(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6701168号
(P6701168)
(45)発行日　令和2年5月27日(2020.5.27)　(24)登録日　令和2年5月8日(2020.5.8)

(51)Int.Cl.　F I
C03B 27/044 (2006.01)　C03B 27/044

請求項の数 7 (全 53 頁)

(21)出願番号　特願2017-505499(P2017-505499)
(86)(22)出願日　平成27年7月30日(2015.7.30)
(65)公表番号　特表2017-523114(P2017-523114A)
(43)公表日　平成29年8月17日(2017.8.17)
(86)国際出願番号　PCT/US2015/042955
(87)国際公開番号　WO2016/019167
(87)国際公開日　平成28年2月4日(2016.2.4)
審査請求日　平成30年7月30日(2018.7.30)
(31)優先権主張番号　62/031,856
(32)優先日　平成26年7月31日(2014.7.31)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　62/074,838
(32)優先日　平成26年11月4日(2014.11.4)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(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　１４８
３１　コーニング　リヴァーフロント　プ
ラザ　１
(74)代理人　100073184
弁理士　柳田　征史
(74)代理人　100175042
弁理士　高橋　秀明
(72)発明者　レッジ，ピーター　ジョセフ
アメリカ合衆国　ニューヨーク州　１４８
３０　コーニング　ダブリュー　フォース
ストリート　６０

最終頁に続く

(54)【発明の名称】熱強化ガラス、ならびにガラスの熱強化のための方法および装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ガラス板の強化方法において、
ある材料を含むガラス板を冷却するステップであって、前記ガラス板が第１および第２の板表面を有し、前記材料が転移温度を有し、前記冷却開始時に前記ガラス板が前記転移温度よりも高い温度にあるステップを含み、前記冷却するステップは、
ａ．前記第１の板表面を、第１のヒートシンク表面に隣接して配置するステップであって、前記第１の板表面から前記第１のヒートシンク表面への熱伝導が起こるように、前記第１の板表面と前記第１のヒートシンク表面との間に第１の間隙を有し、前記第１の間隙が、前記第１の間隙の長さg_1および前記第１の間隙の面積A_{g1}を有するステップと、
ｂ．前記第２の板表面を、第２のヒートシンク表面に隣接して配置するステップであって、前記第２の板表面から前記第２のヒートシンク表面への熱伝導が起こるように、前記第２の板表面と前記第２のヒートシンク表面との間に第２の間隙を有し、前記第２の間隙が、前記第２の間隙の長さg_2および前記第２の間隙の面積A_{g2}を有するステップと、
ｃ．第１の気体の第１の流れを前記第１の間隙に供給し、第２の気体の第２の流れを前記第２の間隙に供給するステップであって、前記第１の気体が熱容量C_{p1}および熱伝導率k_1を有し、前記第２の気体が熱容量C_{p2}および熱伝導率k_2を有し、前記第１の気体の前記流れが質量流量
$\dot{m}_1$

（式中、
$\dot{m}_1$

は、０を超え（２ｋ$_1$Ａ$_{g1}$）／（ｇ$_1$Ｃ$_{p1}$）未満である）
で前記第１の間隙に供給され、前記第２の気体の前記流れが質量流量
$\dot{m}_2$

（式中、
$\dot{m}_2$

は、０を超え、（２ｋ$_2$Ａ$_{g2}$）／（ｇ$_2$Ｃ$_{p2}$）未満である）
で前記第２の間隙に供給され、それによって、前記第１および第２の流れは前記ガラス板に接触し、前記ガラス板が、対流よりも伝導によって冷却されるステップと
で行われ、
ｄ．前記ガラス板の表面圧縮応力および中央張力を発生させるのに十分となるように行われる、
ことを特徴とする方法。
【請求項２】
前記第１のヒートシンク表面が複数の第１の開口部を有し、前記第２のヒートシンク表面が複数の第２の開口部を有し、第１の気体の第１の流れを前記第１の間隙に供給するステップが、前記複数の第１の開口部のみを介して前記第１の気体を前記第１の間隙に流すステップを含み、第２の気体の第２の流れを前記第２の間隙に供給するステップが、前記複数の第２の開口部のみを介して前記第２の気体を前記第２の間隙に流すステップからなることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項３】
ラマン分光法によって測定された、前記ガラス板の前記第１の板表面の表面仮想温度が、前記ガラス板のガラス転移温度よりも少なくとも５０℃高いことを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項４】
ガラス板の強化方法において、
ａ．ガラス板の少なくとも一部をその第１の表面上で、少なくとも部分的には、前記第１の表面と第１のヒートシンクとの間の間隙に供給される気体の流れまたは圧力によって支持するステップであって、前記ガラス板が転移温度を有するガラスを含み、前記ガラス板が前記ガラスの前記転移温度よりも高い温度にあるステップと、
ｂ．前記気体を介した前記ガラス板の前記第１の表面からヒートシンクへの対流よりも熱伝導によって前記ガラス板を冷却するステップと
を含むことを特徴とする方法。
【請求項５】
第１のヒートシンク表面を有する第１のヒートシンクと、
第２のヒートシンク表面を有し、前記第１のヒートシンクとは反対側に配置される第２のヒートシンクと、
前記第１のヒートシンク表面と前記第２のヒートシンク表面との間の間隙と
を含む装置において、
前記間隙は、気体からなり、加熱されたガラス板を収容し、前記加熱されたガラス板を対流よりも伝導によって冷却することで、熱強化ガラス板が得られるように構成されることを特徴とする装置。
【請求項６】
前記第１のヒートシンクおよび前記第２のヒートシンクが、前記間隙および気体源と流体連通した複数の開口部を含み、前記気体が前記気体源から前記間隙まで流れることを特徴とする請求項５に記載の装置。

【請求項７】
前記複数の開口部が１ｍｍ未満の最小断面寸法を含み、前記複数の開口部が、前記それぞれの第１および第２のヒートシンク表面に対して垂直から２０度以下の角度で配置されることを特徴とする請求項６に記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【関連出願の相互参照】
【０００１】
本出願は、２０１４年７月３１日に出願された米国特許出願第６２／０３１，８５６号、２０１４年１１月４日に出願された米国特許出願第６２／０７４，８３８号、および２０１５年４月１４日に出願された米国特許出願第６２／１４７，２８９号の利益を主張し、これらそれぞれの全体が参照により本明細書に援用される。
【技術分野】
【０００２】
本開示は、改善された熱的に調整された（強化または硬化させた）ガラス、特にガラス板、ならびにガラス、特にガラス板の熱強化のための改善された方法および装置に関する。
【背景技術】
【０００３】
ガラス板の熱的（または「物理的」）強化において、ガラス板は、そのガラスのガラス転移温度よりも高温まで加熱され、次に板の表面は、急速に冷却（「急冷」）されながら、板の内部領域は、ガラスの厚さおよびかなり小さい熱伝導率によって断熱されることで、より遅い速度で冷却される。この異なる冷却によって、ガラス表面領域に残留圧縮応力が生じ、ガラスの中央領域の残留引張応力によってバランスがとられる。これは、中央に対して表面により近い領域のガラスの化学組成をイオン拡散などによって変化させることで表面圧縮応力を発生させるガラスの化学強化とは区別される。これは、異なる熱膨張係数を有するガラス組成物の複数の層を、より低膨張の層が典型的には最も外側になるように、高温状態で互いに組合せ、または積層して、周囲温度に戻した後で表面圧縮応力を発生させることによるガラス強化とも異なる。化学強化および積層に対して、熱強化プロセスは、一般により安価ではるかに迅速に行うことができる。
【０００４】
熱強化ガラスは未強化のガラスに対して利点を有する。強化ガラスの表面圧縮によって、未強化のガラスよりも破壊に対する抵抗性が高くなる。一般に、強度の増加は表面圧縮量に比例する。板がその厚さに対して十分なレベルの熱強化を有すると、板が破壊された場合に、鋭い端部を有する大きいまたは細長い破片ではなく、鋭くない端部を有する小さな破片に分裂する。種々の確立された規格によって定義されるように、十分小さい破片または「ダイス」（ｄｉｃｅ）に破壊されるガラスは、安全ガラスまたは「完全強化」（ｆｕｌｌ　ｔｅｍｐｅｒｅｄ）ガラス、または場合により単に「強化」ガラスとして知られている場合がある。
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
強化の程度は、ガラス板の表面と中央との間の温度差に依存するため、より薄いガラスは、特定の応力を実現するためにより速い冷却速度が必要となる。また、より薄いガラスは、一般に、破壊によるより小さな粒子へのダイシング（ｄｉｃｉｎｇ）を実現するために、より大きい表面圧縮応力および中央張力の最終値が必要となる。したがって、約３ｍｍ以下の板厚を有するガラスでの完全強化（ダイシング）の実現は、不可能ではないとしても非常に困難である。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本開示は、部分的には、高度に強化された薄いガラス板、ならびに、望ましくは気体の

みをガラスに接触させ、プロセスの出力要求も減少させながら、ガラスの対流気体熱強化の技術分野の現状を超えて従来実現されなかった厚さで驚くべき高レベルのガラス板の熱強化を実現する方法、プロセスおよび装置に関する。開示される装置および方法によって、少なくとも０．１ｍｍまでの薄い厚さを有するガラス板で「完全強化」またはダイシング挙動までを含めた熱強化が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【０００７】

【図１】（従来技術）ガラス厚さの関数としての「完全強化」に必要なブロア出力のグラフである。

【図２】（従来技術）古いプロセスまたは機械Ｏならびに新しいプロセスまたは機械Ｎの場合のガラス厚さの関数としての「還元強化」に必要なブロア出力のグラフである。

【図３】（従来技術）スケールを一致させ図１のグラフ上に重ねた図２の古い曲線Ｏおよび新しい曲線Ｎのグラフである。

【図４】本開示の１つ以上の実施形態による熱強化ガラス板の概略部分断面図である。

【図５】本発明の方法および装置の１つ以上の実施形態によって得られた仮想温度の無次元表面仮想温度パラメータθｓのプロットである。

【図６】示される種々の組成について提案される強化可能性（ｔｅｍｐｅｒａｂｉｌｉｔｙ）パラメータΨに対してプロットした、種々のガラス組成でのシミュレーションによって計算された表面圧縮応力のプロットである。

【図７】熱伝達係数ｈの関数としての２つＰ１およびＰ２のパラメータのグラフである。

【図８】熱伝達係数ｈの関数としての２つＰ１およびＰ２のパラメータのグラフである。

【図９】ミリメートルの単位でのガラス板の厚さｔの関数としてのガラス板の表面圧縮のＭＰａ値のグラフであり、本開示の装置および方法の１つ以上の実施形態によって新しく得られた性能の範囲を示している。

【図１０】本開示の強化ガラス板の選択された例に対してプロットした厚さの関数としての圧縮応力を示すグラフである。

【図１１】本開示による方法の１つのある態様を示すフローチャートである。

【図１２】本開示による別の方法の１つのある態様を示すフローチャートである。

【図１３Ａ】従来技術とは対照的に、本開示の方法および方法および装置およびプロセスが使用可能な領域を示すために、領域Ｒ、ならびに点Ａ、Ｂ、Ａ’およびＢ’を示した図３のグラフである。

【図１３Ｂ】図１３Ａの領域Ｒ、ならびに点Ａ、Ｂ、Ａ’およびＢ’の別の表示であるが、図２の縮小コピーと隣接させて（目盛と関連させて配置して）示している。

【図１４】（従来技術）ガラス厚さの関数として強化に必要となる必須熱伝達係数のグラフである。

【図１５】本開示による、対流よりも伝導によって冷却されるガラス板の概略断面図である。

【図１６】本開示による実験装置の概略断面図である。

【図１７Ａ】図１６と類似した装置の別の実施形態の切り欠き斜視図である。

【図１７Ｂ】図１７Ａの挿入図の特徴の別の実施形態の切り欠き斜視図である。

【図１７Ｃ】図１７Ａの挿入図の特徴のさらに別の実施形態の切り欠き斜視図である。

【図１８】本開示によるさらに別の方法のある態様を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【０００８】

ガラスの熱処理、ガラスの熱強化のための方法と装置との両方、および結果として得られる熱強化された板自体の改善が必要とされている。たとえば、携帯用電子機器では、より薄いがより強い光学的品質のガラス板材料、およびそのようなガラス板を含む製品が望まれている。ガラスは、圧縮に対して非常に強いが、表面における張力に対しては比較的弱い。板の表面を圧縮し、露出面が存在しない中央の張力とバランスをとることによって、ガラス板の有効強度が大幅に増加する。しかし、熱強化は、別の強化方法よりも一般に

安価で迅速であるが、薄い、たとえば２～３ｍｍ以下のガラス板の強化への利用における性能の制限が問題となり、その理由は、強化レベルはガラス板の表面と中央との間の温度差に依存し、薄いガラス板の表面と中央との間で顕著な差を実現することは困難なためである。本明細書の記述では、高度に強化された薄いガラス板を製造するために熱強化を利用するための改善された方法および装置を提供する。これらの方法および装置によって、現行方法の制限が解決され、厚さが約３ｍｍ未満、２ｍｍ未満、１．５ｍｍ未満、１．０ｍｍ未満、０．５ｍｍ未満、約０．２５ｍｍ未満、および約０．１ｍｍ未満であるガラス板を高レベルで強化することができる。

【０００９】

ガラスの熱強化のための標準的な工業プロセスは、放射エネルギー炉または対流炉（または両方の技術を使用する「複合方式」の炉）の中でガラス板をあらかじめ決定された温度まで加熱するステップと、次に、典型的にはガラス表面に対してまたはガラス表面に沿って吹き付けられる多量の周囲空気の形態である気体冷却（「急冷」）のステップとを含む。この気体冷却プロセスでは、気体が高温のガラス板から熱を奪うときの拡散および移流による流体の流れ運動（集団的な運動）によって熱伝達が行われる対流が支配的である。

【００１０】

ある要因によって、ガラス板中で可能な強化量が制限されうる。部分的には、完成した板の上の圧縮応力量が、急冷中に実現される板の表面と中央との間の温度差の大きさに直接関連するため、制限が存在する。しかし、急冷中の温度差が大きいほど、ガラスが破壊されやすくなる。特定の冷却速度の場合、板のより高い初期温度から急冷を開始することによって、破壊を減少させることができる。また、より速い冷却速度の完全強化能力を実現するために、より高い出発温度が必要であることが知られている。しかし急冷開始時の板の温度を上昇させると、板がより柔らかくなるため、板の過度の変形が生じることがあり、この場合も実際に実現可能な温度差が制限される。

【００１１】

急冷中の実現可能な温度差に対して、板厚によっても大きな制限が生じる。板が薄いほど、表面から中央を断熱するためのガラスの厚さが少なくなるため、急冷中の特定の冷却速度の場合の表面と中央との間の温度差が小さくなる。したがって、薄いガラスの熱強化には、より速い冷却速度が必要であり、したがってガラスの外面からより速く熱が除去され、大きなエネルギー消費が必要となる。図１は、約３５年前の業界標準の熱強化プロセスに基づく、ミリメートルの単位のガラス厚さの関数としての、ソーダ石灰ガラス（「ＳＬＧ」）の「完全強化」のために十分な周囲空気を吹き付けるために使用される送風機に必要となる、ガラス板の面積１平方メートル当たりのキロワットの単位での出力を示している。必要な出力は、使用されるガラスが薄くなると指数関数的に増加し、そのため厚さ約３ｍｍのガラス板は、長年にわたって利用可能な最も薄い完全強化された市販ガラスであった。さらに、板が薄いほど、ガラスの特定の柔らかさ（すなわち特定の粘度）における変形の可能性が高まる。したがって、厚さを減少させると、直接実現可能な温度差が減少し、板が変形する危険性が高まるという理由で、より速い冷却速度の十分な利点を得るため、およびより速い冷却速度によって生じるガラスの破壊を防止するための、より高い板温度を使用する機会が減少する傾向にある。

【００１２】

より最近では、最先端のガラス熱強化装置を用いた図２（従来技術）の性能曲線が公開された。この改善された装置では、ガラスの冷却に従来の送風対流プロセスが使用され続けているが、加熱中のガラスの支持に使用されるローラーの代わりに、少なくとも加熱の最終段階の間にガラスを支持するために空気を利用するシステムが使用される。ローラーの接触がないため、ガラスは、急冷前により高い温度（より柔らかい／より低い粘度）まで加熱でき、厚さ２ｍｍの完全強化ガラスの製造が可能であると報告されている。図２に示されるように、ローラーの使用（曲線Ｏ）と比較して、ガラスの支持に空気を使用することによって（曲線Ｎ）可能となるより高温において、厚さ２ｍｍの板の強化に必要と報

告されるブロア出力は１２００ｋＷ／ｍ^{2}から４００ｋＷ／ｍ^{2}まで低下している。

【００１３】

厚さ２ｍｍの完全強化ガラスの製造が可能となる進展を示しているが、図２の古い曲線および新しい曲線ＯおよびＮの縮尺を変更して、図３（従来技術）に示されるように図１の縮尺に合わせると、上記の新しい方法によって実現される性能の改善は比較的小さく、ガラス板の対流強化に必要なエネルギーの従来の理解においては単に漸進的変化であることを示している。図３中、図２の古い曲線および新しい曲線ＯおよびＮの縮尺を変更して図１のグラフと一致させ、その上に重ね合わせている（新しい曲線Ｎを見やすくするために、２４０ｋＷ／ｍ^{2}において古い曲線Ｏの上部を切り取っている）。図３から分かるように、曲線Ｎによって示される技術では、対流気体急冷プロセスの性能曲線が薄いガラス側に向かってわずかに変化しただけである。高い運転点（２ｍｍのガラスの場合のブロア出力の４００ｋＷ／ｍ^2）は、この方法でより薄いガラスを加工するためには出力の大幅な増加が依然として必要なことを示している。必要な気流、したがって出力が大幅に増加することは、技術的手法および経済性の両方の問題として、従来の対流気体強化方法を用いて完全強化ガラスを製造しながら２ｍｍ未満の厚さに到達することが困難なことを示唆している。さらに、必要となる非常に多い気流によって、より薄い板の形状が変形しうる。したがって、２ｍｍ未満の厚さを有するガラスの完全強化を実現するため、またはソーダ石灰ガラスよりも低い熱膨張係数（「ＣＴＥ」）を有するガラスを２ｍｍで完全強化するためには、別の方法が必要である。

【００１４】

現行の商業的な対流気体強化に対する別の方法も試されているが、そのそれぞれが対流気体強化に対してある種の欠点を有する。特に、より速い冷却速度を実現する方法は、一般に、気体のみではなく、少なくともある種の液体または固体が板表面に接触することが必要となる。以下により詳細に説明するように、ガラス板とのこのような接触は、ガラスの表面品質、ガラス平坦性、および／または強化プロセスの均一性に悪影響を与えることがある。これらの欠点は、場合により、特に反射光で見た場合に、人間の目で認識可能である。

【００１５】

液体浴または流動する流体中への浸漬の形態、ならびに噴霧の形態の液体接触強化を使用して対流気体強化よりも速い冷却速度が実現されているが、冷却プロセス中の板全体の過度の温度のばらつきが生じるという欠点を有する。浸漬または浸漬に類似した液体の噴霧もしくは流動では、液体浴または液体流の中で自発的に生じる対流のために、小さな領域にわたって大きな温度のばらつきが生じうる。より微細な噴霧では、個別の噴霧の液滴、およびノズル噴霧パターンの効果によっても、顕著な温度のばらつきが生じる。過度の温度のばらつきによって、液体接触による熱強化中にガラスの破壊が生じやすくなり、それによって実現可能な冷却速度、および結果として得られる強度が制限される。（液体浴または液体流または液体噴霧液の中への配置および維持のための）板に必要な取り扱いでも、板との物理的な接触によって物理的応力、および過度の温度のばらつきが生じ、強化中に破壊も生じやすくなり、冷却速度および結果として得られる強度が制限される。最後に、油浸漬および種々の噴霧技術による高冷却速度急冷などの一部の液体冷却方法では、そのような冷却中にガラス表面が変化することがあり、十分な仕上げを得るために板表面からガラス材料を後に除去する必要が生じうる。

【００１６】

固体接触熱強化は、高温のガラスの表面をより低温の固体表面と接触させるステップを含む。液体接触強化と同様に、液体接触強化に見られるような過度の温度のばらつきが、急冷プロセス中に容易に生じうる。ガラス板の表面仕上げ、または急冷される表面、または板の厚さの一貫性におけるあらゆる不完全性によって、板のある領域にわたって接触が不完全となり、それによって大きな温度のばらつきが生じて、処理中にガラスが破壊されやすくなり、板が残存しても望ましくない複屈折が生じる。さらに、高温のガラス板と固体物体との接触によって、欠け、ひび割れ、亀裂、すりきずなどの表面欠陥が形成されう

