

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年12月19日(19.12.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/239803 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 23/02 (2006.01) *C30B 29/04* (2006.01)
C23C 16/27 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/019896
- (22) 国際出願日: 2019年5月20日(20.05.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2018-110928 2018年6月11日(11.06.2018) JP
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 小野 満 恒二 (ONOMITSU, Koji); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 平間 一行 (HIRAMA, Kazuyuki); 〒1808585 東

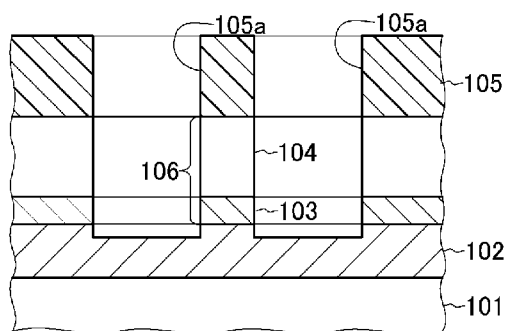
京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山川 茂樹, 外(YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー4階 山川国際特許事務所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: MECHANICAL OSCILLATOR AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称: 機械振動子およびその製造方法



(57) Abstract: A material configured from an element having no catalytic action is epitaxially grown on a nickel layer (102) to form a material layer (103). For example, iridium is epitaxially grown to form the material layer (103). Next, cubic crystals are epitaxially grown on the material layer (103) to form a crystal layer (104), and a layered structure comprising the material layer (103) and the crystal layer (104) is patterned to form an oscillator-shaped portion (106). The thickness of the material layer (103) is controlled within a range where lattice relaxation is not complete.

(57) 要約: ニッケル層(102)の上に触媒作用のない元素から構成された材料をエピタキシャル成長して材料層(103)を形成する。例えば、イリジウムをエピタキシャル成長して材料層(103)を形成する。次に、材料層(103)の上に立方晶の結晶をエピタキシャル成長して結晶層(104)を形成し、材料層(103)および結晶層(104)からなる積層構造をパターンニングして振動子形状部(106)を形成する。材料層(103)の厚さは、完全に格子緩和しない範囲で制御する。

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：機械振動子およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、ダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素などの立方晶の結晶から構成された機械振動子およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 非常に高いヤング率を有するダイヤモンドは、機械振動子として非常に高い周波数で動作することが可能である。機械振動子の振動部分にダイヤモンドを用いようとする場合、選択的にエッチング除去が可能な層の上にダイヤモンド層を形成し、ダイヤモンド層の下の一部の基板を除去することで、梁構造を形成することになる。例えば、FIB (Focused Ion Beam) やRIE (Reactive Ion Etching) によって基板を傾けた状態で、物理的なドライエッチングによりエッチングした後、反対側に傾けて再び同様のエッチングをすることで、両側からエッチングして形成した開孔を連結させ、梁構造を作製することは原理上可能である。

[0003] しかしながらこの場合、ダイヤモンド層の上に、一部の領域を保護するマスクを用いることになる。当然、ダイヤモンド自体が非常に安定であるためエッチングレートは低く、エッチング過程でマスクも大幅にエッチングされることになり、実現したとしても加工サイズ、加工精度に限界がある。

[0004] 一方、 SiO_2 層を備えたSi基板上にCVD成長したダイヤモンドを用いてダイヤモンド機械振動子を形成する技術が提案されている（非特許文献1参照）。この技術では、 SiO_2 層をフッ酸水溶液もしくはバッファーフッ酸水溶液によって選択的にウエットエッチングすることで、架橋構造や片持ち梁構造の作製を可能としている。しかし、Siとダイヤモンドの格子定数差は50%以上もあり、Si上に高品質なダイヤモンドを結晶成長すること自体が難しいことも知られている。

[0005] 近年、イリジウム上のダイヤモンドの薄膜成長が実現している（非特許文

献2参照)。イリジウムは化学的に安定で、高温のフッ酸でエッチング可能であるものの、容易に選択エッチングが可能であるとは言い難い。また、イリジウムとダイヤモンドの間に7パーセント以上の格子ミスマッチがあり、ホモエピタキシャルほどの品質は得られていない。振動する領域の結晶性が低いと、エネルギー散逸量が大きくなり、本来得られるはずのQ値を得ることができない。Q値が高ければ高いほど、低いエネルギーで動作が可能であり、またセンサーなどとして用いる場合、高感度とすることができる。このため、機械振動子には、結晶性のよい高品質な結晶を用いることが望まれる。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1: T. Shibata et al., "Micromachining of Diamond Film for MEMS Applications", Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 9, no. 1, pp. 47-51, 2000.

