(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
2023年6月15日(15.06.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/105565 A1

(51) 国際特許分類:
F04B 43/04 (2006.01)　*F04B 45/04* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2021/044691

(22) 国際出願日：　2021年12月6日(06.12.2021)

(25) 国際出願の言語：　日本語

(26) 国際公開の言語：　日本語

(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).

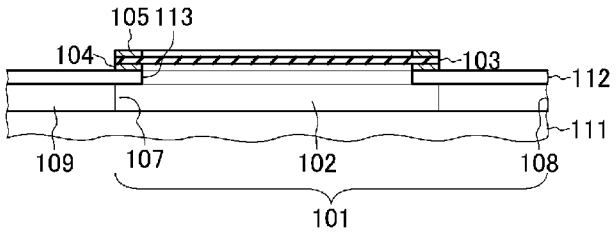
(72) 発明者：田中　優理奈 **(TANAKA, Yurina)**；〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 坂本 尊 **(SAKAMOTO, Takashi)**；〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 上野 雅浩 **(UENO, Masahiro)**；〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 川村 宗範 **(KAWAMURA, Sohan)**；〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 赤毛 勇一 **(AKAGE, Yuichi)**；〒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). 津田 昌幸 **(TSUDA, Masayuki)**；〒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, IT, JO, JP, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) **Title:** MICRO DIAPHRAGM PUMP

(54) 発明の名称：マイクロダイアフラムポンプ



(57) **Abstract:** A micro diaphragm pump comprises a body (101), a pump chamber (102), a diaphragm (103), a first electrode (104), and a second electrode (105). The diaphragm (103) is formed of a crystalline material having an electrostrictive effect. The diaphragm (103) can be constituted of a transparent crystalline material having an electrostrictive effect. The diaphragm (103) can be constituted of either cubic KTN [$KTa_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$ ($0<\alpha<1$)] crystals or lithium-doped cubic KLTN [$K_{1-\beta}Li_{\beta}Ta_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$ ($0<\alpha<1,0<\beta<1$)] crystals.

(57) 要約：マイクロダイアフラムポンプは、本体（１０１）と、ポンプ室（１０２）と、ダイアフラム（１０３）と、第１電極（１０４）および第２電極（１０５）とを備える。ダイアフラム（１０３）は、電歪効果を有する結晶材料から構成されている。ダイアフラム（１０３）は、電歪効果を有する透明な結晶材料から構成することができる。ダイアフラム（１０３）は、立方晶のＫＴＮ［$KTa_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$（０＜α＜１）］結晶、またはリチウムを添加した立方晶のＫＬＴＮ［$K_{1-\beta}Li_{\beta}Ta_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$（０＜α＜１，０＜β＜１）］結晶のいずれかから構成することができる。

WO 2023/105565 A1

［続葉有］

(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 ： マイクロダイアフラムポンプ

技術分野

[0001] 本発明は、マイクロダイアフラムポンプに関する。

背景技術

[0002] バイオ、医療の分野では、僅かなサンプルの分析を可能にすること、サンプル量や試薬量等の緻密な制御を可能にすることを目指し、微小ポンプの開発が盛んに進められている。チップ内で混合、反応、分離、分析などを行うマイクロＴＡＳ（Micro Total Analysis Systems：μ-TAS）といわれる化学分析デバイスの開発においても、微小ポンプの高性能化に寄せられる期待が高まっている。様々な部品の小型化によりデバイスの集積化技術も進展し、ヘルスケア端末やベッドサイド臨床検査装置の開発においても微小ポンプの高性能化が重要となっている。

[0003] ここで、一般的なダイアフラムポンプの動作原理について説明する（図６Ａ，図６Ｂ，図６Ｃ参照）。構成を最も簡略化すると、ダイアフラムポンプは、吸入口３０１、ポンプ本体３０２、排出口３０３から構成される。ポンプ本体３０２は、ダイアフラム３０４を備える。ダイアフラム３０４の変形によるポンプ本体３０２の体積変化によって、吸入口３０１からガスや液体を取り込み、体積変化に応じて排出口３０３から取り込んだガスや液体を排出する。

[0004] 体積変化に応じたガスや液体の流れを制御しやすいように、吸入口３０１、排出口３０３に吸入弁３０５や排出弁３０６を設けるケースが一般的である。ダイアフラム（隔壁）３０４を振動させることによるポンプ本体３０２の体積変化を、ガスや液体が吸入口から排出口方向へ流れるように仕向けることでポンプとしての機能を実現している。

[0005] マイクロダイアフラムポンプでは、それぞれのパーツを文字通り小さく構成するために様々な工夫がされている。既に市販されているマイクロダイア

フラムポンプでは、ダイアフラムに相当する部品をピエゾ圧電材料やＭＥＭＳ（Micro Electro Mechanical Systems）を利用して小型化し、応答速度が追随しにくい吸入・排出弁のない構造でも、ポンプ内のガスや液体の流れる方向を制御できるバルブレス設計が採用されている（非特許文献１）。

[0006] このように微小ポンプでは、ピエゾ圧電材料やＭＥＭＳの採用や弁のない構造の採用によるメカレス化が検討されている。一方で、次に示す課題が明らかになっている。まず、ピエゾ圧電材料を利用したポンプは、応答速度が遅く脈動（＝ポンプ駆動の損失）が生じやすい。また、ＭＥＭＳを利用したポンプは、寿命が短い。

[0007] ここで、脈動について説明する。一般的なダイアフラムを使ったポンプでは、ダイアフラムの収縮（歪曲）に応じて吸入口からポンプ本体にガスや液体が引き込まれ、それらが排出口から排出される。ダイアフラムの収縮が高速になってくると、弁が応答できなかったり、吸入圧や排出圧に損失が出たりして、排出流量が一定しないという事象が、図７Ａに示すような脈動として現れる。この脈動は、吸入口や排出口などとの接触抵抗が低いガスで損失が生じやすいことが知られている。なお、脈動のない状態を図７Ｂに示す。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1：生駒　竜太　他、「ポリミィド薄膜を用いたバルブレスマイクロダイアフラムポンプの製作」、平成22 年度　日本大学理工学部　学術講演会論文集、５４巻、K6-11、７５９－７６０頁、２０１０年。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 脈動を抑制するには、吸入口と排出口の差圧を十分確保できる設計とすることや、さらに高速にポンプを動作させるなどの対策が一般に用いられ、圧電材料の応答速度向上が課題となっている。

