新しいフィードスルー構造をもつ 絶対圧用小形圧力センサ

正員 松本 佳宣 (東北大)

正員 江刺 正喜 (東北大)

非会員 庄子 習一 (東北大)

A Small Absolute Pressure Sensor with New Feedthrough Structure
Yoshinori Matsumoto, Member, Masayoshi Esashi, Member, Shuichi Shoji, Non-member
(Tohoku University)

An absolute pressure sensor has reference cavity and electrical feedthrough from the cavity. The reference cavity has to be hermetically sealed, but the electrical feedthrough at the bonding surface makes small leakage.

In this paper, a new feedthrough structure is proposed and is applied to a piezoresistive pressure sensor.

A pyrex glass and a silicon are used for this structure. The pyrex glass has fine through-holes engraved by electrolytic discharge drilling. The silicon has the diffused electrical feedthrough from the reference cavity. The reference cavity is hermetically sealed by glass-silicon anodic bonding. Bonding pads are made by Cr-Cu-Au mask evaporation to the glass holes. Lead wires are connected to the pads inside the glass hole with conductive epoxy or solder.

The advantages of this structure are as follows.

- (1) Reference cavity is hermetically sealed without leakage by glass-silicon anodic bonding.
- (2) Sensor is assembled in small size.
- (3) Lead wires are attached at the opposite side of the diaphragm and strongly enough.

The piezoresistive absolute pressure sensor with this structure is small and high performance. This structure is also useful for capacitive absolute pressure sensors.

キーワード：絶対圧用小形圧力センサ，フィードスルー構造，電解放電加工，陽極接合

1. ま え が き

ピエゾ抵抗効果を用いたシリコンダイアフラム形圧力センサは、高感度、高信頼性、量産が容易などの優れた特徴から様々な分野に応用されている。一方、体内埋込み用に小形の絶対圧用圧力センサが求められているが、パッケージやリード線付けの方法が大きな課題となっている⁽¹⁾。

これに対し、シリコンチップとパイレックスガラスを接合した構造の小形圧力センサが開発されている

が⁽²⁾、基準圧室からの電氣的フィードスルーがガスリーク発生の原因となり、基準圧室の気密封止が不完全になりやすいという問題をもっていた⁽³⁾。

本論文では、これらの問題を解決する構造を提案しその構造を用いたピエゾ抵抗形圧力センサの試作結果について述べる。

2. フィードスルー構造

〈2・1〉 新しいフィードスルー構造 絶対圧用小形圧力センサの原理図を図1に示す。絶対圧用小形圧

図 1 絶対圧用圧力センサの原理図
Fig. 1. Basic diagram of absolute miniature pressure sensor.

図 2 従来のフィードスルー構造
Fig. 2. Ordinary feedthrough structure.

力センサは、シリコンダイヤフラムと感圧電気素子、および基準圧室より構成される。シリコンダイヤフラムに圧力がかかると、基準圧室との圧力差に応じてダイヤフラムが変形する。この変形量を感圧電気素子で電気信号へと変換する。基準圧室内の圧力を一定に保つには、基準圧室を完全に気密封止する必要がある。同時に、基準圧室内の感圧電気素子から電気信号を外部へ取出す必要がある（この電気信号の取出し方を以下フィードスルーと呼ぶ）。従来発表されている小形圧力センサのフィードスルー構造を図 2 に示す⁽²⁾⁽³⁾。パイレックスガラスとシリコンダイヤフラムが張り合された構造をしており、その間に基準圧室が形成されている。基準圧室内のシリコン上に感圧電気素子が形成されており、感圧電気素子から拡散層を横方向へ引出し、ガラスとシリコンの接合面を通して外部へ電気信号を取出している。パイレックスガラスとシリコンチップは陽極接合技術を用いて接合される。陽極接合技術は、温度約 400°C のもとでパイレックスガラス側に負の電圧約 500 V をかけ、ガラスとシリコンの界面に働く静電気引力によりパイレックスガラスとシリコンを化学結合させ接合する技術である。パイレックスガラスとシリコンの界面は化学結合しているため、接合強度が大きく経時変化の少ない安定な接合であ

図 3 新しいフィードスルー構造
Fig. 3. New feedthrough structure.

