

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7602995号
(P7602995)

(45)発行日 令和6年12月19日(2024.12.19)

(24)登録日 令和6年12月11日(2024.12.11)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 1 P	3/00 (2006.01)	H 0 1 P	3/00 1 0 1
H 0 1 P	3/08 (2006.01)	H 0 1 P	3/08 1 0 0
H 0 1 P	11/00 (2006.01)	H 0 1 P	11/00 1 0 2

請求項の数 11 (全20頁)

(21)出願番号	特願2021-206456(P2021-206456)	(73)特許権者	000004064 日本碍子株式会社 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(22)出願日	令和3年12月20日(2021.12.20)	(74)代理人	100122471 弁理士 初井 孝文
(65)公開番号	特開2023-26284(P2023-26284A)	(72)発明者	谷 健太郎 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
(43)公開日	令和5年2月24日(2023.2.24)	(72)発明者	岡田 直剛 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
審査請求日	令和5年7月20日(2023.7.20)	(72)発明者	近藤 順悟 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2021-131757(P2021-131757)	審査官	岸田 伸太郎
(32)優先日	令和3年8月12日(2021.8.12)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 導波素子および導波素子の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

周波数が30GHz以上20THz以下である電磁波を導波可能な導波素子であって、無機材料基板と、前記無機材料基板の上部に設けられている導体層であり、所定方向に延びている信号電極と、前記所定方向と交差する方向において前記信号電極と間隔を空けて配置されている第1接地電極とを含む導体層と、前記無機材料基板に対して前記導体層と反対側に位置している支持基板と、前記無機材料基板と前記支持基板との間に位置している第2接地電極と、前記支持基板に対して前記第2接地電極と反対側に位置している第3接地電極と、前記第1接地電極と前記第3接地電極とを電氣的に接続し、かつ、前記第2接地電極と電氣的に接続されているビアと、を備え、前記無機材料基板の厚みtは、下記式(1)を満たしている、導波素子；

【数1】

$$t < \frac{\lambda}{a\sqrt{\varepsilon}} \quad (1)$$

10

(式中、 t は無機材料基板の厚みを表し； λ は導波素子に導波される電磁波の波長を表し； ε は無機材料基板の比誘電率を表し； a は3以上の数値を表す)。

【請求項2】

前記式(1)において、 a が6以上の数値を表す、請求項1に記載の導波素子。

【請求項3】

前記無機材料基板の300GHzにおける比誘電率と誘電正接 $\tan \delta$ は、それぞれ3.5以上12.0以下、0.003以下である、請求項1または2に記載の導波素子。

【請求項4】

前記無機材料基板は、石英ガラス基板である、請求項3に記載の導波素子。

【請求項5】

前記導体層は、コプレーナ型電極である、請求項1から4のいずれかに記載の導波素子。

20

【請求項6】

前記導体層と前記第2接地電極は、マイクロストリップ型電極である、請求項1から4のいずれかに記載の導波素子。

【請求項7】

前記導波素子を伝搬する電磁波の周波数が30GHz以上5THz以下において、前記無機材料基板の厚みは、10 μ m以上である、請求項5または6に記載の導波素子。

【請求項8】

前記ビアが配置されるビアホールであって、前記無機材料基板、前記第2接地電極および前記支持基板を貫通しているビアホールを有する、請求項1～7のいずれかに記載の導波素子。

30

【請求項9】

前記ビアホールは、前記無機材料基板の表面(上面)方向から見て円形状を有し、前記第2接地電極に近づくにつれて小径となるテーパ形状を有している、請求項8に記載の導波素子。

【請求項10】

前記ビアホールは、前記無機材料基板の表面(上面)方向から見て円形状を有し、前記第2接地電極に近づくにつれて大径となるテーパ形状を有している、請求項8に記載の導波素子。

【請求項11】

請求項8～10のいずれかに記載の導波素子の製造方法であって、
前記無機材料基板、前記第2接地電極および前記支持基板をこの順に備え、それらを一括して貫通するビアホールを有する積層体を準備する工程と、
前記ビアホール内に前記ビアを形成し、前記支持基板の下部に前記第3接地電極を形成し、前記無機材料基板の上部に前記導体層を形成する工程と、を含む導波素子の製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、導波素子および導波素子の製造方法に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

ミリ波～テラヘルツ波を導波する素子の1つとして、導波素子の開発が進められている。導波素子は、光導波路、次世代高速通信、センサ、レーザー加工、太陽光発電等の幅広い分野への応用および展開が期待されている。このような導波素子の一例として、厚み300 μmのガラス基板と、ガラス基板上に設けられるコプレーナ型導体と、ガラス基板におけるコプレーナ型導体と反対側の面に設けられる接地電極とから構成される接地コプレーナ導波路を用いた技術が提案されている（特許文献1）。

このような技術による導波素子を各種産業製品に採用する場合、導波素子を、IC基板やプリント基板などの支持基板に実装することが検討される。しかし、導波素子を支持基板に実装して、ミリ波～テラヘルツ波（とりわけ300 GHz以上の電磁波）を導波すると、伝搬損失が顕著に増大するという問題がある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【文献】特表2021-509767号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

本発明の主たる目的は、周波数が30 GHz以上である高周波数の電磁波を導波する場合であっても伝搬損失を十分に低減できる導波素子およびその製造方法を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本発明の実施形態による導波素子は、周波数が30 GHz以上20 THz以下である電磁波を導波可能である。該導波素子は、無機材料基板と；前記無機材料基板の上部に設けられている導体層であり、所定方向に延びている信号電極と、前記所定方向と交差する方向において前記信号配線と間隔を空けて配置されている第1接地電極とを含む導体層と；前記無機材料基板に対して前記導体層と反対側に位置している支持基板と；前記無機材料基板と前記支持基板との間に位置している第2接地電極と；前記支持基板に対して前記第2接地電極と反対側に位置している第3接地電極と；前記第1接地電極と前記第3接地電極とを電氣的に接続し、かつ、前記第2接地電極と電氣的に接続されているビアと；を備えている。前記無機材料基板の厚みtは、下記式(1)を満たしている。

30

【数1】

$$t < \frac{\lambda}{a\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

40

（式中、tは、無機材料基板の厚みを表す。λは、導波素子に導波される電磁波の波長を表す。εは、無機材料基板の比誘電率を表す。aは、3以上の数値を表す。）

1つの実施形態においては、上記式(1)において、aが6以上の数値を表す。

1つの実施形態においては、上記無機材料基板の300 GHzにおける比誘電率εと誘電正接（誘電体損失）tan δは、それぞれ3.5以上12.0以下、0.003以下である。

1つの実施形態においては、上記無機材料基板は、石英ガラス基板である。

50

1つの実施形態においては、上記導体層は、コプレーナ型電極である。

1つの実施形態においては、上記導体層と上記第2接地電極は、マイクロストリップ型電極である。

1つの実施形態においては、上記導波素子を伝搬する電磁波の周波数が30GHz以上5THz以下において、上記無機材料基板の厚みは、10μm以上である。

1つの実施形態においては、上記導波素子は、上記ビアが配置されるビアホールを有している。該ビアホールは、上記無機材料基板、上記第2接地電極および上記支持基板を貫通している。

