

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7304886号  
(P7304886)

(45)発行日 令和5年7月7日(2023.7.7)

(24)登録日 令和5年6月29日(2023.6.29)

(51)国際特許分類		F I		
H 0 1 L	23/15 (2006.01)	H 0 1 L	23/14	C
H 0 5 K	1/11 (2006.01)	H 0 5 K	1/11	N
H 0 5 K	3/40 (2006.01)	H 0 5 K	3/40	K
H 0 5 K	3/42 (2006.01)	H 0 5 K	3/42	6 1 0 A

請求項の数 5 (全57頁)

(21)出願番号	特願2020-555106(P2020-555106)	(73)特許権者	397068274 コーニング インコーポレイテッド アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 1 コーニング リヴァーフロント プ ラザ 1
(86)(22)出願日	平成31年4月8日(2019.4.8)	(74)代理人	100073184 弁理士 柳田 征史
(65)公表番号	特表2021-521635(P2021-521635 A)	(74)代理人	100123652 弁理士 坂野 博行
(43)公表日	令和3年8月26日(2021.8.26)	(74)代理人	100175042 弁理士 高橋 秀明
(86)国際出願番号	PCT/US2019/026342	(72)発明者	ホアン, ティエン アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 7 0 ペインテッド ポスト ウッドランド ウェイ 1 9
(87)国際公開番号	WO2019/199677		
(87)国際公開日	令和1年10月17日(2019.10.17)		
審査請求日	令和4年4月8日(2022.4.8)		
(31)優先権主張番号	62/654,869		
(32)優先日	平成30年4月9日(2018.4.9)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		
(31)優先権主張番号	62/801,408		
(32)優先日	平成31年2月5日(2019.2.5)		
	最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 信頼性が向上したハーメチックメタライズビア

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第1の主面および前記第1の主面と反対側の第2の主面、ならびに前記第1の主面から前記第2の主面まで軸線方向寸法の軸線方向長さによって前記基板を通して延びる少なくとも1つのビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板と、

前記ビアを気密封止する前記ビア内に配置された金属コネクタとを含む物品であって、ここで、

前記物品は、1000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有し、前記熱衝撃サイクルの各々は、前記物品を-40の温度まで冷却し、前記物品を125の温度まで加熱することを含み、かつ

前記物品は、130の温度および85%の相対湿度で100時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、物品。

【請求項2】

前記ビアが、内面と、

第1の軸線方向部分、第2の軸線方向部分および第3の軸線方向部分と、

前記第 1 の軸線方向部分および前記第 3 の軸線方向部分の前記内面に配置された接着層とを含み、ここで、

前記第 2 の軸線方向部分は、前記軸線方向寸法に沿って前記第 1 の軸線方向部分と前記第 3 の軸線方向部分との間に配置されており、

前記接着層は、前記第 2 の軸線方向部分の前記内面に配置されておらず、ここで、

前記金属コネクタは、前記第 1 の軸線方向部分および前記第 3 の軸線方向部分の前記接着層に接着されており、

前記金属コネクタは、前記第 1 の主面から第 1 のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの内面をコートして第 1 のキャビティを画定し、前記第 1 のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第 1 の主面における前記ビア直径の 50%未満であり、

10

前記金属コネクタは、前記第 2 の主面から第 2 のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの前記内面をコートして第 2 のキャビティを画定し、前記第 2 のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第 2 の主面における前記ビア直径の 50%未満であり、

前記第 1 のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの 5%～45%であり、

前記第 2 のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの 5%～45%であり、

前記金属コネクタは、前記第 1 のキャビティと前記第 2 のキャビティとの間に前記ビアの軸線方向長さの少なくとも 10%で前記ビアを完全に充填する、

請求項 1 記載の物品。

20

#### 【請求項 3】

前記物品が、3000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、請求項 1 または 2 記載の物品。

#### 【請求項 4】

前記物品が、300時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項記載の物品。

#### 【請求項 5】

銅メタライズ貫通ホールを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第 1 の温度から第 2 の温度まで加熱するステップであって、前記第 1 の温度は 200 以上 300 以下であり、かつ前記第 2 の温度は 350 以上 450 以下である、ステップ

30

を含み、ここで、

前記第 1 の温度から前記第 2 の温度までの前記銅メタライズ貫通ホールを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が $0.0$  /分超 $8.7$  /分未満である、プロセス。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【関連出願】

#### 【0001】

本願は、2018年4月9日に出願された米国仮出願番号第62/654,869号、2019年2月5日に提出された米国仮出願番号第62/801408号、および2019年2月21日に提出された米国仮出願番号第62/808566号に対する優先権の利益を主張する。上記の各仮出願の内容は、その全体が参照により本明細書に援用され、組み込まれる。

40

#### 【技術分野】

#### 【0002】

本明細書は、ガラスおよびガラスセラミック基板のビアに関する。

#### 【背景技術】

#### 【0003】

ビアを有するガラスおよびガラスセラミック基板は、電氣的インターフェースとして使

50

用されるインターポーザ、RFフィルタ、およびRFスイッチとしての使用を含む多くの用途に望ましい。このような用途では、ガラス基板は、シリコンや繊維強化ポリマーに代わる魅力的な代替品となっている。

【0004】

このようなビアには、導体を充填することが望ましい。このような導体には、現在のところ銅が最も望ましい材料である。用途によっては、銅とガラスとの間にハーメチックシールを設けることが望ましい。このようなシールを得ることは、銅がガラスに良く接着せず、また、銅などの多くの導体材料と、多くの望ましいガラスおよびガラスセラミック基板組成物の熱膨張係数のミスマッチが大きいため困難である。

【発明の概要】

【0005】

第1の実施形態では、物品が、ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第1の主面および第1の主面と反対側の第2の主面、ならびに第1の主面から第2の主面まで軸線方向寸法の軸線方向長さにわたって基板を通して延びる少なくとも1つのビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板を含む。ビアは、内面と、第1の軸線方向部分、第2の軸線方向部分および第3の軸線方向部分とを画定し、第2の軸線方向部分は、軸線方向寸法に沿って第1の軸線方向部分と第3の軸線方向部分との間に配置されている。第1の軸線方向部分および第3の軸線方向部分の内面に接着層が配置されている。接着層は、第2の軸線方向部分の内面に配置されていない。ビア内に金属コネクタが配置されている。金属コネクタは、第1の軸線方向部分および第3の軸線方向部分の接着層に接着されている。金属コネクタは、第1の主面から第1のキャビティ長さまでのビアの軸線方向長さに沿ってビアの内面をコートして第1のキャビティを画定し、第1のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、第1の主面におけるビア直径の50%未満である。金属コネクタは、第2の主面から第2のキャビティ長さまでのビアの軸線方向長さに沿ってビアの内面をコートして第2のキャビティを画定し、第2のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、第2の主面におけるビア直径の50%未満である。第1のキャビティ長さは、ビアの軸線方向長さの5%~45%である。第2のキャビティ長さは、ビアの軸線方向長さの5%~45%である。金属コネクタは、第1のキャビティと第2のキャビティとの間にビアの軸線方向長さの少なくとも10%でビアを完全に充填する。

【0006】

第2の実施形態では、第1の実施形態の物品に対して、ビアが10~200 $\mu$ mの直径を有する。

【0007】

第3の実施形態では、第2の実施形態の物品に対して、ビアが40~60 $\mu$ mの直径を有する。

【0008】

第4の実施形態では、第1から第3の実施形態までのいずれか1つの物品に対して、ビアが10 $\mu$ m~2mmの長さを有する。

【0009】

第5の実施形態では、第4の実施形態の物品に対して、ビアが240 $\mu$ m~360 $\mu$ mの長さを有する。

【0010】

第6の実施形態では、第1から第5の実施形態までのいずれか1つの物品に対して、第1の軸線方向部分が、ビアの長さの2%~40%の長さを有し、第2の軸線方向部分が、ビアの深さの2%~40%の長さを有し、かつ第3の軸線方向部分が、ビアの深さの20%~96%の長さを有する。

【0011】

第7の実施形態では、第1から第6の実施形態までのいずれか1つの物品に対して、第1の軸線方向部分が、ビアと第1の主面との交差部を含み、かつ第2の軸線方向部分が、

10

20

30

40

50

ビアと第 2 の主面との交差部を含む。

【 0 0 1 2 】

第 8 の実施形態では、第 1 から第 7 の実施形態までのいずれか 1 つの物品に対して、接着層が、第 1 の軸線方向部分および第 3 の軸線方向部分のうち少なくとも一方の全周に沿って配置されている。

【 0 0 1 3 】

第 9 の実施形態では、第 1 から第 8 の実施形態までのいずれか 1 つの物品に対して、基板が材料を含む。材料は、酸化物ベースで 5 0 モル % ~ 1 0 0 モル % の  $S i O_2$  を含む。

【 0 0 1 4 】

第 1 0 の実施形態では、第 9 の実施形態の物品に対して、材料が、酸化物ベースで 7 5 モル % ~ 1 0 0 モル % の  $S i O_2$  を含む。

10

【 0 0 1 5 】

第 1 1 の実施形態では、第 1 から第 1 0 の実施形態までのいずれか 1 つの物品に対して、接着層が、 $T i$  を含む。

【 0 0 1 6 】

第 1 2 の実施形態では、第 1 から第 1 1 の実施形態までのいずれか 1 つの物品に対して、金属コネクタが実質的に銅から成る。

【 0 0 1 7 】

第 1 3 の実施形態では、第 1 から第 1 2 の実施形態までのいずれか 1 つの物品に対して、金属コネクタがビアを気密封止する。

20

【 0 0 1 8 】

第 1 4 の実施形態では、第 1 から第 1 3 の実施形態までのいずれか 1 つの物品に対して、ビアが、第 1 の主面における第 1 の直径と、第 2 の主面における第 2 の直径と、第 1 の主面と第 2 の主面との間のビア腰部とを有する。ビア腰部は、ビアの軸線方向長さに沿って最小直径を有する。ビア腰部の直径は、第 1 の直径の 7 5 % 以下であり、ビア腰部の直径は、第 2 の直径の 7 5 % 以下である。

【 0 0 1 9 】

第 1 5 の実施形態では、第 1 から第 1 4 の実施形態までのいずれか 1 つの物品に対して、第 1 のキャビティ長さに沿った各点において、コーティング厚さは、第 1 の主面におけるビア直径の 5 % ~ 4 0 % であり、第 2 のキャビティ長さに沿った各点において、コーティング厚さは、第 2 の主面におけるビア直径の 5 % ~ 4 0 % である。

30

【 0 0 2 0 】

第 1 6 の実施形態では、第 1 から第 1 5 の実施形態までのいずれか 1 つの物品を製造する方法が、ライン・オブ・サイト (line of sight) 技術を使用して、ビアの軸線方向長さの方向とは異なる成膜角度で、接着層をビアの内面の第 1 の部分および第 3 の部分に成膜するステップを含む。

【 0 0 2 1 】

第 1 7 の実施形態では、物品が、ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第 1 の主面および第 1 の主面と反対側の第 2 の主面、ならびに第 1 の主面から第 2 の主面まで軸線方向の軸線方向長さにわたって基板を通して延びるビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板を含み、ビアは、内面と、第 1 の軸線方向部分、第 3 の軸線方向部分、および軸線方向に沿って第 1 の軸線方向部分と第 3 の軸線方向部分との間に配置された第 2 の軸線方向部分とを画定する。物品はさらに、内面に配置されたヘリウムハーメチック接着層と、ビア内に配置された金属コネクタとを含み、金属コネクタは、ヘリウムハーメチック接着層に接着されており、金属コネクタは、第 1 の主面から第 1 のキャビティ長さまでのビアの軸線方向長さに沿ってビアの内面をコートして第 1 のキャビティを画定し、金属コネクタは、第 1 の主面において  $12 \mu m$  未満のコーティング厚さを含み、金属コネクタは、第 2 の主面から第 2 のキャビティ長さまでのビアの軸線方向長さに沿ってビアの内面をコートして第 2 のキャビティを画定し、金属コネクタは、第 2 の主面において  $12 \mu m$  未満のコーティング厚さを含み、金属コネクタは、第 1 のキャビティと第 2 のキャビティ

40

50

との間にピアを完全に充填する。

【 0 0 2 2 】

第 1 8 の実施形態では、ガラス物品が、第 1 7 の実施形態のガラス物品を含み、金属コネクタが、第 1 の軸線方向部分および第 3 の軸線方向部分において  $12 \mu\text{m}$  未満の平均コーティング厚さを含む。

【 0 0 2 3 】

第 1 9 の実施形態では、ガラス物品が、第 1 7 または第 1 8 の実施形態のガラス物品を含み、第 1 の主面におけるピア内のコーティング厚さと第 2 の主面におけるピア内のコーティング厚さとが、それぞれ第 2 の軸線方向部分におけるコーティング厚さよりも小さい。

【 0 0 2 4 】

第 2 0 の実施形態では、ガラス物品が、第 1 7 から第 1 9 の実施形態までのいずれか 1 つのガラス物品を含み、第 1 のキャビティ長さ第 2 のキャビティ長さ第 3 のキャビティ長さとが、それぞれピアの軸線方向長さの 3 % 以上かつピアの軸線方向長さの 9 7 % 以下である。

【 0 0 2 5 】

第 2 1 の実施形態では、ガラス物品が、第 1 7 から第 2 0 の実施形態までのいずれか 1 つのガラス物品を含み、ピアが、第 1 の主面における第 1 の直径と、第 2 の主面における第 2 の直径と、第 2 の軸線方向部分における第 3 の直径とを有し、かつ第 3 の直径が、第 1 の直径および第 2 の直径よりも小さい。

【 0 0 2 6 】

第 2 2 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 1 の実施形態のガラス物品を含み、第 1 の直径と第 2 の直径とが、それぞれ  $30 \mu\text{m}$  以上  $80 \mu\text{m}$  以下である。

【 0 0 2 7 】

第 2 3 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 2 の実施形態のガラス物品を含み、第 1 の直径と第 2 の直径とが、それぞれ  $40 \mu\text{m}$  以上  $60 \mu\text{m}$  以下である。

【 0 0 2 8 】

第 2 4 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 3 の実施形態のガラス物品を含み、第 1 の直径と第 2 の直径とが、それぞれ  $45 \mu\text{m}$  以上  $55 \mu\text{m}$  以下である。

【 0 0 2 9 】

第 2 5 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 1 から第 2 4 の実施形態までのいずれか 1 つのガラス物品を含み、第 3 の直径が  $10 \mu\text{m}$  以上  $40 \mu\text{m}$  以下である。

【 0 0 3 0 】

第 2 6 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 5 の実施形態のガラス物品を含み、第 3 の直径が  $17 \mu\text{m}$  以上  $20 \mu\text{m}$  以下である。

【 0 0 3 1 】

第 2 7 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 6 の実施形態のガラス物品を含み、第 3 の直径が  $18 \mu\text{m}$  以上  $20 \mu\text{m}$  以下である。

【 0 0 3 2 】

第 2 8 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 1 から第 2 7 の実施形態までのいずれか 1 つのガラス物品を含み、第 3 の直径と第 1 の直径との比および第 3 の直径と第 2 の直径との比が 1 : 6 以下である。

【 0 0 3 3 】

第 2 9 の実施形態では、ガラス物品が、第 2 1 から第 2 8 の実施形態までのいずれか 1 つのガラス物品を含み、第 1 の主面におけるピア内のコーティング厚さと第 2 の主面におけるピア内のコーティング厚さとが、それぞれ第 3 の直径の  $1/2$  未満である。

【 0 0 3 4 】

第 3 0 の実施形態では、ガラス物品が、第 1 7 から第 2 9 の実施形態までのいずれか 1 つのガラス物品を含み、ヘリウムハーメチック接着層が、第 1 の軸線方向部分および第 3 の軸線方向部分の内面に配置されており、かつヘリウムハーメチック接着層が、第 2 の軸線方向部分の内面に配置されていない。

【 0 0 3 5 】

10

20

30

40

50

第31の実施形態では、ガラス物品が、第30の実施形態のガラス物品を含み、ヘリウムハーメチック接着層が、第1の軸線方向部分および第3の軸線方向部分のうちの少なくとも一方の全周に沿って配置されている。

【0036】

第32の実施形態では、ガラス物品が、第17から第31の実施形態までのいずれか1つのガラス物品を含み、ヘリウムハーメチック接着層が、Ti、TiN、Ta、Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>、Cr、Ni、TiW、Wおよび金属酸化物を含む。

【0037】

第33の実施形態では、ガラス物品が、第17から第32の実施形態までのいずれか1つのガラス物品を含み、ヘリウムハーメチック接着層が、1nm以上500nm以下の厚さを有する。

10

【0038】

第34の実施形態では、ガラス物品が、第17から第33の実施形態までのいずれか1つのガラス物品を含み、金属コネクタが実質的に銅から成る。

【0039】

第35の実施形態では、ガラス物品が、第17から第34の実施形態までのいずれか1つのガラス物品を含み、金属コネクタがビアを気密封止する。

【0040】

第36の実施形態では、ガラス物品が、第17から第35の実施形態までのいずれか1つのガラス物品を含み、第1のキャビティおよび第2のキャビティのうちの少なくとも一方が、銅ではない1種以上の材料で充填されている。

20

【0041】

第37の実施形態では、ガラス物品が、第17から第36の実施形態までのいずれか1つのガラス物品を含み、450℃の温度に加熱され、23℃の温度に冷却される前と後の物品にはクラックがなく、ヘリウム透過率が $1.0 \times 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s} (0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s})$ 未満である。

【0042】

第38の実施形態では、ガラス物品が、第17から第37の実施形態までのいずれか1つのガラス物品を含み、基板が少なくとも90mol%のシリカを含む。

【0043】

30

第39の実施形態では、ガラス物品を製造する方法が、ガラスまたはガラスセラミック基板を通して延びるビアの内面の一部にヘリウムハーメチック接着層を成膜するステップであって、基板は、第1の主面および第1の主面と反対側の第2の主面と、第1の主面から第2の主面まで軸線方向において基板を通して延びるビアとを有し、ビアは、第1の軸線方向部分と、第3の軸線方向部分と、第1の軸線方向部分と第3の軸線方向部分との間に配置された第2の軸線方向部分とを含み、ここで、ヘリウムハーメチック接着層は、ビアの内面上に成膜される、ステップと、金属塩および金属析出抑制剤を含む電気めっき浴を用いて、ビアの第1の軸線方向部分、第2の軸線方向部分、および第3の軸線方向部分に金属コネクタを成膜するステップとを含み、ここで、金属コネクタは、ヘリウムハーメチック接着層に接着されており、金属コネクタは、第1の主面から第1のキャビティ長さまでのビアの軸線方向長さに沿ってビアの内面をコートして第1のキャビティを画定し、第1の主面におけるコーティング厚さが12μm未満であり、金属コネクタは、第2の主キャビティ面から第2のキャビティ長さまでのビアの軸線方向長さに沿ってビアの内面をコートして第2のキャビティを画定し、第2の主面におけるコーティング厚さが12μm未満であり、金属コネクタは、第1のキャビティと第2のキャビティとの間にビアを完全に充填する。

40

【0044】

第40の実施形態では、方法が、第39の実施形態の方法を含み、金属コネクタのめっき速度が、第1の軸線方向部分および第3の軸線方向部分よりも第2の軸線方向部分の方が高い。

50

## 【 0 0 4 5 】

第 4 1 の実施形態では、方法が、第 3 9 または第 4 0 の実施形態の方法を含み、金属塩が銅塩を含む。

## 【 0 0 4 6 】

第 4 2 の実施形態では、方法が、第 3 9 から第 4 1 の実施形態までのいずれか 1 つの方法を含み、金属コネクタを成膜するステップが、 $1.5 \text{ mA} / \text{cm}^2$  以上  $5 \text{ mA} / \text{cm}^2$  以下の電流密度で電流を流すステップを含む。

## 【 0 0 4 7 】

第 4 3 の実施形態では、方法が、第 3 9 から第 4 2 の実施形態までのいずれか 1 つの方法を含み、金属析出抑制剤が、塩化ニトロブルーテトラゾリウム (NTBC)、メチルチアゾールテトラゾリウム (MTT)、または塩化テトラニトロブルーテトラゾリウム (TNBT) を含む。

10

## 【 0 0 4 8 】

第 4 4 の実施形態では、方法が、第 3 9 から第 4 3 の実施形態までのいずれか 1 つの方法を含み、第 1 のキャビティおよび第 2 のキャビティのうちの少なくとも一方を、銅ではない 1 種以上の材料で充填するステップをさらに含む。

## 【 0 0 4 9 】

第 4 5 の実施形態では、方法が、第 3 9 から第 4 3 の実施形態までのいずれか 1 つの方法を含み、ヘリウムハーメチック接着層が、第 1 の軸線方向部分および第 3 の軸線方向部分におけるビアの内面上に成膜されており、かつヘリウムハーメチック接着層が、第 2 の軸線方向部分におけるビアの内面上に成膜されていない。

20

## 【 0 0 5 0 】

第 4 6 の実施形態では、プロセスが、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第 1 の温度から第 2 の温度まで加熱するステップであって、第 1 の温度は  $200$  以上  $300$  以下であり、かつ第 2 の温度は  $350$  以上  $450$  以下である、ステップを含み、ここで、第 1 の温度から第 2 の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が  $0.0$  /分超  $8.7$  /分未満である。

## 【 0 0 5 1 】

第 4 7 の実施形態では、プロセスが、第 4 6 の実施形態のプロセスを含み、第 1 の温度から第 2 の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱を行っても、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品に半径方向クラックが生じない。

30

## 【 0 0 5 2 】

第 4 8 の実施形態では、プロセスが、第 4 6 または第 4 7 の実施形態のプロセスを含み、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を室温から第 1 の温度まで加熱するステップをさらに含む。

## 【 0 0 5 3 】

第 4 9 の実施形態では、プロセスが、第 4 8 の実施形態のプロセスを含み、室温から第 1 の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が  $0.0$  /分超  $8.7$  /分未満である。

40

## 【 0 0 5 4 】

第 5 0 の実施形態では、プロセスが、第 4 6 から第 4 9 の実施形態までのいずれか 1 つのプロセスを含み、第 1 の温度が  $225$  以上  $275$  以下である。

## 【 0 0 5 5 】

第 5 1 の実施形態では、プロセスが、第 4 6 から第 5 0 の実施形態までのいずれか 1 つのプロセスを含み、第 2 の温度が  $375$  以上  $425$  以下である。

## 【 0 0 5 6 】

第 5 2 の実施形態では、プロセスが、第 4 6 から第 5 1 の実施形態までのいずれか 1 つのプロセスを含み、第 1 の温度から第 2 の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラス

