

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4916006号
(P4916006)

(45) 発行日 平成24年4月11日 (2012. 4. 11)

(24) 登録日 平成24年2月3日 (2012. 2. 3)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 L 9/00 (2006. 01)
H O 1 L 29/84 (2006. 01)G O 1 L 9/00 3 O 3 C
H O 1 L 29/84 B

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2007-50844 (P2007-50844)
(22) 出願日 平成19年2月28日 (2007. 2. 28)
(65) 公開番号 特開2008-215893 (P2008-215893A)
(43) 公開日 平成20年9月18日 (2008. 9. 18)
審査請求日 平成21年11月30日 (2009. 11. 30)

(73) 特許権者 000006666
株式会社山武
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
(74) 代理人 100106378
弁理士 宮川 宏一
(72) 発明者 東條 博史
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 株
式会社山武内
(72) 発明者 米田 雅之
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 株
式会社山武内
(72) 発明者 徳田 智久
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 株
式会社山武内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧力センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体でできたチップの一部にダイアフラムが形成され、前記ダイアフラムに作用する圧力に応じた変位を電気変換して当該圧力を検出する圧力センサにおいて、

前記ダイアフラムの厚さが $1.5 \mu\text{m}$ であって前記ダイアフラムの一辺長を当該ダイアフラムの厚さで割ったアスペクト比を横軸とし、前記圧力センサの許容耐圧を縦軸とすることで規定される当該圧力センサの許容耐圧特性曲線の微分値がほぼゼロとなるアスペクト比が 1.35 であるダイアフラムを備えたことを特徴とする圧力センサ。

【請求項 2】

前記圧力が作用する側から見て前記ダイアフラムが四角形状を有していることを特徴とする、請求項 1 に記載の圧力センサ。

【請求項 3】

前記ダイアフラムが単結晶シリコンで形成されていることを特徴とする、請求項 1 又は請求項 2 に記載の圧力センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、絶対圧やゲージ圧、差圧を測定するのに適した圧力センサに関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

例えば、半導体チップ上の一部にダイアフラムを形成し、このダイアフラム上にピエゾ抵抗素子をブリッジ状に配して被測定媒体の圧力に応じたダイアフラムの変位をピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化に変えて被測定媒体の圧力を検出する圧力センサが広く用いられている（例えば、特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 3 】

また、このようなダイアフラムの厚さを厳密に管理しながらこのダイアフラムを半導体チップ上に形成する圧力センサの製造プロセスに関する発明も知られている（例えば、特許文献 2 参照）。

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 2 7 7 3 3 7 号公報（ 2 頁、図 2 ）

【特許文献 2】特開 2 0 0 0 - 1 7 1 3 1 8 号公報（ 3 - 4 頁、図 1 ）

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

ところで、圧力センサの半導体チップには一般的にシリコンが使用されているが、シリコンのような半導体を一つの塊として見た場合、この半導体の物性として外力に対する変形度合い（歪み）即ち応力 - 歪み特性がほぼ線形性を示し、非線形性を殆ど示さない。即ち、これは半導体材料を塊としてみた場合に成り立つ物性である。しかしながら、結晶状態を精密にコントロールされたシリコン等の半導体材料をある程度以上薄く加工した場合、非線形性が大きくなることが定性的に分かっている。

【 0 0 0 5 】

20

しかし、この非線形性が大きくなるという性質はあくまで定性的に知られているだけで、このような半導体からなるチップの一部にダイアフラムが形成され、このダイアフラムに作用する圧力に応じた変位を電気変換して圧力を検出する圧力センサにおいて、ダイアフラムの厚さを具体的にどのような寸法範囲まで薄くすればダイアフラムの応力 - 歪み特性の非線形領域を広めて高感度を有しながらかつ高耐圧にするという、相反する要求を満たすようにできるかについては今まで明らかになっていなかった。

【 0 0 0 6 】

言い換えると、感圧部となるダイアフラムを有する圧力センサチップにおいてダイアフラムでの発生応力がセンサ感度となることから、圧力センサを、高感度を有しながら高耐圧にするためには、相反する要求を満たすべくこの非線形領域がなるべく広くなるように圧力センサのダイアフラムの寸法パラメータを特別に制御する必要があり、このような寸法パラメータを具体的に見つけることで相反する要求である高感度かつ高耐圧を満たして圧力センサの限界範囲を広くすることが要望されていた。