1つの実施形態においては、上記ビアホールは、上記無機材料基板の表面(上面)方向から見て円形状を有し、上記第2接地電極に近づくにつれて小径となるテーパ形状を有している。

10

1つの実施形態においては、上記ビアホールは、上記無機材料基板の表面(上面)方向から見て円形状を有し、上記第2接地電極に近づくにつれて大径となるテーパ形状を有している。

本発明の別の局面による導波素子の製造方法は、上記した導波素子を製造する方法であって、上記無機材料基板、上記第2接地電極および上記支持基板をこの順に備え、それらを一括して貫通するビアホールを有する積層体を準備する工程と；上記ビアホール内に上記ビアを形成し、上記支持基板の下部に上記第3接地電極を形成し、上記無機材料基板の上部に上記導体層を形成する工程と；を含んでいる。

【発明の効果】

20

【0006】

本発明の実施形態によれば、周波数が30GHz以上である高周波数の電磁波を導波する場合であっても伝搬損失を十分に低減できる導波素子を実現することができる。また、本発明の別の局面による実施形態によれば、上記した導波素子を円滑に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明の実施形態による導波素子の概略斜視図である。

【図2】図1の導波素子のII-II'断面図である。

【図3】本発明の別の実施形態による導波素子のII-II'断面図である。

30

【図4】本発明の別の実施形態による導波素子のIV-IV'断面図である。

【図5】本発明のさらに別の実施形態による導波素子のII-II'断面図である。

【図6】本発明のさらに別の実施形態による導波素子のII-II'断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、本発明の実施形態について説明するが、本発明はこれらの実施形態には限定されない。

A. 導波素子の全体構成

図1は、本発明の1つの実施形態による導波素子の概略斜視図であり；図2は、図1の導波素子のII-II'断面図である。

40

図示例の導波素子100は、周波数が30GHz以上20THz以下である電磁波、言い換えれば、ミリ波～テラヘルツ波の電磁波を導波可能である。なお、ミリ波とは、代表的には周波数が30GHz～300GHz程度の電磁波であり；テラヘルツ波とは、代表的には周波数が300GHz～20THz程度の電磁波である。とりわけ、導波素子100は、周波数が30GHz以上2THz以下である電磁波(特に周波数が30GHz以上1THz以下である電磁波)を優れた伝搬損失で導波できる。

【0009】

導波素子100は、無機材料基板1と；信号電極2aおよび第1接地電極2b, 2cを含む導体層2と；支持基板7と；第2接地電極3と；第3接地電極4と；ビア5と；を備えている。

50

導体層 2 は、無機材料基板 1 の上部に設けられている。信号電極 2 a は、所定方向（導波方向）に延びている。第 1 接地電極 2 b , 2 c のそれぞれは、信号電極 2 a の延びる所定方向と交差する方向において、信号電極 2 a と間隔を空けて配置されている。支持基板 7 は、無機材料基板 1 に対して導体層 2 と反対側に位置している。第 2 接地電極 3 は、無機材料基板 1 と支持基板 7 との間に位置している。第 3 接地電極 4 は、支持基板 7 に対して第 2 接地電極 3 と反対側に位置している。ビア 5 は、第 1 接地電極 2 b , 2 c と第 3 接地電極 4 とを電氣的に接続し、かつ、第 2 接地電極 3 と電氣的に接続されている。無機材料基板 1 の厚み t は、下記式 (1) を満たしている。

【数 1】

$$t < \frac{\lambda}{a\sqrt{\epsilon}} \quad (1)$$

10

(式中、 t は無機材料基板の厚みを表す。 λ は導波素子に導波される電磁波の波長を表す。 ϵ は無機材料基板の比誘電率を表す。 a は 3 以上の数値を表す。)

20

上記した信号電極を含む導体層を備える導波素子では、導波素子に入力される高周波数の電磁波は、無機材料基板中を伝搬する。

上記の構成によれば、無機材料基板の厚みが上記式 (1) を満足するので、導波素子が高周波数の電磁波を導波する場合であっても、スラブモードの誘起および / または基板共振の発生を抑制できる。しかし、無機材料基板の厚みが上記式 (1) を満足すると、伝搬する電磁波が無機材料基板から支持基板に漏洩し、支持基板の誘電体損失による伝搬損失が大きくなるという新たな問題が生じ得る。

これに対して、上記の構成では、第 2 接地電極が無機材料基板と支持基板との間に配置され、第 3 接地電極が支持基板に対して第 2 接地電極と反対側に配置されているので、電磁波が支持基板に漏洩することを抑制することができる。そのため、スラブモードの誘起および / または基板共振の発生を抑制できつつ、電磁波の支持基板への漏洩を抑制できる。

30

また、ビアが第 1 接地電極と第 2 接地電極と第 3 接地電極とを電氣的に接続しているので、グラウンドを強化でき、周囲の線路や素子による浮遊容量を抑制できる。また、基板に放熱機能を付加することができる。さらに、高次モードでの伝送を抑制することができる。

この点、第 1 接地電極と第 2 接地電極とを接続するビアと、第 2 接地電極と第 3 接地電極とを接続するビアとを別々に設けて、第 1 接地電極と第 2 接地電極と第 3 接地電極とを電氣的に接続することも想定され得る。しかし、そのような構成では、第 1 接地電極および第 2 接地電極を接続するビアと、第 2 接地電極および第 3 接地電極を接続するビアとの相対的な位置精度を確保することが難しく、位置ずれが大きいと周波数特性においてリップルが顕著に発生する可能性がある。さらに、そのような構成を有する導波素子の製造は、非常に煩雑である。

40

これに対して、上記の構成では、ビアが第 1 接地電極と第 2 接地電極と第 3 接地電極とを電氣的に接続しているので、ビアにおいて、第 1 接地電極と第 2 接地電極との間に位置する部分と、第 2 接地電極と第 3 接地電極との間に位置する部分との相対的な位置精度を簡便に確保することができ、リップルの発生を抑制することができる。

これらの結果、導波素子において、周波数が 30 GHz 以上である高周波数の電磁波を導波する場合であっても、伝搬損失を十分に低減できる。

なお、導波素子は小型化の開発が進められており、将来的には回路の集積化が見込まれる。上記の導波素子では、無機材料基板の薄板化が図られているので、優れた伝搬損失性

50

能を確保しながら、小型化の要望にも対応することができる。

【 0 0 1 0 】

1つの実施形態において、上記式(1)において、 a は6以上の数値を表す。

無機材料基板の厚みが、 a が6以上の数値を表す式(1)を満足すると、上記した高周波数の電磁波を導波する場合の伝搬損失の低減を安定して図ることができる。

【 0 0 1 1 】

無機材料基板1の100GHz~10THzにおける誘電率は、例えば10.0以下であり、好ましくは3.7以上10.0以下であり、より好ましくは3.8以上9.0以下である。使用する周波数が300GHzである場合、無機材料基板1の比誘電率は、代表的には3.5以上であり、代表的には12.0以下、好ましくは10.0以下、より好ましくは5.0以下である。無機材料基板の誘電率がこのような範囲であれば、伝搬する電磁波の遅延を抑制できる。

