イオン注入法による圧力センサ用窒化シリコン薄膜の機械的物性制御

正員 田 畑 修 (豊田中研)
 正員 杉 山 進 (豊田中研)
 非会員 瀧 川 光 治 (豊田中研)
 正員 五十嵐 伊勢美 (豊田中研)

Control of Mechanical Properties of Silicon Nitride Thin Films for Pressure Sensor by Ion Implantation Technique

Osamu Tabata, Member, Susumu Sugiyama, Member, Mitsuharu Takigawa, Non-member, Iseki Igarashi, Member (Toyota Central Research & Development Labs.)

The Internal stress and Young's modulus changes of LPCVD silicon nitride thin film by ion implantation were measured. The load-deflection measurement technique of the square membrane with size of $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ was used. The tensile internal stress σ was reduced from 1.2 GPa to less than 0.1 GPa and the Young's modulus E was reduced from 320 GPa to 260 GPa. The effects of σ and E of a pressure sensor diaphragm, with a side of $2a$ and a thickness of t , on pressure sensitivity were calculated. In the case of $(t/a)^2 \leq \sigma/E$, lowering of sensitivity due to σ can not be neglected. Therefore, it appears that the sensitivity of micro-pressure sensor with silicon nitride film as the construction material for diaphragm can be improved by several times by utilizing the ion implantation technique.

キーワード：窒化シリコン薄膜，内部応力，ヤング率，イオン注入，マイクロメカニカルデバイス

1. はじめに

微細加工技術を用いて製作した，大きさが数十～100 μm という微細な三次元機構を有する素子，いわゆるマイクロメカニカルデバイス，が注目されつつある^{(1)～(3)}。使用される材料は単結晶シリコンおよびその上に数百 nm～数 μm の厚みに形成した各種の薄膜である。薄膜は従来機能材料として用いられてきたが，マイクロメカニカルデバイスでは構造材料として用いられ，基板から部分的にあるいは完全に分離した構造体を形成する。

これに伴いマイクロメカニカルデバイスの機械的特性，すなわち固有振動数，ばね定数などを設計するうえで薄膜の内部応力，ヤング率，ポアソン比，引張強度，弾性限界などの機械的物性が重要になりつつあ

る⁽⁴⁾。しかし，薄膜の機械的物性は成膜装置，成膜条件，熱処理などのプロセス条件に大きく依存する⁽⁵⁾。逆に，薄膜の機械的物性は，プロセス条件によって制御可能な物理量であると言えることができる。この点は，機械的物性の定まった単結晶シリコンを構造材料として利用する従来のシリコンセンサと比較すると，マイクロメカニカルデバイスの大きな特徴である。しかし，各種のプロセス条件が機械的物性に与える影響はほとんどわかっておらず，機械的物性を考慮したマイクロメカニカルデバイスの設計手法はまだ確立されていない。

マイクロメカニカルデバイスの代表例として，減圧CVDで成膜した窒化シリコンや多結晶シリコンをダイヤフラムの構造材料に用いたマイクロ圧力センサを挙げる事ができる⁽⁶⁾⁽⁷⁾。マイクロ圧力センサでは，

ダイヤフラムの内部応力やヤング率を制御することによってセンサの感度を決めることができると考えられる。しかし現在のところ、ダイヤフラムの内部応力やヤング率がマイクロ圧力センサの感度に与える影響を考慮した設計手法はまだ提案されていない。また、内部応力やヤング率を変える確立した方法もない。成膜条件の変更やアニールによって機械的物性を变化させた場合は、基板全面の薄膜物性が変化してしまう。ダイヤフラム部分のみの機械的物性を選択的に変化させることができれば、個々のセンサごとの感度調整が可能になるなどの利点がある。

我々は機械的物性の制御手法としてイオン注入法に注目した。イオン注入法を用いれば、基板上の薄膜の機械的物性を選択的にかつ高精度に制御できる可能性がある⁽⁸⁾。そこで、まず薄膜メンブレンの荷重-たわみ測定法の原理に基づいた内部応力、ヤング率測定装置を試作し、減圧CVDで形成した窒化シリコン膜の内部応力とヤング率を測定した。続いて、窒化シリコン膜にリン、ボロン、水素の各イオンを注入したときの、内部応力とヤング率の変化を測定した。更に、イオン注入法による内部応力とヤング率の制御を、マイクロ圧力センサに適用したときの効果を検討した。計算によって、ダイヤフラムの内部応力とヤング率がマイクロ圧力センサの感度に与える影響を明らかにし、イオン注入法によるマイクロ圧力センサの感度向上の可能性を示した。

