

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5318203号
(P5318203)

(45) 発行日 平成25年10月16日(2013.10.16)

(24) 登録日 平成25年7月19日(2013.7.19)

(51) Int.Cl.		F I	
HO 1 L 41/193	(2006.01)	HO 1 L 41/193	Z B P
HO 1 L 41/45	(2013.01)	HO 1 L 41/45	
CO 8 J 7/00	(2006.01)	CO 8 J 7/00	CFDD
CO 8 L 101/16	(2006.01)	CO 8 L 101/16	

請求項の数 13 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2011-519765 (P2011-519765)	(73) 特許権者	000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(86) (22) 出願日	平成22年6月14日(2010.6.14)	(73) 特許権者	399030060 学校法人 関西大学 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/060020	(74) 代理人	100085143 弁理士 小柴 雅昭
(87) 国際公開番号	W02010/147074	(72) 発明者	安藤 正道 日本国京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
(87) 国際公開日	平成22年12月23日(2010.12.23)	(72) 発明者	田實 佳郎 日本国大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学システム理工学部内
審査請求日	平成23年11月4日(2011.11.4)		
(31) 優先権主張番号	特願2009-142068 (P2009-142068)		
(32) 優先日	平成21年6月15日(2009.6.15)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電体シート、ならびに圧電体シートの製造方法および製造装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ポリ乳酸からなる圧電体シートであって、厚み方向に圧電性を示すように、少なくとも一部のポリ乳酸分子の螺旋軸が相対的に厚み方向に向けられている、圧電体シート。

【請求項2】

ポリ乳酸シートを用意する工程と、
マイクロ波を用いて前記ポリ乳酸シートを加熱する、加熱工程と、
前記ポリ乳酸シートの厚み方向に圧電性を発現させるため、加熱された前記ポリ乳酸シートの厚み方向に高電圧を印加して、少なくとも一部のポリ乳酸分子の螺旋軸を相対的に厚み方向に向ける、高電圧印加工程と
を備える、圧電体シートの製造方法。

【請求項3】

前記高電圧印加工程の後、前記ポリ乳酸シートを急冷する工程をさらに備える、請求項2に記載の圧電体シートの製造方法。

【請求項4】

前記高電圧印加工程は、前記加熱工程の少なくとも一部と同時に実施される、請求項2または3に記載の圧電体シートの製造方法。

【請求項5】

高電圧電源と、
前記高電圧電源から供給される高電圧を、処理されるべきポリ乳酸シートの厚み方向に

印加するため、前記ポリ乳酸シートを厚み方向に挟むように配置される対をなす高電圧印加用導体と、

マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、

前記マイクロ波発生器からマイクロ波を伝送する同軸線路とを備え、

前記高電圧印加用導体は、前記同軸線路の内導体に接続され、前記マイクロ波が、前記ポリ乳酸シートとそれを挟む前記高電圧印加用導体とによって構成されるコンデンサを通過するとき、誘電損失による熱を発生するようにされている、圧電体シートの製造装置。

【請求項 6】

高電圧電源と、

前記高電圧電源から供給される高電圧を、処理されるべきポリ乳酸の厚み方向に印加するため、前記ポリ乳酸シートを厚み方向に挟むように配置される対をなす高電圧印加用導体と、

マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、

前記マイクロ波発生器からマイクロ波を伝送する同軸線路と、

前記同軸線路に接続される少なくとも 1 段の半同軸空洞フィルタとを備え、

前記高電圧印加用導体の一方は、前記半同軸空洞フィルタの中心導体に接続され、

前記高電圧印加用導体の他方は、前記半同軸空洞フィルタの外導体に接続され、

前記マイクロ波が前記ポリ乳酸シートと前記高電圧印加用導体とによって構成されるコンデンサを通過するとき、誘電損失による熱を発生するようにされている、圧電体シートの製造装置。

【請求項 7】

前記高電圧印加用導体の一方は、複数のピン状の導体から構成され、前記高電圧印加用導体の他方は、平面状の導体から構成されている、請求項 6 に記載の圧電体シートの製造装置。

【請求項 8】

前記高電圧印加用導体の一方および他方は、複数のピン状の導体から構成され、前記複数のピン状の導体は過不足なく互いに対をなすようにされている、請求項 6 または 7 に記載の圧電体シートの製造装置。

【請求項 9】

前記マイクロ波発生器によって、互いに異なる周波数を有する複数種類のマイクロ波が発生される、請求項 5 ないし 8 のいずれかに記載の圧電体シートの製造装置。

【請求項 10】

前記複数種類のマイクロ波は、少なくとも、主に加熱に有効な周波数のものと、主にポリ乳酸の主鎖を揺るのに適した周波数のものと、主にポリ乳酸の分子同士の間を結合部分を破壊するのに適した周波数のものを含む、請求項 9 に記載の圧電体シートの製造装置。

【請求項 11】

前記高電圧印加用導体は、複数のピン状の導体から構成され、かつ、複数列をなすように配置され、各列の前記導体の各々の位置は、隣りの列の前記導体の各々の間に形成される間隔部分に対応するようにされている、請求項 7 または 8 に記載の圧電体シートの製造装置。

【請求項 12】

前記導体は断面が正方形とされ、隣り合う前記導体間の間隔は、各導体の断面を規定する正方形の一辺の長さと同様に等しくされる、請求項 11 に記載の圧電体シートの製造装置。

【請求項 13】

前記高電圧印加用導体の近傍に設けられる、前記ポリ乳酸シートを急冷するための冷却用流体の吹き出し口をさらに備える、請求項 5 ないし 12 のいずれかに記載の圧電体シートの製造装置。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、圧電体シート、ならびに圧電体シートの製造方法および製造装置に関するもので、特に、ポリ乳酸からなる圧電シート、ならびにその製造方法および製造装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

ポリ乳酸(PLA)は、図14に示すような分子構造を有している。PLAは、脱水縮合重合体であり、乳酸の環状二量体であるラクチドを開環重合することによって得られる。乳酸は不斉炭素を含むため、キラリティを有する。したがって、PLAにはL体とD体とが存在し、その重合体をそれぞれL型ポリ乳酸(PLLA)、D型ポリ乳酸(PDLA)と呼ぶ。PLLAの主鎖は左巻き螺旋、PDLAの主鎖は右巻き螺旋構造をとる。微生物の力によって合成される乳酸からなるポリ乳酸はほとんどがL体であり、現在量産され利用されるPLAはPLLAである。

10

【0003】

たとえば特許文献1および非特許文献1に記載されているように、延伸したPLAフィルムは圧電性を示す。非特許文献1によれば、PLLA結晶の点群は D_2 であり、圧電テンソルとして、図15(a)に示すような成分を有する。

【0004】

20

PLLAは、螺旋高分子であり、螺旋軸方向(C軸方向)に大きな値の双極子を持っている。PLLAの結晶構造においては、C軸方向の双極子が交互に逆方向を向くようにパッキングされるため、マクロ的に見ると、C軸方向の双極子は互いに打ち消されて0となる。したがって、図15(b)に示すように、PLLAシートにおいて「3」軸方向に延伸が施されているとすると、この延伸された一軸配向PLLAシートの圧電テンソルは、結果的に、図15(c)のような成分となる。

【0005】

従来の圧電性PLLAの圧電現象は、たとえば特許文献1および2に記載されているように、図15(c)に示した d_{14} によるものが主体であり、その値は $10 \sim 20 \text{ pC/N}$ 程度である。このPLLAの圧電定数は高分子の中では際だって高い値である。

30

【0006】

他方、現在市販されているセラミック圧電体の代表的なものであるPZTは、 $d_{33} = 300 \sim 700 \text{ pC/N}$ もの値を有し、様々なアクチュエータや圧電プザー、圧電スピーカなどに応用されている。しかしながら、PZTは、鉛を含む材料であり、環境保護の観点から無鉛の圧電材料が市場では望まれている。さらに、無機系の圧電材料はセラミックが主流であり、製造コストが高く、廃棄時には埋め立て等による処理に頼らざるを得ない。そこで、製造コストが安く、廃棄物処理の容易な高分子系の圧電材料が望まれるところであるが、PZTに匹敵する圧電定数を有するものは未だ存在しないとされている。

【0007】

PVDF(ポリフッ化ビニリデン)やPLLAは、非常に大きな圧電定数を有する高分子として有望視されている。特にPLLAは、図14に示したように、構成元素としてC、OおよびHしか含まないため、焼却したとしても有害物質をもたらすことがない。また、PLLAは、加水分解-微生物分解という2段階の分解過程を経て、完全に水と CO_2 とに分解され得る生分解性プラスチックである。原料は現在のところトウモロコシ由来の澱粉であり、原料そのものには石油を一切使用していない。製造過程で使用されるエネルギーに起因する CO_2 を除けば、PLLA自体は空気中の CO_2 を元々の素材としているため、分解後に空気中の CO_2 を増加させることがない。これがカーボンニュートラルと言われる所以であり、環境にやさしい材料として非常に注目されている。