無機材料基板の誘電正接($\tan \delta$)は、使用する周波数において好ましくは0.01以下であり、より好ましくは0.008以下であり、さらに好ましくは0.006以下であり、特に好ましくは0.004以下である。使用する周波数が300GHzである場合、無機材料基板1における誘電正接 $\tan \delta$ は、好ましくは0.0030以下、より好ましくは0.0020以下、さらに好ましくは0.0015以下である。

誘電正接がこのような範囲であれば、導波路における伝搬損失を小さくすることができる。誘電正接は小さいほど好ましい。誘電正接は、例えば0.001以上であり得る。

無機材料基板の比誘電率 および誘電正接(誘電体損失) $\tan \delta$ が上記の範囲であると、上記した高周波数の電磁波(特に300GHz以上の電磁波)を導波する場合の伝搬損失の低減をより安定して図り得る。なお、比誘電率 および誘電正接(誘電体損失) $\tan \delta$ は、テラヘルツ時間領域分光法によって測定できる。また、本明細書において、比誘電率および誘電正接に関して測定周波数の言及がない場合、300GHzにおける比誘電率および誘電正接を意味する。

【 0 0 1 2 】

上記式(1)を満たす無機材料基板1の厚みは、具体的には1 μm 以上、好ましくは2 μm 以上、より好ましくは10 μm 以上、さらに好ましくは20 μm 以上であり、例えば1700 μm 以下、好ましくは500 μm 以下、より好ましくは200 μm 以下、さらに好ましくは100 μm 以下である。また、導波素子を伝搬する電磁波の周波数が30GHz以上5THz以下である場合、無機材料基板1の厚みは、好ましくは10 μm 以上である。

無機材料基板1の厚みが上記下限を下回ると、導波素子を構成する電極の厚みや幅が数 μm 程度まで小さくなり、表皮効果による影響で伝搬損失が大きくなることに加え、製造ばらつきによる線路性能のトレランスが著しく低下する。

無機材料基板1の厚みが上記上限以下であると、スラブモードの誘起や基板共振の発生が抑制され、広い周波数範囲にわたって伝搬損失が小さい(すなわち、広帯域の)導波素子を実現できる。

【 0 0 1 3 】

1つの実施形態において、導波素子は、コプレーナ線路を構成する。すなわち、導波素子の導体層は、コプレーナ型電極である。

1つの実施形態において、導体層2は、コプレーナ型電極である。図2に示すように、導体層2がコプレーナ型電極である場合、上記した高周波数の電磁波は、信号電極2aと第1接地電極2b、2cとの間に生じた電界と結合して、無機材料基板1中を伝搬する。

導体層2がコプレーナ型電極である場合、信号電極2aは、所定方向(導波方向)に延びる線形状を有している。第1接地電極2bは、信号電極2aの長手方向と交差(好ましくは直交)する方向において、信号電極2aとの間に所定の空隙部(ギャップ)を形成するように配置されている。第1接地電極2cは、信号電極2aの長手方向と交差(好ましくは直交)する方向において、信号電極2aに対して第1接地電極2bの反対側に位置し、信号電極2aとの間に所定の空隙部(ギャップ)を形成するように配置されている。空

10

20

30

40

50

隙部（ギャップ）は、信号電極 2 a の長手方向に延びている。

コプレーナ型電極の信号電極 2 a の幅（長手方向と直交する方向の寸法） w は、例えば $2\ \mu\text{m}$ 以上、好ましくは $20\ \mu\text{m}$ 以上、例えば $200\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $150\ \mu\text{m}$ 以下である。

上記空隙部（ギャップ）の幅（長手方向と交差する方向の寸法） g は、例えば $2\ \mu\text{m}$ 以上、好ましくは $5\ \mu\text{m}$ 以上、例えば $100\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $80\ \mu\text{m}$ 以下である。

【0014】

1つの実施形態において、導波素子は、マイクロストリップ線路を構成する。すなわち、導波素子の導体層と第2接地電極は、マイクロストリップ型電極である。

1つの実施形態において、導体層2と第2接地電極3とは、マイクロストリップ型電極である。図6に示すように、マイクロストリップ型電極である場合、上記した高周波数の電磁波は、信号電極2aと第2接地電極3との間に生じた電界と結合して、無機材料基板1中を伝搬する。

導体層2がマイクロストリップ型電極である場合、信号電極2aは、所定方向（導波方向）に延びる平帯形状を有している。第2接地電極3は、信号電極2aの長手方向と交差（好ましくは直交）する方向において、信号電極2aとの間に所定のギャップ（無機材料基板の厚み）を形成するように配置されている。ギャップは、信号電極2aの長手方向に延びている。一方、コプレーナ型電極と同様に第1接地電極2b, 2cを設置することもでき、第1接地電極2b, 2cは、信号電極2aの長手方向と交差（好ましくは直交）する方向において、信号電極2aに対して、上記したコプレーナ型電極の空隙部（ギャップ）の幅 g よりも離れて位置している。

マイクロストリップ型電極の信号電極2aの幅（長手方向と直交する方向の寸法） w は、例えば $100\ \mu\text{m}$ 以上、好ましくは $300\ \mu\text{m}$ 以上、例えば $800\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $500\ \mu\text{m}$ 以下である。

【0015】

なお、図示例では、導体層2がコプレーナ型電極およびマイクロストリップ型電極のいずれの場合であっても、信号電極2aは、導波素子100の全体にわたって延びているが、信号電極2aの長手方向の寸法は、導波素子の導波方向の寸法以下であれば任意の適切な寸法とすることができる。また、信号電極は、導波素子において、導波方向に並ぶように複数設けられていてもよい。

【0016】

本明細書において「導波素子」は、少なくとも1つの導波素子が形成されたウエハー（導波素子ウエハー）および当該導波素子ウエハーを切断して得られるチップの両方を包含する。

以下、導波素子の各構成要素の具体的な構成についてB項～G項で説明する。また、導波素子の製造方法については、H項で説明する。

【0017】

B. 無機材料基板

図1および図2に示すように、無機材料基板1は、導体層2が設けられる上面と、複合基板内に位置する下面と、を有する。

無機材料基板1は、無機材料で構成されている。無機材料として、本発明の実施形態による効果が得られる限りにおいて任意の適切な材料が用いられ得る。そのような材料としては、代表的には、単結晶石英（比誘電率4.5、誘電正接0.0013）、アモルファス石英（石英ガラス、比誘電率3.8、誘電正接0.0010）、スピネル（比誘電率8.3、誘電正接0.0020）、AlN（比誘電率8.5、誘電正接0.0015）、サファイア（比誘電率9.4、誘電正接0.0030）、SiC（比誘電率9.8、誘電正接0.0022）、酸化マグネシウム（比誘電率10.0、誘電正接0.0012）、および、シリコン（比誘電率11.7、誘電正接0.0016）が挙げられる。無機材料基板1は、好ましくはアモルファス石英から構成される石英ガラス基板である。

