

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4978114号
(P4978114)

(45) 発行日 平成24年7月18日(2012.7.18)

(24) 登録日 平成24年4月27日(2012.4.27)

(51) Int.Cl.

F I

H03H 9/17 (2006.01)

H03H 9/17 F

H03H 3/02 (2006.01)

H03H 3/02 B

H01L 41/09 (2006.01)

H01L 41/08 C

H01L 41/187 (2006.01)

H01L 41/18 101B

H01L 41/18 (2006.01)

H01L 41/18 101C

請求項の数 4 (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-223928 (P2006-223928)
 (22) 出願日 平成18年8月21日(2006.8.21)
 (65) 公開番号 特開2008-48315 (P2008-48315A)
 (43) 公開日 平成20年2月28日(2008.2.28)
 審査請求日 平成21年7月30日(2009.7.30)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
 (74) 代理人 100091292
 弁理士 増田 達哉
 (74) 代理人 100091627
 弁理士 朝比 一夫
 (74) 代理人 100095728
 弁理士 上柳 雅誉
 (74) 代理人 100127661
 弁理士 宮坂 一彦
 (72) 発明者 古畑 誠
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電振動片の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に下電極を形成する工程と、
 前記下電極上に第1圧電体薄膜を形成する工程と、
 前記第1圧電体薄膜を熱処理する工程と、
 前記熱処理後の前記第1圧電体薄膜上に第2圧電体薄膜を成長させ、前記第1圧電体薄膜と前記第2圧電体薄膜とで圧電体薄膜を形成する工程と、
 前記圧電体薄膜上に上電極を形成する工程と、を含み、
 前記基板の厚み T とヤング率 E_1 と密度 ρ_1 と、前記圧電体薄膜の厚み t とヤング率 E_2 と密度 ρ_2 との関係が、 $0 < (t \cdot (E_1 / \rho_1)) / (T \cdot (E_2 / \rho_2)) \cdot 1$ を満足することを特徴とする圧電振動片の製造方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の圧電振動片の製造方法において、
 前記第1圧電体薄膜の材料と前記第2圧電体薄膜の材料とが同一材料であることを特徴とする圧電振動片の製造方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の圧電振動片の製造方法において、
 前記第1圧電体薄膜の膜厚は 5 nm 以上 100 nm 以下で、かつ前記熱処理の温度は、300 より高く 400 以下であることを特徴とする圧電振動片の製造方法。

【請求項 4】

20

請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載の圧電振動片の製造方法において、

前記第 1 圧電体薄膜を形成する工程と前記第 1 圧電体薄膜と前記第 2 圧電体薄膜とで圧電体薄膜を形成する工程において R F スパッタリング法を用い、

前記熱処理を、前記第 1 圧電体薄膜の構成材料に含まれる元素のうち、前記構成材料における最も分圧の低い元素が存在する雰囲気中でホットプレートにより行なうことを特徴とする圧電振動片の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電体装置に使用される圧電振動片の製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

屈曲振動を利用した振動片を備えた振動子は、低駆動電圧および低消費電力が必要とされる小型電子機器に用いられる。これらの振動子の使用周波数帯は、 $\text{kHz} \sim \text{MHz}$ である。この場合の屈曲振動長は、 kHz 帯では数十 μm であり、 MHz 帯では数百 μm である。

屈曲振動を利用するには、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) が使用される。MEMS には、静電 MEMS と圧電 MEMS とが知られている。

静電 MEMS は、電極である振動片と対向する電極とのギャップ間距離が狭いほど駆動電圧、消費電力が低減される。ここで、ギャップ間距離を狭くするには、細線処理技術、電極同士の吸着防止技術が必要で、多くの工程が必要である。

20

一方、圧電振動片を備えた圧電 MEMS では、上電極と下電極とに挟まれた圧電体薄膜を振動片である基板に設けているので、ギャップ間距離を狭くすることで生じる問題は少ない。しかしながら、圧電効率を向上させ、低駆動電圧、低消費電力を実現するには、圧電体薄膜の結晶性を向上させる必要がある。一般に圧電体薄膜の結晶性は、その成膜温度が高いほどよい。