40

【0008】

ところが、前述したように、PLLAの圧電定数は d_{14} で高々 20 pC/N 程度であり

50

、PZTの圧電定数に比較すると極めて小さい。よって、PZTの代替材料としてPLLAを用いるためには、動作時の印加電圧を非常に高くする必要があり、従来はPLLAへの置き換えは非常に困難であったと言わざるを得ない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開平5-152638号公報

【特許文献2】特開2005-213376号公報

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】田實佳郎，「ポリ乳酸膜の光・電気機能」，未来材料，2003年7月号，第3巻，第7号，P.16-25

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

そこで、この発明の目的は、ポリ乳酸を用いながら、特に厚み方向に高い圧電定数を有する圧電体シートを提供しようとすることである。

【0012】

この発明の他の目的は、上記のような圧電体シートの製造方法および製造装置を提供しようとすることである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

この発明は、ポリ乳酸からなる圧電体シートにまず向けられるものであって、上述した技術的課題を解決するため、厚み方向に圧電性を示すように、少なくとも一部のポリ乳酸分子の螺旋軸が相対的に厚み方向に向けられていることを特徴としている。

【0014】

なお、「シート」という用語と「フィルム」という用語とを、厚み寸法に応じて使い分けることもあるが、本件明細書においては、厚み寸法に関係なく、「シート」という用語を用いることにする。

【0015】

また、背景技術において説明したように、ポリ乳酸は、通常、L型ポリ乳酸として流通しているが、課題を解決するための手段として述べるポリ乳酸とは、L型ポリ乳酸、D型ポリ乳酸、あるいはそれらの混合物を概念的に含むものである。

【0016】

この発明は、また、上述した圧電体シートを製造するための方法にも向けられる。この発明に係る圧電体シートの製造方法は、ポリ乳酸シートを用意する工程と、マイクロ波を用いてポリ乳酸シートを加熱する、加熱工程と、ポリ乳酸シートの厚み方向に圧電性を発現させるため、加熱されたポリ乳酸シートの厚み方向に高電圧を印加して、少なくとも一部のポリ乳酸分子の螺旋軸を相対的に厚み方向に向ける、高電圧印加工程とを備えることを特徴としている。

【0017】

この発明に係る圧電体シートの製造方法は、上記高電圧印加工程の後、ポリ乳酸シートを急冷する工程をさらに備えることが好ましい。

【0018】

また、この発明に係る圧電体シートの製造方法において、高電圧印加工程は、加熱工程の少なくとも一部と同時に実施されることが好ましい。

【0019】

この発明は、さらに、上述した圧電体シートを製造するための装置にも向けられる。この発明に係る圧電体シートの製造装置は、高電圧電源と、高電圧電源から供給される高電圧を、処理されるべきポリ乳酸シートの厚み方向に印加するため、ポリ乳酸シートを厚み

10

20

30

40

50

方向に挟むように配置される対をなす高電圧印加用導体と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、マイクロ波発生器からマイクロ波を伝送する同軸線路とを備え、高電圧印加用導体は、同軸線路の内導体に接続され、マイクロ波が、ポリ乳酸シートとそれを挟む高電圧印加用導体とによって構成されるコンデンサを通過するとき、誘電損失による熱を発生するようにされていることを特徴としている。

【0020】

この発明に係る圧電体シートの製造装置は、他の実施態様では、高電圧電源と、高電圧電源から供給される高電圧を、処理されるべきポリ乳酸の厚み方向に印加するため、ポリ乳酸シートを厚み方向に挟むように配置される対をなす高電圧印加用導体と、マイクロ波を発生するマイクロ波発生器と、マイクロ波発生器からマイクロ波を伝送する同軸線路と、同軸線路に接続される少なくとも1段の半同軸空洞フィルタとを備え、高電圧印加用導体の一方は、半同軸空洞フィルタの中心導体に接続され、高電圧印加用導体の他方は、半同軸空洞フィルタの外導体に接続され、マイクロ波がポリ乳酸シートと高電圧印加用導体とによって構成されるコンデンサを通過するとき、誘電損失による熱を発生するようにされていることを特徴としている。

10

【0021】

この発明に係る圧電体シートの製造装置において、高電圧印加用導体の一方は、複数のピン状の導体から構成され、高電圧印加用導体の他方は、平面状の導体から構成されても、あるいは、高電圧印加用導体の一方および他方が、複数のピン状の導体から構成され、これら複数のピン状の導体は過不足なく互いに対をなすようにされてもよい。

20

【0022】

この発明に係る圧電体シートの製造装置において、マイクロ波発生器によって、互いに異なる周波数を有する複数種類のマイクロ波が発生されることが好ましい。上記複数種類のマイクロ波は、少なくとも、主に加熱に有効な周波数のものと、主にポリ乳酸の主鎖を揺するのに適した周波数のものと、主にポリ乳酸の分子同士の結合部分を破壊するのに適した周波数のものを含むことが好ましい。

【0023】

この発明に係る圧電体シートの製造装置において、高電圧印加用導体は複数のピン状の導体から構成される場合、複数のピン状の導体は、複数列をなすように配置され、各列の導体の各々の位置は、隣の列の導体の各々の間に形成される間隔部分に対応するようにされていることが好ましい。さらに好ましくは、導体は断面が正方形とされ、隣り合う導体間の間隔は、各導体の断面を規定する正方形の一辺の長さと同しくされる。

30

【0024】

この発明に係る圧電体シートの製造装置において、ポリ乳酸シートを急冷するための冷却用流体の吹き出し口が高電圧印加用導体の近傍に設けられることが好ましい。

【発明の効果】

【0025】

バルク状態（成形後、未処理状態）のポリ乳酸シートは、長い螺旋分子が互いに絡み合った構造を有しており、たとえば厚み方向に非常に大きな電場を印加したとしても、厚み方向に圧電性が生じることはない。この発明によれば、ポリ乳酸からなる圧電体シートにおいて、上記螺旋分子の絡みをほぐし、少なくとも一部の螺旋分子について、螺旋軸が相対的に厚み方向に向けられるので、厚み方向に圧電性を示す圧電体シートを得ることができる。たとえば、螺旋分子の10%でも、圧電体シートの厚み方向に配向させることができれば、PZTに匹敵する圧電体となり得る。もし、これを超える割合で配向させることができれば、PZTをしのぐ圧電体となり得る。また、たとえ5%の配向度であったとしても、高分子の圧電体としては驚異的に大きな圧電定数を有するものとなり得る。

40

【0026】

圧電アクチュエータなどによく用いられるPZTは、セラミックであり、また、鉛を含んでいるため、廃棄物としての処理が難しい。PLLAによってPZTに匹敵する圧電定数が得られれば、PZTをPLLAに置き換えることが可能となる。PLLAは、重金属

50

を含まない単純な組成の生体高分子で、生分解性であり、かつ澱粉を原料とするため、製造時に発生する CO_2 を除いて、空気中の CO_2 を増加させない。さらに、製造時の CO_2 は他の有機高分子の製造時の場合と比較すると極めて少ない。したがって、PZTをPLLAで置き換えることができれば、環境負荷軽減に関して絶大な効果がある。

【0027】

また、ポリ乳酸は、高分子であり、PZTより高い可撓性を有しているため、アクチュエータに適用した際の変位量はPZTの場合より大きくなる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】この発明に係る製造方法を実施して、PLLA分子の螺旋軸3の少なくとも一部を相対的に厚み方向に配向させた状態を図解的に示す、PLLAシート1の断面図である。

10

【図2】この発明の一実施形態による製造装置10を示すブロック図である。

【図3】図2に示したブロック図上のPLLA加熱部17を、伝送線路型として構成した場合のより詳細な図で、PLLA加熱部17を含むPLLA処理部30を表しており、(a)はPLLA処理部30の平面図、(b)はPLLA処理部30の正面図である。

【図4】(a)は図3(b)の線A-Aに沿う断面図であり、(b)は図3(a)の線B-Bに沿う断面図である。

【図5】図4に示した一方の内導体35aを断面図で示すとともに、図4では図示が省略されていた、筐体31および内導体35aおよび35bからなる伝送線路部の一方端部を図示する、図4(a)および(b)に対応する図である。

20

【図6】図2に示したブロック図上のPLLA加熱部17を、共振器型として構成した場合のより詳細な図で、PLLA加熱部17を含むPLLA処理部50を表しており、(a)はPLLA処理部50の正面図、(b)はPLLA処理部50の側面図である。

【図7】(a)は図6(b)の線B-Bに沿う断面図であり、(b)は図6(a)の線A-Aに沿う断面図である。

【図8】図6および図7に示したPLLA処理部50の簡略化モデルを用いて有限要素法シミュレーションを行なうことによって求められた電場の状態を示す図である。

【図9】4段のバンドパスとした場合のPLLA処理部50aを示す、図7(b)に対応する図である。

30

【図10】図4に示したピン導体36aの配置に関する第1の実施形態を示すもので、内導体35aの先端部38aの端面をPLLAシート1側から見て、ピン導体36aを示した図である。