無機材料基板が石英ガラス基板であると、上記した高周波数の電磁波を導波する場合で

10

20

30

40

50

あっても、伝搬損失が増大することをより一層安定して抑制できる。さらに樹脂系の基板と比較して誘電率が大きいので基板サイズが小さくできる、また無機材料の中で比較的誘電率が小さいので低遅延化で有利である。

【0018】

無機材料基板1の抵抗率は、例えば100k・cm以上であり、好ましくは300k・cm以上であり、より好ましくは500k・cm以上であり、さらに好ましくは700k・cm以上である。抵抗率がこのような範囲であれば、電磁波が電子伝導に影響を与えることなく、材料中を低損失で伝搬することができる。この現象は、詳細には明らかではないが、抵抗率が小さいと電磁波が電子と結合し電磁波のエネルギーが電子伝導に奪われるために損失となると推察され得る。この観点から、抵抗率は大きいほど好ましい。抵抗率は、例えば3000k(3M)・cm以下であり得る。

10

【0019】

無機材料基板1の曲げ強度は、例えば50MPa以上であり、好ましくは60MPa以上である。曲げ強度がこのような範囲であれば、基板が変形しにくいので空孔径、空孔周期が安定となり、特性変化の小さい導波素子を実現することができる。曲げ強度は大きいほど好ましい。曲げ強度は、例えば700MPa以下であり得る。なお、曲げ強度は、JIS規格R1601に準拠して測定することができる。

【0020】

無機材料基板1の熱膨張係数(線膨張係数)は、例えば $10 \times 10^{-6} / K$ 以下であり、好ましくは $8 \times 10^{-6} / K$ 以下である。熱膨張係数がこのような範囲であれば、基板の熱変形(代表的には、反り)を良好に抑制することができる。なお、熱膨張係数はJIS規格R1618に準拠して測定することができる。

20

【0021】

また、上記したように、無機材料基板1における誘電正接 $\tan \delta$ は、小さいほど好ましい。300GHz帯における無機材料基板1の誘電正接($\tan \delta$)を低減する方法として、無機材料基板中に含有するOH基濃度を低減することが挙げられる。導波素子100が周波数250GHz~350GHzの電磁波を導波する場合、無機材料基板におけるOH基濃度は、例えば100wtppm以下、好ましくは15wtppm以下、より好ましくは10wtppm以下である。なお、無機材料基板におけるOH基濃度は、代表的には0wtppm以上であり得る。OH基濃度は、FTIR(フーリエ変換赤外線分光法)、ラマン散乱分光、カールフィーッシャー法によって測定することができる。

30

【0022】

また、無機材料基板1の誘電損失は、FQ値によって評価し得る。FQ値は、誘電正接($\tan \delta$)の逆数と、導波素子100に導波される電磁波の周波数の積とによって算出される。

無機材料基板1のOH基濃度が100wtppm以下である場合、電磁波の周波数が150GHz以上250GHz未満であると、FQ値は、好ましくは45000GHz以上であり、電磁波の周波数が周波数250GHz以上350GHz未満であると、FQ値は、好ましくは75000GHz以上である。

また、無機材料基板1のOH基濃度が15wtppm下である場合、電磁波の周波数が150GHz以上250GHz未満であると、FQ値は、好ましくは75000GHz以上であり、電磁波の周波数が250GHz以上350GHz未満であると、FQ値は、好ましくは105000GHz以上である。

40

さらに、無機材料基板1のOH基濃度が10wtppm下である場合、電磁波の周波数が150GHz以上250GHz未満であると、FQ値は、好ましくは150000GHz以上、代表的には270000GHz以下であり、電磁波の周波数が周波数250GHz以上350GHz未満であると、FQ値は、好ましくは250000GHz以上、代表的には390000GHz以下である。

【0023】

無機材料基板1の気孔率は、気孔サイズ1 μ m以上の気孔が、例えば0.5ppm以上

50

3000 ppm以下であり、好ましくは0.5 ppm以上1000 ppm以下であり、より好ましくは0.5 ppm以上100 ppm以下である。気孔率がこのような範囲であれば緻密化が可能であり、さらに、上記の空孔サイズを所定範囲とする効果との相乗効果により、機械強度および長期信頼性のいずれの観点からも安定な導波素子を実現できる。さらに、粒径も小さくできることから、後述するピアホールの形状がばらつくことなく均一化することができるという利点がある。なお、気孔率が3000 ppmを超えると、導波路における伝搬損失が大きくなる場合がある。気孔率を0.5 ppm未満とすることは、無機材料基板を用いる技術では困難である。

【0024】

気孔のサイズとは、気孔が略球状である場合には直径であり、略円柱状である場合には平面視した場合の直径であり、その他の形状である場合には気孔に内接する円の直径である。気孔の有無は、例えば、光CT (Computed Tomography) または透過率測定器により確認することができる。気孔のサイズは、例えば、走査型電子顕微鏡 (SEM) により測定することができる。

【0025】

C. 導体層

導体層2は、無機材料基板1に対して第2接地電極3と反対側に位置し、無機材料基板1の表面に設けられている。導体層2は、代表的には無機材料基板1と直接接触している。

導体層2は、代表的には金属で構成される。金属として、例えば、クロム (Cr)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、金 (Au)、銀 (Ag)、パラジウム (Pd)、チタン (Ti) が挙げられる。金属は、単独でまたは組み合わせて使用できる。導体層2は、単一層であってもよく、2層以上が積層されて形成されてもよい。導体層2は、例えばめっき、スパッタリング、蒸着、印刷によって、無機材料基板1上に形成される。

導体層2の厚みは、例えば1 μm以上、好ましくは4 μm以上であり、例えば20 μm以下、好ましくは10 μm以下である。

【0026】

D. 第2接地電極

1つの実施形態において、第2接地電極3は、無機材料基板1における導体層2と反対側の表面に設けられている。第2接地電極3は、無機材料基板1の厚み方向において、信号電極2aに対して間隔を空けて配置されている。第2接地電極3は、代表的には無機材料基板1と直接接触している。第2接地電極3は、導体層2と同様の金属で構成可能である。第2接地電極3は、無機材料基板1と支持基板7とを接合するという観点で、接合面を平坦化しやすい密着強度を確保する必要があり、第2接地電極3の金属は、導体層2の金属と異なっていてよい。第2接地電極3の厚みの範囲は、導体層2の厚みの範囲と同様である。

第2接地電極3は、代表的には、スパッタリングやめっきにより、無機材料基板1に形成される。

【0027】

E. 支持基板

支持基板7は、導波素子に優れた機械的強度を付与し得る。これにより、無機材料基板の厚みtを、上記式(1)を満たすように薄くすることができる。支持基板7としては、任意の適切な構成が採用され得る。支持基板7を構成する材料の具体例としては、インジウムリン (InP)、シリコン (Si)、ガラス、サイアロン (Si₃N₄-Al₂O₃)、ムライト (3Al₂O₃・2SiO₂, 2Al₂O₃・3SiO₂)、窒化アルミニウム (AlN)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化アルミニウム (Al₂O₃)、スピネル (MgAl₂O₄)、サファイア、石英、水晶、窒化ガリウム (GaN)、シリコンカーバイド (SiC)、シリコンナイトライド (Si₃N₄)、酸化ガリウム (Ga₂O₃) が挙げられる。