【0003】

ところが、下電極に圧電体薄膜を形成する場合、成膜温度が高いと下電極を形成する材料が圧電体薄膜に拡散し、結晶性の向上した圧電体薄膜が得られない。

成膜温度を下げて結晶性の良好な圧電体薄膜を製造する方法として、結晶性のよい薄い圧電体薄膜 (バッファ層) を形成した後、成膜速度の速い条件で数 μm の圧電体薄膜 (成長層) を形成する方法が知られている。バッファ層の成膜条件として、成膜速度が $0.4 \mu\text{m/h}$ 以下または成膜温度 (基板温度) が $150 \sim 300$ の条件が示されている (例えば、特許文献 1 参照)。

30

【0004】

【特許文献 1】特開平 9 - 256139 号公報 (第 2 頁、段落番号 [0009] および [0010])

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

40

しかしながら、バッファ層の成膜条件の最適化を行っただけでは、十分な結晶性を有するバッファ層が得られない。その結果、成長層もバッファ層以上の結晶性をもって成長できず、全体として結晶性のより向上した圧電体薄膜が得られない。また、圧電振動片の圧電振動効率を向上させるには、圧電体薄膜と振動片である基板との力学的な最適化も必要である。

本発明の目的は、圧電振動効率がよく、駆動電圧および消費電力が低減した圧電振動片の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の圧電振動片の製造方法は、基板上に下電極を形成する工程と、前記下電極上に

50

第1圧電体薄膜を形成する工程と、前記第1圧電体薄膜を熱処理する工程と、前記熱処理後の前記第1圧電体薄膜上に第2圧電体薄膜を成長させ、前記第1圧電体薄膜と前記第2圧電体薄膜とで圧電体薄膜を形成する工程と、前記圧電体薄膜上に上電極を形成する工程と、を含み、前記基板の厚み T とヤング率 E_1 と密度 ρ_1 と、前記圧電体薄膜の厚み t とヤング率 E_2 と密度 ρ_2 との関係が、 $0 < (t \cdot (E_1 / \rho_1)) / (T \cdot (E_2 / \rho_2)) > 1$ を満足することを特徴とする。

【0009】

この発明によれば、圧電体薄膜を、バッファ層としての第1圧電体薄膜と成長層としての第2圧電体薄膜との2回に分けて形成する。ここで、第1圧電体薄膜形成後に熱処理を行うため、第1圧電体薄膜の結晶性が、熱処理前の第1圧電体薄膜と比較してより向上する。そして、その後形成される第2圧電体薄膜も第1圧電体薄膜に倣って結晶成長し、全体として結晶性のより向上した圧電体薄膜を備えた圧電振動片が得られる。したがって、駆動電圧および消費電力が低減される。また、応力の中立面が圧電振動片の基板内に存在するため、圧電体薄膜に伸縮を妨げる方向の応力が加わりにくい。したがって、効率よく圧電振動が行われ、駆動電圧および消費電力が低減される。

10

【0010】

本発明では、前記第1圧電体薄膜の材料と前記第2圧電体薄膜の材料とが同一材料であるのが好ましい。

この発明では、第1圧電体薄膜の材料と第2圧電体薄膜の材料とが、同じ結晶定数を持つことができる同一材料で形成されるので、第2圧電体薄膜が第1圧電体薄膜により倣って形成され、結晶性がより向上する。また、圧電特性が同じ材料であれば、圧電体薄膜としての圧電特性も安定する。

20

【0011】

本発明では、前記第1圧電体薄膜の膜厚は5nm以上で100nm以下で、かつ前記熱処理の温度は300より高く400以下であるのが好ましい。

この発明では、第1圧電体薄膜の膜厚が、5nm以上で100nm以下で、圧電体薄膜全体の膜厚である数 μm と比較すると薄い。この程度の厚さの薄膜は、結晶の欠陥数自体が少ない。そして、熱処理温度が300より高ければ、欠陥数が少ないので十分な結晶性が得られ、400以下であれば、下電極を形成する材料の第1圧電体薄膜への拡散が抑えられ、第1圧電体薄膜の不純物が少なくなるため結晶性がより向上する。