非特許文献2: 鈴木 一博、澤邊 厚仁、「ダイヤモンドのヘテロエピタキシャル成長」、第59回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集、15p-F5-2、244頁、2012年。

非特許文献3: K. Hirama et al., "Heteroepitaxial growth of single-domain in cubic boron nitride films by ion-beam-assisted MBE", Applied Physics Express, vol. 10, 035501, 2017.

非特許文献4: H. Yamaguchi et al., "Improved resonance characteristics of GaAs beam resonators by epitaxially induced strain", Applied Physics Letters, vol. 92, no. 251913, 2008.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 前述したように、ダイヤモンドなどの結晶を用いることで、高い周波数で動作する機械振動子を構成することが可能であるが、結晶性のよい状態で振

動子の構造を形成することが容易ではなく、結晶が備える高いヤング率による本来得られるはずの高いQ値を得ることが容易ではないという問題があった。

[0008] 本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、ダイヤモンドなどの立方晶の結晶からなる機械振動子において、高いQ値が得られるようにすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明に係る機械振動子の製造方法は、ニッケルの結晶からなるニッケル層の上に触媒作用のない元素から構成された材料をエピタキシャル成長して材料層を形成する第1工程と、材料層の上に立方晶の結晶をエピタキシャル成長して結晶層を形成する第2工程と、材料層および結晶層からなる積層構造をパターンニングして振動子形状部を形成する第3工程と、振動子形状部の下部のニッケル層を除去して振動子形状部からなる振動子を形成する第4工程とを備える。

[0010] 上記機械振動子の製造方法において、第1工程では、材料層を厚さ10nm以下に形成するとよい。

[0011] 上記機械振動子の製造方法において、結晶層を構成する結晶は、ダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素である。

[0012] 上記機械振動子の製造方法において、第2工程では、材料層の上にダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素からなる結晶をエピタキシャル成長して結晶層を形成し、更に、結晶層の上に立方晶系窒化ホウ素またはダイヤモンドからなる結晶をエピタキシャル成長して他結晶層を形成する第5工程を備え、第3工程では、材料層、結晶層、および他結晶層からなる積層構造をパターンニングして振動子形状部を形成してもよい。

[0013] 上記機械振動子の製造方法において、触媒作用のない元素から構成された材料は、イリジウムまたは白金であればよい。

[0014] 本発明に係る機械振動子は、触媒作用のない元素から構成された材料からなる材料層と、材料層の上に形成された立方晶の結晶からなる結晶層とを備

える積層構造から構成され、材料層と結晶層との界面では、面方向の格子定数が等しい状態とされている。

[0015] 上記機械振動子において、結晶層を構成する結晶は、ダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素である。

[0016] 上記機械振動子において、結晶層の上に立方晶系窒化ホウ素またはダイヤモンドからなる他結晶層を備え、積層構造は、材料層、結晶層、および他結晶層から構成されているようにしてもよい。

[0017] 上記機械振動子において、触媒作用のない元素から構成された材料は、イリジウムまたは白金であればよい。

発明の効果

[0018] 以上説明したように、本発明によれば、ニッケルの結晶からなるニッケル層の上に触媒作用のない元素から構成された材料をエピタキシャル成長して材料層を形成し、この上に立方晶の結晶をエピタキシャル成長して結晶層を形成するようにしたので、ダイヤモンドなどの立方晶の結晶からなる高いQ値の機械振動子が形成できるという優れた効果が得られる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1A]図1 Aは、本発明の実施の形態における機械振動子の製造方法を説明するための途中工程の状態を示す断面図である。

[図1B]図1 Bは、本発明の実施の形態における機械振動子の製造方法を説明するための途中工程の状態を示す断面図である。

[図1C]図1 Cは、本発明の実施の形態における機械振動子の製造方法を説明するための途中工程の状態を示す断面図である。

[図1D]図1 Dは、本発明の実施の形態における機械振動子の製造方法を説明するための途中工程の状態を示す断面図である。

[図1E]図1 Eは、本発明の実施の形態における機械振動子の製造方法を説明するための途中工程の状態を示す断面図である。

[図1F]図1 Fは、本発明の実施の形態における機械振動子の製造方法を説明するための途中工程の状態を示す断面図である。

[図1G]図1 Gは、本発明の実施の形態における機械振動子の構成を示す断面図である。

[図1H]図1 Hは、本発明の実施の形態における機械振動子の構成を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の実施の形態における機械振動子の製造方法について図1 A～図1 Hを参照して説明する。