【図11】図4に示したピン導体36aの配置に関する第2の実施形態を示すもので、内導体35aの先端部38aの端面をPLLAシート1側から見て、ピン導体36aを示した図である。

【図12】図4に示したピン導体36aの配置に関する第3の実施形態を示すもので、内導体35aの先端部38aの端面をPLLAシート1側から見て、ピン導体36aを示した図である。

【図13】図4に示したピン導体36aの配置に関する第4の実施形態を示すもので、内導体35aの先端部38aの端面をPLLAシート1側から見て、ピン導体36aを示した図である。

40

【図14】ポリ乳酸の分子構造図である。

【図15】(a)はPLLA結晶の圧電テンソルを示し、(b)はPLLAシートの延伸方向を説明するための図であり、(c)は一軸配向PLLAシートの圧電テンソルを示す。

【図16】結合した2個の乳酸分子を図解的に示す図である。

【図17】乳酸分子が脱水重合して螺旋分子となっている状態を図解的に示す図である。

【図18】図17に示した乳酸分子の螺旋軸の作用を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 2 9 】

P L L A は、前述の図 1 4 に示すような分子構造を有するものであるが、主鎖に、C = O をはじめ、永久双極子を発生する分子群が存在する。乳酸分子 2 個が結合した分子で見れば、図 1 6 のような電気双極子が現れる。

【 0 0 3 0 】

なお、前述したように、ポリ乳酸には、L 体である P L L A と、D 体である P D L A とがあり、それらの積極的な混合物も想定されるが、本項では説明を簡単とするために P L L A を例に挙げて説明を行なう。

【 0 0 3 1 】

乳酸分子が脱水重合していくと、前述したように螺旋分子となる。この分子モデルを図 1 7 に示す。P L L A の螺旋構造の分子内では、各分子に生じる双極子のベクトル和が形成され、螺旋軸の方向に大きな双極子が残る。この概念図を図 1 8 に示す。

10

【 0 0 3 2 】

図 1 8 に示すように、P L L A 分子は 1 0 モノマーで分子が 3 回螺旋を巻くような 1 0 / 3 ヘリックス構造となる。P L L A 分子における双極子を元に、分子鎖が 1 0 / 3 ヘリックス構造を持つと、この螺旋軸方向の双極子の大きさは 1 周期あたり 3 . 5 ~ 3 . 7 debye となる。

【 0 0 3 3 】

通常、P L L A 分子は、その分子量が数十万程度であり、およそ 1 0 0 0 ~ 3 0 0 0 周期により構成されている。以降、説明を簡単とするために、2 0 0 0 周期と仮定する。これが伸びきり鎖となって配向できるものとすれば、この長さは約 1 0 0 n m 程度となる（通常のラメラ厚）。

20

【 0 0 3 4 】

このときのこの分子の双極子合計は、
(3 . 5 ~ 3 . 7) × 2 0 0 0、すなわち、7 0 0 0 ~ 7 4 0 0 debye となる。以降、説明を簡単とするために、これを 7 2 0 0 debye と仮定する。

【 0 0 3 5 】

ここで、1 debye = 3 . 3 3 5 6 4 × 1 0 ⁻³⁰ C · m であるので、7 2 0 0 debye = 2 . 4 × 1 0 ⁻²⁶ C · m となる。

【 0 0 3 6 】

2 本の分子鎖が配向して平行に並んでいるとすれば、これらの分子は P L L A の螺旋半径付近まで近接分子鎖同士が接近し、P L L A の非晶、結晶構造の高次構造の相関距離から、螺旋軸間距離は 0 . 4 ~ 0 . 8 n m と推定される。以降、説明を簡単とするために、この値を 0 . 4 n m と仮定する。

30

【 0 0 3 7 】

このときの分極率 P s は、
$$P s = 2 . 4 \times 10^{-26} \times 2 / (0 . 4 \times 10^{-9} \times 0 . 4 \times 10^{-9} \times 100 \times 10^{-9}) = 3 . 0 \text{ C / m}^2$$

となる。

【 0 0 3 8 】

ここで、マクロ的なポリマーの圧電応力定数 e は、上記分極率 P s を用いて、以下の式 (1) で表される。式 (1) において、₂₁ はポアソン比であり、e はミクロ的な圧電応力定数である。

40

$$e_{31} = e_{31} - \nu_{21} e_{32} - \nu_{31} e_{33} + (1 - \nu_{21}) P s \dots (1)$$

ここで、3 軸は C 軸方向とする。

【 0 0 3 9 】

式 (1) の第 1 項 ~ 第 3 項は、分子構造そのものに由来する圧電応力定数であり、非常に小さい。また、第 4 項は、分極率 P s に依存し、ここで述べる P L L A の場合には、P s が非常に大きい。よって、式 (1) は、以下の式 (2) のように近似できる。

$$e_{31} (1 - \nu_{21}) P s \dots (2)$$

50

ポリマーの場合、通常 d_{21} は $0.2 \sim 0.5$ 程度である。PLLAの場合、 $d_{21} = 0.3$ であるため、

$$e_{31} = 0.7 P s \quad \dots (3)$$

となる。

【0040】

前述のように、 $P s = 3.0 C / m^2$ であるので、

$$e_{31} = 0.7 \times 3.0 = 2.1 C / m^2$$

となる。

【0041】

ここで、圧電歪定数 (d 定数) は、弾性コンプライアンスを S^E として、

$$d_{31} = e_{31} \cdot S^E \quad \dots (4)$$

と表される。PLLAの場合、未延伸フィルムの弾性定数はおよそ $3.7 GPa$ 、4倍延伸フィルムの弾性定数はおよそ $1.8 GPa$ である。なお、延伸フィルムでは、C軸は延伸方向に配向する。

【0042】

この発明に係るPLLAの場合、非常に配向が強いと仮定しており、このようなポリマーの弾性定数は約 $1 GPa$ と考えることができるので、

$$d_{31} = 2.1 / 1 \times 10^9 = 2100 pC / N \text{ と見積もることができる。}$$

【0043】

圧電定数 d_{33} と d_{31} との関係は、ポアソン比 0.3 のとき、ほぼ、 $d_{33} = 2 d_{31}$ と考えてよい。したがって、

$$d_{33} = 2100 \times 2 = 4200 pC / N$$

となる。

【0044】

以上のように、PLLAの螺旋分子のC軸(螺旋軸)に沿う双極子を厚み方向に完全に配向できれば、PLLAの圧電定数は、数値的範囲を考慮すれば、 $1000 \sim 5000 pC / N$ もの値となる可能性があるが、未だにこれを実現した例はない。

【0045】

たとえば、螺旋軸がフィルムの厚み方向に垂直になるように配向し、本来のPLLAの持つポテンシャルの10%程度、つまり、C軸に沿う双極子が交互にパッキングされる状態を10%程度崩してやれば、 $100 \sim 500 pC / N$ もの d_{33} (この場合、フィルムの厚み方向を3軸とする。)の値が生じると考えられ、PZTの持つ圧電定数にほぼ匹敵する値が得られることになる。

【0046】

上記のようなPLLAシートは、次のようにして製造することができる。

【0047】

図1を参照して説明すると、未処理状態のPLLAシート1の、たとえば $0.01 \sim 1 mm^2$ 程度の非常に狭い領域2にマイクロ波を印加する。これにより、電場の交番が双極子に作用して強制的にPLLA分子が振動させられる。図1において、PLLA分子の螺旋軸3が矢印によって図解的に示され、その矢印の方向は配向の方向を示している。上述した振動の結果、加熱され、PLLA分子が動きやすい状態になるとともに、マイクロ波振動により分子鎖同士の絡み合いがほぐれた状態が実現される。

【0048】

上記の状態において、上記所定の領域2において、PLLAシート1の厚み方向に強電場を印加すれば、厚み方向に圧電性を示すように、少なくとも一部のPLLA分子の螺旋軸3が相対的に厚み方向に配向する。この領域2での配向状態が図1に示されている。

【0049】

図1からわかるように、領域2においてPLLAシート1が厚み方向に圧電性を示すためには、双極子配向が互いに打ち消されない方向で、すべてのPLLA分子の螺旋軸3が厚み方向に配向している必要はない。一部のPLLA分子のみの螺旋軸3が厚み方向に配

10

20

30

40

50

向していれば十分である。また、厚み方向に配向する螺旋軸 3 は、P L L A シート 1 の主面方向に対して垂直な方向 (9 0 度) を必ずしも向いている必要はない。主面方向に対して、たとえば 5 ~ 1 0 度というような角度であってもよく、相対的に厚み方向にさえ向いていればよい。

【 0 0 5 0 】

次に、上述のように、強い電場を印加した後、P L L A シート 1 の領域 2 が急冷され、P L L A 分子が固定される。

【 0 0 5 1 】

以上のような処理が、上記領域 2 の隣の領域 4 においても実施されるように、P L L A シート 1 の位置をずらしながら、繰り返される。このようにして、P L L A シート 1 の、
10 広い面積において、相対的に厚み方向に螺旋軸 3 が配向した状態が作り出され、それによって、P L L A シート 1 からなる高圧電定数を有する圧電体シートが得られる。

