

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-51027

(P2007-51027A)

(43) 公開日 平成19年3月1日(2007.3.1)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
C03C 3/091 (2006.01)	C03C 3/091	2H090
C03B 17/06 (2006.01)	C03B 17/06	4G062
G09F 9/30 (2006.01)	G09F 9/30 310	5C094
G02F 1/1333 (2006.01)	G02F 1/1333 500	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-237717 (P2005-237717)	(71) 出願人	000232243 日本電気硝子株式会社
(22) 出願日	平成17年8月18日 (2005.8.18)		滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号
		(74) 代理人	100064584 弁理士 江原 省吾
		(74) 代理人	100093997 弁理士 田中 秀佳
		(74) 代理人	100101616 弁理士 白石 吉之
		(74) 代理人	100107423 弁理士 城村 邦彦
		(74) 代理人	100120949 弁理士 熊野 剛
		(74) 代理人	100121186 弁理士 山根 広昭

最終頁に続く

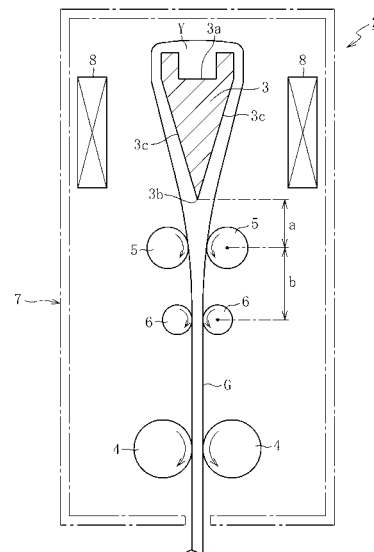
(54) 【発明の名称】 板ガラス及びその成形方法

(57) 【要約】

【課題】 板ガラスの薄肉・大型化に伴う反りの発生の顕著化及び生産性向上の困難化の問題を回避して、高品質の板ガラスを提供する。

【解決手段】 両面が無研磨面である矩形の板ガラス1であって、厚みが0.7mm以下、短辺の長さが1000mm以上、長辺の長さが1200mm以上、反り率が0.03%以下である。板ガラス1の成形は、くさび状の断面形状を有する成形体3と引張りローラ4との間に、板状ガラスGの幅方向両端部の粘度が $10^{5.2} \sim 10^{8.6}$ dPa・sの時にその両端部を挟持する冷却ローラ5を設け、又は、成形体3の下端部3bから冷却ローラ5の中心軸までの距離を30～200mmにし、若しくは、冷却ローラ5の周速度Aと引張りローラ4の周速度Bとの比率B/Aを、3.5～2.0にする。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

両面が無研磨面である矩形の板ガラスであって、厚みが 0.7 mm 以下、短辺の長さが 1000 mm 以上、長辺の長さが 1200 mm 以上、反り率が 0.03 % 以下であることを特徴とする板ガラス。

【請求項 2】

歪点が 630 °C 以上、30 ~ 380 °C における熱膨張係数が $28 \sim 40 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 、密度が $2.60 \text{ g} / \text{cm}^3$ 以下、液相温度における粘度が $10^{5.8} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の板ガラス。

【請求項 3】

質量 % で、 SiO_2 55 ~ 70 %、 Al_2O_3 12 ~ 22 %、 B_2O_3 3 ~ 15 %、アルカリ土類金属酸化物 2 ~ 20 % を含有し、アルカリ金属酸化物 0.1 % 以下であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の板ガラス。

【請求項 4】

ディスプレイ用基板として使用されることを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れかに記載の板ガラス。

【請求項 5】

前記ディスプレイ用基板が、液晶ディスプレイ用基板であることを特徴とする請求項 4 に記載の板ガラス。

【請求項 6】

くさび状の断面形状を有する成形体の頂部から両側面に沿って熔融ガラスを流下させることにより、前記成形体の下端部で融合して板状になった板状ガラスを、引張りローラで挟持しつつ下方に引き抜く板ガラスの成形方法において、

前記成形体と引張りローラとの間に、前記板状ガラスの幅方向両端部を挟持して冷却するための冷却ローラを設け、前記板状ガラスの幅方向両端部の粘度が $10^{5.2} \sim 10^{8.6} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ の時に該両端部を前記冷却ローラが挟持することを特徴とする板ガラスの成形方法。

【請求項 7】

くさび状の断面形状を有する成形体の頂部から両側面に沿って熔融ガラスを流下させることにより、前記成形体の下端部で融合して板状になった板状ガラスを、引張りローラで挟持しつつ下方に引き抜く板ガラスの成形方法において、

前記成形体と引張りローラとの間に、前記板状ガラスの幅方向両端部を挟持して冷却するための冷却ローラを設け、前記成形体の下端部から前記冷却ローラの中心軸までの距離を 30 ~ 200 mm にすることを特徴とする板ガラスの成形方法。

【請求項 8】

くさび状の断面形状を有する成形体の頂部から両側面に沿って熔融ガラスを流下させることにより、前記成形体の下端部で融合して板状になった板状ガラスを、引張りローラで挟持しつつ下方に引き抜く板ガラスの成形方法において、

前記成形体と引張りローラとの間に、前記板状ガラスの幅方向両端部を挟持して冷却するための冷却ローラを設け、該冷却ローラの周速度 A と、前記引張りローラの周速度 B との比率 B / A を、3.5 ~ 20 にすることを特徴とする板ガラスの成形方法。

【請求項 9】

前記成形体の側面部付近及び／又は頂部付近にヒータを設けてガラスを加熱することを特徴とする請求項 6 ~ 8 の何れかに記載の板ガラスの成形方法。

【請求項 10】

前記冷却ローラの下方における一箇所または下方における上下方向の複数箇所に補助冷却ローラを設けたことを特徴とする請求項 6 ~ 9 の何れかに記載の板ガラスの成形方法。

【請求項 11】

前記引張りローラよりも下流側で固化してなる板ガラスの厚みが 0.7 mm 以下で且つ有効幅が 1200 mm 以上であることを特徴とする請求項 6 ~ 10 の何れかに記載の板ガ

10

20

30

40

50

ラスの成形方法。

【請求項 1 2】

前記引張りローラよりも下流側で固化してなる板ガラスの反り率が 0.03% 以下であることを特徴とする請求項 6～11 の何れかに記載の板ガラスの成形方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、各種電子機器用基板、具体的には、液晶ディスプレイ、エレクトロルミネッセンスディスプレイ、プラズマディスプレイ、フィールドエミッションディスプレイ等のフラットパネルディスプレイやセンサの基板、固体撮像素子やレーザーダイオード等の半導体パッケージ用カバーガラスとして使用できる板ガラス、及びその成形方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

近年、電子機器産業の発達に伴って、各種電子機器、とりわけ液晶ディスプレイ、エレクトロルミネッセンスディスプレイ及びプラズマディスプレイ等のフラットパネルディスプレイの基板、或いは固体撮像素子等のカバーガラスとして、肉厚 0.3～3.0 mm の板ガラスが多量に用いられるに至っている。これらの板ガラスは、オーバーフローダウンドロー法、スロットダウンドロー法及びフロート法に代表される各種の方法で成形されているのが実情であるが、これらの中でも、特にオーバーフローダウンドロー法は、表面のうねりや粗さが小さく且つ表面品位に優れた板ガラスを得ることができる成形方法として知られている。

20

【0003】

詳述すれば、オーバーフローダウンドロー法は、くさび状の断面形状を有する成形体に連続的に供給される溶融ガラスを、成形体の頂部から両側面に沿って流下させることにより、成形体の下端部で融合させて一枚の板状形態にし、この形態になった板状ガラスを、引張りローラで挟持しつつ下方に引き抜くことによって、最終的に固化された板ガラスを成形する方法である。この場合、引張りローラは、板状ガラスの幅方向両端部のみを挟持するのが通例であるため、その僅かな挟持部位（有効面を逸脱する部位）を除外すれば、何ものにも触れられていない表面を持つ板ガラスを成形することが可能となり、これにより表面品位に優れた板ガラスが得られることになる。そのため、この成形方法によれば、コスト高の原因となる研磨工程が不要になるが、その一方で、液晶ディスプレイ等に用いられるような大型で薄肉の板ガラスを成形する場合には、反りが大きくなる傾向にある。

30

【0004】

このような傾向に則して、液晶ディスプレイ用のガラス基板の反りが大きいと、その上に薄膜電気回路を形成する際に、露光距離が設計通りにならなくなったり、液晶を挟む二枚の板ガラス（基板）間のギャップにムラが生じて表示性能が損なわれるという問題が生じる。特に、テレビ用の液晶ディスプレイの場合には、薄膜電気回路が複雑であり、また高い表示性能が要求されるため、基板に対する反りの要求が非常に厳しくなる。尚、板ガラスを成形した後、それを定盤上に載置した状態で熱処理を施すことによって、反りを改善することは可能であるが、熱処理工程が加わると、コスト高となるため好ましくない。

40

【0005】

このような背景から、オーバーフローダウンドロー法で反りの小さい板ガラスを成形する技術が各種提案されている（例えば、特許文献 1、2 参照）。

【0006】

【特許文献 1】特開平 5-163032 号公報

【特許文献 2】特開平 10-291826 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、上記の特許文献 1 に開示されたオーバーフローダウンドロー法による板ガラ

50

スの製造装置によれば、成形体の下方での融合直後の板状ガラスに表裏両側から接近する中空遮断板を設けることによって、板ガラスの反りや肉厚ムラを小さくする手段が採られている。

【0008】

しかしながら、このような手段では、成形体から下方に離れた板状ガラスが引張りローラの引張り力のみで引き抜かれるため、薄肉で大型の板ガラスを成形する場合には、板状ガラスの横方向（幅方向）と縦方向とに十分な張力が付与されず、反りが発生し易くなる。

