

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5057778号
(P5057778)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月10日(2012.8.10)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 29/84 (2006.01)	HO 1 L 29/84 A
BS 1 B 3/00 (2006.01)	BS 1 B 3/00
GO 1 L 9/00 (2006.01)	GO 1 L 9/00 3 O 1 A
GO 1 P 15/08 (2006.01)	GO 1 P 15/08 Z
	HO 1 L 29/84 B

請求項の数 69 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2006-504725 (P2006-504725)	(73) 特許権者	505333768
(86) (22) 出願日	平成16年3月18日(2004.3.18)		マイクロガン ゲーエムペーハー
(65) 公表番号	特表2006-520536 (P2006-520536A)		ドイツ連邦共和国、89081 ウルム、
(43) 公表日	平成18年9月7日(2006.9.7)		リーセーマイトナーシュトラッセ 13
(86) 国際出願番号	PCT/EP2004/002817	(74) 代理人	100104156
(87) 国際公開番号	W02004/083110		弁理士 龍華 明裕
(87) 国際公開日	平成16年9月30日(2004.9.30)	(72) 発明者	クンゼ マイク
審査請求日	平成19年2月2日(2007.2.2)		ドイツ連邦共和国、89250 センデン
(31) 優先権主張番号	10311757.1		、ハイムストラッセ 16
(32) 優先日	平成15年3月18日(2003.3.18)	(72) 発明者	ダウミラー インゴ
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		ドイツ連邦共和国、89165 ディテン
		(72) 発明者	ハイム、オベレ ワイハーストラッセ 1
			ベンカート ペーター
			ドイツ連邦共和国、86447 ストット
			ガード、キルヒバーグストラッセ 12
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体からなる半導体センサ素子及び製造方法、及び、当該半導体センサ素子を用いた測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体センサ素子であって、
基板ベースと、
前記基板ベース上に配置された半導体層とを含み、
前記半導体層は、前記基板ベースに対して片持ちまたは両持ちされており、接合面を介して前記基板ベースと部分的に直接接し且つ前記基板ベースと部分的に直接接しておらず、III族窒化物半導体化合物を含む均質な半導体層または互いに接した2つだけの均質な半導体層を含むIII族窒化物半導体化合物のヘテロ構造であり、

半導体センサ素子により決定される物理的変数における変化に基づき、前記半導体層により生成されることができる電気出力信号を伝達するための少なくとも2つの導電コンタクトが前記半導体層に直接接して設けられることを特徴とする、半導体センサ素子。

【請求項2】

前記2つのコンタクトの少なくとも1つが前記均質な半導体層の領域である離間領域内に配置され、該離間領域は、前記基板ベースに直接接していないか、または、該基板ベースの表面と間隔を置いており、さらに、前記2つのコンタクトの少なくとも1つは、前記均質な半導体層の領域である非離間領域内に配置され、該非離間領域は、前記基板ベースに直接接しているか、または、該基板ベースの表面と間隔を置いていないことを特徴とする、請求項1に記載の半導体センサ素子。

【請求項3】

前記均質な半導体層は、隆起した領域またはメサ領域を有し、該領域は、前記均質な半導体層に面した基板ベースの表面に対し垂直な方向に、前記均質な半導体層の非メサ領域より大きい厚みを有し、該非メサ領域は、前記均質な半導体層に面した半導体ベースの表面と平行な方向において前記メサ領域と接していることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 4】

隆起した領域またはメサ領域が、前記均質な半導体層の離間領域の一部上に、該均質な半導体層に面した基板ベースの表面と平行な方向で延び、かつ、該均質な半導体層の非離間領域の一部上に延びるよう配置されていることを特徴とする、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

10

【請求項 5】

前記均質な半導体層は、隆起した領域またはメサ領域を有し、前記離間領域から前記非離間領域への遷移は、前記隆起した領域またはメサ領域の中心領域内で前記均質な半導体層に面した基板ベースの表面と平行な方向に実行されることを特徴とする、請求項 2 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 6】

前記コンタクトの少なくとも 1 つが、前記隆起した領域またはメサ領域の外縁部の領域上および / または内に直接配置されていることを特徴とする、請求項 3 から 5 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 7】

前記均質な半導体層に面した基板ベースの表面に対し垂直な方向における非メサ領域の前記均質な半導体層の厚みは、0.2 ミクロンメートル以上 50 ミクロンメートル以下であり、および / また、前記隆起した領域またはメサ領域における前記均質な半導体層の厚みは、前記非メサ領域の前記均質な半導体層の厚みに 20 ナノメートル以上 1000 ナノメートル以下の厚み加えた厚みを有することを特徴とする、請求項 3 から 6 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

20

【請求項 8】

前記基板ベースがシリコン Si を含むかまたはシリコン Si から形成されていることを特徴とする、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 9】

前記均質な半導体層が相対元素量 $0 < x < 1.0$ による $Al_x Ga_{1-x} N$ 、 $In_x Ga_{1-x} N$ 、または、 $In_x Al_{1-x} N$ である III 族窒化物半導体構造を含むか、または、それによって形成されていることを特徴とする、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

30

【請求項 10】

前記均質な半導体層が窒化ガリウムを含むか、または、それによって形成されていることを特徴とする、請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 11】

前記均質な半導体層と前記基板ベースとの間、または、互いに向き合うそれぞれの表面間における面間隔により生じた空間領域が満たされないことにより、前記基板ベースに対し、前記半導体層が少なくとも部分的に片持ちされていることを特徴とする、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

40

【請求項 12】

前記均質な半導体層と前記基板ベースとの間、または、互いに向き合うそれぞれの表面間における面間隔により生じた離間領域が、非金属および非半導体材料により少なくとも部分的に満たされることを特徴とする、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 13】

前記非金属および非半導体材料により、前記センサ素子の熱伝導特性、および / または、機械特性、および / または、高周波特性が向上できることを特徴とする、請求項 12 に

50

記載の半導体センサ素子。

【請求項 14】

前記非金属および非半導体材料が、 SiO_2 、および/または、 SiN 、および/または、ダイヤモンド、および/または、ダイヤモンドライクカーボン、および/または、シリコン系充填材、および/または、 Al_2O_3 、および/または、熱伝導プラスチック材料を含むか、あるいは、それによって形成されることを特徴とする、請求項 12 または 13 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 15】

前記均質な半導体層がドーピングされないか、p型ドーピングされるか、または、n型ドーピングされることを特徴とする、請求項 1 から 14 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

10

【請求項 16】

前記基板ベースに面した前記均質な半導体層の表面に対し本質的に垂直な方向における該均質な半導体層の延長が、0.2ミクロンメートル以上50ミクロンメートル以下であることを特徴とする、請求項 1 から 15 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 17】

前記III族窒化物半導体化合物のヘテロ構造を形成する目的で、前記均質な半導体層の前記基板ベースと距離を置いて面した側には、相対元素量 $0 \leq y \leq 1.0$ による $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、または、 $\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{N}$ のカバー層が配置されていることを特徴とする、請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

20

【請求項 18】

前記カバー層は、前記均質な半導体層の隆起した領域またはメサ領域上に配置され、前記均質な半導体層の非メサ領域内には配置されないことを特徴とする、請求項 17 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 19】

前記カバー層が窒化アルミニウムガリウムから形成され、 $0.1 \leq y \leq 0.3$ であることを特徴とする、請求項 17 または 18 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 20】

前記カバー層が機械的に歪められるか、および/または、前記基板ベースに面したその表面に対し本質的に垂直な方向における前記カバー層の延長が、5ナノメートル以上1000ナノメートル以下であることを特徴とする、請求項 17 から 19 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

30

【請求項 21】

前記カバー層が、ドーピングされないか、p型ドーピングされるか、または、n型ドーピングされることを特徴とする、請求項 17 から 20 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 22】

前記基板ベースと距離を置いて面した前記カバー層の側には、相対元素量 $0 \leq z \leq 1.0$ による $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 、または、 $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$ の少なくとも1つのさらなる均質な半導体層が配置されていることを特徴とする、請求項 17 から 21 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

40

【請求項 23】

さらなる前記均質な半導体層が、ドーピングされないか、p型ドーピングされるか、または、n型ドーピングされることを特徴とする、請求項 22 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 24】

ドーピング材料の原子含有量が cm^3 あたり 0 以上、および/または、 cm^3 あたり 10^{20} 以下であり、あるいは/また、前記ドーピング材料は、シリコン Si および/またはマグネシウム Mg を含むか、または、それによって形成され、あるいは/また、ドーピング層は、少なくとも1つの容量ドーピング、および/または、少なくとも1つのパルスドー

50

ピングを有することを特徴とする、請求項 15、21 または 23 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 25】

前記導電コンタクトが p 型およびまたは n 型コンタクトであることを特徴とする、請求項 1 から 24 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 26】

前記 n 型コンタクトがアルミニウムおよびまたはチタンを含むかまたはそれによって形成され、前記 n 型コンタクトの厚みが最大 1000 ナノメートルであることを特徴とする、請求項 25 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 27】

p 型コンタクトが、金属、ニッケル層、金属の順で層列をなし、各層の厚みが最大でも 1000 ナノメートルであることを特徴とする、請求項 25 または 26 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 28】

前記導電コンタクトが、それを介して前記均質な半導体層と前記カバー層との間の遷移領域内で生成された電気出力信号が伝達されるように配置され、あるいは / また、前記導電コンタクトが前記均質な半導体層と前記カバー層との接合面に直接配置されることを特徴とする、請求項 17 から 21 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 29】

前記導電コンタクトがメタライゼーションを有することを特徴とする、請求項 1 から 28 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 30】

前記決定される物理的変数は、圧力、温度、力、偏向、および / または、加速度であることを特徴とする、請求項 1 から 29 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 31】

前記均質な半導体層の前記基板ベースに関する空間状態、形状、容量、表面構造、および / または、偏向あるいは隆起おける変化を通じて前記均質な半導体層により決定される物理的変数の変化は、前記電気出力信号に直接変換されることができるとを特徴とする、請求項 1 から 30 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 32】

前記出力信号が、前記均質な半導体層の格子における圧電特性または機械的变化により生成されることができるとか、または、前記均質な半導体層における電荷担体密度における変化、または、他の電気的変数を表すことを特徴とする、請求項 1 から 31 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 33】

前記均質な半導体層が前記基板ベースに少なくとも 1 つのアンカーポイントで接続されるか、または、該基板ベースとの少なくとも 1 つの接合面を介し該基板ベースと当接することにより、前記アンカーポイントに接続されていないか、または、前記基板ベースに当接していない前記均質な半導体層の少なくとも一部が、前記基板ベースに関して決定される物理的変数における変化により、該基板ベースに対し直接偏向されることができるとを特徴とする、請求項 1 から 32 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 34】

