(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
2020年6月18日(18.06.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/121796 A1

(51) 国際特許分類:
B81B 3/00 (2006.01) *H01L 41/113* (2006.01)
H01L 41/09 (2006.01) *H01L 41/187* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/046052

(22) 国際出願日： 2019年11月26日(26.11.2019)

(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 2018-231681 2018年12月11日(11.12.2018) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人産業技術総合研究所(**NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY**) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関１丁目３番１号 Tokyo (JP).

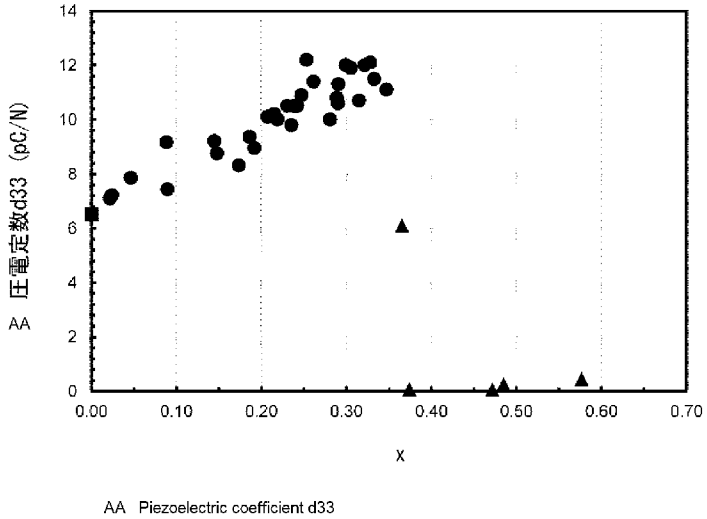
(72) 発明者: 上原 雅人 (**UEHARA Masato**); 〒8410052 佐賀県鳥栖市宿町８０７－１ 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Saga (JP). 山田 浩志(**YAMADA Hiroshi**); 〒8410052 佐賀県鳥栖市宿町８０７－１ 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Saga (JP). 秋山 守人 (**AKIYAMA Morito**); 〒8410052 佐賀県鳥栖市宿町８０７－１ 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Saga (JP). アンガライニ スリ アユ (**Anggraini Sri Ayu**); 〒8410052 佐賀県鳥栖市宿町８０７－１ 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Saga (JP). 平田 研二(**HIRATA Kenji**); 〒8410052 佐賀県鳥栖市宿町８０７－１ 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Saga (JP).

(74) 代理人: 高松 孝行, 外(**TAKAMATSU Takayuki et al.**); 〒1690075 東京都新宿区高田馬場１丁目２８番１８号 和光ビル４０５ 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,

(54) **Title:** PIEZOELECTRIC BODY AND MEMS DEVICE USING SAME

(54) 発明の名称： 圧電体およびそれを用いたＭＥＭＳデバイス



AA Piezoelectric coefficient d33

(57) **Abstract:** [Problem] To provide: a piezoelectric body of aluminum nitride to which ytterbium has been added, the piezoelectric body having a higher piezoelectric coefficient d_{33} or g_{33} than piezoelectric bodies of aluminum nitride to which ytterbium is not added; and a MEMS device using the piezoelectric body. [Solution] This piezoelectric body is represented by chemical formula $Al_{1-x}Yb_xN$ where x is more than 0 and less than 0.37, and has a lattice constant ratio c/a of 1.53 or more and less than 1.6. Such a piezoelectric body has a higher piezoelectric coefficient d_{33} or g_{33} than piezoelectric bodies of aluminum nitride to which ytterbium is not added.

WO 2020/121796 A1

［続葉有］

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.

(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))

(57) 要約:【課題】イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}をするイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体と、その圧電体を用いたＭＥＭＳデバイスを提供する。【解決手段】化学式$Al_{1-x}Yb_xN$で表され、xの値が０より大きく０．３７より小さく、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．６より小さい範囲にある。このような圧電体は、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する。

明　細　書

発明の名称 ： 圧電体およびそれを用いたＭＥＭＳデバイス

技術分野

[0001] 本発明は、イッテルビウムを添加した窒化アルミニウムの圧電体およびそれを用いたＭＥＭＳデバイスに関するものである。

背景技術

[0002] 圧電現象を利用するデバイスは、幅広い分野において用いられており、小型化および省電力化が強く求められている携帯電話機などの携帯用機器において、その使用が拡大している。その一例として、薄膜バルク音響波共振子（Ｆｉｌｍ　Ｂｕｌｋ　Ａｃｏｕｓｔｉｃ　Ｒｅｓｏｎａｔｏｒ；ＦＢＡＲ）を用いたＦＢＡＲフィルタがある。

[0003] ＦＢＡＲフィルタは、圧電応答性を示す薄膜の厚み縦振動モードを用いた共振子によるフィルタであり、ギガヘルツ帯域における共振が可能であるという特性を有する。このような特性を有するＦＢＡＲフィルタは、低損失であり、かつ広帯域で動作可能であることから、携帯用機器のさらなる高周波対応化、小型化および省電力化に寄与することが期待されている。