る。板の表面全体にわたる良好な接触の実現も、板の寸法が増加することでより困難となりうる。固体表面との物理的接触によって、急冷中に板に機械的に応力が加わることもあり、プロセス中に板が破壊される可能性が増加しうる。さらに、接触開始時の非常に高速の温度変化によって、板の加工中に破壊が生じることがあり、そのため薄いガラス基材の接触冷却は商業的に実行可能になっていない。

【００１７】

本開示は、ガラス表面を損傷したり、複屈折および不均一な強化を誘発したり、容認できない破壊を発生させたりことなく、商業規模で薄いガラス板を効果的、効率的、および均等に熱強化するための前述の従来方法よりも優れている。従来、対流気体ガラス強化では、より速い冷却速度は、気流速度の増加、空気ノズル開口部からガラス板表面までの距離の減少、ガラスの温度（冷却開始）の上昇、および場合により冷却用空気の温度の低下によって実現される。

【００１８】

本明細書に開示される１つ以上の実施形態によって、これまで得られなかったガラス板を製造することができる。これは、ガラスの良好な物理的制御および丁寧な取り扱いを行いながら、正確な方法で非常に高い熱伝達率を実現することで得られる。小さな間隙の気体軸受において（形状および）平坦性を制御することによって、冷却開始時により高い相対温度で板を加工することができ、その結果より高い熱強化レベルを得ることができる。後述するように、この結果、独特の性質を有するガラス板が得られる。

【００１９】

本開示による方法および／または装置によって処理されたガラス板のある実施形態は、熱的に誘発される永続的な応力を従来知られているよりも高いレベルで有する。理論によって束縛しようと望むものではないが、熱的に誘発される応力の実現されたレベルが、複合的な理由で得ることができたと考えられる。本明細書に詳細に記載される方法における熱伝達の高い均一性によって、ガラス中の物理的応力および望ましくない熱応力が減少するか除去されるかして、破壊が生じずにより高い熱伝達率でガラス板を強化することができる。さらに、本発明の方法は、より低いガラス板粘度（急冷開始時のより高い初期温度）で行うことができながら、所望の（形状および）平坦性が依然として維持され、それによって冷却プロセスではるかに大きな温度変化が得られ、したがってさらに高い熱強化レベルが実現される。

【００２０】

第１の実施形態は、高い表面圧縮応力または高い中央張力を有する熱強化ガラス板を含む。図４は、１つ以上の実施形態による熱強化ガラス板５００の概略部分断面図である。ガラス板５００は、厚さｔと、厚さｔによって分離された第１および第２の主面５１０、５２０とを有する。ガラス板５００は、長さｌおよび幅ｗも含む。代表的な実施形態では、ガラス板５００の厚さｔは、ガラス板５００の長さｌよりも小さい。別の代表的な実施形態では、ガラス板５００の厚さｔは、ガラス板５００の幅ｗよりも小さい。さらに別の代表的な実施形態では、ガラス板５００の厚さｔは、ガラス板５００の長さｌおよび幅ｗよりも小さい。ガラス板５００は、熱的に誘発される永続的な圧縮応力５３０および５４０の領域を第１および第２の主面５１０、５２０および／またはそれらの付近にさらに有し、板の中央部分の熱的に誘発される永続的な中央引張応力（すなわち張力）の領域５５０とバランスが取られる。

【００２１】

本明細書に開示される方法によって得られるガラスの圧縮応力は、ガラスの厚さの関数として変化しうる。実施形態では、３ｍｍ以下の厚さを有するガラスは圧縮応力が、少なくとも８０ＭＰａ、少なくとも１００ＭＰａ、少なくとも１５０ＭＰａ、少なくとも２００ＭＰａ、少なくとも２５０ＭＰａ、少なくとも３００ＭＰａ、少なくとも３５０ＭＰａ、少なくとも４００ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、２ｍｍ以下の厚さを有するガラスは、圧縮応力が少なくとも８０ＭＰａ、少なくとも１００ＭＰａ、少なくとも１５０ＭＰａ、少なくとも１７５ＭＰａ、少なくとも２００Ｍ

Ｐａ、少なくとも２５０ＭＰａ、少なくとも３００ＭＰａ、少なくとも３５０ＭＰａ、少なくとも４００ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、１．５ｍｍ以下の厚さを有するガラスは、圧縮応力が少なくとも８０ＭＰａ、少なくとも１００ＭＰａ、少なくとも１５０ＭＰａ、少なくとも１７５ＭＰａ、少なくとも２００ＭＰａ、少なくとも２５０ＭＰａ、少なくとも３００ＭＰａ、少なくとも３５０ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、１ｍｍ以下の厚さを有するガラスは、圧縮応力が少なくとも少なくとも８０ＭＰａ、少なくとも１００ＭＰａ、少なくとも１５０ＭＰａ、少なくとも１７５ＭＰａ、少なくとも２００ＭＰａ、少なくとも２５０ＭＰａ、少なくとも３００ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、０．５ｍｍ以下の厚さを有するガラスは、圧縮応力が少なくとも５０ＭＰａ、少なくとも８０ＭＰａ、少なくとも１００ＭＰａ、少なくとも１５０ＭＰａ、少なくとも１７５ＭＰａ、少なくとも２００ＭＰａ、少なくとも２５０ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。

【００２２】

ある実施形態では、熱的に誘発される中央張力は、４０ＭＰａを超え、または５０ＭＰａを超え、または７５ＭＰａを超え、または１００ＭＰａを超えることができる。別の実施形態では、熱的に誘発される中央張力は、３００ＭＰａ未満、または４００ＭＰａ未満となりうる。熱的に誘発される中央張力は、約５０ＭＰａ～約３００ＭＰａ、約６０ＭＰａ～約２００ＭＰａ、約７０ＭＰａ～約１５０ＭＰａ、または約８０ＭＰａ～約１４０ＭＰａとなりうる。

【００２３】

十分なエネルギーが引張応力領域５５０中に蓄積されると、十分に損傷した場合にガラスは安全ガラスまたは「ダイス」のように破壊される。本明細書において使用される場合、ガラス板は、ガラス板の２５ｃｍ^{2}領域が４０以上の破片に破壊される場合にダイスであると見なされる。ある実施形態では、ダイシングは、ガラス板が「完全強化」されたこと（すなわち、２ｍｍ以上の厚さのガラスで、ガラス板が少なくとも６５ＭＰａの圧縮応力または少なくとも６７ＭＰａの端部圧縮（ｅｄｇｅ　ｃｏｍｐｒｅｓｓｉｏｎ）を有する場合）を示す定性的基準として使用される。

【００２４】

別の一態様は、高い仮想温度および大きい損傷抵抗を有する熱強化ガラス板を含む。表面仮想温度は、示差走査熱量測定、ブリルアン分光法、またはラマン分光法などのあらゆる適切な方法によって求めることができる。

【００２５】

表面仮想温度を求めるための一部の方法では、適度な精度で仮想温度を測定するために、熱強化プロセスによって誘発された「強化応力」を開放するためにガラスの破壊が必要となりうる。仮想温度に対して、およびケイ酸塩ガラス中に加えられた応力に対しての両方で制御された方法で、ラマン分光シフトによって特性構造帯（ｃｈａｒａｃｔｅｒｉｓｔｉｃ　ｓｔｒｕｃｔｕｒｅ　ｂａｎｄ）が測定されたことがよく知られている。このシフトを使用することで、強化応力が既知である場合の熱強化ガラス板の仮想温度を非破壊的に測定することができる。

【００２６】

シリカガラスのラマンスペクトルに対する応力の影響は、Ｄ．Ｒ．Ｔａｌｌａｎｔ，Ｔ．Ａ．Ｍｉｃｈａｌｓｋｅ，ａｎｄ　Ｗ．Ｌ．Ｓｍｉｔｈ，“Ｔｈｅ　ｅｆｆｅｃｔｓ　ｏｆ　ｔｅｎｓｉｌｅ　ｓｔｒｅｓｓ　ｏｎ　ｔｈｅ　Ｒａｍａｎ　ｓｐｅｃｔｒｕｍ　ｏｆ　ｓｉｌｉｃａ　ｇｌａｓｓ，”Ｊ．Ｎｏｎ－Ｃｒｙｓｔ．Ｓｏｌｉｄｓ，１０６　３８０－３８３　（１９８８）に報告されている。シリカが６５重量％以上の市販のガラスは、実質的に同じ応答を示す。報告される応力応答は一軸応力の場合であるが、強化ガラス中で観察されるような$\sigma_{xx}=\sigma_{yy}$などの単一二軸（ｕｎｉｂｉａｘｉａｌ）応力状態の場合、ピークは一軸応力で予想される値の２倍シフトすると予想できる。ソーダ石灰ガラスおよびガラス２における１０９０ｃｍ$^{-1}$付近のピークは、シリカガラスで観察

される１０５０ｃｍ$^{-1}$のピークに対応する。シリカにおける１０５０ピーク、ならびにＳＬＧおよび別のケイ酸塩ガラスにおける対応するピークに対する応力の影響は、ＭＰａの単位での応力σの関数として、ａ）ω（ｃｍ$^{-1}$）＝１０５４．９３－０．００２３２・σで表すことができる。

【００２７】

ＳＬＧおよび別のガラスのガラス２の場合の仮想温度の関数としてのラマンバンド位置の較正曲線を作成した。ガラスサンプルは、τ＝１０×η／Ｇ（式中、ηは粘度であり、Ｇは剪断弾性率である）によって計算される構造緩和時間よりも２～３倍長い種々の時間で熱処理した。熱処理後、ガラスを水中で急冷して、熱処理温度における仮想温度を固定した。次にガラス表面を、マイクロラマンによって、５０倍の倍率および１～２μｍのスポットサイズにおいて、４４２ｎｍレーザー、１０～３０秒の露光時間、および１００％出力を用いて、２００～１８００ｃｍ$^{-1}$の範囲にわたって測定した。１０００～１２００ｃｍ$^{-1}$におけるピーク位置をコンピュータソフトウェア、この場合はＲｅｎｉｓｈａｗ ＷｉＲＥ ｖｅｒｓｉｏｎ ４．１を用いてフィットさせた。仮想温度Ｔｆ（単位℃）の関数として空気側でＳＬＧで測定した１０９０ｃｍ$^{-1}$のラマンピークの良好なフィットが、ｂ）ω（ｃｍ$^{-1}$）＝１１１０．６６－０．０２８２・Ｔｆによって得られる。ガラス２の場合、ｃ）ω（ｃｍ$^{-1}$）＝１１０２．００－０．０２３１・Ｔｆによって良好なフィットが得られる。

【００２８】

式ａ）、ｂ）、およびｃ）で確立された関係を用い、表面圧縮応力のための補正率を用いて、測定ラマンピーク位置の関数としてガラスの仮想温度を表すことができる。１００ＭＰａの圧縮応力σ$_c$によって、仮想温度の約１５～２０℃の低下に相当するラマンバンドのシフトが生じる。以下の式をＳＬＧに適用可能である：

【００２９】

【数１】

$$T_f(℃) = \left[\frac{\omega(cm^{-1}) - 1110.66(cm^{-1})}{-0.0282(\frac{cm^{-1}}{℃})}\right] + 2[0.082 * \sigma_c(MPa)] \quad (1)$$

【００３０】

ガラス２に適用可能な式は：

【００３１】

【数２】

$$T_f(℃) = \left[\frac{\omega(cm^{-1}) - 1102(cm^{-1})}{-0.0231(\frac{cm^{-1}}{℃})}\right] + 2[0.0996 * \sigma_c(MPa)] \quad (2)$$

【００３２】

である。これらの式中、ωは１０９０ｃｍ$^{-1}$付近のピークの測定ピーク波数であり、σ$_c$は、℃の単位の仮想温度の応力補正した測定が行われるあらゆる適切な技術によって測定される表面圧縮応力である。

【００３３】

損傷抵抗の増加の実証として、４つのガラス板サンプルを作製し、その２つは従来の強化方法による約７０および１１０ＭＰａの表面圧縮応力（ＣＳ）までの６ｍｍのソーダ石灰ガラス（ＳＬＧ）板であり、２つは本明細書に開示される方法および装置によるほぼ同じレベルのＣＳまでの１．１ｍｍのＳＬＧである。各厚さの一方の２つのさらなる板を対照として使用した。各試験板の表面に対して、標準ビッカース押し込みを行った。種々のレベルの力をそれぞれ１５秒間加え、２４時間待った後、それぞれの圧痕を調べた。表Ｉに示されるように、５０％亀裂閾値（現れる亀裂の平均数が、亀裂が開始する傾向にある圧子の４点のうちの２点となる荷重として定義される）を各サンプルについて測定した。

【００３４】

この表は、従来の対流気体強化（６ｍｍの板に対して行われる）によって加工したＳＬＧのビッカース亀裂開始閾値が、アニール後または供給されたままのＳＬＧ板の場合と実質的に同じであり、０～１ニュートンの間から、約１～２ニュートン未満まで上昇することを示している。これは、従来の強化によって得られたガラス転移温度（ＳＬＧの場合のT_g＝５５０℃、η＝$10^{12\sim13.3}$ポアズ（$10^{11\sim12.3}$Ｐａ・ｓ）として定義される）に対して約２５～３５℃の表面仮想温度（T_{fs}または$T_{f\,surface}$）の比較的小さな上昇に対応している。対照的に、本発明の方法および装置を用いた強化によって、ビッカース亀裂開始閾値は１０Ｎを超えるまで改善され、従来の強化によって得られたビッカース損傷抵抗に対して１０倍の増加であった。本発明が実施されたガラスでは、T_{fs}からT_gを引いた値は、少なくとも５０℃、または少なくとも７５℃、または少なくとも９０℃、または約７５℃～１００℃の範囲内であった。低レベルの熱強化を含む実施形態でさえも、本発明が実施されたガラスは、たとえば５Ｎなどのレベルにおいて高い抵抗性を依然として得ることができる。考慮されるある実施形態では、１５秒のビッカース亀裂開始試験後の５０％亀裂閾値は、５Ｎ以上、１０Ｎ以上、２０Ｎ以上、または３０Ｎ以上となりうる。

【００３５】

【表１】

表I

サンプル	厚さ(mm)	CS (MPa)	表面T_f (°C)	亀裂閾値(N)
対照	1.1	アニール後	約T_g (550)	0 - 1
対照	6	アニール後	約T_g (550)	0 - 1
薄く低強度	1.1	-72	626	10 - 20
厚く低強度	6	-66	575	1 - 2
薄く中強度	1.1	-106	642	10 - 20
厚く中強度	6	-114	586	1 - 2

【００３６】

得られた仮想温度に関して熱強化プロセスの相対性能を比較するために以下の無次元仮想温度パラメータθを使用することができる。この場合、表面仮想温度に関してθｓが得られ：

【００３７】

【数３】

$$\theta S = (T_{fs} - T_{anneal})/(T_{soft} - T_{anneal}) \qquad (3)$$

【００３８】

式中、T_{fs}は表面仮想温度であり、T_{anneal}（η＝$10^{13.2}$ポアズ（$10^{12.2}$Ｐａ・ｓ）の粘度におけるガラスの温度）は徐冷点であり、T_{soft}（η＝$10^{7.6}$ポアズ（$10^{6.6}$Ｐａ・ｓ）の粘度におけるガラスの温度）は板のガラスの軟化点である。図５は、２つの異なるガラスの熱強化中に使用した熱伝達率ｈの関数としての、測定表面仮想温度のθｓのプロットである。図に示されるように、２つの異なるガラスの結果は、互いに非常によく重なっている。これはパラメータθが、製造に必要な熱伝達率ｈに関して、直接比較される異なるガラスの仮想温度を比較するための手段となることを意味する。各ｈにおける結果の垂直範囲は、急冷開始時の初期温度T_0のばらつきに対

応している。実施形態では、パラメータθｓは、約０．２～約０．９、または約０．２１～約０．０９、または約０．２２～約０．０９、または約０．２３～約０．０９、または約０．２４～約０．０９、または約０．２５～約０．０９、または約０．３０～約０．０９、または約０．４０～約０．０９、または約０．５～約０．９、または約０．５１～約０．９、または約０．５２～約０．９、または約０．５３～約０．９、または約０．５４～約０．９、または約０．５４～約０．９、または約０．５５～約０．９、または約０．６～約０．９、またはさらには約０．６５～約０．９で構成される。

【００３９】

別の一態様は、高い強化可能性および／または熱伝達値を有する熱強化ガラス板を含む。ガラスの「比熱応力」は：

【００４０】

【数４】

$$\frac{\alpha \cdot E}{1-\mu} \qquad (4)$$

【００４１】

で与えられ、式中、αはガラスの（低温線形）ＣＴＥであり、Ｅは弾性率であり、μはポアソン比である。この値は、温度勾配に曝露した場合に特定のガラス組成物中に生じる応力レベルを示すために使用される。これは、熱「強化可能性」の推定量として使用することもできる。しかしより速い熱伝達率（たとえば約８００Ｗ／ｍ^{2}Ｋ以上など）では、ガラスの高温または「液相線」ＣＴＥが強化性能に影響し始め、したがって、そのような条件下では、粘度曲線全体で変動するＣＴ値にわたる積分の近似に基づく強化可能性パラメータΨが有用であることが分かっており：

【００４２】

【数５】

$$\Psi = E \cdot \left[T_{strain} \cdot \alpha_{CTE}^{S} + \alpha_{CTE}^{L} \cdot \left(T_{soft} - T_{strain}\right)\right] \qquad (5)$$

【００４３】

式中、α^{S}_{CTE}は、１／℃（℃$^{-1}$）の単位で表される低温線形ＣＴＥ（ガラスの場合０～３００℃の平均線形膨張係数に相当する）であり、α^{L}_{CTE}は、１／℃（℃$^{-1}$）の単位で表される高温線形ＣＴＥ（ガラス転移点と軟化点弾性率との間のいずれかの位置で生じることが確認される高温プラトー値に相当する）であり、ＥはＧＰａ（ＭＰａではない）の単位で表されるガラスの弾性率であり（これによって（無次元）パラメータΨが一般に０～１の間の範囲となることができる）、T_{strain}は、℃の単位で表されるガラスの歪み点温度（η＝$10^{14.7}$ポアズ（$10^{13.7}$Ｐａ・ｓ）の粘度におけるガラスの温度）であり、T_{soft}は、℃の単位で表されるガラスの軟化点（η＝$10^{7.6}$ポアズ（$10^{6.6}$Ｐａ・ｓ）の粘度におけるガラスの温度）である。

【００４４】

強化パラメータΨを求めるために種々の性質を有するガラスについて、熱強化プロセスおよび結果として得られる表面圧縮応力のモデル化を行った。ガラスは、$10^{8.2}$ポアズ（$10^{7.2}$Ｐａ・ｓ）の同じ出発粘度および種々の熱伝達係数においてモデル化した。種々のガラスの性質を、$10^{8.2}$ポアズ（$10^{7.2}$Ｐａ・ｓ）におけるそれぞれのガラスの温度およびそれぞれの場合の強化可能性パラメータΨの計算値とともに、表ＩＩに示している。

【００４５】

【表２】

表II

ガラス	弾性率	CTE低	CTE高	$10^{8.2}$ポアズ($10^{7.2}$Pa·s) °C	軟化点 °C	歪み点 °C	Ψ
SLG	72	8.8	27.61	705	728	507	0.76
2	73.3	8.53	20.49	813	837	553	0.77
3	65.5	8.26	26	821	862	549	0.83
4	65	8.69	20.2	864	912	608	0.74
5	63.9	10.61	22	849	884	557	0.84
6	58.26	3.5	20.2	842	876	557	0.49
7	73.6	3.6	13.3	929	963	708	0.44
8	81.1	3.86	12.13	968	995	749	0.48

【００４６】

表ＩＩＩの結果は、Ψがガラスの熱強化性能に比例することを示している。この相関は、高熱伝達率（２０９３Ｗ／ｍ^{2}Ｋ（０．０５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃）の熱伝達係数）およびわずか１ｍｍのガラス板厚の場合の実施例を示す図６にさらに示されている。図から分かるように、７つの異なるガラスで得られる圧縮応力のばらつきは、提案される強化可能性パラメータΨのばらつきと十分な相関がある。