前記均質な半導体層の少なくとも 2 つのアンカーポイントが該均質な半導体層の一部の形状をなす接続を有し、前記一部は、前記基板ベースに対し偏向できないか、または、該基板ベースとの接合面を有することを特徴とする、請求項 1 から 33 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 35】

前記均質な半導体層の偏向可能な部分が、1 つだけのアンカーポイントを介し前記基板ベースに接続されることにより、該偏向可能な部分は、本質的に線形のバーになり、前記アンカーポイントは、該バーの端部の 1 つに配置されることを特徴とする、請求項 33 に

10

20

30

40

50

記載の半導体センサ素子。

【請求項 36】

前記均質な半導体層の偏向可能な部分が、2つのアンカーポイントを介し前記基板ベースに接続されることにより、該偏向可能な部分は、本質的に線形バーになり、前記2つのアンカーポイントは、該バーの2つの端部に配置されることを特徴とする、請求項33または34に記載の半導体センサ素子。

【請求項 37】

前記均質な半導体層の偏向可能な部分が、2つのアンカーポイントを介し前記基板ベースに接続されることにより、該偏向可能な部分は、本質的にU字形バーになり、前記2つのアンカーポイントは、該U字形バーの2つの端部に配置されることを特徴とする、請求項33または34に記載の半導体センサ素子。

10

【請求項 38】

前記均質な半導体層の偏向可能な部分が、3つのアンカーポイントを介し前記基板ベースに接続されることにより、該偏向可能な部分は、本質的にY字形バーになり、前記3つのアンカーポイントは、該Y字形バーの3つの端部に配置されることを特徴とする、請求項33または34に記載の半導体センサ素子。

【請求項 39】

前記均質な半導体層の偏向可能な部分が、4つのアンカーポイントを介し前記基板ベースに接続されることにより、該偏向可能な部分は、本質的にXまたはH字形バーになり、該4つのアンカーポイントは、前記XまたはH字形バーの4つの端部に配置されることを特徴とする、請求項33または34に記載の半導体センサ素子。

20

【請求項 40】

前記均質な半導体層の偏向可能な部分が、複数のアンカーポイントを介し前記基板ベースに接続されることにより、該偏向可能な部分は、本質的に二重の楕円形バーになり、前記アンカーポイントは、前記楕円の歯バーの端部に配置されることを特徴とする、請求項33または34に記載の半導体センサ素子。

【請求項 41】

前記偏向方向に対し本質的に垂直な所定の方向におけるバーの最小幅が、20ミクロンメートル以上200ミクロンメートル以下であり、あるいは/また、前記アンカーポイントの間隔の相加平均が、300ミクロンメートル以上5000ミクロンメートル以下であることを特徴とする、請求項35から40のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

30

【請求項 42】

前記均質な半導体層の偏向可能な部分が膜として形成され、前記物理的変数における差により、前記膜の両側で前記均質な半導体層が隆起し、その結果、前記均質な半導体層の偏向可能な部分、および/または、該均質な半導体層の、前記偏向可能な部分に接続されかつ前記基板ベースに対し偏向できない部分において、前記出力信号が生成できることを特徴とする、請求項33から40のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 43】

前記膜が本質的に円形または半円形であることを特徴とする、請求項42に記載の半導体センサ素子。

40

【請求項 44】

少なくとも2つの電氣的に接続された均質な半導体層素子により特徴付けられる、請求項1から43のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 45】

少なくとも2つの半円形膜半導体層素子が円形膜半導体層素子と接続されることにより、温度に依存しない圧力センサが生成されることを特徴とする、請求項43または44に記載の半導体センサ素子。

【請求項 46】

前記均質な半導体層の1つの偏向可能な部分において、高密度な固体が、決定される物理的変数における変化によって基板ベースに対し直接偏向されることができるよう配置さ

50

れるかまたは固定され、その結果、前記均質な半導体層の該偏向部分、および/または、一部分において、該一部分が前記偏向可能な部分に接続されて前記基板ベースに対して偏向できなくなり、前記出力信号が生成できるようになることを特徴とする、請求項 33 から 43 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 47】

前記半導体センサ素子、および/または、前記均質な半導体層が、III族窒化物半導体構造を有する集積電気または電子回路による機能ユニットとして構成されていることを特徴とする、請求項 1 から 46 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子。

【請求項 48】

前記集積電気または電子回路が、ダイオード構造、および/または、トランジスタ素子、および/または、温度センサ素子を有し、あるいは/また、前記集積電気または電子回路は、補償回路、または、増幅回路であることを特徴とする、請求項 47 に記載の半導体センサ素子。

10

【請求項 49】

前記集積電気または電子回路が、ショットキーコンタクトを有し、および/または、ホイートストンブリッジとして構成されることを特徴とする、請求項 47 または 48 に記載の半導体センサ素子。

【請求項 50】

物理的変数における変化を決定するための測定方法であって、

基板ベース上に配置された半導体層を含み、前記半導体層は、前記基板ベースに対して片持ちまたは両持ちされており、接合面を介して前記基板ベースと部分的に直接接し且つ前記基板ベースと部分的に直接接しておらず、

20

前記半導体層として、III族窒化物半導体化合物を含む均質な半導体層またはIII族窒化物半導体化合物を有する互いに接した2つだけの均質な半導体層を含むヘテロ構造が使用され、

前記半導体層により決定される物理的変数における変化に基づき、前記半導体層により生成されることができる電気出力信号を伝達するための少なくとも2つの導電コンタクトが前記半導体層に直接接して設けられ、

前記半導体層における前記物理的変数における変化に基づき、電気出力信号を生成し、該出力信号を、前記少なくとも2つの導電コンタクトを介し伝達する工程を備える、測定方法。

30

【請求項 51】

請求項 1 から 49 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子が用いられることを特徴とする、請求項 50 に記載の測定方法。

【請求項 52】

決定される前記物理的変数が、圧力、温度、力、偏向、および/または、加速度であることを特徴とする、請求項 50 または 51 に記載の測定方法。

【請求項 53】

請求項 1 から請求項 49 のいずれか一項に記載の半導体センサ素子の製造方法であって、

40

III族窒化物半導体化合物を含む均質な半導体層またはIII族窒化物半導体化合物を含む互いに接した2つだけの均質な半導体層から構成され、エッチングされるメサの基礎領域に対応する領域上の基板ベースと間隔を置いて面している表面にマスクが施される積層半導体を前記基板ベース上に配置する工程と、

前記積層半導体のエッチングされるメサの前記基礎領域に対応した前記領域に、生成される離間領域に当接する領域内の前記基板ベースに被さらないようにエッチングマスクングする工程と、

前記積層半導体を、前記基礎領域に対応する前記領域の外側から前記基板ベースに至るまでエッチングする工程と、

少なくとも2つの導電コンタクトまたは電気コンタクト層を前記積層半導体に直接接し

50

て設ける工程とを備え、

前記エッチングする工程において、前記離間領域に当接する領域内と、前記エッチングマスクングおよび前記均質な半導体層の下の前記離間領域内との両方において前記基板ベースをエッチングするか、または、前記離間領域において前記エッチングマスクングおよび前記均質な半導体層をアンダーエッチングし、

前記均質な半導体層は、前記基板ベースに接続されており、前記基板ベースに面した前記基礎領域においては前記基板ベースと少なくとも部分的に当接しないかまたは離れていることを特徴とする、製造方法。

【請求項 5 4】

隆起した領域またはメサ領域が前記積層半導体からエッチングされることを特徴とする、請求項 5 3 に記載の製造方法。

10

【請求項 5 5】

前記離間領域および前記当接する領域におけるエッチングが、前記積層半導体に対し、前記基板ベース方向に実行されることを特徴とする、請求項 5 3 または 5 4 に記載の製造方法。

【請求項 5 6】

前記離間領域および前記当接する領域におけるエッチングが、前記基板ベースに対し、前記積層半導体方向に実行されることを特徴とする、請求項 5 3 または 5 4 に記載の製造方法。

【請求項 5 7】

前記基板ベースがシリコン Si を含むかまたはそれによって形成されることを特徴とする、請求項 5 3 から 5 6 のいずれか一項に記載の製造方法。

20

【請求項 5 8】

前記積層半導体と境界をなす前記シリコンを含む基板ベースの表面は、[1 1 1] 表面であることを特徴とする、請求項 5 7 に記載の製造方法。

【請求項 5 9】

前記積層半導体が、相対元素量 $0 < x < 1.0$ による $Al_x Ga_{1-x} N$ 、 $In_x Ga_{1-x} N$ 、または、 $In_x Al_{1-x} N$ である III 族窒化物半導体構造を含む少なくとも 1 つの半導体層を有することを特徴とする、請求項 5 3 から 5 8 のいずれか一項に記載の製造方法。

30

【請求項 6 0】

前記積層半導体が、窒化ガリウムを含有する均質な半導体層を含むかまたはそれによって形成されることを特徴とする、請求項 5 3 から 5 9 のいずれか一項に記載の製造方法。

【請求項 6 1】

前記積層半導体が、窒化ガリウムを含有するかまたはそれによって形成される均質な半導体層と、前記基板ベースと間隔を置いて面した側の層に配置された窒化アルミニウムガリウムであり、 $0.1 < y < 0.3$ である $Al_y Ga_{1-y} N$ からなるカバー層を含むことを特徴とする、請求項 5 3 から 6 0 のいずれか一項に記載の製造方法。

【請求項 6 2】

前記カバー層が、前記積層半導体からエッチングされて形成された隆起した領域またはメサ領域内部に残り、外部には残らないように、前記積層半導体がエッチングされることを特徴とする、請求項 6 1 に記載の製造方法。

40

【請求項 6 3】

前記基板ベースと前記均質な半導体層との面間隔によって生じる離間領域は、非金属および非半導体材料により少なくとも部分的に満たされることを特徴とする、請求項 5 3 から 6 2 のいずれか一項に記載の製造方法。

【請求項 6 4】

前記積層半導体の少なくとも 1 つの層が、p 型ドーピングまたは n 型ドーピングされることを特徴とする、請求項 5 3 から 6 3 のいずれか一項に記載の製造方法。

【請求項 6 5】

50

前記エッチングマスキングが、アルミニウムを含むかまたはそれによって形成されるマスクにより実行されることを特徴とする、請求項 5 3 から 6 4 のいずれか一項に記載の製造方法。

【請求項 6 6】

前記離間領域および前記当接する領域におけるエッチングが、ケミカルドライエッチング法によるものであることを特徴とする、請求項 5 3 から 6 5 のいずれか一項に記載の製造方法。

【請求項 6 7】

前記ケミカルドライエッチング法は、反応ガスにハロゲンガスを用いた反応イオンエッチング法によるものであり、前記ハロゲンガスが、塩素および/またはフッ素を有することを特徴とする、請求項 6 6 に記載の製造方法。