[0004] このようなＦＢＡＲに用いられる圧電体薄膜の圧電体材料としては、例えばスカンジウムを添加した窒化アルミニウム（特許文献１参照）やイッテルビウムを添加した窒化アルミニウム（特許文献２および３参照）等が挙げられる。特にスカンジウムを添加した窒化アルミニウムは、高い圧電定数を有し、次世代の高周波フィルタへの利用に期待されている。また、圧力センサ、加速度センサ、ジャイロセンサなどの物理センサ、アクチュエータ、マイクロフォン、指紋認証センサ、振動発電機等の様々なＭＥＭＳ（ｍｉｃｒｏ　ｅｌｅｃｔｒｏ　ｍｅｃｈａｎｉｃａｌ　ｓｙｓｔｅｍ）デバイスへの利用に期待されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２００９－１０９２６号公報

特許文献2：特開２０１７－２０１０５０号公報

特許文献3：米国特許出願公開第２０１７／０２６３８４７号明細書

非特許文献1：田中秀治著、「次世代センサに関連して振動アクチュエータの基礎を復習する」、次世代センサ、一般社団法人次世代センサ協議会、２０１２年、２２巻、２号、ｐｐ．１４－１７

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、スカンジウム（Ｓｃ）は高価な希土類元素であり、スカンジウムを添加した窒化アルミニウム（ＡｌＮ）で構成された圧電体は他の物質で構成された圧電体と比較して、製造コストが高額になってしまうという問題点があった。

[0007] 一方、スカンジウムに代えて、イッテルビウム（Ｙｂ）が添加された窒化アルミニウム（$Al_{1-x}Yb_xN$；０＜ｘ＜１）は、スカンジウムが添加された窒化アルミニウムよりも、一般的に製造コストが低額となる。しかし、特許文献２には、濃度の値（ｘ）が０．１未満になると、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムとイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムとの間で電気機械結合係数の値に有意な差がみられないと記載されている。したがって、濃度の値（ｘ）が０．１未満のイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムでは、十分な圧電効果を有する圧電体を作製することができないという問題点があった。

[0008] また、濃度の値（ｘ）が０．２７を超えると、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウム（$Al_{1-x}Yb_xN$）を作製することができないと記載されており、イッテルビウムの濃度の値（ｘ）が０．２７より高い圧電体を作製することができないという問題点があった。

[0009] 加えて、特許文献２では、電気機械結合係数（k^2）のみを用いて、圧電体薄膜の性能を評価している。しかし、非特許文献１に記載されているように、ＭＥＭＳデバイスの目的に応じた性能指数で評価しなければならない。例え

ば圧電体薄膜をアクチュエータやセンサとして利用する際には、電圧を印加した時に生ずる歪の大きさを示すｄ定数や圧力を加えた時に生ずる電圧を示すｇ定数等の圧電定数を評価する必要がある。したがって、特許文献２に開示されている圧電体薄膜がセンサとして実際に利用できるか不明であるという問題点があった。

[0010] さらに、特許文献２では、アルミニウムからなる板状のターゲット上に、イッテルビウムから成る粒状のターゲットを載置したものを用いて、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウム薄膜を形成している。ここで、成膜に用いられる前のイッテルビウムから成る粒状のターゲットは、その表面が酸化されている。この場合、成膜を行う前に、その粒状のターゲットの表面に形成された酸化膜を剥離させようとしても、ターゲットの形状が板状ではないことから、その酸化膜を完全除去することはできず、少なくとも一部の酸化膜が残った状態で成膜に用いられる。その酸化膜が、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウム薄膜の結晶構造（格子定数比ｃ／ａ等）に影響を及ぼすことになる。もし、酸化膜の除去が行われていなければ、その影響はより大きくなる。

[0011] 詳細は後述するが、本発明の発明者は、イッテルビウムの濃度の値（ｘ）が０．２７を超える圧電体を実際に形成し、その圧電体が高い圧電定数を有することを明らかにしている。このことから、特許文献２で開示されているイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムと、本発明に係るイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムとは結晶構造が異なることは明らかである。

[0012] また、特許文献３には、密度汎関数理論（ＤＦＴ）を用いたシミュレーションを行い、イッテルビウムの濃度範囲が１０～６０％のとき、イッテルビウムを添加した窒化アルミニウム（$Al_{1-x}Yb_xN$）に引張応力（２００ＭＰａ～１．５ＧＰａ）がかかることによって圧電定数を増加させることが開示されている。ただし、イッテルビウムを添加した窒化アルミニウム（$Al_{1-x}Yb_xN$）のうち、濃度ｘが０．５のものしか圧電定数d_{33}は開示されていな

