サーフェスマイクロマシーニング技術を用いた マイクロ圧力センサ

非会員 島 岡 敬 一 (豊田中研)

正 員 田 畑 修 (豊田中研)

非会員 木 村 雅 人 (豊田中研)

正 員 杉 山 進 (豊田中研)

Surface Micromachined Micro-Pressure-Sensor

Keiichi Shimaoka, Non-member, Osamu Tabata, Member, Masato Kimura, Non-member,
Susumu Sugiyama, Member (Toyota Central Research & Development Labs.)

A new micro-pressure-sensor with diaphragm size of 100 μm has been fabricated by a surface micromachining technique. A circular diaphragm with 1.6 μm in thickness, supported at its edge and center, was adopted to decrease the stress concentration at the diaphragm edge. The diaphragm was formed flat-structure by an etch-stop technique of a polysilicon sacrificial layer. The most suitable arrangement of piezoresistors was determined by FEM (Finite Element Method) stress analysis of the diaphragm. A pressure sensitivity of 20 $\mu\text{V}/\text{kPa}$ for a pressure range from 60 to 110 kPa absolute, and a temperature coefficient of the sensitivity of -0.26% F. S./ $^{\circ}\text{C}$ for a temperature range from -30 to 85°C were obtained.

キーワード：マイクロマシーニング、圧力センサ、エッチングストップ、応力解析

1. ま え が き

ピエゾ抵抗効果を応用した半導体式圧力センサは自動車、工業計測および医療計測などの分野で広く利用されている^{(1)~(3)}。最近、これらの分野において微小部位での圧力測定や圧力分布の計測が要求されており、受圧ダイヤフラムのサイズを従来の1/10以下の100 μm オーダ、厚さをサブミクロンオーダで制御した超小型の、いわゆるマイクロ圧力センサが必要とされている。従来の半導体式圧力センサは単結晶シリコン基板を用い、表面に熱拡散やイオン注入によりひずみゲージを形成し、裏面から異方性エッチングによって薄肉のダイヤフラムを形成している。表面のひずみゲージと裏面のダイヤフラムのパターンとのアライメント精度や裏面からの深い異方性エッチングを伴う加工工程の寸法精度には限界がある。そのため、ダイヤフラム平面寸法を100 μm 以下にすることや、ダイヤ

フラム厚さをサブミクロンオーダに制御することは技術的に困難である。

近年、LSIの微細加工や犠牲層エッチングを応用したサーフェスマイクロマシーニング技術が注目されている⁽⁴⁾。犠牲層エッチングとは、後の工程で消失する層(犠牲層)をあらかじめ形成し、その上に可動部となる層を重ねて形成した後、工程の途中で犠牲層をエッチング除去し基板から部分的あるいは完全に分離された可動部を製作するプロセス技術である。著者らは、このサーフェスマイクロマシーニング技術を応用すれば、ひずみゲージとダイヤフラムを共に基板の表面からの加工により形成することができることに注目した。これにより、ダイヤフラムとひずみゲージを高いアライメント精度で形成できるため、ダイヤフラム寸法を100 μm 以下にすることが可能となる。また、ダイヤフラム材料を薄膜形成技術により成膜するためダイヤフラム厚さを精度良く制御することができる。

更に、基準圧力室を形成するための接合が不要であるため高信頼性、低コスト化が期待できる。

本論文では、サーフェスマイクロマシーニング技術を用いたマイクロ圧力センサの設計方針、これに基づくセンサ構造およびプロセスフローについて述べ、試作したセンサの特性の測定結果をまとめ、最後に考察を行う。

2. 設計方針

〈2・1〉 基本的なマイクロダイヤフラム形成プロセス サーフェスマイクロマシーニング技術を用いてダイヤフラムを形成するための基本的なプロセス概念を図1に示す。LSIの標準プロセスとのマッチングを考慮して、ゲージ形成等の高温熱処理を必要とする工程をすべて終了してから犠牲層エッチングを行っている。(a)図：犠牲層を形成した後、これを覆うようにダイヤフラムとなる材料を成膜する。ひずみゲージの形成はこの段階で行う。(b)図：犠牲層の一部が露出するようにエッチング孔を形成し、エッチング液に浸漬すると、犠牲層が横方向にアンダカットエッチングされ空洞が形成される。(c)図：最後にエッチング孔を封止すると、シリコン基板から分離されたダイヤフラムと基準圧力室が形成される。