る⁽⁴⁾。この構造の問題点として以下が考えられる。シリコンの酸化速度は不純物濃度によって異なるため、普通基板シリコンと拡散層の境の部分に段差ができる。この構造では、ガラスを接合したときに段差付近に接合のすき間ができやすく、ガスリークが発生して基準圧室の気密封止が不完全になりやすい。また、電極パッドを形成するにはガラスをシリコンよりも大きくする必要があるため、パイレックスガラスとシリコンをウェーハプロセスの段階で接合することが困難である。

これに対し本論文で提案する新しいフィードスルー構造を図 3 に示す。微細穴を開けたパイレックスガラスと拡散層を形成したシリコンを陽極接合して、ガラスの穴を通して電極用金属を蒸着して拡散層とのコンタクトをとる。その後、穴の中へリード線を挿入し、導電エポキシまたははんだでリード線付けを行う。この構造は以下の利点をもつ。

- (1) パイレックスガラスの穴の周囲が、陽極接合技術によりシリコンと接合され基準圧室の気密封止を行うため、シリコン表面の段差の影響を受けず完全な気密封止が行える。
- (2) 基準圧室内の感圧電気素子から、低抵抗で安定な電気的フィードスルーをとることができる。
- (3) パイレックスガラスとシリコンの接合をウェーハプロセスの段階で行えるため量産性に富む。
- (4) 感圧電気素子がパイレックスガラスでパッケージングされた構造になっているため、パッケージング容器が不要になり、センサ全体の小形化が可能。

(5) リード線を受圧面の反対側に出すことができる。また、ガラスの穴がリード線挿入のガイドの役割をするため、リード線の位置合わせが容易で接着強度も大きい。

以上より、このフィードスルー構造を用いることで従来の構造の問題点が解決できて小形で安価な絶対圧用圧力センサが製作できる。次に、この構造製作のために用いたプロセスについて述べる。

〈2・2〉 電解放電加工 この構造の製作には、パイレックスガラスにアスペクト比の大きい微細穴を開ける必要がある。パイレックスガラスに穴を開ける方法としてはエッチング、サンドブラスト、レーザ加工なども試みられているが、エッチング、サンドブラストでは、サイドエッジが大きいいためアスペクト比の大きな微細穴が開けられず、レーザ加工では、貫通穴付近が盛上るために陽極接合を用いるこの構造には不向きである。

そこで今回、電解放電加工技術を用いて⁽⁵⁾、パイレックスガラスにアスペクト比の大きな微細穴を開けた。この原理図を図4に示す。アルカリ電解液中にガラスを固定して、その上に金属性の針を接触させ電解液側を+極、針側を一極として両波整流電圧を印加する。電圧の実効値を30 V以上にすると針先にコロナ

放電が発生し、針先の電解液の温度が上昇する。すると電解液とガラスの化学反応が加速され、針先部分のガラスがエッチングされる。そこへ針を送り込んでいけば微細穴が形成できる。

今回、35% KOH 液を電解液に用いて、図5(a)の形状のステンレス鋼製の縫針でパイレックスガラスに微細穴を開けた。放電の際に流れる電流を制限するため1.5 Ω の抵抗を直列に入れ、実効値40 Vの両波整流電圧を印加したところ、厚さ300 μm のパイレックスガラスに5 s程度の時間で貫通穴を開けることができた。このとき、針先以外をゴムチューブで覆い電解液に触れるのが針先のみになるようにしないと放電は起こらなかった。

このときの穴の形状を図(b)に示す。穴を残り数10 μm まで開けた段階でガラスが割れるため穴の下側が広がるが、上側の径が400 μm 、下側の径が200 μm 程度の微細な穴を開けることができた。

〈2・3〉 電極用金属 このフィードスルー構造では、陽極接合後ガラスの穴を通して電極用金属を蒸着する。この電極用金属は、

- (i) シリコンの拡散層と低抵抗で安定なオーミックコンタクトがとれる。
- (ii) 導電エポキシ、またははんだ付けによってリード線と低抵抗で安定なコンタクトがとれる。また、リード線との間の取付け強度が大きい。
- (iii) シリコンやパイレックスガラスに対する付着強度が大きい。

図4 電解放電加工の原理図
Fig. 4 Basic diagram of the electrolytic discharge drilling.

図5
Fig. 5.

(a) Cr-Cu-Au マスク蒸着の原理図
(a) Basic diagram of the Cr-Cu-Au mask evaporation.

(b) Cr-Cu-Au の多層構造
(b) Cr-Cu-Au metalization system.

図6
Fig. 6.