い。しかも、その圧電定数d_{33}は、シミュレーション結果を用いて算出されたものである。したがって、上述した特許文献２に開示されているように、窒化アルミニウムに添加されるイッテルビウムの最大濃度ｘが０．２７とされていることを考慮すると、イッテルビウムがこの濃度（０．５）で添加されている窒化アルミニウム（$Al_{0.5}Yb_{0.5}N$）の圧電体薄膜を実際に作製できるのか、また作製できたとしてもこの圧電定数の値を有するか不明であるという問題点があった。

[0013] 本発明は上述した事情に鑑み、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有するイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体と、その圧電体を用いたＭＥＭＳデバイスを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明の発明者は、上述した問題点に関して鋭意研究を続けた結果、格子定数比ｃ／ａが所定の範囲にあるイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムは、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有することを発見し、以下のような画期的な圧電体を見出した。

[0015] 上記課題を解決するための本発明の第１の態様は、化学式$Al_{1-x}Yb_xN$で表され、xの値が０より大きく０．３７より小さく、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．６より小さい範囲にあることを特徴とする圧電体にある。

[0016] ここで、「圧電体」とは、力学的な力が印加されることにより電位差を生じる性質、また、電位差を与えることで変形する性質、すなわち圧電性（圧電応答性）を有する物質をいう。

[0017] また、「格子定数比ｃ／ａ」とは、ウルツ鉱型などの六方晶系の結晶格子の単位格子の稜の長さ（格子の辺の長さ）ａとｃで、長い辺のｃの長さを短い辺のａの長さで除した際の値（比）をいう。

[0018] かかる第１の態様では、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する、イッテルビウム

が添加された窒化アルミニウムの圧電体を提供することができる。

[0019] なお、ｘが０のときはイッテルビウムが含まれない窒化アルミニウムとなり、ｘが０．３７以上になると、圧電定数d_{33}がイッテルビウムを含んでいない窒化アルミニウムのものよりも低くなる。

[0020] また、格子定数比ｃ／ａが１．６以上の場合にはイッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電定数d_{33}よりも低い圧電定数d_{33}となり、格子定数比ｃ／ａが１．５３よりも小さくなると、イッテルビウムが含まれない窒化アルミニウムの圧電定数d_{33}よりも低い圧電定数d_{33}となる。

[0021] 本発明に係る第２の態様は、xの値が０．２７より大きく０．３７より小さい範囲にあることを特徴とする第１の態様に記載の圧電体にある。

[0022] かかる第２の態様では、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、より高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体を提供することができる。

[0023] 本発明に係る第３の態様は、格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．５５５以下の範囲にあることを特徴とする第２の態様に記載の圧電体にある。

[0024] かかる第３の態様では、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、さらに高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体を提供することができる。

[0025] 本発明に係る第４の態様は、xの値が０より大きく０．１より小さい範囲にあることを特徴とする第１の態様に記載の圧電体にある。

[0026] かかる第４の態様では、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体を提供することができる。

[0027] 本発明に係る第５の態様は、格子定数比ｃ／ａが１．５７以上で１．６より小さい範囲にあることを特徴とする第４の態様に記載の圧電体にある。

[0028] かかる第５の態様では、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体を提供することができる。

[0029] 本発明に係る第６の態様は、第１～第５の態様の何れか１つに記載の圧電体が基板上に設けられており、圧電体と基板との間に少なくとも１層の中間層が設けられていることを特徴とする圧電体にある。

[0030] かかる第６の態様では、圧電体の結晶性（結晶化度）が向上するので、イッテルビウムを添加していない窒化アルミニウムの圧電体よりも、さらに高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する、イッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体を提供することができる。

[0031] 本発明の第７の態様は、中間層は、窒化アルミニウム、窒化ガリウム、窒化インジウム、窒化チタン、窒化スカンジウム、窒化イッテルビウム、モリブデン、タングステン、ハフニウム、チタン、ルテニウム、酸化ルテニウム、クロム、窒化クロム、白金、金、銀、銅、アルミニウム、タンタル、イリジウム、パラジウムおよびニッケルの少なくとも１つを含んでいることを特徴とする第６の態様に記載の圧電体にある。

[0032] かかる第７の態様では、圧電体の結晶性（結晶化度）がより向上するので、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体よりも、より高い圧電定数d_{33}またはg_{33}をする圧電体を提供することができる。

[0033] 本発明の第８の態様は、中間層と圧電体との間に、中間層を構成する物質と圧電体を構成する物質とが含まれる拡散層がさらに設けられていることを特徴とする第６または第７の態様に記載の圧電体にある。

[0034] かかる第８の態様では、第６および第７の態様と同様の効果が得られる。

本発明の第９の態様は、第１～第８の態様の何れか１つに記載の圧電体を用いたＭＥＭＳデバイスにある。

[0035] ここで、「ＭＥＭＳデバイス」とは、微小電子機械システムであれば特に限定されず、例えば、圧力センサ、加速度センサ、ジャイロセンサなどの物理センサやアクチュエータ、マイクロフォン、指紋認証センサ、振動発電機等が挙げられる。