マイクロ圧力センサの特性と歩留まりはダイヤフラム材料、ダイヤフラム構造、基準圧力室の形状、エッチング孔の封止方法、ひずみゲージの特性と配置に大きく依存する。以下、各項目ごとに設計方針をまとめる。

〈2・2〉 ダイヤフラム材料 ダイヤフラムの材料には、(i)ダイヤフラム上に形成される複数のひずみゲージを相互に電気的に絶縁分離できること、(ii)応

力-ひずみ特性が線形でクリープなどが無い良好な弾性材料であること、(iii)犠牲層を除去するためのエッチング液に対して耐性を有すること、など、電気的、機械的、化学的な各種の性質が要求される。これらの条件を満足させるため、ダイヤフラム材料として減圧CVD (LPCVD) 法で成膜したシリコン窒化膜を選択した。犠牲層には LPCVD 法で成膜した多結晶シリコンを、そのエッチング液としてアルカリエッチング液を用いた。LPCVD 法で成膜したシリコン窒化膜は良好な絶縁材料であり、化学的にも安定でアルカリエッチング液には腐食されない。また緻密な膜組成を有するアモルファスな材料であるため、弾性材料としても使用可能である。

〈2・3〉 ダイヤフラム構造 ダイヤフラム構造の設計上重要な点は支持構造と平面形状である。これらはダイヤフラム形成の歩留まりに影響を与える。

まず支持構造について述べる。図1に示したダイヤフラムの支持部は段差があるため、支持強度は低く、応力集中が生じやすく、変形あるいは破壊しやすい構造である。これらの問題点を解決するためには段差のない支持部を形成する必要がある。そこで、ダイヤフラム周囲の多結晶シリコン犠牲層領域にボロンの高濃度拡散を行い、エッチングストップ領域として残し、ダイヤフラム支持部の段差をなくした構造を採用した。図2にアルカリエッチング液として90°CのTMAH⁽⁵⁾ [(Tetramethyl ammonium hydroxide: $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$)]を用いた場合の、多結晶シリコン中のボロン濃度に対するエッチングレート比の変化を示す。グラフの縦軸はノンドープの多結晶シリコンのエ

図1 基本的なダイヤフラム形成プロセス
Fig.1. Basic Process sequence of a micro-diaphragm.

図2 $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ エッチング液を用いた場合のボロン濃度とエッチングレート比の関係
Fig.2. Dependence of relative etch rate on boron concentration for $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ at 90°C.

エッチングレート基準として求めたエッチングレート比である。 $4 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ のボロンドープを行い、TMAH濃度を20 wt%以下にすれば100分の1以下のエッチングレート比が得られる。

次に、平面形状とエッチング孔の配置について述べる。犠牲層エッチングのその場観察によれば⁽⁶⁾、エッチング反応によって発生する水素の気泡はエッチング孔から速やかに排出されず、エッチングによって形成された空洞内に蓄積されやすい。そのため空洞内の圧力が増加して形成中のダイヤフラムが変形する結果、ダイヤフラム寸法および形状によっては破壊に至ることが確認された。従って、犠牲層エッチングの進行中に発生する水素の量を抑え、応力集中が生じにくいダイヤフラム形状とエッチング孔の配置にする必要がある。そこで、ダイヤフラム形状は円形とし、その中心に円形のエッチング孔を配置した。

〈2・4〉 基準圧力室形状 基準圧力室の形状は、図1に示した犠牲層のみをエッチングする型式（フラット型）と犠牲層と共にその下部のシリコン基板を異方性エッチングする型式（V型）が考えられる⁽⁷⁾。V型はフラット型に比べて基準圧力室容積を大きくできるため、基準圧力室内壁面からの脱ガスが存在しても基準圧力を長期安定に保持できる。しかし、エッチング時に発生する水素の量が多く、前述したように形成中のダイヤフラムを変形・破壊させやすい。一方、フラット型はダイヤフラムとシリコン基板とのギャップを犠牲層の膜厚により精度良く制御できるため、定格以上の圧力が印加された場合、ダイヤフラムがシリコン基板に接する過負荷防止構造が実現できる。また、エッチング時に発生する水素の量が少なく、形成中のダイヤフラムが破壊しにくく高い歩留まりが期待できる。そこで、基準圧力室形状はフラット型とした。