30

【 0 0 0 7 】

本発明の目的は、高感度で高耐圧の圧力センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本発明にかかる圧力センサは、

半導体でできたチップの一部にダイアフラムが形成され、前記ダイアフラムに作用する圧力に応じた変位を電気変換して当該圧力を検出する圧力センサにおいて、

40

前記ダイアフラムの厚さが 1 5 μ m であって前記ダイアフラムの一辺長を当該ダイアフラムの厚さで割ったアスペクト比を横軸とし、前記圧力センサの許容耐圧を縦軸とすることで規定される当該圧力センサの許容耐圧特性曲線の微分値がほぼゼロとなるアスペクト比が 1 3 5 であるダイアフラムを備えたことを特徴としている。

【 0 0 0 9 】

このような寸法を有する構造の半導体ダイアフラムを備えた圧力センサを用いることによって、ダイアフラムに作用する圧力に応じたダイアフラムの変形に伴って生じる応力 - 歪み特性の非線形領域を広め、この非線形領域を圧力測定に上手く利用することで、高感度で高耐圧という相反する要求を満たした圧力センサとすることができる。

【 0 0 1 0 】

50

また、請求項 2 に記載の本発明にかかる圧力センサは、請求項 1 に記載の圧力センサにおいて、

前記圧力が作用する側から見て前記ダイアフラムが四角形状を有していることを特徴としている。

【0011】

例えば異方性エッチングを介して四角形状のダイアフラムを形成することで、例えば等方性エッチングを介して円形状のダイアフラムを形成する場合に比べてダイアフラムの厚さをより薄くしないと応力 - 歪み特性の非線形領域が現れなくなる。そのため、この非線形領域を利用するためにダイアフラムの厚さを薄くせざるを得なくなる。しかしながら、ダイアフラムの厚さを薄くすることで四角形状のダイアフラムには特に応力集中が生じ易くなる。従って、本発明のような寸法範囲に収まる構造の四角形状の半導体ダイアフラムを備えた圧力センサとすることで、半導体ダイアフラムに作用する圧力に応じたダイアフラムの変形に伴って生じる応力 - 歪み特性の非線形領域を広め、この非線形領域を圧力測定に上手く利用することができるようになり、高感度で高耐圧の圧力センサとすることができる。

10

【0012】

また、請求項 3 に記載の本発明にかかる圧力センサは、請求項 1 又は請求項 2 に記載の圧力センサにおいて、

前記ダイアフラムが単結晶シリコンで形成されていることを特徴としている。

【0013】

20

特に塊の状態では塑性変形せず、応力 - 歪み特性に関する非線形性を持たない単結晶シリコンを半導体チップの材料に用いた場合、或る程度の厚さのダイアフラムを形成すると、ダイアフラムが本来降伏点を迎えず応力 - 歪み特性に関する線形領域内で破壊してしまう。しかしながら、本発明の寸法関係のようなダイアフラムとすることで、応力 - 歪み特性に関する非線形性を積極的に生じさせることができ、高感度で高耐圧という、相反する要求を満たした圧力センサとすることができる。

【発明の効果】

【0016】

本発明によると、半導体ダイアフラムに作用する圧力に応じたダイアフラムの変形に伴って生じる応力 - 歪み特性の非線形領域を広め、この非線形領域を圧力測定に上手く利用することができるようになり、高感度で高耐圧という相反する要求を満たした圧力センサとすることができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明の一実施形態にかかる圧力センサ 1 は、図 1 及び図 2 に示すように結晶面方位が (100) 面の単結晶シリコンからなる正方形のセンサチップ 10 を有している。なお、本実施形態における説明では「圧力」の用語のみを用いるが、ダイアフラムの両面に異なる圧力が加わり、この差圧を測定する場合もこれらの実施形態に含まれることは言うまでもない。また、本発明は、結晶面方位が (100) 面のシリコンからなるセンサチップに限定されず、結晶面方位が (110) 面のシリコンからなるセンサチップにも適用可能である。

40

【0018】

センサチップ 10 は、チップ表面の所定位置に形成された正方形のダイアフラム 11 と、センサチップ 10 の外周部を形成しダイアフラム 11 を取り囲む厚肉部 12 とからなる。そして、センサチップ 10 の裏面中央にはダイアフラム 11 の形成によって正方形の凹部 13 が形成され、厚肉部 12 が台座 15 に陽極接合されている。台座 15 は、パイレックス（登録商標）ガラスやセラミックス等によってセンサチップ 10 と略同一の大きさを有する角柱体に形成されている。また、台座 15 には、ダイアフラム 11 の裏側に被測定媒体の圧力を導く導圧路 15a が形成されている。