という三つの条件を満たす必要がある。

Cr-Cu-Auの三層構造金属は、これらの条件を満たしており⁽⁶⁾、この構造の電極用金属として用いた。また、穴の部分の段差が大きく蒸着後のホトリソグラフィーが困難なため、蒸着法としてMo板を用いたマスク蒸着法を採用した。この原理図を図6に示す。

3. ピエゾ抵抗形圧力センサ

〈3・1〉 構造 このフィードスルー構造を用いて体内埋込みなどを目的とした絶対圧用の小形ピエゾ抵抗形圧力センサを試作した。体内埋込み用には、生体に与える傷を少なくするため、できるだけ小形で薄い圧力センサが望まれている。そこで、大きさ $1.8 \times 1.8 \text{ mm}^2$ 、厚さ $580 \mu\text{m}$ 、ダイヤフラム部の大きさ $0.8 \times 0.8 \text{ mm}^2$ のセンサを試作した。試作した圧力センサの構造および写真を図7、図8に示す。基準圧室内のシリコンダイヤフラム上に四つの拡散抵抗が形成されている。ダイヤフラムに圧力がかかるとダイヤフラムが変形してダイヤフラム上に応力が発生する。すると、ピエゾ抵抗効果によって拡散抵抗の抵抗値が変化するため、圧力変化が抵抗変化として検出できる。通常は、四つの拡散抵抗でブリッジ回路を構成して、圧力変化を電圧変化へ変換する。

〈3・2〉 製作プロセス このセンサの製作プロセスを図9に示す。シリコン側の加工は半導体微細加工技術を用いて行われる。

(1) 厚さ $280 \mu\text{m}$ のn-type (100) Siウェーハを

図7 圧力センサの構造

Fig. 7. Structure of the pressure sensor.

洗浄した後、Wet酸化する。ホトリソグラフィーによりSiエッチング用の SiO_2 パターンを形成する。この SiO_2 をマスクとして 75°C の35% KOH液でSiをエッチングし基準圧室を形成する。

(2) 選択拡散法により基準圧室内に p^+ 拡散抵抗を形成する。感度を大きくするために、 p^+ 拡散抵抗は $\langle 110 \rangle$ 方向、基準圧室の周辺部に配置されている。四つの拡散抵抗は、拡散層によって接続されフルブリ

(a) 表側

(b) 裏側

図8 圧力センサの写真

Fig. 8. Photograph of the pressure sensor.

図9 圧力センサの製作プロセス

Fig. 9. Fabrication process of the pressure sensor.

ッジ回路を構成している。フルブリッジ回路の四つの端子は、拡散層によって基準圧室の外へ導かれ拡散層のパッドを形成する。次に、ウェーハをdry酸化した後、 Si_3N_4 、 SiO_2 を両面にCVDする。両面マスク合せ装置を用いて裏側にダイヤフラムエッチング用の Si_3N_4 パターンを形成する。

(3) 電解放電加工法でパイレックスガラスに微細穴を開ける。

(4) パイレックスガラスとシリコンウェーハを陽極接合技術を用いて張り合わせる。その後、微細穴にCr-Cu-Auをマスク蒸着する。

(5) Si裏側の Si_3N_4 膜をマスクとして、75°Cの35% KOH液でSi裏側をエッチングしダイヤフラムを形成する。このとき、パイレックスガラス側に高温用ワックスでカバーガラスを張り付け、穴の部分がKOH液に侵されないようにする。(100)面に比べ(111)面のエッチング速度は、1/100以下であるため周辺部に斜めの(111)面が残る。こうして裏側に正方形の薄いダイヤフラムが形成される。ダイヤフラムエッチング用パターンは両面マスク合せ装置を用いて形成されるため、ダイヤフラムと拡散抵抗の間に位置合せ誤差が生じやすい。そこで、このとき裏側のダイヤフラムが表側の基準圧室よりも大きくなるように Si_3N_4 パターンを製作しておく。この構造では、シリコンの上側がパイレックスガラスであるために、ダイヤフラム部に印加される圧力によって変形するのは基準圧室部分のみとなる。このようにすることで、拡散抵抗とダイヤフラムの位置合せ誤差の影響をなくすることができる。

(6) ウェーハをダイシングソーを用いて切断して一つ一つのチップに分割する。そしてガラスの穴の中にリード線を挿入して導電エポキシまたは、はんだペーストでリード線付けを行う。このときのリード線の取付け強度は、導電エポキシを用いた場合に70 gf以上、はんだペーストを用いた場合に150 gf以上であった。リード線の取付け強度が更に要求されるときには、柔らかいエポキシでリード線の根元をおおい、リード線の補強を行う。