30

【0012】

本発明では、前記第1圧電体薄膜を形成する工程と前記第1圧電体薄膜と前記第2圧電体薄膜とで圧電体薄膜を形成する工程においてRFスパッタリング法を用い、前記熱処理を、前記第1圧電体薄膜の構成材料に含まれる元素のうち、前記構成材料における最も分圧の低い元素が存在する雰囲気中でホットプレートにより行なうのが好ましい。

この発明では、熱処理中の雰囲気が分圧の低い元素で満たされているので、分圧の低い元素の抜けが防げるため、組成変化が押さえられ結晶性がより向上する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

40

(第1実施形態)

図1(a)は、本実施形態にかかる圧電振動片1を備えた圧電MEMS10を示す概略平面図、同図(b)は概略正断面図である。同図(c)は同図(a)におけるA-A部分断面図である。圧電MEMS10は、図示しない圧電体装置に組み込まれて使用される。

図2は、圧電振動片1の製造方法を示すフロー図、図3は、圧電振動片1の製造方法を示す概略部分断面図である。

【0014】

図1において、圧電MEMS10は、圧電体装置の支持基板13に設けられ、圧電振動片1とアンカー部11とを備えている。圧電振動片1の形状は、上面と下面とが長方形で、薄い厚みを持つ直方体である。ここで、圧電振動片1の形状は、圧電振動が可能な形状

50

であればどのような形状であってもよい。

2つのアンカー部11は、圧電振動片1の下面の長辺方向の両端付近に配置されている。2つのアンカー部11の間の支持基板13には、圧電振動片1の振動の妨げにならないように、エッチング等により孔14が形成されている。

なお、本実施形態では、アンカー部11は、支持基板13の一部を利用しているが、支持基板13上に別途アンカー部を設けて、このアンカー部間に圧電振動片1を配置してもよい。この場合、アンカー部によって支持基板13と圧電振動片1との間に圧電振動可能な空間を設けることが可能で、孔14を形成しなくてもよい。

圧電振動片1は、図1(b)に2点鎖線で示したように、アンカー部11を節として矢印で示すように上下に振動する。アンカー部11間の距離が屈曲振動長Lである。屈曲振動長Lは、使用周波数帯が数MHzの場合は、50μm程度であり、数十kHzの場合は、500μm程度である。

【0015】

図1(c)において、圧電振動片1は、基板2と下電極3と圧電体薄膜4と上電極5とを備えている。

下電極3は、基板2のアンカー部11が配置されている下面と対向する上面に形成されている。下電極3上には、圧電体薄膜4が形成され、さらにその上に上電極5が形成されている。

【0016】

ここで、基板2の厚みTとヤング率 E_1 と密度 ρ_1 と、圧電体薄膜4の厚みtとヤング率 E_2 と密度 ρ_2 との関係が下式の関係性を有している。

$$0 < (t \cdot (E_1 / \rho_1)) / (T \cdot (E_2 / \rho_2)) < 1$$

この関係にあれば、図1(c)中に1点鎖線で示すように、応力の中立面100が基板2に存在する。図1(c)中の1点鎖線は、中立面100を圧電振動片1の断面から見た位置を示している。

【0017】

基板2には、シリコン、二酸化ケイ素、窒化ケイ素等を用いることができる。

下電極3には、白金、チタン、アルミニウム、クロム、ニッケル等を用いることができる。圧電体薄膜4の結晶性の向上には、白金が好ましく、次にチタン、アルミニウムが好ましい。

圧電体薄膜4としては、酸化亜鉛、窒化アルミニウム、チタン酸鉛、ジルコン酸鉛、チタン酸ジルコン酸鉛、ニオブ酸カリウム、ニオブ酸ナトリウムカリウム等の薄膜が挙げられる。