支持基板7は、好ましくはインジウムリン、シリコン、窒化アルミニウム、シリコンカーバイドまたはシリコンナイトライドから選択される少なくとも1種から構成され、より

10

20

30

40

50

好ましくはシリコンから構成される。

導波素子 100 に発振器や受信器等の能動素子を実装する場合、無機材料基板が加熱し、その他の能動素子や実装部品の特性が劣化してしまう恐れがある。これを防ぐために、支持基板には熱伝導率の高い材料を使用することができる。この場合、熱伝導率は 150 W/Km 以上であることが好ましく、この観点における支持基板 7 を構成する材料としては、シリコン (Si)、窒化アルミニウム (AlN)、窒化ガリウム (GaN)、シリコンカーバイド (SiC)、シリコンナイトライド (Si₃N₄) が挙げられる。

【0028】

なお、支持基板 7 を構成する材料の線膨張係数は、無機材料基板 1 を構成する材料の線膨張係数に近いほど好ましい。このような構成であれば、複合基板の熱変形 (代表的には、反り) を抑制することができる。好ましくは、支持基板 7 を構成する材料の線膨張係数は、無機材料基板 1 を構成する材料の線膨張係数に対して 50% ~ 150% の範囲内である。

10

また、支持基板 7 を構成する材料の誘電正接は小さいほうが好ましい。コプレーナ線路の場合、導波素子の厚みが小さくなると、伝搬する電磁波が支持基板に染み出すことがあり、誘電正接を小さくすることで伝搬損失を抑制することができる。この観点で、支持基板 7 の誘電正接は 0.07 以下であることが好ましい。

【0029】

支持基板 7 の厚みは、例えば 50 μm 以上、好ましくは 100 μm 以上、より好ましくは 150 μm 以上であり、例えば 3000 μm 以下、好ましくは 2000 μm 以下、より好ましくは 300 μm 以下である。また、1つの実施形態において、支持基板 7 の厚みは、無機材料基板の厚みよりも大きい。支持基板の厚みが上記下限以上であれば、導波素子の機械強度の向上を安定して図ることができる。支持基板の厚みが上記上限以下であれば、スラブモード伝搬の抑制、導波素子の薄型化 (導波素子の機械強度保持)、および基板共振の抑制を図ることができる。

20

【0030】

支持基板 7 は、導体層 2、無機材料基板 1 および第 2 接地電極 3 を支持している。より詳しくは、支持基板 7 は、第 2 接地電極 3 のみを介して無機材料基板 1 と直接接合されていてもよく、第 2 接地電極 3 および接合部 (図示せず) を介して無機材料基板 1 と直接接合されていてもよい。

30

本明細書において「直接接合」とは、接着剤を介在させることなく 2つの層または基板が接合していることを意味する。直接接合の形態は、互いに接合される層または基板の構成に応じて適切に設定され得る。

直接接合によりそれらを一体化することで、導波素子における剥離を良好に抑制することができる。結果として、このような剥離に起因する無機材料基板の損傷 (例えば、クラック) を良好に抑制することができる。なお、直接接合の詳細については、後述する H 項において説明する。

支持基板 7 が第 2 接地電極 3 のみを介して無機材料基板 1 と接合されている場合、第 2 接地電極 3 は、無機材料基板 1 と支持基板 7 とを接合する接合部として機能し、支持基板 7 は、第 2 接地電極 3 と直接接触している。

40

支持基板 7 が第 2 接地電極 3 および接合部を介して無機材料基板 1 と接合されている場合、接合部は、第 2 接地電極 3 と支持基板 7 との間に設けられる。接合部は、1層であってもよく、2層以上が積層されていてもよい。接合部として、例えば、SiO₂層、アモルファスシリコン層、酸化タンタル層が挙げられる。また、密着強度確保とマイグレーションの防止という観点で、Ti、Cr、Ni、Pt、Pdの金属膜を中間層として、無機材料基板と第 2 接地電極の間や支持基板と第 2 接地電極の間に形成してもよい。接合部の厚みは、例えば 0.01 μm 以上 3 μm 以下である。

【0031】

F. 第 3 接地電極

1つの実施形態において、第 3 接地電極 4 は、支持基板 7 における第 2 接地電極 3 と反

50

対側の表面に設けられている。第3接地電極4は、無機材料基板1の厚み方向において、第2接地電極3に対して間隔を空けて配置されている。第3接地電極4は、代表的には支持基板7と直接接触している。第3接地電極4は、導体層2と同様の金属で構成され、第3接地電極4の厚みの範囲は、導体層2の厚みの範囲と同様である。第3接地電極4は、例えばスパッタリングもしくはめっきによって支持基板7上に形成される。第3接地電極4は必ずしも支持基板7における第2接地電極と反対側の表面全体に形成されなくてもよい。

【0032】

G. ピア

導波素子100において、ピア5は、信号電極2aの長手方向と交差（好ましくは直交）する方向において、信号電極2aの両側に設けられている。以下では、第1接地電極2bと第3接地電極4とを電氣的に接続するピアをピア5aとし、第1接地電極2cと第3接地電極4とを電氣的に接続するピアをピア5bとして互いに区別する場合がある。ピア5aは、第1接地電極2bおよび第3接地電極4と接触しており、第1接地電極2bと第3接地電極4との間を連続的に延びている。ピア5bは、第1接地電極2cおよび第3接地電極4と接触しており、第1接地電極2cと第3接地電極4との間を連続的に延びている。ピア5a、5bのそれぞれは、第2接地電極3を貫通しており、第2接地電極3と接触している。なお、導波素子は、ピア5a、5bのうちいずれか一方のみを備えていてもよい。

【0033】

ピア5は、代表的には導電膜である。ピア5は、導体材料から構成され、代表的には導体層2と同様の金属で構成される。ピア5の形状は、それが配置されるピアホール8の形状に対応する。つまり、導波素子100は、ピアホール8を有している。図示例では、ピア5aが配置されるピアホールをピアホール8aとし、ピア5bが配置されるピアホールをピアホール8bとして互いに区別する場合がある。ピアホール8は、無機材料基板1、第2接地電極3および支持基板7を貫通している。ピアホール8は、代表的には、無機材料基板1の表面（上面）方向から見て円形状を有する。ピアホールが円形状を有する場合、ピアホールの内径は、例えば10 μm 以上、好ましくは20 μm 以上であり、例えば200 μm 以下、好ましくは100 μm 以下、より好ましくは80 μm 以下である。