【００４７】

別の一態様では、熱伝達係数ｈ（ｃａｌ／ｃｍ^2－ｓ－℃の単位で表される）の特定の値における任意のガラスの場合で、表面圧縮応力（σ_{CS}、単位ＭＰａ）対厚さ（ｔ、単位ｍｍ）の曲線は、（０～６ｍｍのｔの範囲にわたって）、双曲線にフィットさせることが可能なことが分かっており、ここでP_1およびP_2は：

【００４８】

【数６】

$$\sigma_{CS}(Glass,h,t) = C(h,t) * \Psi(Glass) = \frac{P_1(h) * t}{(P_2(h) + t)} * \Psi(Glass) \quad (6)$$

【００４９】

となるようなｈの関数であるか、またはこれにΨを代入して表すと、圧縮応力σ_{CS}（ｇｌａｓｓ，ｈ，ｔ）の曲線は：

【００５０】

【数７】

$$\frac{P_1(h) * t}{(P_2(h) + t)} \cdot E \cdot \left[T_{strain} \cdot \alpha_{CTE}^{S} + \alpha_{CTE}^{L} \cdot \left(T_{soft} - T_{strain}\right)\right] \quad (7)$$

【００５１】

で表され、ここで上記（６）または（７）のいずれかの定数P_1、P_2のそれぞれは：

【００５２】

【数８】

$$P_1 = 910.2 - 259.2 \cdot \exp\left(-\frac{h}{0.143}\right) \quad (8)$$

【００５３】

および

【００５４】

【数９】

$$P_2 = 2.53 + \frac{23.65}{\left(1 + \left(\frac{h}{0.00738}\right)^{1.58}\right)} \qquad (9)$$

【００５５】

で表される熱伝達値ｈの連続関数である。定数Ｐ$_1$、Ｐ$_2$は、それぞれ図７および８にｈの関数としてグラフで示されている。したがって、特定のｈの場合のＰ$_1$の値と、前出の式（６）または（７）で同じｈの場合に対応するＰ$_2$の値を用いることによって、厚さｔの関数として、そのｈで得ることができる表面圧縮応力（ＣＳ）に対応する曲線が規定される。

【００５６】

ある実施形態では、同様の式を使用し、単に同じ伝導下で予想される圧縮応力を２で割ることによって、特に６ｍｍ以下の厚さ、および８００Ｗ／ｍ^{2}Ｋ以上などの熱伝達係数における熱強化ガラス板の中央張力（ＣＴ）を予想することができる。したがって、予想中央張力は、

【００５７】

【数１０】

$$\frac{P_{1CT}(h_{CT}) * t}{(P_{2CT}(h_{CT}) + t)} \cdot E \cdot \left[T_{strain} \cdot \alpha_{CTE}^{s} + \alpha_{CTE}^{L} \cdot \left(T_{soft} - T_{strain}\right)\right] \quad (10)$$

【００５８】

から求めることができる。上式中、Ｐ$_{1CT}$およびＰ$_{2CT}$は：

【００５９】

【数１１】

$$P_{1CT} = 910.2 - 259.2 \cdot \exp\left(-\frac{h_{CT}}{0.143}\right) \qquad (11)$$

【００６０】

および

【００６１】

【数１２】

$$P_{2CT} = 2.53 + \frac{23.65}{\left(1 + \left(\frac{h_{CT}}{0.00738}\right)^{1.58}\right)} \qquad (12)$$

【００６２】

のように求められる。ある実施形態では、ｈおよびｈ$_{CT}$は、熱強化の特定の物理的状況で同じ値を有することができる。しかし、ある実施形態では、これらは変動することがあり、別個の変数が得られ、それらの間でばらつきが生じると、ＣＳ／ＣＴの典型的な２：１の比が維持されない場合の記述的性能曲線中に取り込むことができる。

【００６３】

本開示の方法および装置の１つ以上の実施形態によって、表ＩＩＩに示される熱伝達率値（ｈおよびｈ$_{CT}$）のすべてにおいて熱強化ＳＬＧ板が製造されている。

【００６４】

【表３】

表III

表III（代表的な実施形態によるhおよびhCTの値）					
cal/s·cm^2·°C	W/m^{2}K	cal/s·cm^2·°C	W/m^{2}K	cal/s·cm^2·°C	W/m^{2}K
0.010	418.68	0.042	1758.456	0.070	2930.76
0.013	544.284	0.045	1884.06	0.071	2972.628
0.018	753.624	0.047	1967.796	0.078	3265.704
0.019	795.492	0.048	2009.664	0.080	3349.44
0.020	837.36	0.049	2051.532	0.081	3391.308
0.021	879.228	0.050	2093.4	0.082	3433.176
0.022	921.096	0.051	2135.268	0.095	3977.46
0.023	962.964	0.052	2177.136	0.096	4019.328
0.027	1130.436	0.053	2219.004	0.102	4270.536
0.028	1172.304	0.054	2260.872	0.104	4354.272
0.029	1214.172	0.055	2302.74	0.105	4396.14
0.030	1256.04	0.060	2512.08	0.127	5317.236
0.031	1297.908	0.061	2553.948	0.144	6028.992
0.033	1381.644	0.062	2595.816	0.148	6196.464
0.034	1423.512	0.063	2637.684	0.149	6238.332
0.038	1590.984	0.065	2721.42	0.184	7703.712
0.040	1674.72	0.067	2805.156		
0.041	1716.588	0.069	2888.892		

【００６５】

ある実施形態では、熱伝達値比率（ｈおよびｈ$_{CT}$）は、約０．０２４～約０．１５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（約１００４～約６２８０Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）、約０．０２６～約０．１０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（約１０８９～約４１８７Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）、または約０．０２６～約０．０７５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（約１０８９～３１４０Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）となりうる。

【００６６】

図９は、前出の式６～９によるｈの選択された値に対するＣ（ｈ，ｔ）・Ψ（ＳＬＧ）のグラフによる、厚さｔ（単位ｍｍ）の関数としてのガラス板の表面圧縮のＭＰａ値の新しく得られた性能空間を示しており、Ψ（ＳＬＧ）は、表ＩＩＩ中のＳＬＧのΨ値に相当する。ＧＣで示される線は、０．０２ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（または８４０Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）～０．０３ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃または１２５０Ｗ／ｍ^{2}Ｋの気体対流強化によって実現可能なＳＬＧ板の厚さに対する最大応力の推定範囲を示しており、これらの熱伝達係数のレベルは、$10^{8\cdot2}$ポアズ（$10^{7\cdot2}$Ｐａ・ｓ）の加熱ガラス粘度、または対流気体プロセスの能力よりも高い温度の約７０４℃においてそのプロセスで使用できることを仮定している。

【００６７】

気体対流強化プロセスに基づく最大報告板ＣＳ値の例は、凡例で気体と表示される三角形の印によって示されている。値６０１は、の装置の公表される製品性能能力を示しており、一方、値６０２は、あるガラス加工会議における口頭による報告に基づいている。ＬＣで示される線は、０．０６２５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（または約２６００Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）の熱伝達率ｈによって得られ、$10^{8\cdot2}$ポアズ（$10^{7\cdot2}$Ｐａ・ｓ）の初期加熱ガラス粘度または約７０４℃における処理も仮定した、液体接触強化によって実現可能と判

断されるＳＬＧ板の厚さに対する最大応力の曲線を示している。液体接触強化プロセスに基づく最大報告板ＣＳ値の例は、凡例で液体と表示される円の印によって示されている。厚さ２ｍｍにおける２つの値のより大きい方は、ホウケイ酸ガラス板の強化の報告に基づいており、実現された応力は、スケール変更で直接比較するために（Ψ_{SLG}）／（$\Psi_{borosilicate}$）によって図のスケールを変更している。

【００６８】

７０４で示される線は、０．２０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（または約８３７０Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）の熱伝達率および急冷直前の７０４℃の初期温度において本開示の方法および装置の１つ以上の実施形態によって実現可能な応力を示している。このように実現可能なガラス板上の応力レベルは、液体強化が最先端の気体対流強化に対して示しているものとほぼ同じ範囲の改善を液体強化強度レベルに対して示している。７０４の境界線は上限ではないが、さらに高い温度において（ガラスのより低い粘度において）小さい間隙の気体軸受の熱強化で実現可能な形状および平坦性の良好な制御のために、実施形態ではこれより高い値を実現可能であることが示されている。７３０で示される線は、ガラスの軟化点に非常に近いまたはそれより高い７３０℃のＳＬＧ板の開始温度において、０．２０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（または約８３７０Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）の熱伝達率によって実現されるさらなる強化性能の一部を示している。特に、狭い気体軸受における板の平坦性および形状の良好な取り扱いおよび制御によって可能となる高い熱伝達率と高い温度の使用との組合せによって、圧縮応力、したがってガラス板強度の顕著な改善がこのように実現され、厚さ２ｍｍ以下において改善が特に顕著となる。

【００６９】

図１０は、上記説明の図９の線を２ｍｍ以下において示しているが、本開示の１つ以上の実施形態によって製造された強化ガラス板の選択された例でプロットした厚さの関数としての圧縮応力が含まれ、本開示によって可能となった熱強化レベルおよび厚さの最良の組合せを示している。

【００７０】

別の一実施形態では、本明細書に開示される熱強化ガラス板は、高い熱応力と、低い形成時表面粗さとの両方を有する。本明細書に開示のプロセスおよび方法は、形成時の表面の表面粗さを増カッセルことなくガラス板を熱強化することができる。たとえば、新しいフロートガラスの空気側表面、および新しいフュージョン形成されたガラスの表面について、処理の前後に原子間力顕微鏡法（ＡＦＭ）によって特性決定を行った。R_a表面粗さは、新しい１．１ｍｍのソーダ石灰フロートガラスの場合で１ｎｍ未満（０．６～０．７ｎｍ）であり、本発明の方法による熱強化によって増加しなかった。同様に、フュージョン形成されたガラスの１．１ｍｍの板の場合、０．３ｎｍ未満（０．２～０．３ｎｍ）の表面粗さが本開示による熱強化によって維持された。したがって、熱強化ガラス板は、少なくとも第１の表面上の表面粗さが、少なくとも１０×１０μｍの領域にわたって、０．２～１．５ｎｍの範囲内のR_a粗さ、０．２～０．７ｎｍ、０．２～０．４ｎｍ、またはさらにはたとえば０．２～０．３ｎｍの範囲内である。表面粗さは、代表的な実施形態では１０×１０μｍ、またはある実施形態では１５×１５μｍの領域にわたって測定することができる。

【００７１】

ある実施形態では、ガラス板は、ガラス板の熱強化の前にガラス上に配置される１つ以上のコーティングを有する。本明細書に記載の方法は、１つ以上のコーティングを有する強化ガラス板の製造に使用することができ、このコーティングは、熱強化前にガラス上に配置され、プロセスによる影響を受けない。本開示のガラス板上で有利に保持される特定のコーティングとしては、低Ｅコーティング、反射コーティング、反射防止コーティング、耐指紋コーティング、カットオフフィルタ、熱分解コーティングなどが上げられる。

【００７２】

別の一実施形態では、本明細書に記載の熱強化ガラス板は高い平坦性を有する。制御された気体軸受が、好ましくは移送および加熱に使用され、ある実施形態では、ガラス板の

平坦性の制御および／または改善を促進し、それによって特に薄いおよび／または高度に強化された板の場合に従来得られたよりも高い平坦性を得るために使用することができる。たとえば、少なくとも０．６ｍｍの板は、改善された強化後平坦性を有するように強化することができる。本発明が実施された熱強化ガラス板の平坦性は、その第１または第２の表面の一方に沿った任意の５０ｍｍの長さに沿って１００μｍ以下の振れの最大差（ｔｏｔａｌ　ｉｎｄｉｃａｔｏｒ　ｒｕｎ－ｏｕｔ）（ＴＩＲ）、第１または第２の表面の一方の上の長さ５０ｍｍ以内で３００μｍＴＩＲ以下、第１または第２の表面の一方の上の長さ５０ｍｍ以内で２００μｍＴＩＲ以下、１００μｍＴＩＲ以下、または７０μｍＴＩＲ以下を含むことができる。代表的な実施形態では、平坦性は、ガラス板の任意の５０ｍｍ以下のプロファイルに沿って測定される。考慮される実施形態では、本明細書に開示される厚さを有する板は、第１または第２の表面の一方の上の長さ２０ｍｍ以内で平坦性が２００μｍＴＩＲ以下であり、たとえば平坦性は１００μｍＴＩＲ以下、平坦性は７０μｍＴＩＲ以下、平坦性は５０μｍＴＩＲ以下である。

【００７３】

本発明の方法および装置の実施形態は、０．１ｍｍ～５．７または６．０ｍｍの範囲、たとえば端点値に加えて、０．２ｍｍ、０．２８ｍｍ、０．４ｍｍ、０．５ｍｍ、０．５５ｍｍ、０．７ｍｍ、１ｍｍ、１．１ｍｍ、１．５ｍｍ、１．８ｍｍ、２ｍｍ、および３．２ｍｍの厚さを有するガラス板に使用されている。考慮される実施形態は、０．１～２０ｍｍ、０．１～１６ｍｍ、０．１～１２ｍｍ、０．１～８ｍｍ、０．１～６ｍｍ、０．１～４ｍｍ、０．１～３ｍｍ、０．１～２ｍｍ、０．１～２ｍｍ未満、０．１～１．５ｍｍ、０．１～１ｍｍ、０．１～０．７ｍｍ、０．１～０．５ｍｍ、および０．１～０．３ｍｍの範囲内の厚さを有する熱強化ガラス板を含む。

【００７４】

ある実施形態では、熱強化ガラス板は、高アスペクト比を有し、すなわち長さおよび幅の厚さに対する比が大きい。使用されるプロセスは高圧および多量の空気に依拠していないので、気体軸受の使用によってプロセス中に平坦性を維持することができ、高アスペクト比のガラス板（すなわち、長さの厚さに対する比、または幅の厚さに対する比が大きいガラス板）を、所望のまたは必要な形状を維持しながら熱強化することができる。特に、おおよそ少なくとも１０：１、少なくとも２０：１、および１０００：１以上の長さ対厚さおよび／または幅対厚さの比（「アスペクト比」）を有する板を強化することができる。考慮される実施形態では、少なくとも２００：１、少なくとも５００：１、少なくとも１０００：１、少なくとも２０００：１、少なくとも４０００：１のアスペクト比を有する板を加工することができる。

【００７５】

別の一態様は、熱強化された低熱膨張係数（ＣＴＥ）のガラス板を含む。前述したように、熱強化の効果は、ガラス板が構成されるガラスのＣＴＥに大きく依存する。しかし、低ＣＴＥガラスの熱強化によって、低アルカリ含有量のために、高い耐薬品性、または電子デバイスとのより良好な適合性などの有利な性質を有する強化ガラス組成物を得ることができる。６５、６０、５５、５０、４５、４０、およびさらには$35\times10^{-6}℃^{-1}$以下のＣＴＥを有するがガラス板は、４ｍｍ未満、３．５ｍｍ未満、３ｍｍ未満、およびさらには２ｍｍ以下の厚さで安全ガラスのような破壊パターン（「ダイシング」）が可能となる。$40\times10^{-6}℃^{-1}$以下のＣＴＥ値を有するガラスは、本明細書に記載の方法を用いて強化することができる。このようなガラスは、同じ厚さにおいて従来の商業的（気体対流）プロセスで強化されたＳＬＧ板と同様の表面圧縮を有することができる。ある実施形態では、低ＣＴＥガラスの圧縮応力は、１ｃｍ以下、５ｍｍ以下、３ｍｍ以下、２ｍｍ以下、１．５ｍｍ以下、１ｍｍ以下、０．７５ｍｍ以下、０．５ｍｍ以下、０．３ｍｍ以下、０．２ｍｍ以下、または０．１ｍｍ以下の厚さを有するガラス板の場合で、少なくとも５０ＭＰａ、少なくとも１００ＭＰａ、少なくとも１２５ＭＰａ、少なくとも１５０ＭＰａ、少なくとも２００ＭＰａ、少なくとも２５０ＭＰａ、少なくとも３００ＭＰａ、または少なくとも４００ＭＰａで構成されうる。

【００７６】
本開示により形成されたガラス板は、多数の用途を有し、たとえば電子デバイス、ディスプレイ中、自動車用ガラス製側窓中に使用されるガラス－中間層－ガラス積層体などの積層体中の用途を有する。より強くより薄い積層体を製造することができ、その結果、重量および費用を低下させ、燃料効率を増加させることができる。望ましくは、熱強化された薄い板は、冷間曲げ、および形成されたより厚いガラスへの積層が可能であり、薄い板の加熱成形を必要としない容易で信頼性の高い製造方法を得ることができる。
【００７７】
プロセス
一態様では、ガラス板を強化するための全体のプロセスは、ある転移温度を有するガラス板の少なくとも一部を、第１の表面上で、少なくとも部分的には、第１の表面と第１のヒートシンクとの間の間隙に供給される気体の流れまたは圧力によって支持または案内するステップであって、板の温度がガラスの転移温度よりも高いステップと、次に、対流よりも熱伝導によりガラス板を冷却するステップとを含む。伝導は、隣接する分子間の相互作用によってエネルギーが伝えられる熱伝達過程であり、一方、対流は、加熱された流体が熱源から離れていき、より低温の流体と交換される場合などの、流体（たとえば、空気、ヘリウムなど）の運動によってエネルギーが伝えられる熱伝達過程である。少なくとも一部の実施形態では、用語「ガラス」が使用される場合に、用語「ガラスセラミック」または「セラミック」を代わりに使用したり、および／または同様に適用したりすることができる。
【００７８】
ある実施形態では、ガラス板を強化するための全体のプロセスは、高温ゾーン中でガラス板を加熱するステップと、次にガラス板を冷却するステップとを含む。ガラス板は、ガラスの粘度がη＝10^{12}～$10^{13.3}$ポアズ（10^{11}～$10^{12.3}$Ｐａ・ｓ）の値を有する場合に生じる転移温度を有する。ガラスは、ガラス板を転移温度よりも高温にするため十分に加熱される。場合により、ガラスは、移行ゾーンを介して高温ゾーンから低温ゾーンまで移行させることができる。ガラス板の表面はヒートシンクに隣接して配置され、いずれかのガラス表面の上のヒートシンクは、ガラス表面とそのヒートシンクとの間に間隙を有する。ヒートシンク中の複数の開口部から間隙中に気体が供給される。ガラス板は、対流よりも熱伝導によって冷却され、熱的に誘発される表面圧縮および熱的に誘発される中央張力が板に固定または形成されるのに十分冷却される。
【００７９】
記載の本発明の方法を可能にする装置は、転移温度よりも高温にガラス板を加熱するための加熱ゾーンと、加熱したガラス板を冷却して強化ガラス板を得るための冷却ゾーンとを含むことができる。この装置は、加熱ゾーンと冷却ゾーンとの間に任意選択の移行ゾーンを含むことができる。冷却ゾーンは、間隙の互いに反対側に配置される１組の気体軸受を含むことができ、これらは、加熱されたガラス板を対流よりも伝導によって冷却するために間隙に気体を供給するように構成することができる。ある実施形態では、気体軸受は、間隙に気体を供給するための複数の開口部と、加熱されたガラス板から対流よりも伝導によって熱を奪うことが可能なヒートシンクとなる気体軸受表面とを含むことができる。
【００８０】
本開示による方法の一実施形態を図１１のフローチャートに示している。本発明の方法またはプロセス１００は、少なくとも部分的には気体によって（一部の対流気体強化プロセスのように気体の流れおよび圧力によって）ガラス板を支持するステップ１６０を含む。板をそのガラス転移温度よりも高温まで加熱することができ、同時に、１）ヒートシンクへの気体により対流よりも伝導によって、および２）周囲温度において、熱的に誘発される表面圧縮応力および熱的に誘発される中央張力応力を板に形成または固定するのに十分に、板を冷却することができる。
【００８１】
図１２のフローチャート中の方法１００’として示される図１１の実施形態の一変形形

態によると、この方法は、板がガラスの転移温度よりも高温になるようにガラス板を十分加熱するステップ１１０を含むことができる。ステップ１３０Ａにおいて、この方法は、第１の間隙を越えて第１のヒートシンク表面に面するように第１の板表面を配置するステップをさらに含み、ステップ１３０Ｂにおいて、第２の間隙、第２のヒートシンク表面を越えて第２のヒートシンク表面に面するように第２の板表面を配置するステップをさらに含む。ヒートシンク表面は、開口部を含むことができ、および／または多孔質であってよい。方法１００は、ステップ１６０において、それぞれのヒートシンク表面への気体により対流よりも伝導によって、ガラスを強化するのに十分に、すなわち熱的に誘発される表面圧縮応力および熱的に誘発される中央張力応力を板に形成または固定するのに十分に板を冷却するステップをさらに含む。板を冷却するステップ１６０は、開口部または多孔質ヒートシンクを介して第１および第２の間隙に気体を供給するステップを含むこともできる。ある実施形態では、気体は、ヒートシンクの開口部のみを介して、または多孔質ヒートシンクの細孔のみ、もしくは細孔と開口部とを介して供給される。