【 0 0 5 2 】

前述したように印加されるマイクロ波としては、単一の周波数のマイクロ波のみではなく、少なくとも、主に加熱に有効な周波数を有するものと、主に主鎖を揺るのに適した周波数を有するものと、主に分子同士の結合部分を破壊するのに適した周波数を有するものというように、互いに異なる複数の周波数をそれぞれ有する複数種類のマイクロ波をダイプレクシングもしくはミキシング (変調) したものとすることが好ましい。マイクロ波の各周波数および強度は、実験により適宜決定すればよい。

【 0 0 5 3 】

ここで注意する点は、領域 2 は微小領域であることが特に好ましいということである。領域 2 の面積を大きくするということは、加熱領域を広げること他にない。加熱領域を広くするとその領域に含まれる高分子が相互に作用して球晶と呼ばれる結晶が成長しやすくなる。球晶とは放射対称に球状成長する結晶である。球晶自体は無極性となるため上述したような配向は達成されない。したがって、球晶の生成を促進しないような微小領域の配向操作が必要となる。領域は小さいほど良いと考えられるが、ここに述べる実用化の観点からして、領域を円とすれば、その面積はおよそ $0.01 \sim 1 \text{ mm}^2$ の範囲となる。この大きさは、P L L A シート 1 の厚みやその分子量、P L L A シート 1 に添加物が分散されている場合には、その種類、その大きさによって変動するものである。
20

【 0 0 5 4 】

上記の微小領域を加熱する方法としてはレーザースポットによる加熱等も考えられる。しかしながら、P L L A の螺旋軸を配向させるための強電場を印加するのに必要な電極が構成できない、もしくはこの電極が邪魔となってレーザースポットが所定の位置に照射されないという問題点がある。これに対し、ここで述べるマイクロ波による微小領域の加熱は、マイクロ波の照射と直流電場の印加が同時に行なえるという点で非常に優れている。

【 0 0 5 5 】

図 2 は、この発明の一実施形態による圧電体シートの製造装置 1 0 を示すブロック図である。この製造装置 1 0 では、圧電体シートを製造するため、用意された P L L A シート 1 に所定の処理が施される。

【 0 0 5 6 】

P L L A シート 1 を構成する P L L A の分子を振動させるためのマイクロ波は、シグナルジェネレータ 1 1 および 1 2 により発生させる。図 2 では、2 個のシグナルジェネレータ 1 1 および 1 2 を用いる例を示したが、投入するマイクロ波の種類数に応じて適宜数を変更すればよい。発生させるマイクロ波の周波数は、P L L A を主に加熱させるための周波数、主に分子の絡みをほぐすための周波数、主に分子同士の結合 (部分的な結晶化) を切るための周波数などである。これらの周波数は、素材となる P L L A の分子量、D 体の混入割合、結晶化度、配向度、フィラーの配合量等により異なるため、利用する母材に応じて初期実験を行ない、最適な周波数と投入レベルを決定すればよい。

【 0 0 5 7 】

それぞれの周波数を有するマイクロ波の投入レベルの割合は、シグナルジェネレータ 1
50

1 および 1 2 のそれぞれの出力レベルにより決定される。シグナルジェネレータ 1 1 および 1 2 から発生させられた互いに異なる周波数をそれぞれ有する複数種類のマイクロ波は、ミキサ 1 3 においてミキシングされた後、アンプ 1 4 へと伝送される。

【 0 0 5 8 】

なお、互いに異なる周波数を有する複数種類のマイクロ波のミキシングのために、図 2 に示した製造装置 1 0 では、ミキサ 1 3 が用いられたが、ミキサ 1 3 の代わりにダイプレクサが用いられてもよい。また、シグナルジェネレータを増設して、トリプレクサ、クワッドプレクサ等を用いてもよい。

【 0 0 5 9 】

アンプ 1 4 で増幅されたマイクロ波は、サーキュレータ 1 5 を通過し、次いで、バイアスティー 1 6 を通過し、PLL A 加熱部 1 7 へ至る。サーキュレータ 1 5 は、PLL A 加熱部 1 7 の不整合による反射電力がアンプ 1 4 に戻って、アンプ 1 4 が破損することを防ぐために設けられている。PLL A 加熱部 1 7 の不整合による反射電力は、サーキュレータ 1 5 により分岐され、カップラ 2 1 を通過してアッテネータ 2 2 に至り消費される。カップラ 2 1 にはパワーメータ 2 3 が接続されており、反射電力を監視するようにされている。

10

【 0 0 6 0 】

PLL A 加熱部 1 7 は、ここを直流電流が通過しないようにされている。PLL A 加熱部 1 7 の構成方法としては、伝送線路型や共振器利用型が考えられる。図 2 において、PLL A 加熱部 1 7 は、単純にコンデンサとして簡略的に図示されたに過ぎず、実際には、マイクロ波の等価回路が形成されるものである。いずれの場合も、PLL A 加熱部 1 7 は、電力の通過経路において、回路的に PLL A シート 1 を介してコンデンサが形成される部分を有しており、これにより直流電流が通過しないようにされている。PLL A 加熱部 1 7 に関しては、詳細図を図 3 以降に示す。図 3 以降を参照しての説明は後述する。

20

【 0 0 6 1 】

PLL A 加熱部 1 7 は、上述したように、電力の通過経路において、回路的に PLL A シート 1 を介してコンデンサが形成される部分を有している。マイクロ波がこの部分を通過するとき、その誘電損失により一部が熱に変換される。PLL A の誘電正接 ($\tan \delta$) は 0.01 ~ 0.012 であり (たとえば、特開 2002-358829 号公報参照)、これを誘電体として用いたコンデンサにおいても、 $\tan \delta$ に応じた発熱が必ず発生する。加えて、電気双極子が揺すられることによる摩擦による発熱も生じる。

30

【 0 0 6 2 】

PLL A 加熱部 1 7 を通過したマイクロ波は、バイアスティー 1 8 を通過し、次いで、カップラ 2 4 を通過して、アッテネータ 2 5 に至り消費される。カップラ 2 4 にはパワーメータ 2 6 が接続されており、通過電力を監視するようにされている。

【 0 0 6 3 】

サーキュレータ 1 5 からアッテネータ 2 5 に至る通過損失を予め測定しておき、出力電力から、パワーメータ 2 3 で観測される反射電力とパワーメータ 2 6 で観測される通過電力と予め測定した通過損失とを減じることにより、PLL A 加熱部 1 7 で消費されている電力を間接的に把握することができる。PLL A 加熱部 1 7 で消費されている電力は、PLL A シート 1 で熱に変換されているエネルギーであり、この値をもって PLL A シート 1 がどのぐらいの温度に加熱されているかをおおよそ知ることができる。正確に知るためには赤外線非接触温度計などを用いて、PLL A シート 1 の温度を直接測定すればよい。

40

【 0 0 6 4 】

PLL A の融点はおよそ 170 °C 付近にあるが、分子の配向制御を行なうにはおよそ 140 ~ 150 °C 位が適していることが実験的に確かめられている。ただし、この温度は、PLL A の分子量や、添加物、分子の末端基の処理に依存するため、実際に用いる PLL A シート 1 に応じて適宜選択する。

【 0 0 6 5 】

バイアスティー 1 6 および 1 8 には、高圧直流電源 2 0 およびスイッチ 1 9 が接続され

50

ている。PLL Aシート1が配向に適する温度にまで加熱された状態で、スイッチ19をオンにし、PLL Aシート1に高電圧を印加する。マイクロ波により揺すられている双極子の少なくとも一部は、この高電圧による電場により、相対的に厚み方向（電場の方向）に配向する。この電圧の大きさや印加時間についても、分子量や添加物、分子の末端基の処理に依存するため、実際に用いるPLL Aシート1に応じて適宜選択する。

【0066】

所定の時間、マイクロ波および高電圧を印加し、これらを停止すると同時にPLL Aシート1を強制的に急冷して分子を固定する。尤も、冷却のタイミングは、必ずしもマイクロ波および高電圧の停止直後である必要はなく、冷却開始後にマイクロ波および高電圧を停止してもよく、マイクロ波を停止後に冷却を開始し、続いて高電圧を停止するという順序でも構わない。

10

【0067】

次に、PLL A加熱部17について説明する。

【0068】

図3は、図2に示したブロック図上のPLL A加熱部17を、伝送線路型として形成した場合のより詳細な図で、PLL A加熱部17を含むPLL A処理部30を表している。ここで、図3(a)はPLL A処理部30の平面図、図3(b)はPLL A処理部30の正面図を示している。また、図4(a)は図3(b)の線A-Aに沿う断面図であり、図4(b)は図3(a)の線B-Bに沿う断面図である。