[0036] かかる第９の態様では、高周波対応化、小型化および省電力化されたＭＥＭＳデバイスを提供することができる。特にＭＥＭＳデバイスがセンサの場合

には、従来のセンサと比較して、低損失であり、かつ広帯域で動作可能なものを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0037] [図1]図１は実施形態１に係る圧電体薄膜の概略側面図である。

[図2]図２は各薄膜におけるＹｂの濃度、格子定数比ｃ／ａ、圧電定数d_{33}を示す表である。

[図3]実施形態１の実施例および比較例におけるイッテルビウムの濃度と、圧電定数d_{33}との関係を示すグラフである。

[図4]実施形態１の実施例および比較例における格子定数比ｃ／ａと、圧電定数d_{33}との関係を示すグラフである。

[図5]図５は実施形態２に係る圧電体薄膜の概略側面図である。

発明を実施するための形態

[0038] 以下に添付図面を参照して、本発明に係る圧電体の薄膜に関する実施形態を説明する。なお、本発明は、以下の実施形態に限定されるものではなく、薄膜状でなくてもよいのは言うまでもない。

（実施形態１）

[0039] 図１は本実施形態に係る圧電体薄膜の概略側面図である。この図に示すように、圧電体薄膜１は、基板１０上に形成されている。圧電体薄膜の厚さは特に限定されないが、０．１～３０μｍの範囲が好ましく、０．１～２μｍの範囲が密着性に優れて特に好ましい。

[0040] なお、基板１０は、その表面上に圧電体薄膜１を形成できるものであれば、厚さや材質等は特に限定されない。基板１０としては、例えば、シリコンおよびインコネル等の耐熱合金、ポリイミド等の樹脂フィルム等が挙げられる。

[0041] 圧電体薄膜１は、化学式$Al_{1-x}Yb_xN$で表され、xの値が０より大きく０．３７より小さく、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．６より小さい範囲にあるイッテルビウム（Ｙｂ）が添加された窒化アルミニウムで構成されている。このような構成の圧電体薄膜は、イッテルビウムが添加されてい

ない窒化アルミニウムの圧電体薄膜よりも、高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する。

[0042] また、上述した化学式において、xの値が０．２７より大きく０．３７より小さい範囲にあるものが好ましい。このような構成の圧電体薄膜１は、より高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する。

[0043] さらに、上述した化学式において、xの値が０．２７より大きく０．３７より小さい範囲にあり、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．５５５以下の範囲にあるものが特に好ましい。このような構成の圧電体薄膜１は、特に高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する。

[0044] 一方、上述した化学式において、xの値が０より大きく０．１より小さい範囲にあるものが好ましい。このような構成の圧電体薄膜１は、添加するイッテルビウムの量が少なくても、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムと比較して高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する。

[0045] さらに、上述した化学式において、xの値が０より大きく０．１より小さい範囲にあり、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５７以上で１．６より小さい範囲にあるものが特に好ましい。このような構成の圧電体薄膜１は、添加するイッテルビウムの量が少なくても、十分に高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有する。

[0046] そして、これらの圧電体膜１を用いたセンサは、低損失であり、かつ広帯域で動作することができる。その結果、携帯用機器をより高周波対応、小型化および省電力化することができる。なお、センサの構成は特に限定されず、公知の構成で製造することができる。

[0047] 次に、本実施形態に係る圧電体薄膜の製造方法について説明する。圧電体薄膜１は、一般的な圧電体薄膜と同様に、スパッタ法や蒸着法等の製造方法を用いて製造することができる。具体的には、例えば、窒素ガス（N_2）雰囲気下、または窒素ガス（N_2）およびアルゴンガス（Ａｒ）混合雰囲気下（気体圧力１Ｐａ以下）において、基板１０（例えばシリコン（Ｓｉ）基板）にイッテルビウムで構成されたターゲットおよびアルミニウムで構成されたター

ゲットを同時にスパッタ処理することにより製造することができる。なお、イッテルビウムとアルミニウムが所定の比率で含まれる合金からなるターゲットを用いてもよい。

（実施例および比較例）

[0048] 次の装置およびスパッタリングターゲット等を用いて、比抵抗が０．０２Ωｃｍのｎ型シリコン基板上に厚さ０．４～１．５μｍのイッテルビウムが添加された窒化アルミニウムの圧電体薄膜を複数作製した。

スパッタ装置：ＢＣ３２６３（アルバック社製）

イッテルビウムのスパッタリングターゲット材（濃度：９９．９９９％）

アルミニウムのスパッタリングターゲット材（濃度：９９．９９９％）

ガス：窒素（純度：９９．９９９９５％以上）とアルゴンガス（純度：９９．９９９９％以上）の混合ガス（混合比　４０：６０）

基板加熱温度：３００～６００℃

[0049] 成膜実験は、スパッタチャンバー内の気圧を10^{-6}以下の高真空になるように真空ポンプで下げた後に行った。また、酸素等の不純物の混入をさけるため、ターゲット装着直後や各成膜実験の直前にターゲット表面の清浄処理を行った。