【００８２】

本開示のこれらおよび他の関連する方法は、対流の代わりに冷却の主要方式として伝導を用いることによって、気体対流冷却の現在主流の技術に逆らっている。固体と気体（ガラスと空気）の熱交換の代わりに、本明細書に記載の方法は、熱強化を行う冷却の開始および完了の両方で、少量の気体によって小さな間隙を越えて媒介される固体と固体（ガラスとヒートシンク）の熱交換を含む。媒介する気体が小さな間隙中に流入し、加温し、離れるので、ある程度対流が存在するが、気体を介して間隙を越えて直接ヒートシンクへの伝導が主要な冷却方式である。前述の固体および液体の冷却方法とは異なり、伝導は気体障壁層を介して媒介される。板を液体または固体の物質を接触させずに、中間導体としての気体を使用すると、気体以外の接触が回避されることで、処理される物品の表面品質を維持することができる。これによって、液体および固体の冷却において見られる望ましくないゆがみ、強化の空間的ばらつき、およびガラス表面の汚染の発生を回避することができる。本明細書に開示される実施形態は、熱強化の技術分野で従来利用できなかった非常に速い冷却速度を可能にする独自の非接触の伝導急冷を提供する。

【００８３】

最終的には固体間となる伝導によって、対流よりも速い熱流が可能となるので、より薄いガラス板に必要な冷却速度の増加が、気体の速度および体積に縛られることがない。その代わり、気体の流れおよび間隙サイズは、本開示の方法および装置の種々の実施形態および変形形態により、たとえば、間隙中の気体クッションの硬さのため、支持、または板の平坦化および／または別の成形のため、熱伝導の最適化、または単に熱強化中の板平坦性および／または形状の維持、ならびに高い冷却速度での板の取り扱いのバランスの取りやすさなどの別の目的に最適化することができる。たとえば、ヘリウムは、低流量で経済的に実施可能な代替物となり、空気の約５倍の熱伝導率が得られる。

【００８４】

冷却中のガラス板の上の気流の体積が減少することで、他の場合には薄い板の強化に必要な高速の多量の気流によって高温の薄い板が変形する潜在的危険性が減少し、歪みなしまたは最小限の歪みで、より柔らかくより高温の板を扱うことができ、実現可能な強化の程度がさらに改善される。多い空気流量が不要となることで、急冷室中に移動させる場合（速い気流に対して移動する）、および板の加熱に使用される炉の最も近い部分に高速のより低温の気流が流入して冷却が起こるのを回避するときに場合により見られる問題も軽減される。

【００８５】

高空気流量を回避することの別の利点は、低速気体流および固体－気体－固体伝導を使用することで実現される電力およびエネルギーの節約にある。図１３Ａおよび１３Ｂの点ＡおよびＢは、比較的高流量での圧縮空気供給によって、ガラス１平方メートル当たりのピーク出力使用の上限の評価を示している。圧縮空気の実際の下限のピーク出力の使用は、示される値の１／１６の小ささとなりうる。点ＡおよびＢは、ヒートシンクの能動冷却

を含まないが、ある実施形態では、特に機械が連続、準連続、または高頻度運転である場合には能動冷却を含むことができる。

【００８６】

再び図１３Ａおよび１３Ｂを参照すると、ガラス板温度の３００℃の低下に相当する熱負荷が、点Ａ’の場合２．１秒の時間制限内、および点Ｂ’の場合１秒の時間制限内で熱と機械（または電気）との効率比が７．５対１となる能動冷却システムによって実現されると仮定して、ヒートシンク表面の能動冷却が考慮される場合に、点ＡおよびＢの運転の控えめに推定したピーク出力レベルを点Ａ’およびＢ’が示している（これらの点は本明細書に記載の実験装置で実際に強化されるガラス板にほぼ対応する）。図１３Ａおよび１３Ｂの領域Ｒ中の４つの点は、本開示の方法および装置によって得ることができる顕著な改善をある程度示しているが、出力の要求が記載の量であるため、これらの図では十分な利点は低く評価される可能性があることに留意されたい。たとえば、曲線Ｎによって示されるような送風機のピーク出力は、効率的なオンおよびオフが行われず、典型的には、空気が必要でない場合に依然として（しかしより低い負荷で）回転する大型ファンを遮断するためのゲート付き通風路が必要となる。本開示によって容易に実現可能な例として点Ａ’およびＢ’に示される冷却水プラントなどの流体冷却システムのピーク出力要求は、一般にはるかにより効率的に対応させることができ、完全連続運転が使用される場合のみ、有効なピーク出力がはるかに小さくなりＡ’およびＢ’に近づく。したがって、全エネルギー要求の差は、図中に示されるピーク出力要求の差よりも大きくなる傾向にある。ある実施形態では、本明細書に記載の方法は、２ｍｍ以下の厚さのガラス板の熱強化のために１２０ＫＷ／ｍ^{2}未満、１００ＫＷ／ｍ^{2}未満、８０ＫＷ／ｍ^{2}未満のピーク出力を有する。

【００８７】

本明細書に記載の装置を用いる方法に含まれる条件における伝導量は以下のように決定することができる。最初に、本開示にように伝導による熱強化の場合、気体の熱伝導率を、熱勾配に沿った伝導の方向で評価する必要がある。冷却される（されている）板の表面またはその付近の高温の空気は、ヒートシンクの表面またはその付近の室温またはその付近の空気（（乾燥）室温空気（２５℃）の公称熱伝導率は約０．０２６Ｗ／ｍ・Ｋである）などのより低温の空気よりもはるかに高い熱伝導率を有する。冷却開始に、間隙全体にわたって空気が、向かい合う２つの表面の平均温度となることを仮定する近似が使用される。ガラス板はたとえば６７０℃の温度であってよく、一方、ヒートシンク表面はたとえば３０℃で開始することができる。したがって、間隙中の空気の平均温度は３５０℃であり、そのときの乾燥空気は約０．０４７Ｗ／ｍ・Ｋの熱伝導率を有し、室温におけるその熱伝導率よりも７５％を超えて高く、後述のような実用的サイズの間隙を介して多量の熱エネルギーが伝導するのに十分な高さである。

【００８８】

説明のため、間隙が面積Ａ$_g$（間隙距離ｇの方向に対して垂直となるあらゆる方向）を有する距離ｇの間隙を介した熱伝達率の伝導成分のＱ$_{cond}$は：

【００８９】

【数１３】

$$Q_{cond} = \frac{A_g k(T_S - T_{HS})}{g} \qquad (13)$$

【００９０】

で表すことができ、式中、ｋは熱伝導の方向（またはその反対）で評価される間隙中の材料（気体）の熱伝導率であり、Ｔ$_S$はガラス表面の温度であり、Ｔ$_{HS}$はヒートシンク表面（または別の実施形態の場合は熱源表面）の温度である。前述したように、気体の熱伝導率は温度とともに変化するので、ｋを厳密に評価するためには、伝導熱流の方向に沿った（または逆らった）気体の熱伝導率の積分が必要となるが、良好な近似のために、ｋは

、２つの表面の温度T_SおよびT_{HS}の平均における間隙中の気体のｋの値とすることができる。

【００９１】

熱伝達係数の単位（１平方メートル当たり１Ｋ当たりの熱流量の単位）で式（１３）を再構成すると：

【００９２】

【数１４】

$$\frac{Q_{cond}}{A_g(T_S - T_{HS})} = \frac{k}{g} \qquad (14)$$

【００９３】

が得られ、このため間隙を越える伝導の有効熱伝達係数は、間隙中の媒体（この場合は空気）の熱伝導率（Ｗ／ｍＫの単位）を、間隙の長さ（単位メートル）で割ったものであり、１平方メートル当たり温度差１度当たりのワット数の値が得られる。

【００９４】

表ＩＶは、それぞれ１０μｍ刻みで１０μｍ～２００μｍの、空気およびヘリウムが満たされた間隙の場合の伝導単独による熱伝達係数（ｋ／ｇ）を示している。図１４（従来技術）は、特定の仮定の条件下でｍｍの単位の厚さの関数としてのガラス板の完全強化に必要な熱伝達係数を示す約３５年前からの業界基準の曲線を示している（２ｍｍにおいて基準線を加えている）。表ＩＶを図１４と比較すると分かるように、空気が満たされた約４０μｍの間隙によって、伝導による厚さ２ｍｍのガラスの完全強化が可能となる。ヘリウム（または同様の熱伝導率を有する水素）を気体として使用すると、約２００μｍの間隙を用いて厚さ２ｍｍのガラスの完全強化させることができる。

【００９５】

【表４】

表 IV

空気			ヘリウム		
伝導率 (W/m/K)		0.047	伝導率 (W/m/K)		0.253
間隙(m)	熱伝達係数		間隙(m)	熱伝達係数	
	$W/m^2/K$	$cal/s/cm^2$		$W/m^2/K$	$cal/s/cm^2$
0.00001	4700	0.11226	0.00001	25300	0.604291
0.00002	2350	0.05613	0.00002	12650	0.302145
0.00003	1566.67	0.03742	0.00003	8433.33	0.20143
0.00004	1175	0.028065	0.00004	6325	0.151073
0.00005	940	0.022452	0.00005	5060	0.120858
0.00006	783.333	0.01871	0.00006	4216.67	0.100715
0.00007	671.429	0.016037	0.00007	3614.29	0.086327
0.00008	587.5	0.014032	0.00008	3162.5	0.075536
0.00009	522.222	0.012473	0.00009	2811.11	0.067143
0.0001	470	0.011226	0.0001	2530	0.060429
0.00011	427.273	0.010205	0.00011	2300	0.054936
0.00012	391.667	0.009355	0.00012	2108.33	0.050358
0.00013	361.538	0.008635	0.00013	1946.15	0.046484
0.00014	335.714	0.008019	0.00014	1807.14	0.043164
0.00015	313.333	0.007484	0.00015	1686.67	0.040286
0.00016	293.75	0.007016	0.00016	1581.25	0.037768
0.00017	276.471	0.006604	0.00017	1488.24	0.035547
0.00018	261.111	0.006237	0.00018	1405.56	0.033572
0.00019	247.368	0.005908	0.00019	1331.58	0.031805
0.0002	235	0.005613	0.0002	1265	0.030215

【００９６】

ヘリウムまたは水素を気体として使用すると、同じ熱伝達係数で約５倍の間隙サイズが可能となる。言い換えると、間隙中の気体としてヘリウムまたは水素を使用すると、同じ間隙サイズで急冷に使用される熱伝達係数が約５倍に増加する。

【００９７】

対流よりも伝導による気体を介した冷却に加えて、別の一実施形態は、対流よりも伝導による気体を介した加熱（または加熱および／または冷却）を含む。伝導および対流の相対的寄与に関して、または冷却のいずれの場合でも、間隙（または複数の間隙）を越える熱伝達率の対流のＱ$_{conv}$成分は：

【００９８】

【数１５】

$$Q_{conv} = e\dot{m}C_p\left(\frac{T_S + T_{HS}}{2} - T_i\right) \qquad (15)$$

【００９９】

で表すことができ、式中、

$\dot{m}$

【０１００】

は気体の質量流量であり、Ｃｐは気体の比熱容量であり、Ｔ$_{i}$は間隙中に流入する時の気体の入口温度であり、ｅは、間隙中を流れる気体と、板表面およびヒートシンク／熱源の表面（間隙の「壁」）との間の熱交換の効率である。ｅの値は、０（表面と気体の熱交換がゼロであることを示す）から１（気体が表面温度に十分到達することを示す）まで変動する。ｅの値は、たとえばｅ－ＮＴＵ方法を用いて熱伝達の当業者によって計算することができる。

【０１０１】

しかし典型的には、板の表面とヒートシンク／熱源の表面との間の間隙が小さい場合、ｅの値は１に非常に近づき、これは、気体が、間隙を離れる前に平均で、いずれかの側の２つの表面の温度の平均にほぼ完全に等しくなるように加熱されることを意味する。ｅ＝１（対流の熱伝達率をわずかに過大評価している）であり、気体がヒートシンク／熱源の表面を通って間隙に供給されると仮定すると、間隙中の気体の初期温度がヒートシンク／熱源の表面の温度と同じである（Ｔ$_{i}$＝Ｔ$_{HS}$）と仮定することができる。次に、対流による熱伝達率は：

【０１０２】

【数１６】

$$Q_{conv} = \dot{m}C_p\left(\frac{T_S - T_{HS}}{2}\right) \qquad (16)$$

【０１０３】

と簡略化することができる。

【０１０４】

したがって、間隙の領域内で主として伝導によって板を冷却（または、加熱が強すぎない場合、熱源からの放射線量を仮定して、加熱）するためには：

【０１０５】

【数１７】

$$Q_{cond} > Q_{conv} \qquad (17)$$

【０１０６】

が必要である。（１７）を式（１３）および（１６）と組み合わせると以下の条件：

【０１０７】

【数１８】

$$\frac{k}{g} > \frac{\dot{m}C_p}{2A_g} \quad (18)$$

【０１０８】

が得られ、これが維持されると、対象の間隙の領域中の板が、主として伝導によって冷却（または加熱）されることが実質的に保証される。したがって、気体の質量流量

$\dot{m}$

【０１０９】

は、２ｋＡ$_{g}$／ｇＣ$_{p}$未満、すなわち間隙面積１平方メートル当たり２ｋ／ｇＣ$_{p}$未満となるべきである。一実施形態では、

$\dot{m} < \mathrm{B}\cdot(2kA_g/gC_p)$

【０１１０】

であり、式中、Ｂは対流冷却対伝導冷却の比である。本明細書において使用される場合、Ｂは１未満で０を超える正の定数である。この対流冷却対伝導冷却の比は、１未満から１×１０$^{-8}$までの任意の値であってよい。ある実施形態では、Ｂは、０．９未満、０．８未満、０．７未満、０．６未満、０．５未満、０．４未満、０．１未満、５×１０$^{-2}$未満、１×１０$^{-2}$未満、５×１０$^{-3}$未満、１×１０$^{-3}$未満、５×１０$^{-4}$未満、１×１０$^{-4}$未満、５×１０$^{-5}$未満、１×１０$^{-5}$未満、５×１０$^{-6}$未満、１×１０$^{-6}$未満、５×１０$^{-7}$未満、１×１０$^{-7}$未満、５×１０$^{-8}$未満、または１×１０$^{-8}$未満である。ある実施形態では、

$\dot{m}$

【０１１１】

は最小限となり、ヒートシンク表面に対して板の位置を維持し制御するために気流の使用の必要性と一致する。別の実施形態では、

$\dot{m}$

【０１１２】

は、板に対する熱交換表面自体の位置を制御するために選択すべきである。

【０１１３】

対流よりも伝導によって冷却されるガラス板の概略断面図を図１５に示す。高温のガラス板２００は、その第１および第２の（主）表面２００ａ、２００ｂを有し、そのそれぞれが、それぞれの間隙２０４ａおよび２０４ｂを越えてそれぞれの第１および第２のヒートシンク２０１ａ、２０２ａのそれぞれの第１および第２の表面２０１ｂ、２０２ｂに面している。気体２３０は、矢印で示されるように第１および第２の表面２０１ｂ、２０２ｂから供給されて、間隙２０４ａ、２０４ｂに供給され、ヒートシンク２０１ａ、２０２ａの間の中央または他の配置でのガラス板の維持を促進する。空気または別の気体は、矢印２４０で示されるように、ヒートシンク２０１ａ、２０２ａの端部を通過して離れることができる。上記段落および前述の別の議論により間隙２０４ａ、２０４ｂの大きさ、ならびに気体２３０の気体および流量を選択することによって、ガラス板２００は対流よりも伝導によってより冷却される。

【０１１４】

ある実施形態では、間隙２０４ａ、２０４ｂは、加熱されたガラス板が対流よりも伝導によって冷却されるように、十分な厚さまたは間隙間距離を有するように構成される。ある実施形態では、間隙２０４ａおよび２０４ｂは、約１００μｍ以上（たとえば、約１００μｍ～約２００μｍ、約１００μｍ～約１９０μｍ、約１００μｍ～約１８０μｍ、約１００μｍ～約１７０μｍ、約１００μｍ～約１６０μｍ、約１００μｍ～約１５０μｍ、約１１０μｍ～約２００μｍ、約１２０μｍ～約２００μｍ、約１３０μｍ～約２００μｍ、または約１４０μｍ～約２００μｍの範囲内）の厚さを有することができる。別の実施形態では、間隙２０４ａおよび２０４ｂは約１００μｍ以下（たとえば、約１０μｍ

～約１００μｍ、約２０μｍ～約１００μｍ、約３０μｍ～約１００μｍ、約４０μｍ～約１００μｍ、約１０μｍ～約９０μｍ、約１０μｍ～約８０μｍ、約１０μｍ～約７０μｍ、約１０μｍ～約６０μｍ，または約１０μｍ～約５０μｍの範囲内）の厚さを有することができる。

【０１１５】

ヒートシンク２０１ａ、２０２ａは、中実または多孔質の構成を含むことができる。適切な材料としては、アルミニウム、青銅、炭素または黒鉛、ステンレス鋼などが上げられるが、これらに限定されるものではない。ヒートシンクの寸法は、ガラス板の大きさを扱うのに十分であり、ヒートシンク温度を大きく変化させることなく効率的および効果的に熱を伝達するように設計することができる。ヒートシンク２０１ａおよび／または２０２ａが多孔質である場合、これらは気体が流れるさらなる開口部または孔をさらに含むことができ、または流動性を得るために多孔質構造を使用することができるし、またはその両方であってよい。ある実施形態では、ヒートシンクは、ヒートシンクの温度制御用に流体を流すための通路をさらに含み、図１７Ａ～１７Ｃおよび以下により詳細に記載される。

【０１１６】

従来技術の高気体流量をなくすことで、間隙中に気体を供給するためのヒートシンク面の非常に小さな開口部または細孔の使用が可能となりうる。ある実施形態では、開口部は、最小方向（たとえば、直径）で測定した場合に、２ｍｍ未満、１．５ｍｍ未満、１ｍｍ未満、０．５ｍｍ未満、０．２５ｍｍ未満、または２００μｍ以下、１５０μｍ以下、１００μｍ以下、５０μｍ以下、３０μｍ以下、２０μｍ以下、もしくは１０μｍであってよい。ある実施形態では、開口部は約１０μｍ～約１ｍｍ、約２０μｍ～約１ｍｍ、または約５０μｍ～約１ｍｍである。開口部の間隔は、開口部の端部間で測定して、約１０μｍ～約３ｍｍ、約２０μｍ～約２ｍｍ、または約５０μｍ～約１ｍｍであってよい。小さな開口部または細孔は、個別の流れ絞りとして機能して、高性能気体軸受型の動力学、たとえば板を配置し間隙サイズを制御するための高レベルの剛性および板の支持の一貫性を得ることができ、それによって、応力複屈折を回避または軽減するための熱強化効果の高い均一性を得ることができ。さらに、非常に小さい細孔または開口部を使用できるので、間隙を越えて板表面に面するヒートシンク表面における固体物質の相対量を最大化することができ、それによって伝導熱流を増加させることができる。一実施形態によると、気体を間隙に供給し、ヒートシンク表面に対して垂直に近い方向となるように開口部を構成するための唯一の経路としてこのような開口部を使用することで、開口部からの流れが、たとえば、さらなるより大きな開口部からの気体の流れ、板に隣接するヒートシンク表面以外の供給源からの気体の流れ、または別の側方流によって損なわれることがなくなる場合があるので、気体軸受型動力学が最適化されうる。

図１６および１７Ａ～１７Ｃは、本開示による装置３００の代表的な一実施形態を示している。図１６は、伝導ヒートシンク中への気流によってガラス板を冷却できる装置３００の概略断面図を示している。この装置は、高温ゾーン３１０と、低温ゾーン３３０と、非接触または実質的に非接触がガラスと軸受との間で生じるようにガラス物品を高温ゾーン３１０から低温ゾーン３３０まで移動させることができる移送用気体軸受３２０とを含む。高温ゾーン３１０は、高温ゾーンレナム３１８からそれぞれ供給される気体軸受３１２を有し、軸受３１２は、軸受３１２を通過する孔に挿入されたカートリッジヒーター３１４を有し、これは、高温ゾーンの気体軸受３１２を所望の開始プロセス温度まで加熱する機能を果たす。ガラス板（高温ゾーン）４００ａは、所望の予備冷却温度にするのに十分な時間、高温ゾーン気体軸受３１２の間で維持される。