[0010] ＭＥＭＳを利用したマイクロダイアフラムポンプでは、ＭＥＭＳ材料であ

る半導体デバイスの繰り返し収縮による部分的な摩耗や、ガスや液体を流すことによってＭＥＭＳ自体に加わる圧力負荷によって摩耗故障が問題となっている。ＭＥＭＳを利用したマイクロダイアフラムポンプの寿命改善には、収縮する部分のサイズを大きく太くすることで、機械的な強度を増すことや利用材料の見直しが必要となる。しかしながら、このような対策は、他の特性とのトレードオフがあり、難しい課題となっている。このように、従来、微小なマイクロダイアフラムポンプの高性能化が、容易ではないという問題があった。

[0011] 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、微小なマイクロダイアフラムポンプの高性能化を目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明に係るマイクロダイアフラムポンプは、凹部が形成された本体と、凹部の開口覆って本体とともにポンプ室を画定する、電歪効果を有する結晶材料から構成されたダイアフラムと、ダイアフラムの一方の面にオーミック接続した第１電極と、ダイアフラムの他方の面にオーミック接続した第２電極とを備える。

発明の効果

[0013] 以上説明したように、本発明によれば、電歪効果を有する結晶材料からダイアフラムを構成し、ダイアフラムの一方の面に第１電極をオーミック接続し、他方の面に第２電極をオーミック接続するので、微小なマイクロダイアフラムポンプの高性能化が実現できる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1A]図１Ａは、本発明の実施の形態に係るマイクロダイアフラムポンプの構成を示す断面図である。

[図1B]図１Ｂは、本発明の実施の形態に係るマイクロダイアフラムポンプの一部構成を示す平面図である。

[図2A]図２Ａは、ＫＴＮ結晶の電極面と垂直な方向の位置と、内部電荷による電界との関係を示す特性図である。

[図2B]図２Ｂは、内部電荷による電界に外部電圧による電界を加算した場合の、ＫＴＮ結晶の電極面と垂直な方向の位置との関係を示す特性図である。

[図3]図３は、外部電圧による電界に内部電荷による電界を加算したＫＴＮ結晶におけるｘ方向、ｙ方向の結晶の縮む量と位置ｚとの関係を説明するための説明図である。

[図4]図４は、電荷注入による反りがある場合とない場合のＫＴＮ結晶の歪曲変化を説明するための説明図である。

[図5]図５は、電荷注入がある場合（ａ）と電荷注入がない場合（ｂ）との、ＫＴＮ結晶の変位の違いを示す特性図である。

[図6A]図６Ａは、ダイアフラムポンプの構成を示す斜視図である。

[図6B]図６Ｂは、ダイアフラムポンプの構成を示す断面図である。

[図6C]図６Ｃは、ダイアフラムポンプの構成を示す断面図である。

[図7A]図７Ａは、ダイアフラムポンプの排出流量が一定しない脈動の状態を示す特性図である。

[図7B]図７Ｂは、ダイアフラムポンプの排出流量に脈動がない状態を示す特性図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施の形態に係るマイクロダイアフラムポンプについて図１Ａ、図１Ｂを参照して説明する。このマイクロダイアフラムポンプは、凹部が形成された本体１０１と、凹部の開口覆って本体１０１とともにポンプ室１０２を画定するダイアフラム１０３と、第１電極１０４および第２電極１０５とを備える。例えば、第１電極１０４をアノード電極とし、第２電極１０５をカソード電極とすることができる。

[0016] ダイアフラム１０３は、電歪効果を有する結晶材料から構成されている。ダイアフラム１０３は、電歪効果を有する透明な結晶材料から構成することができる。ダイアフラム１０３は、立方晶のＫＴＮ［$KTa_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$（$0<\alpha<1$）］結晶、またはリチウムを添加した立方晶のＫＬＴＮ［$K_{1-\beta}Li_{\beta}Ta_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$（$0<\alpha<1$，$0<\beta<1$）］結晶のいずれかから構成する

ことができる。

[0017] 第１電極１０４は、ダイアフラム１０３の一方の面にオーミック接続し、第２電極１０５は、ダイアフラム１０３の他方の面にオーミック接続している。例えば、第１電極１０４、第２電極１０５は、チタンやニッケルなどの金属と白金や金Ａなどの金属との積層構造とすることができる。例えば、チタンやニッケルなどの金属を、蒸着などにより各電極形成箇所に堆積し、次いで、白金や金Ａなどの金属を蒸着などにより各電極形成箇所に堆積することで、第１電極１０４、第２電極１０５とすることができる。このようにして形成した第１電極１０４、第２電極１０５は、ダイアフラム１０３にオーミック接続したものとすることができる。

[0018] また、電極金属材料を、蒸着などにより各電極形成箇所に堆積した後、熱処理（例えば４００℃／ｍｉｎ）を実施することで、堆積した金属材料とダイアフラム１０３との間のオーミック抵抗を調整し、オーミック接続することができる。

[0019] 第１電極１０４および第２電極１０５により、ダイアフラム１０３の板厚方向への電圧印加と、ダイアフラム１０３への電荷注入とをおこなう。第１電極１０４および第２電極１０５は、ダイアフラム１０３の中央部を除くダイアフラム１０３の周囲に形成されたものとすることができる。この構成とし、ダイアフラム１０３を透明な材料から構成することで、ポンプ室１０２を流れる流体を、外部から光学的に観測可能となる。また、各電極を、錫やインジウムなどの材料による多層膜から構成して目的の波長において透明にすることで、ポンプ室１０２の内部を観察可能な構成を実現することができる。

[0020] 例えば、本体１０１は、例えば、単結晶Ｓｉからなる基板１１１と、基板１１１の上に固定される単結晶Ｓｉからなる上板１１２とから構成することができる。上板１１２には、基板１１１のポンプ室１０２とする凹部の位置に開口１１３を備える。上板１１２の開口１１３を塞ぐように、ダイアフラム１０３が形成されている。ポンプ室１０２は、例えば、底面と天井となる