【0009】

しかも、近年においては、板ガラスの薄肉・大型化に加えて、生産性が重視されていることから、上記のように成形体と引張りローラとの間に中空遮断板を介在させていても、極めて短時間で中空遮断板の間を板ガラスが通過してしまったのでは、中空遮断板を配置したことによる効果を十分に得ることができず、設備に無駄が生じる。

【0010】

一方、上記の特許文献2に開示されたオーバーフローダウンドロー法による板ガラスの製造装置によれば、成形体の下方に板状ガラスの両端部を挟持する一対の冷却ローラを設け、冷却ローラの周速度を引張りローラの周速度よりも小さくすることによって、板ガラスの反りを改善する手段が採られている。この手段によれば、冷却ローラと引張りローラとの相互作用によって、板状ガラスの横方向と縦方向とに張力を加えることが可能となり、反りの低減が期待できる。

【0011】

しかしながら、この特許文献2に開示の手段によるにしても、近年において、板ガラスの薄肉・大型化に伴って、反りの発生が顕著化した点と、生産性の向上を図ることが困難になった点とを勘案すれば、未だ解決すべき問題が残存している。

【0012】

すなわち、冷却ローラの配設位置及び配設状態や、冷却ローラの周速度と引張りローラの周速度との関係などは、板ガラスが薄肉且つ大型になった場合や、生産性を高めるべく成形体に供給する溶融ガラスを増量した場合に、従来と同様であると、高品質の板ガラスを得ることが困難である。

【0013】

例えば、特許文献2には、引張りローラの周速度を大きくすると板状ガラスと冷却ローラとの間でスリップが生じるという事項、詳しくは冷却ローラの周速度が引張りローラの周速度の30%よりも小さいとスリップが生じるという事項が記載されている。このようなスリップが生じると、板状ガラスの移動速度が不安定となって、横方向に収縮が生じ、或いは縦横方向に十分な張力が付与されず、反りが発生し易くなるという根本的な問題が生じる。しかし、この程度の両ローラの周速度の比率でスリップが生じていたのでは、近年における板ガラスの薄肉・大型化や生産性向上の要請に適切に応じることが困難である。

【0014】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、板ガラスの薄肉・大型化に伴う反りの発生の顕著化及び生産性向上の困難化の問題を回避して、高品質の板ガラスを提供することを技術的課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明者は、鋭意研究を重ねた結果、既述の板状ガラスと冷却ローラとの間におけるスリップの発生要因及び生産性悪化の要因は、主として、板状ガラスの固化状態との関係などにおける冷却ローラの配設位置や配設状態が適切でなかったことによるものであることを見出すに至った。また、その冷却ローラの配設位置や配設状態によっては、特許文献2に記載のように冷却ローラの周速度が引張りローラの周速度の30%よりも小さい場合に、スリップが必ずしも発生するものではなく、生産性改善をも含めてより適切な両ローラ

10

20

30

40

50

の周速度の比率が存在することをも見出すに至った。

【0016】

詳述すると、従来は、(1)板状ガラスの冷却ローラによる挟持部位の粘度が高過ぎたこと、(2)成形体の下端から冷却ローラまでの距離が長過ぎたこと、(3)冷却ローラの周速度が引張りローラの周速度に比して相対的に高過ぎたこと、を骨子として、上記(1)～(3)の要素である数値の具体的な範囲を見出すに至った。

【0017】

本発明は、このような知見に基づいて完成されたものであり、第1に、上記(1)に対応するものとして、くさび状の断面形状を有する成形体の頂部から両側面に沿って熔融ガラスを流下させることにより、前記成形体の下端部で融合して板状になった板状ガラスを、引張りローラで挟持しつつ下方に引き抜く板ガラスの成形方法において、成形体と引張りローラとの間に、板状ガラスの幅方向両端部を挟持して冷却するための冷却ローラを設け、板状ガラスの幅方向両端部の粘度が $10^{5.2} \sim 10^{8.6}$ dPa・s の時に該両端部を冷却ローラが挟持することに特徴づけられる。第2に、上記(2)に対応するものとして、成形体の下端部から冷却ローラの中心軸までの距離を $30 \sim 200$ mm にすることに特徴づけられる。第3に、上記(3)に対応するものとして、冷却ローラの周速度 A と、引張りローラの周速度 B との比率 B/A を、 $3.5 \sim 20$ にすることに特徴づけられる。

10

【0018】

すなわち、本発明者は、厚みが 0.7 mm 以下で且つ有効幅が 1200 mm 以上の薄肉・大型の板ガラスをオーバーフローダウンドロー法で生産するに当たり、生産性の向上を配慮して引張りローラの周速度を大きくしながら、板状ガラスの幅方向の収縮を抑えて、反りの低減を図るためには、できるだけ高温状態(粘度の低い状態)の板状ガラスを、冷却ローラで挟持する必要があることを案出した。そして、高温状態の板状ガラスを冷却ローラで挟持する具体的手段として、板状ガラスの幅方向両端部の粘度が $10^{5.2} \sim 10^{8.6}$ dPa・s の時に冷却ローラで挟持すれば、板状ガラスと冷却ローラとの間でスリップが生じず、得られる板ガラスの反り率が 0.03% 以下となり、この板ガラスが特に液晶ディスプレイ用基板として好適であることを見出した。この知見に基づいて完成したのが、上記(1)に対応する発明する。

20

【0019】

また、本発明者は、上記と同様に薄肉・大型の板ガラスを生産する過程において、生産性の向上を配慮しつつ、反りの低減を図るためには、成形体の下端部から冷却ローラまでの距離をできるだけ短くする必要があることを案出し、その具体的手段として、成形体の下端部から冷却ローラの中心軸までの距離を $30 \sim 200$ mm にすれば、上記と同様に、得られる板ガラスの反り率が 0.03% 以下となることを見出した。この知見に基づいて完成したのが、上記(2)に対応する発明である。

30

【0020】

また、本発明者は、上記と同様に薄肉・大型の板ガラスを生産する過程において、生産性の向上を配慮しつつ、反りの低減を図るためには、冷却ローラの周速度に比して引張りローラの周速度を大幅に高くする必要があることを案出し、その具体的手段として、冷却ローラの周速度 A と、引張りローラの周速度 B との比率 B/A を、 $3.5 \sim 20$ にすれば、上記と同様に、得られる板ガラスの反り率が 0.03% 以下となることを見出した。この知見に基づいて完成したのが、上記(3)に対応する発明である。

40

【0021】

そして、上記の各知見に基づいて完成された板ガラスとしての発明は、両面が無研磨面である矩形の板ガラスであって、厚みが 0.7 mm 以下、短辺の長さが 1000 mm 以上、長辺の長さが 1200 mm 以上、反り率が 0.03% 以下であることを特徴とするものである。

【0022】

すなわち、オーバーフローダウンドロー法で成形されてなる両面が無研磨面の板ガラスは、従来より液晶ディスプレイ用基板として公知となっているが、この従来のは、厚

50

みが0.7mm以下、短辺の長さが1000mm以上、長辺の長さが1200mm以上であっても、反り率は0.03%を超えていたことから、この点において本発明に係る板ガラスは、新規な板ガラスである。このように反り率が極めて小さい板ガラスを、液晶ディスプレイ用基板として使用すると、その基板上に薄膜電気回路を形成する際に、露光距離が設計通りにならなくなったり、液晶を挟む二枚の板ガラス（基板）間のギャップにムラが生じて表示性能が損なわれる等の問題を解消することができる。このような観点から、本発明に係る板ガラスは、液晶テレビ等のディスプレイ用基板として好適である。ここで、「反り率が0.03%以下」とは、理想平面（具体的には精密定盤の上面）に板ガラスを表面が上向きとなる状態で載置した場合に、長辺に沿う方向における理想平面と板ガラスの裏面との間の最大離反距離（反り量）を長辺の全長で除算して得られる第1の反り率と、短辺に沿う方向における理想平面と板ガラスの裏面との間の最大離反距離（反り量）を短辺の全長で除算して得られる第2の反り率と、理想平面に板ガラスを表面が下向きとなる状態で載置した場合に、長辺に沿う方向における理想平面と板ガラスの表面との間の最大離反距離（反り量）を長辺の全長で除算して得られる第3の反り率と、短辺に沿う方向における理想平面と板ガラスの表面との間の最大離反距離（反り量）を短辺の全長で除算して得られる第4の反り率とのうち、最も値の大きい反り率が0.03%以下であることを意味する。

10

【0023】

この板ガラスは、歪点が630℃以上、30～380℃における熱膨張係数が $28 \sim 40 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 、密度が 2.60 g/cm^3 以下、液相温度における粘度が $10^{5.8} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以上の特性を有するものとして得ることができ、また、質量%で、 SiO_2 55～70%、 Al_2O_3 12～22%、 B_2O_3 3～15%、アルカリ土類金属酸化物 2～20%を含有し、アルカリ金属酸化物 0.1%以下のものとして得ることもできる。

20

【0024】

一方、本発明に係る板ガラスの成形方法については、既に述べたところであるが、付言すると、上記（1）に対応する成形方法、つまり板状ガラスの幅方向両端部の粘度が $10^{5.2} \sim 10^{8.6} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ の時に該両端部を冷却ローラが挟持する成形方法によれば、以下に示すような利点を享受できる。