【０１１７】

ある実施形態では、高温ゾーン中の板の加熱は、主として薄い気体障壁を介したヒートシンクからの熱の伝導によって行うことができる。高温ゾーンに使用される伝導加熱プロセスは、前述の冷却プロセスと類似しているが逆となりうる、すなわちガラス板中に熱を加えることができる。

【０１１８】

ある実施形態では高温ゾーン気体軸受３１２とガラス板４００ａとの間の間隙３１６は、比較的大きく０．０５インチ（１．２７ｍｍ）～０．１２５インチ（３．１７５ｍｍ）以上であってよいが、その理由は、ガラス板４００ａは比較的ゆっくり加熱することができ、熱放射線高温気体軸受３１２からガラス板４００ａ中への熱放射はこの目的に十分だからである。別の実施形態では、高温ゾーンの間隙の値は、一方の側面で１５０マイクロメートル、または一方の側面で５００マイクロメートルの小ささであってよい。より狭い間隙が有利となる場合があるが、その理由は、それによって軸受が、より良好な「剛性」、すなわちガラスを中央に配置し、それによってガラスが軟化状態にありながらガラスを平坦にする能力を有することができるからである。ある実施形態では、本発明のプロセスは、初期加熱ステップでガラス板を再成形（ガラス板を平坦化）することができる。ある実施形態では、上部および底部の高温ゾーン軸受は、アクチュエータ上に存在することができ、それによって間隙の幅を連続的に変化させることができ、あるいは、間隙が大きいときにガラスを高温ゾーン上に運び、次に間隙を縮めることで、依然として柔らかいガラスを平坦化することができる。

【０１１９】

プロセス温度は、ガラス組成、ガラス厚さ、ガラスの性質（ＣＴＥなど）、および所望の強化レベルなどの多数の要因に依存する。一般に、開始プロセス温度は、ガラス転移温度とＬｉｔｔｌｅｔｏｎ軟化点との間の任意の値であってよく、またはある実施形態ではさらに大きな値であってよい。ＳＬＧの場合、たとえば、プロセス温度の範囲は、約６４０～約７３０℃または約６９０～約７３０℃であってよい。ある実施形態では、プロセス温度範囲は、約６２０～約８００℃、約６４０～約７７０℃、約６６０～約７５０℃、約６８０～約７５０℃、約６９０～約７４０℃、または約６９０～約７３０℃であってよい。

【０１２０】

ガラス板４００ａは、その所望の出発プロセス温度まで加熱され、次にあらゆる適切な手段を用いて高温ゾーン３１０から低温ゾーン３３０まで移動させることができる。ある実施形態では、ガラス板４００ａの高温ゾーン３１０から低温ゾーン３３０への移動は、たとえば（１）ガラス板に対する重力作用によってガラス板が低温ゾーンまで移動するように組立体全体を傾斜させること、（２）高温ゾーン３１０の一番左の出口からの気流を遮断し（この実施形態では側面が封鎖される）、それによってすべての気体軸受からすべての気体が低温ゾーンの一番左の出口から押し出されることで、ガラス板４００ａ上に流体力を発生させて低温ゾーン３３０まで移動させること、または（３）（１）および（２）の組合せによって行うことができる。移送用軸受プレナム３２８によって移送用気体軸受３２０に気体を供給することができる。移送用気体軸受３２０の表面に隠れた固体材料の厚さは、薄くてよく、および／または低熱質量であってよく、および／または低熱伝導率であってよく、高温ゾーン３１０から、別個のプレナム３３８によって供給される低温ゾーン３３０への熱伝導を減少させることができる。移送用気体軸受３２０は、２つのゾーン３１０および３３０の間の断熱層または熱移動層として機能することができ、高温ゾーンのより大きな間隙３１６から低温ゾーン３３０の小さな間隙３３６への移行部分として機能することができる。ガラス板（低温ゾーン）４００ｂが低温ゾーン３３０中およびチャネル３３０ａ中に移動すると、図示されていない機械的停止装置によって右側出口から出る前に停止される。ガラス板４００ｂの中央がガラス転移を通過する（この場合、たとえば、厚さ１ｍｍのＳＬＧで約４９０℃未満であり、この例では表面において約３２５℃に相当する）まで十分冷却された後は、停止ゲートを外すことができ、ガラス板４００ｂを装置３００から取り出すことができる。希望するなら、ガラス板４００ｂは、取り出す前にある程度室温付近まで、低温ゾーン３３０に残すことができる。

【０１２１】

図１６に示される実施形態では、低温ゾーン３３０は、開口部３３０ｂからガラス板４００ｂ（高温ゾーン中でガラス板のガラス転移温度より高温に加熱される）を受け取り、ガラス板４００ｂを移送し、ガラス板４００ｂを低温ゾーンで冷却するためのチャネル３

３０ａを含む。１つ以上の実施形態では、チャネル３３０ａは、気体軸受、ローラーホイール、コンベアベルト、またはガラス板を低温ゾーンに物理的に通すためのその他の手段を含むことができる移送システムを含む。冷却が実質的に固体間で起こるため、対流が優位な冷却では存在しない問題に対処する必要がある。たとえば、大きく薄い板の強化の場合、板は、（１）場合により対流を主とする急冷に典型的に使用される速度よりも高速で、低温ゾーン中に迅速に導入するか、または（２）わずかな間隔を間に有する連続流で次々に複数の板の加熱および冷却を行い、大きな板の前端および後端が同様の熱履歴を有するよう熱平衡に到達させるためヒートシンクが能動冷却される、準連続方式でプロセスを操作するかのいずれかを行うことができる。

【０１２２】

ある実施形態では、低温ゾーン３３０は、チャネル３３０ａに隣接して配置される１つ以上のヒートシンク３３１を含む。２つのヒートシンクが使用される場合、そのようなヒートシンクは、チャネル間隙３３０ａを越えて互いに向かい合うようにチャネル３３０ａの互いに反対側に配置することができる。ある実施形態では、ヒートシンクは、気体軸受３３２の一部を形成する複数の開口部３３１ａを含み、低温ゾーン３３０の低温気体軸受３３２の表面は２つのヒートシンク表面として機能する。ある実施形態では、ヒートシンクおよび／またはその表面はセグメント化されてよい。前述したように、ある実施形態では、ヒートシンクは多孔質であってよい。別の実施形態では、ヒートシンクは多孔質であってよく、開口部は多孔質ヒートシンクの細孔である。複数の開口部３３２ｂ、気体源、およびチャネル間隙３３０ａは流体連通することができる。ある実施形態では、気体が開口部３３１ａ通過して、チャネル間隙３３０ａ中に気体クッションを形成する。ある実施形態の気体クッションは、ガラス板４００ｂのヒートシンク３３１表面への接触を防止する。気体は、対流よりも伝導によってガラス板４００ｂを冷却する気体としても機能する。ある実施形態では、開口部から流された気体はヒートシンクを冷却する。ある実施形態では、開口部から流された気体は、対流よりも伝導によって間隙からヒートシンク中にわたってガラスを冷却し、ヒートシンク３３１も冷却する。ある場合では、ヒートシンク３３１の冷却には別の気体または流体を使用することができる。たとえば、ヒートシンク３３１は、ヒートシンク３３１を冷却するための冷却流体が流される通路３３４を含むことができ、これは図１７Ａに関してより十分に記載される。通路３３４は封鎖することができる。

【０１２３】

２つのヒートシンクが使用される場合（すなわち、第１のヒートシンクおよび第２のヒートシンク）、チャネル間隙３３０ａに気体を供給するために１つ以上の気体源を使用することができる。これらの気体源は、互いに同じ気体または異なる気体を含むことができる。したがって、チャネル間隙３３０ａは、１種類の気体、または異なる気体源もしくは同じ気体源からの気体混合物を含むことができる。代表的な気体としては、空気、窒素、二酸化炭素、ヘリウムまたは他の希ガス、水素、およびそれらの種々の組合せが上げられる。気体は、ガラス板４００ｂの伝導冷却を開始する直前にチャネル３３０ａに入るときの熱伝導率によって記載することができる。ある場合では、気体は、約０．０２Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０２５Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０３Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０３５Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０４Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上約０．０４５Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０５Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０６Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０７Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０８Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．０９Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．１Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、約０．１５Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上、または約０．２Ｗ／（ｍ・Ｋ）以上）の熱伝導率を有することができる。

【０１２４】

記載の本発明の方法は、高い熱伝達率が可能となる。気体として空気を使用すると、３５０、４５０、５５０、６５０、７５０、１０００、および１２００ｋＷ／ｍ^{2}またはそれを超える高さの熱伝達率が伝導のみで可能となる。ヘリウムまたは水素を使用すると、５０００ｋＷ／ｍ^{2}以上の熱伝達率を実現可能である。

【０１２５】
１つ以上の実施形態のヒートシンク３３１は、固定される場合もあるし、チャネル間隙３３０ａの厚さを変更するために移動可能の場合もある。ガラス板４００ｂの厚さは、ヒートシンク３３１の向かい合う表面間の距離として定義されるチャネル間隙３００ａの厚さの約０．４倍～約０．６倍の範囲内となることができる。ある場合では、チャネル間隙は、加熱されたガラス板が対流よりも伝導によって冷却されるのに十分な厚さを有するように構成される。ある実施形態では、ガラス板４００ｂがチャネルを通して運ばれるときに、ガラス板とヒートシンク表面との間の距離（間隙）が、約１００μｍ以上（たとえば、約１００μｍ～約２００μｍ、約１００μｍ～約１９０μｍ、約１００μｍ～約１８０μｍ、約１００μｍ～約１７０μｍ、約１００μｍ～約１６０μｍ、約１００μｍ～約１５０μｍ、約１１０μｍ～約２００μｍ、約１２０μｍ～約２００μｍ、約１３０μｍ～約２００μｍ、または約１４０μｍ～約２００μｍの範囲内）となるような厚さをチャネル間隙が有することができる。ある実施形態では、ガラス板４００ｂがチャネルを通して運ばれるときに、ガラス板とヒートシンク表面との間の距離（１つ以上の間隙３３６）が、約１００μｍ以下（たとえば、約１０μｍ～約１００μｍ、約２０μｍ～約１００μｍ、約３０μｍ～約１００μｍ、約４０μｍ～約１００μｍ、約１０μｍ～約９０μｍ、約１０μｍ～約８０μｍ、約１０μｍ～約７０μｍ、約１０μｍ～約６０μｍ，または約１０μｍ～約５０μｍの厚さ）となるような厚さをチャネル間隙が有することができる。チャネル間隙３３０ａの全体厚さは、ガラス板４００ｂの厚さによって決定されるが、ヒートシンク表面と、ガラス板＋ガラス板の厚さとの間の距離の２倍として一般に特徴付けることができる。ある実施形態では、ガラス板とヒートシンクとの間の距離または間隙３３６は等しくなくてよい。そのような実施形態では、チャネル間隙３３０ａの全体厚さは、ガラス板と各ヒートシンク表面との間の距離、およびガラス板の厚さの合計として特徴付けることができる。

【０１２６】
ある場合では、チャネル間隙の全体厚さは、約２５００μｍ未満（たとえば、約１２０μｍ～約２５００μｍ、約１５０μｍ～約２５００μｍ、約２００μｍ～約２５００μｍ、約３００μｍ～約２５００μｍ、約４００μｍ～約２５００μｍ、約５００μｍ～約２５００μｍ、約６００μｍ～約２５００μｍ、約７００μｍ～約２５００μｍ、約８００μｍ～約２５００μｍ、約９００μｍ～約２５００μｍ、約１０００μｍ～約２５００μｍ、約１２０μｍ～約２２５０μｍ、約１２０μｍ～約２０００μｍ、約１２０μｍ～約１８００μｍ、約１２０μｍ～約１６００μｍ、約１２０μｍ～約１５００μｍ、約１２０μｍ～約１４００μｍ、約１２０μｍ～約１３００μｍ、約１２０μｍ～約１２００μｍ、または約１２０μｍ～約１０００μｍの範囲内）であってよい。ある場合では、チャネル間隙の全体厚さは、約２５００μｍ以上（たとえば、約２５００μｍ～約１０，０００μｍ、約２５００μｍ～約９，０００μｍ、約２５００μｍ～約８，０００μｍ、約２５００μｍ～約７，０００μｍ、約２５００μｍ～約６，０００μｍ、約２５００μｍ～約５，０００μｍ、約２５００μｍ～約４，０００μｍ、約２７５０μｍ～約１０，０００μｍ、約３０００μｍ～約１０，０００μｍ、約３５００μｍ～約１０，０００μｍ、約４０００μｍ～約１０，０００μｍ、約４５００μｍ～約１０，０００μｍ、または約５０００μｍ～約１０，０００μｍの範囲内）であってよい。

【０１２７】
ヒートシンク３３１中の開口部３３１ａは、ヒートシンク表面に対して垂直に配置することができ、またはヒートシンク表面に対して垂直から２０度以下（たとえば、約１５度以下、約１０度以下または約５度以下）の角度で配置することができる。

【０１２８】
ある実施形態では、ヒートシンク（低温軸受３３２）表面に隠れた材料、金属、たとえばステンレス鋼、銅、アルミニウム）、セラミック、炭素など）などの高熱伝達率を有するあらゆる適切な材料であってよい。この材料は、図に示されるように移送用軸受３２０の表面に隠れた材料よりも比較的厚くすることができ、それによってヒートシンクは比較

的多量の熱エネルギーを容易に受け入れることができる。図１７Ａは、図１６と類似の装置の切り欠き斜視断面図であるが、右から左に逆向きになっており、装置３００の低温ゾーン３３０の隣に搭載／取り出しゾーン３４０をさらに含み、ガラス板４００ｃが上に配置される搭載／取り出し気体軸受３４２を含む。また、図１７Ａの装置は、高温ゾーン、移送用軸受、および低温ゾーン３１０、３２０、および３３０のそれぞれのすべてに狭いチャネル間隙（図には示していない）を使用している。

【０１２９】

図１７Ａ中の挿入図は、低温ゾーン気体軸受３３２ａの別の一実施形態を示しており、この気体軸受３３２ａは、気体軸受供給孔３３３の間の冷却剤チャネル３３４によって能動冷却され、供給孔は、軸受３３２ａの表面中の開口部に供給する。冷却チャネル３３４は、互いに組み合わされてヒートシンク３３１を形成するヒートシンクセグメント３３３ｂと、ガラス板４００ｂに面する表面との間で画定される。冷却チャネル３３４は、気体軸受３３２の固体材料中のヒートシンク３３１の表面の非常に近くに配置することができ、ヒートシンク／気体軸受表面と冷却剤チャネル３３４の最も表面に近い端部との間の固体軸受材料の領域は、冷却剤チャネル３３４の最も表面に近い端部と同じ幅を有する。したがって、ある実施形態では、冷却剤チャネル３３４と、ガラス４００ｂに面する表面との間のヒートシンク３３１／気体軸受３３２ａの固体材料中の縮小断面領域が存在しない。これは典型的な対流気体冷却装置とは異なり、その理由は、高気体流量では、気体の流れを逃すために気体ノズルの配列の中央に大きな空間を設けることが要求されるからである。能動冷却が使用される場合、典型的には、ガラス表面に最も近い固体材料に対して、気体ノズル設計の固体材料中に縮小断面領域を有することが必要となる。板から戻り加熱された多量の気体の高容量の通路を形成するために、この縮小断面領域が、一般に能動冷却流体と、処理下のガラス板との間に配置される。

【０１３０】

図１７Ｂは、図１７Ａの挿入図と同様の低温ゾーン気体軸受３３２ｂのさらに別の一実施形態を示している。この実施形態では、冷却剤チャネル３３４は、気体軸受供給孔３３３を含む気体軸受供給部材３３５と、気体軸受３３２ｂの表面に面するようにガラス板４００ｂを供給する気体軸受面部材３３７ａとの間に形成される。図１７Ｃは、さらに別の低温ゾーン気体軸受３３２ｃを示しており、図１７Ｂの実施形態と類似の構造であるが、軸受板部材３３７ｂの間に多孔質部材３３９を有し、多孔質部材３３９がガラス板４００ｂに面する表面を形成する。

【０１３１】

本明細書に記載の方法および装置は、一般に、ほぼあらゆるガラス組成に使用することができ、ある実施形態はガラス積層体、ガラスセラミック、および／またはセラミックに使用することができる。実施形態では、本発明の方法は、高ＣＴＥのガラス組成に使用することができる。実施形態では、使用されるガラスとしては、アルカリアルミノケイ酸塩、たとえばＣｏｒｎｉｎｇ’ｓ（登録商標）Ｇｏｒｉｌｌａ（登録商標）Ｇｌａｓｓ、ＳＬＧ、ソーダフリーガラス、またはアルカリフリーガラスなどが挙げられる。ある実施形態では、使用されるガラスは約４０×１０$^{-7}$／℃を超える、約５０×１０$^{-7}$／℃を超える、約６０×１０$^{-7}$／℃を超える、約７０×１０$^{-7}$／℃を超える、約８０×１０$^{-7}$／℃を超える、または約９０×１０$^{-7}$／℃を超えるＣＴＥを有する。

【０１３２】

本明細書に記載の方法および装置は、一般に任意の厚さのガラスに使用することができる。ある実施形態では、３ｍｍ以下の厚さのガラス板が使用される。ある実施形態では、ガラスの厚さは、約８ｍｍ以下、約６ｍｍ以下、約３ｍｍ以下、約２．５ｍｍ以下、約２ｍｍ以下、約１．８ｍｍ以下、約１．６ｍｍ以下、約１．４ｍｍ以下、約１．２ｍｍ以下、約１ｍｍ以下、約０．８ｍｍ以下、約０．７ｍｍ以下、約０．６ｍｍ以下、約０．５ｍｍ以下、約０．４ｍｍ以下、約０．３ｍｍ以下、または約０．２８ｍｍ以下である。ある実施形態では、ガラスは可撓性ガラス板である。別の実施形態では、ガラスは２つ以上のガラス板の積層体を含む。

【０１３３】
本明細書に開示される方法によって得られるガラスの圧縮応力は、ガラスの厚さの関数として変化する。ある実施形態では、３ｍｍ以下の厚さを有するガラスの圧縮応力は、少なくとも８０ＭＰａ、たとえば少なくとも１００ＭＰａ、たとえば少なくとも１５０ＭＰａ、たとえば少なくとも２００ＭＰａ、たとえば少なくとも２５０ＭＰａ、たとえば少なくとも３００ＭＰａ、たとえば少なくとも３５０ＭＰａ、たとえば少なくとも４００ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、２ｍｍ以下の厚さを有するガラスの圧縮応力は、少なくとも８０ＭＰａ、たとえば少なくとも１００ＭＰａ、たとえば少なくとも１５０ＭＰａ、たとえば少なくとも１７５ＭＰａ、たとえば少なくとも２００ＭＰａ、たとえば少なくとも２５０ＭＰａ、たとえば少なくとも３００ＭＰａ、たとえば少なくとも３５０ＭＰａ、たとえば少なくとも４００ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、１．５ｍｍ以下の厚さを有するガラスの圧縮応力は、少なくとも８０ＭＰａ、たとえば少なくとも１００ＭＰａ、たとえば少なくとも１５０ＭＰａ、たとえば少なくとも１７５ＭＰａ、たとえば少なくとも２００ＭＰａ、たとえば少なくとも２５０ＭＰａ、たとえば少なくとも３００ＭＰａ、たとえば少なくとも３５０ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、１ｍｍ以下の厚さを有するガラスの圧縮応力は、少なくとも８０ＭＰａ、たとえば少なくとも１００ＭＰａ、少なくとも１５０ＭＰａ、たとえば少なくとも１７５ＭＰａ、たとえば少なくとも２００ＭＰａ、たとえば少なくとも２５０ＭＰａ、たとえば少なくとも３００ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。考慮される実施形態では、０．５ｍｍ以下の厚さを有するガラスの圧縮応力は、少なくとも５０ＭＰａ、たとえば少なくとも８０ＭＰａ、たとえば少なくとも１００ＭＰａ、たとえば少なくとも１５０ＭＰａ、たとえば少なくとも１７５ＭＰａ、たとえば少なくとも２００ＭＰａ、たとえば少なくとも２５０ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下である。
【０１３４】
本明細書に記載の方法が行われたガラス板は、イオン交換を行うことでさらに処理して、それらの強度をさらに向上させることができる。本明細書に記載のように熱強化したイオン交換用ガラスは、このような考慮される一部の実施形態では、前述の圧縮応力を少なくとも２０ＭＰａ、たとえば少なくとも５０ＭＰａ、たとえば少なくとも７０ＭＰａ、たとえば少なくとも８０ＭＰａ、たとえば少なくとも１００ＭＰａ、たとえば少なくとも１５０ＭＰａ、たとえば少なくとも２００ＭＰａ、たとえば少なくとも３００ＭＰａ、たとえば少なくとも４００ＭＰａ、たとえば少なくとも５００ＭＰａ、たとえば少なくとも６００ＭＰａ、および／または１ＧＰａ以下だけ増加させることができる。
【０１３５】
薄いガラス板の熱強化に加えて、本明細書に記載のプロセスおよび装置は、さらなるプロセスに使用することもできる。冷却が特に言及されているが、本発明の装置およびプロセスは、伝導方法によってガラス板に均一に熱を伝達するために使用できる。このようなプロセスまたは方法が図１８のフローチャートに示されている。これに示される方法７００は、２つの主要なステップを含む。第１のステップのステップ７１０は、単に表面を有する物品を提供するステップを含む。第２のステップのステップ７２０は、物品表面の一部から物品表面全体までの加熱または冷却を行うステップを含む。ステップ７２０は、下位部分７２０ａに示されるように熱源またはヒートシンク源を出入りする気体により、対流よりも伝導によって行われ、下位部分７２０ｂにおいて物品または物品表面の一部の熱的調節を完了するために十分行われ、ステップ７２０の冷却／加熱の伝導は、下位部分７２０ｂにおいて上記一部の領域で高熱伝達率、少なくとも４５０ｋＷ／ｍ^{2}で行われる。
【０１３６】
たとえば、物品は、対流よりも伝導によって、物品表面の一部から物品表面全体までを冷却または加熱することによって、熱的に調節、すなわち加熱または冷却のいずれかを行うことができ、上記一部はある領域を有し、上記伝導は、ヒートシンクまたは熱源を出入りする気体が媒介し、固体間の接触は媒介せず、物品または物品表面の一部の熱的調節の