[0021] まず、図1 Aに示すように、基板101の上にニッケルの結晶（単結晶）からなるニッケル層102を形成する。例えば、MgOからなる基板101上に、ニッケルを200nm成長し、十分に格子緩和させる。基板101の面方位は特定しなくてもよい。基板101は単結晶であれば、サファイア基板、窒化物基板、SiC基板、金属（ニッケル基板であっても、他の金属基板でもよい）であっても良いが、最終目的の立方晶系窒化ホウ素やダイヤモンドの結晶成長温度（1100℃前後）に耐えることが可能な材料であることが必要である。

[0022] 例えば、基板温度の条件を250℃から450℃前後とし、真空中でニッケルの成長を行えばよい。電子線蒸着法、スパッタ法、分子線エピタキシー法、ニッケルフィラメントによる蒸着法などによりニッケルを形成すればよい。なお、最適な基板温度の条件は、成長速度、成長方法によって多少異なる。ニッケルを成長した後、水素中もしくは真空中で水素分圧が5 Torr以上の雰囲気下、基板101を1000℃前後に加熱することで、ニッケルの結晶性を向上させる。

[0023] 次に、図1 Bに示すように、ニッケル層102の上に触媒作用のない元素から構成された材料をエピタキシャル成長して材料層103を形成する（第1工程）。例えば、イリジウムをエピタキシャル成長して材料層103を形成する。以下では、触媒作用のない元素としてイリジウムを例に説明する。この場合、例えば、十分に格子緩和したニッケル層102の上に、厚さ1原子層（0.3839nm）以上10nm以下に材料層103を形成すればよ

い。また、材料層 103 は、例えば、1 nm より厚く形成し、厚さ方向上部を格子緩和させてもよい。ここで、厚さ 1 nm は、イリジウムが格子緩和の生じない臨界膜厚である。なお、材料や条件により、臨界膜厚は変動する。なお、基板 101 を用いず、単結晶ニッケルによる基板をニッケル層 102 として用いてもよい。

[0024] 厚さ 1 原子層の材料層 103 の面方向の格子定数（面内格子定数）は、ニッケル（ニッケル層 102）の格子定数と等しくなり、歪が印加された状態となる。3 原子層よりも厚くなるに従って、材料層 103 の上部は徐々に格子緩和し、材料層 103 はイリジウム本来の格子定数に近づいていく。従って、完全に格子緩和しない範囲で、材料層 103 の厚さを制御することで、表面側（上面側）が適度に格子緩和した材料層 103 を形成することができる。格子緩和の状態は、厚さによる。

[0025] 例えば、電子線蒸着法、スパッタ法、分子線エピタキシー法などによりイリジウムを成長させることで、材料層 103 を形成すればよい。高温のクヌーセルを用いた分子線エピタキシー法によれば、成長速度は遅くなるが高品質なイリジウムからなる材料層 103 が得られる。

[0026] 上述したように、単結晶のニッケルからなるニッケル層 102 の上にエピタキシャル成長したイリジウムによる材料層 103 は、面内に圧縮歪を含有し、面内格子定数はニッケルに等しくなる。材料層 103 は、1 原子層を堆積させればよいが、工業的にはニッケル層 102 の表面を完全に被覆させるため、3 層以上堆積させた方が安定である。

[0027] 次に、図 1 C に示すように、材料層 103 の上に立方晶の結晶をエピタキシャル成長して結晶層 104 を形成する（第 2 工程）。結晶層 104 を構成する結晶は、ダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素である。前述したように、厚さ 1 原子層とした材料層 103 の上に結晶層 104 を形成した場合、材料層 103 の面内格子定数は、ニッケル層 102 の格子定数と等しくなる。この状態の材料層 103 の上にエピタキシャル成長した結晶層 104 は、ニッケル層 102 の上に直接エピタキシャル成長した場合と同様に形成され

、結晶性のよいものとなる。言い換えると、材料層 103 との間の格子ミスマッチが解消された状態で結晶層 104 が形成できる。

[0028] また、完全に格子緩和しない範囲で 1 原子層より厚くした材料層 103 の上に結晶層 104 を形成した場合、材料層 103 の面内格子定数は、ニッケル層 102 の格子定数とは多少異なる状態となる。この場合、結晶層 104 の面内格子定数は、ニッケル層 102 とは異なる状態となり、歪みが印加されるものとなる。前述したように適度に格子緩和した材料層 103 の上にエピタキシャル成長することで、立方晶系窒化ホウ素やダイヤモンドからなる結晶層 104 に印加される歪を圧縮歪から引っ張り歪まで制御することが可能である。