ダイアフラム１０３との間の距離（間隔）を５０μｍ程度とし、また、平面視で幅２００μｍ、流路方向の奥行で３０００μｍとすることができる。

[0021] また、開口１１３の周囲の上板１１２の上面に、第１電極１０４が形成され、上板１１２とダイアフラム１０３の周辺部との間に第１電極１０４が挟まれている。また、ダイアフラム１０３を挟んで、第１電極１０４と向かい合う位置に第２電極１０５が形成されている。ここで、ダイアフラム１０３を、初期状態でポンプ室１０２の側にへこんだ形状としておくことで、ダイアフラム１０３への第２電極１０５の形成が容易となる。

[0022] また、このマイクロダイアフラムポンプは、ポンプ室１０２に形成された、対象となる流体をポンプ室１０２に吸入する吸入口１０７と、ポンプ室１０２に形成された、流体をポンプ室１０２から押し出すための排出口１０８とを備える。ポンプ室１０２は、排出口１０８に近づくほど移送方向に垂直な断面の大きさが小さくされている。例えば、ポンプ室１０２の平面視の幅を２００μｍとし、排出口１０８の開口幅を５０μｍとすることができる。この構成とすることで、排出口１０８における排出圧が、吸入口１０７よりも小さくなできる。

[0023] また、吸入口１０７には流路１０９が接続している。流路１０９は、吸入口１０７に近づくほど移送方向に垂直な断面の大きさが小さくされている。例えば、ポンプ室１０２の平面視の幅を２００μｍとし、吸入口１０７の開口幅を５０μｍとすることができる。この構成とすることで、ポンプ室１０２の側から吸入口１０７の側への逆流が発生しにくくなる。

[0024] 上述した実施の形態では、第１電極１０４および第２電極１０５が、ダイアフラム１０３にオーミック接続しているので、ダイアフラム１０３の板厚方向への電圧印加と、ダイアフラム１０３への電荷注入とが実現できる。

[0025] マイクロダイアフラムポンプの脈動を抑制するために、ＭＨｚオーダの高速応答が期待できるＫＴＮなどの電歪効果を有する結晶材料からダイアフラム１０３を構成した。一般的に圧電効果に比べ電歪効果は小さく、電歪特性を示すＫＴＮなどの結晶材料を、ダイアフラム１０３に用いることは不利と

考えられる。

[0026] しかしながら、第１電極１０４および第２電極１０５をダイアフラム１０３にオーミック接続させることで、より、ダイアフラム１０３に電荷注入を誘起して、ダイアフラム１０３の結晶内に電界の傾斜を作ることにより、電極からの距離に応じた電歪効果を分布させ、この結果　ダイアフラム１０３が反ることを利用して大きな形状変化を発現させることが可能となる。さらに、ＤＣ電圧と交流電圧を重畳した電圧信号をダイアフラム１０３に印加することによって、ダイアフラム１０３が凹凸を繰り返す場合や、ダイアフラム１０３が片側にのみ凸型に変形する場合などを使い分けることが可能となり、精細な流量制御や、ダイアフラム１０３などへの負担の低減が期待できる。

[0027] 例えば、ＫＴＮ結晶は立方晶であり、結晶内部に電界が存在すると電歪効果が生ずる。この電歪効果について、ＫＴＮ結晶を例にして説明する。参考文献１にあるように、ＫＴＮ結晶に電極を形成し、電圧を印加することによって電歪効果が生じ、ＫＴＮ結晶は電界方向に伸び、電界と垂直な方向に縮むように変位する。電歪効果による歪みは、歪みをｅ、電歪係数をＱ、分極をＰとすると、下記の式で表される。

[0028] [数1]

$$[e] = [Q][PP]$$

$$[e] = \begin{bmatrix} e_{xx} \\ e_{yy} \\ e_{zz} \\ e_{yz} \\ e_{zx} \\ e_{xy} \end{bmatrix}, [Q] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{12} & 0 & 0 & 0 \\ Q_{12} & Q_{11} & Q_{12} & 0 & 0 & 0 \\ Q_{12} & Q_{12} & Q_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{44} \end{bmatrix}, [PP] = \begin{bmatrix} P_x P_x \\ P_y P_y \\ P_z P_z \\ P_y P_z \\ P_z P_x \\ P_x P_y \end{bmatrix}$$

[0029] 上記式において、分極Ｐは電界Ｅに比例する。ＫＴＮ結晶の内部電荷が０Ｃ／m^3の状態で、外部電圧による電界Ｅは電圧をＶ（＞０）、電極間距離をｄとすると、Ｅ＝Ｖ／ｄと表される。これより電界は、電極間距離に反比例するため、電極間距離を短くすることは駆動電圧の低下に寄与する。

[0030] この電歪効果は、先にも述べたように、ＫＴＮ結晶が立方晶の場合にのみ生じる現象である。ＫＴＮ結晶の結晶構造は温度に依存しており、ＫＴＮ結晶がキュリー温度以上にある場合に立方晶となる。また、ＫＴＮ結晶の比誘電率ε_rは＞１００００で使用するため、分極Ｐは比誘電率ε_rに比例するとみなせる。この比誘電率ε_rは温度依存性を有するため、電歪効果を安定的に生じさせるためには、温度制御も重要となる。

[0031] さらに、参考文献２にあるように、電極がオーミック接触になっている場合、電極間に高電圧を印加するとＫＴＮ結晶に電子が注入される。電極間の距離をｄ、真空の誘電率をε_0、比誘電率をε_r、電子密度をρとし、電極面と垂直な方向をｚとし、アノードはｚ＝－ｄ／２の位置、カソードはｚ＝ｄ／２の位置にあるとすると、ガウスの法則より内部電荷による電界は下記の式で表される。

[0032] [数2]

$$\mathrm{E_{z(in)}}(z) = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} z$$

[0033] ＫＴＮ結晶の場合、内部電荷として電子が注入されるためρは負の値となる。このため、電極面と垂直な方向の位置ｚと電界$E_{z(in)}$との関係は、傾きが負のｚの１次式となる（図２Ａ）。外部電圧を印加すると、上式に外部電圧による電界も加算されるので、ＫＴＮ結晶に与えられる電界Ｅｚは下記のとおりになる。

[0034] [数3]

$$\mathrm{E_z} = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} z + \frac{V}{d}$$

[0035] よって、図２Ｂからもわかるように、アノード付近（ｚ＝－ｄ／２）の電界の大きさ、カソード付近（ｚ＝ｄ／２）の電界の大きさと比較して大きくなる。

[0036] また、ＫＴＮの比誘電率ε_rは１＜＜ε_rであるため、分極P_zは下記の関係を

満たす。

[0037] [数4]

$$\mathrm{P_z} \sim \varepsilon_0 \varepsilon_r E_z$$

[0038] $E_x = E_y = 0$とすると、$P_x = P_y = 0$となり、e_{xx}，e_{yy}，e_{zz}はそれぞれ下記のように書ける。