上電極5には、下電極3に用いた材料を用いることができるが、同じ材料である必要はない。

【0018】

図2において、圧電振動片1の製造方法は、下電極形成工程であるステップ1(S1)と、第1圧電体薄膜形成工程であるステップ2(S2)と、第1圧電体薄膜熱処理工程であるステップ3(S3)と、第2圧電体薄膜形成工程であるステップ4(S4)と、上電極形成工程であるステップ5(S5)とを含んでいる。各ステップは、ステップの番号順に行う。

【0019】

図3において、図3(a)はS1、(b)はS2、(c)はS3、(d)はS4、(e)はS5を示す概略断面図である。

図3(a)において、基板2に下電極3を形成する。下電極3には、前述の白金等を形成する。形成方法としては、蒸着法、スパッタ法を用いることができる。

【0020】

図3(b)において、下電極3上に第1圧電体薄膜42を形成する。

第1圧電体薄膜42の形成方法は、RFスパッタリング法等のPVD(Physical Vapor Deposition)法であってもよいし、CVD(Cheical Vapor Deposition)法であっ

10

20

30

40

50

てもよい。また、第1圧電体薄膜42の厚みは、5nm～100nmが好ましい。

【0021】

図3(c)において、第1圧電体薄膜42の熱処理を行い、熱処理後の第1圧電体薄膜43を形成する。

熱処理は、ランプ加熱による熱処理、レーザ光による熱処理であってもよいが、400以下での熱処理には、温度管理ができ温度を低温から上昇できる熱処理が好ましい。

具体的には、より安定した温度管理ができる熱処理炉による熱処理、より簡便なホットプレートによる熱処理、真空チャンバ中での熱処理が好ましい。これらの方法は、下電極3の材料の第1圧電体薄膜42への拡散を抑える場合に有効である。

熱処理温度は、第1圧電体薄膜42の材料の物性、下電極3の融点によって選択できるが、300より高く400以下が好ましい。

10

また、熱処理の雰囲気は、第1圧電体薄膜42の材料を構成する元素のうち、最も分圧の低い元素が存在する雰囲気中で行う。より具体的に例を挙げると、第1圧電体薄膜42の材料が酸化亜鉛である場合は酸素雰囲気中での熱処理が好ましく、窒化アルミニウムの場合は窒素雰囲気中での熱処理が好ましい。

【0022】

図3(d)において、熱処理後の第1圧電体薄膜43上に第2圧電体薄膜44を形成する。第2圧電体薄膜44は、結晶化の進んだ熱処理後の第1圧電体薄膜43上で結晶成長するものであればどのような圧電体薄膜でもよいが、好ましくは、熱処理後の第1圧電体薄膜43と同一材料からなるのが好ましい。

20

第2圧電体薄膜44も第1圧電体薄膜42と同様に、PVD法、CVD法で形成することができる。第2圧電体薄膜44は、数μmの厚さに形成する。

熱処理後の第1圧電体薄膜43と第2圧電体薄膜44とが一体となって圧電体薄膜4が形成されている。

【0023】

図3(e)において、第2圧電体薄膜44上の上電極5を形成する。上電極5も下電極3と同様の材料、方法で形成することができる。

【0024】

このような本実施形態によれば、以下の効果がある。

(1) 応力の中立面100が圧電振動片1の基板2内に存在するため、圧電体薄膜4へ伸縮を妨げる方向の応力を加わりにくくできる。したがって、効率よく圧電振動が行われ、駆動電圧および消費電力を低減できる。

30

【0025】

(2) 圧電体薄膜4を、バッファ層としての第1圧電体薄膜42と成長層としての第2圧電体薄膜44との2回に分けて形成する。ここで、第1圧電体薄膜42形成後に熱処理を行うため、熱処理後の第1圧電体薄膜43の結晶性を、熱処理前の第1圧電体薄膜42と比較してより向上できる。そして、その後形成される第2圧電体薄膜44も熱処理後の第1圧電体薄膜43に倣って結晶成長し、全体として結晶性のより向上した圧電体薄膜4を得ることができる。