50

またはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が1.0 /分以上6.5 /分以下である。

【0057】

第53の実施形態では、プロセスが、第46から第52の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、第1の温度から第2の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が実質的に一定である。

【0058】

第54の実施形態では、プロセスが、第46から第53の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、第1の温度から第2の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が変動する。

10

【0059】

第55の実施形態では、プロセスが、第46から第54の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、プロセスがさらに、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を、10分以上1時間以下の間、第1の温度で保持するステップを含む。

【0060】

第56の実施形態では、プロセスが、第46から第55の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、プロセスがさらに、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を、10分以上1時間以下の間、第2の温度で保持するステップを含む。

【0061】

第57の実施形態では、プロセスが、第46から第56の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、第1の温度から第2の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱が、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を、10分以上45分以下の間、一定温度に保持するステップを含む。

20

【0062】

第58の実施形態では、プロセスが、第46から第57の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の直径が25 μm以上75 μm以下である。

【0063】

第59の実施形態では、プロセスが、第46から第58の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の貫通ビアのピッチが60 μm以上800 μm以下である。

30

【0064】

第60の実施形態では、プロセスが、第46から第59の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の貫通ビアの深さが50 μm以上600 μm以下である。

【0065】

第61の実施形態では、プロセスが、第46から第60の実施形態までのいずれか1つのプロセスを含み、ガラスまたはガラスセラミック物品が少なくとも90モル%のシリカを含む。

【0066】

第62の実施形態は、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第1の温度から第2の温度まで加熱するステップであって、第1の温度は240 以上260 以下であり、かつ第2の温度は400 以上450 以下である、ステップを含むプロセスを含み、ここで、第1の温度から第2の温度までの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が0.0 /分超6.5 /分以下である。

40

【0067】

第63の実施形態は、ガラスまたはガラスセラミック物品であって、ガラスまたはガラスセラミック基板であって、ガラスまたはガラスセラミック基板を厚さ方向に貫通する少なくとも1つの貫通ビアを含む、ガラスまたはガラスセラミック基板と、少なくとも1つ

50

の貫通ビアに存在する銅とを含むガラスまたはガラスセラミック物品を含み、ここで、ガラスまたはガラスセラミック物品が、450 以下のアニール後に半径方向クラックを含まない。

【0068】

第64の実施形態では、ガラスまたはガラスセラミック物品が、第63の実施形態のガラスまたはガラスセラミック物品を含み、ガラスまたはガラスセラミック基板が少なくとも90モル%のシリカを含む。

【0069】

第65の実施形態では、ガラスまたはガラスセラミック物品が、第63または第64の実施形態のガラスまたはガラスセラミック物品を含み、ガラスまたはガラスセラミック基板の少なくとも1つのホール

10

【0070】

の直径が25 μm以上75 μm以下である。第66の実施形態では、ガラスまたはガラスセラミック物品が、第63から第65の実施形態までのいずれか1つのガラスまたはガラスセラミック物品を含み、ガラスまたはガラスセラミック基板の少なくとも1つの貫通ビアのピッチが60 μm以上800 μm以下である。

【0071】

第67の実施形態では、ガラスまたはガラスセラミック物品が、第63から第66の実施形態までのいずれか1つのガラスまたはガラスセラミック物品を含み、ガラスまたはガラスセラミック基板の少なくとも1つの貫通ビアの深さが50 μm以上600 μm以下である。

20

【0072】

第68の実施形態は、ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第1の主面および第1の主面と反対側の第2の主面、ならびに第1の主面から第2の主面まで軸線方向寸法の軸線方向長さにならびに基板を通して延びる少なくとも1つのビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板と、ビアを気密封止するビア内に配置された金属コネクタとを含み、ここで、物品は、1000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を有し、熱衝撃サイクルの各々は、物品を-40 の温度まで冷却し、物品を125 の温度まで加熱することを含み、かつ物品は、130 の温度および85%の相対湿度で100時間の高加速寿命試験 (HAST) 後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を有する。

30

【0073】

第69の実施形態では、第68の実施形態によるガラスまたはガラスセラミック物品が、3000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を有する。

【0074】

第70の実施形態では、第68または第69の実施形態によるガラスまたはガラスセラミック物品が、300時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を有する。

40

【0075】

第71の実施形態では、第68から第70の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、2000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を有し、かつ200時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を有する。

【0076】

第72の実施形態では、第68から第71の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、3000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を有し、かつ30

50

0時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する。

【0077】

第73の実施形態では、第68から第72の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、4000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有し、かつ400時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する。

【0078】

第74の実施形態では、第68から第73の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、10~200 $\mu\text{m}$ の直径を有するビアを含む。

10

【0079】

第75の実施形態では、第68から第74の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、40~60 $\mu\text{m}$ の直径を有するビアを含む。

【0080】

第76の実施形態では、第68から第75の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、10 $\mu\text{m}$ ~2mmの長さを有するビアを含む。

【0081】

第77の実施形態では、第68から第76の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、240 $\mu\text{m}$ ~360 $\mu\text{m}$ の長さを有するビアを含む。

20

【0082】

第78の実施形態では、第68から第77の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、基板を含み、基板が材料を含み、材料は、酸化物ベースで50モル%~100モル%の $\text{SiO}_2$ を含む。

【0083】

第79の実施形態では、第78の実施形態によるガラスまたはガラスセラミック物品に対して、材料が、酸化物ベースで75モル%~100モル%の $\text{SiO}_2$ を含む。

【0084】

第80の実施形態では、第68から第79の実施形態までのいずれか1つによるガラスまたはガラスセラミック物品が、実質的に銅から成る金属コネクタを有する。

30

【0085】

追加の特徴および利点は、以下の詳細な説明に記載され、部分的には、その説明から当業者には容易に明らかになるか、または以下の詳細な説明、特許請求の範囲、および添付の図面を含む、本明細書に記載された実施形態を実施することによって認識されるであろう。

【0086】

様々な実施形態の制限は、相互に排他的な制限を含まずに任意に置き換えて組み合わせることができる。第1から第20の実施形態は、任意に置き換えて第21の実施形態に組み込むことができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0087】

【図1】ビアを有する基板の斜視図である。

【図2】図1の線2-2'に沿って抜粋したビアの断面図である。

【図3】金属コネクタの特徴に着目して図2のビアを示したものである。

【図4】ビアの製造プロセスを示すフローチャートである。

【図5A】モデル化に使用される弾完全塑性モデルの応力-ひずみ関係を示したものである。

【図5B】モデル化に使用される温度依存性の銅の降伏応力を示したものである。

【図6】異なる接着深さについて、最大主応力対半径方向位置のプロットを示したものである。

50

【図 7】異なる金属コネクタのコーティング厚さについて、最大主応力対半径方向位置のプロットを示したものである。

【図 8】様々な銅コーティング厚さ（x 軸）について、モデル化された最大第 1 主応力とモデル化された最大半径方向応力（y 軸）のプロットを示したものである。

【図 9】銅コーティング厚さ（x 軸）の関数として、クラック（y 軸）を有するビアの割合のプロットを示したものである。

【図 10 A】12 μm 未満の銅コーティング厚さを有し、マイクロクラックを有しないビアの例を示したものである。

【図 10 B】12 μm 以上の銅コーティング厚さを有し、周方向のマイクロクラックを示すビアの例を示したものである。

【図 11】例示的なメタライズ TGV の X 線 CT スキャン図である。

【図 12 A】銅コーティング厚さプロファイルを検証するために、図 9 の例示的なメタライズ TGV の SEM 画像を示したものである。

【図 12 B】銅コーティング厚さプロファイルを検証するために、図 9 の例示的なメタライズ TGV の腰部の SEM 画像を示したものである。

【図 12 C】銅コーティング厚さプロファイルを検証するために、図 9 の例示的なメタライズ TGV の入口の SEM 画像を示したものである。

【図 13】半径方向クラックを含むガラスまたはガラスセラミック基板の銅メタライズ貫通ビアの上面図を模式的に示したものである。

【図 14】半径方向クラックを含む複数の銅メタライズ貫通ビアを有するガラスまたはガラスセラミック物品の上面図を模式的に示したものである。

【図 15】銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中に発生する半径方向応力と周方向応力をグラフ化したものである。

【図 16】銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱する際の周方向応力対熱処理温度をグラフ化したものである。

【図 17 A】銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱する際の温度対時間の実質的に一定の加熱速度をグラフ化したものである。

【図 17 B】銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱する際の温度対時間の変動加熱速度をグラフ化したものである。

【図 18】26.0 / 分の実質的に一定の加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有する銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の拡大写真である。

【図 19 A】13.0 / 分の実質的に一定の加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有する銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の 50 倍拡大写真である。

【図 19 B】13.0 / 分の実質的に一定の加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有する銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の 200 倍拡大写真である。

【図 20 A】8.7 / 分の実質的に一定の加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有する銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の 50 倍拡大写真である。

【図 20 B】8.7 / 分の実質的に一定の加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有する銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の 500 倍拡大写真である。

【図 21 A】6.5 / 分の実質的に一定の加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有しない銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の 50 倍拡大写真である。

【図 21 B】6.5 / 分の実質的に一定の加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有しない銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の 200 倍拡大写真である。

10

20

30

40

50

【図 2 2】変動加熱速度および 2.3 / 分の平均加熱速度で加熱したときの、半径方向クラックを有しない銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の 200 倍拡大写真である。

【図 2 3】銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱クラック密度対加熱速度をグラフ化したものである。

【図 2 4 A】20.5 / 分で加熱された銅メタライズ貫通ビアの半径方向クラックの形成を経時的に示したものである。

【図 2 4 B】20.5 / 分で加熱された銅メタライズ貫通ビアの半径方向クラックの形成を経時的に示したものである。

【図 2 4 C】20.5 / 分で加熱された銅メタライズ貫通ビアの半径方向クラックの形成を経時的に示したものである。

10

【図 2 5】銅突出部とアニール加熱速度との関係をグラフ化したものである。

【図 2 6】熱衝撃試験におけるヘリウム気密性の結果をグラフ化したものである。

【図 2 7】高加速寿命試験におけるヘリウム気密性の結果をグラフ化したものである。

【発明を実施するための形態】

【0088】

ビアを有するガラスおよびガラスセラミック基板

ビアを有するガラスおよびガラスセラミック基板は、多くの用途に望ましい。例えば、一方の面でロジックデバイスを接続し、他方の面でメモリを接続する貫通パッケージビア (TPV) インターコネクタを有する 3 次元インターポーザが、高帯域幅デバイスのために望ましい。現在選択されている基板は、有機またはシリコンである。有機インターポーザは寸法安定性が低いのにに対し、シリコンウェーハは高価であり、半導体的性質のために誘電損失が高い。ガラスおよびガラスセラミックは、その低誘電率、熱安定性、および低コストのために優れた基板材料であり得る。ガラス貫通ビア (TGV) を有するガラスまたはガラスセラミック基板のための用途がある。これらのビアは、典型的には、電気経路を提供する金属コネクタを形成するために、銅などの導電性金属によって完全にまたは共形的に充填される必要がある。銅は、特に望ましい導電性金属である。

20

【0089】

図 1 は、部分斜視図で模式的に示される基板 100 を含む物品を示す。基板 100 は、第 1 の主面 102 と、第 1 の主面 102 と反対側の第 2 の主面 104 とを含む。複数のビア 110 は、第 1 の主面 102 から第 2 の主面 104 まで基板 100 のバルクを通して延びる。金属コネクタ 150 が、ビア 110 を充填する。任意の数のビア 110 が、任意の配置で基板 100 を通して延びてもよいことが理解されるべきである。座標マーカ 101 は、第 1 の主面 102 と第 2 の主面 104 の平面に対する法線である軸線方向寸法 z の方向を示す。特に指定しない限り、ビアまたは金属コネクタの「長さ」は、軸線方向寸法 z にある。軸線方向寸法にある基板 100 の厚さ t は、用途に応じて任意の適切な厚さであってもよい。

30

【0090】

様々な実施形態では、基板 100 は、任意の適切なガラスまたはガラスセラミック基板を含み得る。いくつかの特定の実施形態では、高シリカガラスまたはガラスセラミック基板は、その誘電特性のために、特定の用途に望ましい。例えば、シリカ含有率が 50 モル%、55 モル%、60 モル%、65 モル%、70 モル%、75 モル%、80 モル%、85 モル%、90 モル%、95 モル%、もしくは 100 モル%、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲 (端点を含む) のガラスまたはガラスセラミック材料を使用してもよい。50 モル% ~ 100 モル%、または 75 モル% ~ 100 モル% のシリカ含有率を有するガラスまたはガラスセラミック材料を使用してもよい。いくつかの実施形態では、基板は、少なくとも 90 モル% のシリカを含む。

40

【0091】

本明細書に記載された寸法を有する基板の場合、少なくとも 2 つの理由から、銅金属コネクタを用いて高シリカガラス内にハーメチックシールされたビアを実現することは特に

50

困難である。第一に、銅がガラスに良く接着しない。第二に、銅と高シリカガラスとの間のCTEのミスマッチが特に大きい。本明細書に記載された物品および方法は、これらの理由にもかかわらず、優れた応力緩和メカニズムを提供することによってハーメチックシールを達成する。

#### 【0092】

図2は、線2-2'に沿って図1の断面図として模式的に示される基板100を含む物品を示す。図2は、図1の基板100、座標マーカ101、第1の主面102、第2の主面104、ビア110、および金属コネクタ150を示す。ビア110の内面114は、第1の軸線方向部分116と、第2の軸線方向部分118と、第3の軸線方向部分120とに区分される。第1の軸線方向部分116および第3の軸線方向部分120の内面114には、接着層122が配置されている。接着層122は、第2の軸線方向部分118には存在しない。第1の軸線方向部分116および第3の軸線方向部分120の軸線方向長さは、金属コネクタ150が基板100に強固に接着するためのビア110に入り込む長さであることから、「接着長さ」と呼ばれてもよい。第2の軸線方向部分118では、接着層122が存在しないので、金属コネクタ150は、内面114に強固に結合しない。ビア110は、軸線方向に延びるビア長さ130を有する。ビア110は、第1の主面の第1の直径132aと、第2の主面の第2の直径132bとを有する。

10

#### 【0093】

図2は、線2-2'に沿って図1の断面図として模式的に示される基板100を含む物品を示す。図2は、図1の基板100、座標マーカ101、第1の主面102、第2の主面104、ビア110、および金属コネクタ150を示す。ビア110の内面114は、第1の軸線方向部分116と、第2の軸線方向部分118と、第3の軸線方向部分120とに区分される。第1の軸線方向部分116および第3の軸線方向部分120のビア110の内面114には、ヘリウムハーメチック接着層122が配置されている。実施形態では、ヘリウムハーメチック接着層122は、第1の軸線方向部分116および第3の軸線方向部分120のうちの少なくとも一方の全周に沿ってビア110の内面114上に配置されている。ヘリウムハーメチック接着層122は、第2の軸線方向部分118には存在しない。

20

#### 【0094】

本明細書で使用される「ヘリウムハーメチック接着層」という表現は、金属コネクタ150をビア110の内面114に接着させることにより、真空ベースのヘリウムリーク試験システムを使用して測定される、 $10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 未満、またはさらには $10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 未満の透過率でヘリウムに対するヘリウム気密性を提供する接着層を意味する。適切なヘリウムハーメチック接着層材料としては、チタン(Ti)、クロム(Cr)、タンタル(Ta)、バナジウム(V)、ニッケル(Ni)、タングステン(W)のような金属、または酸化チタン、酸化タングステン、および酸化マンガンのような金属酸化物、または窒化チタン(TiN)および窒化タンタル(TaN)のような窒化物が挙げられる。様々な実施形態では、ヘリウムハーメチック接着層は、チタン(Ti)を含む。ヘリウムハーメチック接着層は、1nm以上500nm以下の厚さを有する。例えば、いくつかの特定の実施形態では、ヘリウムハーメチック接着層は、約100nmの厚さを有する。

30

40

#### 【0095】

部分的に結合されている実施形態などのいくつかの実施形態では、第1の軸線方向部分116または第3の軸線方向部分120の軸線方向長さは、金属コネクタ150が基板100に強固に接着するビア110に沿って入り込む長さであることから、「接着長さ」と呼ばれてもよい。このようないくつかの実施形態では、接着長さは、 $5 \mu\text{m}$ 以上 $148 \mu\text{m}$ 以下である。接着長さは、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $135 \mu\text{m}$ 以下、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $130 \mu\text{m}$ 以下、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $125 \mu\text{m}$ 以下、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $120 \mu\text{m}$ 以下、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $115 \mu\text{m}$ 以下、 $15 \mu\text{m}$ 以上 $140 \mu\text{m}$ 以下、 $15 \mu\text{m}$ 以上 $135 \mu\text{m}$ 以下、 $15 \mu\text{m}$ 以上 $130 \mu\text{m}$ 以下、 $15 \mu\text{m}$ 以上 $125 \mu\text{m}$ 以下、 $15 \mu\text{m}$ 以上 $120 \mu\text{m}$ 以下、 $20 \mu\text{m}$ 以上 $1$

50

40 μm以下、20 μm以上135 μm以下、20 μm以上130 μm以下、20 μm以上125 μm以下、25 μm以上140 μm以下、25 μm以上135 μm以下、25 μm以上130 μm以下、30 μm以上140 μm以下、30 μm以上135 μm以下、35 μm以上140 μm以下であってもよい。いくつかの実施形態では、接着長さは、40 μm以上140 μm以下、40 μm以上130 μm以下、40 μm以上120 μm以下、40 μm以上110 μm以下、40 μm以上100 μm以下、40 μm以上90 μm以下、40 μm以上80 μm以下、40 μm以上70 μm以下、40 μm以上60 μm以下である。例えば、接着長さは、約40 μm、約50 μm、約60 μmまたは約70 μmであってもよい。様々な実施形態では、他の接着長さが採用されてもよいことが企図されている。

10

#### 【0096】

第2の軸線方向部分118では、ヘリウムハーメチック接着層122が存在しないので、金属コネクタ150は、第2の軸線方向部分118に沿って内面114にそれほど強固に結合しない。ビア110は、軸線方向に伸びるビア長さ130を有する。ビア110は、第1の主面102の第1の直径132aと、第2の主面104の第2の直径132bと、第2の軸線方向部分118における第3の直径132cとを有する。

#### 【0097】

##### ビア形状

図2のビア110は、第1の主面102における第1の直径132aと第2の主面104における第2の直径132bから、腰部直径を有する腰部125に向かって先細りになるか、または狭くなるテーパ状の内面114を有する。本明細書で使用されるビアの「腰部」とは、最小直径を有する変動直径ビアの部分を指す。ビア110の直径は、軸線方向位置の関数として変化する。ビア110の全体的な「直径」は、最大直径である。特に指定しない限り、「ビア直径」とは、最大直径を指す。ビア110が円形でない場合、ビア100の「直径」は、軸線方向に垂直な平面において、ビア110と同じ断面積を有する円の直径である。

20

#### 【0098】

ビア腰部125は、ビアの軸線方向長さに沿った最小直径を有する。第1の直径に占めるビア腰部の直径の割合は、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、またはこれらの値のうちのいずれか2つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）であってもよい。第2の直径に占めるビア腰部の直径の割合は、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%、75%、80%、またはこれらの値のうちのいずれか2つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）であってもよい。ビア腰部の直径は、第1の直径の75%以下であってもよく、かつビア腰部の直径は、第2の直径の75%以下であってもよい。ビア腰部の直径は、第1の直径の20%以上50%以下であってもよく、かつビア腰部の直径は、第2の直径の20%以上50%以下であってもよい。様々な実施形態では、第3の直径132c、すなわちビア腰部の直径は、10 μm以上40 μm以下である。第3の直径132cは、20 μm以上30 μm以下であってもよいし、22 μm以上27 μm以下であってもよい。例えば、第3の直径132cは、10 μm、15 μm、20 μm、22 μm、25 μm、27 μm、30 μm、35 μm、または40 μmであってもよい。様々な実施形態では、第3の直径132cと第1の直径132aとの比は、1:6以下、1:5以下、1:4以下、1:3以下、1:2以下、かつ/または第3の直径132cと第2の直径132bとの比は、1:6以下、1:5以下、1:4以下、1:3以下、または1:2以下である。

30

40

#### 【0099】

ビア110は、任意の適切なビア長さ130を有していてもよい。非限定的な例として、基板100（およびビア長さ130）の厚さは、10 μm、60 μm、120 μm、180 μm、240 μm、300 μm、360 μm、420 μm、480 μm、540 μm、600 μm、720 μm、840 μm、960 μm、1080 μm、1500 μm、2

50

0 0 0  $\mu\text{m}$ 、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）であってもよい。いくつかの実施形態では、厚さ  $t$  およびビア長さは、1 0  $\mu\text{m}$  ~ 2 0 0 0  $\mu\text{m}$ 、または 2 4 0  $\mu\text{m}$  ~ 3 6 0  $\mu\text{m}$  である。

#### 【0100】

ビア 1 1 0 は、任意の適切な第 1 の直径 1 3 2 a および第 2 の直径 1 3 2 b を有していてもよい。非限定的な例として、これらの直径は、3 0  $\mu\text{m}$ 、4 0  $\mu\text{m}$ 、5 0  $\mu\text{m}$ 、6 0  $\mu\text{m}$ 、7 0  $\mu\text{m}$ 、8 0  $\mu\text{m}$ 、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）であってもよい。いくつかの実施形態では、ビア直径は、3 0  $\mu\text{m}$  以上 8 0  $\mu\text{m}$  以下であってもよいし、4 0  $\mu\text{m}$  以上 6 0  $\mu\text{m}$  以下であってもよいし、4 5  $\mu\text{m}$  以上 5 5  $\mu\text{m}$  以下であってもよい。第 1 の直径 1 3 2 a は、第 2 の直径 1 3 2 b と同じであってもよいし、異なってもよい。本明細書で既に記載したように、第 1 の直径 1 3 2 a と第 2 の直径 1 3 2 b とは、それぞれ第 3 の直径 1 3 2 c よりも大きい。