〈2・5〉 封止方法 基準圧力室を形成するために、エッチング孔は最終的に封止されなければならない。エッチング孔部のダイヤフラムとシリコン基板とのギャップを気密性良く埋めるために、封止材料には緻密度と良好なステップカバレージが要求される。また、アルミ配線形成後に封止を行うため、封止材料形成温度は400°C以下でなければならない。そこで、プラズマCVDにより成膜するシリコン窒化膜およびLPCVDにより成膜する低温酸化膜（LTO）の2層構造とした。また封止用材料をダイヤフラムの構成材料として積極的に用いることにより、ダイヤフラムの厚さを要求感度に合せて最後に調整することが可能になる。

〈2・6〉 ひずみゲージの特性と配置 ひずみゲー

図3 p型多結晶シリコンのピエゾ抵抗係数の温度特性

Fig. 3. Temperature dependence of piezoresistive coefficient of p-type polysilicon.

ジ材料にはLSIプロセスとの適合性が要求される。そこで、ひずみゲージ材料としてLPCVDで成膜した多結晶シリコンに注目した。多結晶シリコンのピエゾ抵抗係数、抵抗およびこれらの温度係数は不純物濃度に依存する⁽⁸⁾。ボロンイオンを注入したp型多結晶シリコンのピエゾ抵抗係数は、〈1 1 0〉単結晶シリコンに比べると1/6程度と低い。図3にp型多結晶シリコンのピエゾ抵抗係数の温度特性を示す。多結晶シリコンの成膜温度は630°C、ボロンイオン注入時の加速電圧は30 keVである。温度依存性は〈1 1 0〉単結晶シリコンとほぼ同等である。抵抗温度係数はドーズ量の増加に伴って負から正へと変化し、 $3 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 程度のドーズ量においては $-0.03\%/^{\circ}\text{C}$ となる。

ダイヤフラム上におけるひずみゲージ配置はセンサの感度やばらつきを決める重要な設計ポイントである。ひずみゲージの抵抗値はジュール熱による自己発熱を防ぐために数kΩ以上にする必要があり、ひずみゲージの長さ/幅を大きくするためにはかなりの面積が必要とされる。従って、ダイヤフラムの応力分布を基にひずみゲージの占有面積を考慮しながら配置を決定する必要がある。また、ダイヤフラムの厚さ方向におけるひずみゲージ位置も、センサの感度を決めるうえで重要である。ダイヤフラムの厚さ方向の応力は中立面からの距離に比例する。従って、高い感度を得るためにはなるべくダイヤフラムの上面側あるいは下面側に配置する必要がある。

3. センサ構造

図4に試作したマイクロ圧力センサの構造を示す。

図 4 表面と断面構造

Fig. 4. Top view and cross section of a micro-pressure-sensor.

直径 $100\ \mu\text{m}$ の円形ダイヤフラム上には $2\ \mu\text{m}$ 幅の 4 本の多結晶シリコンのひずみゲージが形成されている。ダイヤフラムの中心には直径 $10\ \mu\text{m}$ のエッチング孔が形成されている。このエッチング孔は、最終的には封止され、支持部となる。ダイヤフラムの中心にエッチング孔を設けたことにより犠牲層のエッチングはエッチング孔を中心として同心円状に進行する。そのため、エッチング進行中にダイヤフラムにクラックの発生を引起こす原因となる応力集中を避けることができる。ダイヤフラム上のひずみゲージの配置は有限要素法 (FEM) による応力解析結果に基づいて行った。犠牲層材料はアンダカットエッチング特性が良好な多結晶シリコンを用い、基準圧力室の形成を多結晶シリコン犠牲層のみとし、エッチング時の水素発生を低減を図ると同時に過負荷防止構造を実現した。ダイヤフラム支持部は、多結晶シリコン犠牲層のエッチングストップ特性を利用した段差のないフラット構造である。ダイヤフラムは、多結晶シリコンのひずみゲージをサンドイッチしている LPCVD シリコン窒化膜、封止材料に用いたプラズマ CVD シリコン窒化膜および LTO により構成されており、ダイヤフラム厚さは最終的に $1.6\ \mu\text{m}$ となっている。

4. プロセス

図 5 にマイクロ圧力センサのプロセスフローを示す。

(a) 図：シリコン基板上に LPCVD により厚さ $50\ \text{nm}$ のシリコン酸化膜と 1 層目のシリコン窒化膜を成

図 5 プロセスフロー

Fig. 5. Process sequence of a micro-pressure-sensor.