10

【請求項 6 8】

前記ドライエッチング法が、添加ガスにより実行されることを特徴とする、請求項 6 6 または 6 7 に記載の製造方法。

【請求項 6 9】

オームメタライゼーション、および/または、ショットキーメタライゼーションが、導電コンタクト、または、電気コンタクト層として適用されることを特徴とする、請求項 5 3 から 6 8 のいずれか一項に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、III族窒化物（窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化インジウムなどを含む）半導体構造を有するセンサ素子に関する。物理的変数の変化（音響振動、加速、偏向、または、温度などにおけるガスまたは流体の流れなどの静圧およびまたは動圧における変化）は、半導体構造が、その圧電特性により変化する物理的変数を電気出力変数または対応する出力信号に変換することによって決定される。以下、III族または第III主族元素は、元素周期表のIII族の略語を用いて説明する。

【背景技術】

【0002】

III族窒化物半導体によるマイクロセンサは、すでに公知の技術である。特許文献 1（米国特許公報 6,066,319 A 1号）では、基板に連結された微小膜が示されている。圧力が変化すると、膜に膨らみが生じる。この膨らみは、該膜に取り付けられた応力センサにより検知され、該応力センサにより電氣的に測定可能な信号に変換される。

30

【特許文献 1】米国特許公報 6,066,319 A 1号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上述した従来技術に鑑み、本発明は、カンチレバーが一体化された均質な半導体層を有する半導体センサ素子を基板上に提供することを目的とする。前記カンチレバーが一体化された均質な半導体層は、それ自体の圧電性質により、その空間状態（例えば偏向）を変化させることにより、物理的変数における変化を測定可能な電気出力信号に変換する。そしてこの信号は、均質な半導体層の上、および/または、下に直接取り付けられたコンタクトを導通させることにより、該均質な半導体から直接伝達されることができる。本発明は、さらに、本発明に従う対応する測定方法、および、対応する半導体センサ素子の構造化方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の目的は、請求項 1 に記載のセンサ素子、請求項 5 0 に記載の測定方法、および、請求項 5 3 に記載の半導体構造化方法により達成される。本発明に従うセンサ素子、または、本発明に従う方法の改良点は、それぞれの従属請求項に記載されている。

50

【0005】

ここでは均質な半導体層という観点から、III族窒化物（例えば窒化ガリウム）半導体材料からなる層全体が均一に構成されていると理解してよい。それに対し、ヘテロ構造は、少なくとも2つの均質な半導体層が交互に配置されている（例えば、窒化ガリウム層の上がアルミニウム窒化ガリウム層である窒化アルミニウムガリウム/窒化ガリウムヘテロ構造）。

【0006】

本発明に従い用いられる窒化ガリウム、窒化アルミニウム、または、窒化インジウムなどのIII族窒化物半導体構造は、従来の構造と比較して、その圧電特性により特徴付けられる。前記特性は、結晶上で等軸化され、材料の歪みに依存する分極が生じるため、機械センサ技術に用いることができる。前記分極は、例えば異なる材料（窒化アルミニウムガリウム/窒化ガリウムヘテロ構造など）の表面、または、その接合面における電荷担体密度における電荷により評価される。電荷は、分極によって直接生じる。本発明に従うセンサの原理は、格子における機械的変化であり、結果として、構造内において電氣的に測定可能な変化をもたらす。論理的には、材料内の分極が変化するので、格子定数における変化を伴い、ヘテロ構造チャンネルにおける電荷担体密度も変化する。本発明に従うセンサ素子を生成する1つの可能性は、ヘテロ構造チャンネル内の電荷担体密度が十分になることにより確実となる。しかしながら、本発明に従うセンサ構造を得ようとする場合、ヘテロ構造の特性、または、ヘテロ構造チャンネルの特性だけが限定して用いられるわけではない。均質な半導体層（例えばドーピングされていない窒化ガリウムからできた）を用いても、十分な高信号偏向率が達成できることが示されている。センサ用途には、1つの容量材料（窒化ガリウム、窒化インジウム、窒化アルミニウム、窒化アルミニウムガリウム、窒化インジウムガリウム）だけで十分である。圧電材料特性は、導電性を生じさせる目的で、異なる元素をドーピングすることなく構造を生成するために用いられることができる。同様に、ドーピングとの組み合わせも可能である（例えば、接触を良くするための容量材料のpまたはn型ドーピング）。材料の圧電性が容量材料または構造における自由電荷担体に影響を及ぼすことから、センサ構成要素を生成する目的で、圧電特性の操作が本発明に従い用いられる。したがって、構成要素における自由電荷担体密度への外部からの影響が利用される。

【0007】

処理可能な基板（特にシリコン基板が望ましい）上に生成された構成要素は、本発明に部分的にまたは完全に従い、前記基板から取り除かれる。

【0008】

容量材料を機械的に曲げることにより、それぞれの曲げ方向に従い、前記容量材料内にpまたはn型電荷担体が生成される。したがって、それぞれの層においてp型コンタクトとn型コンタクトとを用いることができるようになる。このようなタイプのコンタクトのダイオード動作により、電流は対応する湾曲に沿って流れることができ、反対方向の湾曲に沿っては流れない。

【0009】

また、本発明によれば、例えばIII族窒化によるダイオード構造またはトランジスタ構成要素を生成することにより、センサ構成要素と電気または電子回路とを一体化することが可能になる。これらは、例えば、補償回路（外部影響に対する）、または、増幅回路（信号増幅用の）であってよい。

【0010】

本発明に従う半導体センサ素子は、基板ベースと、該基板ベース上に配置されたIII族窒化物による均質な半導体層とを有する。基板ベースに面した均質な半導体層の表面は、該基板ベースと少なくとも部分的に当接しない部分を有するか、または、前記均質な半導体層に面した基板ベースの表面から間隔を置いて配置され、かつ、半導体センサ素子により決定される物理的変数における変化に基づき、均質な半導体層により生成され得る電気出力信号を伝達するための少なくとも2つの導電コンタクトが、前記均質な半導体層の上

10

20

30

40

50

、および/または、下に配置されるか、あるいは、該均質な半導体層内に一体化されることにより特徴付けられる。

【0011】

本発明に従う半導体センサ素子の第1の好適な実施例においては、均質な半導体層の離間領域内には少なくとも1つのコンタクトが配置される。前記離間領域は、基板ベースに直接当接していないか、または、該基板ベースの表面から間隔を置いて配置されており、離間していない領域内には、少なくとも1つのコンタクトが配置される。前記離間していない領域は、基板ベースに当接しているか、または、基板ベースの表面と間隔を置かずに配置される。

【0012】

本発明のさらなる好適な実施例においては、均質な半導体層は、該均質な半導体層に面した基板ベースの表面に対し垂直な方向に、該均質な半導体層の非メサ領域より厚みのある隆起した領域またはメサ領域を有する。この領域は、均質な半導体層に面した基板ベースの表面と平行な方向で前記非メサ領域と当接する。それによって、前記隆起した領域、または、メサ領域は、好ましくは、均質な半導体層に面した基板ベースの表面と平行な方向で該均質な半導体層の離間領域上に一部延び、かつ、該均質な半導体層の非離間領域上に一部延びるよう、配置される。また、それによって、前記離間領域から非離間領域への遷移は、隆起した領域またはメサ領域の中心領域における均質な半導体層に面した基板ベースの表面と平行な方向に実行される。さらなる好適な実施例においては、前記コンタクトの少なくとも1つは、隆起した領域またはメサ領域の外縁部の領域上、および/または、領域内に直接配置される。さらなる好適な実施例においては、均質な半導体層に面した基板ベースの表面に対し垂直な方向における非メサ領域内の均質な半導体層は、0.2ミクロンメートル以上50ミクロンメートル以下、特に、0.5ミクロンメートル以上5ミクロンメートル以下の厚みを有し、あるいは/また、隆起した領域またはメサ領域における均質な半導体層は、非メサ領域の厚みに加え、20ナノメートル以上1000ナノメートル以下、特に、50ナノメートル以上300ナノメートル以下の厚みを有する。更なる好適な実施例においては、基板ベースは、シリコンで形成される。さらなる好適な実施例においては、均質な半導体層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ 、 $In_xGa_{1-x}N$ 、または、 $In_xAl_{1-x}N$ を相対原子量 $0 < x < 1.0$ で含む。均質な半導体層は、特に好ましくは、窒化ガリウムから形成される。さらなる好適な実施例においては、均質な半導体層と、基板ベースとの間の面間隔により生じた離間領域が満たされていないため、基板ベースに関し、半導体層が少なくとも部分的に片持ちされた状態になっている。さらなる実施例では、前記離間領域は、非金属および非半導体材料で少なくとも部分的に満たされることができる。よって、材料は、特に、センサ素子の熱伝導特性、および/または、機械特性、および/または、高周波特性が向上するように選択される必要がある。例えば、充填材は、以下を個別に、または、基本的に任意の組み合わせで使用してもよい。 SiO_2 、 Si_xNy (特に SiN)、 DLC (ダイヤモンドライクカーボン: ダイヤモンドのような炭素)、ダイヤモンド、シリコンのような充填材、 Al_2O_3 、熱伝導プラスチック材料 (特に、ダウコーニングQ3-3600、1-41xx、および/または、SE44xx)。前述の実施例において、均質な半導体層は、ドーピングされないか、p型不純物をドーピングするか、または、n型不純物をドーピングするかのいずれかが可能である。さらなる好適な実施例においては、容量材料に代わり、ヘテロ構造が用いられる。このため、ベース基板から距離を置いて面した側の均質な半導体層上に、 $Al_yGa_{1-y}N$ 、 $In_yGa_{1-y}N$ 、または、 $In_yAl_{1-y}N$ が相対元素量 $0 < y < 1.0$ で配置される。その結果、カバー層は、隆起した領域またはメサ領域上にだけ好ましくは配置され、非メサ領域にはかぶさらないので好ましい。特に好ましくは、カバー層は、元素量 $0.1 < y < 0.3$ の $AlGaIn$ から形成され、とりわけ好ましい元素量は、 $0.15 < y < 0.25$ である。その結果、カバー層は、機械的に変形される。また、前記カバー層も、ドーピングされないか、p型不純物をドーピングするか、または、n型不純物をドーピングするかが可能である。そして、さらに、対応する半導体層をカバー層の上に

10

20

30

40

50

配置することができる。ドーピングの実施例のケースでは、ドーピング材料の含有量は、 cm^3 あたり最高約 10^{20} であるのがよい。ドーピング材料としては、シリコンおよび/またはマグネシウムが適しており、容量ドーピング、および/または、パルスドーピングに用いることができる。