[0029] 次に、図 1 D に示すように、結晶層 104 の上に、所望とする振動子形状のマスクパターン 105 を形成する。例えば、マスクパターン 105 は、所定の間隔を開けて配置された 2 つの開口部 105 a を備えている。公知のリソグラフィ技術によりマスクパターン 105 を形成すればよい。マスクパターン 105 は、どのような材料から構成してもよいが、加工する結晶層 104 とのエッチングレートの違い、結晶層 104 の厚さによって厚さを決定する。

[0030] 次に、図 1 E に示すように、マスクパターン 105 をマスクとしたエッチング処理により、材料層 103 および結晶層 104 からなる積層構造をパターンニングして振動子形状部 106 を形成する（第 3 工程）。例えば、Ga イオンを用いた FIB や、酸素およびアルゴンの混合ガスを用いた RIE によって、2 つの開口部 105 a より、ニッケル層 102 に到達する深さまで物理的にドライエッチングを行う。

[0031] 次に、図 1 F、図 1 G に示すように、振動子形状部 106 の下部のニッケル層 102 の一部を除去して振動子形状部 106 からなる振動子を形成する（第 4 工程）。図 1 G は、図 1 F とは、互いに 90° 異なる方向の、2 つの開口部 105 a の間の断面を示している。例えば、すでに形成されている振動子形状部 106 をマスクとし、ニッケルを選択的にエッチングするウェッ

トエッチングにより、ニッケル層 102 を所定量エッチングすればよい。

[0032] 例えば、塩酸水溶液または希硝酸水溶液によって、2つの開口部 105 a を介し、ニッケル層 102 を選択的にエッチングすることで、振動子を形成することが可能である。このエッチングでは、2つの開口部 105 a の間の領域において、材料層 103 の下部のニッケル層 102 を両側部からエッチングし、材料層 103 の下部に空間 102 a を形成する。これにより、2つの開口部 105 a の間の領域に、空間 102 a により基板 101 の表面より離間した両持ちの梁構造とされた振動子形状部 106 が形成できる。振動子形状部 106 は、図 1 G の紙面左右方向において空間 102 a の両脇のニッケル層 102 に指示された状態となる。

[0033] なお、基板 101 の材料によっては、基板 101 の裏面、基板 101 の側面から基板自体も、ある程度の厚さがエッチングされることになるが、振動子自体の特性に影響はない。

[0034] 以上のようにして、振動子形状部 106 を形成した後、マスクパターン 105 を除去することで、図 1 H に示すように、イリジウムの結晶からなる材料層 103 と、材料層 103 の上に形成された立方晶の結晶からなる結晶層 104 とを備える積層構造から構成された機械振動子が得られる。この機械振動子では、材料層 103 と結晶層 104 との界面では、面方向の格子定数が等しい状態とされていることになる。材料層 103 の厚さを 1 原子層とした場合、前述したように、結晶層 104 は、ニッケル層 102 と格子がマッチした状態に形成されていることになる。一方、完全に格子緩和しない範囲で材料層 103 を 1 原子層より厚くした場合、結晶層 104 には、歪みが印加された状態となる。

[0035] このように形成した機械振動子の、上面に電極を形成すると、裏面の材料層 103 を他方の電極としこれら 2 つ電極の間の電界によって、振動制御が可能となる。また、これら 2 つの電極により、振動によって発生する電界を検出することでセンサーとしても動作させることができる。表面側の電極は、振動子形状部 106 をエッチングにより形成する前に作製してもよく、振

動子形状部 106 を形成した後に作製しても良い。また、材料層 103 による裏面側の電極をバックゲートとして動作させつつ、振動によって結晶層 104 に生成したキャリアを変調させることも可能である。この場合、上面側に、結晶層 104 にオーミック接続する電極を形成することで、キャリアの変調が検出可能となる。

[0036] なお、結晶層 104 の上に、立方晶系窒化ホウ素またはダイヤモンドからなる結晶をエピタキシャル成長して他結晶層（不図示）を形成し（第 5 工程）、材料層 103、結晶層 104、および他結晶層からなる積層構造をパターンニングして振動子形状部を形成するようにしてもよい。