[0039] [数5]

$$\mathrm{e_{xx}} = Q_{12} P_z^2 \sim Q_{12} (\varepsilon_0 \varepsilon_r)^2 E_z^2$$
$$\mathrm{e_{yy}} = Q_{12} P_z^2 \sim Q_{12} (\varepsilon_0 \varepsilon_r)^2 E_z^2$$
$$\mathrm{e_{zz}} = Q_{11} P_z^2 \sim Q_{11} (\varepsilon_0 \varepsilon_r)^2 E_z^2$$

[0040] ここで、$Q_{11} > 0$，$Q_{12} < 0$であるため、Ｚ軸方向（板厚方向）には結晶が伸び、Ｘ軸方向，Ｙ軸方向に結晶は縮むことがわかる。さらに、以下の式の関係を満たす場合、e_{zz}はＺ軸方向に単調減少する。つまりカソード側の歪みの大きさが小さく、アノード側の歪みの大きさが大きくなる。

[0041] [数6]

$$\left| \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \frac{d}{2} \right| \leq \frac{V}{d}$$

[0042] 以上のことにより、図３に示すように、ｘ方向、ｙ方向の結晶の縮む量は位置ｚによって異なる。これにより、カソード側が凸となるような反りが結晶に生じる。

[0043] 印加電圧を０Ｖとした状態において、カソード側のＫＴＮ結晶（ダイアフラム１０３）表面の中心位置をｚ＝０とし、電圧を印加した状態のカソード側の結晶表面の重心位置をｚ＝Δｚとする。以後Δｚを変位と呼ぶ。電荷注入による反りがある場合とない場合の結晶について、図４を参照して説明する。

[0044] 電圧印加がない状態のＫＴＮ結晶の下面重心から上面重心までの距離をｄ

１（ａ）、内部電荷がなく、電圧が印加されている状態のＫＴＮ結晶の下面重心から上面重心までの距離をｄ１’（ｂ）、内部電圧があり、電圧が印加されている状態のＫＴＮ結晶の下面重心から上面重心までの距離をｄ２（ｃ）としている。

[0045] これらの距離の関係は、ｄ１＜ｄ１’＜ｄ２となっている。電荷注入によってＫＴＮ結晶が反ること、およびＫＴＮ結晶の変形によって、大きな変位が得られることは実験より確認されている（図５）。図５において、（ａ）は、電荷注入がある場合を示し（ｂ）は電荷注入がない場合を示している。

[0046] 上述した実施の形態に係るマイクロダイアフラムポンプにおいて、例えば、カソード電極（第２電極１０５）をグランドレベルに固定し、アノード電極（第１電極１０４）の電位を０Ｖから１００Ｖの範囲で駆動した場合、０Ｖの状態に比べ１００Ｖでは、ポンプ室１０２の容積が増える。この状態において、ポンプ室１０２からみた吸入口１０７および排出口１０８の差圧によって、吸入口１０７からガスまたは液体がポンプ室１０２内に取り込まれる。

[0047] 次いで、アノード電極の電位を１００Ｖから０Ｖに低下させると、ダイアフラム１０３の歪曲が解消され、ポンプ室１０２の体積が初期状態となり、ポンプ室１０２に引き込まれたガスまたは液体が、ポンプ室１０２外へ排出される。この状態において、吸入口１０７よりも排出抵抗が小さい排出口１０８から多くのガスまたは液体が排出される。このように、ダイアフラム１０３に加える電圧信号を制御して動作させることで、ダイアフラムポンプとして駆動することができる。

[0048] なお、ダイアフラム１０３に印加する電圧制御については、カソード電極／アノード電極のいずれかを必ずしもグランド電位に固定する必要はない。例えば、カソード側およびアノード側のいずれの方向にも変位するように電圧信号を制御してダイアフラム１０３を歪曲させ、ポンプ室１０２の内容積の変位量を大きくすることも可能である。

[0049] ＫＴＮから構成したダイアフラム１０３は、１ＭＨｚ程度の高速な応答が

可能であり、一般的に利用されているピエゾ効果による応答速度（数十ｋＨｚ～１００ｋＨｚ）よりも高速な制御が可能となる。高速なダイアフラム１０３の動作制御により、機械弁のないダイアフラムポンプで問題となる脈動を抑えることや、より精密なガスまたは液体の流量制御が可能となる。例えばガスのような、ポンプ室１０２などの内壁に対して摩擦抵抗が小さい、言い換えると、吸入口１０７の側に流体が戻ることによるポンプ効率の低下が大きく、ポンプ損失の大きいも対象の流量制御において、特に優位になると考えられる。ただし、ＫＴＮから構成したダイアフラム１０３を高速に動作させるためには、ダイアフラム１０３の静電容量を小さくすることが重要である。例えば、ポンプ室１０２を覆う部分にだけ電極を構成し、ダイアフラム１０３の不要な部分の静電容量を抑制するための電極設計が重要となる。

[0050] また、ＫＴＮ結晶は、立方晶となる温度範囲で利用されるが、立方晶のＫＴＮ結晶は無色透明となる（参考文献３）。例えば、ＫＴＮから構成したダイアフラム１０３の電極の一部に光が透過する部分を設けておく、または電極を透明な材料で構成することで、ポンプ室１０２部分に光を当てたり、ポンプ室１０２からの反射光を検出したりすることが可能となる。このような光学的な方法により、ポンプ室１０２を通過するガスや液体の成分分析や、ガスや液体に含まれる異物の監視、また、ガスや液体の密度変化検知などが可能となる。このように、実施の形態によれば、マイクロダイアフラムポンプにより、ポンプ機能を有したμ－ＴＡＳを構成することができるなど、医療生体用デバイスとしての応用が可能である。

[0051] ところで、ダイアフラム１０３が、移送（輸送）対象の流体に対して溶解する、あるいは流体または流体中の物質に対して化学反応して劣化する場合が考えられる。このような場合は、ダイアフラム１０３のポンプ室１０２の側の面に、ダイアフラム１０３を流体から保護する保護膜をさらに備えることができる。例えば、ダイアフラム１０３が流体と接する部分に、ダイアフラム１０３を保護する保護膜を形成することが好ましい、保護膜は、輸送対象となる流体に対して溶解しない、あるいは流体または流体中の物質に対し