本論文では、正方形メンブレンの荷重-たわみ特性式、試作した機械的物性測定装置の概要、イオン注入効果の測定結果、およびマイクロ圧力センサへの適用の検討結果について述べる。

2. イオン注入した窒化シリコン膜の内部応力、ヤング率の測定

〈2・1〉 測定原理 従来から内部応力の測定方法としては、基板の曲がりを利用する方法、X線回折を利用する方法、ヤング率の測定方法としては片持ち梁の固有振動数を利用する方法、超音波パルスの伝達速度を利用する方法など多くの方法が提案されている⁽⁹⁾。著者らは、内部応力とヤング率を同時に測定できる方法として薄膜メンブレンの荷重-たわみ測定法に注目した。

正方形メンブレンにおける荷重とたわみの間に成立する関係は、エネルギー最小原理⁽¹⁰⁾によって解析的に導くことができる。図1に測定用試料の断面構造を示す。正方形メンブレンにおける総ひずみエネルギーは、内部応力に起因するひずみエネルギーと弾性変形

図1 測定用試料の断面構造
Fig. 1. A Cross sectional view of the sample.

に起因するひずみエネルギーを加算して求められる。たわみが膜厚に比べて十分大きい場合、曲げによるひずみエネルギーは無視できる。メンブレン上の点の変位量を真の解のフーリエ展開第1項を用いて与える。変位量より、メンブレンに対してなされた仕事量を求め、これをひずみエネルギーに加えることによって系の全ポテンシャルエネルギーが計算できる。仮想変位の原理によって変位の式に含まれる未知数を求めると、(1)~(3)式によって表されるメンブレンの荷重-たわみ特性が得られる。

$$P = C_1 \frac{t}{a^2} \sigma h + C_2 \frac{t}{a^4} E h^3 \dots \dots \dots (1)$$

$$C_1 = \frac{\pi^4}{32} \dots \dots \dots (2)$$

$$C_2 = \frac{\pi^6}{32(1-\nu^2)} \left\{ \frac{5}{64} - \frac{(5-3\nu)^2}{81\pi^2 + 64 + \nu(64-9\pi^2)} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 P :メンブレンに印加した等分布荷重、 E :ヤング率、 σ :引張内部応力、 ν :ポアソン比、 $2a$:メンブレンの一辺の長さ、 t :膜厚、 h :メンブレン中央部のたわみ
内部応力とヤング率はそれぞれ h の一次および三次の項に独立に現れている。従って、メンブレンに加える荷重とたわみとの関係を測定して得られたデータに、(1)式を最小自乗法であてはめることによってこれらの量を同時に求めることができる。

〈2・2〉 測定装置 測定装置の構成図を図2に示す。測定試料は真空ポンプに接続した試料ホルダ上にセットされる。ホルダは顕微鏡のステージ上に置かれ、試料上にはたわみ測定の基準面となる光学ガラスがセットされている。ホルダ内の圧力を減圧することによって、試料メンブレンに大気圧との差圧に等しい圧力が荷重として加えられる。この結果生ずるメンブレンのたわみは、干渉じまの数によって荷重の関数として計測される。ホルダ内の圧力と大気との差圧はピエゾ抵抗形シリコン圧力センサによって0.1mmHgの精度で計測される。光源として使用したHe/Neレーザ光はシングルモード光ファイバによって顕微鏡内

図 2 測定装置の構成図

Fig. 2. A block diagram of the measurement apparatus.

へ導光される。干渉じまは顕微鏡に取付けた CCD カメラによって撮像し、テレビモニタで観測される。物性値に異方性や不均一性が存在するとき、あるいは欠陥が存在する薄膜はメンブレンのたわみが非対称となるため容易に判別できる。メンブレン中央部のたわみは干渉じまの本数を数えることによって計測できるため、たわみの測定精度は $0.32 \mu\text{m}$ である。

測定は次の手順で行う。まず、ホルダ内の圧力を減圧し、続いて徐々に大気圧まで圧力を増加させると、これに伴って干渉じまの本数が減少する。干渉じまが 1 本消失するごとにホルダ内と大気との差圧を計測し、これをコンピュータに記憶する。干渉じまの消失は画像処理によって自動的に検出される。測定はホルダ内と大気との差圧が零になったときに終了する。測定した圧力-たわみデータに (1) 式を最小自乗法であてはめて内部応力とヤング率を求める。