20

【0069】

PLL A処理部30は筐体31を有し、筐体31にはPLL Aシート1を挿入するための孔33および34が設けられている。孔33および34は、図4(b)によく示されているように、筐体31の上下の壁部をそれぞれ貫通するように設けられている。PLL Aシート1は、これら上下の孔33および34を挿通した状態で処理される。

【0070】

筐体31には、それぞれ対をなすガイドローラ32aおよび32bならびにガイドローラ32cおよび32dが設けられており、PLL Aシート1は、これらガイドローラ32a~32dによって保持されている。ガイドローラ32a~32dを回転させることにより、PLL Aシート1は、図3(b)および図4(b)での上下方向に移動させることができる。図4(b)に示したガイドローラ32a~32dの各々のまわりの矢印およびPLL Aシート1の上方の矢印は、ガイドローラ32a~32dの回転方向およびPLL Aシート1の移動方向の一例を示している。なお、ガイドローラ32a~32dの駆動部については、図示を省略している。

30

【0071】

筐体31は、金属からなり、内部に空洞を形成しながら、同軸線路の外導体を構成している。筐体31を構成するために用いられる金属としては、銅、アルミ、真鍮、鉄、ステンレス鋼等が好適であり、必要に応じて、これらにめっきが施される。鉄またはステンレス鋼を用いる場合には、導電率が良くないので、伝送損失を考慮して、銅めっきまたは銀めっきを施すことが好ましい。

【0072】

筐体31の空洞内には、同軸線路の内導体（中心導体）としての内導体35aおよび35bが、インシュレータ37aおよび37bによって保持された状態で配置されている。図4において、内導体35aおよび35bは断面を表示していない。インシュレータ37aおよび37bは、誘電率の低い樹脂で形成されており、特にポリテトラフルオロエチレンが好適な材料である。

40

【0073】

内導体35aおよび35bは、各々の先端部38aおよび38bが互いに対向しており、これら先端部38aおよび38bは、図4(a)によく示されているように、他の部分に比べて広がった形状を有している。これら広がった形状を有する先端部38aおよび38bには、それぞれ、高電圧印加用導体としての複数のピン導体36aおよび36b

50

が過不足なく互いに対をなすように設けられている。

【0074】

筐体31ならびに内導体35aおよび35bから構成される同軸線路は、その軸線方向での中央部であって、空洞が広がった部分を除いて、特性インピーダンス50で形成されており、高周波機器とのマッチングが取りやすくされている。また、筐体31の空洞は、その軸線方向中央部において、テーパを形成しながら拡大され、かつ、内導体35aおよび35bについても、空洞のテーパに応じてテーパを形成しながら、先端部38aおよび38bが広くされているため、インピーダンス変換が円滑に行なわれ、インピーダンス不整合による電力反射が極力発生しにくい構造とされている。

【0075】

上述したように、PLLA処理部30は伝送線路型とされているため、非常に広帯域の周波数に対して応用が可能で、しかも設計、製作が比較的簡単であるという特徴を持つ。

【0076】

ピン導体36aの各々とピン導体36bの各々とは、互いに対向しかつ互いに同一軸線上に位置するように位置合わせされている。PLLAシート1は、互いに対向するピン導体36aおよび36bによって挟持されている。そして、互いに対向するピン導体36aおよび36bの各対間で微小なコンデンサを形成するようにされている。ピン導体36aおよび36bの各々の直径は0.1mm~1mm程度とされており、ピン導体36aおよび36bの隣り合うもの同士の間隔は、ピン導体36aおよび36bの各々の半径以上とされている。ピン導体36aおよび36bの本数は適宜選択可能である。ピン導体36a

【0077】

ここでは、PLLAシート1を挟持するピン導体36aおよび36bは、PLLAシート1の両側で対として構成されている例を示したが、一方をピン導体として、他方を平面状導体としても構わない。このような形は後述のPLLA処理部50の説明の中で例示する。

【0078】

なお、図4に示すように、ピン導体36aおよび36bが両方で対とされていれば、PLLAシート1における、より極小な範囲の加熱に適している。これに代えて、一方をピン導体として、他方を平面状導体とした場合には、装置の組立が非常に簡単であるという利点をもたらされる。

【0079】

内導体35aおよび35bならびにピン導体36aおよび36bは、筐体31と同様、金属から構成される。ここで用いられる金属としては、銅、アルミニウム、真鍮、鉄、ステンレス鋼、インバー、42アロイ合金等が好適であり、必要に応じて、これらにめっきが施される。鉄、ステンレス鋼、インバーまたは42アロイ合金を用いる場合には、導電率が良くないので、伝送損失を考慮して、銅めっきや銀めっきを施すことが好ましい。

【0080】

また、マイクロ波を伝送することにより、PLLAシート1が加熱されるが、内導体35aおよび35bならびにピン導体36aおよび36bの熱伝導率が高いと、PLLAシート1の熱が逃げてしまうため、これら内導体35aおよび35bならびにピン導体36aおよび36bについては、鉄、ステンレス鋼、インバー、42アロイ合金等の熱伝導率の比較的低い材料を用いて構成することが好適である。特に、ピン導体36aおよび36bについては、熱膨張も考慮して、インバーまたは42アロイ合金から構成することが好ましい。

【0081】

なお、上記ピン導体36aおよび36bの好ましい配置例については、図10ないし図13を参照して後述する。

【0082】

上述のように、ピン導体 36 a および 36 b によって P L L A シート 1 が挟持された状態で、マイクロ波を入力して P L L A シート 1 を局部的に加熱し、かつ高電圧を印加して、少なくとも一部の P L L A 分子の螺旋軸を相対的に厚み方向に配向させた後、急冷することにより、P L L A 分子を固定することが行なわれる。

【 0 0 8 3 】

急冷時には、たとえば、筐体 31 の内部空洞に冷却用ガスを吹き込むようにされる。冷却用ガスを吹き込むための通路は、図 3 および図 4 には図示されていないが、内導体 35 a および 35 b の内部に冷却用ガスが流れる通路を設け、冷却時には、ピン導体 36 a および 36 b の付近に設けられた吹き出し口から、直接、P L L A シート 1 に向けて冷却用ガスが噴射されるようにすることが好ましい。冷却するための構造の具体例については、
10 図 5 を参照して後述する。

【 0 0 8 4 】

内導体 35 a および 35 b は、それぞれ、図 4 (a) に矢印 39 および 40 で示す方向に移動可能とされており、処理終了後に、内導体 35 a および 35 b を移動させて、P L L A シート 1 に対する挟持を解除し、ガイドローラ 32 a ~ 32 d を回転させて、P L L A シート 1 を所望量移動させる。P L L A シート 1 の移動後に再び内導体 35 a および 35 b を移動させて、ピン導体 36 a および 36 b にて P L L A シート 1 を挟持し、上述したマイクロ波加熱、高電圧印加、急冷のプロセスを実施する。これを繰り返すことにより、広い範囲にわたって、相対的に厚み方向に螺旋分子軸が配向した高圧電定数の P L L A シート 1 を得ることができる。
20

【 0 0 8 5 】

次に、図 5 を参照して、P L L A シート 1 を冷却するために適した構造について説明する。図 5 は、図 4 に示した一方の内導体 35 a を断面図で示すとともに、図 4 では図示が省略されていた、筐体 31 および内導体 35 a および 35 b からなる伝送線路部の一方端部を図示している。

【 0 0 8 6 】

図 5 に示すように、内導体 35 a は内部が空洞とされ、ピン導体 36 a が設けられている先端部 38 a の端面には、ピン導体 36 a の各位置の近傍に複数の吹き出し口 41 が設けられている。マイクロ波による電流は、表皮効果により内導体 35 a の表層を流れるため、内導体 35 a の内部の空洞は、マイクロ波の伝送電流には影響しない。上記内導体 35 a は、別の内導体 42 に電氣的に連結され、内導体 42 側から伝送される電力を反射することなく伝えるようにされている。内導体 42 が位置している同軸線路についても、特性インピーダンスが 50 Ω とされている。
30

【 0 0 8 7 】

内導体 35 a の他方端には、たとえばポリテトラフルオロエチレンからなるチューブ 43 が挿入されている。冷却用ガスは、矢印 44 の方向からチューブ 43 へと導入され、次いで、吹き出し口 41 から矢印 45 の方向へ吹き出されることによって、ピン導体 36 a および P L L A シート 1 (図 5 では図示を省略) を冷却する。冷却用ガスとしては、H C F C (- 1 3 4 a) または L P G が好適である。なお、冷却用ガスに代えて、液体を用いてもよい。液体としては、たとえば液体窒素が好適に用いられ、この場合、液体窒素は吹き出し口 41 から噴霧されることが好ましい。
40

【 0 0 8 8 】

上述したような冷却のための構造は、内導体 35 a 側のみに設けられても、他方の内導体 35 b にのみ設けられても、さらには、内導体 35 a および 35 b の双方に設けられてもよい。