10

#### 【0101】

第 1、第 2 および第 3 の軸線方向部分の軸線方向長さは、任意の適切な長さであってもよい。低い最大主応力とヘリウム気密性の組み合わせを達成する長さを選択することが望ましい。第 1 および第 3 の軸線方向部分の長さが短めであると、本明細書に記載されたモデルによって実証されるとおり、ガラスが割れてヘリウム気密性が失われないように応力は低減する。しかし、第 1 および第 3 の軸線方向部分の長さが短すぎると、クラックが存在しない場合であっても、結合が不十分であることから、ヘリウム気密性が失われる可能性がある。いくつかの実施形態では、第 1 および第 3 の軸線方向部分は、ビアの長さの 1 %、2 %、3 %、4 %、5 %、6 %、7 %、8 %、9 %、1 0 %、1 5 %、2 0 %、2 5 %、3 0 %、3 5 % および 4 0 % から独立して選択される長さ、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）を有する。第 2 の軸線方向部分は、ビアの長さの 2 0 %、2 5 %、3 0 %、3 5 %、4 0 %、4 5 %、5 0 %、5 5 %、6 0 %、6 5 %、7 0 %、7 5 %、8 0 %、8 1 %、8 2 %、8 3 %、8 4 %、8 5 %、8 6 %、8 7 %、8 8 %、8 9 %、9 0 %、9 1 %、9 2 %、9 3 %、9 4 %、9 5 %、9 6 %、9 7 %、もしくは 9 8 % である長さ、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）を有する。第 1 および第 3 の軸線方向部分は、ビアの長さの 2 % ~ 4 0 % の長さを有していてもよく、第 2 の軸線方向部分は、ビアの長さの 2 0 % ~ 9 6 % の長さを有する。実施形態では、第 1 および第 3 の軸線方向部分の長さは、確実にハーメチックシールを提供する最小長さを選択することが望ましい。

20

30

#### 【0102】

様々な実施形態では、ビアは、ビア長さが 2 4 0  $\mu\text{m}$  ~ 3 6 0  $\mu\text{m}$  であり、ビア直径が 4 0  $\mu\text{m}$  ~ 6 0  $\mu\text{m}$  の高アスペクト比ビアである。本明細書で使用される「アスペクト比」とは、ビアの平均直径に対するガラス基板の平均厚さの比を指す。「高アスペクト比」とは、アスペクト比が 3 よりも大きいことを指す。理論に拘束されることなく、このようなビアのために、他の長さも企図されているが、2 0  $\mu\text{m}$ 、2 5  $\mu\text{m}$ 、3 0  $\mu\text{m}$ 、3 5  $\mu\text{m}$  および 4 0  $\mu\text{m}$  の長さ、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）を有する第 1 および第 3 の軸線方向部分が、低減された応力を達成するために所望され得る。第 2 の軸線方向部分の長さは、ビア長さの残りの部分を構成する。

40

#### 【0103】

望ましい寸法は将来的に変化するものであり、本明細書に記載された概念を使用して、そうした寸法のために気密封止されたビアを提供できることが予想される。

#### 【0104】

いくつかの実施形態では、第 1 の軸線方向部分は、ビアと第 1 の主面との交差部を含み、第 2 の軸線方向部分は、ビアと第 2 の主面との交差部を含む。この幾何学的形状は、本明細書に記載された製造方法と良く適合する。

#### 【0105】

50

ビア110は、任意に、ビア腰部125を含めた、応力集中を低減するための、内縁に丸みを帯びたフィレット124を有する。本明細書で使用される「フィレット」とは、ビア110の内角に沿った丸みを帯びた角を意味する。このような丸みを帯びたフィレットは、ビア形状の任意の端部で使用することができる。丸みを帯びたフィレット124は、3mm、4mm、5mm、6mm、7mm、8mm、またはこれらの値のうちのいずれかが2つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）などの任意の適切な直径を有していてもよい。他の直径を使用してもよい。

#### 【0106】

ビア110は、フィレット124で傾斜が変化した2つの異なる傾斜を有する内面114を有する。ビア110は、第1の主面102および第2の主面104のそれぞれから腰部125に至るまでの単一の傾斜、図2に示したとおり2つの傾斜、またはより複雑な形状を有していてもよい。傾斜のうちの1つ以上は、図2に示したとおり、第1の主面102および第2の主面104に対して垂直であってもよい。

10

#### 【0107】

##### 金属コネクタ

図3は、図2と同じビア110を示しているが、金属コネクタ150の部分を説明するためにラベリングしている。金属コネクタ150は、第1の軸線方向部分116にまたがる第1のキャビティ152と、第3の軸線方向部分120にまたがる第2のキャビティ154とを画定する。第1のキャビティ152は、第2の軸線方向部分118内の充填部分156によって第2のキャビティ154から分離されている。第1のキャビティ152は、軸線方向寸法において第1のキャビティ長さ153を有し、第2のキャビティ154は、軸線方向寸法において第2のキャビティ長さ155を有する。第1のキャビティ長さ153および第2のキャビティ長さ155に沿った軸線方向寸法の各位置において、金属コネクタ150は、ビア110を完全に充填することなく、内面114をコートする。充填部分156は、軸線方向寸法において充填長さ157を有する。金属コネクタ150は、第1のキャビティ長さ153および第2のキャビティ長さ155に沿ったコーティング厚さ158を有する。一定の厚さ（共形層）で示されているが、コーティング厚さ158は、第1の主面および/または第2の主面からの軸線方向位置および距離に応じて変化してもよい。

20

#### 【0108】

様々な実施形態では、金属コネクタ150は、第1の主面102および第2の主面104において、12 $\mu$ m未満のコーティング厚さ158を有する。例えば、金属コネクタ150は、第1の主面102および第2の主面104において、5 $\mu$ m、6 $\mu$ m、7 $\mu$ m、8 $\mu$ m、9 $\mu$ m、10 $\mu$ m、または11 $\mu$ mのコーティング厚さ158を有していてもよい。いくつかの実施形態では、金属コネクタ150は、第1の軸線方向部分および第2の軸線方向部分において、12 $\mu$ m未満の平均コーティング厚さを有する。いくつかの実施形態では、金属コネクタ150は、第1の主面102から隣接する丸みを帯びたフィレット124までの長さにわたって、かつ第2の主面104から隣接する丸みを帯びたフィレット124までの長さにわたって、12 $\mu$ m未満の平均コーティング厚さを有する。

30

#### 【0109】

テーパ形状、すなわち第1の直径132aおよび第2の直径132bよりも直径が狭い腰部125を有するビア110を使用することにより、図2および図3に示される独特の幾何学的形状を有する金属コネクタ150の製造が可能になる。具体的には、その形状は、第1の主面102および第2の主面104からそれぞれ延びる第1のキャビティ152および第2のキャビティ154を有する。同時に、金属コネクタ150は、腰部125に近接して充填部分156を含む。金属コネクタ150の幾何学的形状は、他の幾何学的形状では利用できない応力緩和のための自由度を備えた基板100に対するハーメチックシールを可能にする。特に、ヘリウムハーメチック接着層122は、第1の軸線方向部分116および第3の軸線方向部分120のそれぞれの軸線方向長さに対して、第1の主面102および第2の主面104において、金属コネクタ150と基板100との間にハーメ

40

50

チックシールを形成する。充填部分 156 は、ガスや液体が第 1 の主面 102 と第 2 の主面 104 との間のビア 110 を通過することができないように、ハーメチックシールを完全なものにする。第 2 の軸線方向部分 118 における接着性の欠如は、熱サイクル中の応力を緩和するために、金属コネクタ 150 に追加の自由度を提供する。さらに、第 1 のキャビティ 152 および第 2 のキャビティ 154 は、応力緩和のためのさらに別の自由度を提供する。応力緩和のためのこれらの自由度は、金属コネクタと基板との間の熱膨張係数の差による基板の破壊を引き起こすことなく、熱サイクルに耐えることができる金属コネクタをもたらす。

#### 【0110】

いくつかの実施形態では、第 1 のキャビティ 152 および第 2 のキャビティ 154 は、第 2 の軸線方向部分 118 と重なるように、ビア 110 の奥へと十分に入り込んで延びる。この重なりにより、基板 100 に結合も充填もされていない金属コネクタ 150 の軸線方向部分がもたらされる。このような幾何学的形状は、応力緩和のための更なる手段を提供する。

#### 【0111】

第 1 のキャビティ長さは、ビア 110 の軸線方向長さの 3%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、60%、70%、80%、90%、95%、もしくは 97%、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する範囲（端点を含む）であってもよい。第 2 のキャビティ長さ 155 は、ビア 110 の軸線方向長さの 3%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、60%、70%、80%、90%、95%、もしくは 97%、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する範囲（端点を含む）であってもよい。第 2 のキャビティ長さ 155 は、第 1 のキャビティ長さ 153 と同じであってもよいし、異なってもよい。様々な実施形態では、第 1 のキャビティ長さ 153 および第 2 のキャビティ長さ 155 は、それぞれ 10 μm 以上 150 μm 以下である。例えば、第 1 のキャビティ長さ 153 および第 2 のキャビティ長さ 155 は、それぞれ 10 μm、15 μm、20 μm、25 μm、30 μm、35 μm、40 μm、45 μm、50 μm、60 μm、70 μm、80 μm、90 μm、100 μm、110 μm、120 μm、130 μm、140 μm、150 μm、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）であってもよい。

#### 【0112】

充填部分 156 は、一方では軸線方向ビア長さ 130 と、他方では第 1 のキャビティ長さ 153 および第 2 のキャビティ長さ 155 との間の差を補う軸線方向長さを有する。いくつかの実施形態では、金属導体は、ビア 110 の軸線方向長さの少なくとも 10% でビアを完全に充填する。

#### 【0113】

第 1 のキャビティ 152 および第 2 のキャビティ 154 が存在するビアの軸線方向長さに沿って、コーティング厚さ 158 は、軸線方向長さに沿った各点でビア直径の 50% 未満である。本明細書の様々な実施形態では、コーティング厚さ 158 は、金属コネクタの厚さとして測定され、ヘリウムハーメチック接着層の厚さを含まない。その結果、コーティング厚さは、第 1 のキャビティ 152 および第 2 のキャビティ 154 が形成され得るように、ビア 110 の中心部までは延びない。コーティング厚さ 158 は、軸線方向長さに沿った各点において、ビア直径の 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、もしくは 49%、またはこれらの値のうちの任意の 2 つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）であってもよい。コーティング厚さ 158 は、軸線方向位置に応じて一定であってもよいし、軸線方向位置に応じて変化してもよい。コーティング厚さ 158 は、コーティング厚さ 158 が、第 1 のキャビティ 152 および第 2 のキャビティ 154 が存在するビアを完全には充填しないほど小さいものである限り、第 1 のキャビティ 152 および第 2 のキャビティ 154 が存在するビアの軸線方向長さに沿って、1 μm、2 μm、3 μm、4 μm、5 μm、6 μm、8 μm、10 μm であるか、

10

20

30

40

50

もしくは12 μm未満、またはこれらの値のうちの任意の2つの値を端点として有する任意の範囲（端点を含む）であってもよい。しかしながら、以下でより詳細に説明されるとおり、様々な実施形態のコーティング厚さ158は、12 μm未満である。様々な実施形態では、第1の主面におけるビア内のコーティング厚さ158および第2の主面におけるビア内のコーティング厚さ158は、それぞれ第2の軸線方向部分におけるコーティング厚さよりも小さい。いくつかの実施形態では、コーティング厚さ158は、第1の主面102および第2の主面104のそれぞれにおけるビア内の第3の直径153cの直径の1/2未満である。

#### 【0114】

図2および図3では、空であるか、または充填されていないものとして示されているが、いくつかの実施形態では、第1のキャビティ152および/または第2のキャビティ154は、銅ではない1種以上の材料で充填されていてもよい。第1のキャビティ152および/または第2のキャビティ154のこのような充填により、ガラス物品の加工に使用される腐食性材料の結果としての金属コネクタ150の汚染または劣化を低減または排除することができる。実施形態では、材料は、金属コネクタ150のCTEよりも低いCTEを有していてもよく、可塑性を有していてもよく、かつ/または金属コネクタ150の自由度を超える1つ以上の自由度を有していてもよい。特定の実施形態では、材料はさらに、ガラス物品の応力を低減するか、またはガラス物品の正味のゼロ応力をもたらすことさえあり得る。いくつかの実施形態では、材料は、金属コネクタ150に共有結合しない。

#### 【0115】

第1のキャビティ152および/または第2のキャビティ154を充填するために使用され得る適切な材料としては、例示的に、限定されないが、400 °C以上または500 °C以上の温度でさえ劣化しない材料を挙げることができる。例えば、特定の実施形態に応じて、ゾルゲルシリカ、ゾルゲル金属酸化物、ポリマー、複合材料、合金、または他のタイプの無機材料を使用してもよい。第1のキャビティ152および/または第2のキャビティ154は、インクジェット印刷、スプレーコーティング、または別の成膜方法を含むがこれらに限定されない、当該技術分野で知られており、かつ使用されている様々な方法のうちの任意の1つの方法を使用して充填されてもよい。第1のキャビティ152および/または第2のキャビティ154を充填するための特定の材料は、使用される特定の材料に依存してもよいことが企図されている。

#### 【0116】

##### 製造方法

テーパ形状を有するガラス貫通ビアは、任意の適切な方法で製造することができる。一つの方法は、レーザを用いて基板100にダメージ痕を形成し、続いてエッチングすることである。例示的な方法は、米国特許第9,656,909号明細書、および米国特許出願第62/588,615号明細書に記載されており、それらの全体が参照により本明細書に組み込まれる。別の方法は、レーザを用いて感光性ガラスを改質し、続いてエッチングすることである。

#### 【0117】

図4は、ガラス貫通ビアをメタライズするためのプロセスを説明するフローチャートである。ステップ410では、第1の軸線方向部分および第3の軸線方向部分のビアの内面上に接着層が成膜されるが、第2の軸線方向部分は成膜されない。続くステップ420では、第1の軸線方向部分および第3の軸線方向部分において、金属コネクタが接着層に接着するように、金属コネクタがビア内に成膜される。

#### 【0118】

接着層は、任意の適切な方法で、第1および第3の軸線方向部分に成膜されてもよいが、第2の軸線方向部分に成膜され得ない。例えば、第1および第3の軸線方向部分のz寸法の長さは、スパッタリングなどのライン・オブ・サイト（指向性）成膜法を使用し、成膜角度を調整して容易に制御することができる。第1および第3の軸線方向部分の長さが、第1の軸線方向部分および第3の軸線方向部分におけるビアの内面の全周にわたって一

10

20

30

40

50

定となるように、成膜中に基板を回転させてもよい。

【0119】

適切な接着層材料としては、チタン、クロム、タンタル、バナジウムのような金属、または酸化亜鉛、および酸化マンガンのような金属酸化物、または窒化チタンおよび窒化タンタルのような窒化物が挙げられる。これらの接着膜は、スパッタリング法、電子ビーム成膜法、イオンビーム成膜法、原子層成膜法、化学蒸着法および溶液コーティング法のような多様な方法でガラス表面に塗布することができる。

【0120】

実施形態では、金属、金属酸化物、または金属窒化物から形成された膜の形態のヘリウムハーメチック接着層もまた、スパッタリング法、電子ビーム成膜法、イオンビーム成膜法、原子層成膜法、化学蒸着法および溶液コーティング法のような多様な方法でガラス表面に塗布することができる。

10

【0121】

金属コネクタは、任意の適切な金属から製造することができる。いくつかの実施形態では、銅が、特に高い導電性のために望ましい金属であり得る。金、銀、および他の導電性金属、ならびに導電性金属の合金を使用してもよい。実施形態では、金属コネクタは、銅を含む。いくつかの特定の実施形態では、金属コネクタは、実質的に銅から成る。

【0122】

金属コネクタは、任意の適切な手段で成膜することができる。銅（および他の金属）を成膜するための1つの適切な方法は、ヘリウムハーメチック接着層上にPdなどの触媒を成膜し、続いて銅を無電解成膜し、続いて銅を電気めっきすることである。Pdなどの触媒は、所望により、ヘリウムハーメチック接着層以外に、またはヘリウムハーメチック接着層に加えて、コンポーネント上に成膜されてもよいことが理解されるべきである。様々な実施形態では、電気めっきプロセスは、金属塩および金属析出抑制剤を含む電気めっき浴を使用するステップと、 $1.5 \text{ mA/cm}^2$  以上  $5 \text{ mA/cm}^2$  以下、または  $1.5 \text{ mA/cm}^2$  以上  $2.5 \text{ mA/cm}^2$  以下の電流密度で電流を流すステップとを含む。金属塩は、金属コネクタを形成する金属の塩、例えば  $\text{CuSO}_4$  であってもよい。金属析出抑制剤は、第1および第2の主面またはその付近における金属のめっき速度を特異的に抑制または遅延させるように選択されてもよく、これにより、ビアの腰部よりも第1および第2の主面におけるビア内で薄いコーティング厚さを有する金属コネクタを形成することが可能となる。

20

30

【0123】

金属析出抑制剤の一例としては、塩化ニトロブルーテトラゾリウム (NTBC) が挙げられる。理論に拘束されることなく、NTBCはビアの入口付近の銅イオンに優先的に吸着し、これにより、NTBCが吸着した領域の銅析出が抑制されると考えられる。NTBCの優先的な吸着はまた、ビアの軸線方向の長さに沿って吸着されたNTBCの濃度勾配をもたらし、第1および第2の主面付近ではNTBCが多く、ビアの腰部付近ではNTBCが非常に少なくなる。したがって、銅は、第1および第2の主面付近および主面上に比べて、ビアの腰部付近では、より迅速に析出し得る。したがって、めっき速度差を維持することにより、第1および第2の主面のコーティング厚さが腰部の直径の  $1/2$  未満でありながら、ビアの中心部を塞ぐことができる。

40

【0124】

本明細書に記載された様々な実施形態は、金属析出抑制剤としてNTBCを含むが、他の金属析出抑制剤およびめっき速度差を達成および維持するための方法が企図されている。例えば、Ni-B (NTB)、メチルチアゾールテトラゾリウム (MTT)、および/または塩化テトラニトロブルーテトラゾリウムクロリド (TNBT) を金属析出抑制剤として使用してもよい。

【0125】

金属コネクタを成膜するための他の適切な方法としては、ビアへの金属ペーストの充填、および焼結または化学蒸着法 (CVD) が挙げられる。銅を成膜するための適切な方法

50

は、米国特許出願公開第 2 0 1 7 - 0 2 8 7 7 2 8 号明細書にさらに記載されており（例えば、段落 [ 0 0 0 4 ] ~ [ 0 0 0 5 ] を参照）、その全体が参照により組み込まれる。

【 0 1 2 6 】

層間剥離

層間剥離は故障メカニズムの一つである。層間剥離は、銅などの導電性金属がビアの内部から剥離することで発生する。導体と基板との間に弱い結合部がある場合、熱サイクルによって引き起こされる応力が層間剥離につながる可能性がある。層間剥離が発生すると、熱サイクル中に金属がビアの端部から塑性変形することがある。プリント回路基板業界では、この膨張は金属の伸縮または往復運動（metal pumping or pistoning）と呼ばれている。TGVの多くの用途では、薄膜金属再分配層（RDL）が、メタライズされたTGVに続けて適用される。これらのRDLは、金属TGVを介して届いてくる電力または信号を電子部品に送るために使用される。任意の金属の伸縮または往復運動が、金属TGVとRDLとの間の電氣的接続を引き裂くことになる。

10

【 0 1 2 7 】

層間剥離はまた、層間剥離した金属コネクタとビアの内面との間の境界に沿ってガスや液体が基板に侵入する可能性があるため、ヘリウム気密性が失われる可能性がある。

【 0 1 2 8 】

基板と金属コネクタとの間に十分に強固な結合を形成することによって、層間剥離を低減または排除することができる。このような結合部を形成するために、基板と金属コネクタとの間のビアの内面に配置された接着層を使用してもよい。本明細書で使用される「接着層」とは、400 ~ 25 の熱サイクルに耐えるのに十分に強固な、金属コネクタと基板との間の結合をもたらす任意の層または表面処理を意味する。任意の適切な接着層を使用してもよく、接着層は任意の適切な手段で成膜してもよい。例えば、酸化物接着層が、スパッタリングによって成膜されてもよい。成膜パラメータは、接着層が成膜する箇所を制御するように調整されてもよい。例えば、スパッタリングプロセス中の成膜の角度は、スパッタリングによって材料が成膜される第1の軸線方向部分116および第3の軸線方向部分120の長さを制御するように調整されてもよい。この同じ調整は、スパッタリングによって材料が成膜されない第2の軸線方向部分118の長さを制御する。

20

【 0 1 2 9 】

周方向クラッキング

層間剥離は、金属コネクタと基板との間に強固な結合を形成することによって防止することができる。しかし、より強固なこの結合により、熱サイクル中に金属コネクタが基板に対して相対的に移動することができなくなる。その結果、熱サイクルが原因で基板に応力が発生してクラックが生じたり、ヘリウム気密性が失われたりする可能性がある。

30

【 0 1 3 0 】

ガラス中の応力場を予測するための古典的なラメ弾性問題の2次元平面ひずみ解は、以下のとおりである：

【 0 1 3 1 】

【数1】

$$\sigma_r^A = -\sigma_\theta^A = \frac{-E_f \epsilon_T}{1 - 2\nu_f + \frac{1+\nu_m}{1+\nu_f} \frac{E_f}{E_m}} \left( \frac{D_f}{2r} \right)^2$$

40

【 0 1 3 2 】

式中、 $r$ 、 $\sigma_r$ 、 $\sigma_\theta$ 、 $z$  は、それぞれ半径方向応力、周方向応力、および軸線方向応力であり、 $T = (T_f - T_m)$   $T$  は、熱負荷  $T$  によるミスマッチひずみである。材料特性  $E_f$ 、 $E_m$ 、および  $\nu_f$ 、 $\nu_m$  は、CTE、ヤング率、ポアソン比であり、下付き文字の  $f$  および  $m$  は、それぞれビア（繊維）およびガラス（マトリックス）を表す。

50

## 【 0 1 3 3 】

熱サイクルの加熱部と冷却部の両方で故障が起こる可能性がある。加熱時には、最も高い温度で最大の膨張ミスマッチが発生する。金属コネクタは基板よりも膨張しているため、基板の応力の多くは高温で圧縮力となる。加熱時に支配的なガラス内の周方向引張応力は、金属コネクタの周りで半径方向クラックをもたらし可能性がある。隣のビアに伝播する可能性がある。冷却時には、最も低い温度で最大の収縮ミスマッチが発生する。金属コネクタは基板よりも収縮しているため、基板の応力の多くは低温で引張応力となる。冷却時に支配的な半径方向応力によりクラックが生じる可能性がある。半径方向応力は、表面付近のガラス内では引張応力であり、これが原因でガラスの周方向クラック（Cクラック）を起こす可能性がある。加熱と冷却の両方において、界面に沿ったせん断応力の存在は、層間剥離による界面破壊を誘発する可能性がある。