図2では、ピアホール8は、無機材料基板1の表面（上面）方向から見て円形状を有し、かつ、無機材料基板1の厚み方向に沿って直線的に、無機材料基板1、第2接地電極3および支持基板7を貫通している。ピアホールが円形かつ直線的である場合、ピア5は、無機材料基板1の厚み方向に沿って延びる円柱形状または円筒形状を有する。この場合、ピア5の外径の範囲は、上記ピアホールの内径の範囲と同様である。

図3に示すように、ピアホール8は、無機材料基板1の表面（上）方向から見て円形状を有し、かつ、第2接地電極3に近づくにつれて小径となるテーパ形状を有していてもよい。また、図示しないが、ピアホール8は、無機材料基板1の表面（上）方向から見て円形状を有し、かつ、第2接地電極3に近づくにつれて大径となるテーパ形状を有していてもよい。

ピアホールがテーパ形状であると、ピア内の導体層を形成しやすくなる、基板の強度が確保しやすくなる、という特徴を持たすことができる。また、ピアは、導体材料がピアホールに埋め込まれるように形成されていてもよい。

ピアホールが円形かつテーパ形状である場合、ピア5の構造は特に限定はされないが、ピア5は、第2接地電極3との接触部分が小径となり、第2接地電極3から離れるにつれて大径となる砂時計形状を有することが好ましい。言い換えれば、ピア5は、好ましくは、2つの円錐の頂点同士が連結された形状を有する。この場合、ピア5の最大外径が、上記の範囲内となる。1つの実施形態において、第1接地電極2b、2cと接触するピア5の一端部の外径は、第3接地電極4と接触するピア5の他端部の外径よりも小さい。ピア5において、第2接地電極に対して導体層2側のテーパ角は、第2接地電極に対して第3接地電極側のテーパ角よりも小さい。

10

20

30

40

50

なお、図示例では、第1接地電極および第3接地電極のそれぞれが、ビアホールを塞ぐように形成されているが、第1接地電極および第3接地電極のそれぞれの構成はこれに限定されない。第1接地電極および第3接地電極のそれぞれは、ビアと導通されていればよく、ビアホールを塞ぐことなく開放していてもよい。

【0034】

また、図1、図4および図5に示すように、導波素子100は、好ましくは、複数のビア5aを備えている。図1および図4に示すように、複数のビア5aは、信号電極2aの長手方向に互いに間隔を空けて並んでいてもよい。また、図5に示すように、複数のビア5aは、信号電極2aの長手方向と交差（好ましくは直交）する方向に互いに間隔を空けて並んでいてもよい。つまり、導波素子100は、信号電極2aの長手方向に並ぶビア5aの列を、信号電極2aの長手方向と交差（直交）する方向に複数有してもよい。

10

複数のビア5aのピッチP（互いに隣り合うビア5aの中心間の距離）は、例えば20 μm 以上、好ましくは30 μm 以上であり、例えば300 μm 以下、好ましくは200 μm 以下、より好ましくは100 μm 以下である。

また、導波素子100は、ビア5aと同様に、複数のビア5bを備えていてもよい。

【0035】

H. 導波素子の製造方法

次に、図1および図2を参照して、導波素子100の製造方法について説明する。1つの実施形態において、導波素子100の製造方法は、無機材料基板1、第2接地電極3および支持基板7をこの順に備え、無機材料基板1、第2接地電極3および支持基板7を一括して貫通するビアホール8を有する積層体11を準備する工程と；無機材料基板1の上部に導体層2を形成し、ビアホール8内にビア5を形成し、支持基板7の下部に第3接地電極4を形成する工程と；を含んでいる。

20

【0036】

無機材料基板1および支持基板7が第2接地電極3を介して接合される場合、そのような積層体11を準備するには、まず、上記した無機材料基板1の表面に、上記した第2接地電極3を構成する金属をスパッタリングして、第1接合部としての第1金属薄膜を形成する。さらに、上記した支持基板7の表面に、上記した第2接地電極3を構成する金属をスパッタリングして、第2接合部としての第2金属薄膜を形成する。なお、第1金属薄膜および第2金属薄膜の成膜については、密着強度の確保とマイグレーションの防止という観点でTi、Cr、Ni、Pt、Pdの金属膜を中間層として形成してもよい。

30

次いで、高真空チャンパー内（例えば、 1×10^{-6} Pa程度）において、接合される構成要素（層または基板）のそれぞれの接合面に中性化ビームを照射する。これより、各接合面が活性化される。次いで、真空雰囲気中で、活性化された接合面同士を接触させ、常温で接合する。この接合時の荷重は、例えば100N～20000Nであり得る。1つの実施形態においては、中性化ビームによる表面活性化を行う際には、チャンパーに不活性ガスを導入し、チャンパー内に配置した電極へ直流電源から高電圧を印加する。このような構成であれば、電極（正極）とチャンパー（負極）との間に生じる電界により電子が運動して、不活性ガスによる原子とイオンのビームが生成される。グリッドに達したビームのうち、イオンビームはグリッドで中和されるので、中性原子のビームが高速原子ビーム源から出射される。ビームを構成する原子種は、好ましくは不活性ガス元素（例えば、アルゴン（Ar）、窒素（N））である。ビーム照射による活性化時の電圧は例えば0.5kV～2.0kVであり、電流は例えば50mA～200mAである。なお、直接接合の方法は、これに限定されることはなく、FAB（Fast Atom Beam）やイオンガンによる表面活性化法、原子拡散法、プラズマ接合法等も適用できる。

40

このように、第1接合部としての第1金属薄膜と第2接合部としての第2金属薄膜とが直接接合されることにより一体化して、第2接地電極3を形成する。これによって、無機材料基板1/第2接地電極3/支持基板7の構成を有する積層体11が得られる。

【0037】

また、無機材料基板1および支持基板7が第2接地電極3および接合部を介して接合さ

50

れる場合、そのような積層体 11 を準備するには、上記した無機材料基板 1 の表面に、スパッタリングによって上記した第 2 接地電極 3 を形成する。次に、第 2 接地電極 3 上に上記した接合部を成膜（より詳しくは、厚み $0.02 \mu\text{m}$ の Cr 薄膜、および、厚み $0.1 \mu\text{m}$ のアモルファスシリコン層を順に成膜）する。成膜後、例えば CMP 研磨により平坦化処理する。また、必要に応じて、支持基板にも上記と同様に接合部を形成する。

次いで、上記と同様にして無機材料基板と支持基板とを直接接合する。これによって、無機材料基板 1 / 第 2 接地電極 3 / 接合部 / 支持基板 7 の構成を有する積層体 11 が得られる。

【0038】

その後、例えばレーザー加工（より詳しくは、波長 515nm 、パルス幅 10ps のレーザーによる加工）によって、無機材料基板 1、第 2 接地電極 3 および支持基板 7 を一括して貫通するビアホール 8a, 8b を形成する。

10

次いで、ビアホール 8a, 8b 内の側壁部と無機材料基板 1 の表面と支持基板 7 の裏面に、例えば ICP（誘導結合プラズマ）スパッタ装置によって、下地金属薄膜を成膜（より詳しくは、厚み $0.15 \mu\text{m}$ の Ti 薄膜、および、厚み $0.04 \mu\text{m}$ のパラジウム薄膜を順に成膜）した後、例えばめっき（より詳しくは電界めっき）によって、表面金属薄膜（例えば、厚み $1.5 \mu\text{m}$ の銅薄膜）を形成する。