〈2・3〉 試料作製と測定結果 試料作製工程を図 3 に示すプロセスフローに基づいて説明する。(a) 図厚さ 200 nm の減圧 CVD 窒化シリコン膜を厚さ $360 \mu\text{m}$ の (100) 面シリコンウェーハ上に形成する。(b) 図ホトリソグラフィとリアクティブイオンエッチングによってウェーハの裏面のシリコン窒化膜に正方形の窓パターンを形成する。その後、ウェーハ表面のシリコン窒化膜にリン、ボロン、水素の各イオンをそれぞれ 1×10^{14} , 1×10^{15} , $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ のドーズ量で注入する。打込みエネルギーは 40, 70, 130 keV とした。(c) 図ウェーハを裏面から KOH 溶液を用いて異方性エッチングすることによって、窒化膜メンブレンを形成する。形成されたメンブレン寸法は $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ である。

図 4 にイオン注入前の試料、およびリンをイオン注

図 3 測定用試料作成工程

Fig. 3. A fabrication process of the sample.

図 4 窒化シリコン膜の荷重-たわみ特性の測定結果

Fig. 4. Measured load-deflection data for silicon nitride membrane.

入した試料の荷重-たわみ特性を示す。リンの打込みエネルギーは 40 keV である。実線は (1) 式を最小自乗法であてはめた結果である。 $\nu=0.25$ と仮定し、 C_2 は 1.83 とした。測定データは理論式によってよく説明できている。ドーズ量の増加に伴って、印加した圧力に対するたわみが増加していくことがわかる。

図 5～図 7 にリン、ボロン、水素の各イオンをイオン注入したときの内部応力とヤング率の測定結果を示す。イオン注入をしていないシリコン窒化膜の内部応力とヤング率はそれぞれ 1.2 GPa と 320 GPa であり、各図の縦軸に示した。リンイオンを注入した場合、ドーズ量および打込みエネルギーの増加と共に内部応力とヤング率は減少した。ボロンイオンを注入した場合、ドーズ量の増加と共に内部応力とヤング率は減少した。一方、打込みエネルギーが 40 keV から

図 5 リンのイオン注入による内部応力，ヤング率変化
Fig. 5. Effect of phosphorus ion implantation on internal stress and Young's modulus.

図 7 水素のイオン注入による内部応力，ヤング率変化
Fig. 7. Effect of hydrogen ion implantation on internal stress and Young's modulus.

図 6 ボロンのイオン注入による内部応力，ヤング率変化
Fig. 6. Effect of boron ion implantation on internal stress and Young's modulus.

図 8 注入されたイオンの窒化シリコン膜中における飛程
Fig. 8. Projection range of the implanted ions into the silicon nitride.

70 keV へ増加した場合、内部応力とヤング率は減少した。しかし、打込みエネルギーが 70 keV から 130 keV に増加した場合は、内部応力は増加し、ヤング率はわずかな増加あるいは変化しない傾向を示した。ただし、ドーズ量が $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ の場合だけは、内部応力は更に減少し圧縮になったため、メンブレンに座屈が発生して測定不可能となった。水素イオンを注入

した場合、ドーズ量の増加と共に内部応力とヤング率は減少した。しかし、打込みエネルギーの増加に対しては、ほとんど違いが認められなかった。今回測定した試料において最も大きな内部応力とヤング率の変化を示したのは、いずれのドーズ量においても、リンイオンを 130 keV でイオン注入した試料であった。イオン注入による内部応力およびヤング率の制御範囲は、内部応力が 1.2 GPa から 0.04 GPa，ヤング率が 320 GPa から 260 GPa であった。

イオン注入による内部応力とヤング率の変化のメカニズムを調べるために、イオン注入前後のシリコン窒化膜を透過電子顕微鏡によって観察したが、構造上の違いは認められなかった。内部応力の測定結果に現れたリン、ボロン、水素の各イオンの示すイオン注入効果の違いは、定性的には各イオンが核衝突エネルギー