【0025】

すなわち、オーバーフローダウンドロー法で板ガラスを成形する場合、薄肉で大型の板ガラスを効率良く生産しようとする、引張りローラの周速度を大きくする必要があり、その一方で、板状ガラスの幅方向両端部を冷却しようとする、冷却ローラの周速度を小さくして、板状ガラスと冷却ローラとの接触時間を長くする必要がある。その場合、板状ガラスの幅方向両端部が冷却されて粘度が既に高くなっている時に、当該両端部を冷却ローラにより挟持した状態で引張りローラの周速度を大きくすると、板状ガラスと冷却ローラとの間でスリップが生じ、板状ガラスの移動速度が不安定となって反りが大きくなる。しかしながら、この成形方法では、板状ガラスの幅方向両端部が高温で未だ粘度が低い状態にある時、具体的には、当該両端部の粘度が $10^{8.6} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以下の時に冷却ローラで挟持するため、引張りローラの周速度を大きくしても、板状ガラスと冷却ローラとの間におけるスリップの発生確率が極めて低くなる。その結果、板状ガラスの幅方向両端部を安定して冷却することができるため、幅方向の収縮が十分に抑制される。つまり、成形体の下端部から離れた板状ガラスは、下方に引張られながら徐々に板幅が収縮するが、この成形方法では、成形体から離れた直後で未だ軟化変形し易い状態にある板状ガラスの幅方向両端部を冷却ローラで挟持し、その移動速度を小さくすることができるため、幅方向の収縮を抑えることができる。そして、この状態で板状ガラスが下方に引張られ、横方向と縦方向とに張力が働いた状態で固化することになるため、薄肉・大型で且つ反りの小さい板ガラスを容易に成形することが可能になると共に、引張りローラの周速度を大きくしてもスリップが生じ難いため、生産性の向上を図ることも可能になる。この場合において、板状ガラスが軟らか過ぎる状態の時に冷却ローラで挟持したのでは、ガラスが冷却ローラに巻き付いたり、冷却ローラが劣化し易くなるため、板状ガラスの幅方向両端部の粘度が

30

40

50

$10^{5.2}$ dPa・s 以上になってから冷却ローラで挟持する必要がある。尚、上記の粘度の下限値は $10^{5.7}$ dPa・s であることがより好ましく、またその上限値は $10^{7.5}$ dPa・s であることがより好ましく、加えて、上記の粘度の下限値は $10^{6.0}$ dPa・s であることが更に好ましく、またその上限値は $10^{7.0}$ dPa・s であることが更に好ましい。

【0026】

また、上記（2）に対応する成形方法、つまり成形体の下端部から冷却ローラの中心軸までの距離を 30～200 mm にする成形方法によれば、以下に示すような利点を享受できる。

【0027】

すなわち、成形体の下端部から冷却ローラの中心軸までの距離が長いと、上記の場合と同様に、板状ガラスの幅方向両端部が冷却されて粘度が既に高くなっている時に当該両端部を冷却ローラにより挟持することになり、この状態で生産性を高めるべく引張りローラの周速度を大きくすると、板状ガラスと冷却ローラとの間でスリップが生じ、板状ガラスの移動速度が不安定となって反りが大きくなる。しかしながら、この成形方法では、板状ガラスの幅方向両端部が高温で未だ粘度が低い状態にある時、具体的には、成形体の下端部から下方への離間寸法が 200 mm 以内の位置で、板状ガラスの幅方向両端部が冷却ローラにより挟持されるため、引張りローラの周速度を大きくしても、板状ガラスと冷却ローラとの間におけるスリップの発生確率が極めて低くなる。従って、この成形方法による場合にも、上記と同様の理由で、薄肉・大型で且つ反りの小さい板ガラスを容易に成形することが可能になると共に、引張りローラの周速度を大きくしてもスリップが生じ難いため、生産性の向上を図ることも可能になる。また、成形体の下端部から冷却ローラの中心軸までの離間寸法が短すぎる位置にあることにより板状ガラスが軟らか過ぎる時に冷却ローラで挟持したのでは、ガラスが冷却ローラに巻き付いたり等の上記と同様の問題が生じることから、成形体の下端部から冷却ローラの中心軸までの離間寸法は 30 mm 以上としておく必要がある。尚、この離間寸法のより好ましい上限値は 100 mm である。

【0028】

加えて、上記（3）に対応する成形方法、つまり冷却ローラの周速度 A と、引張りローラの周速度 B との比率 B/A を、3.5～20 にする成形方法によれば、以下に示すような利点を享受できる。

【0029】

すなわち、この場合においても既述のように、オーバーフローダウンドロー法で板ガラスを成形する場合、薄肉で大型の板ガラスを効率良く生産しようとする、引張りローラの周速度を大きくする必要があるのに対して、板状ガラスの幅方向両端部を適切に冷却しようとする、冷却ローラの周速度を小さくする必要がある。冷却ローラの周速度 A と引張りローラの周速度 B との差が小さいと、換言すれば上記の比率 B/A が小さいと、引張りローラの周速度を大きくして生産性を高めるような条件にした場合、冷却ローラの周速度 A が大きくなるので、冷却ローラにより板状ガラスを適正に冷却することができず、板状ガラスの安定した移動速度を確保できるような条件とすることが困難になる。そのため、薄肉・大型の板ガラスを成形するに際して、生産性を高めた上で、反りを小さくできるような成形条件とすることは極めて困難となる。しかしながら、この成形方法では、冷却ローラの周速度 A と引張りローラの周速度 B とが適正に充分相違するような設定、具体的には上記の比率 B/A が 3.5 以上とされているので、薄肉・大型の板ガラスの生産性の向上を図りつつ、反りを小さくすることが可能となる。一方、冷却ローラの周速度 A と引張りローラの周速度 B との差が不当に大きいと（上記の比率 B/A が不当に大きいと）、成形条件が不安定となり、所望の形状の板ガラスが安定して得られ難くなる。そこで、この成形方法では、上記の比率 B/A を 20 以下としている。尚、以上の事項を総合的に勘案すれば、上記の比率 B/A における下限は 4 であることがより好ましく、その上限は 15 であることがより好ましい。

【0030】

以上の成形方法において、成形体の側面部付近及び／又は頂部付近にヒータを設けてガラスを加熱することが好ましい。

【0031】

このようにすれば、成形体の頂部から側面部に沿って流下する熔融ガラスの粘度を調整できるため、上述の冷却ローラによる板状ガラスの挟持部位の粘度、成形体の下端部から冷却ローラまでの距離、冷却ローラの周速度と引張りローラの周速度との比率などを、適宜変更できることになり、成形条件の好都合な設定を容易に行うことが可能となる。

【0032】

また、上記の成形方法において、冷却ローラの下方における一箇所または下方における上下方向の複数箇所に補助冷却ローラを設けることが好ましい。

10

【0033】

すなわち、板状ガラスは、冷却ローラで挟持して冷却した後でも、その下方でさらに幅方向に収縮しようとするが、冷却ローラの下方に補助冷却ローラを設けておけば、その補助冷却ローラによっても板状ガラスの幅方向両端部が挟持されることになるため、冷却ローラを離れた後における板状ガラスの幅方向の収縮を抑えることができる。その結果、より有効幅の大きい板ガラスを得ることが可能となる。この場合、補助冷却ローラの周速度は、引張りローラの周速度の80%未満とすることが好ましいが、これは、補助冷却ローラの周速度が引張りローラの周速度の80%を超えると、板状ガラスに対する冷却作用が著しく低下して、幅方向の収縮を効率良く抑えることが困難となることに由来する。尚、補助冷却ローラの周速度は、引張りローラの周速度の70%未満とすることがより好ましい。そして、板ガラスの幅方向の収縮を抑える効果をより大きくするには、補助冷却ローラを上下方向のできるだけ多くの箇所に設けることが好ましいが、製造条件やコストを考慮すれば、補助冷却ローラは、上下方向の1～4箇所に設けることが妥当である。そして、このように補助冷却ローラを設けた場合であっても、その上方に存する冷却ローラに関する既述の全ての事項が意味をなさなくなることはない。

20

【発明の効果】

【0034】

以上のように本発明によれば、液晶ディスプレイ用基板の上に薄膜電気回路を形成する際に、露光距離が設計通りにならなくなったり、液晶を挟む二枚の板ガラス（基板）間のギャップにムラが生じて表示性能が損なわれる等の問題を解消することが可能な薄肉で大型の板ガラスを提供することが可能となる。

30

【0035】

また、本発明によれば、オーバーフローダウンドロー法により、厚みが0.7mm以下、有効幅が1200mm以上（好ましくは1500mm以上、より好ましくは2000mm以上）の薄肉・大型の板ガラスを成形する場合であっても、生産性の向上を図ることが可能で且つ反りを小さくすることが可能な成形方法を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下、本発明の実施形態を添付図面を参照して説明する。

【0037】

40

図1は、本発明の実施形態に係る板ガラスを誇張して示す概略断面図である。同図に示すように、この板ガラス1は、表面及び裏面の両面が無研磨面である矩形をなし、厚み t が0.7mm以下、短辺の長さ L_1 が1000mm以上、長辺の長さ（ L_2 ）が1200mm以上、反り率が0.03%以下である。ここで、反り率とは、精密定盤の上面Jに板ガラス1を載置して、長辺に沿う方向における精密定盤の上面Jと板ガラス1の下面との間の最大離反距離（反り量） S_1 を長辺の全長 L_1 で除算して得られる長辺側の反り率 $\{(S_1/L_1) \times 100\}$ と、短辺に沿う方向における精密定盤の上面Jと板ガラス1の下面との間の最大離反距離（反り量） S_2 を短辺の全長 L_2 で除算して得られる短辺側の反り率 $\{(S_2/L_2) \times 100\}$ との両者を含む。そして、上述の「反り率が0.03%以下」とは、精密定盤の上面Jに板ガラス1を表面が上向きの状態で載置した場合にお

50

ける長辺側の反り率と短辺側の反り率、及び、精密定盤の上面 J に板ガラス 1 を表面が下向きの状態で載置した場合における長辺側の反り率と短辺側の反り率との計四つの反り率のうち、最も大きい値の反り率が、0.03%以下であることを意味する（下記の「0.02%以下」及び「0.01%以下」についても同様）。

【0038】

この場合、板ガラス 1 の反り率は、0.02%以下であることが好ましく、更には 0.01%以下であることがより好ましい。また、短辺の長さ L_1 及び長辺の長さ L_2 は、何れも 1500 mm 以上、更には 2000 mm 以上であってもよい。更に、板ガラス 1 の厚み t は、0.65 mm 以下、更には 0.60 mm 以下であってもよいが、厚み t が薄すぎると、強度が著しく低下して成形性が低下するため、この厚み t は、0.03 mm 以上、
10