【0013】

上述の導電コンタクトは、p型および/またはn型であると好都合である。ヘテロ構造の実施例においては、導電コンタクトは、それを介し、電気出力信号(ヘテロ構造チャンネル内で生成されたもの)が均質な半導体層とカバー層との間の遷移領域で生成されるよう、都合よく配置され、それによってカバー層は導通される。そのために、導電コンタクトが、均質な半導体層とカバー層との間の接合面に都合よく直接配置される。また、さらに、導電コンタクトは、n型コンタクトのためのチタンおよび/またはアルミニウムを含むかそこから形成されるか、あるいは、p型コンタクトのためのニッケルおよび/または金を含むかまたはそこから形成されるメタライゼーションを有する。メタライゼーションの厚みは、ここでは、最高 1000nm までが好適であり、特に、 200nm までが好ましい。

10

【0014】

決定される物理的変数は、圧力、温度、力、偏向、または、加速度などである。均一な半導体層またはヘテロ構造の空間状態における変化は、形状、容量、構造、1つの表面、または、単純に、基板ベースに関する偏向または膨張となる。出力信号は、特に、電流、電圧、または、電気抵抗の形で検出されるか、または、それらにおける変化において検出されることができる。本発明に従うさらなる好適な実施例においては、均一な半導体層は、1つまたはそれ以上のアンカーポイントで基板ベースに接続され、アンカーポイントで接続された均一な半導体層の部分の少なくとも一部が、基板ベースに関し片持ちされた状態になり、決定される物理的変数における変化により、基板ベースに対し直接偏向できる。さらなる実施例においては、センサ素子または均質な半導体層は、III族窒化物半導体構造からなる集積電気または電子回路による機能ユニットとして構成される。好ましくは、前記回路は、ダイオード構造、トランジスタ素子、または、温度センサ素子を有する。それらは、補償回路、または、特に信号増幅のための増幅回路であってよい。さらなる実施例における出力信号は、ショットキーコンタクトにより伝達されることができる。前記回路は、ホイートストンブリッジとして構成されることができる。

20

30

【発明の効果】

【0015】

前述の本発明に従う半導体センサ素子は、以下に列挙する効果を有する。

【0016】

・III族窒化物による集積電子回路を備える機能ユニットにおける新規なセンサ用途を生成できる。

【0017】

・経済的で新規なセンサ素子が、シリコン基板との組み合わせにおいて、再現的に生成可能になる。

【0018】

・センサまたはマイクロメカニクス技術分野において多用途となり得る。また、例えば高温用途の分野において、センサ素子のIII族窒化物の材料特性により、新規な適用分野が広がる。

40

【0019】

・センサ自体が物理的変数を電気信号に直接変換するカンチレバーに支持された能動素子であるため、該センサ自体を予め歪ませるか変形させることができる。その結果、例えば温度補償が可能になる。

【0020】

本発明に従うセンサ素子は、以降の例の1つにおいて具現、使用、または、生成されることができる。個別の例に対応する図面において、センサ素子の対応するかまたは同一な

50

構成要素は、同じ参照符号を付して示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

図1 aのAは、本発明に従うセンサ素子の7つの異なる実施例を示す。各部分図1 aのAからGにおいて、1つの実施例は、基板ベース層1上の平面図で示される。各実施例は、シリコン基板1を有し、かつ、均一な半導体層2、または、基板1を予め完全に覆っている全体層をエッチングした後に残る所望の幾何学構造の一部がその上に配置される。(残りの)均一な半導体層2の一部2 aは、カンチレバーに支持された構造を有する。すなわち、一端が支持された部分2 aは、決定される物理的変数の影響により偏向可能なように、基板1内にエッチングされたキャビティ6の上に配置される。一端が支持された部分2 a、または、均一な半導体層2は、数量不定のアンカーポイント3を介し、基板1に接続される。一端が支持された部分2 aの偏向により、材料(均質な半導体層2の容量材料)における分極が変化し、その結果、材料内における電荷担体密度が変化するか、または、均質な半導体層2の上にさらなる層が適用されることにより、材料表面、または、異なる表面との接合面にヘテロ構造が表れた場合、シリコン基板1上のキャビティ6の端に適用され、均質な半導体層2またはそのアンカーポイント3上に配置され、かつ、半導体層に当接するコンタクト5により、前記ヘテロ構造には、好ましくは、変化する電流が流される。図1 aのAにおいて、均質な半導体層2の片持ちされた偏向可能な部分2 aは、基本的にY字形のバーであるように、3つのアンカーポイント3を介し、基板ベース1に接続される。3つのアンカーポイント3と、3つの関連するコンタクト5 a - 5 cとは、Y字または対応するバーの3つの端部に配置される。Y字バー形状は、小さな機械的偏向により電荷担体密度において大きな変化が期待できるという効果をもたらす。図1 aのBにおいて、均質な半導体層2の片持ちされた偏向可能な部分2 aは、基本的にU字形であるように、エッチングされたキャビティ6の同じ側にある均質な半導体層2の2つのアンカーポイント3を介し、基板ベース1に接続される。2つのアンカーポイントと、関連するコンタクト5 aおよび5 bとは、U字または対応するバーの両端に配置され、結果的に、キャビティ6の同じ側端部に配置されることになる。U字バーを用いることにより、直線の二重固定バーを用いた場合と同様に、反対方向の湾曲により生ずる補償なしに、基板端部近くに湾曲歪みをもたらす効果を測定することができる。図1 aのCおよびEは、片持ちされた偏向可能な部分2 aが、4つのアンカーポイント3を介し、基本的にXまたはH字バーとなるように基板ベースに接続されている状態を示す。4つのアンカーポイントは、XまたはH字バーの4つの端部に配置される。XまたはH形状構造は、異なる測定経路の選択を可能にするか、または、4つのコンタクト5 a - 5 dの中から信号タッピングに用いられるコンタクトの選択を可能にする効果をもたらす。図1 aのDは、均質な半導体層2の片持ちされた偏向可能な部分2 aが基本的に二重の櫛形バーであるように、多数のアンカーポイント3を介し、基板ベース1に接続されるケースを示す。アンカーポイント3またはコンタクト5 aおよび5 bは、櫛の歯の端、または、個別のバーの端にそれぞれ配置される。櫛形のバーは、普通の直線のバーに比べ感度が優れているという利点をもつ。図1 aのFは、均質な半導体層2の片持ちされた偏向可能な部分2 aが、線形バーになるように、正確には1つのアンカーポイント3を介し、基板ベース1に接続されているケースを示す。アンカーポイント3は、バーの一端に配置され、該アンカーポイント3には第1のコンタクト5が配置される。対向するコンタクト(図示せず)は、自由バー端で部分2 a内に一体化される。図1 aのGは、片持ちされた偏向可能な部分2 aが、正確には2つのアンカーポイント3を介し基板ベース1に接続されるケースを示す。ここでは、両側が固定された片持ちされた線形バーが生成される。2つのアンカーポイント3は、関連するコンタクト5 aおよび5 bと同じように線形バーの両端に位置する。少なくとも2つの真向かいに位置するアンカーポイント3をもつ構造、すなわち、上から見ると、エッチングされたキャビティ6の2つの対向する側に位置するアンカーポイント3は、中心の偏向により、対応するバーを介し、表面全体を歪ませることが可能であり、すなわち、曲げ半径における拡張、圧縮と同様に、バーの伸長、ひいては基本セルの拡張ができるように

10

20

30

40

50

なるという利点をもつ。

【 0 0 2 2 】

図 1 b および 1 c は、本発明に従うさらなる 2 つのセンサ構造を示す。これらのセンサ構造は、図 1 a の F に示されたセンサ構造と似通った構成を有する。すなわち、半導体層 2 の支持されていない側 2 a (図の右側) がキャリアに接続されていない状態で、基板 1 の片側 (図の左側) だけに配置される。2 つの図示された構造は、基板 1 の一部に配置され、かつ、エッチングされたキャビティ 6 の上で片持ちされた部分 (領域 2 a) 内に配置される窒化ガリウムバッファ層 2 を有する。窒化アルミニウムガリウム 9 からなるメサ状のカバー層 9 は、基板 1 の上的一部分と、エッチングされたキャビティ 6 の上的一部分とにメサがくるように、窒化ガリウムバッファ層 2 a 上に配置される。オームコンタクト (図では 5 a および 5 b の 2 つのコンタクトとしているが、それより多数のコンタクトが適用可能である) は、支持領域 (上記構造 1) から支持されていない半導体領域 (上記エッチングされたキャビティ 6) までの遷移の端に適合される。図 1 b で示される構成では、2 つの接点 5 a および 5 b は、メサ 9 においてバーの伸長に対し横方向 (基板 1 のキャビティ 6 への方向、または、図における左から右の方向) に適合される。コンタクト 5 b は遷移前、コンタクト 5 a は、遷移後である。支持されていない領域 2 a における遷移の後ろに適合されたオームコンタクト 5 a は、メサ 9 に沿う給電線 1 1 により遷移の前の領域へと電氣的に誘導される。第 2 のコンタクト 5 b にもこのような給電線 1 1 が同様に設けられる。図 1 c で示される構成においては、2 つのオームコンタクト 5 a および 5 b は、バーの伸長に対し長手方向に適合される。一方は、メサ 9 の上端、もう一方は、メサ 9 の

10

20

【 0 0 2 3 】

図 2 a は、本発明に従う加速度センサを示す。この加速度センサは、平面図に示した通りであり、その基本的な構造は、図 1 で示された (同一の構成要素は同一の参照番号が付されている) センサ構造に対応する。加速度センサは、窒化ガリウムからなり、かつ、四分の一円形状に形成される 2 つの片持ちされたバー 2 a を有する。前記バーは、シリコン基板 1 の基板端部で 2 つのアンカーポイント 3 にそれぞれ装着される。各バー 2 a は、図示されたセクションの四角いエッチングされないキャビティ 6 の端部に相互に当接する 2 つのアンカーポイント 3 を有する。アンカーポイント 3 またはバー 2 a は、均一な半導体層 2 の窒化ガリウムからなる部分 2 b を介し互いに接続される。前記部分は、片持ちされておらず、基板端部 1 a の近く、または、キャビティ 6 の端部に配置される。前記部分 2 b は、各バー 2 a の 2 つのアンカーポイント 3 をそれぞれ接続する。コンタクト 5 は、部分 2 b 上に配置される。片持ちされた部分 2 a 上には、図示されたセクションにおける四角い振動質量 4 が加速度センサの中心部分として配置される。前記質量は、エッチングされたキャビティ 6 の上にすべて位置し、かつ、2 つの湾曲したバー 2 a、または、関連する 4 つのアンカーポイント 3 だけを介して基板ベースに接続される。構造 8 の重要性は、図 2 b (図 2 a の加速度センサの一部を示す) の説明において明らかにする。センサを加速した場合、振動質量 4 は、その無効位置から偏向される。振動質量 4 の偏向により、バー部分 2 a が変形し、その結果、基板端部における測定ストリップ 2 a の抵抗に変化が生じる。測定ストリップの抵抗における変化は、ホイートストン回路を介し、コンタクト 5 を用いて測定される。センサ構造または回路は、動作ポイントの調整または補償に用いられるゲート (好ましくは、ショットキー回路のような、例えば厚さ 200 ナノメートル、好ましくは、20 ナノメートルのニッケル層および銀層のメタライゼーションによる) を任意で備えてもよい。