によりシリコン窒化膜に与えたダメージにより説明できると考えられる⁽¹¹⁾。図8にシリコン窒化膜中での各イオンの飛程を示す。40, 70, 130 keVで注入された水素イオンは200 nmのシリコン窒化膜を通過してしまい、いずれの場合も窒化シリコン膜に与える核衝突エネルギーに大きな差はない。その結果、内部応力の変化は打込みエネルギーの変化に対応しない。同様に130 keVで注入されたボロンイオンも200 nmのシリコン窒化膜を通過してしまい、窒化シリコン膜に与える核衝突エネルギーは少ない。その結果、70 keVで注入した場合よりも内部応力の変化は少ない。しかし、ドーズ量が $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ の場合に、内部応力が70 keVよりも更に減少し圧縮になった理由は明らかではない。リンイオンを130 keVで窒化膜のほぼ中央層部に注入した場合は、ほぼすべての核衝突エネルギーは窒化シリコン膜中に与えられるため、最も大きな内部応力の変化を示す。一方、ヤング率の測定結果に現れたリン、ボロン、水素の各イオンの示すイオン注入効果の違いは、核衝突エネルギーによりシリコン窒化膜に与えたダメージだけでは説明できない。ボロンおよびリンのイオン注入による結果には明確な差異が認められない。また、すべてのイオンが突き抜けてしまう水素のイオン注入においてもヤング率の明らかな減少が認められる。これらの結果より、ヤング率の変化は内部応力変化とは異なるメカニズムに起因すると考えられる。

荷重-たわみ測定法で求めた内部応力とヤング率は薄膜の膜厚方向に平均化した値であることに注意する必要がある。イオン注入効果のメカニズムの解明と、膜厚方向の分布を考慮したイオン注入効果の予測方法は現在検討中である。

3. 引張内部応力を有するダイヤフラムの圧力-たわみ解析

ダイヤフラムの引張内部応力 σ およびヤング率 E が圧力センサの感度に与える影響を明らかにするために解析を行った。解析の対象としたダイヤフラム形状は、理論解析の容易な円形と、実際に応用例⁽⁶⁾⁽⁷⁾のある正方形とした。荷重は等分布荷重でダイヤフラム周辺は固定条件とした。まず、円形ダイヤフラムについて解析した。ダイヤフラムの曲げ、伸び、内部応力を考慮した荷重-たわみ特性はエネルギー最小原理を適用して求められる⁽¹⁰⁾。ダイヤフラムのたわみがダイヤフラムの厚さに比べて十分小さいときは、

$$P = 4 \frac{w_0 t}{a^2} \left\{ \frac{4}{3} \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{t}{a} \right)^2 + \sigma \right\} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 P : 荷重, w_0 : ダイヤフラム中央のたわみ, a : ダイヤフラム半径, t : ダイヤフラム厚, E, σ, ν : それぞれダイヤフラムのヤング率, 内部応力, ポアソン比

となる。円形ダイヤフラムの中立面から垂直方向に距離 z の位置の点におけるひずみを計算する。ダイヤフラムのたわみ w_0 がダイヤフラムの厚さに比べて十分小さいとき、半径方向のひずみ ϵ_r および接線方向のひずみ ϵ_t を求めると、(5), (6)式が得られる。

$$\epsilon_r = -P(z/t) \left\{ \frac{1-3(r/a)^2}{4/3 \cdot E/1-\nu^2 \cdot (t/a)^2 + \sigma} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

$$\epsilon_t = -P(z/t) \left\{ \frac{1-(r/a)^2}{4/3 \cdot E/1-\nu^2 \cdot (t/a)^2 + \sigma} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

ひずみは圧力センサの感度と比例関係にある。(5), (6)式より圧力センサの感度は、従来形のシリコンビエゾ抵抗式圧力センサと同様に、印加圧力に比例すると共に中立面からの規格化された距離、すなわち z/t にも比例することがわかる。更に $(t/a)^2 \gg \sigma/E$ の場合、内部応力 σ は無視でき、感度は $(a/t)^2/E$ に比例する。 $(t/a)^2 \leq \sigma/E$ の場合、内部応力 σ の影響は無視できず感度の低下が生ずる。

(5), (6)式を用いることによって、マイクロ圧力センサの正方形ダイヤフラム(50 μm 角, 厚さ1.6 μm)⁽⁷⁾に内接する大きさの円形ダイヤフラムにおける内部応力とヤング率の影響を計算で求めた。図9に圧力100 kPaを印加した半径25 μm , 厚さ1.6 μm ,

図9 円形マイクロダイヤフラムにおける内部応力-ひずみ特性

Fig. 9. Internal stress versus strain for a circular micro-diaphragm.