【0039】

また、この板ガラス 1 は、歪点が 630°C 以上、 $30\sim 380^{\circ}\text{C}$ における熱膨張係数が $28\sim 40\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 、密度が 2.60 g/cm^3 以下、液相温度における粘度が $10^{5.8}\text{ dPa}\cdot\text{s}$ 以上であって、耐薬品性（耐バッファードフッ酸性や耐塩酸性）に優れている。このような特性を有する板ガラス 1 は、液晶ディスプレイ基板として用いる場合に特に好適である。この場合、液相温度における粘度が上記のように $10^{5.8}\text{ dPa}\cdot\text{s}$ 以上であれば、比較的低い温度で板状ガラスを成形しても、ガラス中に失透物が発生せず、成形性が向上するために好ましく、この事を勘案すれば、 $10^{5.9}\text{ dPa}\cdot\text{s}$ 以上であることがより好ましい。
20

【0040】

更に、この板ガラス 1 の組成は、質量%で、 SiO_2 55~70%、 Al_2O_3 12~22%、 B_2O_3 3~15%、アルカリ土類金属酸化物 2~20%を含有し、アルカリ金属酸化物を実質的に含有していない（換言すれば、アルカリ金属酸化物は質量%で、0.1%以下である）。板ガラス 1 が、このような組成であると、特に液晶ディスプレイ用基板として好適であり、また、このような組成範囲内で、各構成成分の含有量を適宜組み合わせることにより、上述のような特性を備えた板ガラス 1 が得られる。

【0041】

上記のガラス組成範囲の限定理由は、以下に示す通りである。即ち、第 1 に、 SiO_2 が少なくなり過ぎると、ガラスの耐薬品性が低下し易くなり、これとは逆に、多くなり過ぎると、ガラスの溶融性が悪化すると共に、ガラス中に失透異物（クリストバライト）が生じ易くなる。従って、 SiO_2 の含有量は、50~70%が妥当であり、好ましくは 55~68%である。第 2 に、 Al_2O_3 が少なくなり過ぎると、液相温度が上昇し、ガラス中に失透異物（クリストバライト）が生じ易くなると共に、ガラスの歪点が低下し、これとは逆に、多くなり過ぎると、ガラスの耐バッファードフッ酸性が低下すると共に、失透性が低下し、ガラス中にムライトや長石系の失透異物が発生し易くなる。従って、 Al_2O_3 の含有量は、10~19%が妥当であり、好ましくは 11~18%である。第 3 に、 B_2O_3 は、融剤として働き、ガラスの高温粘性を下げ、溶融性を改善する成分であって、この B_2O_3 が少なくなり過ぎると、融剤としての働きが不十分になると共に、ガラスの耐バッファードフッ酸性が低下し、これとは逆に、多くなり過ぎると、ガラスの歪点が低下し、耐熱性が悪化すると共に、耐酸性が悪化する。従って、 B_2O_3 の含有量は、5~15%が妥当であり、好ましくは 7~14%である。第 4 に、アルカリ土類金属酸化物（ $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{SrO}+\text{BaO}$ ）が少なくなり過ぎると、ガラスの溶融性が悪化したり、液相温度が上昇し易くなり、これとは逆に、多くなり過ぎると、ガラスの密度が大きくなり易くなる。従って、アルカリ土類金属酸化物の含有量は、5~20%が妥当であり、好ましくは 7~18%である。以上の成分の他に、溶融性、耐失透性、耐酸性の改善や熱膨張係数の調整を行うため、 ZnO 、 P_2O_5 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 Nb_2O_3 、 La_2O_3 、 TiO_2 等の成分を、各々 5%以下で含有させてもよく、また清澄剤である As_2O_3 、 Sb_2O_3 、 Cl 、 F 、 SO_3 等の成分を各々 2%まで含有させてもよい。但し、ガラス中にアルカリ金属酸化物（ Li_2O 、 Na_2O 、 K_2O ）を含有すると、これらの成分が、基板上に形
50

成される半導体素子に拡散し、半導体素子に悪影響を与えるため、実質的に含有しないことが望まれる。従って、これらの成分の含有量は、0.1%以下に抑えるべきである。

【0042】

図2は、板ガラスの成形方法の実施状況を示す概略側面図、図3は、その概略正面図である。ここでは、板ガラスの成形方法の説明に先立ち、図2及び図3に基づいて、板ガラスの成形方法の実施に用いられる成型装置の構成を説明する。この成型装置2の基本的構成は、縦断面形状がくさび状をなし且つ頂部にオーバーフロー溝3aが形成された成形体3と、成形体3の頂部から溢れ出た溶融ガラスYを板状ガラスGとして引き抜く引張りローラ4と、成形体3の下端部3bから引張りローラ4に至るガラス成形経路の途中に配置された上側の冷却ローラ5及び下側の補助冷却ローラ6とを備えている。これらの各構成要素3、4、5、6は、耐火煉瓦からなる炉壁7により取り囲まれている。また、成形体3の側面3cの周辺、この実施形態では炉壁7の側壁部内面には、成形体3の側面3cを流下するガラス（溶融ガラス）を縦横方向にゾーン加熱することが可能な複数のヒータ8が成形体3の両側方にそれぞれ配設されている。

10

【0043】

引張りローラ4は、板状ガラスGの幅方向両端部のみを挟持するものであって、それぞれの端部に一對ずつ計四個を備えている。そして、板状ガラスGの表側に存する二個の引張りローラ4は、軸部材4aで連結されて一体回転可能とされたと共に、その裏側に存する二個の引張りローラ4も軸部材4aで連結されて一体回転可能とされ、これらの引張りローラ4には、回転駆動力が付与されるようになっている。また、冷却ローラ5も、板状ガラスGの幅方向両端部のみを挟持するものであり、それぞれの端部に一對ずつ計四個を備えているが、板状ガラスGの表側に存する二個の冷却ローラ5は分離され、それらが独立して回転可能とされたと共に、その裏側に存する二個の冷却ローラ5も分離され、それらが独立して回転可能とされている（補助冷却ローラ6も同様）。そして、冷却ローラ5は、回転駆動力が付与される駆動ローラとされているのに対して、補助冷却ローラ6は回転駆動力が付与されずに空転する非駆動ローラとされている。

20

【0044】

引張りローラ4、冷却ローラ5及び補助冷却ローラ6は、ステンレスまたは耐熱鋼もしくはセラミックス等で形成されている。更に、これらのローラ5、6は、内部が中空となっており、その中空部を通じて軸方向先端部付近まで冷媒が流通可能とされている。この場合、冷媒としては、気体や液体を使用することができる。

30

【0045】

そして、冷却ローラ5は、成形体3の頂部から両側面3cに沿って溶融ガラスYが流下して、成形体3の下端部3bで融合することにより、一枚の板状となった直後の板状ガラスGを挟持して冷却し得る位置に配設されている。詳述すると、この冷却ローラ5は、板状ガラスGの幅方向両端部における粘度が、 $10^{5.2} \sim 10^{8.6} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ の時、より好ましくは $10^{5.7} \sim 10^{7.5} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ （更に好ましくは $10^{6.0} \sim 10^{7.0} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ ）の時に、その両端部を挟持する位置に保持されている。そして、このような条件を満たすべく、成形体3の下端部3bから冷却ローラ5の中心軸までの距離aは、30～200mm、より好ましくは30～100mmに設定されている。この場合、冷却ローラ5の中心軸と補助冷却ローラ6の中心軸との距離bは、50～300mm、より好ましくは100～200mmに設定されている。

40

【0046】

また、冷却ローラ5の周速度と引張りローラ4の周速度との比は、1:3.5～1:20、より好ましくは1:4～1:15に設定され、補助冷却ローラ6の周速度は、冷却ローラ5の周速度以上の範囲内で、引張りローラ4の周速度の80%未満、より好ましくは70%未満となるように設定されている。

【0047】

以上のような構成を備えた成型装置2によれば、成形体3に供給されてその頂部から側面3cに沿って流下する溶融ガラスYは、ヒータ8により粘度を調整されつつ、成形体3

50

の下端部 3 b で融合して一枚の板状となり、この板状ガラス G が引張りローラ 4 により挟持されて下方に引き抜かれていく。この引張りローラ 4 による引き抜きが行われる初期段階においては、冷却ローラ 5 が板状ガラス G の幅方向両端部に接触して、その接触部周辺を適度に冷却するが、板状ガラス G における冷却ローラ 5 との接触部の粘度は、既述のように適度に低いために、生産性を高めるべく引張りローラ 4 の周速度を大きくしても、板状ガラス G と冷却ローラ 5 との間でスリップは生じ難くなる。

【0048】

しかも、成形体 3 の下端部 3 b から冷却ローラ 5 の中心軸までの距離は、既述のように適度に短くされているため、板状ガラス G における冷却ローラ 5 との接触部の粘度を効果的に低くすることができる。更に、引張りローラ 4 の周速度は、冷却ローラ 5 の周速度に比して、既述のように適度に大きくされているので、板状ガラス G の移動障害を阻止した上で、生産性を大幅に高めることが可能となる。

10

【0049】

このようにして、板状ガラス G が下方に引き抜かれていく途中においては、補助冷却ローラ 6 によっても板状ガラス G の幅方向両端部が挟持されて補助的に冷却が行われる。この場合、補助冷却ローラ 6 が仮に存在しないとしたならば、図 3 に鎖線（符号 X）で示すように板状ガラス G が幅方向に収縮して、最終的に幅の広い板ガラスを得ることが出来なくなるが、この実施形態のように補助冷却ローラ 6 を配設しておけば、板状ガラス G の幅方向の収縮を抑えることができ、板ガラスの薄肉・大型化を図る上で有利となる。この事を勘案すれば、補助冷却ローラ 6 は、最上段の冷却ローラ 5 と最下段の引張りローラ 4 との間に、複数段（例えば 2 段から 4 段）に配設されていることが好ましい。