【 0 0 8 9 】

上述のような冷却のための構造によれば、P L L A シート 1 を効率良く冷却することができるとともに、冷却用ガスまたは液体を無駄なく用いることができる。

【 0 0 9 0 】

次に、伝送線路型とは異なった形式の P L L A 加熱部 17 について説明する。
50

【 0 0 9 1 】

図 6 は、図 2 に示したブロック図上の P L L A 加熱部 1 7 を、共振器型として構成した場合のより詳細な図で、P L L A 加熱部 1 7 を含む P L L A 処理部 5 0 を表している。ここで、図 6 (a) は P L L A 処理部 5 0 の正面図、図 6 (b) は P L L A 処理部 5 0 の側面図を示している。また、図 7 (a) は図 6 (b) の線 B - B に沿う断面図であり、図 7 (b) は図 6 (a) の線 A - A に沿う断面図である。

【 0 0 9 2 】

P L L A 処理部 5 0 は筐体 5 1 を有し、筐体 5 1 には P L L A シート 1 を挿入するための孔 5 5 a および 5 5 b が設けられている。なお、図 7 (a) に示すように、孔 5 5 a が設けられた壁面と対向する壁面には孔 5 5 a と同様の孔が設けられている。図示していないが、孔 5 5 b が設けられた壁面と対向する壁面にも同様に孔 5 5 b と同様の孔が設けられている。P L L A シート 1 は、図 7 (a) によく示されているように、孔 5 5 a とそれに対向する孔とを挿通するように、また、孔 5 5 b とそれに対向する孔とを挿通するように配置される。図 7 においては、前述の図 3 および図 4 に示した P L L A 処理部 3 0 において設けられたガイドローラ 3 2 a ~ 3 2 d に対応するガイドローラの図示を省略している。

10

【 0 0 9 3 】

筐体 5 1 は導電率の良い金属から構成されている。用いられる金属としては、銅、アルミニウム、真鍮、鉄、ステンレス鋼が好適であり、必要に応じて、これらにめっきが施される。鉄またはステンレス鋼を用いる場合には、導電率が良くないので、挿入損失を考慮して、銅めっきまたは銀めっきを施すことが好ましい。

20

【 0 0 9 4 】

筐体 5 1 は、電磁波をシールドする役目を担っており、内部の空洞が共振空洞となる。P L L A 処理部 5 0 は基本的に半同軸空洞フィルタをなす。筐体 5 1 は半同軸空洞フィルタの外導体となる。図 6 および図 7 に示したものは、2 段のバンドパスフィルタを構成している。

【 0 0 9 5 】

筐体 5 1 の外側には、フィルタに電力を供給する入出力部としてコネクタ 5 2 a および 5 2 b が設けられている。このようなバンドパスフィルタは基本的に対称形状であるため、コネクタ 5 2 a および 5 2 b のどちらを入力としても出力としても構わない。ここでは便宜上、コネクタ 5 2 a を入力側、コネクタ 5 2 b を出力側として説明する。

30

【 0 0 9 6 】

コネクタ 5 2 a の中心導体には金属線からなる入力リード 5 6 a の一方端が接続されている、入力リード 5 6 a の他方端は中心導体 5 7 a と接続されている。中心導体 5 7 a の一方端には複数のピン導体 5 8 a が設けられている。ピン導体 5 8 a の先端に対向するように、平面状導体を与えるベース電極 6 0 a が設けられている。ピン導体 5 8 a の先端とベース電極 6 0 a との間にはわずかな隙間があり、ここに P L L A シート 1 が挟持され、この部分は等価回路的にコンデンサを形成している。中心導体 5 7 a の他方端は、所定の距離を隔てて、周波数調整ねじ 5 3 a の先端と対向している。

40

【 0 0 9 7 】

詳細な説明は省略するが、コネクタ 5 2 b に関連して設けられる、出力リード 5 6 b、中心導体 5 7 b、ピン導体 5 8 b、ベース電極 6 0 b、および周波数調整ねじ 5 3 b は、図 7 (b) から明らかなように、それぞれ、上述したコネクタ 5 2 a に関連して設けられる、出力リード 5 6 a、中心導体 5 7 a、ピン導体 5 8 a、ベース電極 6 0 a、および周波数調整ねじ 5 3 a と同様な構成および配置とされている。

【 0 0 9 8 】

中心導体 5 7 a と中心導体 5 7 b との中間付近には結合調整ねじ 5 4 が挿入されている。

【 0 0 9 9 】

図示した構成では、P L L A シート 1 を挟持しているのは、ピン導体 5 8 a とベース電

50

極 60 a、あるいはピン導体 58 b とベース電極 60 b である。前述の図 3 および図 4 に示した PLLA 処理部 30 の場合と同様、ベース電極 60 a および 60 b に代えてピン導体を配置して、ピン導体 58 a および 58 b の各々と対となるような構造としても構わない。

【0100】

PLLA 処理部 50 においては、周波数調整ねじ 53 a および 53 b、結合調整ねじ 54、入力リード 56 a、ならびに出力リード 56 b を調整することにより、元々の電気設計を逸脱しない範囲内で、フィルタを所望の特性に調整することができる。

【0101】

中心導体 57 a および 57 b、周波数調整ねじ 53 a および 53 b、結合調整ねじ 54、ベース電極 56 a および 56 b、ならびにピン導体 58 a および 58 b は、金属から構成されている。筐体 51 の場合と同様に、ここで用いられる金属としては、銅、アルミニウム、真鍮、鉄、ステンレス鋼が好適であり、必要に応じて、これらにめっきが施される。鉄またはステンレス鋼を用いる場合には、導電率が良くないので、挿入損失を考慮して、銅めっきまたは銀めっきを施すことが好ましい。

10

【0102】

中心導体 57 a および 57 b は、図示していないが、低誘電率の絶縁性素材によって筐体 51 に固定されている。低誘電率素材として、ポリテトラフルオロエチレンが好適である。

【0103】

ピン導体 58 a および 58 b の構成に関しては、前述した PLLA 処理部 30 の場合と同様の説明となるため、ここでは説明を省略する。

20

【0104】

ベース電極 60 a および 60 b には、図 7 (a) に示すように、外側に向く開口を有する凹部 (座繰り部) 61 が形成され、この凹部 61 の底面壁 62 は非常に薄く形成されている、底面壁 62 の厚みは、具体的には 0.3 ~ 0.8 mm 程度であることが好ましい。ベース電極 60 a および 60 b は、熱伝導率の良い金属で形成するのが好ましく、たとえばアルミニウム、銅が好適である。

【0105】

ピン導体 58 a および 58 b とベース電極 60 a および 60 b とによって挟持された、PLLA シート 1 は、マイクロ波を入力することにより加熱される。前述したように、加熱された PLLA シート 1 には、高電圧を印加した後、急冷が必要である。凹部 61 の底面壁 62 に直接冷却ガスを吹き付けることによって、底面壁 62 は瞬時に冷却され得る。このとき、底面壁 62 が熱伝導率の良い金属から構成され、その厚みが十分に薄いと、PLLA シート 1 もほぼ同時に冷却されることとなる。冷却ガスに関しては前述と同様である。

30

【0106】

この PLLA 処理部 50 は、共振器型とされているために、PLLA シート 1 に加わる電界強度が伝送線路型に比較して格段に高くなり、中心周波数 2.4 GHz で設計したフィルタでは、電界強度は伝送線路型の 100 倍にもなる。

40

【0107】

図 8 は、PLLA 処理部 50 の簡略化モデルを用いて有限要素法シミュレーションを行なった結果を示している。図 8 において、矢印は電場ベクトルを示しており、その大きさが電場の強さを示している。PLLA シート 1 を挿入する位置に非常に大きな電場ベクトルがあることがわかる。よって、この PLLA 処理部 50 によれば、マイクロ波による加熱の際に、伝送線路型と比較してアンプの出力を下げる事が可能である。

【0108】

前述したように、図 6 および図 7 に示した PLLA 処理部 50 は、2 段のバンドパスフィルタを構成している。半同軸共振器を 1 つだけ使用した 1 段のフィルタとしても使用可能であるが、この場合には、共振周波数を含めて極近傍の周波数のみを通すバンドパ

50

スフィルタとなるため非常に狭帯域であり挿入できる周波数が限られる。逆に、フィルタの段数を増やすことも可能であり、必要に応じて2段～10段程度のフィルタとすることができる。尤も、フィルタの段数に制限はないが、作製の手間を考えると10段までとするのが経験上好ましい。比帯域幅4%程度のフィルタであれば、4段～8段程度の段数で比較的容易に作製することができる。このときの通過帯域の中心周波数を2GHzとすれば、帯域幅70MHzのバンドパスフィルタとなり、複数の周波数を同時に印加できる装置とすることができる。