て反応しない物質から構成することができる。保護膜を形成することで、ダイアフラム１０３の劣化を防ぐことができる。また、流体がダイアフラム１０３の表面に滞留しにくい状態とすることを目的として、ダイアフラム１０３の表面もしくはダイアフラム１０３の内側の電極表面に、保護膜を形成することもできる。

[0052] 以上に説明したように、本発明によれば、電歪効果を有する結晶材料からダイアフラムを構成し、ダイアフラムの一方の面に第１電極をオーミック接続し、他方の面に第２電極をオーミック接続するので、微小なマイクロダイアフラムポンプの高性能化が実現できるようになる。

[0053] 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。

[0054] ［参考文献１］S. Kawamura et al., ”Temperature independent electrostrictive coefficients of $K_{0.95}Li_{0.05}Ta_{0.73}Nb_{0.27}O_3$ single crystals”, Journal of Applied Physics, vol. 122, 114101, 2017.

［参考文献２］T. Imai et al., ”Anomalous index modulations in electro optic $KTa_{1-x}Nb_xO_3$ single crystals in relation to electrostrictive effect”, Optics Express, vol. 23, no. 22, pp. 28784-28791, 2015.

［参考文献３］先端技術商品紹介サイト、「電気光学結晶ＫＴＮ（$KTa_{1-x}Nb_xO_3$）」、［令和３年１１月１９日検索］、（https://keytech.ntt-at.co.jp/ktn_crystal/prd_2044.html）。

符号の説明

[0055] １０１…本体、１０２…ポンプ室、１０３…ダイアフラム、１０４…第１電極、１０５…第２電極、１０７…吸入口、１０８…排出口、１０９…流路、１１１…基板、１１２…上板、１１３…開口。

請求の範囲

[請求項1] 凹部が形成された本体と、

前記凹部の開口覆って前記本体とともにポンプ室を画定する、電歪効果を有する結晶材料から構成されたダイアフラムと、

前記ダイアフラムの一方の面にオーミック接続した第１電極と、

前記ダイアフラムの他方の面にオーミック接続した第２電極と

を備えるマイクロダイアフラムポンプ。

[請求項2] 請求項１記載のマイクロダイアフラムポンプにおいて、

前記ダイアフラムは、初期状態で前記ポンプ室の側にへこんだ形状とされていることを特徴とするマイクロダイアフラムポンプ。

[請求項3] 請求項１または２記載のマイクロダイアフラムポンプにおいて、

前記ポンプ室に形成された、対象となる流体を前記ポンプ室に吸入する吸入口と、

前記ポンプ室に形成された、対象となる流体を前記ポンプ室から押し出すための排出口と

を備えることを特徴とするマイクロダイアフラムポンプ。

[請求項4] 請求項３記載のマイクロダイアフラムポンプにおいて、

前記ポンプ室は、前記排出口に近づくほど移送方向に垂直な断面の大きさが小さくなることを特徴とするマイクロダイアフラムポンプ。

[請求項5] 請求項３または４記載のマイクロダイアフラムポンプにおいて、

前記吸入口に接続する流路は、前記吸入口に近づくほど移送方向に垂直な断面の大きさが小さくなることを特徴とするマイクロダイアフラムポンプ。

[請求項6] 請求項１～５のいずれか１項に記載のマイクロダイアフラムポンプにおいて、

前記ダイアフラムは、電歪効果を有する透明な結晶材料から構成され、

前記第１電極および前記第２電極は、前記ダイアフラムの中央部を

除く前記ダイアフラムの周囲に形成されている

ことを特徴とするマイクロダイアフラムポンプ。

[請求項7] 請求項１～６のいずれか１項に記載のマイクロダイアフラムポンプにおいて、

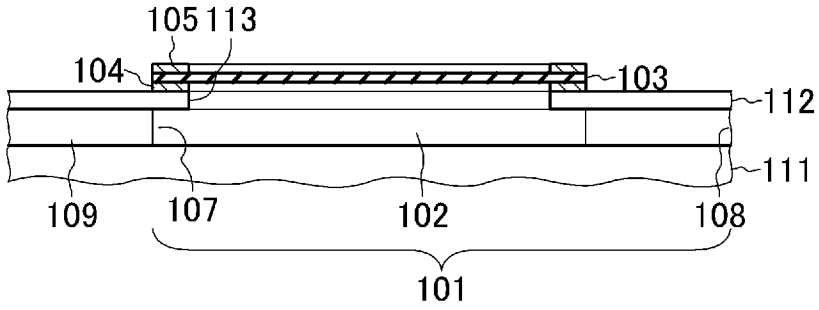
前記ダイアフラムは、ＫＴＮ［$KTa_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$（$0<\alpha<1$）］結晶、またはリチウムを添加したＫＬＴＮ［$K_{1-\beta}Li_{\beta}Ta_{1-\alpha}Nb_{\alpha}O_3$（$0<\alpha<1$，$0<\beta<1$）］結晶のいずれかから構成されている

ことを特徴とするマイクロダイアフラムポンプ。

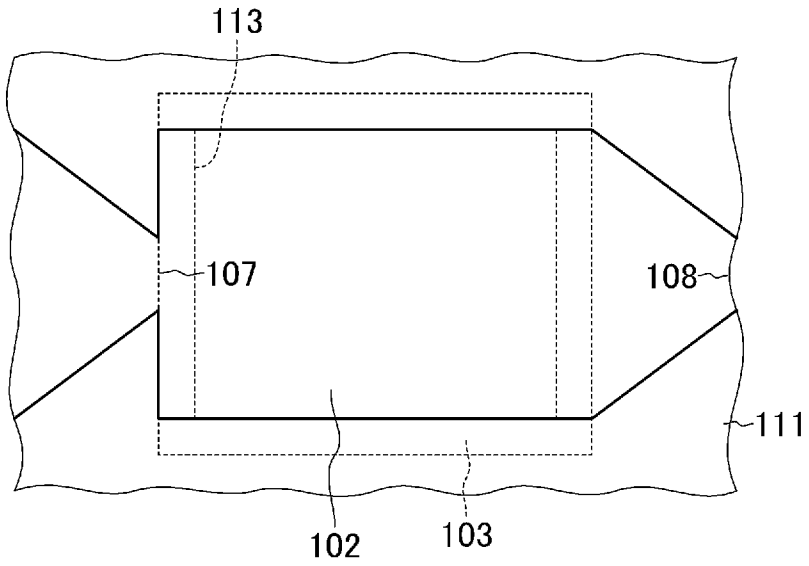
[請求項8] 請求項１～７のいずれか１項に記載のマイクロダイアフラムポンプにおいて、