完了に十分であり、上記伝導は、少なくとも４５０、５５０、６５０、７５０、８００、９００、１０００、１１００、または１２００、１５００、２０００、３０００、４０００、またはさらには５０００ｋＷ／平方メートル以上の比率で加熱または冷却が少なくともある時間の間行われる。

【０１３７】

強化に加えて、高い熱出力伝達率によって、強化、ガラスのエッジ強化、セラミック、ガラス、またはその他の材料の焼成または焼結などの間の加熱および冷却などのあらゆる種類の熱処理が可能となる。さらに、主として伝導によって熱が取り出され、または供給されるので、処理される物品の熱履歴および熱分布を厳密に制御しながら、表面の平滑性および品質が維持される。したがって、本開示の装置および方法を用いて、間隙の変更、ヒートシンク／熱源材料の変更、ヒートシンク／熱源温度の変更、気体混合物の変更によって、厚さ方向および板の面がある方向の両方で、強化プロセスで得られる応力プロセスを意図的に変化させることができる。

【実施例】

【０１３８】

装置の設定　－　詳細に前述したように、本発明の装置は、高温ゾーン、移行ゾーン、および急冷ゾーンの３つのゾーンを含む。高温ゾーンおよび急冷ゾーンの中の上部および底部の熱軸受（ヒートシンク）の間の間隙は、所望の間隔に設定される。高温ゾーン、移行ゾーン、および急冷ゾーンの中の気体流量は、空気軸受上で部品が確実に中央に位置するように設定する。高温ゾーンは所望のＴ$_0$まで予備加熱され、その温度からガラス物品が次に急冷される。均一な加熱を保証するために、ガラス物品は、バッチ炉または連続炉などの別個の予備加熱装置中で予備加熱される。一般に、ガラス板は、高温ゾーン中に入れられる前に５分を超えて予備加熱される。ソーダ石灰ガラスの場合、予備加熱は約４５０℃で行われる。予備加熱段階の後、ガラス物品は高温ゾーン中に入れられて、平衡化され、この平衡化はガラスがＴ$_0$において均一となる場合である。Ｔ$_0$は希望通りに強化することによって決定できるが、一般に軟化点からガラス転移温度までの間の範囲内に維持される。平衡化の時間は、少なくともガラスの厚さに依存する。たとえば、約１．１ｍｍ以下のガラス板の場合、平衡化は約１０秒行われる。３ｍｍのガラス板の場合、平衡化は約１０秒３０秒行われる。最大約６ｍｍのより厚い板の場合、平衡化時間は約６０秒となりうる（約６ｍｍの厚さの物品の場合）。ガラスがＴ$_0$に平衡化された後、ガラスは空気軸受上で移行ゾーンを通って急冷ゾーンまで迅速に移送される。ガラス物品は、急冷ゾーン中でガラス転移温度Ｔｇよりも低い温度まで急速に冷却される。所望の急冷の程度および／または取り出し時のガラスの所望の温度に依存して、ガラス板は、１秒、１０秒から数分以上までの任意の時間急冷ゾーン中で維持することができる。取り出した後、ガラスは、場合により取り扱いの前に冷却される。

【０１３９】

以下の実施例は表Ｖにまとめている。

【０１４０】

実施例１　－　厚さ５．７ｍｍのソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで６９０℃のＴ$_0$で６０秒間維持する。Ｔ$_0$に平衡化した後、９１μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し（この間隙はガラス板の表面と最も近いヒートシンクとの間の距離である）、そこで１０秒間維持する。得られた物品は、表面圧縮が－３１２ＭＰａであり、中央張力が１２７ＭＰａであり、平坦性が８３μｍである。

【０１４１】

実施例２　－　厚さ５．７ｍｍのソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで６９０℃のＴ$_0$で６０秒間維持する。平衡化した後、９１μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持する。得られた物品は、表面圧縮が－３１７ＭＰａであり、中央張力が１３３ＭＰａであり、平坦性が９０μｍである。

【０１４２】
実施例３　－　厚さ１．１ｍｍソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで７００℃のＴ$_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、５６μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持する。得られた物品は、測定表面仮想温度が６６１℃であり、表面圧縮が－１７６ＭＰａであり、中央張力が８９ＭＰａであり、平坦性が１９０μｍであり、ビッカース亀裂閾値が１０～２０Ｎである。
【０１４３】
実施例４　－　厚さ０．５５ｍｍのソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで７２０℃のＴ$_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、２５μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒維持すると、０．１８４ｃａｌ／（ｃｍ^2－ｓ－℃）（７７０４Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）の有効熱伝達率が得られる。得られた物品は、表面圧縮が－１７６ＭＰａであり、中央張力が６３ＭＰａであり、平坦性が１２５μｍである。
【０１４４】
実施例５　－　厚さ１．５ｍｍのＣＯＲＮＩＮＧ（登録商標）ＧＯＲＩＬＬＡ（登録商標）Ｇｌａｓｓプレートを５５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで７９０℃のＴ$_0$で３０秒間維持する。平衡化した後、２２６μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持する。このガラス物品は、平坦性が処理前に１１３μｍおよび処理後に５８μｍと測定され改善が示された。
【０１４５】
実施例６　－　厚さ０．７ｍｍのソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで７３０℃のＴ$_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、３１μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持すると、０．１４９ｃａｌ／（ｃｍ^2－ｓ－℃）（６２３８Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）の有効熱伝達率が得られる。得られた物品は、表面圧縮が－２０６ＭＰａであり、中央張力が１００ＭＰａであり、平坦性が８２μｍである。破壊すると、このガラスプレートは「ダイス」（２ｍｍ以上の板のダイシングの場合の標準用語を使用しており、すなわち、５×５ｃｍの正方形のガラスプレートが４０以上の破片に破壊される）が観察され、これは板が完全に強化されたことを示唆している。
【０１４６】
実施例７　－　厚さ３．３ｍｍのＢｏｒｏｆｌｏａｔ－３３ガラスプレートを５５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで８００℃のＴ$_0$で３０秒間維持する。平衡化した後、１１９μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持する。得られた物品は１２０μｍの平坦性を有する。一部を破壊すると、このガラスプレートは「ダイス」（２ｍｍ以上の板のダイシングの場合の標準用語を使用しており、すなわち、５×５ｃｍの正方形のガラスプレートが４０以上の破片に破壊される）が観察され、これは板が完全に強化されたことを示している。
【０１４７】
実施例８　－　厚さ３．２ｍｍのソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで６９０℃のＴ$_0$で３０秒間維持する。平衡化した後、８４μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持する。得られた物品は、表面圧縮が－２１８ＭＰａであり、中央張力が１０５ＭＰａであり、平坦性が８４μｍである。
【０１４８】
実施例９　－　厚さ０．３ｍｍのソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで６３０℃のＴ$_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、１５９μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持する。得られた物品は、グレイフィールド偏光測定（ｇｒａｙ　ｆｉｅｌｄ　ｐｏｌａｒｉｍｅｔｒｙ）により観察可能な膜応力を有し、これはガラスが熱応力を含むことを示

唆している。

【０１４９】

実施例１０　－　厚さ０．１ｍｍのＣＯＲＮＩＮＧ（登録商標）ＧＯＲＩＬＬＡ（登録商標）Ｇｌａｓｓプレートを５５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで８２０℃の$Ｔ_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、１４１μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持すると、０．０３３ｃａｌ／（$ｃｍ^2$－ｓ－℃）（１３８２Ｗ／$ｍ^2$Ｋ）の有効熱伝達率が得られる。破壊すると、得られた物品は残留応力を有するガラスに一致する挙動を示す。

【０１５０】

実施例１１　－　厚さ１．１ｍｍのソーダ石灰ケイ酸塩ガラスプレートを４５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで７００℃の$Ｔ_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、６５μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持すると、０．０７ｃａｌ／（$ｃｍ^2$－ｓ－℃）（２９３１Ｗ／$ｍ^2$Ｋ）の有効熱伝達率が得られる。得られた物品は、測定表面仮想温度が６５７℃であり、表面圧縮が－２０１ＭＰａであり、中央張力が９８ＭＰａであり、平坦性が１５８μｍであり、ビッカース亀裂閾値が１０～２０Ｎである。

【０１５１】

実施例１２　－　厚さ１．１ｍｍのＣＯＲＮＩＮＧ（登録商標）ＧＯＲＩＬＬＡ（登録商標）Ｇｌａｓｓプレートを５５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで８１０℃の$Ｔ_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、８６μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持すると、０．０５８ｃａｌ／（$ｃｍ^2$－ｓ－℃）（２４２８Ｗ／$ｍ^2$Ｋ）の有効熱伝達率が得られる。得られた物品は、測定表面仮想温度が７１１℃であり、表面圧縮が－２０１ＭＰａであり、中央張力が６７ＭＰａであり、ビッカース亀裂閾値が２０～３０Ｎである。

【０１５２】

実施例１３　－　厚さ１．１ｍｍのＣＯＲＮＩＮＧ（登録商標）ＧＯＲＩＬＬＡ（登録商標）Ｇｌａｓｓプレートを５５０℃で１０分間予備加熱した後、高温ゾーンに移送し、そこで８００℃の$Ｔ_0$で１０秒間維持する。平衡化した後、９１μｍの間隙を有する急冷ゾーンに迅速に移送し、そこで１０秒間維持する。得られた物品は、測定表面仮想温度が７４７℃であり、表面圧縮が－１３８ＭＰａであり、中央張力が５３ＭＰａであり、平坦性が６６μｍであり、ビッカース亀裂閾値が２０～３０Ｎである。

【０１５３】

【表５】

表Ｖ

実施例	厚さ(mm)	組成物	間隙(um)	T_0	気体	CS(MPa)	CT(MPa)	Flatmaster (um)	仮想(°C)	ビッカース(N)
1	5.7	SLG	91	690	ヘリウム	-312	127	83	--	--
2	5.7	SLG	91	690	ヘリウム	-317	133	90	--	--
3	1.1	SLG	56	700	ヘリウム	-176	89	190	661.3	10-20
4	0.55	SLG	25	720	ヘリウム	-176	63	125	--	--
5	1.5	GG	226	790	ヘリウム	--	--	前113/後58	--	--
6	0.7	SLG	31	730	ヘリウム	-206	100	82	--	--
7	3.3	Borofloat 33	119	800	ヘリウム	--	--	121	--	--
8	3.2	SLG	84	690	ヘリウム	-218	105	81	--	--
9	0.3	SLG	159	630	ヘリウム	--	--	--	--	--
10	0.1	GG	141	820	ヘリウム	--	--	--	--	--
11	1.1	SLG	65	700	ヘリウム	-201	98	158	657	10-20
12	1.1	GG	86	810	ヘリウム	-201	67	--	711	20-30
13	1.1	GG	91	800	ヘリウム	-138	53	66	747	20-30

【０１５４】

他の態様および利点は、全体としての本明細書および添付の請求項を検討することで明らかとなるであろう。

【０１５５】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

【０１５６】

実施形態１

板の強化方法において、

ある材料を含む板を冷却するステップであって、前記板が第１および第２の板表面を有し、前記材料が転移温度を有し、前記冷却開始時に前記板が前記転移温度よりも高い温度にあるステップを含み、前記冷却するステップは、

ａ．前記第１の板表面を、第１のヒートシンク表面に隣接して配置するステップであって、前記第１の板表面から前記第１のヒートシンク表面への熱伝導が起こるように、前記第１の板表面と前記第１のヒートシンク表面との間に第１の間隙を有し、前記第１の間隙が、前記第１の間隙の長さg_1および前記第１の間隙の面積A_{g1}を有するステップと、

ｂ．前記第２の板表面を、第２のヒートシンク表面に隣接して配置するステップであっ

て、前記第２の板表面から前記第２のヒートシンク表面への熱伝導が起こるように、前記第２の板表面と前記第２のヒートシンク表面との間に第２の間隙を有し、前記第２の間隙が、前記第２の間隙の長さg_2および前記第２の間隙の面積$A_{g\,2}$を有するステップと、

ｃ．第１の気体の第１の流れを前記第１の間隙に供給し、第２の気体の第２の流れを前記第２の間隙に供給するステップであって、前記第１の気体が熱容量$C_{p\,1}$および熱伝導率k_1を有し、前記第２の気体が熱容量$C_{p\,2}$および熱伝導率k_2を有し、前記第１の気体の前記流れが質量流量

$\dot{m}_1$

【０１５７】

（式中、

$\dot{m}_1$

【０１５８】

は、０を超え（$2k_1A_{g\,1}$）／（$g_1C_{p\,1}$）未満である）

で前記第１の間隙に供給され、前記第２の気体の前記流れが質量流量

$\dot{m}_2$

【０１５９】

（式中、

$\dot{m}_2$

【０１６０】

は、０を超え、（$2k_2A_{g\,2}$）／（$g_2C_{p\,2}$）未満である）

で前記第２の間隙に供給され、それによって、前記第１および第２の流れは前記板に接触し、前記板が、対流よりも伝導によって冷却されるステップと

で行われ、

ｄ．前記板の表面圧縮応力および中央張力を発生させるのに十分となるように行われる、

ことを特徴とする方法。

【０１６１】

実施形態２

前記第１のヒートシンク表面が複数の第１の開口部を有し、前記第２のヒートシンク表面が複数の第２の開口部を有し、第１の気体の第１の流れを前記第１の間隙に供給するステップが、前記複数の第１の開口部のみを介して前記第１の気体を前記第１の間隙に流すステップを含み、第２の気体の第２の流れを前記第２の間隙に供給するステップが、前記複数の第２の開口部のみを介して前記第２の気体を前記第２の間隙に流すステップからなることを特徴とする実施形態１に記載の方法。

【０１６２】

実施形態３

前記開口部が０．５ｍｍ未満の断面寸法を有することを特徴とする実施形態２に記載の方法。

【０１６３】

実施形態４

前記開口部が０．０１ｍｍ未満の断面寸法を有することを特徴とする実施形態２に記載の方法。

【０１６４】

実施形態５

前記第１および第２のヒートシンク表面中の前記複数の開口部が、前記それぞれの第１および第２のヒートシンク表面に対して垂直から２０度以内にあることを特徴とする実施

形態３～４のいずれか一項に記載の方法。
【０１６５】
実施形態６
前記第１および第２の間隙が約１００μｍ以下であることを特徴とする実施形態２～５のいずれか一項に記載の方法。
【０１６６】
実施形態７
前記第１の気体が空気であることを特徴とする実施形態１～６のいずれか一項に記載の方法。
【０１６７】
実施形態８
前記第１の気体がヘリウムであることを特徴とする実施形態１～７のいずれか一項に記載の方法。
【０１６８】
実施形態９
熱源からの気体により主として伝導によって前記板を加熱するステップをさらに含み、主として伝導によって前記板を加熱する前記ステップが、前記板を冷却する前記ステップの前に行われることを特徴とする実施形態１～８のいずれか一項に記載の方法。
【０１６９】
実施形態１０
ラマンシフトによって測定して、前記板のガラス転移温度に対して少なくとも５０℃の前記板の前記第１の表面の表面仮想温度を付与するステップをさらに含むことを特徴とする実施形態１～９のいずれか一項に記載の方法。
【０１７０】
実施形態１１
板の強化方法において、
ａ．板の少なくとも一部をその第１の表面上で、少なくとも部分的には、前記第１の表面と第１のヒートシンクとの間の間隙に供給される気体の流れまたは圧力によって支持するステップであって、前記板が転移温度を有するガラスを含み、前記板が前記ガラスの前記転移温度よりも高い温度にあるステップと、
ｂ．前記気体を介した前記板の前記第１の表面からヒートシンクへの対流よりも熱伝導によって前記板を冷却するステップと
を含むことを特徴とする方法。
【０１７１】
実施形態１２
板の強化方法において、
ある材料を含み、第１および第２の板表面を有する板を加熱するステップであって、前記材料が転移温度を有し、ガラス板を前記転移温度よりも高温にするのに十分に前記加熱が行われるステップと、
第１の間隙を越えて第１のヒートシンク表面に隣接して前記第１の板表面を配置するステップであって、前記第１のヒートシンク表面が第１の複数の開口部を有するステップと、
第２の間隙を越えて第２のヒートシンク表面に隣接して前記第２の板表面を配置するステップであって、前記第２のヒートシンク表面が第２の複数の開口部を有するステップと、
前記第１および第２の複数の開口部を介して前記第１および第２の間隙に気体を供給して、前記板を、
ａ．対流よりも伝導によって、
ｂ．熱的に誘発される表面圧縮および熱的に誘発される中央張力を前記板に発生させるのに十分に、

冷却するステップと
を含むことを特徴とする方法。
【０１７２】
実施形態１３
第１のヒートシンク表面を有する第１のヒートシンクと、
第２のヒートシンク表面を有し、前記第１のヒートシンクとは反対側に配置される第２のヒートシンクと、
前記第１のヒートシンク表面と前記第２のヒートシンク表面との間の間隙と
を含む装置において、
前記間隙は、気体からなり、加熱されたガラス板を収容し、前記加熱されたガラス板を対流よりも伝導によって冷却することで、熱強化板が得られるように構成されることを特徴とする装置。
【０１７３】
実施形態１４
前記気体が、対流よりも伝導によって前記加熱されたガラス板を冷却することを特徴とする実施形態１３に記載の装置。
【０１７４】
実施形態１５
前記気体が、前記第１のヒートシンクおよび前記第２のヒートシンクのいずれか一方または両方を冷却することを特徴とする実施形態１４に記載の装置。
【０１７５】
実施形態１６
前記第１のヒートシンクおよび前記第２のヒートシンクのいずれか一方または両方が、冷却用流体を用いて冷却され、前記冷却用流体は前記気体ではないことを特徴とする実施形態１３～１５のいずれか一項に記載の装置。
【０１７６】
実施形態１７
前記第１のヒートシンクおよび前記第２のヒートシンクのいずれか一方または両方が、冷却用流体を中に流すための閉じた通路を含むことを特徴とする実施形態１６に記載の装置。
【０１７７】
実施形態１８
前記第１のヒートシンクおよび前記第２のヒートシンクが、前記間隙および気体源と流体連通する複数の開口部を含み、前記気体が前記気体源から前記間隙まで流れることを特徴とする実施形態１３～１７のいずれか一項に記載の装置。
【０１７８】
実施形態１９
前記複数の開口部が１ｍｍ未満の最小断面寸法を含むことを特徴とする実施形態１８に記載の装置。
【０１７９】
実施形態２０
前記複数の開口部が、前記それぞれの第１および第２のヒートシンク表面に対して垂直から２０度以下の角度で配置されることを特徴とする実施形態１３～１９のいずれか一項に記載の装置。
【０１８０】
実施形態２１
前記複数の開口部が、前記それぞれの第１および第２のヒートシンク表面に対して垂直に配置されることを特徴とする実施形態２０に記載の装置。
【０１８１】
実施形態２２