20

【実施例】

【0050】

本発明の実施例 1 として、図 2 及び図 3 に示す成形装置 2 と基本的構成が同一であって補助冷却ローラ 6 が設けられていない装置を用いて、質量%で、 SiO_2 60%、 Al_2O_3 15%、 B_2O_3 10%、 CaO 6%、 SrO 6%、 BaO 2%、清澄剤 1%の組成を有する板ガラス（日本電気硝子株式会社製 OA-10）を成形した。この装置における成形体 3 の幅方向の長さは 2500 mm、成形体 3 の下端部 3 b から冷却ローラ 5 の中心軸までの距離は 100 mm である。尚、冷却ローラ 5 の冷媒は空気である。この成形に際しては、ヒータ 8 によって、成形体 3 の両側面 3 c に沿って流下する熔融ガラス Y や、成形体 3 の下端部 3 b と冷却ローラ 5 との間の板状ガラス G を加熱し、板状ガラス G の幅方向両端部の粘度が $10^{6.9} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ の時に、当該端部を冷却ローラ 5 で挟持するようにした。また、引張りローラ 4 の周速度を 200 cm/分、冷却ローラ 5 の周速度を 40 cm/分とした。

30

【0051】

このような条件の下で成形された板ガラスは、板幅が 2100 mm、幅方向中央部の厚みが 0.7 mm であって、厚みが $0.7 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ の範囲に収まる有効幅は、1800 mm 以上であった。この板ガラスを、短辺が 1800 mm、長辺が 2200 mm の寸法になるように切断加工し、その反り率を算出したところ、短辺側と長辺側との双方共に 0.01% 以下であった。また、この板ガラスは、歪点が 660°C 、 $30 \sim 380^\circ\text{C}$ における熱膨張係数が $37 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 、密度が 2.49 g/cm^3 、液相温度における粘度が $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以上であり、耐バフファードフッ酸性と耐塩酸性にも優れていた。尚、歪点は、ASTM C336-71 の方法に基づいて測定し、熱膨張係数は、押棒式熱膨張測定装置によって測定し、密度は、周知のアルキメデス法に基づいて測定した。板ガラスの液相温度における粘度は、先ず粒径 $300 \sim 500 \mu\text{m}$ に粉碎したガラスを白金ボートに充填し、温度勾配炉内に 8 時間保持し、顕微鏡を用いて内部に結晶が析出した最も高い温度を求め、その温度を液相温度とし、周知の白金球引き上げ法により、液相温度に対応する粘度を測定することによって求めた。耐バフファードフッ酸性は、ガラス表面を光学研磨した後、 20°C に保持された 38.7 質量%フッ化アンモニウム、1.6 質量%フッ酸からなるバフファードフッ酸溶液に 30 分間浸漬した後、その表面状態を観察す

40

50

ることによって評価し、また耐塩酸性は、ガラス表面を光学研磨してから、80℃に保持された10質量%塩酸水溶液に24時間浸漬した後、その表面状態を観察することによって評価した。上記の板ガラスは、表面の変化が認められず、耐薬品性に優れていた。

【0052】

本発明の実施例2として、冷却ローラ5に加えて一段の補助冷却ローラ6を備えた成形装置、つまり図2及び図3に示すものと同様の構成要素を備えたものであって、上記の実施例1で使用した成形装置とは、補助冷却ローラ6を備えている点のみが相違している成形装置を使用して、上記の実施例1と同様の組成を有する板ガラスを成形した。この成形装置においては、冷却ローラ5の中心軸と補助冷却ローラ6の中心軸との距離を200mmに設定すると共に、板状ガラスGの幅方向両端部の粘度が $10^{6.9}$ dPa・sの時に当該端部を冷却ローラ5で挟持するようにし、且つ、引張りローラ4の周速度を220cm/分、冷却ローラ5の周速度を33cm/分、補助冷却ローラ6の周速度を155cm/分とした。尚、冷却ローラ5及び補助冷却ローラ6の冷媒は、何れも空気である。

10

【0053】

このような条件の下で成形された板ガラスは、板幅が2250mm、幅方向中央部の厚みが0.63mmであって、厚みが $0.63\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ の範囲内に収まる有効幅は、1950mm以上であった。そして、この板ガラスを、短辺が1950mm、長辺が2200mmの寸法となるように切断加工し、その反り率を算出したところ、短辺側と長辺側との双方共に0.01%以下であった。

20

【0054】

本発明の実施例3として、上記の実施例2で使用したものと同様の構成要素を備えた成形装置を使用して、上記の実施例1と同様の組成を有する板ガラスを成形した。この実施例3で使用する成形装置が、上記の実施例2における成形装置と相違する点は、成形体3の幅方向長さが2000mmである点と、引張りローラ4の周速度を500cm/分、冷却ローラ5の周速度を40cm/分、補助冷却ローラ6の周速度を300cm/分とした点とである。

【0055】

このような条件の下で成形された板ガラスは、板幅が1600mm、幅方向中央部の厚みが0.2mmであって、厚みが $0.2\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ の範囲内に収まる有効幅は、1200mm以上であった。そして、この板ガラスを、短辺が1200mm、長辺が1400mmの寸法となるように切断加工し、その反り率を算出したところ、短辺側と長辺側との双方共に0.02%以下であった。

30

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明の実施形態に係る板ガラスを誇張して示す概略断面図である。

【図2】前記板ガラスの成形に用いる成形装置の要部を示す概略側面図である。

【図3】前記板ガラスの成形に用いる成形装置の要部を示す概略正面図である。

【符号の説明】

【0057】

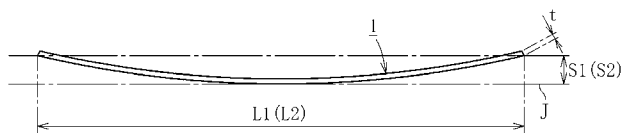
- 1 板ガラス
- 2 成形装置
- 3 成形体
- 3 b 成形体の下端部
- 3 c 成形体の側面部
- 4 引張りローラ
- 5 冷却ローラ
- 6 補助冷却ローラ
- 8 ヒータ
- Y 溶融ガラス
- G 板状ガラス

40

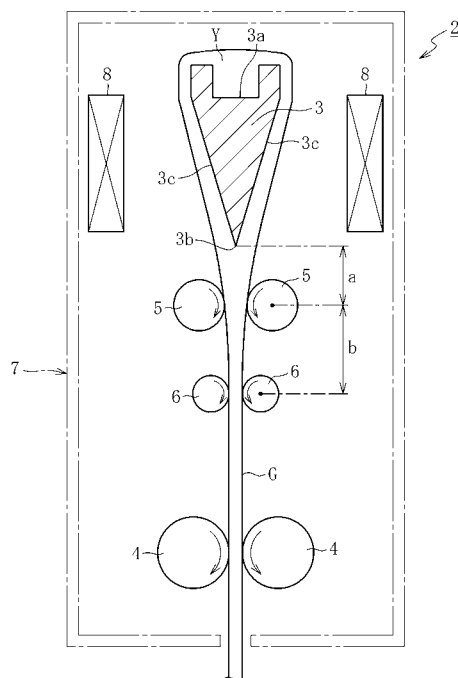
50

a 成形体の下端部から冷却ローラの中心軸までの距離

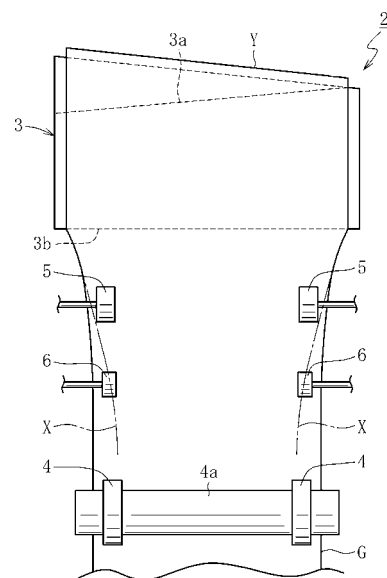
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(72)発明者 加埜 智典

滋賀県大津市晴嵐2丁目7番1号 日本電気硝子株式会社内

Fターム(参考) 2H090 JB02 JC00 JD09 JD14

4G062 AA01 BB01 DA06 DB04 DC03 DC04 DD01 DE01 DF01 EA01
EA10 EB01 EC01 ED01 ED03 ED04 EE01 EE03 EE04 EF01
EF03 EF04 EG01 EG03 EG04 FA01 FA10 FB01 FC01 FD01
FE01 FF01 FG01 FH01 FJ01 FK01 FL01 GA01 GA10 GB01
GC01 GD01 GE01 HH01 HH03 HH05 HH07 HH09 HH11 HH13
HH15 HH17 HH20 JJ01 JJ03 JJ05 JJ07 JJ10 KK01 KK03
KK05 KK07 KK10 MM12 NN29 NN34
5C094 AA36 AA43 BA27 BA31 BA43 EB02 GB10 JA01 JA08

TRANSLATION CERTIFICATION

Date: May 12, 2025

To whom it may concern:

I, Frank McGee, a translator fluent in the Japanese and English languages, on behalf of Morningside, do solemnly and sincerely declare that the following is, to the best of my knowledge and belief, a true and correct translation of the document(s) listed below in a form that best reflects the intention and meaning of the original text.

The document is designated as:

- JP2007051027A



Frank McGee

[Claims]

[Claim 1]

A rectangular sheet glass with both sides unpolished, the sheet glass characterized in having a thickness of 0.7 mm or less, a short side length of 1000 mm or more, a long side length of 1200 mm or more, and a warping rate of 0.03% or less.

[Claim 2]

The sheet glass according to claim 1, wherein the sheet glass has a strain point of 630°C or higher, a thermal expansion coefficient at 30 to 380°C or 28 to $40 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, a density of 2.60 g/cm³ or less, and a viscosity at the liquid phase temperature of $10^{5.8}$ dPa·s or higher.

[Claim 3]

The sheet glass according to claim 1 or 2, wherein the sheet glass contains, in terms of mass percentages, 55 to 70% SiO₂, 12 to 22% Al₂O₃, 3 to 15% B₂O₃, and 2 to 20% alkaline earth metal oxides, with alkaline metal oxides at 0.1% or less.