以上の製造プロセスからわかるように、この圧力センサは、リード線付けの前までウェーハプロセスで行われるため量産化に適している。また、シリコンダイヤフラムを形成する前にパイレックスガラスとシリコンを陽極接合するために、陽極接合時にシリコンダイヤフラムが変形したり、破壊したりすることがない。リード線の取付け後、シリコンダイヤフラムを再エッチして感度調整することが可能などの特徴をもつ。

4. 圧力センサの特性

〈4・1〉 印加圧力と出力電圧の関係 この圧力センサを定電圧駆動 ($V_s=5\text{ V}$) で用いたときの印加圧力と出力電圧の関係を図10に示す。圧力感度は、 p^+ 拡散抵抗の表面濃度、ダイヤフラムの厚さによって調整できる。そこで、ダイヤフラムを再エッチングして感度変化を調べた。表面濃度 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の条件では、ダイヤフラムの厚さが $15\text{ }\mu\text{m}$ のとき感度は $8.4\text{ }\mu\text{V/mmHg}\cdot\text{Vs}$ 、厚さが $9\text{ }\mu\text{m}$ のとき感度は $13\text{ }\mu\text{V/mmHg}\cdot\text{Vs}$ であった。厚さが $9\text{ }\mu\text{m}$ のとき、印加圧力が 500 mmHg 以上になると出力が飽和した。これは、ダイヤフラムの中央部が基準圧室の深さ ($3\text{ }\mu\text{m}$) 分変形してパイレックスガラスに接触し、ダイヤフラムがそれ以上変形しなくなったためである。この圧力センサの圧力測定範囲は、この現象によって制限される。基準圧室を深くし、ダイヤフラムを厚くすれば、この圧力測定範囲を広くすることができる。例えば、ダイヤフラムの厚さが $9\text{ }\mu\text{m}$ のとき、基準圧室の深さを $5\text{ }\mu\text{m}$ としたところ、出力は印加圧力 $1,400\text{ mmHg}$ で飽和した。この現象は、センサの耐圧を高めることに利用できる。基準圧室の深さを、シリコンダイヤフラムが破壊する最大変位以下にしておけば、過大圧によってシリコンダイヤフラムが過度に変形してダイヤフラムが破壊することを防ぐことができる。

〈4・2〉 感度の温度変化 この圧力センサの感度

図10 印加圧力と出力電圧の関係
Fig.10. Output voltage versus applied pressure.

の温度変化は、表面濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のとき、定電圧駆動で $-0.2\%/^{\circ}\text{C}$ 、定電流駆動で $-0.1\%/^{\circ}\text{C}$ であった。この数値は、ピエゾ抵抗係数の温度変化とほぼ一致するため、この圧力センサの感度の温度変化の原因は、主にピエゾ抵抗係数の温度変化が原因だと考えられる。これは、既に知られているように、表面濃度を 10^{18} cm^{-3} か 10^{20} cm^{-3} 付近にして定電流駆動で用いるか、外付け抵抗や外部回路による温度補償によって改善できる。

〈4・3〉 零点の温度ドリフト この圧力センサの零点の温度ドリフトは、以下の原因で発生する。

- (i) 基準圧室内の空気の影響
- (ii) シリコンダイアフラムと他の材料の熱膨張係数の差によって発生する熱応力
- (iii) 拡散抵抗のフルブリッジ回路自体がもつ温度ドリフト

以下、これらについて考察する。

(1) 基準圧室内の空気の影響 この温度ドリフトは、陽極接合前後で基準圧室内の体積が一定だと仮定すれば、ボイル-シャルルの法則で計算できる。いま、陽極接合を温度 $T_a = 400^{\circ}\text{C}$ 、大気圧 $p_a = 760 \text{ mmHg}$ で行えば、温度を室温 $T = 20^{\circ}\text{C}$ まで下げたときの基準圧室の圧力 p は、

$$p = p_a T / T_a = 331 \text{ mmHg}$$

これによって引起される温度ドリフトは、 $p/T = p_a/T_a = 1.13 \text{ mmHg}$ 。よって、負方向に 1.13 mmHg の零点の温度ドリフトを引起す。このドリフトは、圧力で効くドリフトであるため、圧力センサの感度が高くなるほど出力電圧換算値は大きくなるので注意が必要である。このドリフトは陽極接合を真空中で行い、基準圧室内を真空にすることで零にできる。

(2) 熱応力 この圧力センサでは、シリコンダイアフラムにパイレックスガラスが接合されている。また、穴の中にはリード線と導電エポキシが入っており、更に柔らかいエポキシで補強されている。常温におけるこれらの熱膨張係数は、