前記第１のヒートシンク表面および前記第２のヒートシンク表面のいずれか一方または両方が多孔質であることを特徴とする実施形態１３～２１のいずれか一項に記載の装置。

【０１８２】

実施形態２３

前記間隙が約２５００μｍ以下の全体厚さを含むことを特徴とする実施形態１３～２２のいずれか一項に記載の装置。

【０１８３】

実施形態２４

前記気体が気体混合物を含むことを特徴とする実施形態１３～２３のいずれか一項に記載の装置。

【０１８４】

実施形態２５

前記気体が空気、ヘリウム、または水素を含むことを特徴とする実施形態２４に記載の装置。

【０１８５】

実施形態２６

前記気体が、前記間隙中に入るときに少なくとも０．０４Ｗ／（ｍ・Ｋ）の熱伝導率を含むことを特徴とする実施形態１３～２５のいずれか一項に記載の装置。

【０１８６】

実施形態２７

ガラス転移温度を含むガラス板を前記ガラス転移温度よりも高い温度に加熱して前記加熱されたガラス板を得るための加熱ゾーンをさらに含むことを特徴とする実施形態１３～２６のいずれか一項に記載の装置。

【０１８７】

実施形態２８

前記加熱ゾーンとチャネルとの間に配置され、前記加熱されたガラス板を前記加熱ゾーンから前記チャネルまではこぶための移行ゾーンをさらに含むことを特徴とする実施形態２７に記載の装置。

【０１８８】

実施形態２９

前記移行ゾーンが、前記上流の加熱ゾーンから前記チャネルまで下降する角度で配置されることを特徴とする実施形態２８に記載の装置。

【０１８９】

実施形態３０

前記移行ゾーンが複数の移送用気体軸受をさらに含むことを特徴とする実施形態２８～２９のいずれか一項に記載の装置。

【０１９０】

実施形態３１

熱強化ガラス板において、

前記ガラス板が、ミリメートルの単位で表される厚さｔ、ミリメートルの単位で表される長さｌ、およびミリメートルの単位で表される幅ｗを有し、ｔはｌより小さくかつｗより小さく、

前記ガラス板が、前記厚さｔにおいて分離された第１の主面および第２の主面を有し、

前記ガラス板が、１／℃の単位で表される低温線形ＣＴＥであるα^{S}_{CTE}、１／℃の単位で表される高温線形ＣＴＥであるα^{L}_{CTE}、ＧＰａの単位で表される弾性率Ｅ、℃の単位で表される歪み温度T_{strain}、および℃の単位で表される軟化温度T_{soft}を有するガラスを含み、

前記ガラス板の前記第１の主面が、８００ＭＰａ未満であり、ＭＰａの単位で

【０１９１】

【数１９】

$$\frac{P_1(h)*t}{(P_2(h)+t)}\cdot E\cdot\left[T_{strain}\cdot\alpha_{CTE}^{s}+\alpha_{CTE}^{L}\cdot\left(T_{soft}-T_{strain}\right)\right];$$

【０１９２】

を超える熱的に誘発される表面圧縮応力を有し、

式中、Ｐ$_{1}$は

【０１９３】

【数２０】

$$910.2-259.2\cdot\exp\left(-\frac{h}{0.143}\right);$$

【０１９４】

であり、

Ｐ$_{2}$は

【０１９５】

【数２１】

$$2.53+\frac{23.65}{\left(1+\left(\frac{h}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

【０１９６】

であり、

ｈは０．０６２５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（２６１７Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする熱強化ガラス板。

【０１９７】

実施形態３２

ｈが０．０６３ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（２６３８Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１に記載のガラス板。

【０１９８】

実施形態３３

ｈが０．０６５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（２７２１Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１に記載のガラス板。

【０１９９】

実施形態３４

ｈが０．０７ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（２９３１Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１に記載のガラス板。

【０２００】

実施形態３５

ｈが０．０７５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（３１４０Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１に記載のガラス板。

【０２０１】

実施形態３６

ｈが０．０８ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（３３４９Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１に記載のガラス板。

【０２０２】

実施形態３７

ｈが０．１０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（４１８７Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１に記載のガラス板。

【０２０３】
実施形態３８
ｈが０．１５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（６２８０Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１に記載のガラス板。
【０２０４】
実施形態３９
前記板の前記第１の主面が、前記第１の主面の任意の５０ｍｍ以下のプロファイルに沿って１００μｍの振れの最大差（ＴＩＲ）まで平坦であることを特徴とする実施形態３１～３８のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２０５】
実施形態４０
前記板が、４００ＭＰａ未満であり、ＭＰａの単位で
【０２０６】
【数２２】

$$\frac{P_{1CT}(h_{CT}) * t}{2(P_{2CT}(h_{CT}) + t)} \cdot E \cdot \left[T_{strain} \cdot \alpha_{CTE}^{s} + \alpha_{CTE}^{L} \cdot \left(T_{soft} - T_{strain}\right)\right];$$

【０２０７】
を超える熱的に誘発される中央張力を有し、
式中、P_{1CT}は
【０２０８】
【数２３】

$$910.2 - 259.2 * \exp\left(-\frac{h_{CT}}{0.143}\right);$$

【０２０９】
であり、
P_{2CT}は
【０２１０】
【数２４】

$$2.53 + \frac{23.65}{\left(1 + \left(\frac{h_{CT}}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

【０２１１】
であり、
h_{CT}は０．０６ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（２５１２Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態３１～３９のいずれか一項に記載の熱強化ガラス板。
【０２１２】
実施形態４１
h_{CT}が０．１０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（４１８７Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態４０に記載の板。
【０２１３】
実施形態４２
前記板の前記中央張力が５０ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態４０～４１のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２１４】
実施形態４３

前記板の前記中央張力が１００ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態４０～４２のいずれか一項に記載のガラス板。

【０２１５】

実施形態４４

前記ガラスが、℃の単位で表されるアニール温度T_{anneal}および前記ガラス板の前記第１の主面上で測定され℃の単位で表される場合Ｔｆｓで表される表面仮想温度を有し、

前記ガラス板が、（Ｔｆｓ－T_{anneal}）／（T_{soft}－T_{anneal}）で表される無次元表面仮想温度パラメータθｓを有し、

前記パラメータθｓが０．５０～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態３１～４３のいずれか一項に記載のガラス板。

【０２１６】

実施形態４５

前記パラメータθｓが０．６０～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態４４に記載のガラス板。

【０２１７】

実施形態４６

前記板の前記第１の表面上で測定される前記表面仮想温度が、前記ガラスのガラス転移温度よりも少なくとも７５℃高いことを特徴とする実施形態４４～４５のいずれか一項に記載のガラス板。

【０２１８】

実施形態４７

前記板の前記第１の表面上で測定される前記表面仮想温度が、前記ガラスのガラス転移温度よりも少なくとも９０℃高いことを特徴とする実施形態４４～４６のいずれか一項に記載のガラス板。

【０２１９】

実施形態４８

熱強化ガラス板において、

前記ガラス板が、ミリメートルの単位で表される厚さｔ、ミリメートルの単位で表される長さｌ、およびミリメートルの単位で表される幅ｗを有し、ｔはｌより小さくかつｗより小さく、

前記ガラス板が、前記厚さｔにおいて分離された第１の主面および第２の主面を有し、前記板の前記第１の主面が、前記第１の主面の任意の５０ｍｍ以下のプロファイルに沿って１００μｍの振れの最大差（ＴＩＲ）まで平坦であり、

前記ガラス板が、１／℃の単位で表される低温線形ＣＴＥであるα^{S}_{CTE}、１／℃の単位で表される高温線形ＣＴＥであるα^{L}_{CTE}、ＧＰａの単位で表される弾性率Ｅ、℃の単位で表される歪み温度T_{strain}、および℃の単位で表される軟化温度T_{soft}を有するガラスを含み、

前記ガラス板の前記第１の主面が、６００ＭＰａ未満であり、ＭＰａの単位で

【０２２０】

【数２５】

$$\frac{P_1(h)*t}{(P_2(h)+t)}\cdot E\cdot\left[T_{strain}\cdot\alpha^{s}_{CTE}+\alpha^{L}_{CTE}\cdot\left(T_{soft}-T_{strain}\right)\right];$$

【０２２１】

を超える熱的に誘発される表面圧縮応力を有し、

式中、P_1は

【０２２２】

【数２６】

$$910.2 - 259.2 \cdot \exp\left(-\frac{h}{0.143}\right);$$

【０２２３】
であり、
P_2は
【０２２４】
【数２７】

$$2.53 + \frac{23.65}{\left(1 + \left(\frac{h}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

【０２２５】
であり、
ｈは０．０２０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（８３７．４Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする熱強化ガラス板。
【０２２６】
実施形態４９
ｌおよびｗのそれぞれが少なくとも１０ｍｍであることを特徴とする実施形態３１～４８のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２２７】
実施形態５０
比ｌ／ｔおよび比ｗ／ｔのそれぞれが１０／１以上であることを特徴とする実施形態３１～４９のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２２８】
実施形態５１
前記第１の主面が１０×１０μｍの領域にわたって０．２～１．５ｎｍＲａの範囲内の粗さを有することを特徴とする実施形態３１～５０のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２２９】
実施形態５２
前記第１の主面が１０×１０μｍの領域にわたって０．２～０．７ｎｍＲａの範囲内の粗さを有することを特徴とする実施形態３１～５１のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３０】
実施形態５３
前記第１の主面がコーティングを有することを特徴とする実施形態３１～５２のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３１】
実施形態５４
ｔが２ｍｍ未満であることを特徴とする実施形態３１～５３のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３２】
実施形態５５
ｔが１ｍｍ以下であることを特徴とする実施形態３１～５４のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３３】
実施形態５６
ｔが０．５ｍｍ以下であることを特徴とする実施形態３１～５５のいずれか一項に記載

のガラス板。
【０２３４】
実施形態５７
ｔが０．２８ｍｍ以下であることを特徴とする実施形態３１～５６のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３５】
実施形態５８
前記板が１５秒のビッカース硬度試験後に５ニュートン以上の５０％亀裂閾値を示すことを特徴とする実施形態３１～５７のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３６】
実施形態５９
前記第１の主面における前記圧縮応力が１００ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態３１～５８のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３７】
実施形態６０
前記第１の主面における前記圧縮応力が１５０ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態３１～５９のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３８】
実施形態６１
前記第１の主面における前記圧縮応力が２００ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態３１～６０のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２３９】
実施形態６２
熱強化ガラス板において、
前記ガラス板が、ミリメートルの単位で表される厚さｔ、ミリメートルの単位で表される長さｌ、およびミリメートルの単位で表される幅ｗを有し、ｔはｌより小さくかつｗより小さく、
前記ガラス板が、前記厚さｔにおいて分離された第１の主面および第２の主面を有し、前記板の前記第１の主面が、前記第１の主面の任意の５０ｍｍ以下のプロファイルに沿って１００μｍの振れの最大差（ＴＩＲ）まで平坦であり、
前記ガラス板が、℃の単位で表される軟化温度T_{soft}および℃の単位で表されるアニール温度T_{anneal}、前記ガラス板の前記第１の主面上で測定され℃の単位で表される場合Ｔｆｓで表される表面仮想温度を有するガラスを含み、
前記ガラス板が、（Ｔｆｓ－T_{anneal}）／（T_{soft}－T_{anneal}）で表される無次元表面仮想温度パラメータθｓを有し、
前記パラメータθｓが０．２０～０．９の範囲内であることを特徴とする熱強化ガラス板。
【０２４０】
実施形態６３
前記パラメータθｓが０．２２～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態６２に記載のガラス板。
【０２４１】
実施形態６４
前記パラメータθｓが０．２３～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態６２に記載のガラス板。
【０２４２】
実施形態６５
前記パラメータθｓが０．２４～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態６２に記載のガラス板。
【０２４３】

実施形態６６
前記パラメータθｓが０．３０～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態６２に記載のガラス板。
【０２４４】
実施形態６７
前記パラメータθｓが０．４０～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態６２に記載のガラス板。
【０２４５】
実施形態６８
前記パラメータθｓが０．５０～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態６２に記載のガラス板。
【０２４６】
実施形態６９
前記パラメータθｓが０．６０～０．９の範囲内であることを特徴とする実施形態６２に記載のガラス板。
【０２４７】
実施形態７０
前記板の前記第１の主面が、前記第１の主面の任意の５０ｍｍ以下のプロファイルに沿って５０μｍの振れの最大差（ＴＩＲ）まで平坦であることを特徴とする実施形態６２～６９のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２４８】
実施形態７１
前記ガラスが、１／℃の単位で表される低温線形ＣＴＥである$\alpha^{S}{}_{CTE}$、１／℃の単位で表される高温線形ＣＴＥである$\alpha^{L}{}_{CTE}$、ＧＰａの単位で表される弾性率Ｅ、および℃の単位で表される歪み温度T_{strain}を有し、
前記ガラス板の前記第１の主面が、６００ＭＰａ未満であり、ＭＰａの単位で
【０２４９】
【数２８】

$$\frac{P_1(h)*t}{(P_2(h)+t)}\cdot E\cdot\left[T_{strain}\cdot\alpha_{CTE}^{s}+\alpha_{CTE}^{L}\cdot\left(T_{soft}-T_{strain}\right)\right];$$

【０２５０】
を超える熱的に誘発される表面圧縮応力を有し、
式中、P_1は
【０２５１】
【数２９】

$$910.2-259.2\cdot\exp\left(-\frac{h}{0.143}\right);$$

【０２５２】
であり、
P_2は
【０２５３】
【数３０】

$$2.53+\frac{23.65}{\left(1+\left(\frac{h}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

【０２５４】

であり、
ｈは０．０２０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（８３７．４Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態６２～７０のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２５５】
実施形態７２
ｈが０．０２６ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（１０８９Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態７１に記載のガラス板。
【０２５６】
実施形態７３
前記第１の主面の前記圧縮応力が８０ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態７１～７２のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２５７】
実施形態７４
前記第１の主面の前記圧縮応力が１５０ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態７１～７３のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２５８】
実施形態７５
前記ガラスが、１／℃の単位で表される低温線形ＣＴＥであるα^{S}_{CTE}、１／℃の単位で表される高温線形ＣＴＥであるα^{L}_{CTE}、ＧＰａの単位で表される弾性率Ｅ、および℃の単位で表される歪み温度T_{strain}を有し、
前記ガラス板の前記第１の主面が、３００ＭＰａ未満であり、ＭＰａの単位で
【０２５９】
【数３１】

$$\frac{P_{1CT}(h_{CT}) * t}{2(P_{2CT}(h_{CT}) + t)} \cdot E \cdot \left[T_{strain} \cdot \alpha^{s}_{CTE} + \alpha^{L}_{CTE} \cdot \left(T_{soft} - T_{strain}\right)\right];$$

【０２６０】
を超える熱的に誘発される中央応力を有し、
式中、P_{1CT}は
【０２６１】
【数３２】

$$910.2 - 259.2 \cdot \exp\left(-\frac{h_{CT}}{0.143}\right);$$

【０２６２】
であり、
P_{2CT}は
【０２６３】
【数３３】

$$2.53 + \frac{23.65}{\left(1 + \left(\frac{h_{CT}}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

【０２６４】
であり、
h_{CT}は０．０２０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（８３７．４Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態６２～７４のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２６５】

実施形態７６
ｈが０．０２６ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（１０８９Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする実施形態７５に記載のガラス板。
【０２６６】
実施形態７７
前記板の前記中央張力が５０ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態７５～７６のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２６７】
実施形態７８
前記板の前記中央張力が７５ＭＰａを超えることを特徴とする実施形態７５～７７のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２６８】
実施形態７９
熱強化ガラス板において、
前記ガラス板が、ミリメートルの単位で表される厚さｔ、ミリメートルの単位で表される長さｌ、およびミリメートルの単位で表される幅ｗを有し、ｔはｌより小さくかつｗより小さく、
前記ガラス板が、前記厚さｔによって分離された第１の主面および第２の主面を有し、
前記ガラス板が、℃の単位で表される軟化温度Ｔ$_{soft}$、および℃の単位で表されるアニール温度Ｔ$_{anneal}$、および前記ガラス板の前記第１の主面上で測定され℃の単位で表される場合Ｔｆｓで表される表面仮想温度を有するガラスを含み、
前記ガラス板が、（Ｔｆｓ－Ｔ$_{anneal}$）／（Ｔ$_{soft}$－Ｔ$_{anneal}$）で表される無次元表面仮想温度パラメータθｓを有し、
前記パラメータθｓが０．５０～０．９の範囲内であることを特徴とする熱強化ガラス板。
【０２６９】
実施形態８０
ｌおよびｗのそれぞれが少なくとも１０ｍｍであることを特徴とする実施形態７５～７９のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７０】
実施形態８１
ｌおよびｗのそれぞれが少なくとも４０ｍｍであることを特徴とする実施形態７５～８０のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７１】
実施形態８２
比ｌ／ｔおよび比ｗ／ｔのそれぞれが１０／１以上であることを特徴とする実施形態７５～８１のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７２】
実施形態８３
前記第１の主面が１０×１０μｍの領域にわたって０．２～１．５ｎｍＲａの範囲内の粗さを有することを特徴とする実施形態７５～８２のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７３】
実施形態８４
前記第１の主面が１０×１０μｍの領域にわたって０．２～０．４ｎｍＲａの範囲内の粗さを有することを特徴とする実施形態７５～８３のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７４】
実施形態８５
前記第１の主面がコーティングを有することを特徴とする実施形態７５～８４のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７５】

実施形態８６
ｔが２ｍｍ未満であることを特徴とする実施形態７５～８５のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７６】
実施形態８７
ｔが１ｍｍ以下であることを特徴とする実施形態７５～８６のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７７】
実施形態８８
ｔが０．７ｍｍ以下であることを特徴とする実施形態７５～８７のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７８】
実施形態８９
ｔが０．２８ｍｍ以下であることを特徴とする実施形態７５～８８のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２７９】
実施形態９０
前記板が１５秒のビッカース硬度試験後に５ニュートン以上の５０％亀裂閾値を示すことを特徴とする実施形態７５～８９のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２８０】
実施形態９１
前記板の前記第１の表面上で測定される前記表面仮想温度が、前記ガラスのガラス転移温度よりも少なくとも５０℃高いことを特徴とする実施形態７５～９０のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２８１】
実施形態９２
前記板の前記第１の表面上で測定される前記表面仮想温度が、前記ガラスのガラス転移温度よりも少なくとも７５℃高いことを特徴とする実施形態７５～９１のいずれか一項に記載のガラス板。
【０２８２】
実施形態９３
物品の熱強化方法において、
ａ．表面を有する物品を提供するステップと、
ｂ．前記物品の前記表面の少なくとも一部の冷却または加熱を、
ｉ．対流よりも伝導によって行い、前記伝導が、ヒートシンクまたは熱源を出入りする気体が媒介し、前記表面と前記ヒートシンクまたは熱源との間の直接接触が媒介するのではなく、
ｉｉ．前記物品または前記物品の前記表面の少なくとも一部を熱強化するのに十分となるように行い、
ｉｉｉ．前記伝導が、少なくとも４５０ｋＷ／平方メートルの比率で前記加熱または冷却を少なくともある時間の間行われるステップと
を含むことを特徴とする方法。
【０２８３】
実施形態９４
加熱された板を収容し、前記加熱された板を移動させ冷却するためのチャネルと、
前記チャネルに隣接して配置される第１のヒートシンク表面を有する第１のヒートシンク、および前記チャネルに隣接し前記第１のヒートシンクとは反対側に配置される第２のヒートシンク表面を有する第２のヒートシンクと、
前記第１のヒートシンク表面および前記第２のヒートシンク表面によって画定される間隙と