その後、無機材料基板 1 の表面にレジストを塗布して、フォトリソグラフィーによって、導体層 2 のギャップを形成する部分を露出し、かつ、それ以外の部分をマスクするように、レジストをパターニングする。その後、例えばウェットエッチング（より詳しくは塩化第二鉄水）によって、導体層 2（コプレーナ型電極またはマイクロストリップ型電極）を形成する。

20

これによって、無機材料基板 1 の上部に導体層が形成され、ビアホール 8 内にビア 5 が形成され、支持基板 7 の下部に第 3 接地電極 4 が形成される。そのため、導体層、ビアおよび第 3 接地電極を別々に形成する場合と比較して、導波素子を円滑に製造可能である。その後、レジストを除去する。なお、上記実施形態では、ビア 5 および第 3 接地電極 4 が形成された後、エッチングによって導体層 2 が形成されるが、本発明はこれに限定されない。ビア 5 と第 3 接地電極 4 と導体層 2 とは、同時に形成することもできる。

以上によって、導波素子 100 を製造し得る。

なお、上記では、積層体を形成した後にビアホールを形成して、ビアホールを有する積層体を準備する工程について詳述したが、積層体を準備する工程は、これに限定されない。無機材料基板、第 2 接地電極および支持基板のそれぞれに穴を形成した後、それらの穴が連通してビアホールを形成するように、無機材料基板、第 2 接地電極および支持基板を接合することもできる。

30

【実施例】

【0039】

以下、参考例によって本発明を具体的に説明するが、本発明はこれら参考例によって限定されるものではない。

【0040】

< 参考例 1 >

40

1-1. 導波素子（コプレーナ線路）の作製

0.5mm 厚みの石英ガラスウエハー（石英ガラス基板、無機材料基板）を用意して、石英ガラスウエハー上に、 $0.2 \mu\text{m}$ のアモルファスシリコン膜をスパッタリングにて形成した。成膜後、アモルファスシリコン膜を研磨して、平坦化処理をした。ここで、原子間力顕微鏡を用いて、アモルファスシリコン膜の表面の $10 \mu\text{m}$ の算術平均粗さを測定したところ、 0.2nm であった。

【0041】

また、厚み $525 \mu\text{m}$ のシリコンウエハー（支持基板）を用意した。原子間力顕微鏡を用いて、シリコンウエハーの表面の $10 \mu\text{m}$ の表面の算術平均粗さを測定したところ、 0.2nm であった。

50

【 0 0 4 2 】

石英ガラスウエハーのアモルファスシリコン面とシリコンウエハーとを、以下のように直接接合した。まず石英ガラスウエハーとシリコンウエハーとを真空チャンバーに投入し、 10^{-6} Pa 台の真空中で、双方の接合面（石英ガラスウエハーのアモルファスシリコン面とシリコンウエハーの表面）に高速 Ar 中性原子ビーム（加速電圧 1 kV、Ar 流量 60 sccm）を 70 秒間照射した。照射後、10 分間放置して石英ガラスウエハーおよびシリコンウエハーを放冷したのち、石英ガラスウエハーとシリコンウエハーの接合面（石英ガラスウエハーとシリコンウエハーの表面ビーム照射面）を接触させ、4.90 kN で 2 分間加圧して石英ガラスウエハーとシリコンウエハーとを接合した。接合後、石英ガラスウエハーの厚みが 150 μ m になるまで研磨加工し複合ウエハーを形成した。得られた石英ガラス/シリコン複合基板においては、接合界面にはがれ等の不良は観察されなかった。

10

【 0 0 4 3 】

次いで、石英ガラスウエハーにおけるシリコンウエハーと反対側の表面（研磨面）にレジストを塗布して、フォトリソグラフィによって、コプレーナ型電極パターンを形成する部分を露出するようにパターニングした。その後、レジストから露出する石英ガラスウエハーの上面に、スパッタによって、Cr 膜 50 nm 厚、Ni 膜 100 nm 厚を成膜して下地電極を形成した。さらに、下地電極上に電界メッキによって銅を成膜して、コプレーナ型電極パターンを形成した。信号電極の導波方向の長さは、10 mm であった。

以上によって、コプレーナ型電極と、無機材料基板と、支持基板とを備える導波素子を得た。

20

【 0 0 4 4 】

1 - 2 . 伝搬損失の算出

導波素子の伝搬損失を測定するために、上記と同様にして、信号電極の長さが 30 mm、40 mm、および 50 mm の 3 つ導波素子を作製した。

次いで、導波素子の入力側にプローブにて RF 信号発生機を結合し、導波素子の出力側にプローブに設置して RF 信号受信機に電磁波を結合した。

次いで、RF 信号発生機に電圧を印加して、RF 信号発生機に、表 1 に示す周波数の電磁波を送信させた。これによって、電磁波が、コプレーナ線路（導波素子）に伝搬された。RF 信号受信機は、コプレーナ線路から出力される電磁波の RF パワーを測定した。信号電極の長さが異なる 3 つの導波素子の測定結果から、伝搬損失（dB/cm）を算出して、下記の基準で評価した。その結果を表 1 に示す。

30

: 0.5 dB/cm 未満

○ : 0.5 dB/cm 以上 1 dB/cm 未満

: 1 dB/cm 以上 2 dB/cm 未満

x : 2 dB/cm 以上

【 0 0 4 5 】

< 参考例 2 >

2 - 1 . 導波素子（グランド付きコプレーナ線路）の作製

0.5 mm 厚みの石英ガラスウエハー（石英ガラス基板、無機材料基板）を用意して、石英ガラスウエハー上に、スパッタによって、Cr 膜 50 nm 厚、Ni 膜 100 nm 厚を成膜して下地電極を形成した。さらに、下地電極上に電界メッキによって銅を成膜して、第 2 接地電極を形成した。次いで、第 2 接地電極上に 0.2 μ m のアモルファスシリコン膜をスパッタにて形成した。成膜後、アモルファスシリコン膜を研磨して、平坦化処理をした。ここで、原子間力顕微鏡を用いて、アモルファスシリコン膜の表面の 10 μ m の算術平均粗さを測定したところ、0.2 nm であった。

40

【 0 0 4 6 】

また、厚み 525 μ m のシリコンウエハー（支持基板）を用意した。原子間力顕微鏡を用いて、シリコンウエハーの表面の 10 μ m の表面の算術平均粗さを測定したところ、0.2 nm であった。

50

【 0 0 4 7 】

その後、接地電極上に形成されたアモルファスシリコン面とシリコンウエハーとを直接接合した。直接接合は、参考例 1 と同様に実施した。得られた石英ガラス / 第 2 接地電極 / シリコン複合基板においては、接合界面にはがれ等の不良は観察されなかった。