30

40

50

【 0 0 2 4 】

図 2 b は、図 2 a に示された加速度センサの一部を示す。均質な半導体層 2 の部分 2 a および 2 b は、領域 8 a、8 b、および、9 を除くすべての場所にメタライゼーション層を含む。それによって、領域 9 は、図示されたアンカーポイント 3 の上に直接配置され、一部片持ちされ（領域 9 の下部分）、一部片持ちされない（領域 9 の上部分またはアンカーポイントの上）。部分 8 a、8 b、および、9 は、均質な半導体層 2 の隆起した領域またはメサ領域を表わす。すなわち、2 a および 2 b の残りの領域に対し均質な半導体層 2 の厚みが増す領域である。窒化ガリウムからなる均質な半導体層 2 の代わりに、窒化アルミニウムガリウム / 窒化ガリウムからなるヘテロ構造を用いた場合、該ヘテロ構造は、領域 9、8 a、および、8 b 内だけに現れ、残りの領域 2 a および 2 b には、窒化ガリウムからなり、かつ、メタライゼーションを含むバッファ領域だけが現れる。その後、メサ部分 8 a、8 b、および、9 は、抵抗器とされる。図示された加速度センサの場合、領域 9 は、すべてメサであり、また、ここだけメタライゼーションが中断されるので、使用される電気信号は、メサ領域 9 におけるアンカーポイント 3 の領域内、または、支持されない領域から固定される領域までの対応する遷移領域内で半弧 2 a ごとに生成される。基板上に固定された状態で配置された均質な半導体層 2 の支持されていないバー 2 a の残りの領域および部分 2 b の残りの領域には、バッファ材料（窒化ガリウム容量材料）だけが残る。前述の構成では、完全に閉じたメタライゼーションが最上部にあるので、部分 9 に対応しない片持ちされた部分 2 a の領域（領域 9 と振動質量への遷移領域との間の部分、および、振動質量の領域において支持されていない領域）内の信号変化は活用されない。均質な半導体層 2 の部分 2 b においては、半導体層 2 が屈曲しないので、信号は生成されない。すでに述べたように、図示された構成の測定ストリップの抵抗における変化は、ホイールストーン回路を介し、コンタクト 5 を用いて測定される。図示された構成においては、構造および動作モードは、アンカーポイント 3 における未知の抵抗器と（図示された構成における合計 2 つの抵抗器 9、図 2 a 参照）、および、同じく未知の、前記抵抗器 9 と同様に生成され、同一の抵抗値を有する抵抗器 8 a および 8 b とを有するホイールストーンブリッジに対応する。抵抗器 8 a および 8 b（合計 4 つ、図 2 A 参照）は、並列回路におけるメタライゼーションによる、窒化ガリウムバーからなる 4 つの同一の支持されていない抵抗器であり、偏向されていない。振動質量 4 の偏向と同時に、4 つの抵抗器 9 は、アンカーポイント 3 で変化するが、4 つの抵抗器 8 は変化しないため、測定信号（または電流）は、結果として異なったものとなる。光あるいは温度といったすべての妨害の影響が抵抗器 8 同様抵抗器 9 にも同様に及ぶことにより、信号差を生じさせることなく振動質量 4 の本来の偏向を生じる。抵抗器 8 および / または 9 は、任意でショットキーコンタクトのようなゲートにより構成されてもよい（図示せず）。

【 0 0 2 5 】

図 2 c および 2 d は、さらなる加速度センサを示す。前記図で示される加速度センサの基本構造は、図 2 a および 2 b の加速度センサに対応するが、違いは、4 つの抵抗器（9 R 1、9 R 3、9 R 5 および 9 R 7）をアンカーポイント 3 に追加した点である。前記抵抗器は、質量 4 の偏向と同時に生じる信号を増加させる目的で、振動質量 4 から支持されていないバー 2 a までの遷移（遷移領域 7）において協働する。（図中、遷移領域 7 における抵抗器は、参照符号 9 R 2、9 R 4、9 R 6 および 9 R 8 を付して示す。）質量 4 の偏向と同時に、遷移領域 7 は、アンカーポイント 3 において偏向領域と正反対の方向に湾曲するため、反対方向の効果が期待できる。配線において、抵抗器は、効果が累加されるようにホイールストーンブリッジ内に電氣的に配置される。例えば、9 R 1 が下方に偏向されると、9 R 2 は、上方に偏向される。これは、9 R 7（下方）および 9 R 8（上方）に関しても同様である。9 R 1 が上述の偏向により大きくなると仮定した場合、9 R 7（および 9 R 3、9 R 5）も同様に大きくなり、抵抗器 9 R 2 および 9 R 8（同じく 9 R 4 および 9 R 6 も）は小さくなる。しかしながら、対の抵抗器 9 R 1 と 9 R 7、および、9 R 2 と 9 R 8 は、回路内の「交差点」に電氣的に配置されているため、効果が累加され、偏向している間に、高電荷および高測定信号が生じることになる。これは、偏向していない状

態とは対照的である。回路の原理を図 2 d に再び示す。参照符号 5 a および 5 b は、測定に必要な入力電圧 (U_{in}) が印加されるコンタクトを示し、参照符号 5 c および 5 d は、測定のために電圧または電流がタップされるコンタクトである。図示された回路内では、動作前のブリッジは、0 に調整されていなければならない。そのため、例えば、測定ポイント 5 c および 5 d における電流は、コンタクト 5 b および 5 a に電圧が印加されるときに測定される。その結果、偏向なしの値が生成される。電流における変化のすべては、抵抗器 9 の偏向に変化が起きると同時に生じ、抵抗器 9 またはその値が正確に知られることなしに偏向の測定値となる。(さもなければ、ホイートストン回路の平均)。また、抵抗器は、ゲート(図示せず)によって構成されてもよい。妨害の影響は、図 2 b の抵抗器 8 と同様に、偏向されない基準抵抗器を介し較正されることができる。抵抗器 9 が個別に電氣的アクセス可能にされる場合、または、適切な配線によりいわば電氣的に起動される場合、すなわち、抵抗器 9 の個々の抵抗値が測定される場合、質量 4 の対称な偏向がもう生成されず、その結果、抵抗器 9 もそれらの値を場所の関数として変更するので、質量 4 の偏向方向を示すこともできる(例えば、地面の上の車の位置など)。

【0026】

図 2 e および図 2 f は、支持されないバー形式でのさらなる加速度センサを示す。以て説明するこのセンサは、加速度以外の物理的変数を検出するセンサと類似した構造内で用いることもできる。窒化ガリウムからなる均質な半導体層 2 の支持されないバー 2 a は、矩形のメサ 9、または、対応する隆起した部分 9 を有する。窒化アルミニウムガリウム/窒化ガリウムからなるヘテロ構造の場合、窒化アルミニウムガリウムのカバー層は、メサ領域 9 における窒化ガリウムからなるバッファ層上に存在する。図示されたケースにおけるコンタクトは、ファン・デル・ポールによる 4 ポイント構造である。すなわち、メサ 9 は、その 4 つのコーナーで、給電線 11 を介しコンタクト 5 a - 5 d に接続される。分離線 T の上の領域(すなわち領域 T o)において、均質な半導体層 2 は、片持ち状とされず、分離線 T の下の領域(領域 T u)では、均質な半導体層 2 は、片持ち状とされる。(領域 2 a)。メサ 9 は、片持ち状とされた領域から片持ちされていない領域までの遷移領域に配置されるか、または、一部が均質な半導体層 2 の片持ちされない側に、また、一部が片持ちされる側に配置される(均質な半導体層の領域 2 a)。図示された加速度センサの場合、信号は、ホール効果により決定される。層導電率およびホール抵抗が決定されると、そこから電荷担体のタイプ、電荷担体密度、および、電荷担体可動性が決定できる。ファン・デル・ポールによる 4 ポイント構造としての実施例に代わり、ホールバー構造として回路を構成することもできる。コンタクト 5 a - 5 d は、オームコンタクトであり、窒化ガリウムバッファ上に給電線 11 を走らせる。

【0027】

図 2 g および 2 h は、ホール効果測定方法とともに用いられるファン・デル・ポール構造の他の実施例を示す。均質な半導体構造膜 2、および、上からエッチングするための 4 つの開口 12 a から 12 d の走査型電子顕微鏡による図であり、4 つの給電線 13、および、4 つのオームコンタクト 14 も示されている(給電線 13 は、コンタクト 14 から内側方向、すなわち、開口 12 の領域へと先細りに延びる)。

【0028】

エッチング終了後、支持されていない膜部分 2 c が画像の中心領域(領域 2 c)に生成される。この部分は、機械力または流れ圧力などにより偏向可能である。

【0029】

図 3 a は、本発明に従う圧力センサを示し、図 1 および 2 ですでに説明したセンサと同じ構成要素を有する。本実施例の圧力センサの場合、窒化ガリウムからなる均質な半導体層 2 の片持ちされた偏向可能な部分 2 a は、円形膜 2 c として形成される。アンカーポイント 3 の領域において、膜 2 c は、2 つのメサ、または、隆起した部分 9 a および 9 b を有し、この場合、窒化ガリウム層上に窒化アルミニウムガリウム層が配置される。前記メサまたは抵抗領域には、窒化アルミニウムガリウム/窒化ガリウムヘテロ構造だけが存在する。膜 2 c の両側における圧力が異なる場合、抵抗領域 9 が隆起する。その下にある工

10

20

30

40

50

エッチングされたキャビティ 6 も、同じく円形である。隆起により、基板端部の膜 2 c (基板端部 1 a における片持ちされた部分 2 a および片持ちされない部分 2 b) はその分極状態の変化における結果として変形する。ヘテロ構造チャネルまたはメサ領域 9 a および 9 b において、窒化アルミニウムガリウム層と窒化ガリウム層との間の接合面で電荷担体密度および累積が生じ、コンタクト 5 により出力信号として伝達される。コンタクト 5 は、窒化アルミニウムガリウム / 窒化ガリウム積層のヘテロ構造チャネルに直接配置される。