を含む装置において、
前記第１のヒートシンクおよび前記第２のヒートシンクが、気体源および前記間隙と流体連通する複数の開口部を含み、
前記間隙が、前記加熱された板の対流よりも伝導による冷却を促進する厚さを含むことを特徴とする装置。
【０２８４】
実施形態９５
主面およびガラス転移温度を含むガラス板を、前記ガラス転移温度よりも高い温度まで加熱して、加熱されたガラス板を得るための加熱ゾーンと、
前記加熱されたガラス板を前記温度から冷却して熱強化ガラス板を得るための冷却ゾーンと
を含む装置において、
前記冷却ゾーンが２つの気体軸受を含み、１つの気体軸受が、間隙の一方の側に配置され、１つの気体軸受が、前記間隙の反対側に配置され、前記２つの気体軸受が、気体を前記間隙に供給するように構成され、前記加熱されたガラス板の前記冷却が、対流よりも伝導によって行われることを特徴とする装置。
【０２８５】
実施形態９６
熱強化ガラス板において、
前記ガラス板が、ミリメートルの単位で表される厚さｔ、ミリメートルの単位で表される長さｌ、およびミリメートルの単位で表される幅ｗを有し、ｔはｌより小さくかつｗより小さく、
前記ガラス板が、前記厚さｔによって分離された第１の主面および第２の主面を有し、
前記ガラス板が、１／℃の単位で表される低温線形ＣＴＥのα$^{S}_{CTE}$、１／℃の単位で表される高温線形ＣＴＥのα$^{L}_{CTE}$、ＧＰａの単位で表される弾性率Ｅ、℃の単位で表される歪み温度のＴ$_{strain}$、および℃の単位で表される軟化温度のＴ$_{soft}$を有するガラスを含み、
前記ガラス板が、４００ＭＰａ未満であり、ＭＰａの単位で
【０２８６】
【数３４】

$$\frac{P_{1CT}(h_{CT})*t}{2(P_{2CT}(h_{CT})+t)}\cdot E\cdot\left[T_{strain}\cdot\alpha^{s}_{CTE}+\alpha^{L}_{CTE}\cdot\left(T_{soft}-T_{strain}\right)\right];$$

【０２８７】
を超える熱的に誘発される中央張力を有し、
式中、Ｐ$_{1CT}$は
【０２８８】
【数３５】

$$910.2-259.2\cdot\exp\left(-\frac{h_{CT}}{0.143}\right);$$

【０２８９】
であり、
Ｐ$_{2CT}$は
【０２９０】

【数３６】

$$2.53+\frac{23.65}{\left(1+\left(\frac{h_{CT}}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

【０２９１】
であり、
ｈ$_{CT}$は０．０６２５ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^{2}・℃（２６１７Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする熱強化ガラス板。
【０２９２】
実施形態９７
熱強化ガラス板において、
前記ガラス板が、ミリメートルの単位で表される厚さｔ、ミリメートルの単位で表される長さｌ、およびミリメートルの単位で表される幅ｗを有し、ｔはｌより小さくかつｗより小さく、
前記ガラス板が、前記厚さｔによって分離された第１の主面および第２の主面を有し、前記板の前記第１の主面が、前記第１の主面の任意の５０ｍｍ以下のプロファイルに沿って１００μｍの振れの最大差（ＴＩＲ）まで平坦であり、
前記ガラス板が、１／℃の単位で表される低温線形ＣＴＥのα$^{S}_{CTE}$、１／℃の単位で表される高温線形ＣＴＥのα$^{L}_{CTE}$、ＧＰａの単位で表される弾性率Ｅ、℃の単位で表される歪み温度のＴ$_{strain}$、および℃の単位で表される軟化温度のＴ$_{soft}$を有するガラスを含み、
前記ガラス板が、３００ＭＰａ未満であり、ＭＰａの単位で
【０２９３】
【数３７】

$$\frac{P_{1CT}(h_{CT})*t}{(2P_{2CT}(h_{CT})+t)}\cdot E\cdot\left[T_{strain}\cdot\alpha^{s}_{CTE}+\alpha^{L}_{CTE}\cdot\left(T_{soft}-T_{strain}\right)\right];$$

【０２９４】
を超える熱的に誘発される中央張力を有し、
式中、Ｐ$_{1CT}$は
【０２９５】
【数３８】

$$910.2-259.2\cdot\exp\left(-\frac{h_{CT}}{0.143}\right);$$

【０２９６】
であり、
Ｐ$_{2CT}$は
【０２９７】
【数３９】

$$2.53+\frac{23.65}{\left(1+\left(\frac{h_{CT}}{0.00738}\right)^{1.58}\right)};$$

【０２９８】
であり、

h_{CT}は０．０２０ｃａｌ／ｓ・ｃｍ^2・℃（８３７．４Ｗ／ｍ^{2}Ｋ）以上であることを特徴とする熱強化ガラス板。

【図１】

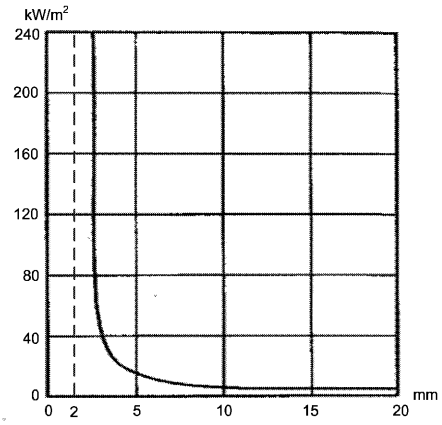


Figure 1
(Prior Art)

【図２】

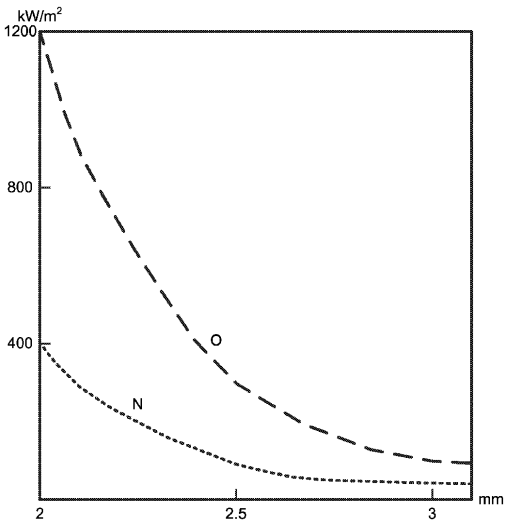


Figure 2
(Prior Art)

【図３】

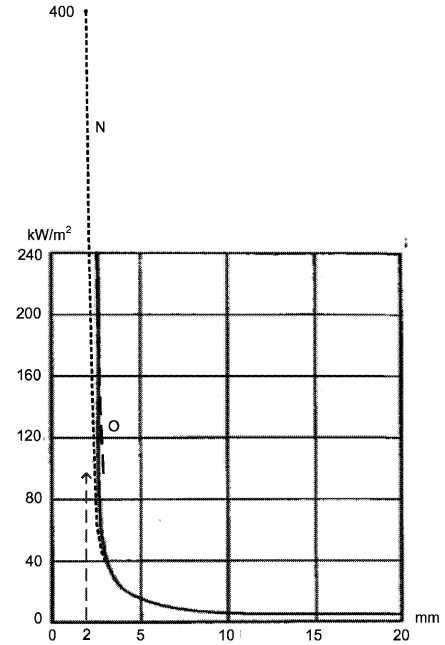


Figure 3
(Prior Art)

【図４】

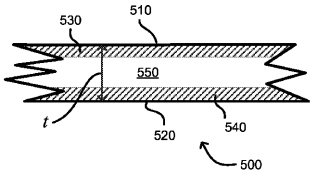
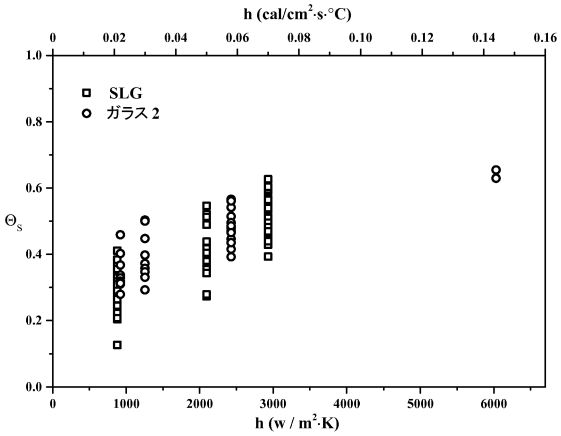
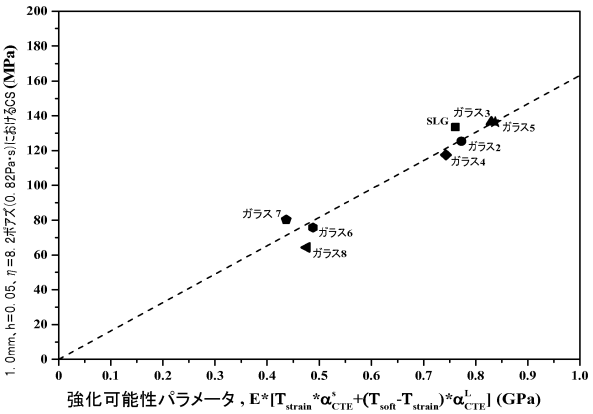


Figure 4

【図５】



【図６】



【図７】

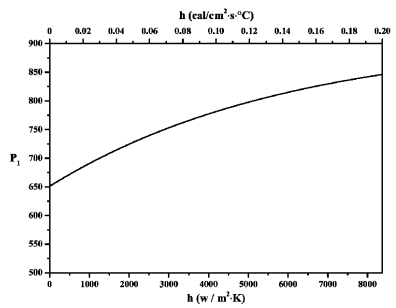


Figure 7

【図８】

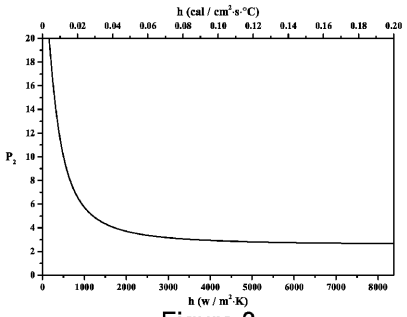
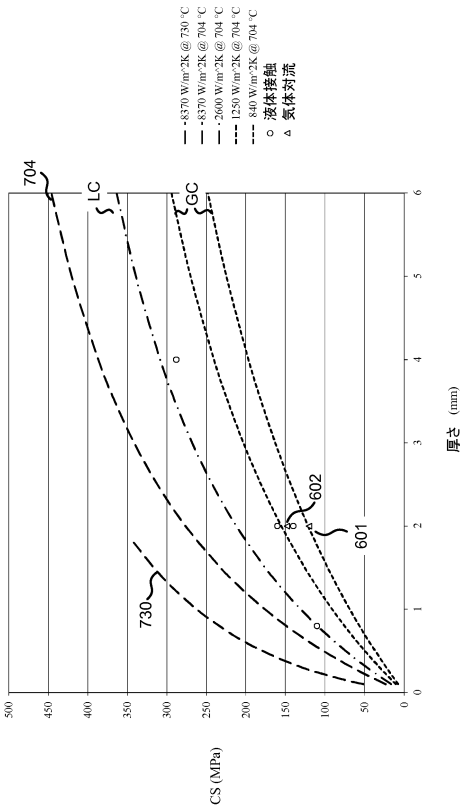
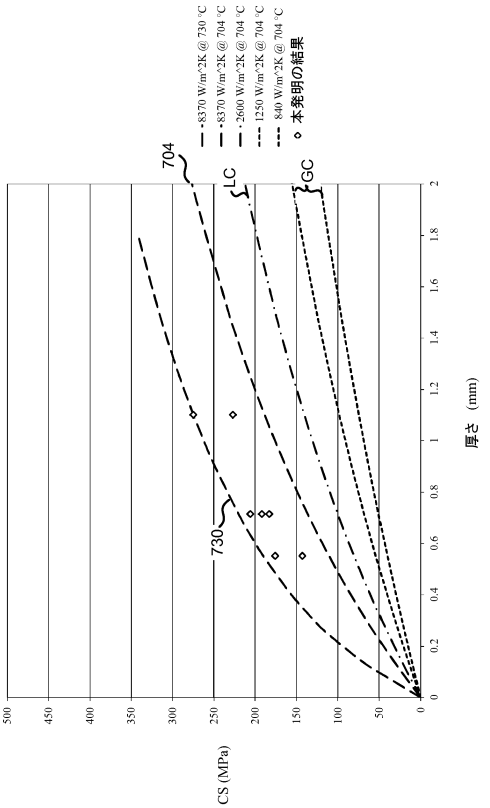


Figure 8

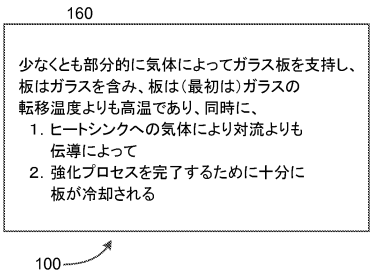
【図９】



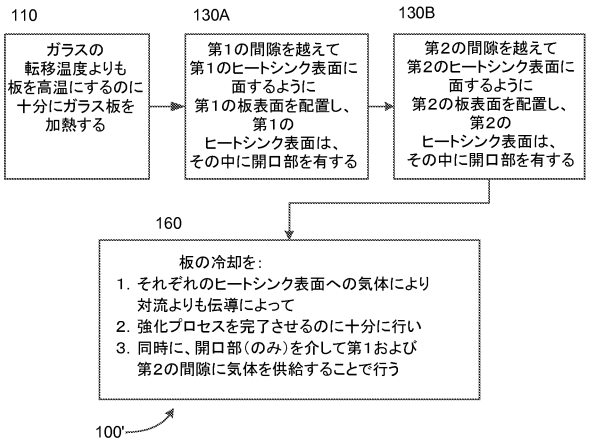
【図１０】



【図１１】



【図１２】



【図１３Ａ】

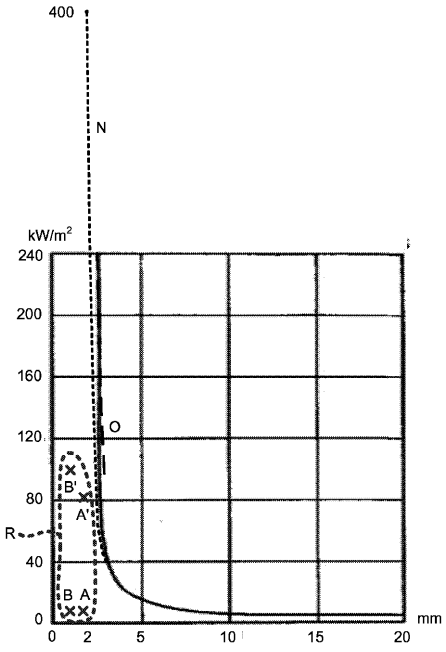


Figure 13A

【図１３Ｂ】

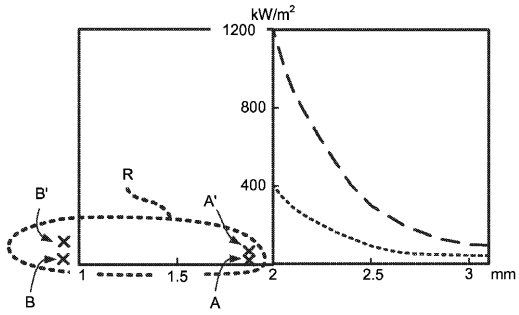


Figure 13B

【図１４】

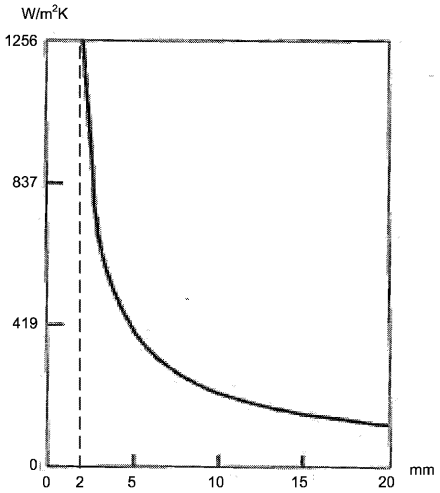


Figure 14
(Prior Art)

【図１５】

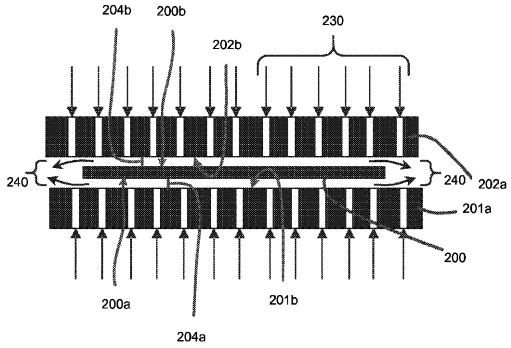


Figure 15

【図１７Ａ】

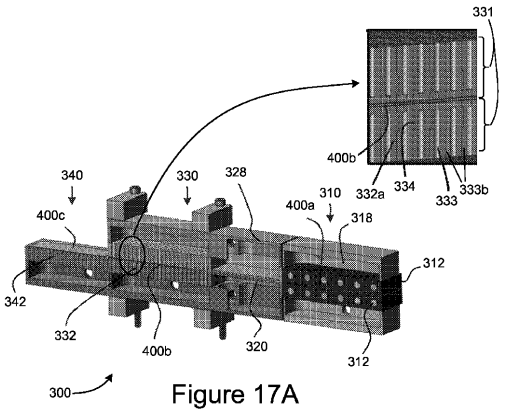


Figure 17A

【図１６】

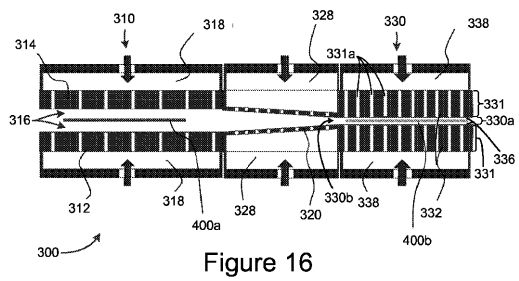


Figure 16

【図１７Ｂ】

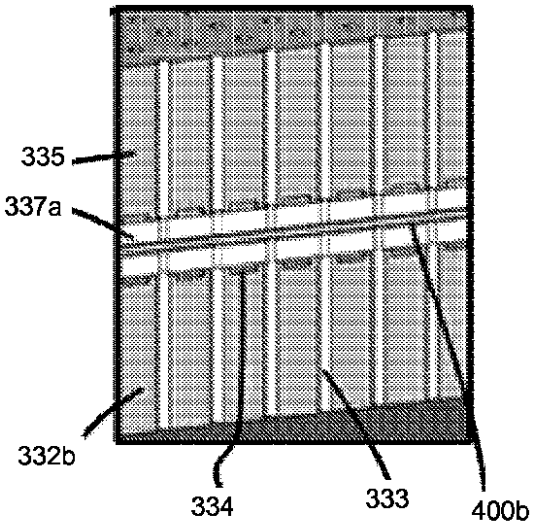


Figure 17B

【図１７Ｃ】

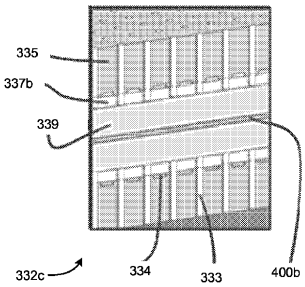
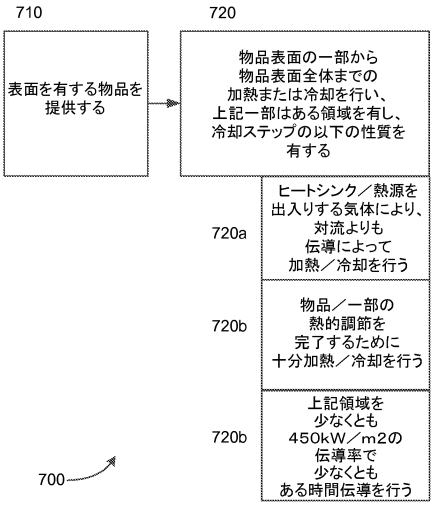


Figure 17C

【図１８】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 62/147,289
(32)優先日 平成27年4月14日(2015.4.14)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(72)発明者 マッシュメイヤー, リチャード オール
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 １４８３０ コーニング パウダーホーン ドライヴ １０２８７
(72)発明者 トーマス, ジョン クリストファー
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 １４９０５ エルマイラ ヘンディー クリーク ロード ７７
(72)発明者 ワッソン, ケヴィン リー
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 １４９０３ エルマイラ ソーンアップル ドライヴ ４５

審査官 山本 一郎

(56)参考文献 特開２００１－２４０４２０（ＪＰ，Ａ）
特開昭４９－０５２３４８（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１９１３１９（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１１／１２２６７８（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ０３Ｂ ２７／０４４