10

## 【 0 1 3 4 】

熱サイクルの冷却部の終わりに差し掛かると、金属コネクタ150は、CTEの差のために基板100よりも収縮している。なぜなら、金属コネクタ150は、基板100に接着しているからである。金属コネクタ150の収縮は、基板100を引っ張り、基板100に引張応力下に置く。応力緩和のための十分な自由度がなければ、この引張応力は、基板100にマイクロクラックを引き起こすことになる。これらのマイクロクラックは、ヘリウム気密性の損失を引き起こす。

## 【 0 1 3 5 】

本明細書に記載された様々な実施形態は、熱サイクルに供された後に、ヘリウム気密性を示し、いかなるクラックも示すことはない。特に、本明細書に記載された様々な実施形態では、基板の主面に限定されたコーティング厚さを有し、かつ完全に充填された中間部を有する共形的な銅コーティングの存在と、ビアの第2の軸線方向部分に沿ったヘリウムハーメチック接着層の不在とにより、マイクロクラックを発生させるだけの量の引張応力を発生させることなく、基板および金属コネクタを異なる速度で収縮させることを可能にしながら、ヘリウム気密性が提供される。

20

## 【 0 1 3 6 】

## モデル化

モデル化のために、図2および図3の幾何学的形状を使用し、ここで、ビアの内面は、軸線方向長さの75 μm、すなわち、ビアが隅から隅まで完全に充填されている腰部125のそれぞれの側の37.5 μmを除き、すべての箇所を銅により共形的にコートされている。ビア長さ130は、300 μmであった。第1の直径132 aおよび第2の直径132 bは、それぞれ50 μmであった。この50 μmの直径は、両表面から軸線方向長さに沿って50 μmの距離で維持される。表面から50 μmの位置で始まって、ビアは、軸線方向長さに沿って中間の腰部125で直径20 μmになるように内側へと先細りになる。上面および下面の両方には、厚さ20 μmの平坦な銅の余剰めっき層151（図2および図3に示される）が含まれている。このモデル化の結果は、金属コネクタのキャビティおよび金属コネクタと基板との間に強固な結合がない第2の軸線方向部分を有する他のビアや金属コネクタの形状にも適用されることが予想される。

30

## 【 0 1 3 7 】

実際のデバイスを製造するための1つのプロセスフローでは、最も過酷な熱サイクルが発生したときに、銅の余剰めっき層151を含む、図2および図3の幾何学的形状が存在する。その後、余剰めっき層は排除され、更なる処理が行われてもよい。しかし、図2および図3の幾何学的形状は、本明細書でモデル化された熱サイクルと関連性を有する。

40

## 【 0 1 3 8 】

このモデル化は、Ryu SK, Lu KH, Zhang X, Im JH, Ho PS, Huang R. Impact of near-surface thermal stresses on interfacial reliability of through-silicon vias for 3-D interconnects. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability. 2011 Mar;11(1):35-(“Ryu”)からの理論に基づいている。Ryu氏によると、ビアをウェーハに配置したときのビアとウェーハ表面との応力を予測するための解析解があるとい

50

う。しかし、厚みを介した応力を予測するための閉形式はない。そこで、モデル化が必要となる。モデル化のために、有限平板における隔離された単一のホールがモデル化される。2次元軸対称性が仮定され、0.5 μm程度の小さなメッシュサイズが使用される。

【0139】

モデル化のために、ガラスは弾性があり、熔融シリカの性質を持つと仮定した：E（ヤング率）= 73 GPa；（ポアソン比）= 0.17および（熱膨張係数）= 0.55 ppm / (0.55 × 10<sup>-6</sup> / )。銅は、弾完全塑性特性を有し、温度依存性の降伏応力を持つと仮定した。図5Aは、弾完全塑性材料の応力 - ひずみ関係を示すグラフ500を示す。図5Bは、温度依存性の銅降伏応力を示すグラフ510を示す。モデル化に使用した銅の弾性特性は、E（ヤング率）= 121 GPa、（ポアソン比）= 0.35および（熱膨張係数）= 17 ppm / (17 × 10<sup>-6</sup> / )であった。また、銅ビアと熔融シリカとを含む系は、25で無応力状態にあると仮定した。このモデル化では、25 ~ 400の熱サイクルを経て25まで戻した後の応力を算出した。

10

【0140】

ガラスに亀裂が入る場合、第1の主応力が最も大きい箇所、すなわち、「最大第1主応力」で最初に亀裂が入ることになる。図3を参照すると、モデル化は2点で最も高い第1主応力を示した。一つ目に、接着層122と基板100との間の界面から短い距離の線190に沿って、基板100の表面上に高い最大主応力が存在していた。この高い応力の第1の点は、サンプルで観察された破壊メカニズム、すなわち表面のマイクロクラックに対応する。

20

【0141】

二つ目に、接着層122が終了する点192に高い最大主応力が存在していた。この点は、実質的にクラック先端部である。使用された固体力学に基づくモデル化の種類は、特異点のためにクラック先端部での挙動を正確に予測することができない。代替モデルである破壊力学は、挙動がより良好な予測因子である。いずれにしても、金属コネクタ150と基板100との間の界面に沿った破壊によるヘリウム気密性の損失は、主要な故障メカニズムではないと考えられる。

【0142】

図6は、異なる接着長さについて、図3の線190に沿ったモデル化された最大主応力対半径方向位置のプロットを示したものである。図6のモデル化のために、コーティング厚さ158は、10 μmで一定に保持した。表1は、図6においてプロットされた各線からの最大第1主応力を示す。

30

【0143】

【表1】

表1

両表面からの接着深さ	表面上の最大第1主応力
150 μm (完全な接着)	602.76 MPa
100 μm	603.94 MPa
50 μm	607.02 MPa
30 μm	557.8 MPa
10 μm	338.77 MPa

40

【0144】

図6および表1は、マイクロクラックに対応する最大主応力は、接着長さが減少するにつれて減少することを示している。表1の最大第1主応力が閾値を超えるとマイクロクラックが発生することが予想される。製造された実システムが、割れ目、引っ掻き傷、および内部空隙などの欠陥のない完璧なものであり、モデル化が完璧であれば、この閾値強度は、ガラスの引張降伏強度となるだろう。しかしながら、系の欠陥により、ガラスの引張

50

降伏強度よりもはるかに低い応力でクラックが発生する可能性がある。そして、モデル化された値は、メッシュサイズなどのモデルパラメータに部分的に依存する。そのため、表 1 の値は、引張降伏強度よりも大幅に高い値となっている。したがって、表 1 の値は、傾向を示し、本明細書に記載された幾何学的形状により達成された驚くべき改善を示すのに有用である。このモデル化はまた、当業者が、応力を低減するために十分に短い接着長さを決定することを可能にする一方で、ハーメチックシールを提供するために十分に大きい接着長さを考慮することも可能にする。

【 0 1 4 5 】

図 7 は、異なるコーティング厚さ 1 5 8 について、図 3 の線 1 9 0 に沿った最大主応力対半径方向位置のプロットを示す。図 6 のモデル化のために、接着長さは 5 0  $\mu\text{m}$  で一定に保持した。表 2 は、図 7 でプロットされた各線からの最大第 1 主応力を示す。

【 0 1 4 6 】

【表 2】

表 2

銅コーティング厚さ	表面上の最大第 1 主応力
2 $\mu\text{m}$	336.48 MPa
5 $\mu\text{m}$	465.96 MPa
10 $\mu\text{m}$	607.02 MPa
15 $\mu\text{m}$	622.45 MPa
20 $\mu\text{m}$	651.83 MPa

【 0 1 4 7 】

図 7 および表 2 は、コーティング厚さ 1 5 8 が減少するにつれて、マイクロクラックに対応する最大主応力が減少することを示している。図 6 および表 1 と同様に、図 7 および表 2 のデータにより、当業者は、金属コネクタのパラメータ、この場合はコーティング厚さ 1 5 8 について情報に基づいた選択を行うことが可能になる。接着長さと同様に、ハーメチックシールを形成し、金属コネクタ 1 5 0 を介して所望の導電性を達成するためには、ある程度のコーティング厚さが必要であるため、コーティング厚さは過度に減少させるべきではない。

【 0 1 4 8 】

より一般的には、表 1 および表 2 は、金属コネクタがビアの内面に接着されている第 1 および第 3 の軸線方向部分との間で、金属コネクタがビアの内面に接着されていない第 2 の軸線方向部分をビア構造に含めることによって、最大第 1 主応力を低減できることを示している。

【 0 1 4 9 】

三つ目に、ヘリウムハーメチック接着層 1 2 2 が終了する点に最大主応力が存在していた。この点は、クラックの開始および伝播を誘導するための支配的な応力成分である。図 8 は、異なる銅壁厚さについて、線 1 9 0 に沿ったモデル化された最大第 1 主応力と最大半径方向応力をプロットしたものを示す。図 8 に示すように、コーティング厚さ 1 2  $\mu\text{m}$  の場合、最大第 1 主応力と最大半径方向応力の両方が閾値（図 2 および図 3 に示す構成では、最大第 1 主応力は 1 4 0 MPa、最大半径方向応力は 8 0 MPa）を満たすか、または閾値を超える。

【 0 1 5 0 】

図 9 は、ウェーハを最高温度 4 0 0 までアニールした後の、異なる銅コーティング厚さでのクラックを有するビアの割合をプロットしたものを示し、破線は回帰フィットの 9 5 % 信頼境界を表している。コーティング厚さは、第 1 または第 2 の主面で測定し、コーティング厚さ測定の整数に基づいてグループを形成した。言い換えれば、「8  $\mu\text{m}$ 」のグループには、8 . 0 0  $\mu\text{m}$  ~ 8 . 9 9  $\mu\text{m}$  のコーティング厚さが含まれ、「9  $\mu\text{m}$ 」のグ

ループには、 $9.00\ \mu\text{m} \sim 9.99\ \mu\text{m}$ のコーティング厚さといった各グループが含まれる。図9に示すように、コーティング厚さが $12\ \mu\text{m}$ 以上になるまでは、ピアにクラックは発生しない。このモデル化により、当業者は、金属コネクタのパラメータ、この場合はコーティング厚さ158について情報に基づいた選択を行うことが可能になる。ハーメチックシールを形成し、金属コネクタ150を介して所望の導電性を達成するためには、ある程度のコーティング厚さが必要であるため、コーティング厚さは過度に減少させるべきではない。

#### 【0151】

図10Aおよび10Bは、異なる銅コーティング厚さを有するメタライズガラス貫通ビアの断面図である。図10Aに示すように、銅のコーティング厚さが $12\ \mu\text{m}$ 未満であれば、クラックは存在しないが、銅のコーティング厚さが $12\ \mu\text{m}$ 以上である図10Bには、周方向のマイクロクラックが示されている。

10

#### 【0152】

##### 半径方向クラック

充填ビアを有するガラスおよびガラスセラミック基板は、しばしば熱サイクルの影響を受ける。この熱サイクルは、デバイスの動作中に、またはビア充填に続く製造ステップ中に発生することがある。いくつかの実施形態では、例えば、ガラス基板は、アニールのために熱サイクルの影響を受けることがある。

#### 【0153】

上述のように、銅や他の金属の熱膨張係数(CTE)と、多くのガラスおよびガラスセラミック材料の熱膨張係数(CTE)には大きなミスマッチが存在する。このCTEのミスマッチのために、加熱すると、金属コネクタは周囲のガラスまたはガラスセラミック基板よりも急速に膨張してしまう。同様に、冷却すると、金属コネクタは周囲の基板よりも急速に収縮してしまう。この膨張と収縮の違いが応力を引き起こし、これにより、層間剥離またはクラックなどの多くの故障メカニズムにつながる可能性がある。これらの故障メカニズムは、ヘリウム気密性の損失や他の問題を引き起こす可能性がある。

20

#### 【0154】

クラックの形成を防ぐための一般的な方法としては、ガラスまたはガラスセラミックの組成に合わせたCTEの改善、環状または共形的にめっきされた貫通ビアの使用、低めのアニール温度(通常は $300$ 未満で、鉛フリーはんだのリフロー温度に対応する)、小さなホールサイズ、または銅よりも低い導電性を持ちながらもガラスまたはガラスセラミックとのCTEのマッチングがより良好なメタライズ材料の使用が挙げられる。しかしながら、これらの解決策は、メタライズ貫通ホールの適用を制限する可能性がある。例えば、環状のホールや小径のホールは、厚みのあるメタライズ層が必要とされるパワーデバイスなどの高電流を流す用途には好ましくない。また、高周波用途では、一般的に高シリカ含有ガラスが使用される。

30

#### 【0155】

上記および他の問題に対処するために、本明細書に開示および記載された実施形態に従ったプロセスは、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第1の温度から第2の温度まで加熱するステップを含み、ここで、第1の温度は $200$ 以上 $300$ 以下であり、第2の温度は $350$ 以上 $450$ 以下であり、ここで、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第1の温度から第2の温度まで加熱する間の平均加熱速度は $0.0$ /分超 $8.7$ /分未満である。実施形態はまた、ガラスまたはガラスセラミック基板を厚さ方向に貫通する少なくとも1つの貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック基板と、少なくとも1つの貫通ビア内に存在する銅とを含むガラスまたはガラスセラミック物品を含み、ここで、ガラスまたはガラスセラミック物品は、半径方向クラックを含まない。

40

#### 【0156】

上で議論したように、そして図13を参照して、ガラスまたはガラスセラミック物品1300の実施形態は、ガラスまたはガラスセラミック基板1310と、銅メタライズ貫通

50

ビア1320とを含む。銅メタライズ貫通ビア1320は、円筒形の形状をしており、貫通ビアの少なくとも一部に銅金属が含まれている。任意の貫通ビア幾何学的形状が、本明細書に開示および記載された実施形態に従って使用され得ることが理解されるべきである。このような幾何学的形状としては、限定されないが、円錐状の貫通ビア、円錐台状の貫通ビア、または締結状の貫通ビア（例えば、砂時計型の形状を有する貫通ビア）が挙げられる。銅メタライズ貫通ビア1320は、半径「r」を有する。ガラスまたはガラスセラミック基板1310と貫通ビア内に存在する銅との間のCTEミスマッチは、銅メタライズ貫通ビア1320から半径方向に延びるクラック130の形成を引き起こす可能性がある。銅メタライズ貫通ビア1320から半径方向に延びるこれらのクラック130を、本明細書では、半径方向クラックと呼ぶ。特定の理論に拘束されることなく、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品1300が加熱されると、ガラスまたはガラスセラミック基板1310の比較的低い膨張が、銅メタライズ貫通ビア1320に存在する銅の自由膨張を制約し、そのため高い応力が構築され、ガラスまたはガラスセラミック基板1310に半径方向クラック1330が形成されると考えられる。

#### 【0157】

実施形態は、銅メタライズ貫通ビアに向けられているが、本明細書に開示および記載されたプロセスは、任意の金属材料でメタライズされた貫通ビア上で使用され得ることも理解されるべきである。特に、本明細書に開示および記載されたプロセスは、貫通ビアに存在する材料とのCTEミスマッチを有するガラスおよびガラスセラミック基板に向けられていることから、任意の金属材料でメタライズされた貫通ビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板において、半径方向クラックを最小化または排除することができる。

#### 【0158】

いくつかの実施形態では、そしてここでは図14を参照して、ガラスまたはガラスセラミック基板1310は、ガラスまたはガラスセラミック基板1310の直線に沿って位置決めされた複数の銅メタライズ貫通ビア1320a~1320fを含んでいてもよい。このような構成において、複数の半径方向クラック1330a~1330eは、半径方向クラック1330a~1330eが隣接する銅メタライズ貫通ビア1320a~1320fの間の距離にまたがるように、ガラスまたはガラスセラミック基板1310に形成されていてもよい。例えば、半径方向クラック1330aは、隣接する銅メタライズ貫通ビア1320aと1320bとの間に延びていてもよく、半径方向クラック1330bは、隣接する銅メタライズ貫通ビア1320bと1320cとの間に延びていてもよい。このようにして、半径方向クラック1330a~1330eは、ガラスまたはガラスセラミック基板1310の銅メタライズ貫通ビア1320a~1320fのそれぞれの間にまたがっていてもよい。

#### 【0159】

上述したように、銅メタライズ貫通ビアを有するガラスまたはガラスセラミック物品1300に存在する応力は、ガラスまたはガラスセラミック物品1300の加熱時に半径方向クラック1330を形成する原因となり得る。半径方向クラック1330を引き起こす可能性があるこれらの応力は、以下に示すように理論的に近似することができ、本明細書に開示および記載された実施形態に従って、応力を制御し、銅メタライズ貫通ビアを有するガラスまたはガラスセラミック物品1300の半径方向クラックを最小化または排除するプロセスを開発することができる。

#### 【0160】

ガラスまたはガラスセラミック基板1310の銅メタライズ貫通ビア1320は、一般的に円筒状であり、ガラスまたはガラスセラミックマトリックスで包まれていることから、ガラスまたはガラスセラミックの応力は、ラメの肉厚/中実壁円筒式を用いて決定することができ、ここで、以下の式に示すように、面内応力（半径方向応力および周方向応力）は等しいが、ガラスまたはガラスセラミックの厚さの中心領域では反対である：

#### 【0161】

#### 【数2】

10

20

30

40

50

$$\sigma_r = -\sigma_\theta$$

【 0 1 6 2 】

式中、 $r$  は半径方向応力であり、

$$\sigma_\theta$$

【 0 1 6 3 】

は周方向（またはフープ）応力である。

【 0 1 6 4 】

単一の銅ビアを取り囲むガラスまたはガラスセラミックの面内熱機械応力は、以下の例示的な値により、以下の式を使用して算出することができる。

【 0 1 6 5 】

【数 3】

$$\sigma_r = -\sigma_\theta = \left[ \frac{-E_{Cu}(\alpha_{Cu} - \alpha_{ガラス})\Delta T}{(1-2\nu_{Cu}) + \left(\frac{1+\nu_{ガラス}}{1+\nu_{Cu}}\right)\left(\frac{E_{Cu}}{E_{ガラス}}\right)} \left(\frac{D_{Cu}}{2r}\right)^2 \right]$$

【 0 1 6 6 】

式中、 $\alpha_{Cu}$  は銅の CTE (16.7 ppm / (16.7 × 10<sup>-6</sup> / )) であり、  
ガラスはガラスまたはガラスセラミックの CTE (0.6 ppm / (0.6 × 10<sup>-6</sup> / )) であり、  
 $\nu_{ガラス}$  および  $\nu_{Cu}$  はそれぞれガラスまたはガラスセラミックのポアソン比 (0.26) および銅のポアソン比 (0.35) であり、 $r$  はガラスまたはガラスセラミックのホール  
の中心部からの距離である。すなわち、ガラスまたはガラスセラミック基板と銅との  
界面において、 $r$  はメタライズ貫通ビアの半径である。 $D_{Cu}$  は貫通ビアの直径 (50 μm)、  
 $E_{Cu}$  と  $E_{ガラス}$  はそれぞれ銅の弾性率 (120 GPa) とガラスまたはガラスセラミックの弾性率 (70 GPa) であり、  
 $T$  は温度変化である。式 2 と、銅およびガラスまたはガラスセラミックについて上記で提供された値とを使用して、室温 (約 25 ) から最高温度まで加熱する際のガラスまたはガラスセラミック基板の応力を算出することができる。ここで、銅とガラスまたはガラスセラミックは弾性材料と仮定する。貫通ビアエッジからの計算されたガラスまたはガラスセラミックの応力を図 3 に表しているが、ここで、周方向応力と半径方向応力とは大きさは等しいが方向は逆であることが示されている。図 15 では、ガラスまたはガラスセラミックの引張周方向応力は、引張応力場のためにクラックが形成されることが知られているため、加熱中に半径方向クラックが形成される主な原因であると予想される。最大応力は、貫通ビアが別の貫通ビアに密接に隣接していない箇所では、貫通ビアエッジで発生し、貫通ビアの端部から離れて指数関数的に減衰する。

【 0 1 6 7 】

上記の式は、温度の関数として最大引張周方向応力値を決定するために使用することができる。図 16 は、熱処理温度 ( ) 対周方向応力 (MPa) のプロットを示す。図 16 のプロットは、熱処理中の温度の上昇が、周方向応力の実質的に線形増加をもたらすことを示し、これは、熱処理の温度が上昇するにつれて、半径方向クラックの形成される確率が増加することを示している。したがって、より高い温度では、半径方向クラックが発生する可能性が高くなる。

【 0 1 6 8 】

上記の式および分析を使用して、本明細書に開示および記載された実施形態に従って銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するためのプロセスを、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の半径方向クラックの形成を最小化または排除するように定式化した。特定の理論に拘束されることなく、熱処理の高温部分を通じて低い平均加熱速度を使用することで、応力緩和メカニズムを活性

10

20

30

40

50

化することが可能となり、これにより、高温で存在するより高い周方向応力の影響を最小限に抑えることができ、その結果、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の半径方向クラックの形成を低減または排除することができると考えられる。

【0169】

ここで、本発明の実施形態に従った銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するプロセスについて説明する。上述したように、上記の式を使用して、熱処理温度が高くなるにつれて、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の周方向応力、すなわち半径方向クラックの形成につながる可能性のある応力が増大することが判明した。したがって、実施形態に従った銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するプロセスにおいて、半径方向クラックが形成される確率が顕著になる第1の温度が存在し、この第1の温度を上回る平均加熱速度が低い平均加熱速度となるように制御することにより、半径方向クラックの形成が低減または最小化されることが判明した。いくつかの実施形態によれば、この第1の温度を下回る温度での加熱速度は、限定される必要はない。したがって、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品は、任意の平均加熱速度を使用して第1の温度まで加熱することができる。したがって、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するプロセスの実施形態は、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の温度が、通常熱処理が終わる第1の温度以上第2の温度以下であるプロセス中の平均加熱速度を制御することに向けられている。本明細書に開示された温度は、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するために使用される装置、例えばオープン、炉、キルン、徐冷がまなどの測定された大気圧温度を指すことが理解されるべきである。

【0170】

この情報を用いて、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の熱処理を行い、半径方向クラックが発生する温度を測定した。様々な熱処理を目視で観察した結果、半径方向クラックが発生する確率は、200 以上の温度、例えば、210 以上の温度、220 以上の温度、230 以上の温度、240 以上の温度、250 以上の温度、260 以上の温度、270 以上の温度、280 以上の温度、290 以上の温度で顕著に増加することがわかった。したがって、実施形態に従った銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するプロセスでは、第1の温度を下回る温度での半径方向クラックの形成の確率が低いことから、第1の温度を下回る温度での加熱速度を制御する必要はない。実施形態では、第1の温度は、200 以上300 以下、例えば、210 以上300 以下、220 以上300 以下、230 以上300 以下、240 以上300 以下、250 以上300 以下、260 以上300 以下、270 以上300 以下、280 以上300 以下、または290 以上300 以下である。いくつかの実施形態では、第1の温度は、200 以上290 以下、例えば、200 以上280 以下、200 以上270 以下、200 以上260 以下、200 以上250 以下、200 以上240 以下、200 以上230 以下、200 以上220 以下、または200 以上210 以下である。いくつかの実施形態では、第1の温度は、220 以上280 以下、例えば、225 以上かつ275 以下、または240 以上かつ260 以下である。