膜する。シリコン窒化膜は最終的に基準圧力室となる空洞形成の犠牲層エッチング時にシリコン基板を保護するマスク材である。このシリコン窒化膜上に LPCVD により厚さ $200\ \text{nm}$ の犠牲層となる多結晶シリコン膜を成膜する。そして空洞およびダイヤフラム固定部となる領域を保護し、その他の領域を除去する。

(b) 図：ダイヤフラム固定部となる犠牲層のみにボロンイオンを $2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 注入し、エッチングストップ領域を形成する。そして、犠牲層を覆うように厚さ $100\ \text{nm}$ の 2 層目のシリコン窒化膜を LPCVD により成膜する。

(c) 図：シリコン窒化膜上に LPCVD により厚さ $200\ \text{nm}$ の多結晶シリコン膜を成膜し、ボロンイオンを $3 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 注入する。次にフォトリソグラフィとリアクティブイオンエッチング (RIE) により多結晶シリコン膜のひずみゲージを形成する。ひずみゲージを保護するように厚さ $300\ \text{nm}$ の 3 層目のシリコン窒化膜を LPCVD により成膜する。空洞となる犠牲層の多結晶シリコン領域をエッチングするために、直径 $10\ \mu\text{m}$ のエッチング孔を 2 層目、3 層目のシリコン窒化膜に形成する。

(d) 図：エッチング孔を介して TMAH エッチング液により円形の空洞とダイヤフラムを形成する。次に、RIE によりコンタクトホールを形成し、スパッ

タリングによりアルミニウム膜を成膜して配線およびボンディングパッドを形成する。

(e)図：プラズマ CVD により厚さ 500 nm のシリコン窒化膜を 300°C、0.5 Torr の条件下で成膜する。更に、LPCVD により厚さ 500 nm の LTO を成膜してエッチング孔を封止する。このようにして、周辺お

図 6 表面 SEM 写真

Fig. 6. Top view SEM photograph of a micro-pressure-sensor.

図 7 ダイアフラム部の SEM 写真

Fig. 7. SEM photograph of a micro-diaphragm.

図 8 複数のセンサ写真

Fig. 8. Top view photomicrograph of micro-pressure-sensors.

よび中央で固定された厚さ 1.6 μm のフラットなダイヤフラムと 0.5 Torr 以下の基準圧力室が形成される。

図 6 と図 7 に試作したマイクロ圧力センサのチップとダイヤフラム部を拡大した SEM 写真を示す。ダイヤフラム周辺支持部(図 4 破線部参照)には段差が見られず、フラットなダイヤフラムが形成されていることが確認された。図 8 に複数のセンサ写真を示す。ダイヤフラム構造の改良によりダイヤフラム形成の歩留まりは 99% 以上と良好な結果が得られた。

5. 特性測定

圧力 60~110 kPa abs., 温度 -30~85°C において、出力特性、零点温度特性、感度温度特性、固有振動数を評価した。また、室温において圧力範囲 100~120 kPa abs., 繰返しサイクル 100 Hz の条件で 10^6 回の繰返し圧力試験を行った。

図 9 に出力特性を、図 10 と図 11 に零点と感度の温

図 9 出力特性

Fig. 9. Output characteristic.

図 10 零点温度特性

Fig. 10. Temperature dependence of offset voltage.

図 11 感度温度特性

Fig. 11. Temperature dependence of pressure sensitivity.

表 1 マイクロ圧力センサの特性
Table 1. Summary of measured characteristics.

測定圧力範囲	60~110kPa abs.
感 度	20 μ V/kPa ($V_B=1V$)
非直線性	$\pm 1\%$ 以下
測定温度範囲	-30~85 $^{\circ}$ C
零点温度係数	-1.3%/ $^{\circ}$ C
感度温度係数	-0.26%/ $^{\circ}$ C
固有振動数	20MHz

度特性を示す。印加電圧 1 V に対する感度は 20 μ V/kPa, 感度温度係数は -0.26%/ $^{\circ}$ C であった。固有振動数は, 衝撃弾性波法を用いて測定した。測定固有振動数は 20 MHz で, 従来の圧力センサ⁽⁹⁾に比べ 1 桁以上高かった。繰返し圧力試験後の零点および感度の変化は共に $\pm 1\%$ 以下であった。試作したマイクロ圧力センサの特性を表 1 にまとめて示す。