【0019】

50

ダイアフラム 11 は、図 2 に示す平面視でその対角線がセンサチップ 10 の対角線と直交するようにセンサチップ 10 に対して略 45° 傾いた状態で形成されている（図 2 中の点線で示すダイアフラム 11 の縁部参照）。そして、ダイアフラム表面の周縁部付近にはピエゾ領域として作用し圧力を検出する 4 つの圧力検出用のセンサゲージ 210（211～214）がセンサチップ 10 の対角線に平行する位置に形成されている。即ち、これらのセンサゲージ 211～214 は、センサチップ 10 の（100）面においてピエゾ抵抗係数が最大となる〈110〉方向に形成されている。

【0020】

このようなセンサゲージ 210（211～214）は、拡散法又はイオン打ち込み法によって形成され、図示しないリードによってホイーストーンブリッジ回路を構成するように結線されており、ダイアフラム 11 の表裏面に異なる圧力がそれぞれ印加されると、その差圧に応じたダイアフラム 11 の変形に伴い各センサゲージ 210 の抵抗が変化し、測定圧力を求めるための差圧信号を差動的に出力するようになっている。

【0021】

なお、本実施形態の場合、圧力センサ 1 のセンサチップ 10 の大きさは圧力の作用方向で見て正方形形状の一辺が 4.0 mm、厚さが 250 μm 程度を有し、同じく圧力の作用方向で見て正方形形状のダイアフラム 11 の大きさは一辺が 2.0 mm、厚さが 13 μm 程度を有している。即ち、本実施形態にかかる圧力センサ 1 のセンサチップ 10 は単結晶シリコンの半導体でできており、かつダイアフラム 11 の厚さが 15 μm 未満であってダイアフラム 11 の一辺長をこのダイアフラム 11 の厚さで割ったアスペクト比が 135 以上となっている。

【0022】

そして、本実施形態にかかる圧力センサ 1 のダイアフラム 11 は、上述のアスペクト比を横軸とし、圧力センサ 1 の許容圧力を縦軸とすることで規定される後に詳細に説明する圧力センサ 1 の許容耐圧特性曲線の微分値がほぼゼロとなるアスペクト比を有するダイアフラムを備えていることになっている。

【0023】

なお、上述した構成を有する圧力センサ 1 の製造プロセスについては、例えば特開平 6 - 85287 号公報に記載されたように公知であり、ダイアフラム 11 の厚さを正確に管理する製造プロセスについても特開 2000 - 171318 号公報に記載されたように公知であるので、ここではこの製造プロセスについての詳細な説明を省略する。また、特開 2000 - 171318 号公報に記載された圧力センサのセンサチップは、2 つのシリコン層の間に二酸化シリコン層が介在した構成を有しており、本発明を示す図 1 においては、このような二酸化シリコン層が描かれていないが、同図は本発明の理解の容易化のために概略的に描いた構成図であり、上記公報に記載された二酸化シリコン層を有したのも本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。

【0024】

以上のような構成を有する圧力センサ 1 を用いることで、スパン電圧が 5.0 kPa（60 mV）と高感度を有しつつ耐圧が 350 kPa の高耐圧を有する圧力センサとすることができる。これは、半導体チップが単結晶シリコンでできておりかつダイアフラム 11 が上述した寸法形状を有することにより、図 4 に示すダイアフラム 11 の応力 - 歪み特性の非線形領域をうまく利用しているからである。

【0025】

なお、本発明のようにこのような高感度でありながら高耐圧という、相反する要求を満たす圧力センサとするためには、上述した実施形態のようなセンサチップ 10 の材質及びダイアフラム 11 の寸法関係に限定される必要はなく、センサチップの一部に形成されたダイアフラムの一辺長をこのダイアフラムの厚さで割ったアスペクト比を横軸とし、圧力センサの許容耐圧を縦軸とすることで規定される圧力センサの許容耐圧特性曲線の微分値がほぼゼロとなるアスペクト比をダイアフラムが有していれば良い。また、異法性エッチングを介してダイアフラムを製造することで圧力が作用する方向から見てダイアフラムが