[0037] 上述したように、ニッケル単結晶（ニッケル層）の上に、例えば 10 nm 以下のイリジウムをエピタキシャル成長させて材料層とすることで、この上にエピタキシャル成長するダイヤモンドおよび立方晶系窒化ホウ素との間の格子ミスマッチを制御することができ、高品質ダイヤモンドや立方晶系窒化ホウ素（結晶）の材料層の上へのヘテロ成長が可能となる。

[0038] 材料層は、この下のニッケル層の面内格子定数を完全に引き継いだ状態、つまり完全に圧縮歪を印加された状態でもよく、また材料層を厚くすることで、部分的に材料層を格子緩和させても良い。つまり、材料層の厚さにより材料層における歪の状態を制御することが可能となり、この歪み制御で、この上に成長する結晶層に印加される歪を制御することが可能となる。

[0039] ここで重要となるのは、材料層の上に結晶層をエピタキシャル成長する際、ニッケルと成長している結晶層とが反応しないだけの厚さをもつ材料層が形成されていることである。ニッケル層の全域を完全に材料層が覆っているのであれば、材料層の厚さは 1 原子層でもよいが、工業的には 3 原子層の材料層が存在することが望まれる。これは、部分的な欠陥によりニッケル表面が露出することを避ける意味もあるが、結晶層が成長する過程で、下層のエッチング効果が無視できないことが大きい。

[0040] 例えば、ダイヤモンドを成長させている表面にニッケルが存在すると、ニッケルの触媒作用によりグラファイトが形成されてしまう。また、窒化ホウ

素を成長させている表面にニッケルが存在すると、立方晶ではなく六方晶系窒化ホウ素が形成されてしまう。このため、結晶層の成長においては、ニッケルからなるニッケル層の表面が、触媒作用のない元素から構成された材料による材料層で覆われている必要がある。触媒作用のない元素から構成された材料としては、前述したイリジウムの他に白金でもよい。

[0041] この構造において、ダイヤモンドもしくは立方晶系窒化ホウ素による結晶層のパターニングでは、基板を傾ける必要が無く、マスクを用い、ニッケル層に到達する深さまでFIBやRIEで物理的にエッチングすることが可能となる。また、ダイヤモンドもしくは立方晶系窒化ホウ素のエッチングレートは遅いものの、表面に形成するマスクを厚くすることで解決できる。ニッケル層は、塩酸、希硝酸で容易に選択エッチングすることが可能であり、結晶層による片持ちの梁構造、両持ちの梁構造、メンブレン構造など、支持部により支持され、振動部分が中空に浮いた構造による振動子を作製することが可能となる。

[0042] ここで、振動部分には、ダイヤモンドもしくは立方晶系窒化ホウ素からなる結晶層に、薄いイリジウムによる材料層が形成されているが、この材料層は、高温のフッ酸によってエッチングすることが可能である。材料層を、側方（断面方向）からエッチングする場合、極めてエッチングレートが遅いが、表面側からのエッチングであれば、材料層は薄いため、現実的な加工時間でエッチング処理が可能となる。

[0043] 半導体や異種の単結晶金属からなる基板の上にエピタキシャル成長した単結晶のニッケルによるニッケル層を用いても、ニッケル層まで到達する加工を施した後に、前述したように選択的にエッチングすることで、容易に振動子を作製できる。単純には、ニッケル層が十分に格子緩和し、面内格子定数が本来のニッケルの格子定数となっても良いが、格子緩和を意図的に不完全とすることで、最表面の面内格子定数を制御できる。つまり、ニッケルよりも大きな格子定数を持つ基板を用いることで、結晶性を損なわない範囲で、ダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素との間の格子ミスマッチを制御

することが可能となる。なお、イリジウムや白金からなる材料層の表面が完全に格子緩和していると、結晶層との間の格子のミスマッチが大きくなりすぎ、結晶性のよい結晶層が形成できなくなる。このため、材料層は、完全に格子緩和しない範囲の厚さとすることが重要であり、最大でも厚さ10nm程度とする。

[0044] このように、面内格子定数を制御したニッケル層の上にイリジウムをエピタキシャル成長して材料層を形成する際、前述の通り完全に歪んだ状態であっても部分的に格子緩和していても良い。

[0045] 単独のニッケル層、もしくは半導体や異種の単結晶金属基板上のニッケル層のいずれの場合も、前述したように、ニッケル層の上にエピタキシャル成長する材料層の厚さは、格子緩和が生じない数層としても良い。当然、ニッケル層と同様に、材料層の厚さ方向表面側の一部を格子緩和させることで、ダイヤモンドや立方晶系窒化ホウ素による結晶層との格子ミスマッチを制御することが可能である。