[0050] そして、得られた各圧電体薄膜について、イッテルビウム（Ｙｂ）の濃度、格子定数比（ｃ／ａ）、d_{33}、比誘電率ε_rおよびg_{33}を図２に示す。ここで、Ｘ線回折装置（ＳｍａｒｔＬａｂ、リガク社製）を用いて格子定数比ｃ／ａを算出し、ピエゾメーター（ＰＭ３００、Ｐｉｅｚｏｔｅｓｔ社製）を用いて圧電定数d_{33}およびキャパシタンスを測定した。これらの値から比誘電率ε_rやg_{33}を算出した。なお、Ｙｂ濃度（ｘ）は、走査型電子顕微鏡（日立ハイテク製Ｓ－４３００）内でＥＤＸ装置（エネルギー分散型Ｘ線分光装置、堀場製作所製ＥＸ－４２０）を用いて、各試料の５か所以上で測定し、その平均値を採用した。このとき、ｘの誤差は±０．００３程度であった。

[0051] また、イッテルビウムの濃度ｘと圧電定数d_{33}の関係を示すグラフを図３に示し、格子定数比（ｃ／ａ）と圧電定数d_{33}の関係を示すグラフを図４に示

す。

[0052] ここで、四角形のマークは、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムを示し、丸形のマークは実施例を示し、三角形のマークは比較例であることを示す。

[0053] これらのグラフから分かるように、上述した化学式中のxの値が、０より大きく０．３７より小さく、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．６より小さい範囲にある圧電体薄膜の圧電定数d_{33}は、イッテルビウムが添加されていない窒化アルミニウムの圧電体薄膜のものよりも高いことが分かった。

[0054] また、上述した化学式中のxの値が、０．２７より大きく０．３７より小さい範囲にあり、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．５５５以下の範囲にある圧電体薄膜の圧電定数d_{33}は、特に高い圧電定数d_{33}を示すことが分かった。

[0055] さらに、xの値が０より大きく０．１より小さい範囲にあり、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５７以上で１．６より小さい範囲にある圧電体薄膜の圧電定数d_{33}は、添加するイッテルビウムの量が少なくても、十分に高い圧電定数d_{33}を示すことが分かった。

（実施形態２）

[0056] 上述した実施形態１では、基板上に直接圧電体薄膜を作製するようにしたが、本発明はこれに限定されない。例えば、図５に示すように、基板１０と、圧電体薄膜１Ａとの間に中間層２０を設けてもよい。

[0057] ここで、中間層２０としては、中間層２０上に圧電体薄膜１Ａを形成することができるものであればその材料や厚さ等は特に限定されない。中間層としては、例えば、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）、窒化ガリウム（ＧａＮ）、窒化インジウム（ＩｎＮ）、窒化チタン（ＴｉＮ）、窒化スカンジウム（ＳｃＮ）、窒化イッテルビウム（ＹｂＮ）、モリブデン（Ｍｏ）、タングステン（Ｗ）、ハフニウム（Ｈｆ）、チタン（Ｔｉ）、ルテニウム（Ｒｕ）、酸化ルテニウム（RuO_2）、クロム（Ｃｒ）、窒化クロム、白金（Ｐｔ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、銅（Ｃｕ）、アルミニウム（Ａｌ）、タンタル（Ｔａ

）、イリジウム（Ｉｒ）、パラジウム（Ｐｄ）およびニッケル（Ｎｉ）等で構成された厚さ５０～２００ｎｍのものが挙げられる。

[0058] 基板１０上に、このような中間層２０を設けることにより、圧電体薄膜の結晶性（結晶化度）が向上するので、イッテルビウムを添加していない窒化アルミニウムの圧電体薄膜よりも、さらに高い圧電定数d_{33}またはg_{33}を有するイッテルビウムを添加した窒化アルミニウムの圧電体薄膜を形成することができる。

（実施形態３）

[0059] 上述した実施形態２では、中間層上に直接圧電体薄膜が形成されるようにしたが、本発明はこれに限定されない。例えば、中間層と圧電体薄膜との間に、中間層を構成する物質と圧電体薄膜を構成する物質とが含まれる拡散層をさらに設けてもよい。なお、拡散層は、例えば、中間層上に圧電体薄膜を形成した後、それに熱を加えることによって形成することができる。このように拡散層を設けても、実施形態２と同様の効果が得られる。

符号の説明

[0060] １、１Ａ　圧電体薄膜

１０　基板

２０　拡散層

請求の範囲

[請求項1] 化学式$Al_{1-x}Yb_xN$で表され、xの値が０より大きく０．３７より小さく、かつ格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．６より小さい範囲にあることを特徴とする圧電体。