また、下電極3を形成する材料の圧電体薄膜4への拡散を防ぐことができ、圧電体薄膜4の結晶性を向上できる。

40

【0026】

(3) 第1圧電体薄膜42の材料と第2圧電体薄膜44の材料とが、同じ結晶定数を持つことができる同一材料で形成されるので、第2圧電体薄膜44が熱処理後の第1圧電体薄膜43により倣って形成され、結晶性を向上できる。また、圧電特性が同じ材料であれば、圧電体薄膜4としての圧電特性を安定にできる。

【0027】

(4) 第1圧電体薄膜42の膜厚が、5nm以上で100nm以下で、圧電体薄膜4全体の膜厚である数μmと比較すると薄い。この程度の厚さの薄膜は、結晶の欠陥数自体が少ない。そして、熱処理温度が300より高ければ、欠陥数が少ないので十分な結晶性

50

が得られ、400 以下であれば、下電極 3 を形成する材料の熱処理後の第 1 圧電体薄膜 43 への拡散が抑えられ、熱処理後の第 1 圧電体薄膜 43 の不純物が少なくできるため結晶性をより向上できる。

【0028】

(5) 熱処理中の雰囲気ガスが分圧の低い元素で満たされているので、分圧の低い元素の抜けが防げるため、組成変化が抑えられ結晶性をより向上できる。

【0029】

(第 2 実施形態)

図 4 に本実施形態の圧電振動片 20 の部分断面図を示した。

本実施形態の圧電振動片 20 およびその製造方法は、第 1 実施形態で形成した下電極 3、圧電体薄膜 4 および上電極 5 を基板 2 の両面に設けた以外は、第 1 実施形態と同様の材料および構成である。

【0030】

このような本実施形態によれば、以下の効果がある。

(6) 応力の中立面 200 が圧電振動片 20 の基板 2 内に存在するため、圧電体薄膜 4 へ伸縮を妨げる方向の応力を加わりにくくできる。それに加え、圧電振動片 20 が 2 つの圧電体薄膜 4 を備えているので、振動を励起しやすくできる。また、両面に圧電体薄膜 4 等を形成することにより、圧電体薄膜 4 等による応力を互いに打ち消すことができ、片面にだけ圧電体薄膜 4 等を形成した場合に生ずる基板 2 の反りを抑えることができる。

【0031】

以下に、実施例と比較例とにより、圧電体薄膜 4 の結晶性の評価および圧電振動片 1 の圧電振動効率の目安となるインピーダンスの評価を行った。

(実施例)

基板 2 として、シリコン基板を用意した。

S1 の工程として、下電極 3 として白金を形成し、その上に圧電体薄膜 4 として酸化亜鉛薄膜を形成した。圧電体薄膜 4 は、以下のように形成した。

S2 の工程として、第 1 圧電体薄膜 42 を、RF (Radio Frequency) スパッタリング法により、膜厚が 50 nm の酸化亜鉛膜を形成した。RF スパッタリング法の条件は、RF スパッタリングパワーを 1.0 kW、アルゴン流量を 50 sccm、酸素流量を 50 sccm、ガス圧を 0.5 Pa、成膜温度を 500 で、ターゲットを酸化亜鉛の焼結体として行った。

次に、S3 の工程として、第 1 圧電体薄膜 42 を、酸素雰囲気中で 310 、30 秒の条件でホットプレートによる熱処理を行った。

次に、S4 の工程として、熱処理後の第 1 圧電体薄膜 43 上に、第 2 圧電体薄膜 44 として酸化亜鉛膜を形成した。酸化亜鉛膜は、第 1 圧電体薄膜 42 と同様に RF スパッタリングで行い、膜厚は 1.95 μm とした。

S5 の工程として、上電極 5 として白金を形成した。

【0032】

(比較例)

第 1 圧電体薄膜 42 としての酸化亜鉛膜を形成せずに、下電極 3 上に直接、圧電体薄膜 4 としての酸化亜鉛膜を実施例と同じ条件で RF スパッタリングで行った。膜厚は、2.00 μm で形成した。

【0033】

以下に、実施例および比較例で得られた圧電振動片 1 を評価した結果を示す。

[XRD (X-ray diffraction) による結晶性評価]