【0109】

図9は、PLLA処理部を4段のバンドパスとした場合の例を示している。図9は、図7(b)に対応する図である。図9において、図7(b)に示した要素に相当する要素には同様の参照符号を付し、重複する説明は省略する。図9に示したPLLA処理部50aは、中心導体57aおよび57bに加えて、中心導体57cおよび57dをさらに備え、周波数調整ねじ53aおよび53bに加えて、周波数調整ねじ53cおよび53dをさらに備えている。また、3個の結合調整ねじ54a、54bおよび54cを備えている。

10

【0110】

図9に示したPLLA処理部50aでは、PLLAシート1に対するマイクロ波加熱部は、必ず入力段、もしくは出力段、またはその両方に設けることができる。多段のバンドパスフィルタでは、入出力段に比較的大きなエネルギーが蓄積されるため、この部分の電界強度が大きい。また、高電圧は、バイアステー16および18(図2参照)を介して印加されるため、伝送線路(コネクタ)の中心導体から直接導体で接続される入出力段では高電圧の印加を簡単に行なうことができる。

20

【0111】

なお、ここではコムライン型の4段の半同軸空洞フィルタの例について示したが、一般的によく知られているように、インターディジタル型にすることにより、非常に広帯域のフィルタとすることもできる。

【0112】

次に、図4に示したピン導体36aおよび36bの好ましい配置に関するいくつかの実施形態について、図10ないし図13を参照して説明する。図10ないし図13は、図4に示した一方の内導体35aの先端部38aの端面をPLLAシート1側から見て、ピン導体36aを示した図である。なお、これらの図面において、前述の図5に示した吹き出し口41の図示は省略されている。また、他方のピン導体36bについては、図示および説明を省略するが、図示したピン導体36aと実質的に対称の配置となっている。

30

【0113】

まず、図10を参照して、複数のピン導体36aが、互いの間に所定の間隔を隔てながら1列に配置されている。

【0114】

図10に示した実施形態によれば、圧電性発現のための一連の処理(加熱、高電圧印加および冷却)が完了した後に、PLLAシートを、所定の距離ずつ、上下方向にずらしたり、左右方向にずらしたりし、この状態で、圧電性発現のための一連の処理を再び実施し、このような操作を繰り返すことにより、PLLAシートの広い範囲にわたって、圧電性発現のための処理が施される。

40

【0115】

次に、図11に示した実施形態では、複数のピン導体36aが、互いの間に所定の間隔を隔てながら2列をなして配置されている。そして、各列のピン導体36aの各々の位置は、他の列のピン導体36aの各々の間に形成される間隔部分に対応するようにされている。

【0116】

図11に示した実施形態によれば、圧電性発現のための一連の処理が完了した後に、PLLAシートを距離dだけ上方(または下方)にずらし、この状態で、圧電性発現のための一連の処理を再び実施し、このような操作を繰り返すことにより、PLLAシートの広

50

い範囲にわたって、圧電性発現のための処理が施される。

【0117】

次に、図12に示した実施形態では、複数のピン導体36aが、互いの間に所定の間隔を隔てながら4列をなして配置されている。そして、各列のピン導体36aの各々の位置は、隣の列のピン導体36aの各々の間に形成される間隔部分に対応するようにされている。

【0118】

図12に示した実施形態によれば、圧電性発現のための一連の処理が完了した後に、PLLAシートを距離dだけ上方（または下方）にずらし、この状態で、圧電性発現のための一連の処理を再び実施し、次は、PLLAシートを距離dの3倍だけ上方（または下方）にずらし、この状態で、圧電性発現のための一連の処理を再び実施し、その次は、PLLAシートを距離dだけ上方（下方）にずらし、この状態で、圧電性発現のための一連の処理を再び実施する。以後、ずらす操作を距離dの3倍で行なう場合とずらす操作を距離dで行なう場合とを交互に実施しながら、上述のような操作を繰り返すことにより、PLLAシートの広い範囲にわたって、圧電性発現のための処理が施される。

【0119】

より広い面積にわたって圧電性発現のための処理を一括して行なえる点で、図12に示した実施形態が最も優れており、次に優れているのは図11に示した実施形態である。

【0120】

内導体35aおよび35bの寸法ならびにピン導体36aおよび36bの横方向および縦方向での配置数は、設計に応じて適宜選択すればよい。また、ピン導体36aおよび36bは、必ずしも断面が円形である必要はなく、楕円、長円、正方形、多角形等であってもよい。

【0121】

図13には、ピン導体36aの断面が正方形とされた例が示されている。図13に示したピン導体36aの配置は、図12に示したものと実質的に同様であるが、隣り合うピン導体36a間の間隔は、各ピン導体36aの断面を規定する正方形の一辺の長さと等しくされている。なお、図13では、ピン導体36aの位置をわかりやすくするため、ピン導体36aに網掛けが施されている。

【0122】

図13に示した実施形態では、PLLAシートに対する圧電性発現のための処理を実施するにあたっては、図12に示した実施形態の場合と同様の操作が実施される。しかしながら、図12に示した実施形態の場合と異なるのは、図13に示した実施形態によれば、未処理部分のより少ない高圧電定数のPLLAシートを得ることができるという点である。

【0123】

なお、図10ないし図13を参照して説明したピン導体36aおよび36bの好ましい配置は、図7および図9に示したピン導体58aおよび58bの配置においても採用され得る。

【符号の説明】

【0124】

- 1 PLLAシート
- 2 PLLA分子の螺旋軸
- 10 製造装置
- 11, 12 シグナルジェネレータ
- 13 ミキサ
- 14 アンプ
- 16, 18 バイアスティー
- 17 PLLA加熱部
- 20 高圧直流電源

10

20

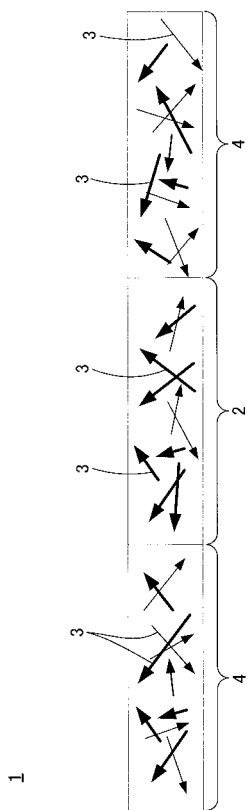
30

40

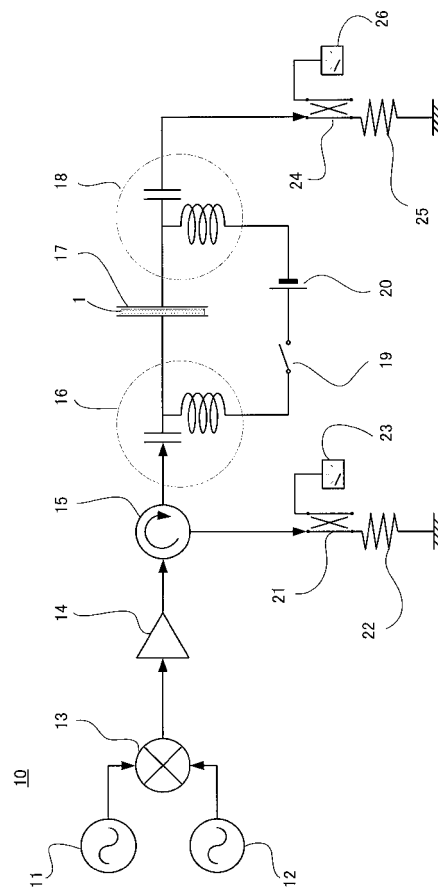
50

- 30, 50, 50a PLLA 処理部
- 31, 51 筐体
- 35a, 35b 内導体
- 36a, 36b, 58a, 58b ピン導体
- 41 吹き出し口
- 57a, 57b, 57c, 57d 中心導体
- 60a, 60b ベース電極