【 0 0 3 0 】

出力信号とその変化は、抵抗バー、または、メサ領域 9 a および 9 b を介し測定される。膜 2 c の上側と下側との圧力差は、抵抗バーまたはメサ領域 9 a および 9 b の隆起を介し測定される。センサの温度独立性は、ホイートストン回路により確立される。このホイートストンブリッジの補正機能のためには、2 つの一定標準抵抗が必要である。主要膜 2 c の左右 2 つの半円膜 2 d のアンカーポイントにおける 2 つの抵抗器 9 c および 9 d は、この要件を満たす。膜 2 c の場合と同様に、膜 2 d においては、抵抗またはメサ領域 9 内だけにヘテロ構造が存在する (あるいは窒化ガリウムバッファ内だけ) 。両方の膜 2 d は、窒化ガリウムバッファが除去された領域を有し (極左または極右領域 6 a および 6 b) 、その結果、圧力差が無くなり、膜 2 d は歪みなしで形成されることが可能になる。結果的には、抵抗器 9 c および 9 d のどちらも非圧力依存性のままであるが、回路が温度の影響を受けないようする非温度依存性ではない。基板端部 1 a 全体における歪みが均等なることにより、膜の周囲の形状が幾何学的に生じ、膜 2 c は、最大安定度を得ることができる。ここで任意に用いられ、かつ、好ましくはショットキーコンタクトのように構成されるゲート (図の左下 1 0) は、動作ポイントを調整する役割を果たす。図 3 a に示される圧力センサの回路動作モードは、図 2 a から 2 d において説明された加速度センサの回路動作モードと同じである。すなわち、4 つの抵抗器 9 a - 9 d が用いられ、そのうち 2 つの抵抗器 9 a および 9 b は、アネロイドダイヤフラムまたは膜 2 c 上にあり、他の 2 つの抵抗器 9 c および 9 d は、半円形膜 2 d 上にある。すでに述べたように、膜 2 c は、アネロイドダイヤフラムまたは膜 2 c の下に封じ込められたガス容量に比べ、膜 2 c の上の圧力が高いかまたは低い場合に偏向されることができる。窒化ガリウムバッファ (6 a および 6 b) が取り除かれた領域をもつことにより、膜 2 d には封じ込められたガス容量が存在しないので、該膜 2 d は、偏向されず、抵抗器 9 c および 9 d が基準抵抗としての役割を果たす。圧力が変化した場合、ダイヤフラム 2 c 上の 2 つの抵抗器 9 a および 9 b は変化するが、他の 2 つの基準抵抗器 9 c および 9 d は変化しない。4 つの抵抗器 9 a - 9 d のホイートストンブリッジにより、電流の変化 (4 つの抵抗器すべておよび 2 つの基準抵抗器 9 c および 9 d に均等に作用する、例えば温度などによる妨害は偏向されないので、それとは無関係) は、抵抗器 9 の値を再び実際に認識しなくても、測定することが可能になる。有効な抵抗器 9 a - 9 d は、支持された半導体 2 b が支持されない半導体 2 a に遷移する領域 3 に位置し、すでに述べたように、メサ状に形成される。すなわち、膜 2 c および 2 d それ自体だけで窒化ガリウムバッファを構成するようになる。図 2 a - 2 d で用いられたホイートストン回路に比べ、抵抗器 9 a および 9 d の幅 b は、より高い効果 (個々のセンサ素子の並列回路がいわば抵抗器 9 の方向 b に沿って存在するのでより高い電流) が得られるよう基本的に大きい。しかしながら、加速度センサがほとんど動作できなくなるので、このような大きい抵抗器を直ちに使用することはできない。図示されたゲート 1 0 を有する実施例に代わり、ゲートなしの他の実施例も可能である。膜の形状としては、円形または半円形 (例えば矩形または四角の領域) を使用してもよい。図 3 b は、ダイヤフラム 2 c または基準膜 2 d に用いられるエッチングされないキャビティ 2 D I および 2 C I の走査型電子顕微鏡画像を示す。

【 0 0 3 1 】

図 4 は、バー形状の片持ちされた能動均質半導体層を生成するために用いられる試験体の層構造を概略的に示す。試験体のベースは、約 3 0 0 ミクロンメートルの厚みを有するシリコン基板 1 を形成する。このシリコン基板上に窒化ガリウムからなる厚さ約 1 . 7 ミクロンメートルの均質な半導体層 2 f が適用される。次に、この半導体層 2 f の上に、A

10

20

30

40

50

$1.0 \sim 2.0 \text{ Ga}_{0.8} \text{N}$ からなる厚さ約 20 ナノメートルのカバー層 2e が適用される。このようにして、図示された試験体からヘテロ構造センサ素子が生成される。

【0032】

図5は、本発明に従うヘテロ構造センサ素子の生成における基本的ステップであるパー構造のアンダーエッチングを概略的に示す。図5を用い、本発明に従うセンサ素子を生成する半導体構造化方法の他のステップすべてを説明することもできる。まず、均質な半導体層 2f とカバー層 2e (窒化ガリウムまたは $1.0 \sim 2.0 \text{ Ga}_{0.8} \text{N}$) の複合体から所望の表面領域のメサがエッチングされ、ベース領域の外側のヘテロ構造 2e および 2f が基板ベース 1 に至るまでエッチングされる。残りのメサは、図5の右上 (2e および 2f の部分) に示されている。アンダーエッチングされる領域 (図右のメサ領域 2e および 2f と、図左の基板領域) は、アルミニウムマスク 7 で覆われる。続いて、被覆領域は、反応性ガスにハロゲンを用いる反応性イオンエッチング法によりエッチングされる。以下の例で用いられるドライエッチング法は、酸素が豊富な CF_4 プラズマを使用する。エッチングは、イオンの対応する加速度により生成される機械的成分 (CF_4 / O_2)、および、化学エッチング成分 (フッ素イオン) により結果的に実行される。

【0033】

図6は、片持ちされたパー (すなわち、非金属および非半導体材料で充填されていない離間領域を有する)、または、図5を参照して説明されたエッチングプロセスにより生成されたシリコン基板 1 上に、窒化ガリウムからなる片持ちされた均質な半導体層 2f の基本構造を示す。片持ちされたパー 2f は、シリコン基板 1 の左端または右端で支持される。概略的に図示されるセンサ素子の中心には、均質な半導体層 2f の下のキャビティ 6 が示される。このキャビティは、図5で説明したエッチングプロセスにより生成されたもので、その深さ d は約 150 ナノメートルである。片持ちされた能動均質半導体層 2f の頂側部に、2つのコンタクト 5a (パーの左端)、および、5b (パーの右端) が直接取り付けられることにより、パー 2f の屈曲または偏向と同時に生成される電気信号をピックアップまたは伝達できるようになる。

【0034】

図7は、本発明に従う加速度センサの断面図である。断面は、基板表面に対し垂直である。図は、厚み d_1 が 300 ミクロンメートルであるシリコン基板 1 を示す。このシリコン基板 1 の上に均質な窒化ガリウム半導体層 2f が配置される。中間部または中心部がアンダーエッチングされることにより、基板 1 は、層 2f の下の立法形領域 (キャビティ 6) においては、少なくとも一部剥離し、また、該立法形領域 (キャビティ 6) の端部においては、完全に剥離し (その結果層 2f の下側は完全に露出する)、さらに、該立法形領域の内側では、完全に剥離しないので、層 2f と接している基板が残り、振動質量 4 を形成する。図示された構造において、均質な GaN 半導体層 2f は、カンチレバー保持棒または膜を形成し、該保持棒または膜は、基板 1 の少なくとも2つの領域 (左右側に示された) と、振動質量 4 が半ば宙吊りになった状態で中心に装着されたその上とで支持される。振動質量 4 は、加速度効果により、上方または下方に偏向される (図の矢印)。基板表面から間隔を置いて面したその表面において、均質な半導体層 2f は、2つの隆起した部分または2つのメサ領域を有する。各メサ領域は、基板表面と平行な方向 (図では左から右)、または、半導体層 2f の表面と平行な方向に延びる。各メサ領域は、均質な半導体層 2f の下側が基板 1 から剥離する領域上で、該均質な半導体層 2f が基板 1 によって支持される領域から、該均質な半導体層 2f の下に振動質量 4 が配置される領域まで延びる。メサ領域外側の層 2f の厚みは、図示されたケースでは、 $d_2 = 1.7$ ミクロンメートルである (通常、好ましくは、0.5 ミクロンメートルから 3 ミクロンメートル)。メサ領域においては、層 2f の厚みは、1.93 ミクロンメートルである (通常、メサ領域における層の追加の厚みは、好ましくは、170 ナノメートルから 290 ナノメートル)。窒化アルミニウムガリウムからなるカバー層 2e は、層 2f のメサ上に載置され、その結果、メサ領域にヘテロ構造が形成される。カバー層 2e の厚みは、20 ナノメートル (通常、好ましくは、10 ナノメートルから 30 ナノメートル) であり、その結果、メサの高

10

20

30

40

50

さは、 $d_3 = 250$ ナノメートルとなる（コンタクト5はなし）。図示した加速度センサは、本発明に従うヘテロ構造を有する。窒化ガリウム層2fと窒化アルミニウムガリウムカバー層2e（すなわちメサ領域）との接合面に、ヘテロ構造チャンネル2gが配置される。各メサには、2つの接触領域がヘテロ構造チャンネル2gと当接して配置される。それぞれの接触領域は、片持ちされない領域（すなわち基板支持1の上の領域）内、および、片持ちされる領域内の接触領域（基板層1が層2fの下から除かれる領域の上および宙吊りの振動質量4の領域内）内に配置される。図示された4つの接触領域それぞれは、半導体層2eおよび2f内のヘテロ構造チャンネル2g（またはそこへの接合面）に合金することにより生成される接触領域（参照番号2hとして表される領域）と、該接触領域2hの上に適用される金属コンタクト5とを含む。金属コンタクト5には、給電線11が設けられる。振動質量4が加速度の影響により上方または下方に偏向された場合、ヘテロ構造領域内またはメサ領域内で電気信号が生成される。この電気信号が生成される領域は、参照符号Bとして表される。その後、信号は、接触領域2hを介し、伝達され、コンタクト5aから5bへ、そして給電線にも伝達される。この流れは、流れ線15として表される。その結果、接触領域は、ヘテロ構造チャンネル2gに直接配置される。この場合の構造において重要な点は、抵抗領域またはメサ領域それぞれが、ヘテロ構造または層2eおよび2fの固定領域内（すなわち、ヘテロ構造または層2fがシリコン基板1により支持される領域内）に配置されること、および、抵抗領域またはメサ領域それぞれの他のコンタクトが自由に吊着された膜領域または残りのパー領域に位置していることである。図示されたケースでは、固定から自由への遷移は、メサ領域のほぼ真ん中より下である。この構造の場合、メサは、ある特定の長手方向の一部でだけ具体的に特定されるので、この長手方向の一部において生じる1つの曲線だけが結果として測定信号を生じる。メサ領域は、偏向の間に生じる曲線が最大になる領域内に好適に配置される。例えば2つのコンタクトが固定領域（すなわちシリコン基板1の上）に配置され、かつ、膜の上に部分的に延びる閉じたヘテロ構造の長手方向部分により接続される（その結果生じた湾曲は部分的に反対方向に延びる）配置に関し、本実施例は、反対方向に延び、結果としてきわめて小さくなる曲線により生じた信号成分は考慮せず、むしろ信号成分が極めて高くなるという利点がある。図示したケースでは、膜またはパーが偏向する間に、そのために電気的閉鎖経路の長さまたは要素、あるいは、材料内の湾曲すべてが信号に寄与するわけではない。図示した配置の本発明に従う構造の場合、本質的にヘテロ構造は、メサの領域内でだけ維持され（半導体の有効な活性領域が位置する）、メサまたは対応する領域の外側において、ヘテロ構造がエッチングされ、均質層2fだけが残りの膜または残りの保持パーとして存在する。この状況では、コンタクト5は、メサ領域の外縁部に好適に配置される。図7の下部領域に図示された走査電子顕微鏡像は、立法形領域がすでにエッチングされ、振動質量4が検出できるところからシリコン基板1を見た図を示す。図7に示されたセンサ、および、その他図示されたすべてのセンサは、ヘテロ構造の形式をとらずに構成されることもできる（すなわち、均質な半導体層2fだけでもよい）。センサ機能は、メサ領域の幾何学的定義により確実なものとなる。これは、適切なエッチングによるものである。残りの膜材料（バッファまたは非メサ領域）に寄生効果が接触するのを防止するために、メサに、適切なエッチング深度（材料に従う）を与えることができる。信号または効果強度が材料のタイプに従い変化することから、効果は、バルク材料によって最大になると仮定することができる。