図 5 には、実施例および比較例で得られた圧電体薄膜 4 を XRD で測定したロックンブ曲線の結果を示す図が示されている。

図 5 (a) は、実施例の結果を示し、図 5 (b) は、比較例の結果を示している。横軸は試料角度 (deg)、縦軸は散乱強度 (cps) である。

実施例での値は 0.7 で、比較例での値は 1.5 であり、第 1 圧電体薄膜 42 を形

10

20

30

40

50

成した後熱処理を行い、第2圧電体薄膜44を形成した圧電体薄膜4の結晶性が、圧電体薄膜4を単体で形成した場合と比較して向上することが確認できた。

【0034】

〔インピーダンス特性評価〕

実施例、比較例で得られた圧電振動片1を用いて圧電MEMS10を形成し、インピーダンスZを評価した。

図6にインピーダンスZの測定の結果の概略を示す図を示した。使用周波数 f_0 において、実施例のインピーダンスはZaであり、比較例のインピーダンスZbより小さくなることが確認できた。

以上、実施例および比較例により、本発明における工程および数値範囲内での結晶性向上の効果、および圧電振動効率の向上が確認できた。

10

【0035】

なお、本発明は前述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

例えば、基板2自体が導電性を有し、下電極を兼ねていてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】(a)は、本発明の第1実施形態にかかる圧電振動片を備えた圧電MEMSを示す概略平面図、(b)は概略正断面図、(c)は(a)におけるA-A部分断面図。