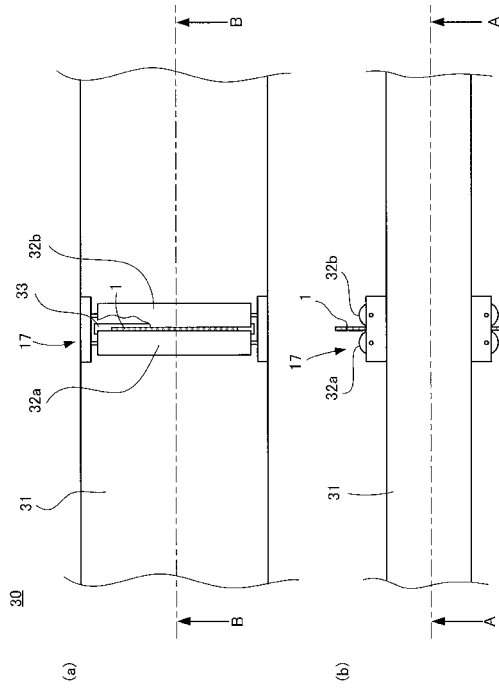
【図1】



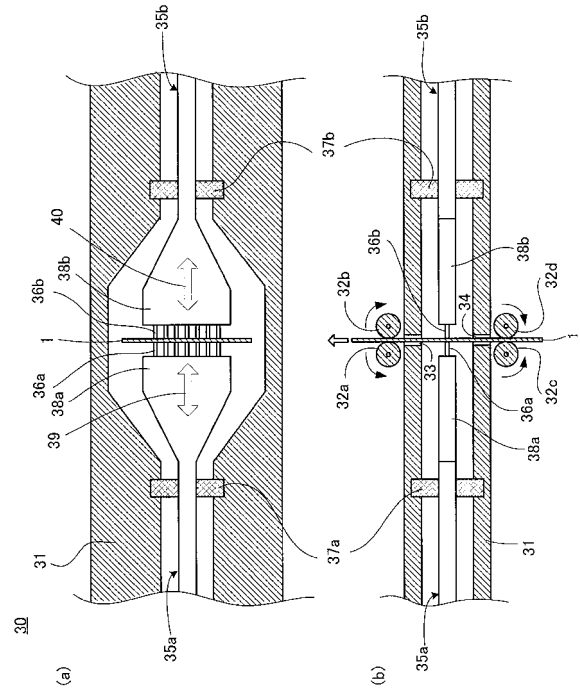
【図2】



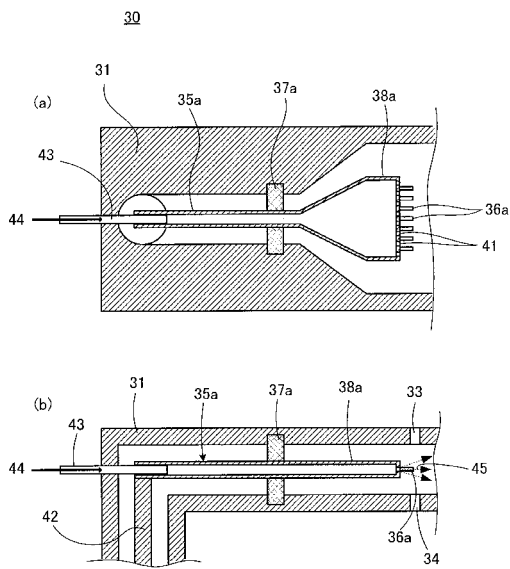
【 図 3 】



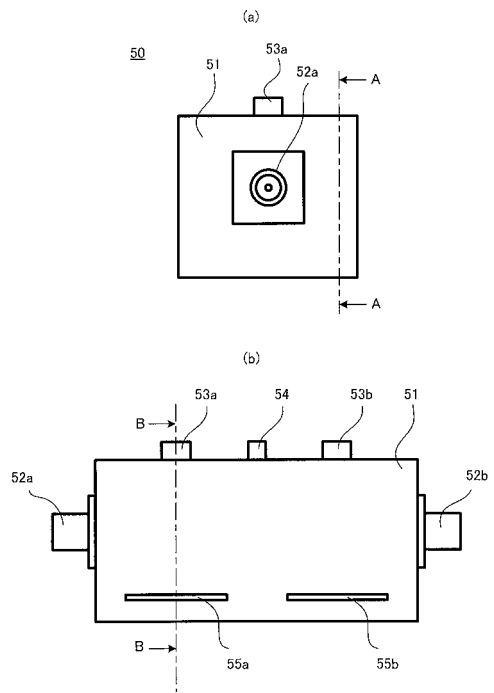
【 図 4 】



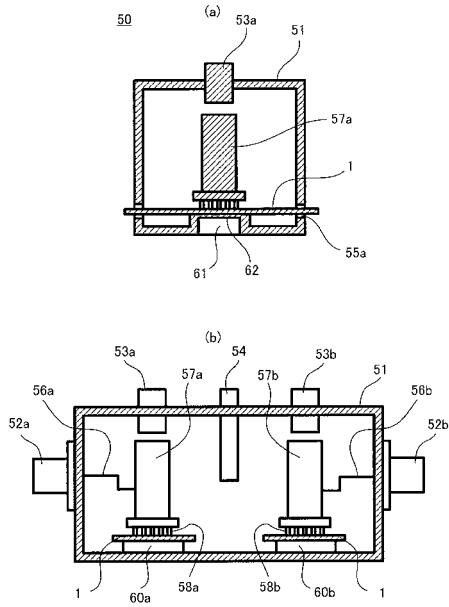
【 図 5 】



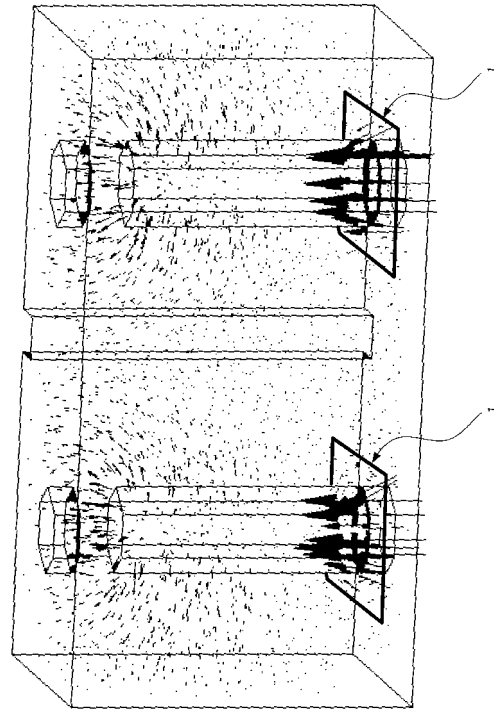
【 図 6 】



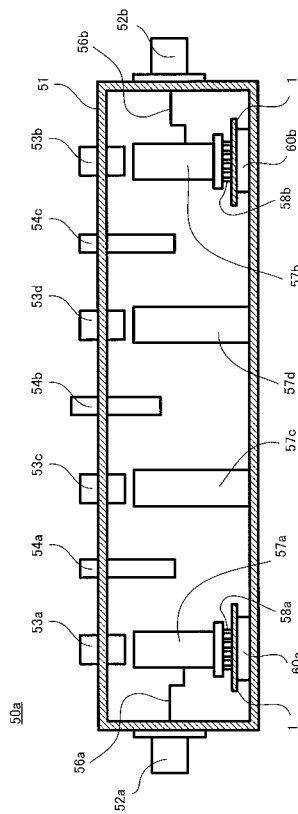
【 図 7 】



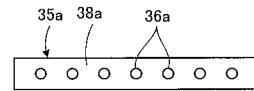
【 図 8 】



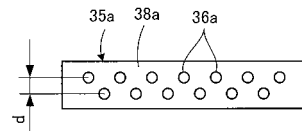
【 図 9 】



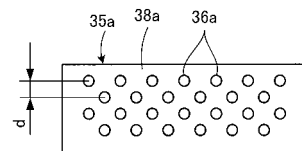
【 図 10 】



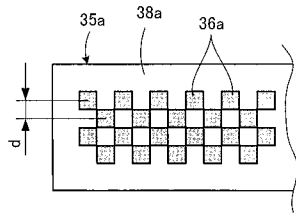
【 図 11 】



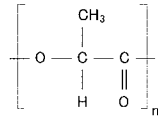
【 図 12 】



【図13】



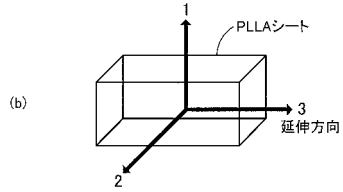
【図14】



【図15】

(a)

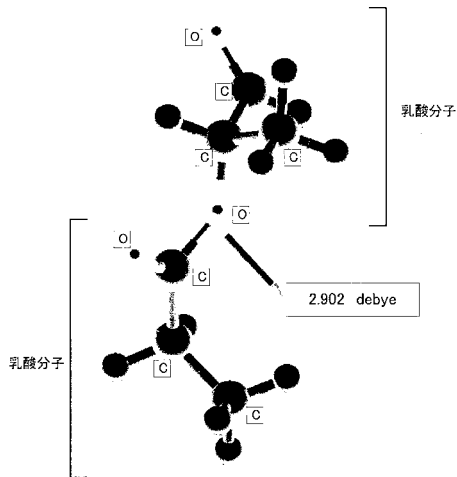
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{36} \end{pmatrix}$$



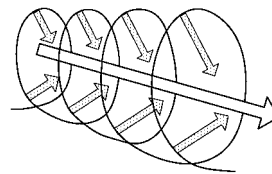
(c)

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

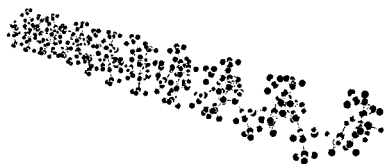
【図16】



【図18】



【図17】



フロントページの続き

審査官 井出 和水

- (56)参考文献 特開2005-203590(JP,A)
特開2005-213376(JP,A)
特開平05-152638(JP,A)
特開平09-110968(JP,A)
特開2000-144545(JP,A)
特開2002-293943(JP,A)
特開2010-132899(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 41/193
C08J 7/00
C08L 101/16
H01L 41/45