前記ダイアフラムの前記ポンプ室の側の面に形成された、前記ダイアフラムを対象となる流体から保護する保護膜をさらに備えることを特徴とするマイクロダイアフラムポンプ。

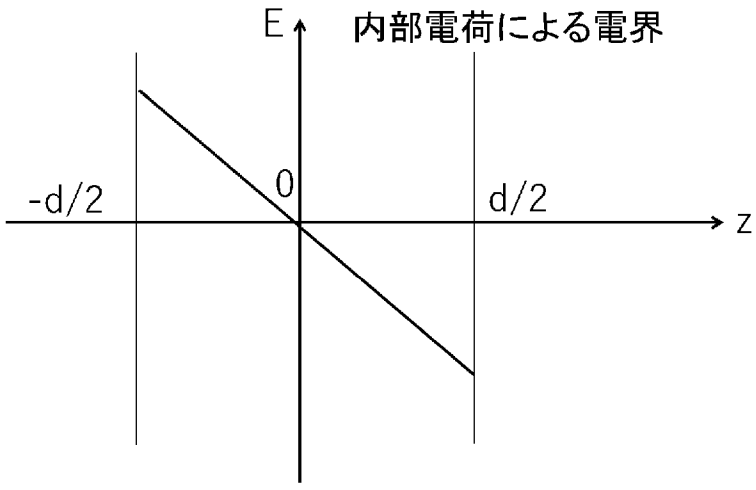
[図1A]



[図1B]

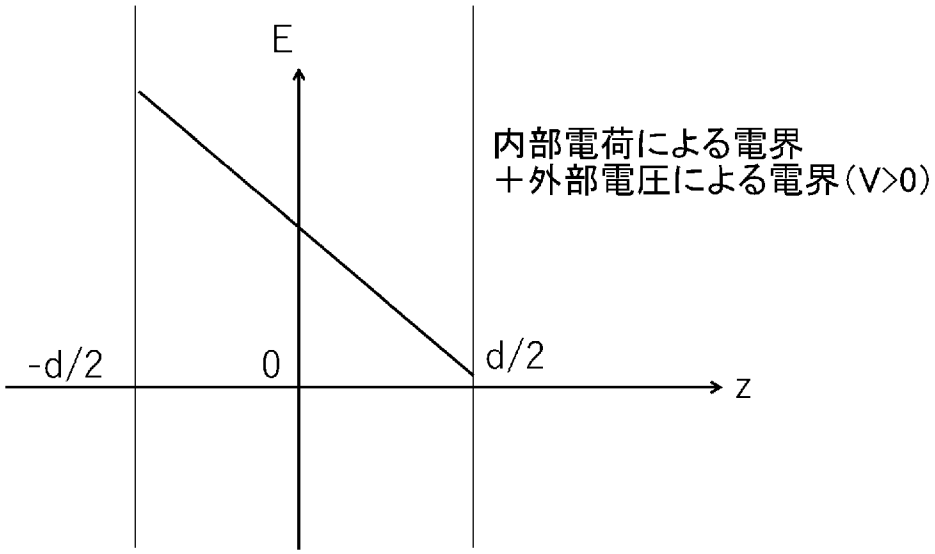


[図2A]



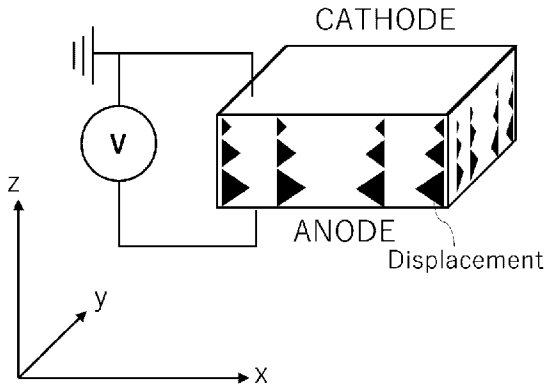
$$E_{z(in)}(z) = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} z$$

[図2B]

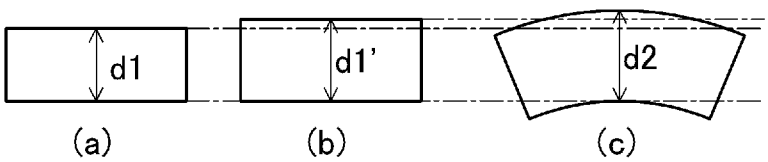


$$E_z(z) = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} z + \frac{V}{d}$$

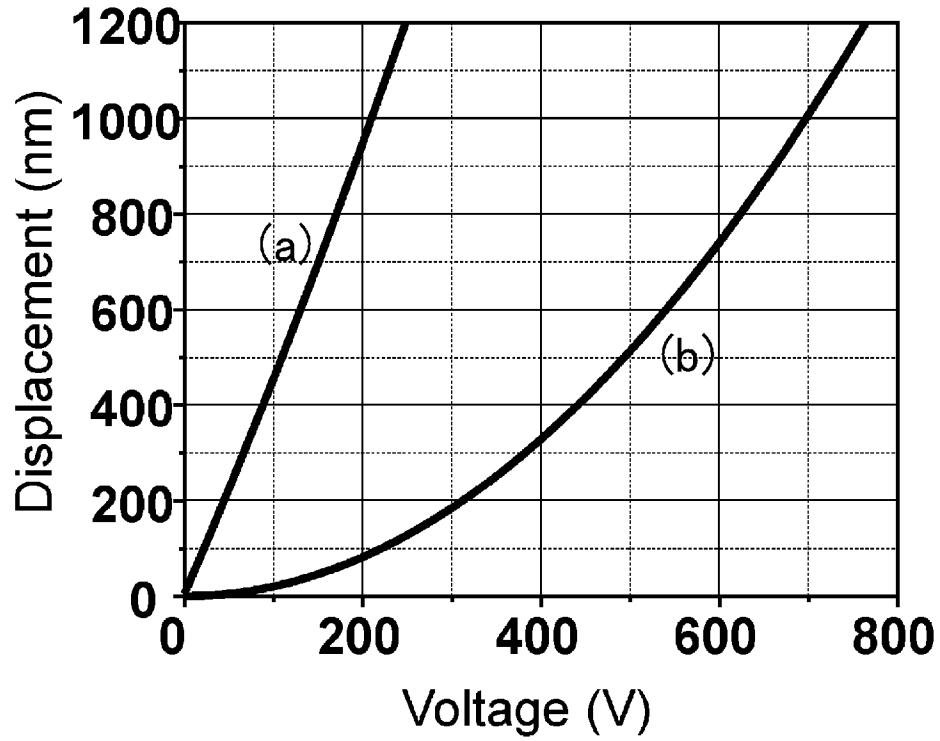
[図3]