[Claim 4]

The sheet glass according to any of claims 1 to 3, wherein the sheet glass is used as a substrate for a display.

[Claim 5]

The sheet glass according to claim 4, wherein the substrate for a display is a substrate for a liquid crystal display.

[Claim 6]

A method for forming sheet glass by allowing molten glass to flow downward from the top portion of a forming body having a wedge-shaped cross-sectional profile along both side surfaces, converging the molten glass at the lower end portion of the forming body to form a sheet-shaped glass, and pulling the sheet-shaped glass downward while holding the glass between pulling rollers, the method for forming sheet glass characterized in that cooling rollers are provided between the forming body and the pulling rollers to hold and cool both widthwise end portions of the sheet-shaped glass, the cooling rollers holding both end portions when the viscosity of the widthwise end portions of the sheet-shaped glass is $10^{5.2}$ to $10^{8.6}$ dPa·s.

[Claim 7]

A method for forming sheet glass by allowing molten glass to flow downward from the top portion of a forming body having a wedge-shaped cross-sectional profile along both side surfaces, converging the molten glass at the lower end portion of the forming body to form a sheet-shaped glass, and pulling the sheet-shaped glass downward while holding the glass between pulling rollers, the method for forming sheet glass characterized in that cooling rollers are provided between the forming body and the pulling rollers to hold and cool the widthwise end portions of the sheet-shaped glass, the distance from the lower end portion of the forming body to the center axis of the cooling rollers being set from 30 to 200 mm.

[Claim 8]

A method for forming sheet glass by allowing molten glass to flow downward from the top portion of a forming body having a wedge-shaped cross-sectional profile along both side surfaces, converging the molten glass at the lower end portion of the forming body to form a sheet-shaped glass, and pulling the sheet-shaped glass downward while holding the glass between pulling rollers, the method for forming sheet glass characterized in that cooling rollers are provided between the forming body and the pulling

rollers to hold and cool the widthwise end portions of the sheet-shaped glass, the ratio B/A of the circumferential speed A of the cooling rollers to the circumferential speed B of the pulling rollers being set from 3.5 to 20.

[Claim 9]

The method for forming sheet glass according to any of claims 6 to 8, wherein a heater is provided near the side portion and/or the top portion of the forming body to heat the glass.

[Claim 10]

The method for forming sheet glass according to any of claims 6 to 9, wherein auxiliary cooling rollers are provided at one or more locations in the downstream direction below the cooling rollers.

[Claim 11]

The method for forming sheet glass according to any of claims 6 to 10, wherein the thickness of the sheet glass solidified downstream of the pulling rollers is 0.7 mm or less, and the effective width of the sheet glass is 1200 mm or more.

[Claim 12]

The method for forming sheet glass according to any of claims 6 to 11, wherein the warping rate of the sheet glass solidified downstream of the pulling rollers is 0.03% or less.

[Detailed Description of the Invention]

[Technical Field]

[0001]

The present invention relates to a sheet glass that can be used as a substrate for various electronic devices, specifically flat panel displays such as liquid crystal displays, electroluminescent displays, plasma displays, and field emission displays, as well as sensors, and as a cover glass for semiconductor packages such as solid-state imaging elements and laser diodes, and to a method for forming this sheet glass.

[Background Art]

[0002]

In recent years, as the electronic device industry has developed, sheet glass with a thickness of 0.3 to 3.0 mm has begun to be used in large quantities as substrates for various electronic devices, particularly flat panel displays such as liquid crystal displays, electroluminescent displays, and plasma displays, as well as cover glass for solid imaging elements. This sheet glass is actually formed using various methods, such as the overflow down-draw method, the slot down-draw method, and the float method. However, among these methods, the overflow down-draw method is known to produce sheet glass with minimal surface undulations and roughness and excellent surface qualities.

[0003]

More specifically, the overflow down-draw method is a method for forming sheet glass by allowing molten glass to flow downward from the top portion of a forming body having a wedge-shaped cross-sectional profile along both side surfaces, converging the molten glass at the lower end portion of the forming body to form a sheet-shaped glass, and pulling the sheet-shaped glass downward while holding the glass between pulling rollers, which glass eventually solidifies. Because the pulling rollers usually hold only both end portions of the flat glass in the width direction, if the small held portion (the portion outside of the effective surface) is excluded, sheet glass can be formed with a surface that has not been touched by anything, resulting in sheet glass with excellent surface qualities. As a result, this forming

method eliminates the polishing process, which is a major cause of high costs. However, when large, thin-walled sheet glass used in LCDs and other applications is formed, there is a tendency for warping to increase.

[0004]

In line with this tendency, when the warping of a glass substrate for a liquid crystal display is significant, problems arise with the forming of thin-film electrical circuits on top of the glass substrate, such as the intended exposure distance not being realized and uneven gaps appearing between the two glass sheets (substrates) sandwiching the liquid crystals, and these problems may impair display performance. Thin-film electrical circuits for liquid crystal displays used in televisions in particular are complex and require high display performance, resulting in extremely stringent warping requirements for substrates. Warping can be reduced by heat treating the formed sheet glass while it is placed on a flat plate, but adding a heat treatment process increases costs, making it undesirable.

[0005]

Against this background, various techniques have been proposed for the overflow down-draw method to form sheet glass with minimal warping (see, for example, Patent Documents 1 and 2).

[0006]

[Patent Document 1] JP H05-163032 A

[Patent Document 2] JP H10-291826 A

[Disclosure of the Invention]

[Problem to Be Solved by the Invention]

[0007]

In the sheet glass manufacturing device using the overflow down-draw method disclosed in Patent Document 1, a hollow partition plate is provided to approach the sheet-shaped glass from both sides immediately after convergences at the bottom of the forming body, thereby reducing warping and thickness unevenness of the sheet glass.

[0008]

However, in this means, the sheet-shaped glass separated from the forming body is pulled down solely by the pulling force of the pulling rollers. Therefore, when forming thin, large sheet glass, sufficient tension is not applied in the transverse (widthwise) and longitudinal directions of the sheet-shaped glass, making it prone to warping.

[0009]

In recent years, in addition to making thinner and larger sheet glass, productivity has become an important factor. Therefore, when a hollow partition plate is inserted between the forming body and the pulling rollers as described above, if the sheet glass passes through the space in the hollow partition plate in a very short period of time, the effect of using a hollow partition plate cannot be fully realized, resulting in wasteful equipment costs.

[0010]

In the sheet glass manufacturing device using the overflow down-draw method disclosed in Patent Document 2, a pair of cooling rollers are provided to hold both end portions of the sheet-shaped glass below the forming body, and a means is used to improve the warping of flat glass by making the circumferential speed of the cooling rollers lower than that of the pulling rollers. This means makes it

possible to apply tension to the horizontal and vertical directions of the sheet glass through the interaction between the cooling rollers and the pulling rollers, thereby reducing warping.

[0011]

However, even when the means disclosed in Patent Document 2 is used, given the recent trend toward thinner and larger sheet glass, which has led to more significant warping, and the difficulties with improving productivity, there are still issues that need to be resolved.

[0012]

Specifically, the cooling roller placement positions and placement conditions, as well as the relationship between the cooling roller circumferential speed and the pulling roller circumferential speed, make it as difficult to obtain high-quality sheet glass as conventional methods, when sheet glass is made thinner and larger, and when the amount of molten glass supplied to the forming body is increased to improve productivity.

[0013]

For example, Patent Document 2 mentions that slippage occurs between the sheet-shaped glass and the cooling rollers when the circumferential speed of the pulling rollers is increased, and more specifically, that slippage occurs when the circumferential speed of the cooling rollers is less than 30% of the circumferential speed of the pulling rollers. When such slippage occurs, the traveling speed of the sheet glass becomes unstable, causing transverse contraction or insufficient tension in both the longitudinal and transverse directions, which makes warping more likely to occur. However, with slippage occurring at this ratio for the circumferential speeds of both sets of rollers, it is difficult to appropriately address recent demands for thinner and larger sheet glass and improved productivity.

[0014]

In view of these circumstances, the technical problem of the present invention is to provide a high-quality sheet glass while avoiding the problems of significant warping and difficulties in improving productivity associated with the thinning and enlargement of sheet glass.

[Means for Solving the Problem]

[0015]

As a result of extensive research, the present inventor found that a cause of slippage between the sheet glass and the cooling rollers, as well as a factor contributing to poor productivity, is the cooling rollers being improperly positioned or arranged in relation to the solidification of the sheet glass. He also found that depending on the cooling roller placement positions and placement conditions, slippage does not necessarily occur when the circumferential speed of the cooling rollers is less than 30% of the circumferential speed of the pulling rolls, as described in Patent Document 2, and that there is a more appropriate ratio of the circumferential speeds between both sets of rollers, including improvements in productivity.

[0016]

More specifically, the present inventor found that (1) the viscosity of the portion of the sheet-shaped glass sandwiched between the cooling rollers was too high, (2) the distance between the bottom of the forming body and the cooling rollers was too great, and (3) the circumferential speed of the cooling rollers was too high compared to the circumferential speed of the pulling rollers, and identified the specific ranges for the numerical values in elements (1) to (3) above on this basis.

[0017]

The present invention is a product of these findings. A first aspect of the present invention, corresponding to element (1) above, is a method for forming sheet glass by allowing molten glass to

flow downward from the top portion of a forming body having a wedge-shaped cross-sectional profile along both side surfaces, converging the molten glass at the lower end portion of the forming body to form a sheet-shaped glass, and pulling the sheet-shaped glass downward while holding the glass between pulling rollers, the method for forming sheet glass characterized in that cooling rollers are provided between the forming body and the pulling rollers to hold and cool both widthwise end portions of the sheet-shaped glass, the cooling rollers holding both end portions when the viscosity of the widthwise end portions of the sheet-shaped glass is $10^{5.2}$ to $10^{8.6}$ dPa·s. A second aspect of the present invention, corresponding to element (2) above, is that the distance from the lower end portion of the forming body to the center axis of the cooling rollers is set from 30 to 200 mm. A third aspect of the present invention, corresponding to element (3) above, is that the ratio B/A of the circumferential speed A of the cooling rollers to the circumferential speed B of the pulling rollers being set from 3.5 to 20.