【0171】

銅メタライズ貫通ビアを有するガラスまたはガラスセラミック物品において半径方向クラックが形成される確率は、上述した第1の温度から、一般的に熱処理が終了する第2の温度までの間に高くなる。実施形態では、第2の温度は、350 以上450 以下、例えば、360 以上450 以下、370 以上450 以下、380 以上450 以下、390 以上450 以下、400 以上450 以下、410 以上450 以下、420 以上450 以下、430 以上450 以下、または440 以上450 以下である。いくつかの実施形態では、第2の温度は、350 以上440 以下、例えば、350 以上430 以下、350 以上420 以下、350 以上410 以下

10

20

30

40

50

、350 以上400 以下、350 以上390 以下、350 以上380 以下、350 以上370 以下、350 以上360 以下である。実施形態では、第2の温度は、375 以上450 以下、例えば、375 以上425 以下である。

【0172】

上述したように、本明細書に開示および記載された実施形態に従って、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するためのプロセスは、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品が、第1の温度以上第2の温度以下の温度、すなわちクラック形成の確率が高い温度にあるときの平均加熱速度を制御する。本明細書で使用される「平均加熱速度」は、第2の温度と第1の温度との差を、第1の温度から第2の温度まで銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するのに要する時間で除した値である。したがって、本明細書で使用される「平均加熱速度」は、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品が第1の温度以上第2の温度以下である任意の温度保持を含む。例として、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品が、第1の温度300 から10分間で350 まで加熱され、350 で10分間保持され、次いで350 から10分間で第2の温度400 まで加熱される場合、平均加熱速度は3.33 /分(すなわち、400 - 300 / 30分)である。

10

【0173】

実施形態では、第1の温度から第2の温度までの平均加熱速度は、0.0 /分超8.7 /分未満、例えば、0.0 /分超8.5 /分以下、0.0 /分超8.2 /分以下、0.0 /分超8.0 /分以下、0.0 /分超7.8 /分以下、0.0 /分超7.5 /分以下、0.0 /分超7.2 /分以下、0.0 /分超7.0 /分以下、0.0 /分超6.8 /分以下、0.0 /分超6.5 /分以下、0.0 /分超6.2 /分以下、0.0 /分超6.0 /分以下、0.0 /分超5.8 /分以下、0.0 /分超5.5 /分以下、0.0 /分超5.2 /分以下、または0.0 /分超5.0 /分以下である。いくつかの実施形態では、第1の温度から第2の温度までの平均加熱速度は、2.0 /分以上8.7 /分未満、例えば、2.2 /分以上8.7 /分未満、2.5 /分以上8.7 /分未満、2.8 /分以上8.7 /分未満、3.0 /分以上8.7 /分未満である。実施形態では、第1の温度から第2の温度までの平均加熱速度は、2.0 /分以上6.5 /分以下、例えば、2.2 /分以上6.5 /分以下、2.5 /分以上6.5 /分未満、2.8 /分以上6.5 /分未満、または3.0 /分以上6.5 /分未満である。上記の平均加熱速度で第1の温度から第2の温度まで、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱しても、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品に半径方向クラックが発生することはない。

20

30

【0174】

いくつかの実施形態によれば、第1の温度から第2の温度までの加熱速度は、第1の温度から第2の温度までの温度範囲全体で均一な加熱速度が使用されるように実質的に一定に保たれる。本明細書で使用される「実質的に一定の加熱速度」とは、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するために使用される装置によって制御可能な加熱速度設定点に近い加熱速度に維持されることを意味する。例えば、第1の温度から第2の温度までの温度範囲における加熱速度は一定であり、6.5 /分に設定されるべきである。しかしながら、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を加熱するために使用される装置に固有の非整合性および非効率性を考慮すると、加熱速度は、6.5 /分で一定にすることが意図されているにもかかわらず、例えば6.2 /分に減少するか、または例えば6.8 /分に増加してもよい。本明細書で使用されるこの状況は、「実質的に一定の」加熱速度である。いくつかの実施形態では、第1の温度から第2の温度までの加熱速度は変動してもよい。本明細書で使用される「変動」加熱速度とは、第1の温度から第2の温度までの温度範囲で意図的に変化される加熱速度を指す。変動加熱速度を有する実施形態の例の場合、銅メタライズ貫通ビアを含むガ

40

50

ラスまたはガラスセラミック物品を、第1の温度300 から350 まで6.5 /分の加熱速度で加熱し、次いで350 から第2の温度400 まで2.3 /分の加熱速度で意図的に加熱することになる。

【0175】

実施形態では、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品が室温（約25）から第1の温度にある平均加熱速度は限定されないが、いくつかの実施形態では、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品が室温（約25）から第1の温度にある平均加熱速度はまた、半径方向クラックが形成されないようにするのに役立つように低く保たれる。したがって、実施形態では、室温から第1の温度までの平均加熱速度は、0.0 /分超8.7 /分未満、例えば、0.0 /分超8.5 /分以下、0.0 /分超8.2 /分以下、0.0 /分超8.0 /分以下、0.0 /分超7.8 /分以下、0.0 /分超7.5 /分以下、0.0 /分超7.2 /分以下、0.0 /分超7.0 /分以下、0.0 /分超6.8 /分以下、0.0 /分超6.5 /分以下、0.0 /分超6.2 /分以下、0.0 /分超6.0 /分以下、0.0 /分超5.8 /分以下、0.0 /分超5.5 /分以下、0.0 /分超5.2 /分以下、または0.0 /分超5.0 /分以下である。いくつかの実施形態では、室温から第1の温度までの平均加熱速度は、1.0 /分以上8.7 /分未満、例えば、2.0 /分以上8.7 /分未満、2.5 /分以上8.7 /分未満、2.8 /分以上8.7 /分未満、3.0 /分以上8.7 /分未満である。実施形態では、室温から第1の温度までの平均加熱速度は、1.0 /分以上6.5 /分以下、例えば、2.0 /分以上6.5 /分以下、2.2 /分以上6.5 /分未満、2.5 /分以上6.5 /分未満、2.7 /分以上6.5 /分未満、または3.0 /分以上6.5 /分未満である。

10

20

【0176】

上述したように、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第1の温度から第2の温度に加熱するプロセスは、温度が一定期間だけ一定に保持される様々な温度保持を含んでいてもよい。特定の理論に拘束されることなく、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を一定の温度に保持することによって、温度保持中に緩和が生じ、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の応力が減少し得ることが考えられる。したがって、クラック形成が起こる前に温度保持を行うと、温度保持の結果として生じる緩和により、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の応力を、クラック形成がない程度に低減させることができる。さらに、温度保持を使用して、第1の温度および第2の温度のうち1つ以上の温度で、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の応力を緩和させることができる。

30

【0177】

実施形態では、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品は、10分以上120分以下、例えば、15分以上120分以下、30分以上120分以下、45分以上120分以下、60分以上120分以下、75分以上120分以下、90分以上120分以下、または105分以上120分以下の継続時間にわたって第1の温度で保持されてもよい。実施形態では、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品は、10分以上105分以下、例えば、10分以上90分以下、10分以上75分以下、10分以上60分以下、10分以上45分以下、10分以上30分以下、または10分以上15分以下の継続時間にわたって第1の温度で保持されてもよい。

40

【0178】

実施形態では、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック物品は、10分以上120分以下、例えば、15分以上120分以下、30分以上120分以下、45分以上120分以下、60分以上120分以下、75分以上120分以下、90分以上120分以下、または105分以上120分以下の継続時間にわたって第2の温度で保持されてもよい。実施形態では、銅メタライズ貫通ピアを含むガラスまたはガラスセラミック

50

ク物品は、10分以上105分以下、例えば、10分以上90分以下、10分以上75分以下、10分以上60分以下、10分以上45分以下、10分以上30分以下、または10分以上15分以下の継続時間にわたって第2の温度で保持されてもよい。

【0179】

実施形態では、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品は、10分以上120分以下、例えば、15分以上120分以下、30分以上120分以下、45分以上120分以下、60分以上120分以下、75分以上120分以下、90分以上120分以下、または105分以上120分以下の継続時間にわたって第1の温度と第2の温度との間の一定温度に保持されてもよい。実施形態では、銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品は、10分以上105分以下、例えば、10分以上90分以下、10分以上75分以下、10分以上60分以下、10分以上45分以下、10分以上30分以下、または10分以上15分以下の継続時間にわたって第1の温度と第2の温度との間の一定温度に保持されてもよい。

10

【0180】

本明細書に開示されたプロセスは、任意のサイズの銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品に使用することができるが、本明細書に開示されたプロセスは、比較的小さな銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品に使用するのに特に適し得る。実施形態では、銅メタライズ貫通ビアは、25 $\mu$ m以上75 $\mu$ m以下、例えば、30 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下、35 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下、40 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下、45 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下、50 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下、55 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下、60 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下、または65 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下の直径を有し得る。実施形態では、銅メタライズ貫通ビアは、25 $\mu$ m以上65 $\mu$ m以下、例えば、25 $\mu$ m以上60 $\mu$ m以下、25 $\mu$ m以上55 $\mu$ m以下、25 $\mu$ m以上50 $\mu$ m以下、25 $\mu$ m以上45 $\mu$ m以下、25 $\mu$ m以上40 $\mu$ m以下、25 $\mu$ m以上35 $\mu$ m以下、または25 $\mu$ m以上30 $\mu$ m以下の直径を有し得る。実施形態では、銅メタライズ貫通ビアは、35 $\mu$ m以上65 $\mu$ m以下、例えば、40 $\mu$ m以上60 $\mu$ m以下の直径を有し得る。

20

【0181】

本明細書に開示および記載されたプロセスは、任意のピッチを有する貫通ビアで使用されることが理解されるべきである。具体的には、本明細書に開示および記載された実施形態に従ってガラスまたはガラスセラミック物品を加熱することによって、貫通ビアのピッチに関係なく、半径方向クラックを最小化または排除することができる。さらに、貫通ビアのピッチは、基板の貫通ビアの直径に依存する。しかしながら、貫通ビアの直径が約50 $\mu$ mであるいくつかの実施形態では、銅メタライズ貫通ビアは、60 $\mu$ m以上800 $\mu$ m以下、例えば、100 $\mu$ m以上750 $\mu$ m以下、150 $\mu$ m以上700 $\mu$ m以下、200 $\mu$ m以上650 $\mu$ m以下、250 $\mu$ m以上600 $\mu$ m以下、300 $\mu$ m以上550 $\mu$ m以下、350 $\mu$ m以上500 $\mu$ m以下、または400 $\mu$ m以上450 $\mu$ m以下のピッチを有し得る。実施形態では、銅メタライズ貫通ビアは、60 $\mu$ m以上140 $\mu$ m以下、例えば、60 $\mu$ m以上130 $\mu$ m以下、60 $\mu$ m以上120 $\mu$ m以下、60 $\mu$ m以上110 $\mu$ m以下、60 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下、60 $\mu$ m以上90 $\mu$ m以下、60 $\mu$ m以上80 $\mu$ m以下、または60 $\mu$ m以上70 $\mu$ m以下のピッチを有し得る。

30

40

【0182】

本明細書に開示および記載されたプロセスは、任意の深さを有する貫通ビアで使用されることが理解されるべきである。具体的には、本明細書に開示および記載された実施形態に従ってガラスまたはガラスセラミック物品を加熱することによって、貫通ビアの深さに関係なく、半径方向クラックを最小化または排除することができる。しかしながら、いくつかの実施形態では、銅メタライズ貫通ビアは、50 $\mu$ m以上600 $\mu$ m以下、例えば、75 $\mu$ m以上575 $\mu$ m以下、100 $\mu$ m以上550 $\mu$ m以下、125 $\mu$ m以上525 $\mu$ m以下、150 $\mu$ m以上500 $\mu$ m以下、175 $\mu$ m以上475 $\mu$ m以下、200 $\mu$ m以上450 $\mu$ m以下、225 $\mu$ m以上425 $\mu$ m以下、250 $\mu$ m以上400 $\mu$ m以下、275 $\mu$ m以上375 $\mu$ m以下、または300 $\mu$ m以上350 $\mu$ m以下の深さを有し得る

50

。実施形態では、銅メタライズ貫通ビアは、 $200\ \mu\text{m}$ 以上 $400\ \mu\text{m}$ 以下、例えば、 $200\ \mu\text{m}$ 以上 $375\ \mu\text{m}$ 以下、 $200\ \mu\text{m}$ 以上 $350\ \mu\text{m}$ 以下、 $200\ \mu\text{m}$ 以上 $325\ \mu\text{m}$ 以下、 $200\ \mu\text{m}$ 以上 $300\ \mu\text{m}$ 以下、 $200\ \mu\text{m}$ 以上 $275\ \mu\text{m}$ 以下、 $200\ \mu\text{m}$ 以上 $250\ \mu\text{m}$ 以下、または $200\ \mu\text{m}$ 以上 $225\ \mu\text{m}$ 以下の深さを有し得る。

#### 【0183】

本明細書に開示および記載されたプロセスに従って製造された銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品は、倍率50倍以上で見たときに、熱処理後に半径方向クラックを含み得ない。

#### 【0184】

##### 貫通ビアのヘリウム気密性

充填された貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性を向上させるために組み合わせることができる構造および方法を含む様々な実施形態がある。例えば、上述のビア形状、部分接着、共形コーティング（共形コーティングの厚さを含む）、部分接着、熱サイクル、および金属コネクタを有する基板を使用することで、ビアを含むガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性を向上させることができる。上記の実施形態を組み合わせることにより達成されるヘリウム気密性は、従来のビアを含むガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性を大幅に上回るものである。

#### 【0185】

充填貫通を有するガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性を試験するために、熱衝撃試験および高加速寿命試験（HAST）を実施した。ここで使用される熱衝撃試験は、ガラスまたはガラスセラミック基板を $-40$ まで冷却し、ガラスまたはガラスセラミック基板を $125$ まで急速に加熱することを含む。これは、熱衝撃試験の1つの「サイクル」を含む。ガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性は、衝撃試験の多数のサイクルの後に試験した。さらに、ガラスまたはガラスセラミック基板を $130$ の温度および85%の相対湿度に数百時間曝露することによって、ガラスまたはガラスセラミック基板に対してHASTを実施した。ガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性は、様々な熱衝撃サイクルおよび何時間ものHASTの後に、ヘリウム気密性試験技術を用いて試験した。本明細書で使用されるように、 $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )のベースラインヘリウム気密性を超えると故障とみなされる。別の言い方をすれば、本明細書に記載されたガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性は、所定の熱衝撃サイクル数および/または何時間ものHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下である。

#### 【0186】

実施形態によれば、充填ビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板は、1000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、例えば1200回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、1400回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、1500回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、1800回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、2000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、2200回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、2500回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、2800回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性、または3000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する。本明細書で使用されるように、そして3000回の熱衝撃サイクルを例として使用した場合、「3000回の熱衝撃サイ

10

20

30

40

50

クル後」とは、3000回の熱衝撃サイクルを行い、言及した気密性をガラスまたはガラスセラミック基板が有することを意味する。

【0187】

上述したように、充填ビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板のヘリウム気密性もまた、何時間ものHAST後に測定される。実施形態では、貫通ビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板は、100時間のHAST後、例えば、120時間のHAST後、150時間のHAST後、180時間のHAST後、200時間のHAST後、220時間のHAST後、250時間のHAST後、280時間のHAST後、300時間のHAST後、320時間のHAST後、350時間のHAST後、380時間のHAST後、400時間のHAST後、420時間のHAST後、450時間のHAST後、480時間のHAST後、500時間のHAST後、520時間のHAST後、550時間のHAST後、580時間のHAST後、または600時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する。本明細書で使用されるように、そして100時間を例として使用した場合、「100時間のHAST後」とは、100時間のHASTを行い、言及した気密性をガラスまたはガラスセラミック基板が有することを意味する。

10

【実施例】

【0188】

実施形態は、以下の実施例によってさらに明らかにされる。

【0189】

20

実施例1

一例として、まず、スパッタリングを用いてTi/Cuをシーラント層として成膜した。次に、無電解Cu成膜を行って連続シード層を形成した。TGVサンプルは、SC1洗浄プロセスを経て、接着層としてシランを塗布した。無電解銅成膜は、触媒としてPd/Snコロイドと還元剤としてホルムアルデヒドを用い、市販の「上村無電解(Uyemura electroless)」浴中に行った。シード層の厚さは約400nmであった。

【0190】

シード層の成膜に続いて、TGV基板をCuで電気めっきした。まず、ビア内部の導電性を良好かつ均一にするために、市販のカパラシドTP浴を用いて銅の共形めっきを行った。共形めっき層の厚さは約3 $\mu\text{m}$ であった。次に、NTBC添加浴を用いてメタライゼーションを行った。浴組成は、0.88MのCuSO<sub>4</sub>、45ppm( $45 \times 10^{-6}$ )のNTBC、0.56MのH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、45ppm( $45 \times 10^{-6}$ )のCl<sup>-</sup>イオンであった。めっきは、1.5mA/cm<sup>2</sup>の定電流密度で行った。このプロセスを用いてメタライズされたTGVのX線CTスキャンを図9に示す。全てのTGVは、図2の本発明の物品の概略図に似た構造でメタライズされている。図10A~Cでは、めっき厚さプロファイルを検証するSEM画像が提供される。図10Aおよび図10Bに示すように、コーティング厚さが約8 $\mu\text{m}$ であると同時に、ビアの中心部はCuで完全に塞がれていることが明らかである(図10C)。

30

【0191】

40

実施例2

少なくとも90モル%のシリカを含むガラス基板において完全に充填された円筒形のボトムアップ電気めっき銅メタライズ貫通ビアを使用した。ボトムアップ電気めっきにより貫通ビアに銅を充填した後、化学機械研磨(CMP)を使用して銅の余剰めっき層を除去した。その後、基板を14mm $\times$ 14mmのダイサイズにダイシングし、ダイ面積を196mm<sup>2</sup>とした。各ダイには、4列の銅メタライズ貫通ビアアレイが含まれており、合計952個の銅メタライズ貫通ビアが形成されていた。銅メタライズ貫通ビアの直径、ピッチおよび深さは、それぞれ50 $\mu\text{m}$ 、100 $\mu\text{m}$ および300 $\mu\text{m}$ であった。次いで、サンプルを室温(約25 $^{\circ}\text{C}$ )までオープン冷却する前に、異なる加熱速度を用いて最高温度420 $^{\circ}\text{C}$ までアニール処理に供した。図17Aは、6.5 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 、8.7 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 、13.

50

0 /分、および26.0 /分の実質的に一定の加熱速度を有する4つのサンプルのアニールプロファイルをグラフ化したものである。図17Bは、2.3 /分の平均加熱速度と変動加熱速度を有するアニールプロファイルをグラフ化したものである。したがって、2.3 /分から26.0 /分までの加熱速度を研究し、それらの全詳細を表3に示している。

【0192】

【表3】

表3

420℃までの合計加熱時間 (min)	平均加熱速度 (°C/min)	一定または変動加熱速度	アニール環境
15	26.0	一定	空気
30	13.0	一定	空気
45	8.7	一定	空気
60	6.5	一定	空気
180	2.3	変動	真空

【0193】

平均加熱速度が2.3 /分であり、60分間の間の一定温度保持を有する試験条件を除き、420 で30分間の間の一定温度保持を全ての試験条件において使用した。オープン冷却により達成される冷却は変化させず、これには約120分かかった。

【0194】

アニール処理後、ダイの光学検査を行い、半径方向クラック形成に対するランプ速度の依存関係について調べた。異なる昇温速度に対するダイ上のクラックの数をカウントし、各試験条件におけるクラック密度を下記の式を用いて算出した。クラックは光学顕微鏡で50倍～500倍の倍率で観察した。各加熱速度の研究には、1つのサンプルを使用した。

【0195】

クラック密度 = クラックの数 / ダイ面積 (3)

クラックが生じる温度を決定するために、その場 (in-situ) 温度依存性研究を行った。この研究では、サンプルを20.5 /分のランプ速度で420 まで加熱した。その場イメージングシステムを使用することにより、同じ特定のピアセットの画像が10秒ごとに温度の関数として取得され、クラックが生じる温度を決定するためにこれらを後で分析した。

【0196】

さらに、Zygotoポグラフィ測定法を使用して、使用したアニール加熱速度に対して発生した銅突出部の数を測定した。この測定結果に基づいて、銅突出部の高さを決定した。

【0197】

図18は、26.0 /分の加熱 / 昇温速度を有するサンプルの50倍光学画像を示す。この高速加熱速度を使用すると、サンプルにクラックが形成されることが観察された。半径方向クラックは、隣接する銅メタライズ貫通ピアからのクラックとリンクして、半径方向クラックのネットワークを形成していることがわかったように、サンプル全体にクラ

ックチェーンを形成していることを示している。14 mm × 14 mmのダイ上に発生した半径方向クラックの総数は375個で、生じたクラック密度は1 mm<sup>2</sup>あたり1.91個のクラック数であった。

【0198】

加熱速度を13.0 /分および8.7 /分に落としても、半径方向クラックの形成が続いた。13.0 /分の加熱速度で形成されたクラックは、図19A(50倍)および図19B(200倍)に示す。8.7 /分の加熱速度で形成されたクラックは、図20A(50倍)、図20B(500倍)に示す。しかしながら、クラックの数は有意に連続的に減少していることが観察された。13.0 /分の加熱速度では半径方向クラックの総数はわずか8個であり、8.7 /分の加熱速度ではクラックの総数はわずか4個であり、それぞれ0.04個のクラック数/mm<sup>2</sup>と0.02個のクラック数/mm<sup>2</sup>のクラック密度が得られた。

10

【0199】

しかしながら、6.5 /分の加熱速度では、図21A(50倍)および図21B(200倍)に示すように、クラックは観察されなかった。同様に、図22(200倍)に示すように、平均加熱速度2.3 /分の変動加熱速度を用いてアニールしたサンプルでは、クラックは観察されなかった。