[請求項2] xの値が０．２７より大きく０．３７より小さい範囲にあることを特徴とする請求項１に記載の圧電体。

[請求項3] 格子定数比ｃ／ａが１．５３以上で１．５５５以下の範囲にあることを特徴とする請求項２に記載の圧電体。

[請求項4] xの値が０より大きく０．１より小さい範囲にあることを特徴とする請求項１に記載の圧電体。

[請求項5] 格子定数比ｃ／ａが１．５７以上で１．６より小さい範囲にあることを特徴とする請求項４に記載の圧電体。

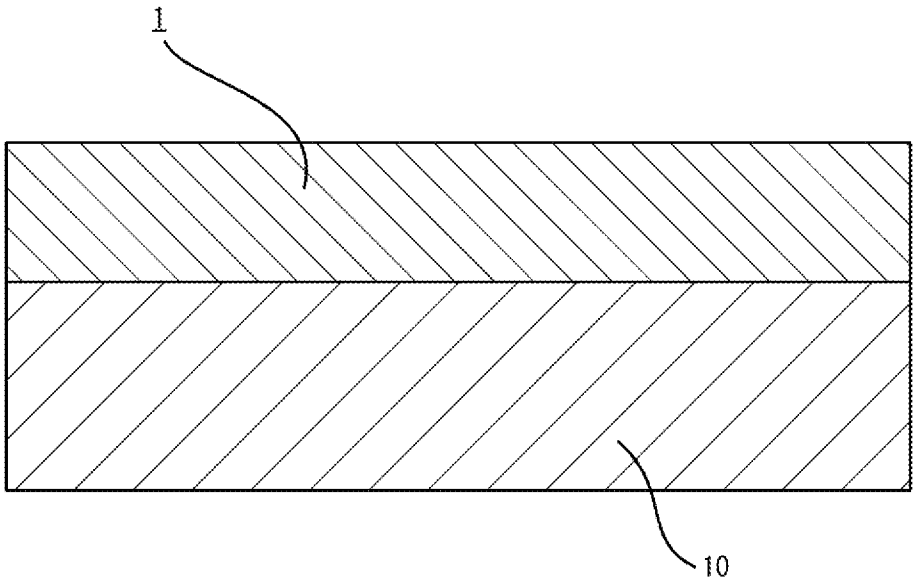
[請求項6] 請求項１～５の何れか１項に記載の圧電体が基板上に設けられており、前記圧電体と前記基板との間に、少なくとも１層の中間層が設けられていることを特徴とする圧電体。

[請求項7] 前記中間層は、窒化アルミニウム、窒化ガリウム、窒化インジウム、窒化チタン、窒化スカンジウム、窒化イッテルビウム、モリブデン、タングステン、ハフニウム、チタン、ルテニウム、酸化ルテニウム、クロム、窒化クロム、白金、金、銀、銅、アルミニウム、タンタル、イリジウム、パラジウムおよびニッケルの少なくとも１つを含んでいることを特徴とする請求項６に記載の圧電体。

[請求項8] 前記中間層と前記圧電体との間に、前記中間層を構成する物質と前記圧電体を構成する物質とが含まれる拡散層がさらに設けられていることを特徴とする請求項６または７に記載の圧電体。

[請求項9] 請求項１～８の何れか１項に記載の圧電体を用いたＭＥＭＳデバイス。

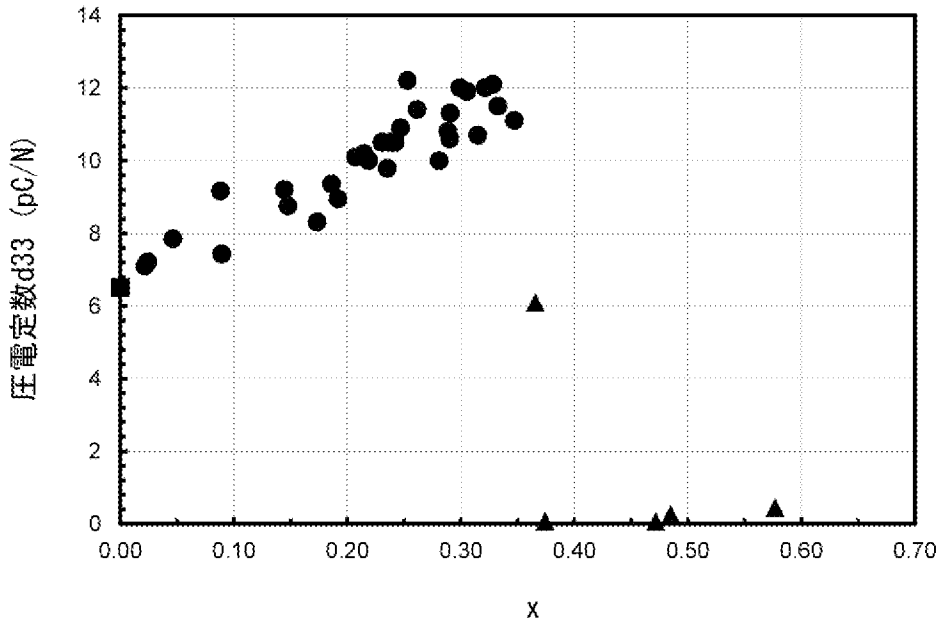
[図1]