[0018]

Specifically, the present inventor conceived of the necessity of holding the sheet-shaped glass in a high-temperature state (low-viscosity state) as much as possible between the cooling rollers when producing thin, large flat glass with a thickness of 0.7 mm or less and an effective width of 1200 mm or more using the overflow down-draw method, in order to improve productivity while increasing the circumferential speed of the pull-down rollers and suppressing the widthwise shrinkage of the flat glass to reduce warping. He also discovered a specific means for holding sheet-shaped glass in a high-temperature state between cooling rollers, in which if sheet-shaped glass is held between the cooling rollers when the viscosity of the sheet-shaped glass at both end portions widthwise is $10^{5.2}$ to $10^{8.6}$ dPa·s, slippage between the sheet-shaped glass and the cooling rollers does not occur, resulting in a warping rate of 0.03% or less in the sheet glass. He found that this sheet glass is particularly suitable as a substrate for liquid crystal displays. Based on these findings, the present inventor devised an invention corresponding to (1) above.

[0019]

In addition, the present inventor has found that, in the process of producing thin, large sheet glass in the manner described above, in order to improve productivity while reducing warping, it is necessary to shorten the distance between the lower end portion of the forming body and the cooling rollers as much as possible. As a specific means of doing so, he found that setting the distance from the lower end portion of the forming body to the center axis of the cooling rollers to 30 to 200 mm results in a warping rate of 0.03% or less for the sheet glass, similar to that above. Based on these findings, the present inventor devised an invention corresponding to (2) above.

[0020]

In addition, the present inventor has found that, in the process of producing thin, large sheet glass in the same manner as above, in order to improve productivity while reducing warping, it is necessary to significantly increase the circumferential speed of the pulling rollers relative to the circumferential speed of the cooling rollers. As a specific means of doing so, he found that if the ratio B/A of the circumferential speed A of the cooling rollers to the circumferential speed B of the pulling rollers is set to 3.5 to 20, the warping rate of the sheet glass obtained is 0.03% or less, similar to that above. Based on these findings, the present inventor devised an invention corresponding to (3) above.

[0021]

The present invention is also a sheet glass produced based on these findings, which is a rectangular sheet glass with both sides unpolished, the sheet glass characterized in having a thickness of 0.7 mm or less, a short side length of 1000 mm or more, a long side length of 1200 mm or more, and a warping rate of 0.03% or less.

[0022]

Sheet glass with both sides unpolished and formed by the overflow down draw method has been known to be used as a substrate for liquid crystal displays, but products of the prior art, even though they have a thickness of 0.7 mm or less, a short side length of 1000 mm or more, and a long side length of

1200 mm or more, have a warping rate that exceeds 0.03%. Therefore, in this respect, the sheet glass of the present invention is a novel type of sheet glass. Using sheet glass with such an extremely low warping rate as a substrate for liquid crystal displays eliminates problems such as exposure distances not being as intended when forming thin-film electrical circuits on the substrate, and uneven gaps between the two sheets of glass (substrates) sandwiching the liquid crystals, which can impair display performance. From this perspective, the sheet glass of the present invention is suitable for use as a substrate for displays such as liquid crystal display televisions. Here, "a warping rate of 0.03% or less" means the largest warping rate among the first to fourth warping rates is 0.03% or less. Here, when sheet glass is placed with its surface facing upward on an ideal plane (specifically, the upper surface of a precision flat plate), the first warping rate is obtained by dividing the maximum warping distance (warping amount) between the ideal plane in the direction along the long side and the back surface of the sheet glass by the total length of the long side, and the second warping rate obtained by dividing the maximum warping distance (warping amount) between the ideal plane in the direction along the short side and the back surface of the sheet glass by the total length of the short side. When sheet glass is placed facing downward on an ideal plane, the third warping rate is obtained by dividing the maximum distance between the ideal plane and the surface of the sheet glass in the direction along the long side by the total length of the long side, and the fourth warping rate is obtained by dividing the maximum distance between the ideal plane in the direction along the short side and the surface of the sheet glass by the total length of the short side.

[0023]

The resulting sheet glass has a strain point of 630°C or higher, a thermal expansion coefficient of 28 to $40 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ at 30 to 380°C, a density of 2.60 g/cm³ or less, and a viscosity of $10^{5.8}$ dPa·s or higher at the liquid phase temperature, and contains, in terms of mass percentages, 55 to 70% SiO₂, 12 to 22% Al₂O₃, 3 to 15% B₂O₃, and 2 to 20% alkaline earth metal oxides, with alkaline metal oxides at 0.1% or less.

[0024]

The method for forming sheet glass according to the present invention has been described above. However, it should be added that if the method for forming sheet glass corresponding to (1) above is used, that is, the method in which both end portions of a sheet-shaped glass held between the cooling rollers has a viscosity of $10^{5.2}$ to $10^{8.6}$ dPa·s in the width direction, it confers the following advantages.

[0025]

When forming sheet glass using the overflow down-draw method, in order to efficiently produce thin, large sheet glass, the circumferential speed of the pulling rollers has to be increased, but when attempting to cool both end portions of the sheet glass in the width direction, circumferential speed of the cooling rollers has to be decreased and the contact time between the sheet glass and the cooling rollers has to be increased. However, when the end portions of the sheet glass in the width direction are cooled and their viscosity has already increased, increasing the circumferential speed of the pulling rollers while both end portions are held between the cooling rollers causes slippage between the sheet glass and the cooling rollers, resulting in unstable movement of the sheet glass and increased warping. However, in this forming method, when both end portions of the sheet-shaped glass in the width direction are still in a state of low viscosity due to high temperature, specifically when the viscosity of both end portions is $10^{8.6}$ dPa·s or less, the probability of slippage occurring between the sheet-shaped glass and the cooling rollers is extremely low even when the circumferential speed of the pulling rollers is increased. As a result, both end portions of the sheet glass in the width direction can be cooled stably, thereby sufficiently suppressing shrinkage in the width direction. In other words, the sheet-shaped glass separated from the lower end portion of the forming body is pulled downward while gradually contracting in width, but in this forming method, both end portions of the sheet glass in the width direction, which are still in a state where they are easily softened and deformed immediately after being separated from the forming body, are held between cooling rollers, and the traveling speed can be reduced, thereby suppressing shrinkage in the width direction. In this state, the sheet glass is pulled downward, and solidifies with tension acting in both the horizontal and vertical directions. This makes it possible to easily form thin, large sheet glass with minimal warping. Also, even if the circumferential speed of the pulling rollers is increased, slippage is unlikely to occur, enabling improved productivity. Here, if the

sheet-shaped glass is too soft when it is held between the cooling rollers, the glass may wrap around the cooling rollers or cause the cooling rollers to deteriorate. Therefore, it is necessary to hold the sheet-shaped glass between the cooling rollers only after the viscosity of the sheet-shaped glass at both ends in the width direction is $10^{5.2}$ dPa·s or higher. The lower limit value of the viscosity mentioned above is preferably $10^{5.7}$ dPa·s, and the upper limit value is preferably $10^{7.5}$ dPa·s. Additionally, the lower limit value of the viscosity mentioned above is more preferably $10^{6.0}$ dPa·s, and the upper limit value is more preferably $10^{7.0}$ dPa·s.

[0026]

When the forming method corresponding to (2) above is used, that is, the forming method in which the distance from the lower end portion of the forming body to the center axis of the cooling rollers is 30 to 200 mm, it confers the following advantages.

[0027]

In other words, when the distance from the lower end portion of the forming body to the center axis of the cooling rollers is long and, as in the above case, both ends of the sheet-shaped glass in the width direction are cooled and their viscosity is already high when they are held between the cooling rollers, increasing the circumferential speed of the pulling rollers in order to increase productivity causes slippage between the sheet glass and the cooling rollers, resulting in instability in the traveling speed of the sheet glass and increased warping. However, in this forming method, when both end portions of the sheet-shaped glass in the width direction are still in a state of low viscosity due to high temperature, specifically at a position where the separation distance from the lower end portion of the forming body is within 200 mm, both end portions of the sheet-shaped glass in the width direction are held by the cooling rollers. Therefore, even if the circumferential speed of the pulling rollers is increased, the probability of slippage occurring between the sheet glass and the cooling rollers is extremely low. Therefore, by using this forming method, it is possible to easily form thin, large, and low-warping sheet glass for the same reasons as above. Also, even if the circumferential speed of the pulling rollers is increased, slippage is unlikely to occur, making it possible to improve productivity. In addition, if the distance between the lower end portion of the forming body and the center axis of the cooling rollers is too short, the sheet glass will be too soft when it is held between the cooling rollers, and problems such as glass wrapping around the cooling rollers will occur. Therefore, the distance between the lower end portion of the forming body and the center axis of the cooling rollers must be 30 mm or more. Note that the preferred upper limit for this separation dimension is 100 mm.

[0028]

When the forming method corresponding to (3) above is used, that is, the ratio B/A of the circumferential speed A of the cooling rollers to the circumferential speed B of the pulling rollers is set to 3.5 to 20, it confers the following advantages.