【0200】

下記の表4は、上記の試験の結果を要約したものである。

【0201】

20

【表4】

表4

420℃までの合計加熱時間 (min)	平均加熱速度 (°C/min)	ダイ上の半径方向クラックの数	半径方向クラック密度(クラックの数/mm <sup>2</sup> )
15	26.0	375	1.91
30	13.0	8	0.04
45	8.7	4	0.02
60	6.5	0	0
180	2.3	0	0

30

【0202】

表4に示した結果をまとめると、8.7 /分未満の加熱速度では半径方向クラックは最小となり、8.7 /分以上の加熱速度では加熱の増加に伴ってダイ上の半径方向クラックの数が増加することが観察された。しかしながら、8.7 /分未満の加熱速度ではクラックの数は最小であり、最終的に6.5 /分以下の加熱速度ではクラックは発生しなかった。このことは、半径方向クラックの形成が時間依存性の現象であることを明確に示している。

40

【0203】

さらに、クラック密度を表4に示すように算出し、図23にグラフで示した。クラック密度は、使用したアニール加熱速度に応じて指数関数的に増加することがわかった。図23は、半径方向クラックの形成は速度依存性の現象であることを明確に示している。このことから、半径方向クラックの形成は、銅とその周囲のガラスマトリックスとのCTEのミスマッチから生じる応力を動因としていることがわかる。このように、6.5 /分

50

以下の加熱速度ではクラックが発生しないことから、銅メタライズ貫通ビアにおいて、速度制御された応力緩和メカニズムが十分に活性化していることが示唆される。さらに、8.7 /分未満の加熱速度では、限られた量のクラックしか観察されないため、これは、8.7 /分未満の加熱速度では、銅メタライズ貫通ビアの応力が低くなることで、ガラスに誘起される応力が低くなり、ガラスにクラックが発生するのに必要な臨界応力の閾値を下回っていることを意味している。

#### 【0204】

図24A～図24Cは、銅メタライズ貫通ビアのその場温度依存性の画像である。目視により、317 で半径方向クラックは観察されなかった(図24A)。しかしながら、10秒後には、左から3番目の銅メタライズ貫通ビアからクラックが伝播することが観察され、これは321 の温度に対応している(図24B)。温度をさらに上昇させた結果、図24Cに示すように、60秒後には、隣接する銅メタライズ貫通ビア(すなわち、左から4番目の銅メタライズ貫通ビア)に最終的に結びつくまで、クラックが成長した。半径方向クラックは、最初は321 で観察されたが、試験プロトコルの設定に基づき、より低い温度で発生した可能性がある。例えば、画像は10秒ごとにのみ撮影した。

#### 【0205】

応力緩和メカニズムの活性をより十分に理解するために、図25に示すように、アニール後の銅突出部をアニール加熱速度に対して測定することにより、更なる実験的な研究を行った。銅突出部は面外非弾性変形である。これは、加熱中に銅と周囲のガラス基板とのCTEがミスマッチであるために、銅に高い圧縮応力が蓄積されることで発生する。銅突出部は、銅の塑性変形とヒロック形成との組み合わせである。塑性変形は、銅の降伏強度に達したことにより発生し、温度の上昇とともに減少する。一方、ヒロック形成は、粒界すべり(GBS)現象によりCu結晶粒が優先的に面外に変位する現象である。GBSは拡散制御されたメカニズムである応力緩和メカニズムであり、その結果、境界界面と平行に、1つの結晶粒が別の結晶粒上を近似的に並進することになる。GBSは、並進の際の結晶粒の垂直方向の変位により、銅突出部の形成をもたらす。

#### 【0206】

図25では、加熱時間の増加に伴って銅突出部の高さが増加すること、すなわち、加熱速度の減少に伴って銅突出部の高さが増加することを測定した。例えば、加熱速度26.0 /分での銅突出部の量は400nmであったが、加熱速度6.5 /分では、銅突出部の高さは約1100nmであった。図25は、使用したアニール加熱速度に銅突出部が強く依存していることを示している。表2および図25に基づき、銅突出部の増加は、形成された半径方向クラックの数を減少させることになると推察することができる。これは、加熱時間の増加または加熱速度の減少に伴い、応力緩和メカニズムの活性が増加するためである。GBSは、速度制御された応力緩和メカニズムであり、マイクロボイドの形成も伴うことが知られており、このように、その活性はアニール加熱速度の低下に伴って増加する。このことは、8.7 /分未満の昇温速度、例えば6.5 /分以下の昇温速度を使用した場合、GBSと塑性変形の活性は、銅の蓄積応力を十分に緩和し、半径方向クラックの形成に必要な臨界応力閾値を下回る値にすることを意味している。

#### 【0207】

##### 実施例3

熱衝撃試験は、図2および図3に示すように、共形めっきされたビアを充填した4枚の異なるガラスウェーハ(ウェーハ1、ウェーハ2、ウェーハ3およびウェーハ4)について実施した。この共形めっきは、電気めっきによって達成され、ガラスウェーハは少なくとも90モル%のシリカを含んでいた。各サンプルを熱衝撃試験に供し、ここで、熱衝撃サイクルは、ガラスウェーハを-40 まで冷却し、次いで、各温度で10分間の滞留時間(または保持)を伴って20秒間で125 まで加熱することを含む。メタライズガラスウェーハのヘリウム気密性は、250回のサイクル間隔(例えば、250サイクル、500サイクル、750サイクルなど)でヘリウムリーク気密性試験を用いて試験した。ヘリウムリーク試験は、 $2.3 \times 10^{-3}$  Torr (306.6 Pa)の真空下にウェーハを置

いて実施した。次いで、メタライズガラスウェーハの上面にヘリウムを噴霧し、市販のヘリウム検出器ゲージを用いて、メタライズガラスウェーハを透過するヘリウム透過率（上面から下面まで）を決定した。熱衝撃試験は、ピアが充填されたガラスウェーハのヘリウム気密性が  $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) を超えた時点で終了した。図 26 に示すように、本実施例で試験したメタライズ貫通ピア付きガラスウェーハの 4 枚すべてが、少なくとも 2250 回の熱衝撃サイクルで  $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 未満のヘリウム気密性を維持していた。さらに、ウェーハ 3 は、少なくとも 3250 回の熱衝撃サイクルの間、 $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 未満のヘリウム気密性を維持することができた。これらの例は、本明細書に開示および記載された実施形態に従って調製された充填ピアを有するガラスおよびガラスセラミック基板が、多くの熱衝撃サイクルの後でも良好なヘリウム気密性を有することを示している。

10

#### 【0208】

ウェーハ 1、ウェーハ 2 およびウェーハ 4 についても、ウェーハのヘリウム気密性が  $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) を超えるまで、130 の温度および 85% の相対湿度に数時間曝露する高加速寿命試験 (HAST) に供した。ガラスウェーハのヘリウム気密性を、100 時間の間隔（例えば、100 時間、200 時間、300 時間など）で、上述したようにヘリウムリークヘリウム気密性試験を用いて実施した。図 27 に示すように、3 枚のウェーハすべてが、少なくとも 200 時間にわたって  $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を維持することができた。さらに、ウェーハ 3 は、少なくとも 300 時間にわたって  $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を維持することができ（すなわち、ウェーハ 3 は、300 時間～400 時間の間の HAST のある時点で  $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) を超えるヘリウム気密性を有していた）、ウェーハ 4 は、600 時間にわたって  $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) 以下のヘリウム気密性を維持することができた。これらの例は、本明細書に開示および記載された実施形態に従って調製された充填ピアを有するガラスおよびガラスセラミック基板が、何時間もの HAST の後ですら良好なヘリウム気密性を有することを示している。

20

#### 【0209】

##### 結論

ここで使用される「実質的に～成る」という移行句は、請求項の範囲を、特許請求された発明の特定の材料またはステップ「および基本的かつ新規な特徴に実質的に影響を与えないもの」に限定している。

30

#### 【0210】

当業者であれば、本明細書に記載された様々な実施形態に多くの変更を加えても、有益な結果を得られることを認識し、理解するであろう。また、本実施形態の所望の利益のいくつかは、他の特徴を利用することなく、特徴のいくつかを選択することによって得られることが明らかになるであろう。したがって、当業者であれば、多くの改変および適応が可能であり、特定の状況では望ましい場合すらあり、本開示の一部であることを認識するであろう。したがって、本開示は、特に指定しない限り、開示された特定の組成物、物品、装置、および方法に限定されないことを理解されたい。また、本明細書で使用される用語は、特定の実施形態のみを説明する目的のためのものであり、限定することを意図していないことを理解されたい。図面に示された特徴は、本明細書の選択された実施形態を説明するものであり、必ずしも適切な縮尺で描写されているわけではない。これらの図面上の特徴は例示的なものであり、限定することを意図していない。

40

#### 【0211】

別段の明示がない限り、本明細書に記載されているいかなる方法も、そのステップが特定の順序で行われることを要求するものとして解釈されることを意図するものではない。したがって、方法の請求項が、そのステップが従うべき順序を実際に列挙していない場合

50

、またはステップが特定の順序に限定されることを特許請求の範囲または明細書に特に明記されていない場合、いかなる特定の順序も推論されることを意図するものではない。

【0212】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

【0213】

実施形態1

ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第1の主面および前記第1の主面と反対側の第2の主面、ならびに前記第1の主面から前記第2の主面まで軸線方向寸法の軸線方向長さにわたって前記基板を通して延びる少なくとも1つのビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板と、

前記ビアを気密封止する前記ビア内に配置された金属コネクタとを含む物品であって、ここで、

前記物品は、1000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有し、前記熱衝撃サイクルの各々は、前記物品を-40の温度まで冷却し、前記物品を125の温度まで加熱することを含み、かつ

前記物品は、130の温度および85%の相対湿度で100時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、

物品。

【0214】

実施形態2

前記ビアが、

内面と、

第1の軸線方向部分、第2の軸線方向部分および第3の軸線方向部分と、

前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分の前記内面に配置された接着層とを含み、ここで、

前記第2の軸線方向部分は、前記軸線方向寸法に沿って前記第1の軸線方向部分と前記第3の軸線方向部分との間に配置されており、

前記接着層は、前記第2の軸線方向部分の前記内面に配置されておらず、ここで、

前記金属コネクタは、前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分の前記接着層に接着されており、

前記金属コネクタは、前記第1の主面から第1のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの内面をコートして第1のキャビティを画定し、前記第1のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第1の主面における前記ビア直径の50%未満であり、

前記金属コネクタは、前記第2の主面から第2のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの前記内面をコートして第2のキャビティを画定し、前記第2のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第2の主面における前記ビア直径の50%未満であり、

前記第1のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの5%~45%であり、

前記第2のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの5%~45%であり、

前記金属コネクタは、前記第1のキャビティと前記第2のキャビティとの間に前記ビアの軸線方向長さの少なくとも10%で前記ビアを完全に充填する、  
実施形態1記載の物品。

【0215】

実施形態3

前記物品が、3000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、実施形態1または2記載の物品。

10

20

30

40

50

## 【0216】

## 実施形態4

前記物品が、300時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、実施形態1から3までのいずれか1つ記載の物品。

## 【0217】

## 実施形態5

前記物品が、2000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有し、かつ200時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、実施形態1から4までのいずれか1つ記載の物品。

10

## 【0218】

## 実施形態6

前記物品が、3000回の熱衝撃サイクル後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有し、かつ300時間のHAST後に $1.0 \times 10^{-8} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )以下のヘリウム気密性を有する、実施形態1から5までのいずれか1つ記載の物品。

## 【0219】

## 実施形態7

前記ビアが $10 \sim 200 \mu\text{m}$ の直径を有する、実施形態1から6までのいずれか1つ記載の物品。

20

## 【0220】

## 実施形態8

前記ビアが $40 \sim 60 \mu\text{m}$ の直径を有する、実施形態1から7までのいずれか1つ記載の物品。

## 【0221】

## 実施形態9

前記ビアが $10 \mu\text{m} \sim 2 \text{mm}$ の長さを有する、実施形態1から8までのいずれか1つ記載の物品。

## 【0222】

## 実施形態10

前記ビアが $150 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ の長さを有する、実施形態1から9までのいずれか1つ記載の物品。

30

## 【0223】

## 実施形態11

前記ビアが $240 \mu\text{m} \sim 360 \mu\text{m}$ の長さを有する、実施形態1から10までのいずれか1つ記載の物品。

## 【0224】

## 実施形態12

前記第1の軸線方向部分が、前記ビアの長さの2%~40%の長さを有し、  
前記第2の軸線方向部分が、前記ビアの深さの2%~40%の長さを有し、かつ  
前記第3の軸線方向部分が、前記ビアの深さの20%~96%の長さを有する、  
実施形態2から11までのいずれか1つ記載の物品。

40

## 【0225】

## 実施形態13

前記第1の軸線方向部分が、前記ビアと前記第1の主面との交差部を含み、かつ  
前記第2の軸線方向部分が、前記ビアと前記第2の主面との交差部を含む、  
実施形態2から12までのいずれか1つ記載の物品。

## 【0226】

## 実施形態14

50

前記接着層が、前記第 1 の軸線方向部分および前記第 3 の軸線方向部分のうちの少なくとも一方の全周に沿って配置されている、実施形態 2 から 13 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0227】

実施形態 15

前記基板が材料を含み、前記材料は、酸化物ベースで 50 モル% ~ 100 モル%の  $\text{SiO}_2$  を含む、実施形態 1 から 14 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0228】

実施形態 16

前記材料が、酸化物ベースで 90 モル% ~ 100 モル%の  $\text{SiO}_2$  を含む、実施形態 1 から 15 までのいずれか 1 つ記載の物品。 10

【0229】

実施形態 17

前記接着層が、 $\text{Ti}$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{TaN}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{TiW}$ 、 $\text{W}$  およびそれらの組み合わせを含む、実施形態 1 から 16 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0230】

実施形態 18

前記金属コネクタが実質的に銅から成る、実施形態 1 から 17 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0231】

実施形態 19

前記ビアが、  
前記第 1 の主面における第 1 の直径と、  
前記第 2 の主面における第 2 の直径と、  
前記第 1 の主面と前記第 2 の主面との間のビア腰部と  
を有し、ここで、前記ビア腰部は、前記ビアの軸線方向長さに沿って最小直径を有し、かつ前記ビア腰部の直径は、前記第 1 の直径の 75% 以下であり、前記ビア腰部の直径は、前記第 2 の直径の 75% 以下である、実施形態 2 から 18 までのいずれか 1 つ記載の物品。 20

【0232】

実施形態 20

前記第 1 のキャビティ長さに沿った各点において、前記コーティング厚さは、前記第 1 の主面における前記ビア直径の 5% ~ 40% であり、  
前記第 2 のキャビティ長さに沿った各点において、前記コーティング厚さは、前記第 2 の主面における前記ビア直径の 5% ~ 40% である、  
実施形態 2 から 19 までのいずれか 1 つ記載の物品。 30

【0233】

実施形態 21

物品を製造する方法であって、前記物品が、  
ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第 1 の主面および前記第 1 の主面と反対側の第 2 の主面、ならびに前記第 1 の主面から前記第 2 の主面まで軸線方向寸法の軸線方向長さによって前記基板を通して延びる少なくとも 1 つのビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板  
を含み、ここで、前記ビアは、  
内面と、  
第 1 の軸線方向部分、第 2 の軸線方向部分および第 3 の軸線方向部分と、  
前記第 1 の軸線方向部分および前記第 3 の軸線方向部分の前記内面に配置された接着層と、  
前記ビア内に配置された金属コネクタと  
を画定し、ここで、  
前記第 2 の軸線方向部分は、前記軸線方向寸法に沿って前記第 1 の軸線方向部分と前記 40 50

第3の軸線方向部分との間に配置されており、

前記接着層は、前記第2の軸線方向部分の前記内面に配置されておらず、

前記金属コネクタは、前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分の前記接着層に接着されており、ここで、

前記金属コネクタは、前記第1の主面から第1のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの内面をコートして第1のキャビティを画定し、前記第1のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第1の主面におけるビア直径の50%未満であり、

前記金属コネクタは、前記第2の主面から第2のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの前記内面をコートして第2のキャビティを画定し、前記第2のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第2の主面における前記ビア直径の50%未満であり、

前記第1のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの5%~45%であり、

前記第2のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの5%~45%であり、

前記金属コネクタは、前記第1のキャビティと前記第2のキャビティとの間に前記ビアの軸線方向長さの少なくとも10%で前記ビアを完全に充填し、

前記方法は、

ライン・オブ・サイト技術を使用して、前記ビアの軸線方向長さの方向とは異なる成膜角度で、前記接着層を前記ビアの内面の前記第1の部分および前記第3の部分に成膜するステップを含む、方法。

【0234】

実施形態22

ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第1の主面および前記第1の主面と反対側の第2の主面、ならびに前記第1の主面から前記第2の主面まで軸線方向寸法の軸線方向長さにわたって前記基板を通して延びる少なくとも1つのビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板

を含む物品であって、

ここで、前記ビアは、

内面と、

第1の軸線方向部分、

第2の軸線方向部分、および

第3の軸線方向部分と、

前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分の前記内面に配置された接着層と、

前記ビア内に配置された金属コネクタと

を画定し、ここで、

前記第2の軸線方向部分は、前記軸線方向寸法に沿って前記第1の軸線方向部分と前記第3の軸線方向部分との間に配置されており、

前記接着層は、前記第2の軸線方向部分の前記内面に配置されておらず、

前記金属コネクタは、前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分の前記接着層に接着されており、ここで、

前記金属コネクタは、前記第1の主面から第1のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの内面をコートして第1のキャビティを画定し、前記第1のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第1の主面における前記ビア直径の50%未満であり、

前記金属コネクタは、前記第2の主面から第2のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの内面をコートして第2のキャビティを画定し、前記第2のキャビティの軸線方向長さに沿った各位置におけるコーティング厚さが、前記第2の主面における前記ビア直径の50%未満であり、

前記第1のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの5%~45%であり、

10

20

30

40

50

前記第 2 のキャビティ長さは、前記ビアの軸線方向長さの 5 % ~ 45 % であり、  
前記金属コネクタは、前記第 1 のキャビティと前記第 2 のキャビティとの間に前記ビアの軸線方向長さの少なくとも 10 % で前記ビアを完全に充填する、物品。

【 0 2 3 5 】

実施形態 2 3

前記ビアが 10 ~ 200  $\mu\text{m}$  の直径を有する、実施形態 2 2 記載の物品。

【 0 2 3 6 】

実施形態 2 4

前記ビアが 40 ~ 60  $\mu\text{m}$  の直径を有する、実施形態 2 3 記載の物品。

【 0 2 3 7 】

実施形態 2 5

前記ビアが 10  $\mu\text{m}$  ~ 2 mm の長さを有する、実施形態 2 2 から 2 4 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【 0 2 3 8 】

実施形態 2 6

前記ビアが 240  $\mu\text{m}$  ~ 360  $\mu\text{m}$  の直径を有する、実施形態 2 5 記載の物品。

【 0 2 3 9 】

実施形態 2 7

前記第 1 の軸線方向部分が、前記ビアの長さの 2 % ~ 40 % の長さを有し、  
前記第 2 の軸線方向部分が、前記ビアの深さの 2 % ~ 40 % の長さを有し、かつ  
前記第 3 の軸線方向部分が、前記ビアの深さの 20 % ~ 96 % の長さを有する、  
実施形態 2 2 から 2 6 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【 0 2 4 0 】

実施形態 2 8

前記第 1 の軸線方向部分が、前記ビアと前記第 1 の主面との交差部を含み、かつ  
前記第 2 の軸線方向部分が、前記ビアと前記第 2 の主面との交差部を含む、  
実施形態 2 2 から 2 7 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【 0 2 4 1 】

実施形態 2 9

前記接着層が、前記第 1 の軸線方向部分および前記第 3 の軸線方向部分のうちの少なくとも一方の全周に沿って配置されている、実施形態 2 2 から 2 8 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【 0 2 4 2 】

実施形態 3 0

前記基板が材料を含み、前記材料は、酸化物ベースで 50 モル % ~ 100 モル % の  $\text{SiO}_2$  を含む、実施形態 2 2 から 2 9 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【 0 2 4 3 】

実施形態 3 1

前記材料が、酸化物ベースで 75 モル % ~ 100 モル % の  $\text{SiO}_2$  を含む、実施形態 3 0 記載の物品。

【 0 2 4 4 】

実施形態 3 2

前記接着層が  $\text{Ti}$  を含む、実施形態 2 2 から 3 1 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【 0 2 4 5 】

実施形態 3 3

前記金属コネクタが実質的に銅から成る、実施形態 2 2 から 3 2 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【 0 2 4 6 】

実施形態 3 4

前記金属コネクタが前記ビアを気密封止する、実施形態 2 2 から 3 3 までのいずれか 1

10

20

30

40

50

つ記載の物品。

【0247】

実施形態35

前記ビアが、

前記第1の主面における第1の直径と、前記第2の主面における第2の直径と、

前記第1の主面と前記第2の主面との間のビア腰部と

を有し、ここで、

前記ビア腰部は、前記ビアの軸線方向長さに沿った最小直径を有し、

前記ビア腰部の直径は、前記第1の直径の75%以下であり、かつ

前記ビア腰部の直径は、前記第2の直径の75%以下である、

実施形態22から34までのいずれか1つ記載の物品。

10

【0248】

実施形態36

前記第1のキャビティ長さに沿った各点において、前記コーティング厚さが、前記第1の主面における前記ビア直径の5%~40%であり、かつ前記第2のキャビティ長さに沿った各点において、前記コーティング厚さが、前記第2の主面における前記ビア直径の5%~40%である、実施形態22から35までのいずれか1つ記載の物品。

【0249】

実施形態37

ライン・オブ・サイト技術を使用して、前記ビアの軸線方向長さの方向とは異なる成膜角度で、前記接着層を前記ビアの前記内面の前記第1の部分および前記第3の部分に成膜する、実施形態22から36までのいずれか1つ記載の物品。

20

【0250】

実施形態38

ガラスまたはガラスセラミック基板であって、第1の主面および前記第1の主面と反対側の第2の主面、ならびに前記第1の主面から前記第2の主面まで軸線方向寸法の軸線方向長さによって前記基板を通して延びる少なくとも1つのビアを有するガラスまたはガラスセラミック基板

を含む物品であって、ここで、前記ビアは、

内面と、

第1の軸線方向部分、第3の軸線方向部分、および前記軸線方向寸法に沿って前記第1の軸線方向部分と前記第3の軸線方向部分との間に配置された第2の軸線方向部分と、

前記内面上に配置されたヘリウムハーメチック接着層と

前記ビア内に配置された金属コネクタと

を画定し、ここで、前記金属コネクタは、前記ヘリウムハーメチック接着層に接着されており、ここで、

30

前記金属コネクタは、前記第1の主面から第1のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの内面をコートして第1のキャビティを画定し、ここで、前記金属コネクタは、前記第1の主面において12 $\mu$ m未満のコーティング厚さを含み、