【0035】

図8aI、8aII、8bおよび8cは、片側に、または、アンカーポイントに装着された片持ちされたパー形式による、本発明に従うセンサ要素を示す。これらは、アンカーポイントの反対側に位置するパー端部に装着された犠牲膜により生成されたものである。予め決められた極限21を介し犠牲膜2kに最初に接続する3つのパーが図8aIおよびaIIに示されている。さらに、5aから5dの4つの電気的コンタクトが、給電線11を介し、メサ9と接続している状態が示されている。前記メサは、すでに説明したように、一部支持されていない領域に配置され、一部半導体構造層2の固定領域上に配置されてい

10

20

30

40

50

る。図示された半導体構造は、以下のように生成される。まず、第1のエッチングにより、メサ9（ある割合の窒化ガリウム層2fおよび窒化アルミニウムガリウム層2e）を生成する（電流が貫流する活性領域）。第1のエッチングにおける深度は、200ナノメートルから500ナノメートルである。第2のエッチングステップにおいて、メサ9の外側に領域2f-Tがエッチングされる。前記領域は、それ自体がバー構造または片持ちされたバー構造2aを定義する（これによって窒化ガリウムの上部がエッチングされて完全に基板1に達する）。このタイプの窒化ガリウム層の構造化は、好ましくは、キャビティ6のエッチングが上述の結果もたらされるときに用いられる。キャビティ6のエッチングが裏側から行われると（図中参照符号RAとして表される）、シリコン基板を用いたICP標準方法を使用した場合と同じように、その幾何学的形状を定義する目的で、上記エッチングは十分深くまで行われる（例えば、バーまたはバー構造を定義するため部分的に「深いメサ」として指定される）。一方、前記エッチングは、2ステップで適用されることもできる。図示したケースでは、回路は、ゲート10により構成される。図示したセンサ要素は、[111]シリコン基板の上側から酸素を添加した反応ガス CF_4 を用いてケミカルドライエッチングすることにより生成されている。シリコン基板の[111]表面を用いるのは、III族窒化物の六角形格子構造をもつからである。エッチングは、基本的に裏側と表側から進行する。裏側からのエッチングには、標準的な方法（ICP、ボッシュプロセス）を用いることができる。裏側のエッチングは、RIE法（反応性イオンエッチング）でも実行できる。表側のエッチングは、好ましくはRIE法によって実行される。前述のように予め決められた極限21をもつ犠牲膜2kが用いられた場合、極めて長く細いバーを生成することができる。例えばバーの幅がわずか1ミクロンメートルであるのに対し長さは100ミクロンメートルにできる。このようなバーは、犠牲膜2kを次の支持されていないバー端部2aに適用して、（予め決められた極限2kをもつ膜への機械的圧力による）エッチング後に実際のバー2aから除去することにより得られる。図8bは、予め決められた極限21を介し犠牲膜2kとまだ接続した状態の2つのバー2aが見える操作電子顕微鏡像を示す。図8cは、前述のように生成された3つの細い支持されていないバー2a1、2a2、および、2a3を示す。一番上のバー2a1は、長さ100ミクロンメートル、幅1ミクロンメートルを有する。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1a】本発明に従うセンサ素子の形状を構成するさまざまな可能性を示す。

【図1b】本発明に従うセンサ素子の形状を構成するさまざまな可能性を示す。

【図1c】本発明に従うセンサ素子の形状を構成するさまざまな可能性を示す。

【図2a】本発明に従う加速度センサを示す。

【図2b】本発明に従う加速度センサを示す。

【図2c】本発明に従う加速度センサを示す。

【図2d】本発明に従う加速度センサを示す。

【図2e】本発明に従う加速度センサを示す。

【図2f】本発明に従う加速度センサを示す。

【図2g】本発明に従う加速度センサを示す。

【図2h】本発明に従う加速度センサを示す。

【図3a】本発明に従う圧力センサを示す。

【図3b】本発明に従う圧力センサを示す。

【図4】本発明に従うセンサ素子を生成することが可能な半導体試験体の層構造を示す。

【図5】本発明に従うセンサ素子を生成可能なエッチング機構を示す。

【図6】シリコン基板上に窒化アルミニウムガリウム/窒化ガリウムからなるカンチレバーを備える本発明に従うセンサ素子の概略側面図

【図7】ヘテロ構造をもつ加速度センサの断面図

【図8aI】本発明に従う屈曲バーの実施例を示す。

【図8aII】本発明に従う屈曲バーの実施例を示す。

10

20

30

40

50

【図 8 b】本発明に従う屈曲バーの実施例を示す。
【図 8 c】本発明に従う屈曲バーの実施例を示す。

【図 1 a】

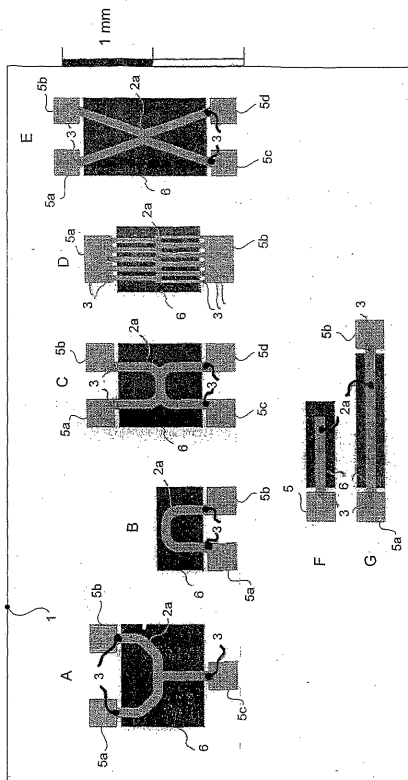


Fig. 1a

【図 1 b】

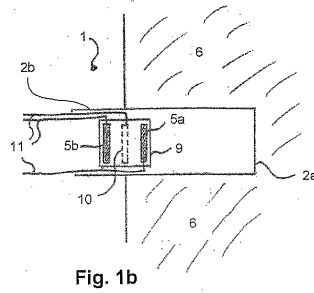


Fig. 1b

【図 1 c】

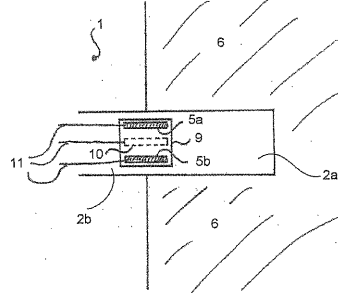
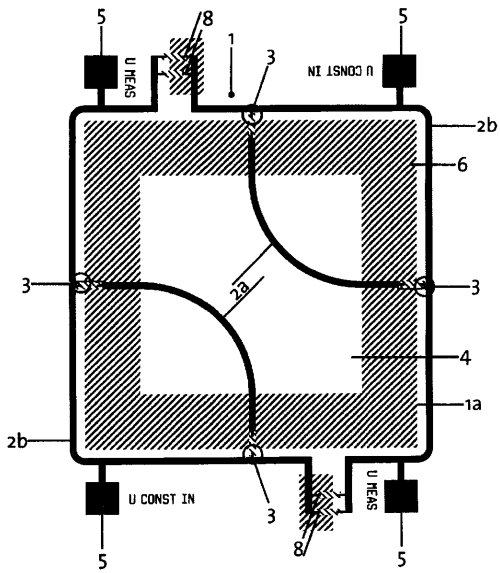


Fig. 1c

【 2 a 】



【 2 b 】

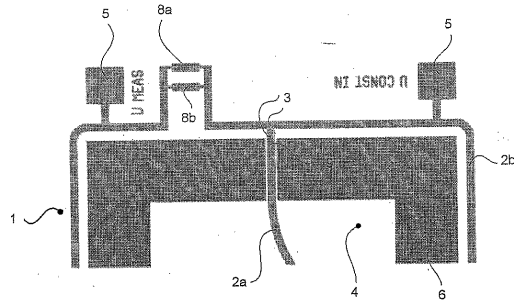
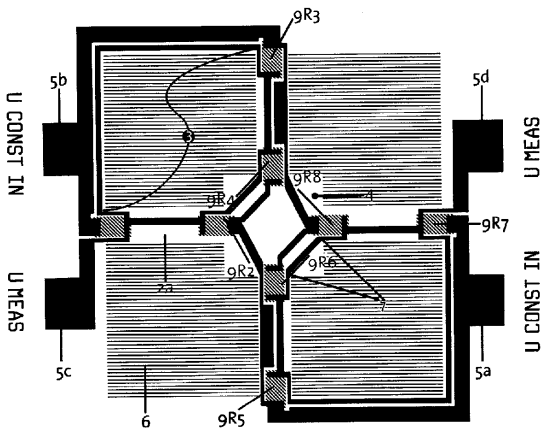