ポアソン比0.3の円形ダイヤフラムの表面の中央に生ずるひずみを、内部応力およびヤング率をパラメータとして計算した結果を示す。0.1 GPa以下の内部応力の場合、感度は内部応力に依存せずヤング率に反比例する。しかし0.1 GPa以上の内部応力においては感度が低下し、100 GPa以上の内部応力においてはほぼ零となる。

同様の解析を正方形ダイヤフラムについて行った。解析的に解くことは非常に難しいためニュートン・ラプソン法による数値計算を行った。正方形ダイヤフラムの場合は直交座標 (x, y, z) を用いる。ダイヤフラムの変位を(7)式で与える⁽¹²⁾。

$$\left. \begin{aligned} w &= (a^2 - x^2)^2 (a^2 - y^2)^2 \{c_1 + c_2(x^2 + y^2)\} \\ u &= (a^2 - x^2)(a^2 - y^2) \\ &\quad \times x(c_3 + c_4 y^2 + c_5 x^2 + c_6 x^2 y^2) \\ v &= (a^2 - x^2)(a^2 - y^2) \\ &\quad \times y(c_3 + c_4 x^2 + c_5 y^2 + c_6 x^2 y^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 w, u, v ：それぞれ垂直方向、 x 方向、 y 方向の変位、 $2a$ はダイヤフラムの一边の長さ、 $C_1 \sim C_6$ は定数

マイクロ圧力センサの正方形ダイヤフラム (50 μm 角、厚さ 1.6 μm) ⁽⁷⁾ についてポアソン比 $\nu=0.3$ として計算を行った。圧力 100 kPa を印加したダイヤフラムの表面中央に生ずるひずみを、内部応力およびヤング率をパラメータとして求めた結果を図 10 に示す。円形ダイヤフラムの場合とほぼ同様な結果が得られた。従って、内部応力とヤング率が圧力センサの感

度に与える影響は、円形ダイヤフラムについて解析的に求めた(5)、(6)式でおおむね評価することが可能であることがわかった。

以上の解析結果により、マイクロ圧力センサダイヤフラムの内部応力およびヤング率に要求される定量的な仕様を明らかにすることができ、内部応力を考慮したダイヤフラムの材料設計、構造設計が可能になる。

第2章で述べた測定結果を基に、イオン注入によって制御可能なマイクロ圧力センサの感度を予測することができる。マイクロ圧力センサのダイヤフラムにおける内部応力とヤング率が減圧CVD窒化シリコン膜の内部応力とヤング率によって支配されているとすると、 σ/E は 3.8×10^{-3} である。図 10 に示すポアソン比 $\nu=0.3$ 、ダイヤフラムの半径 $a=25 \mu\text{m}$ 、ダイヤフラムの厚み $t=1.6 \mu\text{m}$ の円形ダイヤフラムの場合、 $(t/a)^2$ は 4.1×10^{-3} であり σ/E にほぼ等しい。従って、内部応力の影響による感度の低下は無視できない。イオン注入によって内部応力を 1.2 GPa から 0.1 GPa、ヤング率を 320 GPa から 260 GPa にすることによって、 σ/E は一けた小さくなり、その結果、内部応力の影響が減少して感度は約 2 倍になる。一方、ダイヤフラムサイズを $a=150 \mu\text{m}$ にすると、 $(t/a)^2$ は 1.1×10^{-4} となる。その結果、内部応力の影響による感度の低下がより顕著になり、より小さい内部応力から感度の低下が生じる。従って、内部応力とヤング率のイオン注入制御による圧力センサの感度向上効果は約 8 倍と大きくなる。

4. ま と め

薄膜の内部応力とヤング率の制御手法としてイオン注入法を提案した。減圧CVD法で成膜したシリコン窒化膜にリン、ボロン、水素の各イオンを種々のエネルギーで注入したときの内部応力、ヤング率の変化を測定した。測定には正方形の窒化シリコンメンブレンの荷重-たわみ測定法を用いた。その結果、イオン注入によって、内部応力は 1.2 GPa から 0.04 GPa、ヤング率は 320 GPa から 260 GPa まで変化することが明らかにになった。

続いてイオン注入法による窒化シリコンの内部応力とヤング率の制御手法を、実際のデバイスに応用したときの効果を予測した。まずダイヤフラムの引張り内部応力 σ およびヤング率 E が圧力センサの感度に与える影響を明らかにするための解析を行った。円形および正方形ダイヤフラムにおける内部応力 σ とヤング率 E が圧力センサの感度に与える影響を計算で予測した。内部応力を有する円形および正方形ダイヤフ

図 10 正方形マイクロダイヤフラムにおける内部応力-ひずみ特性

Fig. 10. Internal stress versus strain for a square micro-diaphragm.