6. 考 察

一般に等分布荷重(圧力)が印加されたとき, ダイアフラムに発生する応力はダイアフラム半径の二乗に比例し, ダイアフラム厚さの二乗に反比例する⁽¹⁰⁾。半径と厚さの比が等しいダイアフラムであれば, その大きさによらず同等の応力を発生できる。従って, 理想的には圧力センサの感度を低下させずにダイアフラムをマイクロ化することは可能であると期待される。しかし, 試作したマイクロ圧力センサの感度を, これとほぼ等しいダイアフラム半径とダイアフラム厚さの比を有する半導体式圧力センサ(直径 3 mm, 厚さ 50 μ m)の感度⁽⁹⁾と比較すると, 1/8 程度であった。

圧力センサの感度はピエゾ抵抗係数と圧力印加により発生するひずみゲージ部の応力との積で決定される。試作したマイクロ圧力センサの感度が低い原因として, まず多結晶シリコンひずみゲージと単結晶シリコンひずみゲージの感度の違いが挙げられる。再結晶化により多結晶シリコンのピエゾ抵抗係数を単結晶シリコンのピエゾ抵抗係数近くまで改善できれば, 感度はほぼ同等となる。次に, ダイアフラム中央部に形成されている支持部の影響が考えられる。マイクロ圧力センサはダイアフラム中央に支持部があるため発生応力は低下する。また, ひずみゲージが形成されているダイアフラム面上の位置およびダイアフラム厚さ方向の位置の影響も無視できない。ダイアフラム面上のひずみゲージの位置は応力解析結果から最適化されているが, ひずみゲージは有限の面積を必要とすることから最大応力点にのみひずみゲージを配置することはできない。フォトリソグラフィーの分解能を上げてひず

みゲージを微細化することができれば感度を数十%程度改善することは可能である。一方, ダイアフラム内の厚さ方向の応力はダイアフラム中立面からひずみゲージが形成されている位置までの距離に比例する。マイクロ圧力センサのひずみゲージは, 犠牲層エッチング時にアルカリエッチング液から保護するため, 耐エッチング材料であるシリコン窒化膜で覆われている。そのためダイアフラム内部に位置することになり, 感度の低下をまねいている。ダイアフラムを更にマイクロ化し薄くすると, ダイアフラム厚さに対するひずみゲージの厚さが無視できない。感度を保ちつつダイアフラムをこれ以上縮小するためには, ひずみゲージをより薄く, 小さく形成する技術が重要である。

圧力センサの感度はダイアフラムの内部応力とヤング率にも依存する⁽¹¹⁾。マイクロ圧力センサのダイアフラムを構成する薄膜は, その内部応力とヤング率が成膜条件に強く依存する⁽¹²⁾。この点はダイアフラム材料として機械的物性が既知である単結晶シリコンを用いる従来の圧力センサとの大きな相違点である。試作したマイクロ圧力センサでは, 3 種類の薄膜よりなる積層構造ダイアフラムとすることにより, LPCVD で成膜されたシリコン窒化膜が有する強い引張りの内部応力を低減し, 内部応力による感度低下を防いでいる。しかし, 各材料の線膨張係数が異なるため, 温度変化に伴って積層ダイアフラムに熱応力が発生することは避けられない。零点温度特性にはこの熱応力の影響が現れていると考えている。今後はダイアフラムを構成する薄膜材料の機械的物性を, 温度特性を含めて精密に制御する必要がある。

7 ま と め

サーフェスマイクロマシーニング技術を利用したマイクロ圧力センサを試作した。このマイクロ圧力センサは基準圧力室の形成を多結晶シリコン犠牲層のみとし, エッチング時の水素の発生を低減した。また, 多結晶シリコン犠牲層のエッチングストップ特性を利用して段差のないフラットなダイアフラム構造とし, ダイアフラム形状を円形としてその中心にエッチング孔を設け, ダイアフラム形成時のエッチング中に応力集中が生じにくい構造とした。その結果, ダイアフラム形成歩留まりは 99% 以上と良好な結果が得られた。更に, ダイアフラム部の応力解析に基づき最適なひずみゲージ配置を求め, 感度 20 μ V/kPa を達成した。ダイアフラムの固有振動数は 20 MHz であった。