[0046] すなわち、ニッケル層、材料層のどちらも残留歪量を制御することで、結晶層に圧縮歪や引っ張り歪みを印加することが可能である。このようにして結晶層に歪を印加すると、振動子としての特性も制御することが可能である。一般的には、振動部分に引っ張り歪を与えた場合、高周波数で動作し、高いQ値の振動子を得ることができる（非特許文献4参照）。

[0047] また、ニッケル層の上にエピタキシャル成長したダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素による結晶層の上には、互いに、立方晶系窒化ホウ素の層またはダイヤモンドの層（他結晶層）を形成することが可能であるが。この場合、ダイヤモンド層と立方晶系窒化ホウ素層によるシングルヘテロ構造はもちろん、交互に複数のヘテロ構造を積層する超格子も作製可能となる。このような構造においても、ニッケル層まで到達する深さまでエッチングした後、ニッケル層を塩酸や希硝酸などで選択的にエッチングすることで振動子の作製が可能となる。

[0048] 上述したようなダイヤモンド層（結晶層）と窒化ホウ素層（他結晶層）と

のヘテロ構造や、窒化ホウ素でダイヤモンド層の両面を挟んだダイヤモンド量子井戸構造を作製すると、ニッケル層や材料層をバックゲート電極として用いた伝導性制御が可能な能動素子を構成することができる。このような構造は、成長面の方位としては（００１）面、（１１１）面に限らずあらゆる面に応用できるが、ダイヤモンドをエピタキシャル成長する場合は（００１）面を用いた場合がより容易である。

[0049] 以上に説明したように、本発明によれば、ニッケル層の上に触媒作用のない元素から構成された材料をエピタキシャル成長して材料層を形成し、この上に立方晶の結晶をエピタキシャル成長して結晶層を形成するようにしたので、ダイヤモンドなどの立方晶の結晶からなる機械振動子において、高いＱ値が得られるようになる。触媒作用のない元素としては、イリジウムや白金などがあるが、これに限られるものではない。

[0050] なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形および組み合わせが実施可能であることは明白である。

符号の説明

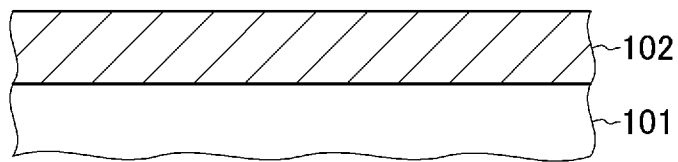
[0051] １０１…基板、１０２…ニッケル層、１０２ａ…空間、１０３…材料層、１０４…結晶層、１０５…マスクパターン、１０５ａ…開口部、１０６…振動子形状部。

請求の範囲

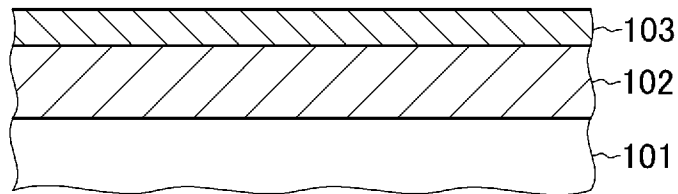
- [請求項1] ニッケルの結晶からなるニッケル層の上に触媒作用のない元素から構成された材料をエピタキシャル成長して材料層を形成する第1工程と、
- 前記材料層の上に立方晶の結晶をエピタキシャル成長して結晶層を形成する第2工程と、
- 前記材料層および前記結晶層からなる積層構造をパターンニングして振動子形状部を形成する第3工程と、
- 前記振動子形状部の下部の前記ニッケル層を除去して前記振動子形状部からなる振動子を形成する第4工程と
- を備えることを特徴とする機械振動子の製造方法。
- [請求項2] 請求項1記載の機械振動子の製造方法において、
- 前記第1工程では、前記材料層を厚さ10nm以下に形成することを特徴とする機械振動子の製造方法。
- [請求項3] 請求項1または2記載の機械振動子の製造方法において、
- 前記結晶層を構成する結晶は、ダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素である
- ことを特徴とする機械振動子の製造方法。
- [請求項4] 請求項3記載の機械振動子の製造方法において、
- 前記第2工程では、前記材料層の上にダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホウ素からなる結晶をエピタキシャル成長して前記結晶層を形成し、
- 更に、前記結晶層の上に立方晶系窒化ホウ素またはダイヤモンドからなる結晶をエピタキシャル成長して他結晶層を形成する第5工程を備え、
- 前記第3工程では、前記材料層、前記結晶層、および前記他結晶層からなる積層構造をパターンニングして前記振動子形状部を形成することを特徴とする機械振動子の製造方法。