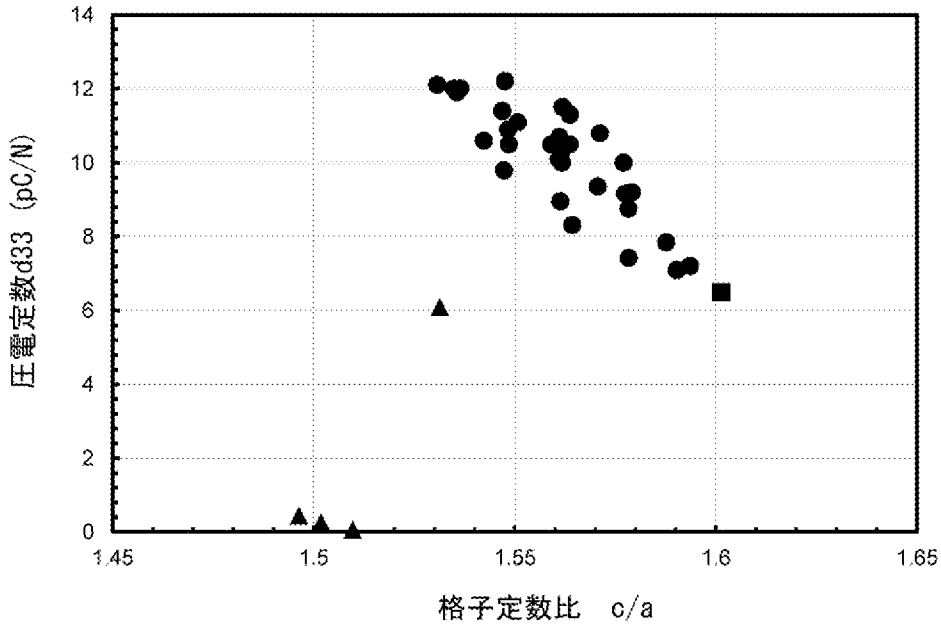
[図2]

	x (Yb濃度)	c/a	d33 (pC/N)	εr	g33 (10^{-3}V・m/N)
比較例１	0.48	1.502	0.3	22.3	1.3
比較例２	0.58	1.496	0.5	39.6	1.3
比較例３	0.47	1.510	0.1	24.6	0.3
実施例１	0.14	1.579	9.2	14.2	73.1
実施例２	0.19	1.561	9.0	14.3	70.8
実施例３	0.02	1.594	7.2	9.6	85.3
実施例４	0.26	1.547	11.4	18.7	68.9
実施例５	0.31	1.536	11.9	18.9	71.0
実施例６	0.29	1.542	10.6	20.0	60.0
実施例７	0.22	1.562	10.0	14.7	76.8
実施例８	0.19	1.571	9.4	15.1	70.2
実施例９	0.24	1.547	9.8	16.0	69.1
実施例１０	0.24	1.559	10.5	15.5	76.6
実施例１１	0.21	1.561	10.2	15.4	75.0
実施例１２	0.15	1.578	8.8	11.8	83.6
実施例１３	0.21	1.561	10.1	15.7	72.5
実施例１４	0.25	1.548	12.2	13.9	99.2
実施例１５	0.09	1.577	9.2	10.1	102.4
実施例１６	0.05	1.588	7.9	10.4	85.5
実施例１７	0.32	1.535	12.0	19.3	70.3
比較例４	0.37	-----	0.1	18.4	0.4
実施例１８	0.24	1.549	10.5	17.4	68.3
実施例１９	0.30	1.536	12.0	19.2	70.6
実施例２０	0.33	1.531	12.1	20.9	65.3
実施例２１	0.09	1.578	7.4	10.6	79.1
実施例２２	0.17	1.564	8.3	12.4	75.8
比較例５	0.37	1.531	6.1	23.3	29.5
実施例２３	0.02	1.590	7.1	8.1	98.7
実施例２４	0.25	1.548	10.9	16.6	74.1
実施例２５	0.29	1.564	11.3	21.2	60.1
実施例２６	0.23	1.564	10.5	18.8	63.0
実施例２７	0.33	1.562	11.5	28.4	45.7
実施例２８	0.35	1.551	11.1	30.2	41.6
実施例２９	0.29	1.571	10.8	24.2	50.4
実施例３０	0.31	1.561	10.7	27.3	44.2
実施例３１	0.28	1.577	10.0	22.3	50.7
比較例６	0.00	1.601	6.5	10.0	65.0