試作したマイクロ圧力センサは, 一般の半導体式圧力センサに比べ, 感度をはじめとして性能はまだ劣つ

ている。今後、マイクロ圧力センサの特徴である小型、低コストを活かした用途に向けて長期の繰返し圧力試験、高温、高湿試験などの信頼性評価を行うと共に、ダイヤフラムを構成している薄膜材料の機械的物性や各種プロセス条件の特性への影響などに関するデータの蓄積を行い性能向上に努めていく。

本研究を実施するにあたって、御討論いただいた船橋博文氏、特性測定に関して協力いただいた野口あゆみ氏に感謝いたします。

(平成4年6月2日受付、同年8月27日再受付)

文 献

- (1) 中村 博・杉山 進・早川清春・五十嵐伊勢美:「シリコンビエゾ抵抗効果を利用した圧力計」, 通信学会技報, SSD 75-54, 57 (昭50)
- (2) W. G. Wolber & K. D. Wise KD: "Sensor development in the micro-computer age", *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-26, 1864 (1979)
- (3) W. H. Ko, J. Hyneczek & S. F. Boettcher: "Development of a miniature pressure transducer for biomedical applications", *ibid.*, ED-26, 1896 (1979)
- (4) Proc. of the IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (1990; 1991; 1992)
- (5) O. Tabata, R. Asahi, H. Funabashi & S. Sugiyama: "Anisotropic Etching of Silicon in (CH₃)₂NOH Solutions", *Tech. Digest of the 6th Int. Conf. on Solid-State Sensor and Actuators*, p. 811 (1991)
- (6) O. Tabata, K. Shimaoka & S. Sugiyama: "In Situ Observation and Analysis of Wet Etching Process for Micro Electro Mechanical Systems", *Proc. of the 1991 IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems*, p. 99 (1991)
- (7) S. Sugiyama, T. Suzuki, K. Kawahata, K. Shimaoka M. Takigawa & I. Igarashi: "Micro-Diaphragm Pressure Sensor", *Proc. of IEDM*, p. 184 (1986)
- (8) G. Shuwen, T. Songshen & W. Weiyuan: "Temperature Characteristics of Microcrystalline and Polycrystalline Silicon Pressure Sensor", *Proc. of the 5th Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators*, p. 133 (1989)
- (9) 中村 博・杉山 進・五十嵐伊勢美:「拡散型半導体変換器」, 非破壊検査, 25, No.4, 205 (昭51)
- (10) Timoshenko & W. Krieger: *Theory of Plates and Shells* (1940) McGraw-Hill
- (11) 田畑 修・杉山 進・瀧川光治・五十嵐伊勢美:「イオン注入による圧力センサ用シリコン薄膜の機械的物性制御」, 電学論C, 110, 227 (平2-4)
- (12) O. Tabata, K. Kawahata, S. Sugiyama & I. Igarashi: "Mechanical Property Measurements of Thin Films Using Load-Deflection of Composite Rectangular Membranes", *Sensors & Actuators*, 20, 135 (1989)

島岡 敬一 (非会員)

昭和35年8月8日生。59年名古屋工業大学機械工学科卒業。54年(株)豊田中央研究所入社。半導体ひずみゲージ、拡散型圧力センサの研究に従事。60年以降シリコンマイクロセンサ、マイクロマシーニングの研究を行う。精密工学会会員。

田畑 修 (正員)

昭和31年9月21日生。56年名古屋工業大学大学院修士課程修了。同年(株)豊田中央研究所入社。主として、シリコンマイクロセンサ、集積化センサおよびマイクロマシーニングの研究に従事。63年日本ME学会研究奨励賞受賞。平成3年度電気学会論文発表賞受賞。日本ME学会、計測自動制御学会、IEEE会員。

木村 雅人 (非会員)

昭和29年11月27日生。55年東北大学大学院修士課程修了。同年(株)豊田中央研究所入社。LSIの設計、評価の研究に従事。平成2年以降シリコンマイクロマシーニングおよびマイクロアクチュエータの研究を行う。日本機械学会会員

杉山 進 (正員)

昭和21年9月29日生。45年名城大学理工学部電気工学科卒業。40年(株)豊田中央研究所入社。半導体ひずみゲージ、拡散型圧力センサの研究開発に従事。55年以降IC、パワーデバイス、集積化センサ、シリコンマイクロセンサおよびマイクロマシーニングの研究を行う。現在、デバイス部シリコンデバイス研究室長。応用物理学会会員。