Fig. 2b

【 2 c 】



【 2 d 】

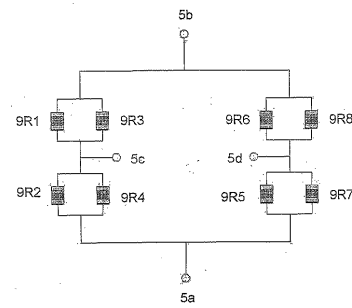
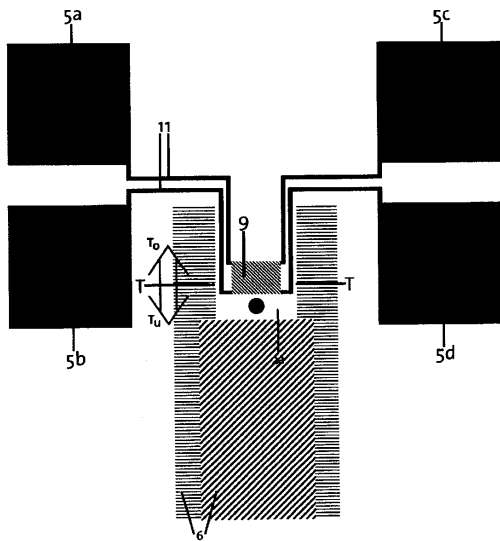
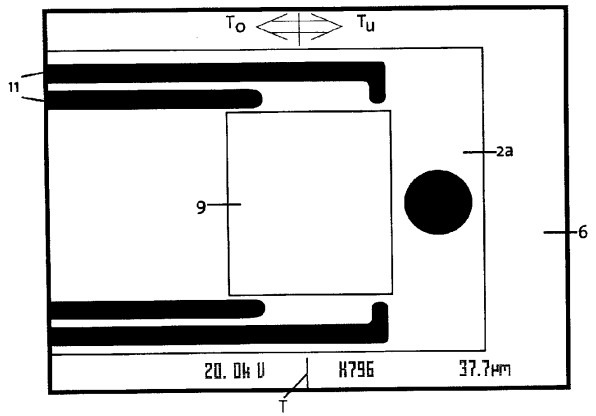


Fig. 2d

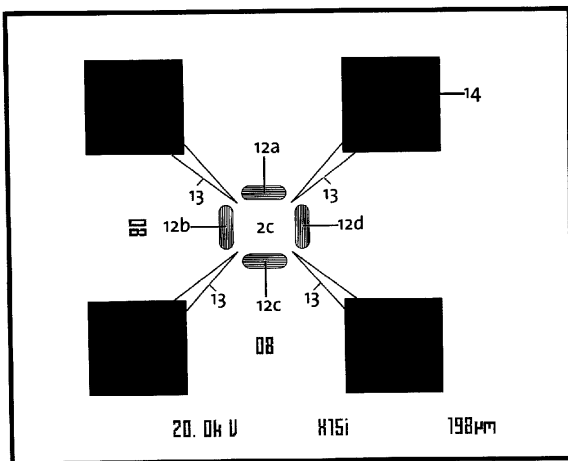
【図 2 e】



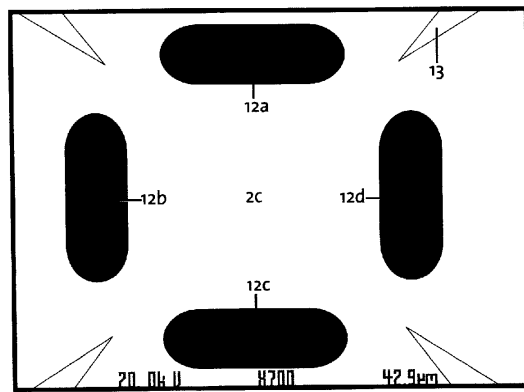
【図 2 f】



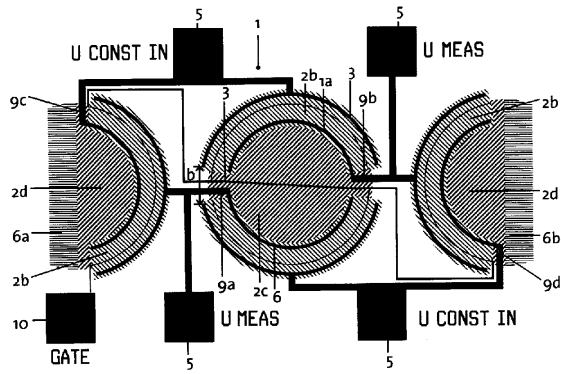
【図 2 g】



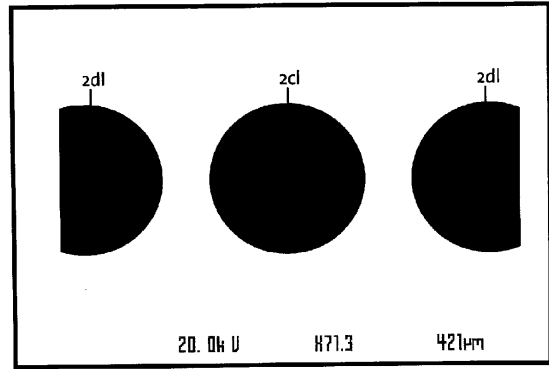
【図 2 h】



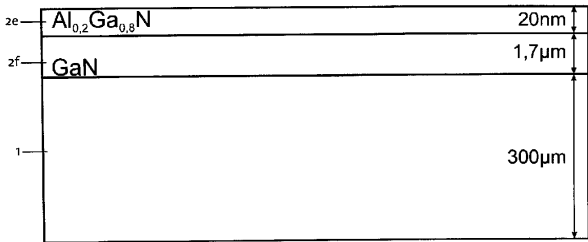
【 図 3 a 】



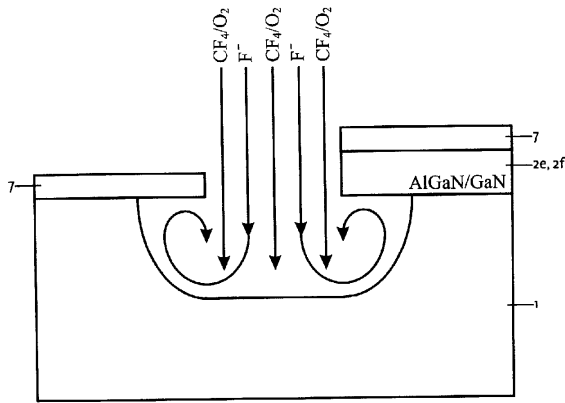
【 図 3 b 】



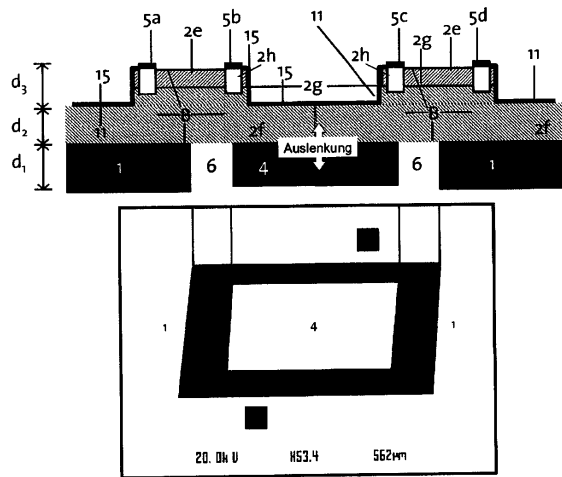
【 図 4 】



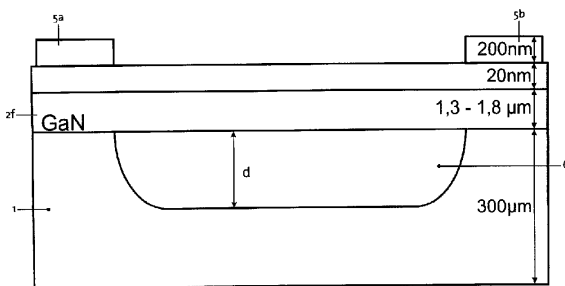
【 図 5 】



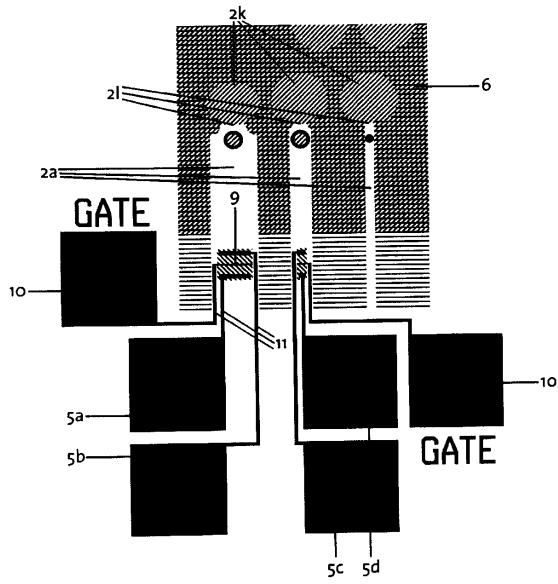
【 図 7 】



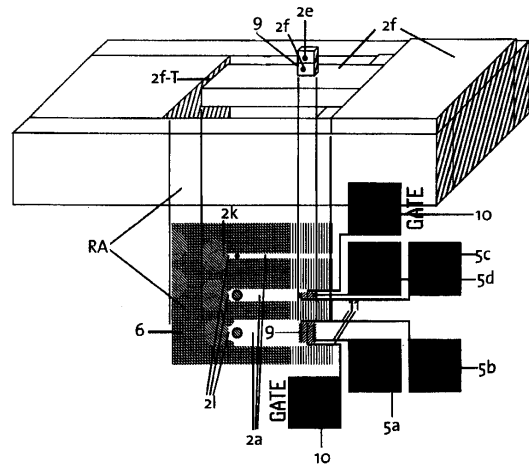
【 図 6 】



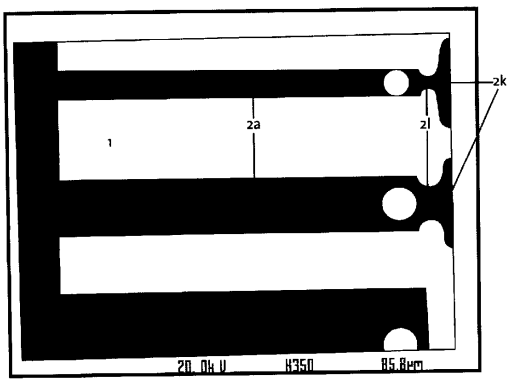
【 8 a I 】



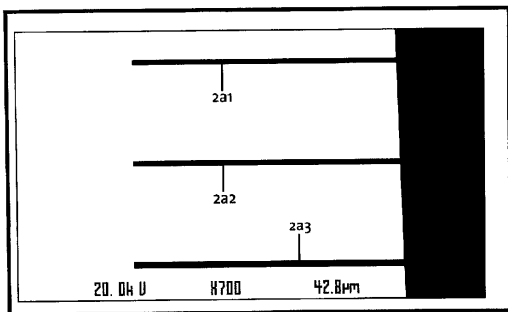
【 8 a I I 】



【 8 b 】



【 8 c 】



フロントページの続き

(72)発明者 コーン エルハート

ドイツ連邦共和国、89081 ウルム/レアー、ラッドゲップウェーグ 21

審査官 宮澤 尚之

(56)参考文献 米国特許出願公開第2002/0066319(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/84