- [請求項5] 請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の機械振動子の製造方法において、
前記材料は、イリジウムまたは白金であることを特徴とする機械振動子の製造方法。
- [請求項6] 触媒作用のない元素から構成された材料からなる材料層と、
前記材料層の上に形成された立方晶の結晶からなる結晶層と
を備える積層構造から構成され、
前記材料層と前記結晶層との界面では、面方向の格子定数が等しい
状態とされている
ことを特徴とする機械振動子。
- [請求項7] 請求項 5 記載の機械振動子において、
前記結晶層を構成する結晶は、ダイヤモンドまたは立方晶系窒化ホ
ウ素である
ことを特徴とする機械振動子。
- [請求項8] 請求項 6 または 7 記載の機械振動子において、
前記材料は、イリジウムまたは白金であることを特徴とする機械振
動子。

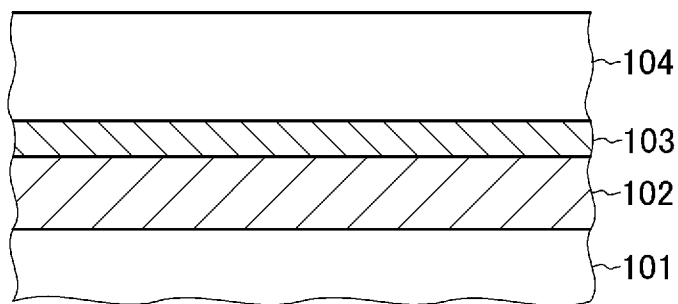
[図1A]



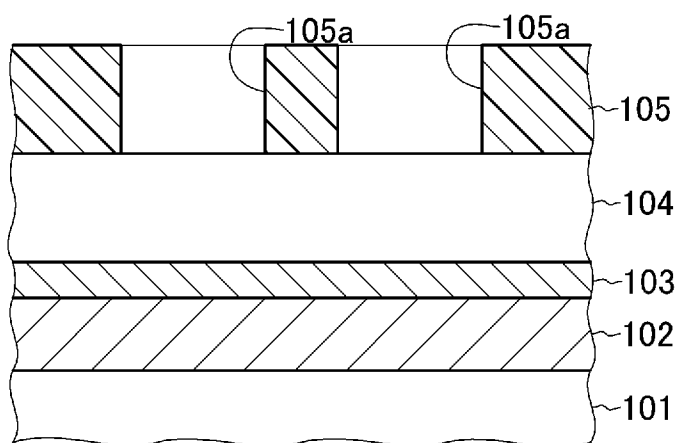
[図1B]



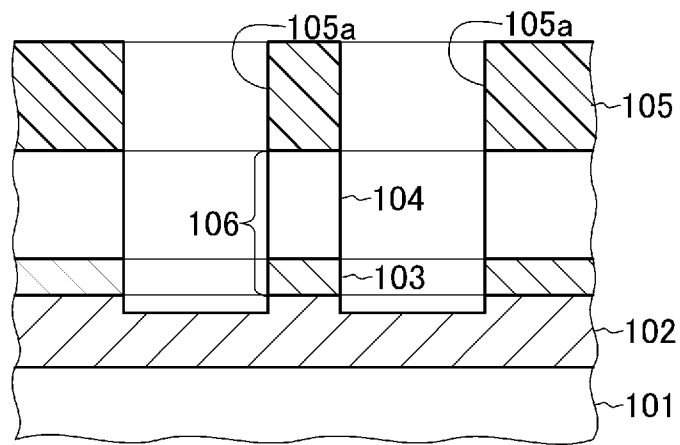
[図1C]