シリコン	$2.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
パイレックスガラス	$3.25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Cu (リード線)	$16.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
エポキシ	不明

であるため、これらの熱膨張係数の差によって発生する熱応力が、零点の温度ドリフトを引起す。これらの影響を理論計算することはかなり困難であるので、実験的にこれらの影響を測定した。その結果、以下のことがわかった。

- (i) パイレックスガラスの影響：約 $-50 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- (ii) リード線と導電エポキシ：約 $-20 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- (iii) 柔らかいエポキシ：塗布厚が 0.5 mm 以下ならばほとんど影響しない。

これらの温度ドリフトは、熱応力によるドリフトであるから圧力センサの感度にかかわらず出力電圧換算値は一定である。従って、圧力センサの感度を大きくすれば、入力圧力換算値では小さくなる。

(3) フルブリッジ回路自体のドリフト 拡散抵抗は、それ自体大きな温度係数 ($\sim 2,000 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$) をもち、温度と共にその抵抗値が変化する。四つの拡散抵抗の温度係数が等しければ、ブリッジ回路を構成して定電圧駆動すれば、零点の温度ドリフトは発生しない。しかし、実際には拡散工程時に拡散濃度がばらつくため、四つの抵抗の温度係数を全く等しくすることは難しく、フルブリッジ回路自体が温度ドリフトをもつ。このドリフトの大きさ、方向は、定電圧駆動ならば拡散抵抗の温度係数のばらつきによって決まり、定電流駆動ならば拡散抵抗の温度係数のばらつきと、四つの拡散抵抗の抵抗値の違いによって決まる。

(4) 零点の温度ドリフトの補償法 以上の考察からわかるように、この圧力センサの零点の温度ドリフトは三つの要因で発生する。このうち、空気の影響と熱応力によるドリフトは負方向へのドリフトであり、ブリッジ回路自体のドリフトは、製作工程と駆動方式によって正、負どちらかのドリフトをもつ。これらのドリフトは、外付け抵抗や外部回路によって外部補償可能であるが、今回、一つの試みとしてブリッジ回路に正方向の温度ドリフトをもたせ、センサ全体の零点の温度ドリフトを小さくした。ブリッジ回路に正

図 11 零点の温度ドリフト
Fig. 11. Temperature drift of the base line.

方向の温度ドリフトをもたせるには、定電圧駆動の場合では、四つの抵抗の拡散濃度を変え正方向にドリフトをもつよう四つの抵抗の温度係数を決めればよい。定電流駆動の場合では、四つの抵抗の抵抗値を変えることで容易に正方向へのドリフトをもたせることができる。この結果を図 11 に示す。

ブリッジ回路自体で $+200 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ のドリフトをもつシリコンチップに対し、パイレックスガラスを陽極接合しリード線付けを行い、ダイヤフラムの厚さを変えて零点の温度ドリフトの変化を測定した。図のようにダイヤフラムの厚さが $30 \mu\text{m}$ のとき、温度ドリフトは $107 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ となった。これは、主に熱応力による負方向へのドリフトが原因である。ダイヤフラムの厚さを薄くしてゆくと、零点の温度ドリフトは次第に減少してゆき、厚さ $9 \mu\text{m}$ で $17 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ となった。これは、圧力センサの感度が上ったため基準圧室の空気の膨張の影響が大きくなったためである。以上より、ブリッジ回路自体にあらかじめ正方向の温度ドリフトをもたしておくことで、センサ全体の零点の温度ドリフトを小さくできることがわかった。

〈4・4〉 零点の長期ドリフト この圧力センサの零点の長期ドリフトを図 12 に示す。光、外来雑音の影響をなくすため、圧力センサを接地した金属製容器の中へ入れ測定した。大気圧、室温の変動に対しては、気圧計、温度計により大気圧、室温を測定し、圧力センサの印加圧力と出力電圧のグラフ(図 10)と、零点の温度ドリフトのグラフ(図 11)を用いて零点の校正を行った。電源投入後、20 時間で 10 mmHg 程度のドリフトが発生したが、その後はほぼ $\pm 2 \text{ mmHg}$ 以内に収まっている。測定系の誤差 ($\pm 1 \text{ mmHg}$ 程度)を考慮に入れると、この圧力センサは、数十時間通電後は十分な安定性をもっていると考えられる。この数十時間に発生する初期ドリフトは、拡散抵抗の上の SiO_2 膜中の可動イオンの影響と考えられる⁽¹⁾。通電後十分な安定性をもつのは、

(i) 拡散抵抗は、基準圧室内に密閉されているた

図 12 零点の長期ドリフト

Fig. 12. Long term drift of the base line.