【図2】圧電振動片の製造方法を示すフロー図。

20

【図3】圧電振動片の製造方法を示す概略部分断面図。

【図4】本発明の第2実施形態にかかる圧電振動片の部分断面図。

【図5】(a)は、実施例のロッキング曲線の結果を示す図、(b)は、比較例のロッキング曲線の結果を示す図。

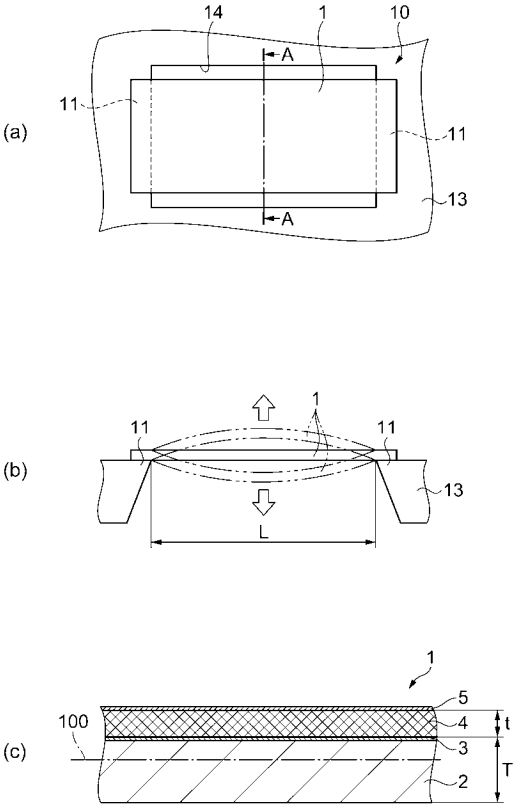
【図6】インピーダンスZの測定の結果を示す概略図。

【符号の説明】

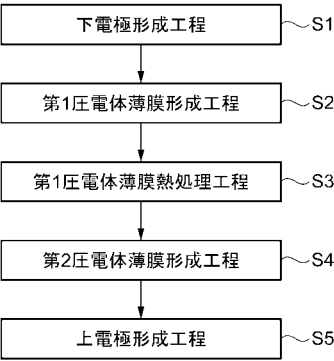
【0037】

1...圧電振動片、2...基板、3...下電極、4...圧電体薄膜、5...上電極、42, 43...第1圧電体薄膜、44...第2圧電体薄膜。

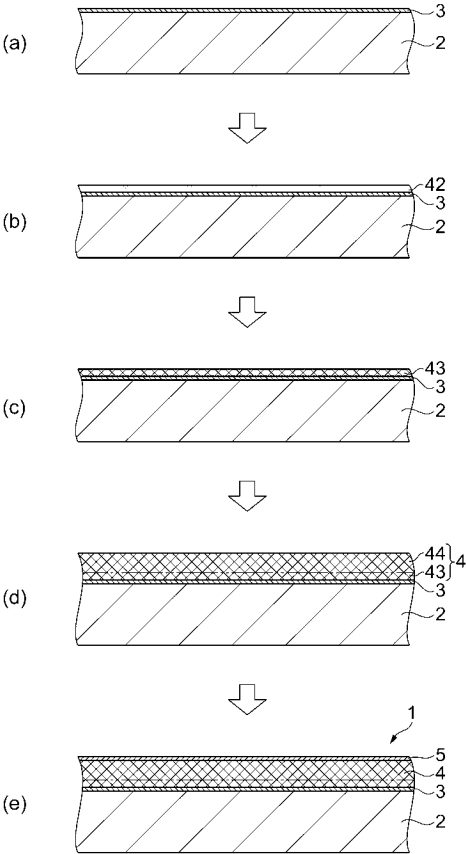
【図 1】



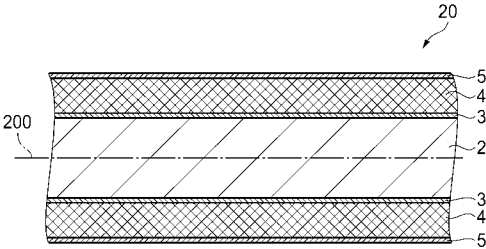
【図 2】



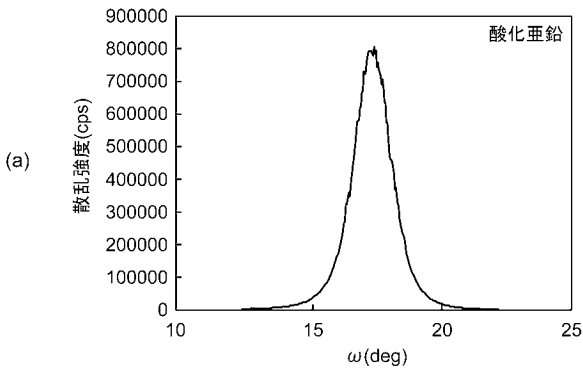
【図 3】



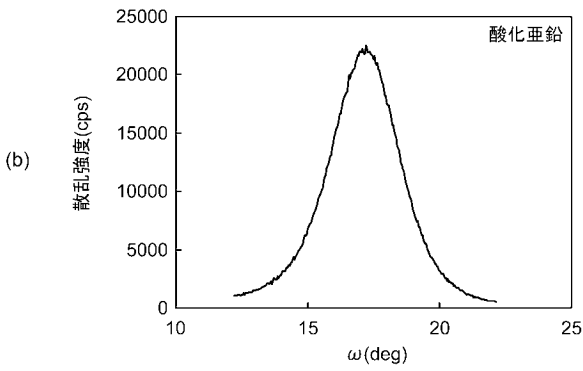
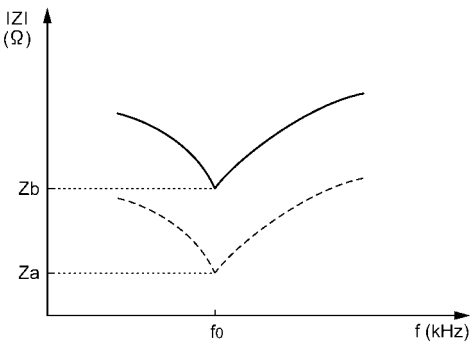
【図 4】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>H 0 1 L 41/22</i>	<i>(2006.01)</i>	H 0 1 L 41/18	1 0 1 D	
		H 0 1 L 41/18	1 0 1 Z	
		H 0 1 L 41/22	Z	

審査官 佐藤 聡史

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 2 9 2 2 1 8 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 0 7 3 1 1 7 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 3 3 7 3 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 3 H 3 / 0 0 7 - 9 / 7 6
H 0 1 L 4 1 / 0 0 - 4 1 / 2 2