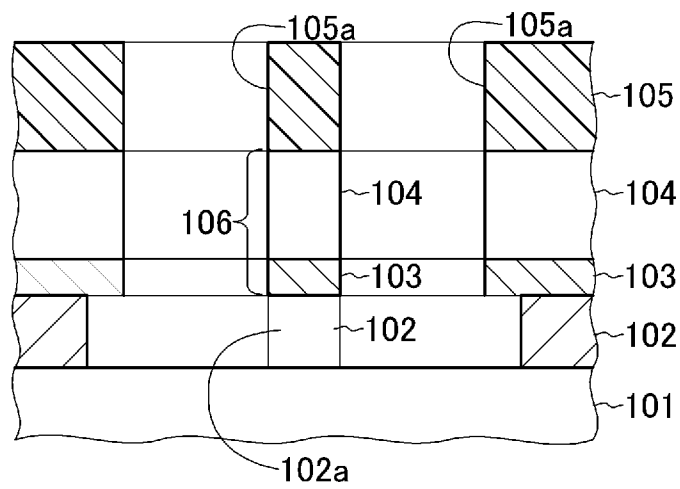
[図1D]



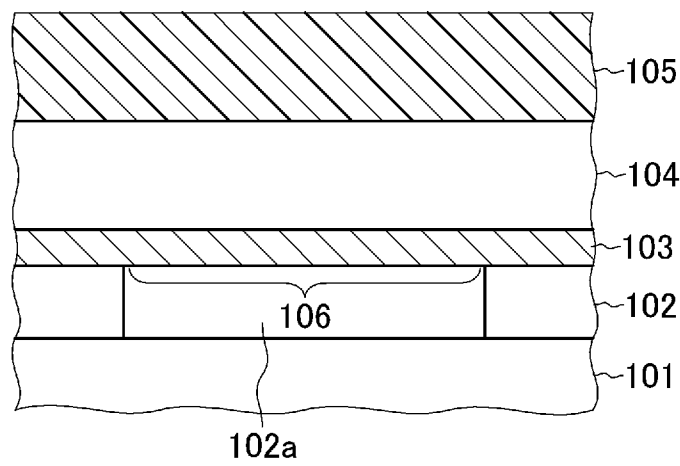
[図1E]



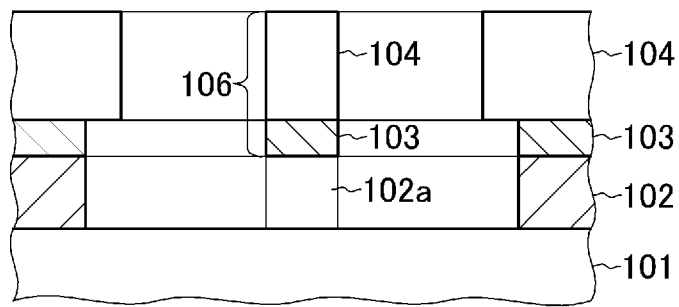
[図1F]



[図1G]



[図1H]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/019896

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. C30B23/02 (2006.01) i, C23C16/27 (2006.01) i, C30B29/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. C30B23/02, C23C16/27, C30B29/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2007/092893 A2 (TARGET TECHNOLOGY COMPANY, LLC) 16 August 2007, page 18, line 2 to page 33, line 2 & JP 2009-525944 A & US 2008/0003447 A1 & CN 101379225 A & TW 200806826 A	6-8 1-5
X Y	MOCHIMARU, Y. et al., Fabrication and evaluation of CVD diamond resonators, Proceedings of the 16th International Conference on Nanotechnology, IEEE, 25 August 2016, pp. 676, 677	6-8 6-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25.06.2019

Date of mailing of the international search report
16.07.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/019896

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-168460 A (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) 01 September 2011, paragraphs [0015]-[0041] & US 2013/0043213 A1, paragraphs [0027]-[0076] & WO 2011/102474 A1 & EP 2540877 A1	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C30B23/02(2006.01)i, C23C16/27(2006.01)i, C30B29/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C30B23/02, C23C16/27, C30B29/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2007/092893 A2 (TARGET TECHNOLOGY COMPANY, LLC) 2007.08.16, page 18 line 2 - page 33 line 2 & JP 2009-525944 A & US 2008/0003447	6-8
A	A1 & CN 101379225 A & TW 200806826 A	1-5
X	YUYA MOCHIMARU et al., Fabrication and evaluation of CVD diamond resonators, Proceedings of the 16th International Conference on	6-8
Y	Nanotechnology, IEEE, 2016.08.25, pp. 676-677	6-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.06.2019

国際調査報告の発送日

16.07.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

今井 淳一

4G

9055

電話番号 03-3581-1101 内線 3416

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-168460 A (独立行政法人物質・材料研究機構) 2011.09.01, [0015]～[0041] & US 2013/0043213 A1[0027]-[0076] & WO 2011/102474 A1 & EP 2540877 A1	1-8