四角形形状を有することには限定されず、等方性エッチングを介してダイアフラムを製造することでダイアフラムが円形形状を有していても本発明を適用することは可能である。

【 0 0 2 6 】

しかしながら、本発明における上述した作用を十分発揮するために、好ましくは圧力の作用する側から見てダイアフラムが四角形形状を有し、ダイアフラムが単結晶シリコンで形成され、ダイアフラムの厚さが $15\ \mu\text{m}$ であってアスペクト比が $1\ 3\ 5$ であるのが良い。

【 0 0 2 7 】

圧力の作用する側から見てダイアフラムが四角形形状を有していることが好ましい理由は、異方性エッチングを介してダイアフラムを形成した結果、ダイアフラムが四角形形状を有していると、例えば等方性エッチングを介してダイアフラムを円形形状に形成する場合に比べて厚さをより薄くしないと非線形領域が現れなくななくなるため、この非線形領域を利用するためにダイアフラムの厚さを薄くせざるを得なくなる。しかしながら、ダイアフラムの厚さを薄くすることで四角形形状のダイアフラムには特に応力集中が生じ易くなる。そのため、本発明のような寸法範囲に収まる構造の四角形形状の半導体ダイアフラムを備えた圧力センサを用いることで、半導体ダイアフラムに作用する圧力に応じたダイアフラムの変形に伴って生じる応力 - 歪み特性の非線形領域を広め、この非線形領域を圧力測定に上手く利用することができるようになり、高感度で高耐圧の圧力センサとすることができるからである。

【 0 0 2 8 】

また、ダイアフラムが単結晶シリコンで形成されているのが好ましい理由は、特に塊の状態では塑性変形せず、応力 - 歪み特性に関する非線形性を持たない単結晶シリコンを半導体チップの材料に用いた場合、或る程度の厚さを有するダイアフラムを形成した場合、ダイアフラムが本来降伏点を迎えず応力 - 歪み特性に関する線形領域内で破壊してしまうが、本発明の寸法関係のようなダイアフラムとすることで、応力 - 歪み特性に関する非線形性を積極的に生じさせることができ、高感度で高耐圧という、相反する要求を満たした圧力センサとすることができるからである。

【 0 0 2 9 】

また、ダイアフラムの厚さが $15\ \mu\text{m}$ であってアスペクト比が $1\ 3\ 5$ であることは好ましい理由については、本発明の発明者がその裏付けとなる実験を実際に行ったので、その結果を実施例として以下に合わせて説明する。

【実施例】

【 0 0 3 0 】

上述した一般的な半導体プロセスを利用して製造した様々な厚さのダイアフラムを備えた単結晶シリコンでできた圧力センサを用いて各圧力センサの圧力に対する出力特性とダイアフラムの応力 - 歪み特性を調べる実験を行った。なお、各圧力センサの寸法関係は、また、半導体チップの大きさや厚さ、ダイアフラムの一辺長の長さは、上述した実施例と同等の寸法関係とした。そして、ダイアフラムの一辺長をダイアフラムの厚さで割ったアスペクト比をそれぞれ特定のアスペクト比となるように管理して様々な圧力センサを製造した。

【 0 0 3 1 】

即ち、実験に際してアスペクト比を変えるにあたっては、ダイアフラムの一辺長を固定してダイアフラムの厚さを変えるようにした。そして、このアスペクト比が異なる様々な厚さのダイアフラムを備えた圧力センサを用いて各圧力センサの感度を示すスパン電圧 ($\text{kPa}(\text{mV})$) で示される出力とダイアフラムに作用する圧力、即ち耐圧 (kPa) を測定した。

【 0 0 3 2 】

図 3 は、この測定結果を示す圧力センサの出力特性図であり、横軸がダイアフラムのアスペクト比を示し、左側の縦軸が圧力センサの耐圧 (kPa) を示し、右側の縦軸が圧力センサの感度を出力電圧 (mV) で示している。

【 0 0 3 3 】

この特性図において示された多数のプロットは、圧力センサの各アスペクト比に対応する耐圧を実際に測定した測定結果を示しており、図中左側の縦方向に並んだ多数のプロットは厚さ $30\ \mu\text{m}$ のダイアフラムを備えた圧力センサの測定結果を示し、図中中央部分に広く分散した多数のプロットは厚さ $23\ \mu\text{m}$ のダイアフラムを備えた圧力センサの測定結果を示し、図中右側に狭く分散した多数のプロットは厚さ $13\ \mu\text{m}$ のダイアフラムを備えた圧力センサの測定結果を示している。