次いで、石英ガラスウエハーを研磨して、厚みを $150\ \mu\text{m}$ とした。

【 0 0 4 8 】

次いで、参考例 1 と同様にて、石英ガラスウエハーにおけるシリコンウエハーと反対側の表面（研磨面）に、コプレーナ型電極パターンを形成した。信号電極の導波方向の長さは、 $10\ \text{mm}$ であった。

以上によって、コプレーナ型電極と、無機材料基板と、第 2 接地電極と、支持基板とを備える導波素子を得た。

10

【 0 0 4 9 】

2 - 2 . 伝搬損失の算出

また、導波素子の伝搬損失を測定するために、上記と同様にして、信号電極の長さが $30\ \text{mm}$ 、 $40\ \text{mm}$ 、および $50\ \text{mm}$ の 3 つの導波素子を作製した。次いで、参考例 1 と同様に、RF 信号受信機によって、コプレーナ線路から出力される電磁波の RF パワーを測定した。参考例 2 の導波素子の伝搬損失を、参考例 1 と同様に評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 0 】

< 参考例 3 >

20

3 - 1 . 導波素子（マイクロストリップ線路）の作製

参考例 2 と同様にして、石英ガラス / 第 2 接地電極 / シリコン複合基板を得た。

次いで、石英ガラスウエハーにおけるシリコンウエハーと反対側の表面（研磨面）にレジストを塗布して、フォトリソグラフィによって、マイクロストリップ型電極を形成する部分を露出するようにパターンニングした。その後、レジストから露出する石英ガラスウエハーの上面に、スパッタによって、Cr 膜 $50\ \text{nm}$ 厚、Ni 膜 $100\ \text{nm}$ 厚を成膜して下地電極を形成した。さらに、下地電極上に電界メッキによって銅を成膜して、マイクロストリップ型電極を形成した。マイクロストリップ型電極の導波方向の長さは、 $10\ \text{mm}$ であった。

以上によって、マイクロストリップ型電極と、無機材料基板と、支持基板とを備える導波素子を得た。

30

【 0 0 5 1 】

3 - 2 . 伝搬損失の算出

また、導波素子の伝搬損失を測定するために、上記と同様にして、マイクロストリップ型電極の長さが $30\ \text{mm}$ 、 $40\ \text{mm}$ 、および $50\ \text{mm}$ の 3 つの導波素子を作製した。次いで、参考例 1 と同様に、RF 信号受信機によって、コプレーナ線路から出力される電磁波の RF パワーを測定した。参考例 3 の導波素子の伝搬損失を、参考例 1 と同様に評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 2 】

< 参考例 4 ~ 6 >

40

研磨後の石英ガラスウエハー（無機材料基板）の厚みを表 1 に示す値に変更したこと以外は、参考例 1 ~ 3 のそれぞれと同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 3 】

< 参考例 7 >

無機材料基板としての石英ガラスウエハーを単結晶シリコンウエハーに変更したこと、および、研磨後のシリコンウエハーの厚みを表 1 に示す値に変更したこと以外は、参考例 1 と同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。そ

50

の結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 4 】

< 参考例 8 >

無機材料基板としての石英ガラスウエハーをサファイアウエハーに変更したこと、および、研磨後のサファイアウエハーの厚みを表 1 に示す値に変更したこと以外は、参考例 1 と同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 5 】

< 参考例 9 >

無機材料基板としての石英ガラスウエハーを多結晶 AlN ウエハーに変更したこと、および、研磨後の AlN ウエハーの厚みを表 1 に示す値に変更したこと以外は、参考例 1 と同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 6 】

< 参考例 10 >

研磨後の石英ガラスウエハー（無機材料基板）の厚みを表 1 に示す値に変更したこと以外は、参考例 1 と同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 7 】

< 参考例 11 ~ 14 >

研磨後の石英ガラスウエハー（無機材料基板）の厚みを表 1 に示す値に変更したこと以外は、参考例 3 と同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 8 】

< 参考例 15 >

研磨後の石英ガラスウエハーの厚みを 300 μm に変更したこと以外は、参考例 2 と同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 5 9 】

< 参考例 16 >

厚さ 2100 μm の石英ガラスウエハー（石英ガラス板、無機材料基板）を用意して、研磨後の石英ガラスウエハーの厚みを 2000 μm に変更したこと以外は、参考例 3 と同様にして、導波素子を作製した。

得られた導波素子について、参考例 1 と同様にして伝搬損失を算出および評価した。その結果を表 1 に示す。

【 0 0 6 0 】

10

20

30

40

50

【表 1】

No.	参考例1	参考例2	参考例3	参考例4	参考例5	参考例6	参考例7	参考例8	参考例9	参考例10	参考例11	参考例12	参考例13	参考例14	参考例15	参考例16
形態	コアレーザ駆動	グラント付きコアレーザ駆動	マイクロストリップ	コアレーザ駆動	グラント付きコアレーザ駆動	マイクロストリップ	コアレーザ駆動	コアレーザ駆動	コアレーザ駆動	コアレーザ駆動	マイクロストリップ	マイクロストリップ	マイクロストリップ	グラント付きコアレーザ駆動	グラント付きコアレーザ駆動	マイクロストリップ
	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ	コプラ
材料																
基板厚さ	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	11.8	9.5	8.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
厚み	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0016	0.0030	0.0015	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
波長	150	150	150	150	150	150	40	50	50	10	1500	200	50	2.0	300	2000
波長	1000	1000	1000	1000	1000	1000	57	108	114	1000	10000	3000	600	15	300	1000
波長	171	171	171	171	171	171	57	108	114	171	1710	933	103	256	51	171
波長	85	85	85	85	85	85	49	54	57	85	895	256	51	128	256	85
波長	50GHz	50GHz	50GHz	50GHz	50GHz	50GHz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
波長	300GHz	300GHz	300GHz	300GHz	300GHz	300GHz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
波長	1THz	1THz	1THz	1THz	1THz	1THz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
波長	20THz	20THz	20THz	20THz	20THz	20THz	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

10

20

30

40

【0061】

表 1 から明らかなように、無機材料基板の厚みが上記式 (1) を満たす場合、30GHz を超える高周波数の電磁波を導波したときの伝搬損失が比較的小さいことがわかる。

【産業上の利用可能性】

【0062】

本発明の実施形態による導波素子は、導波路、次世代高速通信、センサ、レーザー加工、太陽光発電等の幅広い分野に用いられ得、特に、ミリ波～テラヘルツ波の導波路として好適に用いられ得る。このような導波素子は、例えば、アンテナ、バンドパスフィルタ、カプラ、遅延線 (位相器) 、またはアイソレータに用いられ得る。

50

【符号の説明】

【0063】

1	無機材料基板	
2	導体層	
2 a	信号電極	
2 b , 2 c	第 1 接地電極	
3	第 2 接地電極	
4	第 3 接地電極	
5	ビア	
8	ビアホール	10
1 1	積層体	

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-051330(JP,A)
特開2000-277661(JP,A)
特開2009-094752(JP,A)
特開2004-023192(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0253450(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01P 3/00
H01P 3/08
H01P 11/00