983L (2009)
- (17) C. G. Bernhard : "Structural and functional adaptation in a visual system", Endeavour 26 pp.79-84 (1967)
- (18) S. J. Wilson and M. C. Hutley : "The optical properties of 'moth eye' antireflection surfaces", Opt. Acta, 29, pp.993-1009 (1982)
- (19) H. R. Stuart and D. G. Hall : "Enhanced Dipole-Dipole Interaction between Elementary Radiators Near a Surface", Phys. Rev. Lett. 80, pp.5663-5666 (1998)
- (20) F. Marquier, J. Greffet, S. Collin, F. Pardo, and J. Pelouard : "Resonant transmission through a metallic film due to coupled modes", Opt. Express, Vol.13, Issue 1, pp.70-76 (2005)
- (21) J. Cesario, R. Quidant, G. Badenes, and S. Enoch : "Electromagnetic coupling between a metal nanoparticle grating and a metallic surface", Opt. Lett. Vol.30, Issue 24, pp.3404-3406 (2005)
- (22) J. J. Greffet, R. Carminati, K. Joulain, J. P. Mulet, S. Mainguy, Y. Chen : "Coherent emission of light by thermal sources", Nature, 416, pp.61-64 (2002)
- (23) N. Dahan, A. Niv, G. Biener, V. Kleiner, and E. Hasman : "Space-variant polarization manipulation of a thermal emission by a SiO₂ subwavelength grating supporting surface phonon-polaritons", Appl. Phys. Lett. 86, 191102 (2005)
- (24) N. Neumann, M. Ebermann, K. Hilleran, and S. Kurth : "Tunable infrared detector with integrated micromachined Fabry-Perot filter", Proc. SPIE, Vol.6466, 646606 (2007)
- (25) M. Suzuki, K. Makino, A. Tanaka, R. Asahi, O. Tabata, S. Sugiyama, and M. Takigawa : "An Infrared detector using poly-silicon p-n junction diode", Technical Digest of the 9th Sensor Symposium, pp.71-74 (1990)

太田 最 実



(正員) 1977年2月18日生。1999年3月，京都大学工学部物理工学科卒業，2001年3月同大学大学院工学研究科機械物理工学専攻修士課程修了。現在，日産自動車(株)総合研究所にて車載用赤外線イメージセンサの開発に従事。

新 川 吉 和



(非会員) 1959年11月28日生。1985年3月，電気通信大学物理工学科卒業。同年沖電気工業(株)入社。以来，半導体プロセス技術開発，赤外線センサの開発に従事。現在，OKIセミコンダクタ宮崎(株)生産本部デバイス技術部 MEMS技術グループ。

福 本 貴 文



(非会員) 1977年2月27日生。2000年，大阪大学工学部電子制御機械工学科卒業。2002年3月同大学大学院工学研究科機械システム工学専攻修士課程修了。現在，日産自動車(株)総合研究所にて車載用赤外線イメージセンサの実装開発に従事。

福 山 康 弘



(非会員) 1976年11月20日生。1999年3月，豊橋技術科学大学工学部情報工学課程卒業，2001年3月同大学大学院工学研究科修士課程情報工学専攻修了。現在，日産自動車(株)総合研究所にて車載用赤外線カメラおよび車載システムの開発に従事。

廣 田 正 樹



(正員) 1962年12月27日生。1985年，早稲田大学理工学部電気電子工学科卒業，1987年東京工業大学理工学研究科電子物理工学専攻修士課程修了，2006年同大学博士課程修了。1987年日産自動車株式会社に入社，現在に至る。自動車用パワーデバイス，赤外線センサおよび車載システムの研究に従事。博士(工学)。自動車技術会，SPIE 会員。