ラムにおいて、厚みを t 、大きさを $2a$ とすると、 $(t/a)^2 \leq \sigma/E$ の場合は内部応力による感度の低下が無視できないことがわかった。以上より、ダイヤフラムの大きさ $50 \sim 300 \mu\text{m}$ 、厚み $1.6 \mu\text{m}$ のマイクロ圧力センサにおいては、イオン注入法によって感度を $2 \sim 8$ 倍に改善できることが明らかになった。

イオン注入は微小領域の機械的物性を精度良く制御する方法として有望であり、圧力センサのみならず多くのマイクロメカニカルデバイスへの応用が期待できる。また荷重-たわみ測定法に基づいた薄膜の機械的物性測定装置は、窒化シリコン膜に限らず種々の薄膜の機械的物性のプロセス依存性を調べる手段として有効である。測定データを積み重ねて薄膜の機械的物性データベースが構築できれば、これを利用したマイクロセンサ・アクチュエータ用 CAE の実現に役立つものと期待される。

(平成元年 4 月 24 日受付, 同元年 9 月 28 日再受付)

文 献

- (1) National Science Foundation: "Small machines, large opportunities: A report on emerging field of micro-dynamics", Report of the Workshop on Micro-electromechanical Systems Research(1987)
- (2) 特集: 「マイクロマシーニングとマイクロメカニクス」, 電学論 D, 108, (昭 63-3)
- (3) IEEE Robotics and Automation Council: "Proceedings of IEEE micro electro mechanical systems workshop", IEEE 89TH0249-3(1989)
- (4) S. D. Senturia: "Microfabricated Structures for the Measurement of Mechanical Properties and Adhesion of Thin Films", 4th Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators, p. 11(1987)
- (5) H. Guckel, D. W. Burns, H. A. C. Tilmans, D. W. Deroo & C. R. Rutigliano: "Mechanical Properties of Fine Grained Polysilicon: The Repeatability Problem", Solid State Sensor and Actuator Workshop, Hilton Head Island, p. 96 (1988)
- (6) H. Guckel & D. W. Burns: "A Technology for Integrated Transducers", 3rd Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators, p. 90(1985)
- (7) S. Sugiyama, T. Suzuki, K. Kawahata, K. Shimaoka, M. Takigawa & I. Igarashi: "Micro Diaphragm Pressure Sensor", Technical Digest, IEEE IEDM, p. 184(1986)
- (8) O. Tabata, K. Kawahata, S. Sugiyama, H. Inagaki & I. Igarashi: "Internal Stress and Young's Modulus Measurements of Thin Films Using Micromachining Technology", Technical Digest of the 7th Sensor Symposium, p. 173 (1988)
- (9) 日本学術振興会薄膜第 131 委員会編: 薄膜ハンドブック (昭 58)
- (10) M. G. Allen: Measurement of Mechanical Properties and Adhesion of Thin Polyimide Films (1986) M. S. Thesis, M. I. T.
- (11) E. P. Eernisse: "Stress in Ion-Implanted CVD Si_3N_4 Films", *J. Appl. Phys.*, 48, 3337(1977)
- (12) Timoshenko & W. Krieger: Theory of Plates and Shells (1940) McGraw-Hill

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ニングの研究に従事。63 年日本 ME 学会研究奨励賞受賞。日本 ME 学会、計測自動制御学会、IEEE 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、拡散形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ニングの研究を行う。現在、研究 3 部 32 研究室長代理。応用物理学会会員。

瀧 川 光 治 (非会員)

昭和 11 年 4 月 5 日生。39 年東京電機大学電子工学科卒業。同年上智大学理工学部助手。主として、半導体物性、結晶成長、集積回路の研究に従事。54 年(株)豊田中央研究所入社。以来自動車用 LSI, パワーデバイス、集積化センサなどの研究・開発に従事。現在、研究 3 部部長。59 年, IEEE, IECD にて優秀論文賞受賞。電子情報通信学会, IEEE 会員。

五十風 伊勢美 (正員)

昭和 2 年 7 月 16 日生。30 年東京理科大学物理学学科卒業。32 年(財)豊田理化学研究所入所。37 年(株)豊田中央研究所併任。主として、半導体ひずみ計、圧力計、カーエレクトロニクス、医用センサなど各種センサ開発に従事。現在、豊田中央研究所取締役副所長。53 年科学技術庁長官賞研究功績者賞, 57 年伴記念学術奨励賞受賞。IEEE, 電子情報通信学会会員。