め、測定媒質による汚染などの影響を受けにくい。

(ii) 本論文で提案した電氣的フィードスルー構造が、十分な電氣的安定性をもっている。

(iii) 陽極接合技術によるパイレックスガラスとシリコンダイヤフラムの接合が、十分な機械的安定性をもっている。

ためだと思われる。従って、今回提案するこの構造は、圧力センサの長期安定性の面からも有用であると考えられる。

5. この構造の問題点

この構造の問題点として以下のようなものが挙げられる。

(1) センサの厚さが $580 \mu\text{m}$ と薄いため、外部応力によってセンサが変形し零点の変動を起こしやすい。

(2) センサの p-n 接合部分に光があたると、光電効果により拡散抵抗の値が変化し零点の変動を起こす。

本圧力センサでは、定電圧駆動 ($V_s=5 \text{ V}$) のときに横方向に 100 gf の力をかけたところ 1.5 mV 程度の零点変動が発生し、受圧面側から、大形懐中電燈の光を照射したところ $\pm 1 \text{ mV}$ 程度の零点変動が発生した。

従って、この二点に注意し、センサの固定法、使用環境を選ぶ必要がある。

6. 終りに

小形の絶対圧用圧力センサの製作のために、新しいフィードスルー構造を提案し、その有用性をピエゾ抵抗形圧力センサの試作を通して確認した。

この特徴を以下に記す。

(1) 基準圧室の完全な気密封止と、基準圧室からの低抵抗で安定な電氣的フィードスルーの取出しを行うことができる。

(2) パイレックスガラスとシリコンの接合をウェーハプロセスの段階で行えるため量産性に富む。

(3) 感圧電気素子がパイレックスガラスでパッケージングされた構造になっているため、パッケージング容器が不要になり、センサ全体の小型化が可能。また、センサの長期安定性に有用。

(4) リード線が受圧面の反対方向へ取出せ、取付け強度も大きい。

このため、ピエゾ抵抗形や容量形の絶対圧用小形圧力センサ、加速度センサ、触角センサなどの製作に有

用である。

最後に、本研究を進めるにあたりお世話になりました本学 脇山徳雄教授、大見忠弘教授に感謝します。なお、本研究は一部文部省科学研究費 (63850084) によった。
(平成元年 1 月 27 日受付)

文 献

- (1) M. Esashi, et al.: "Fabrication of catheter-tip and sidewall miniature pressure sensors", *IEEE Trans. Electron Device*, **ED-29**, 57 (1982)
- (2) T. A. Nunn & J. B. Angell: "An IC absolute pressure transducer with built-in reference chamber", in *Indwelling and Implantable Pressure Transducers* (E. G. Fleming, W. H. Ko & M. R. Neuman, Eds.), p. 133 (1977) Cleveland, OH: CRC Press
- (3) Y. S. Lee & K. D. Wise: "A batch-fabricated silicon capacitive pressure transducer with low temperature sensitivity", *IEEE Trans. Electron Device*, **ED-29**, 42 (1982)
- (4) G. Wallis & D. L. Pomerantz: "Field assisted glass-metal sealing", *J. Appl. Phys.*, **40**, 3946 (1969)
- (5) 釜田, 他: 「電解放電加工法によるセラミックスの加工技術の検討」, 日立造船技報, **47**, 16 (昭 61)
- (6) K. D. Kang, et al.: "A Cr-Cu-Au metalization system", *IEEE Trans. Electron Devices*, **ED-16**, 356 (1969)

松 本 佳 宣 (正員)

昭和 63 年東北大学工学部電子工学科卒業。現在、同大学大学院博士前期課程在学中。半導体センサ、カスタム LSI の研究に従事。現在、

インテリジェントセンサ、マイクロマシニングに興味がある。

江 刺 正 喜 (正員)

昭 51 東北大学大学院博士課程修了。同年同大学電子工学科助手、56 年同助教授。工学博士。半導体センサ、カスタム LSI の研究に従事。

現在、半導体微細加工技術を応用したマイクロマシニングの研究に従事。

庄 子 習 一 (非会員)

昭和 59 年東北大学大学院博士課程修了。同年同大学電子工学科助手。半導体化学センサ、医用集積化化学分析システムの研究に従事。現在、

マイクロマシニングによる超小形機械素子に興味がある。