前記金属コネクタは、前記第2の主面から第2のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの内面をコートして第2のキャビティを画定し、ここで、前記金属コネクタは、前記第2の主面において12 $\mu$ m未満のコーティング厚さを含み、

40

前記金属コネクタは、前記第1のキャビティと前記第2のキャビティとの間に前記ビアを完全に充填する、物品。

【0251】

実施形態39

前記金属コネクタが、前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分において12 $\mu$ m未満の平均コーティング厚さを含む、実施形態38記載の物品。

【0252】

実施形態40

50

前記第 1 の主面における前記ビア内のコーティング厚さと前記第 2 の主面における前記ビア内のコーティング厚さとが、それぞれ前記第 2 の軸線方向部分におけるコーティング厚さよりも小さい、実施形態 38 または 39 記載の物品。

【0253】

実施形態 4 1

前記第 1 のキャビティ長さと前記第 2 のキャビティ長さとが、それぞれ前記ビアの軸線方向長さの 3 % 以上かつ前記ビアの軸線方向長さの 97 % 以下である、実施形態 38 から 40 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0254】

実施形態 4 2

前記ビアが、前記第 1 の主面における第 1 の直径と、前記第 2 の主面における第 2 の直径と、前記第 2 の軸線方向部分における第 3 の直径とを有し、かつ前記第 3 の直径が、前記第 1 の直径および前記第 2 の直径よりも小さい、実施形態 38 から 41 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0255】

実施形態 4 3

前記第 1 の直径と前記第 2 の直径とが、それぞれ 30  $\mu\text{m}$  以上 80  $\mu\text{m}$  以下である、実施形態 4 2 記載の物品。

【0256】

実施形態 4 4

前記第 1 の直径と前記第 2 の直径とが、それぞれ 40  $\mu\text{m}$  以上 60  $\mu\text{m}$  以下である、実施形態 4 3 記載の物品。

【0257】

実施形態 4 5

前記第 1 の直径と前記第 2 の直径とが、それぞれ 45  $\mu\text{m}$  以上 55  $\mu\text{m}$  以下である、実施形態 4 4 記載の物品。

【0258】

実施形態 4 6

前記第 3 の直径が 10  $\mu\text{m}$  以上 40  $\mu\text{m}$  以下である、実施形態 38 から 45 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0259】

実施形態 4 7

前記第 3 の直径が 17  $\mu\text{m}$  以上 20  $\mu\text{m}$  以下である、実施形態 4 6 記載の物品。

【0260】

実施形態 4 8

前記第 3 の直径が 18  $\mu\text{m}$  以上 20  $\mu\text{m}$  以下である、実施形態 4 7 記載の物品。

【0261】

実施形態 4 9

前記第 3 の直径と前記第 1 の直径との比および前記第 3 の直径と前記第 2 の直径との比が 1 : 6 以下である、実施形態 38 から 48 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0262】

実施形態 5 0

前記第 1 の主面における前記ビア内の前記コーティング厚さと前記第 2 の主面における前記ビア内の前記コーティング厚さとが、それぞれ前記第 3 の直径の 1 / 2 未満である、実施形態 38 から 49 までのいずれか 1 つ記載の物品。

【0263】

実施形態 5 1

前記ヘリウムハーメチック接着層が、前記第 1 の軸線方向部分および前記第 3 の軸線方向部分の前記内面に配置されており、かつ前記ヘリウムハーメチック接着層が、前記第 2 の軸線方向部分の前記内面に配置されていない、実施形態 38 から 50 までのいずれか 1

10

20

30

40

50

つ記載の物品。

【0264】

実施形態52

前記ヘリウムハーメチック接着層が、前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分のうち少なくとも一方の全周に沿って配置されている、実施形態51記載の物品。

【0265】

実施形態53

前記ヘリウムハーメチック接着層が、Ti、TiN、Ta、Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>、Cr、Ni、TiW、Wおよびそれらの組み合わせを含む、実施形態38から52までのいずれか1つ記載の物品。

10

【0266】

実施形態54

前記ヘリウムハーメチック接着層が、1nm以上500nm以下の厚さを有する、実施形態38から53までのいずれか1つ記載の物品。

【0267】

実施形態55

前記金属コネクタが実質的に銅から成る、実施形態38から54までのいずれか1つ記載の物品。

【0268】

実施形態56

前記金属コネクタが前記ビアを気密封止する、実施形態38から55までのいずれか1つ記載の物品。

20

【0269】

実施形態57

前記第1のキャビティおよび前記第2のキャビティのうち少なくとも一方が、銅ではない1種以上の材料で充填されている、実施形態38から56までのいずれか1つ記載の物品。

【0270】

実施形態58

450℃の温度に加熱され、23℃の温度に冷却される前と後の前記物品にはクラックがなく、ヘリウム透過率が $10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{cc} / \text{s}$  ( $0.1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ )未満である、実施形態38から57までのいずれか1つ記載の物品。

30

【0271】

実施形態59

前記基板が少なくとも90モル%のシリカを含む、実施形態38から58までのいずれか1つ記載の物品。

【0272】

実施形態60

ガラス物品を製造する方法であって、

ガラスまたはガラスセラミック基板を通して延びるビアの内面の一部にヘリウムハーメチック接着層を成膜するステップであって、前記基板は、第1の主面および前記第1の主面と反対側の第2の主面と、前記第1の主面から前記第2の主面まで軸線方向において前記基板を通して延びる少なくとも1つのビアとを有し、前記ビアは、第1の軸線方向部分と、第3の軸線方向部分と、前記第1の軸線方向部分と前記第3の軸線方向部分との間に配置された第2の軸線方向部分とを含み、ここで、前記ヘリウムハーメチック接着層は、前記ビアの前記内面上に成膜される、ステップと、

40

金属塩および金属析出抑制剤を含む電気めっき浴を用いて、前記ビアの前記第1の軸線方向部分、前記第2の軸線方向部分、および前記第3の軸線方向部分に金属コネクタを成膜するステップと

を含み、ここで、

50

前記金属コネクタは、前記ヘリウムハーメチック接着層に接着されており、

前記金属コネクタは、前記第1の主面から第1のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの前記内面をコートして第1のキャビティを画定し、前記第1の主面におけるコーティング厚さが $12\ \mu\text{m}$ 未満であり、

前記金属コネクタは、前記第2の主面から第2のキャビティ長さまでの前記ビアの軸線方向長さに沿って前記ビアの前記内面をコートして第2のキャビティを画定し、前記第2の主面におけるコーティング厚さが $12\ \mu\text{m}$ 未満であり、

前記金属コネクタは、前記第1のキャビティと前記第2のキャビティとの間に前記ビアを完全に充填する、方法。

【0273】

実施形態61

前記金属コネクタのめっき速度が、前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分よりも前記第2の軸線方向部分の方が高い、実施形態60記載の方法。

【0274】

実施形態62

前記金属塩が銅塩を含む、実施形態60または61記載の方法。

【0275】

実施形態63

前記金属コネクタを成膜するステップが、 $1.5\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 以上 $5\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 以下の電流密度で電流を流すステップを含む、実施形態60から62までのいずれか1つ記載の方法。

【0276】

実施形態64

前記金属析出抑制剤が、塩化ニトロブルーテトラゾリウム(NTBC)、メチルチアゾールテトラゾリウム(MTT)、または塩化テトラニトロブルーテトラゾリウム(TNBT)を含む、実施形態60から63までのいずれか1つ記載の方法。

【0277】

実施形態65

前記第1のキャビティおよび前記第2のキャビティのうちの少なくとも一方を、銅ではない1種以上の材料で充填するステップをさらに含む、実施形態60から62までのいずれか1つ記載の方法。

【0278】

実施形態66

前記ヘリウムハーメチック接着層が、前記第1の軸線方向部分および前記第3の軸線方向部分における前記ビアの前記内面上に成膜されており、かつ前記ヘリウムハーメチック接着層が、前記第2の軸線方向部分における前記ビアの前記内面上に成膜されていない、実施形態60から65までのいずれか1つ記載の方法。

【0279】

実施形態67

銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第1の温度から第2の温度まで加熱するステップであって、前記第1の温度は $200$ 以上 $300$ 以下であり、かつ前記第2の温度は $350$ 以上 $450$ 以下である、ステップを含み、ここで、

前記第1の温度から前記第2の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が $0.0$  /分超 $8.7$  /分未満である、プロセス。

【0280】

実施形態68

前記第1の温度から前記第2の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記加熱を行っても、前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラス

10

20

30

40

50

またはガラスセラミック物品に半径方向クラックが生じない、実施形態 6 7 記載のプロセス。

【 0 2 8 1 】

実施形態 6 9

前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を室温から前記第 1 の温度まで加熱するステップをさらに含む、実施形態 6 7 または 6 8 記載のプロセス。

【 0 2 8 2 】

実施形態 7 0

室温から前記第 1 の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記加熱中の平均加熱速度が 0 . 0 / 分超 8 . 7 / 分未満である、実施形態 6 7 から 6 9 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

10

【 0 2 8 3 】

実施形態 7 1

前記第 1 の温度が 2 2 5 以上 2 7 5 以下である、実施形態 6 7 から 7 0 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

【 0 2 8 4 】

実施形態 7 2

前記第 2 の温度が 3 7 5 以上 4 2 5 以下である、実施形態 6 7 から 7 1 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

【 0 2 8 5 】

実施形態 7 3

前記第 1 の温度から第 2 の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記加熱中の平均加熱速度が 1 . 0 / 分以上 6 . 5 / 分以下である、実施形態 6 7 から 7 2 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

20

【 0 2 8 6 】

実施形態 7 4

前記第 1 の温度から第 2 の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記加熱中の平均加熱速度が実質的に一定である、実施形態 6 7 から 7 3 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

【 0 2 8 7 】

実施形態 7 5

前記第 1 の温度から第 2 の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記加熱中の平均加熱速度が変動する、実施形態 6 7 から 7 4 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

30

【 0 2 8 8 】

実施形態 7 6

前記プロセスがさらに、前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を、10分以上1時間以下の間、前記第 1 の温度で保持するステップを含む、実施形態 6 7 から 7 5 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

【 0 2 8 9 】

実施形態 7 7

前記プロセスがさらに、前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を、10分以上1時間以下の間、前記第 2 の温度で保持するステップを含む、実施形態 6 7 から 7 6 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

40

【 0 2 9 0 】

実施形態 7 8

前記第 1 の温度から第 2 の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記加熱が、前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を、10分以上45分以下の間、一定温度に保持するステップを含む、実施形態 6 7 から 7 7 までのいずれか 1 つ記載のプロセス。

50

## 【0291】

## 実施形態79

前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の直径が $25\ \mu\text{m}$ 以上 $75\ \mu\text{m}$ 以下である、実施形態67から78までのいずれか1つ記載のプロセス。

## 【0292】

## 実施形態80

前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記貫通ビアのピッチが $60\ \mu\text{m}$ 以上 $800\ \mu\text{m}$ 以下である、実施形態67から79までのいずれか1つ記載のプロセス。

## 【0293】

## 実施形態81

前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の前記貫通ビアの深さが $50\ \mu\text{m}$ 以上 $600\ \mu\text{m}$ 以下である、実施形態67から80までのいずれか1つ記載のプロセス。

## 【0294】

## 実施形態82

前記ガラスまたはガラスセラミック物品が少なくとも90モル%のシリカを含む、実施形態67から81までのいずれか1つ記載のプロセス。

## 【0295】

## 実施形態83

前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品を第1の温度から第2の温度まで加熱するステップであって、前記第1の温度は $240$ 以上 $260$ 以下であり、かつ前記第2の温度は $400$ 以上 $450$ 以下である、ステップを含み、ここで、

前記第1の温度から第2の温度までの前記銅メタライズ貫通ビアを含むガラスまたはガラスセラミック物品の加熱中の平均加熱速度が $0.0$  /分超 $6.5$  /分以下である、プロセス。

## 【0296】

## 実施形態84

ガラスまたはガラスセラミック基板であって、前記ガラスまたはガラスセラミック基板を厚さ方向に貫通する少なくとも1つの貫通ビアを含む、ガラスまたはガラスセラミック基板と、

前記少なくとも1つの貫通ビアに存在する銅とを含む、ガラスまたはガラスセラミック物品であって、ここで、前記ガラスまたはガラスセラミック物品が、 $450$ 以下のアニール後に半径方向クラックを含まない、ガラスまたはガラスセラミック物品。

## 【0297】

## 実施形態85

前記ガラスまたはガラスセラミック基板が少なくとも90モル%のシリカを含む、実施形態84記載のガラスまたはガラスセラミック物品。

## 【0298】

## 実施形態86

前記ガラスまたはガラスセラミック基板の少なくとも1つのホールの直径が $25\ \mu\text{m}$ 以上 $75\ \mu\text{m}$ 以下である、実施形態84または85記載のガラスまたはガラスセラミック物品。

## 【0299】

## 実施形態87

前記ガラスまたはガラスセラミック基板の前記少なくとも1つの貫通ビアのピッチが $60\ \mu\text{m}$ 以上 $800\ \mu\text{m}$ 以下である、実施形態84から86までのいずれか1つ記載のプロセス。

10

20

30

40

50

【 0 3 0 0 】

実施形態 8 8

前記ガラスまたはガラスセラミック基板の前記少なくとも1つの貫通ビアの深さが50 μm以上600 μm以下である、実施形態84から87までのいずれか1つ記載のプロセス。

【 図 面 】

【 図 1 】

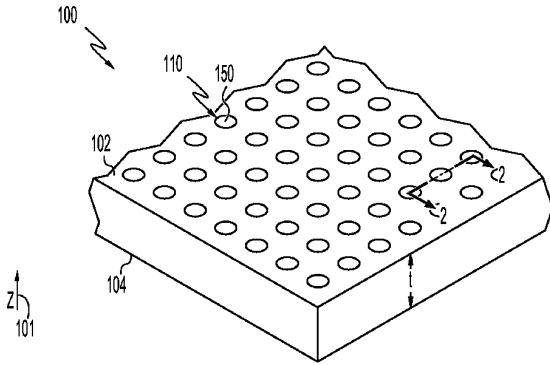


FIG. 1

【 図 2 】

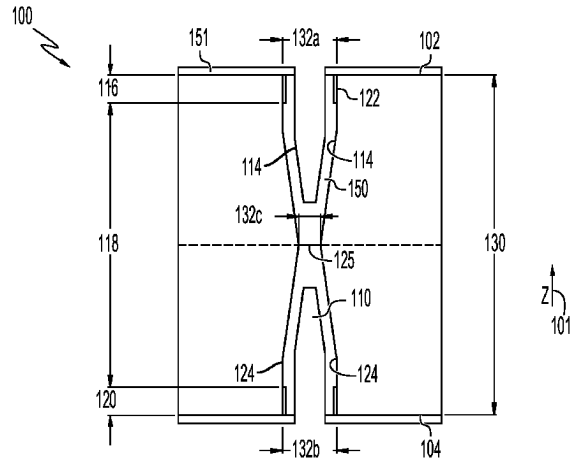


FIG. 2

【 図 3 】

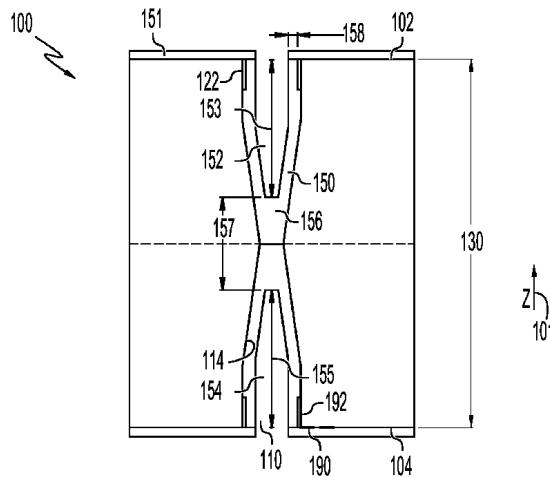
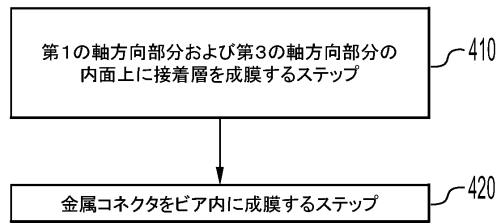


FIG. 3

【 図 4 】



10

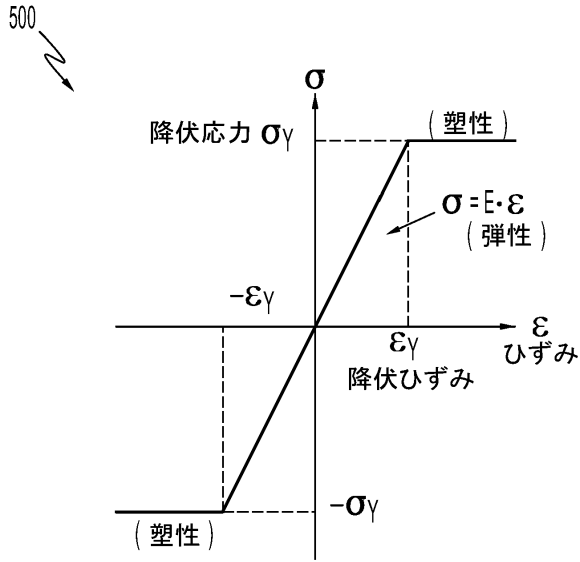
20

30

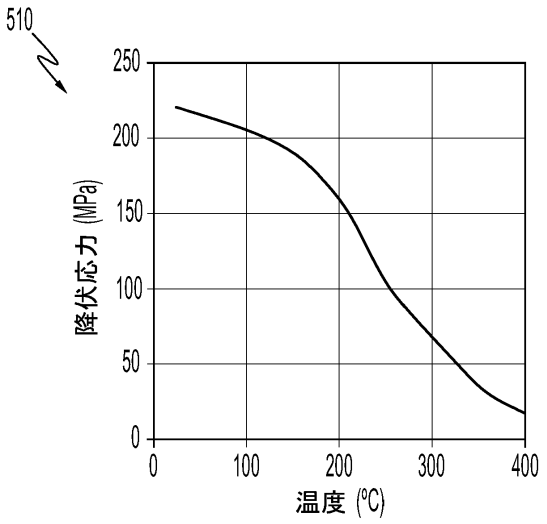
40

50

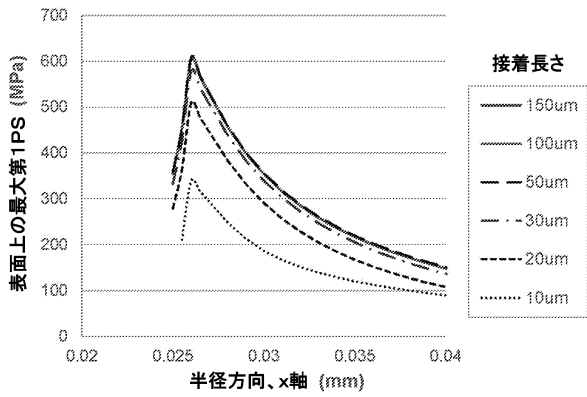
【図 5 A】



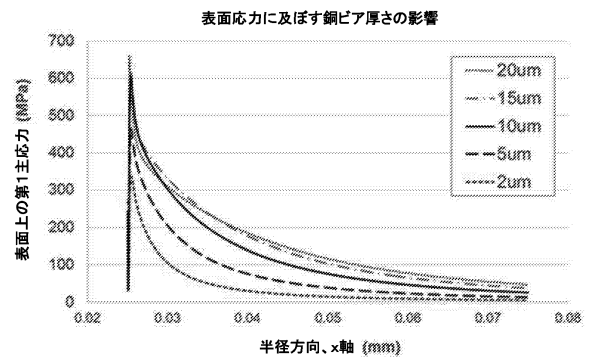
【図 5 B】



【図 6】



【図 7】



10

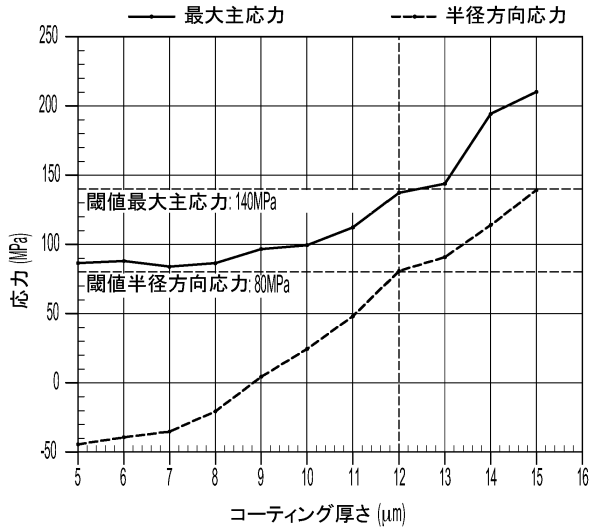
20

30

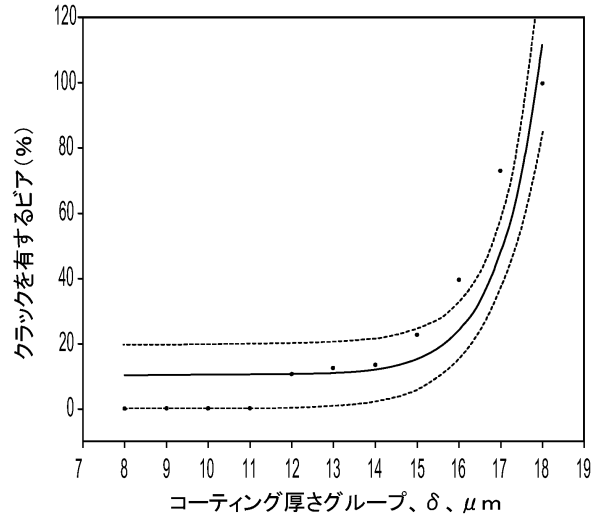
40

50

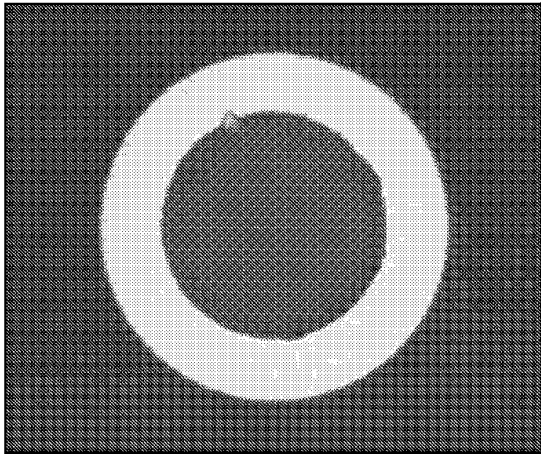
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 A 】