【 0 0 3 4 】

そして、図 3 において右側に向かって下降し、ダイアフラムの厚さが約 $15\ \mu\text{m}$ でアスペクト比が約 135 のあたりで極小値（微分値がほぼゼロ）となる曲線がこの測定結果に基づいて求めたダイアフラムのアスペクト比に対する圧力センサの耐圧を示す耐圧特性である。一方、図中右上に向かって上昇していく直線は、ダイアフラムの各アスペクト比に対する上述した出力電圧を測定することで求めた圧力センサの感度を示す出力特性である。

10

【 0 0 3 5 】

本来的には、上述の耐圧特性と出力特性は圧力センサの出力電圧が高ければ高いほど耐圧が低下するはずであるが、本実験のような寸法を有する圧力センサを用いてアスペクト比をコントロールすることで、この出力特性図から明らかなように、圧力センサの許容耐圧特性曲線の微分値がほぼゼロとなる（最小値となる）点を積極的に生み出すことができ、この実験結果から、特にダイアフラムのアスペクト比が 135 以上でダイアフラムの厚さが $15\ \mu\text{m}$ 未満の圧力センサ、即ち上述した本実施形態におけるような圧力センサが高感度で高耐圧という、相反する要求を満たした圧力センサとなっていることが分かった。

20

【 0 0 3 6 】

これは、このような寸法範囲に収まる構造の半導体ダイアフラムを備えた圧力センサを用いることで、図 4 に示すように半導体ダイアフラムに作用する圧力に応じたダイアフラムの変形に伴って生じる応力 - 歪み特性の非線形領域を広め、この非線形領域を圧力測定に上手く利用することで、高感度で高耐圧の圧力センサという、相反する要求を満たしていると考えられる。

【 0 0 3 7 】

以上説明したように、本発明の寸法範囲に収まる構造の半導体ダイアフラムを備えた圧力センサを用いることで、図 4 に示すようにダイアフラムに作用する圧力に応じたダイアフラムの変形に伴って生じる応力 - 歪み特性の非線形領域を広め、この非線形領域を圧力測定に上手く利用することで、高感度で高耐圧の圧力センサを提供できることが分かった。

30

【 0 0 3 8 】

この場合、特に圧力が作用する側から見て圧力センサのダイアフラムが四角形状を有しているのが好ましいことが分かった。これは、例えば異方性エッチングを介して四角形状のダイアフラムを形成すると、例えば等方性エッチングを介して円形状のダイアフラムを形成した場合に比べて厚さをより薄くしないと非線形領域が現れなくななくなるため、この非線形領域を利用するためにダイアフラムの厚さを薄くせざるを得なくなる。しかしながら、ダイアフラムの厚さを薄くすることで四角形状のダイアフラムには特に応力集中が生じ易くなる。そのため、本発明のような寸法範囲に収まる構造の四角形状の半導体ダイアフラムを備えた圧力センサを用いることで、半導体ダイアフラムに作用する圧力に応じたダイアフラムの変形に伴って生じる応力 - 歪み特性の非線形領域を広め、この非線形領域を圧力測定に上手く利用することができるようになり、高感度で高耐圧の圧力センサになるためと考えられる。

40

【 0 0 3 9 】

また、この場合、特にダイアフラムが単結晶シリコンで形成されているのが好ましいことが分かった。これは、特に塊の状態では塑性変形せず、応力 - 歪み特性に関する非線形性を有さない単結晶シリコンを半導体チップの材料に用いた場合、ダイアフラムを形成す

50

ると、或る程度の厚さのダイアフラムでは本来降伏点を迎えず応力 - 歪み特性に関する線形領域内で破壊してしまうが、本発明の寸法関係のようなダイアフラムとすることで、図 4 に示すように応力 - 歪み特性に関する非線形性を積極的に生じさせることができ、高感度で高耐圧という、相反する要求を満たした圧力センサになるためと考えられる。

【 0 0 4 0 】

また、この場合、特にダイアフラムの厚さが $15\ \mu\text{m}$ であってアスペクト比が $1\ 3\ 5$ であるのが好ましいことが分かった。これは、ダイアフラムの寸法を特にこのように限定することで、ダイアフラムの応力 - 歪み特性の非線形領域を確実に利用することができ、高感度で高耐圧という、相反する要求を満たした圧力センサになるためと考えられる。