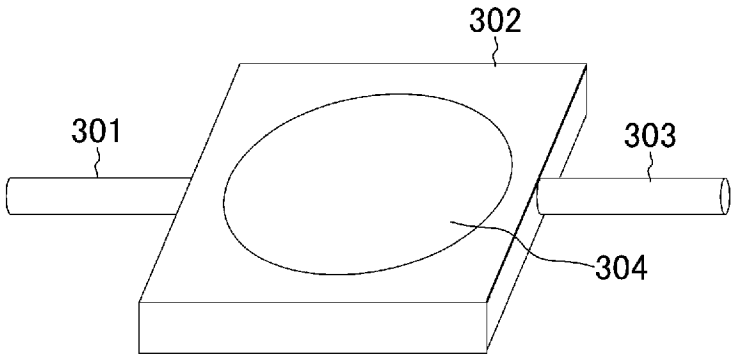
[図4]



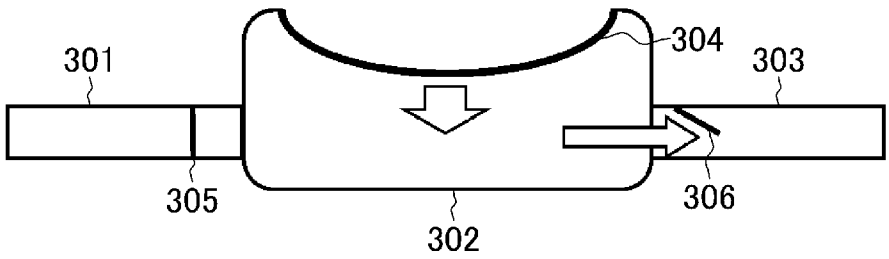
[図5]


1200
1000
800
600
400
200
0
Displacement (nm)
(a)
(b)
0
200
400
600
800
Voltage (V)

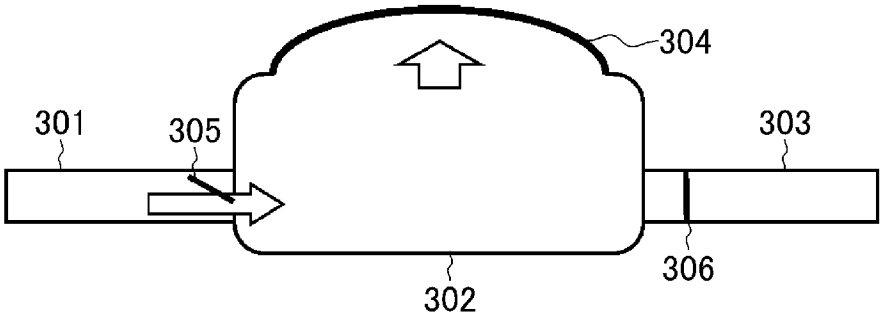
[図6A]


302
301
303
304

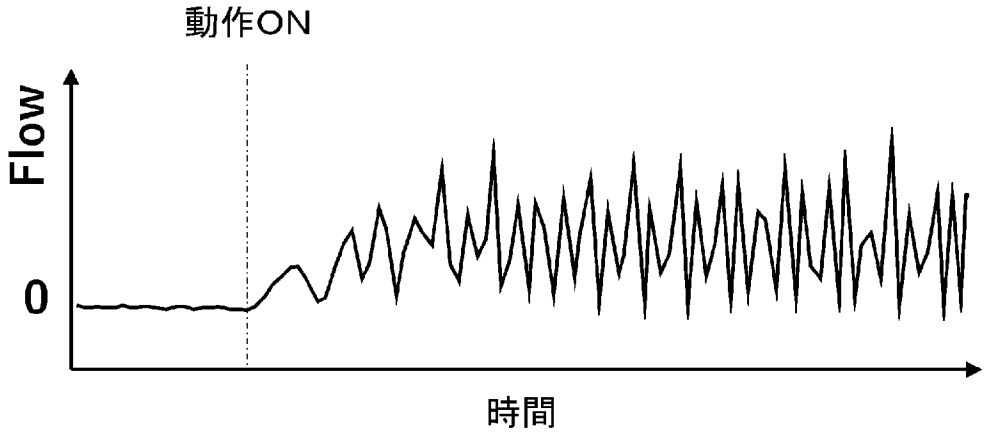
[図6B]


304
301
303
305
306
302

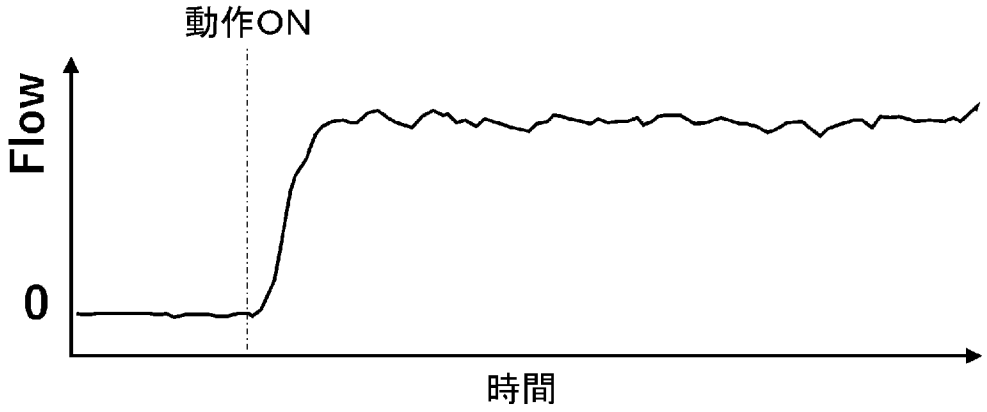
[図6C]