【 図 10 B 】

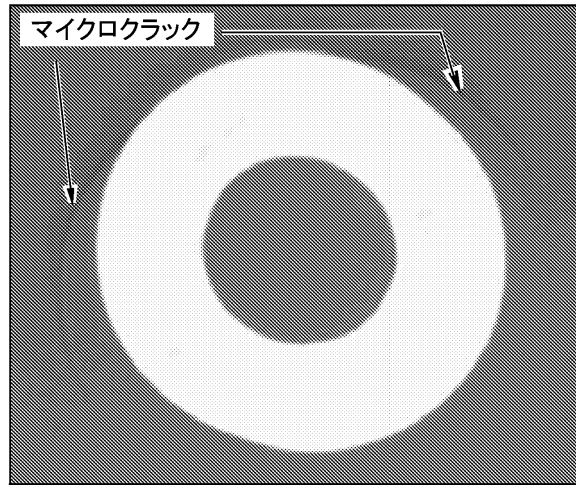


FIG. 10A

10

20

30

40

50

【図 1 1】

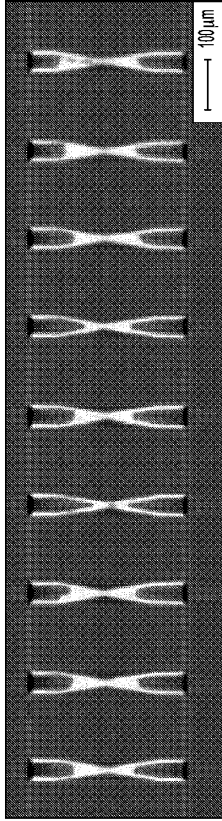


FIG. 11

【図 1 2 A】

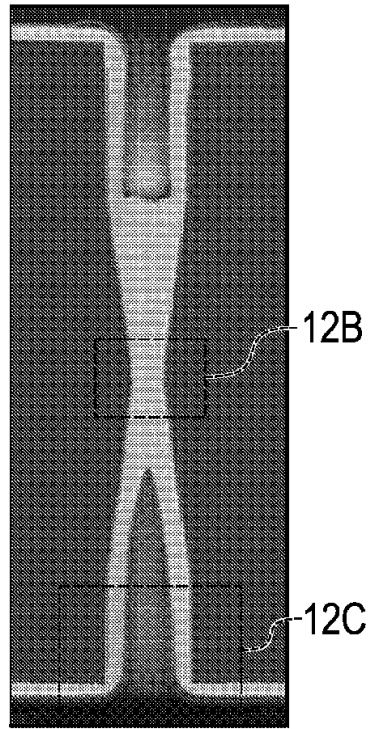


FIG. 12A

【図 1 2 B】

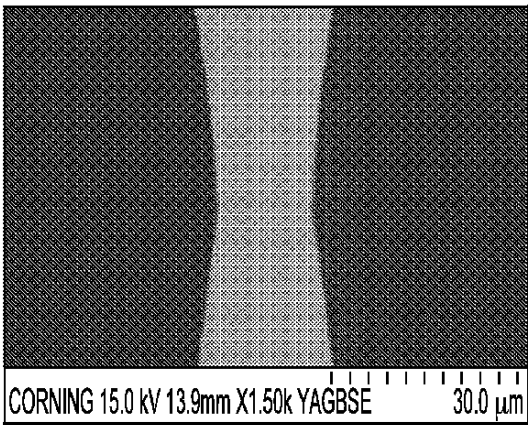


FIG. 12B

【図 1 2 C】

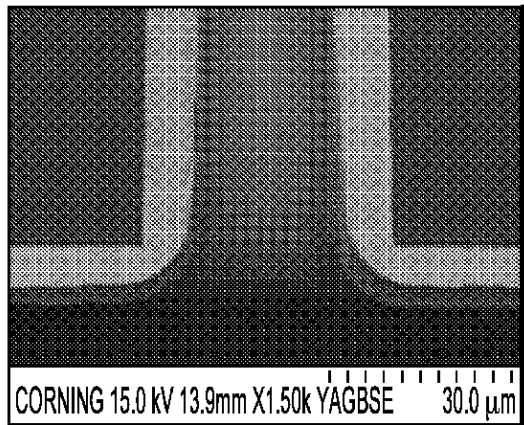


FIG. 12C

10

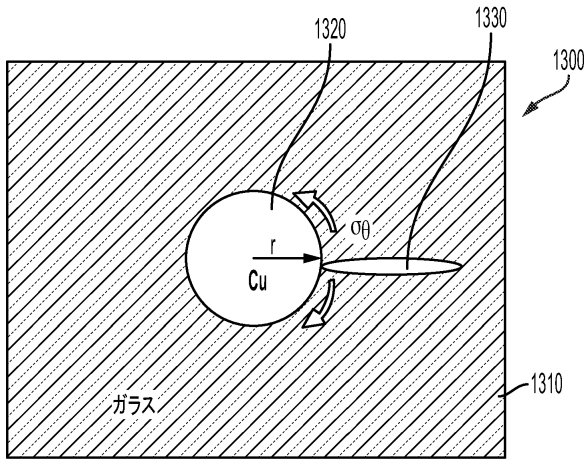
20

30

40

50

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

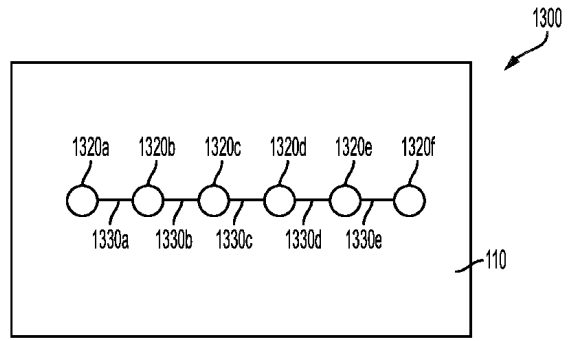
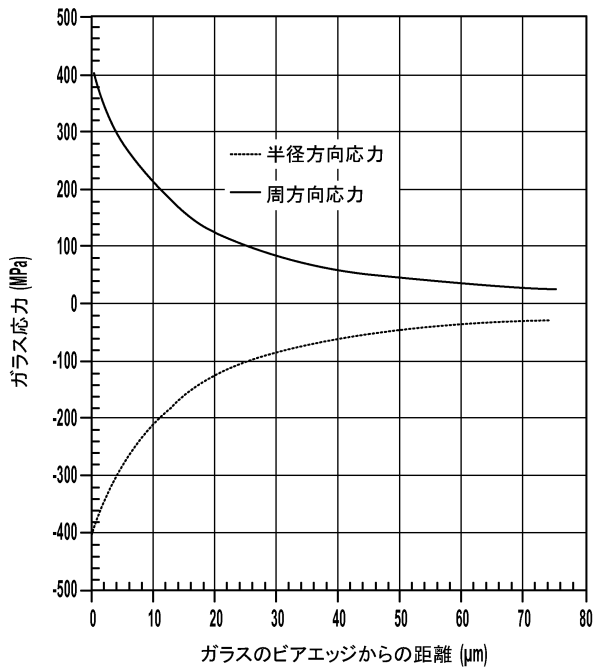
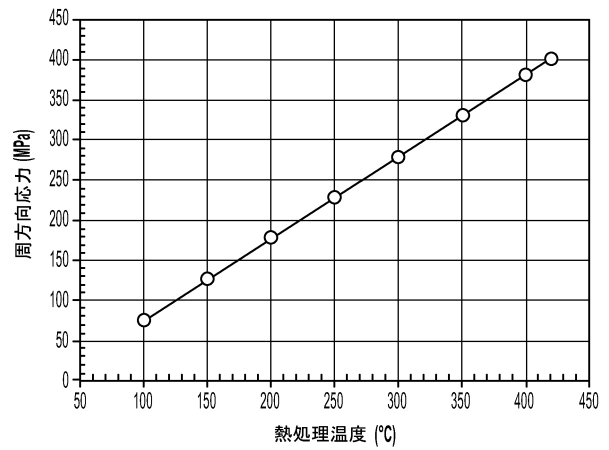


FIG. 14

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



10

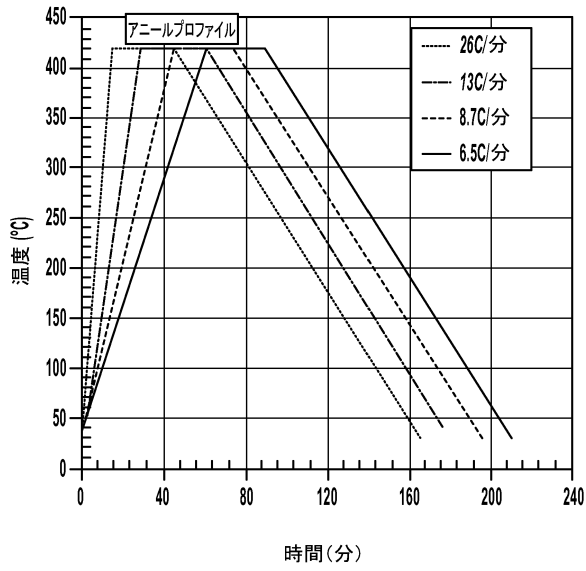
20

30

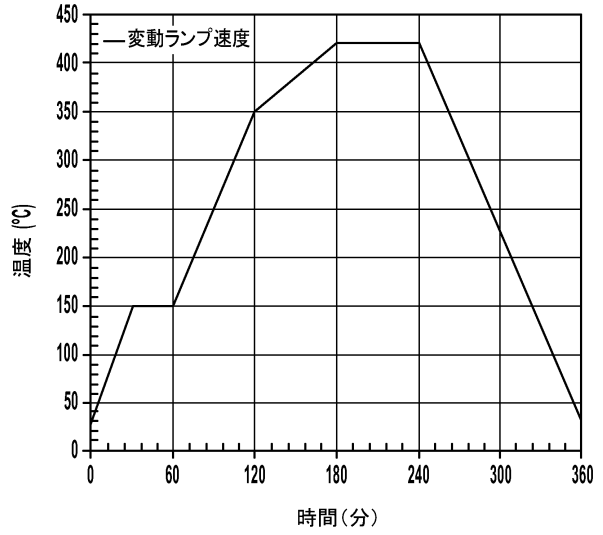
40

50

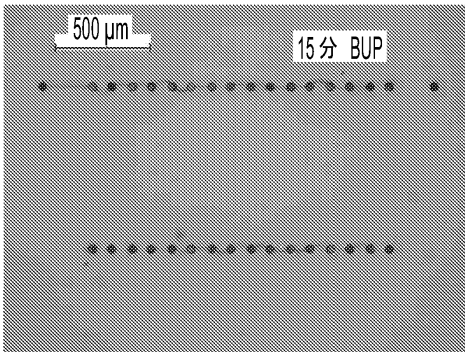
【 図 1 7 A 】



【 図 1 7 B 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 A 】

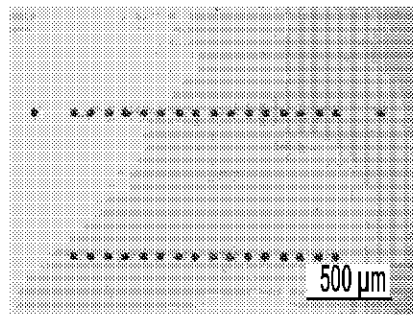


FIG. 19A

10

20

30

40

50

【 19 B 】

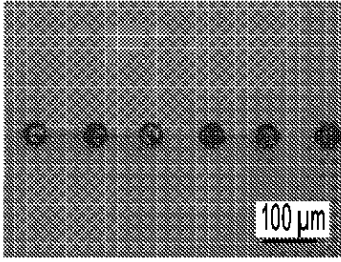


FIG. 19B

【 20 A 】

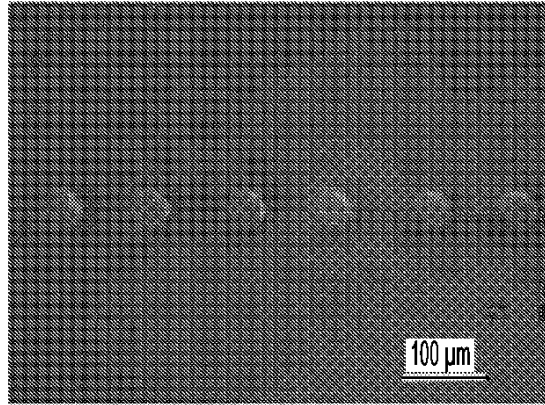


FIG. 20A

10

【 20 B 】

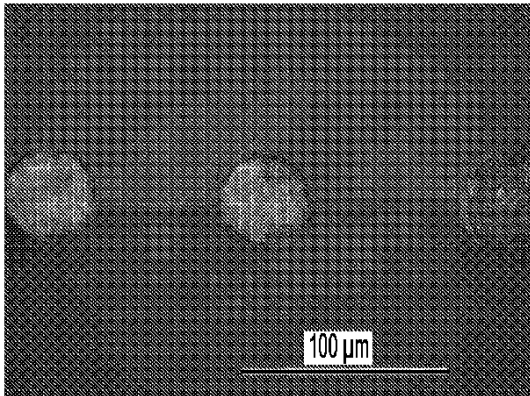


FIG. 20B

【 21 A 】

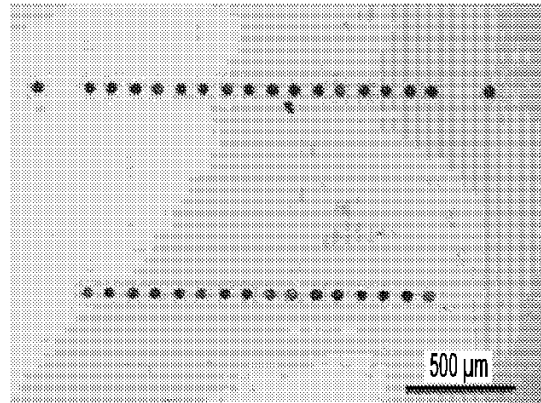


FIG. 21A

20

30

40

50

【 図 2 1 B 】

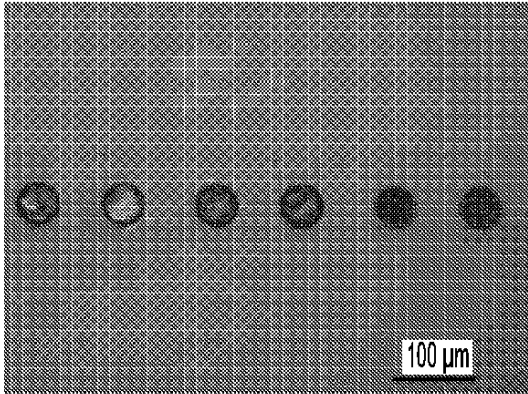


FIG. 21B

【 図 2 2 】

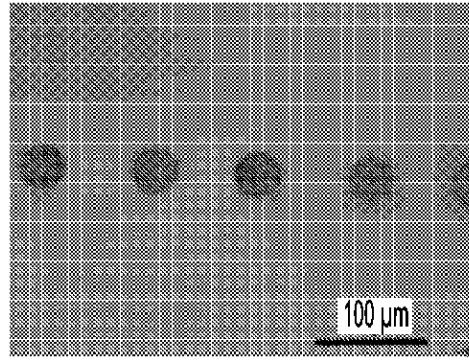
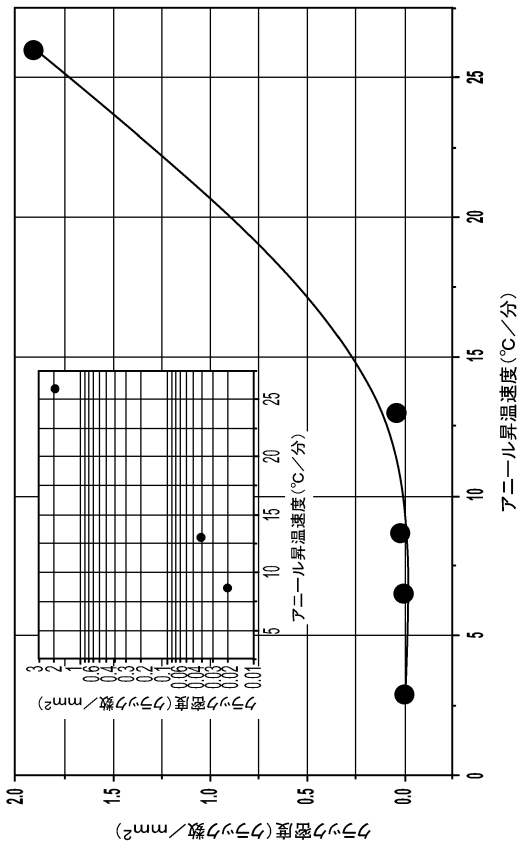
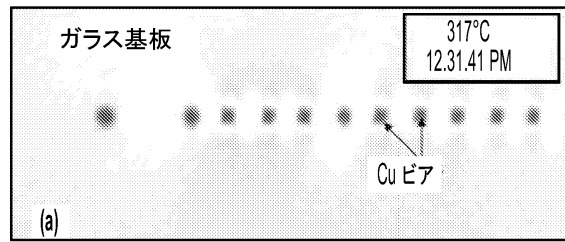


FIG. 22

【 図 2 3 】



【 図 2 4 A 】



10

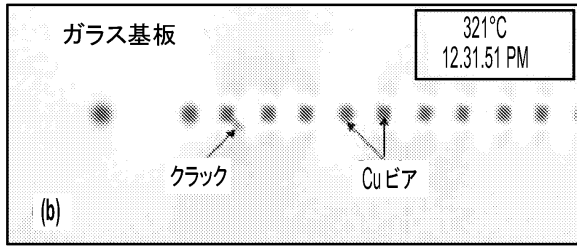
20

30

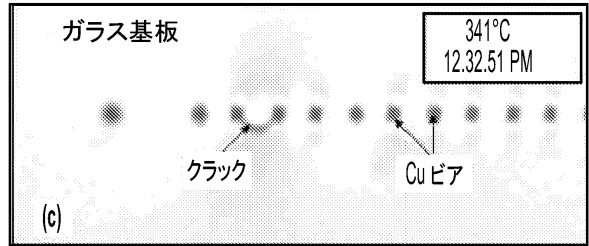
40

50

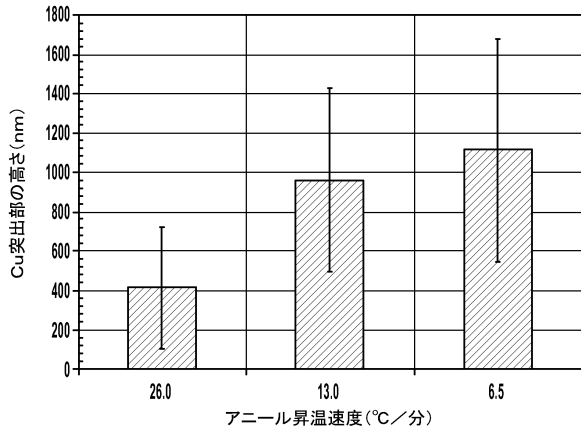
【 図 2 4 B 】



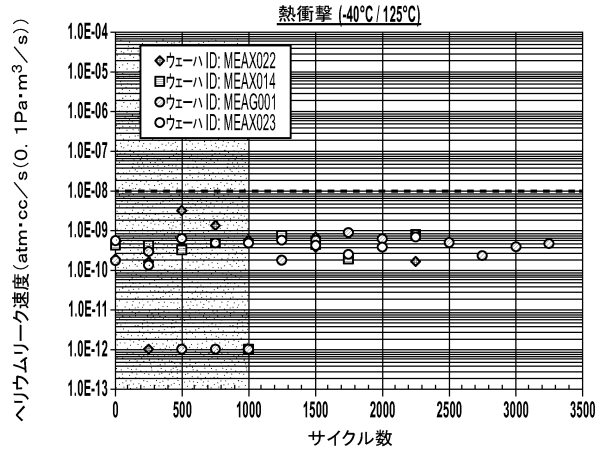
【 図 2 4 C 】



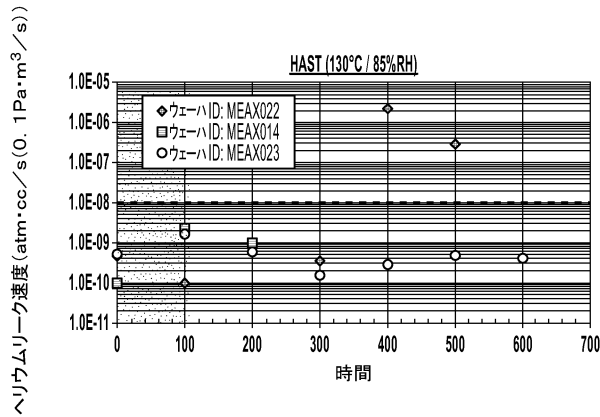
【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 62/808,566

(32)優先日 平成31年2月21日(2019.2.21)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(72)発明者 カヌンゴ, マンダキーニ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14870 ペインテッド ポスト ボンドビュー コート 5

(72)発明者 ククセンコヴァ, エカテリーナ アレクサンドロヴナ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14870 ペインテッド ポスト ブルック ロード 117

(72)発明者 マズンダー, プランティック

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14850 イサカ イースト フォールズ ストリート 316

(72)発明者 ムーア, チャド パイロン

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14830 コーニング ウェスト フォース ストリート 7

(72)発明者 オコロ, チュクウディ アズバイケ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14870 ペインテッド ポスト スワン レーン 10

(72)発明者 バク, ア - ヨン

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14830 コーニング ローワー ペース ロード 418 アパ  
ートメント 209

(72)発明者 ボラード, スコット クリストファー

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14814 ビッグ フラッツ ダヴェンポート ロード 37

(72)発明者 ヴァディ, ラジェッシュ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14830 コーニング マウンテンプロウ テラス 54

審査官 井上 和俊

(56)参考文献 特開平3 - 196664 (JP, A)

特表2014 - 524278 (JP, A)

特開2017 - 063109 (JP, A)

特開2017 - 098466 (JP, A)

国際公開第2006 / 129354 (WO, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 23 / 15

H05K 1 / 11

H05K 3 / 40

H05K 3 / 42