【図面の簡単な説明】

10

【 0 0 4 1 】

【図 1】本発明の一実施形態にかかる圧力センサの概略構成を示す断面図である。

【図 2】図 1 に示した圧力センサの平面図である。

【図 3】本発明の一実施形態にかかる圧力センサについての出力特性と耐圧特性を示す特性図であり、横軸がダイアフラムのアスペクト比を示し、左側の縦軸が圧力センサの耐圧 (kPa) を示し、右側の縦軸が圧力センサの感度をスパン電圧 (mV) で示している。

【図 4】本発明の一実施形態にかかる圧力センサの応力 - 歪み特性を示す図である。

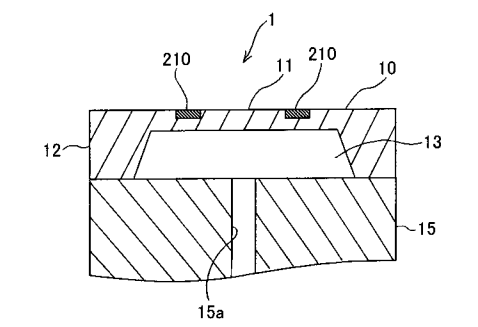
【符号の説明】

【 0 0 4 2 】

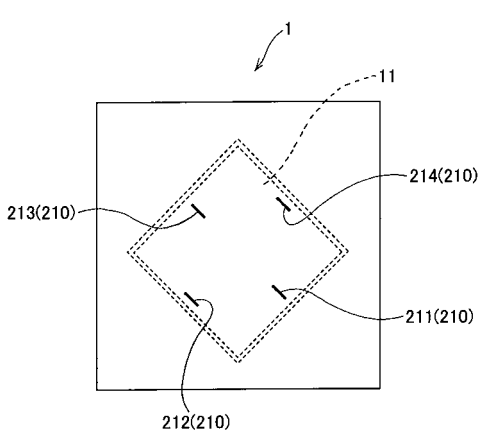
- 1 圧力センサ
- 1 0 センサチップ
- 1 1 ダイアフラム
- 1 2 厚肉部
- 1 3 凹部
- 1 5 台座
- 1 5 a 導圧路
- 2 1 0 (2 1 1 ~ 2 1 4) センサゲージ

20

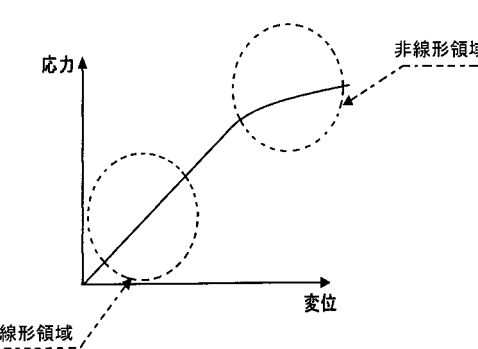
【図 1】



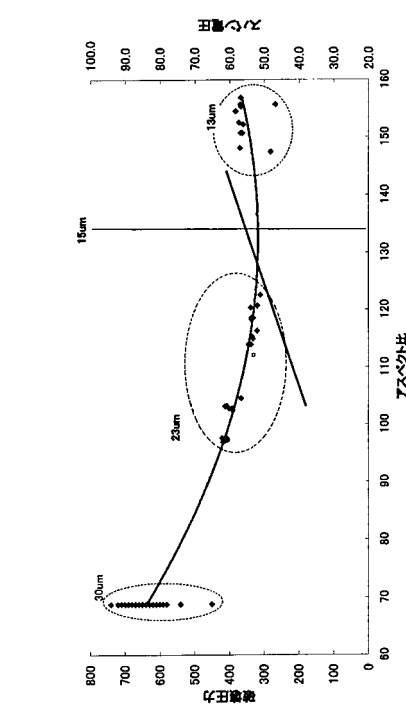
【図 2】



【図 4】



【図 3】



フロントページの続き

審査官 石井 哲

(56)参考文献 特開2002-005763(JP,A)
特開2001-356061(JP,A)
特開平07-007162(JP,A)
特開2001-099734(JP,A)
特開2002-236067(JP,A)
特開2002-181650(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01L 9/00
H01L 29/84