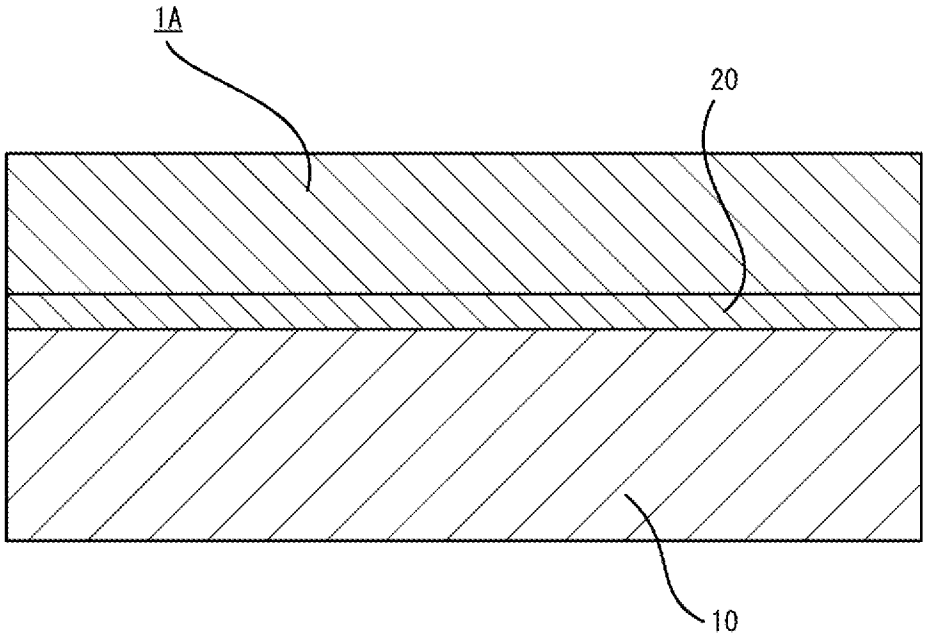
[図3]


圧電定数d33 (pC/N)
14
12
10
8
6
4
2
0
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
x

[図4]


圧電定数d33 (pC/N)
14
12
10
8
6
4
2
0
1.45
1.5
1.55
1.6
1.65
格子定数比 c/a

[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/046052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. B81B3/00(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/113(2006.01)i, H01L41/187(2006.01)i
FI: H01L41/187, H01L41/113, H01L41/09, B81B3/00
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. B81B3/00, H01L41/09, H01L41/113, H01L41/187

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-201050 A (WASEDA UNIVERSITY) 09.11.2017 (2017-11-09), paragraphs [0010]-[0015], fig. 1-9	1-9
A	JP 2002-344279 A (UBE ELECTRONICS LTD.) 29.11.2002 (2002-11-29), paragraphs [0022]-[0024], fig. 1-4	1-9
A	US 2017/0263847 A1 (TELEDYNE DALSA SEMICONDUCTOR, INC.) 14.09.2017 (2017-09-14), paragraphs [0008], [0036], fig. 1-6	1-9
A	JP 2005-244184 A (TOSHIBA CORPORATION) 08.09.2005 (2005-09-08), paragraphs [0002], [0018], [0026], fig. 1-54	1-9

☐ 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	Date of mailing of the international search report
06.02.2020	18.02.2020

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2019/046052

JP 2017-201050 A	09.11.2017	US 2019/0089325 A1 paragraphs [0027]-[0031], fig. 1-9 WO 2017/191499 A1
JP 2002-344279 A	29.11.2002	US 2004/0135144 A1 paragraphs [0079]-[0081], fig. 1-10 WO 2002/093740 A1
US 2017/0263847 A1	14.09.2017	EP 3216894 A1 paragraphs [0009], [0031], fig. 1-6
JP 2005-244184 A	08.09.2005	US 2005/0184627 A1 paragraphs [0005], [0049], [0057], fig. 1-67

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2019/046052

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B81B 3/00(2006.01)i; H01L 41/09(2006.01)i; H01L 41/113(2006.01)i; H01L 41/187(2006.01)i
FI: H01L41/187; H01L41/113; H01L41/09; B81B3/00

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））

B81B3/00; H01L41/09; H01L41/113; H01L41/187

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	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０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）

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
A	JP 2017-201050 A (学校法人早稲田大学) 09.11.2017 (2017-11-09) 段落0010-0015,図1-9	1-9
A	JP 2002-344279 A (宇部エレクトロニクス株式会社) 29.11.2002 (2002-11-29) 段落0022-0024,図1-4	1-9
A	US 2017/0263847 A1 (TELEDYNE DALSA SEMICONDUCTOR, INC.) 14.09.2017 (2017-09-14) 段落0008,0036,図1-6	1-9
A	JP 2005-244184 A (株式会社東芝) 08.09.2005 (2005-09-08) 段落0002,0018,0026,図1-54	1-9

☐ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
06.02.2020	18.02.2020

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
小山　満　5F 9458
電話番号 03-3581-1101 内線 3516

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2019/046052

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2017-201050 A	09.11.2017	US 2019/0089325 A1 段落0027-0031,図1-9 WO 2017/191499 A1	
JP 2002-344279 A	29.11.2002	US 2004/0135144 A1 段落0079-0081,図1-10 WO 2002/093740 A1	
US 2017/0263847 A1	14.09.2017	EP 3216894 A1 段落0009,0031,図1-6	
JP 2005-244184 A	08.09.2005	US 2005/0184627 A1 段落0005,0049,0057,図1-67	