[図7A]



[図7B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/044691

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F04B 43/04(2006.01)i; ***F04B 45/04***(2006.01)i
FI: F04B43/04 B; F04B45/04 B

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)

F04B43/04; F04B45/04

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 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
Y	WO 03/033399 A1 (NGK INSULATORS, LTD) 24 April 2003 (2003-04-24) p. 8, line 4 to p. 48, line 10, fig. 1-47	1-8
Y	JP 2001-263486 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD) 26 September 2001 (2001-09-26) paragraphs [0064]-[0070], fig. 16-18	1-8
Y	JP 2011-8227 A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>) 13 January 2011 (2011-01-13) paragraphs [0008]-[0021]	1-8
Y	WO 2011/007646 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 20 January 2011 (2011-01-20) paragraphs [0002]-[0005]	1-8
Y	JP 5-172672 A (SHOWA DENKO KK) 09 July 1993 (1993-07-09) paragraphs [0011]-[0023], fig. 1-4	1-8
Y	JP 8-93721 A (AISIN KOSUMOSU KENKYUSHO KK) 09 April 1996 (1996-04-09) paragraphs [0014]-[0036], fig. 1-6	2-8

☑ 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	Date of mailing of the international search report
13 January 2022	**25 January 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-74475 A (NGK INSULATORS, LTD) 12 March 2003 (2003-03-12) paragraphs [0045]-[0047], fig. 11-12	4-8
Y	JP 2001-132646 A (HITACHI LTD) 18 May 2001 (2001-05-18) paragraphs [0017]-[0036], fig. 1	4-8
Y	WO 2021/214865 A1 (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>) 28 October 2021 (2021-10-28) paragraphs [0015]-[0017]	6-8
Y	JP 2007-529113 A (THE PENN STATE RESEARCH FOUNDATION) 18 October 2007 (2007-10-18) paragraph [0012], fig. 1	6-8
Y	JP 2010-163929 A (TOKAI RUBBER IND LTD) 29 July 2010 (2010-07-29) paragraphs [0005]-[0047], fig. 1-7	8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/044691

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 03/033399 A1	24 April 2003	US 2003/0131595 A1 paragraphs [0063]-[0204], fig. 1-47	
JP 2001-263486 A	26 September 2001	(Family: none)	
JP 2011-8227 A	13 January 2011	(Family: none)	
WO 2011/007646 A1	20 January 2011	US 2012/0091863 A1 paragraphs [0004]-[0007] US 2013/0276977 A1 CN 102473837 A	
JP 5-172672 A	09 July 1993	(Family: none)	
JP 8-93721 A	09 April 1996	(Family: none)	
JP 2003-74475 A	12 March 2003	US 2002/0146330 A1 paragraphs [0063]-[0065], fig. 11-12 EP 1375916 A1	
JP 2001-132646 A	18 May 2001	(Family: none)	
WO 2021/214865 A1	28 October 2021	(Family: none)	
JP 2007-529113 A	18 October 2007	US 2006/0186761 A1 paragraph [0007], fig. 1 WO 2005/055265 A2 CA 2558834 A1	
JP 2010-163929 A	29 July 2010	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/044691

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

F04B 43/04(2006.01)i; F04B 45/04(2006.01)i
FI: F04B43/04 B; F04B45/04 B

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））

F04B43/04; F04B45/04

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	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２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
Y	WO 03/033399 A1 (日本碍子株式会社) 24.04.2003 (2003-04-24) 第8ページ第4行-第48ページ第10行, 図1-47	1-8
Y	JP 2001-263486 A (松下電工株式会社) 26.09.2001 (2001-09-26) 段落[0064]-[0070], 図16-18	1-8
Y	JP 2011-8227 A (日本電信電話株式会社) 13.01.2011 (2011-01-13) 段落[0008]-[0021]	1-8
Y	WO 2011/007646 A1 (株式会社村田製作所) 20.01.2011 (2011-01-20) 段落[0002]-[0005]	1-8
Y	JP 5-172672 A (昭和電工株式会社) 09.07.1993 (1993-07-09) 段落[0011]-[0023], 図1-4	1-8
Y	JP 8-93721 A (株式会社アイシン・コスモス研究所) 09.04.1996 (1996-04-09) 段落[0014]-[0036], 図1-6	2-8
Y	JP 2003-74475 A (日本碍子株式会社) 12.03.2003 (2003-03-12) 段落[0045]-[0047], 図11-12	4-8

☑ 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
13.01.2022	25.01.2022

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）

大屋　静男 30 3333

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

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	JP 2001-132646 A (株式会社日立製作所) 18.05.2001 (2001-05-18) 段落[0017]-[0036], 図1	4-8
Y	WO 2021/214865 A1 (日本電信電話株式会社) 28.10.2021 (2021-10-28) 段落[0015]-[0017]	6-8
Y	JP 2007-529113 A (ザ・ペン・ステート・リサーチ・ファンデーション) 18.10.2007 (2007-10-18) 段落[0012], 図1	6-8
Y	JP 2010-163929 A (東海ゴム工業株式会社) 29.07.2010 (2010-07-29) 段落[0005]-[0047], 図1-7	8

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/JP2021/044691

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 03/033399 A1	24.04.2003	US 2003/0131595 A1 段落[0063]-[0204], 図1-47	
JP 2001-263486 A	26.09.2001	（ファミリーなし）	
JP 2011-8227 A	13.01.2011	（ファミリーなし）	
WO 2011/007646 A1	20.01.2011	US 2012/0091863 A1 段落[0004]-[0007] US 2013/0276977 A1 CN 102473837 A	
JP 5-172672 A	09.07.1993	（ファミリーなし）	
JP 8-93721 A	09.04.1996	（ファミリーなし）	
JP 2003-74475 A	12.03.2003	US 2002/0146330 A1 段落[0063]-[0065], 図11-12 EP 1375916 A1	
JP 2001-132646 A	18.05.2001	（ファミリーなし）	
WO 2021/214865 A1	28.10.2021	（ファミリーなし）	
JP 2007-529113 A	18.10.2007	US 2006/0186761 A1 段落[0007], 図1 WO 2005/055265 A2 CA 2558834 A1	
JP 2010-163929 A	29.07.2010	（ファミリーなし）	