[0029]

In other words, as mentioned above, when forming sheet glass using the overflow down-draw method, in order to efficiently produce large, thin-walled sheet glass, the circumferential speed of the pulling rollers has to be increased. However, in order to properly cool both ends of the sheet glass in the width direction, the circumferential speed of the cooling rollers has to be reduced. When the difference between the circumferential speed A of the cooling rollers and the circumferential speed B of the pulling rollers is small, in other words, when the above ratio B/A is small, if conditions are set to increase the circumferential speed of the pulling rollers to improve productivity, the circumferential speed A of the cooling roller will increase. This makes it difficult to cool the sheet glass appropriately with the cooling rollers and to ensure a stable traveling speed for the sheet glass. As a result, when forming thin, large sheet glass, it is extremely difficult to achieve high productivity and reduce warping by establishing appropriate forming conditions. However, in this forming method, the cooling roller circumferential speed A and the pulling roller circumferential speed B are set so that they differ sufficiently, specifically so that the ratio B/A is 3.5 or greater, making it possible to improve the productivity of thin, large sheet glass while minimizing warping. If the difference between the circumferential speed A of the cooling rollers and the circumferential speed B of the pulling rollers is excessively large (that is, ratio B/A is excessively

large), the forming conditions become unstable, making it difficult to obtain sheet glass of the desired shape in a stable manner. Therefore, in this forming method, the ratio B/A is set to 20 or less. After full consideration of the matters described above, the lower limit of the ratio B/A is preferably 4, and the upper limit is preferably 15.

[0030]

In the forming methods described above, a heater is preferably provided near the side portion and/or the top portion of the forming body to heat the glass.

[0031]

In this way, the viscosity of the molten glass flowing down from the top of the forming body along the side surfaces can be adjusted, enabling appropriate changes to be made to the viscosity of the sheet-shaped glass held between the cooling rollers, the distance between the lower end portion of the forming body and the cooling rollers, and the ratio of the circumferential speed of the cooling rollers to that of the pulling rollers. This makes it possible to easily set favorable forming conditions.

[0032]

In addition, in the forming methods described above, auxiliary cooling rollers are preferably provided at one or more locations in the downstream direction below the cooling rollers.

[0033]

In other words, even after being cooled while held between cooling rollers, sheet glass tends to contract further in the width direction below the rollers. However, by installing auxiliary cooling rollers below the cooling rollers, the auxiliary cooling rollers also hold the width end portions of the sheet glass, thereby suppressing widthwise contraction of the sheet glass after it leaves the cooling rollers. As a result, sheet glass with a larger effective width can be obtained. In this case, the circumferential speed of the auxiliary cooling rollers is preferably less than 80% of the circumferential speed of the pulling rollers. This is because when the circumferential speed of the auxiliary cooling rollers exceeds 80% of the circumferential speed of the pulling rollers, the cooling effect on the sheet glass is significantly reduced, making it difficult to efficiently suppress shrinkage in the width direction. Note that the circumferential speed of the auxiliary cooling rollers is more preferably less than 70% of the circumferential speed of the pulling rollers. In order to further enhance the effect of suppressing contraction of the sheet glass in the width direction, auxiliary cooling rollers are preferably installed at as many points as possible in the vertical direction. However, given manufacturing conditions and cost, it is reasonable to install auxiliary cooling rollers at one to four locations in the vertical direction. When auxiliary cooling rollers are provided as described above, all of the matters described above concerning the cooling rollers located above them remain valid.

[Effects of the Invention]

[0034]

As described above, the present invention is able to provide thin, large sheet glass that eliminates problems such as the exposure distance not being as intended when forming thin film electrical circuits on a substrate for liquid crystal displays, and the unevenness of gaps occurring between the two sheets of glass (substrates) sandwiching the liquid crystals, which can impair display performance.

[0035]

Also, in the present invention, even when thin-walled, large sheet glass with a thickness of 0.7 mm or less and an effective width of 1200 mm or more (preferably 1500 mm or more, more preferably 2000 mm or more) is formed using the overflow down-draw method, a forming method can be provided that enables improvements in productivity and a reduction in warping.

[Best Mode of Carrying Out the Invention]

[0036]

An embodiment of the present invention will now be described with reference to the appended drawings.

[0037]

FIG. 1 is a cross-sectional view showing an exaggerated representation of the sheet glass in an embodiment of the present invention. As shown in this figure, the sheet glass 1 has a rectangular shape with both the front surface and the back surface remaining unpolished, a thickness t of 0.7 mm or less, a short side length $L1$ of 1000 mm or more, a long side length ($L2$) of 1200 mm or more, and a warping rate of 0.03% or less. Here, the warping rate includes, when the sheet glass 1 is placed on the top surface J of a precision flat plate, the warping rate of the long side $\{(S1/L1) \times 100\}$ obtained by dividing the maximum separation distance (warping rate) $S1$ between the upper surface J of the precision flat plate and the lower surface of sheet glass 1 in the direction parallel to the long side divided by the total length $L1$ of the long side, and the warping rate of the long side $\{(S2/L2) \times 100\}$ obtained by dividing the maximum separation distance (warping rate) $S2$ between the upper surface J of the precision flat plate and the lower surface of sheet glass 1 in the direction parallel to the short side divided by the total length $L2$ of the short side. Here, the "warping rate of 0.03% or less" described above means a 0.03% warping rate for the maximum value among the four warping rates consisting of the warping rate of the long side and the warping rate of the short side when the sheet glass 1 is placed on the upper surface J of a precision flat plate with its surface facing upward, and the warping rate of the long side and the warping rate of the short side when the sheet glass 1 is placed on the upper surface J of a precision flat plate with its surface facing downward. (The same applies to "0.02% or less" and "0.01% or less" below.)

[0038]

Here, the warping rate of the sheet glass 1 is preferably 0.02% or less, and more preferably 0.01% or less. In addition, the length $L1$ of the short side and the length $L2$ of the long side may each be 1500 mm or more, or even 2000 mm or more. In addition, the thickness t of sheet glass 1 may be 0.65 mm or less, or even 0.60 mm or less, but if the thickness t is too thin, the strength will be significantly reduced and the formability will deteriorate. Therefore, the thickness t is preferably 0.03 mm or more, and more preferably 0.1 mm or more.

[0039]

The sheet glass 1 also has a strain point of 630°C or higher, a thermal expansion coefficient of 28 to $40 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ at 30 to 380°C, a density of 2.60 g/cm³ or less, and a viscosity of $10^{5.8}$ dPa·s or higher at the liquid phase temperature. It also exhibits excellent chemical resistance, including resistance to buffered hydrofluoric acid and hydrochloric acid. Sheet glass 1 with these characteristics is particularly suitable for use as a liquid crystal display substrate. If the viscosity at the liquid phase temperature is $10^{5.8}$ dPa·s or higher as described above, even when formed sheet-shaped glass is at a relatively low temperature, no opaque particles are generated in the glass, and formability is improved, making this desirable. In consideration of this, a viscosity of $10^{5.9}$ dPa·s or higher is more preferable.

[0040]

The composition of this sheet glass 1 is, in terms of mass percentages, 55 to 70% SiO₂, 12 to 22% Al₂O₃, 3 to 15% B₂O₃, and 2 to 20% alkaline earth metal oxides, while not substantially containing alkali metal oxides (in other words, alkali metal oxides are 0.1% or less in terms of mass percentage). When sheet glass 1 has this composition, it is particularly suitable for use as a substrate for liquid crystal displays, and within this composition range, sheet glass 1 with the above characteristics can be obtained by appropriately combining the appropriate amount of each constituent component.

[0041]

The reasons for limiting the glass composition ranges above are as follows. First, if SiO_2 becomes too low, the chemical resistance of the glass tends to decrease, and conversely, if it becomes too high, the fusibility of the glass deteriorates and opaque impurities (cristobalite) tend to form in the glass. Therefore, the amount of SiO_2 should be between 50 and 70%, and preferably between 55 and 68%. Second, when Al_2O_3 becomes too low, the liquid phase temperature rises, making it easier for opaque impurities (cristobalite) to form in the glass, while decreasing the strain point of the glass. Conversely, when Al_2O_3 becomes too high, the resistance of the glass to buffered hydrofluoric acid decreases, along with its opacity, making it easier for opaque impurities such as mullite or feldspar-based impurities to form in the glass. Therefore, the amount of Al_2O_3 should be between 10 and 19%, and preferably between 11 and 18%. Third, B_2O_3 acts as a fluxing agent, reducing the high-temperature viscosity of glass and improving its meltability. When the amount of B_2O_3 becomes too low, its fluxing agent function becomes insufficient, and the resistance of glass to buffered hydrofluoric acid decreases. Conversely, when the amount becomes too high, the strain point of the glass decreases, leading to reduced heat resistance and deteriorating acid resistance. Therefore, the amount of B_2O_3 should be between 5 and 15%, and preferably between 7 and 14%. Fourth, if the amount of alkaline earth metal oxides ($\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO}$) becomes too low, the meltability of the glass deteriorates and the liquid phase temperature tends to rise. Conversely, if the amount becomes too high, the density of the glass tends to increase. Therefore, the amount of alkaline earth metal oxides should be 5 to 20%, and preferably 7 to 18%. In addition to the components mentioned above, in order to improve meltability, resistance to loss of transparency, and acid resistance, and to adjust the coefficient of thermal expansion, components such as ZnO , P_2O_5 , ZrO_2 , Y_2O_3 , Nb_2O_3 , La_2O_3 , TiO_2 , etc., may be included each in an amount of 5% or less, and clarifying agents such as As_2O_3 , Sb_2O_3 , Cl , F , SO_3 , etc., may be included each in an amount up to 2%. However, if the glass contains alkali metal oxides (Li_2O , Na_2O , K_2O), these components diffuse into the semiconductor elements formed on the substrate and adversely affect the semiconductor elements. Therefore, it is desirable that these components be substantially absent. Therefore, the amount of these components should be kept to 0.1% or less.

[0042]

FIG. 2 is a side view showing an embodiment of the sheet glass forming method, and FIG. 3 is a front view thereof. Before explaining the method for forming sheet glass, the configuration of the forming device used to embody the method will be described based on FIG. 2 and FIG. 3. The basic configuration of the forming device 2 comprises a forming body 3 having a wedge-shaped cross-sectional profile and an overflow groove 3a formed in the top portion, pulling rollers 4 for pulling down the molten glass Y overflowing from the top portion of the forming body 3 as a sheet-shaped glass G, and upper cooling rollers 5 and lower auxiliary cooling rollers 6 arranged in the glass forming path from the lower end 3b of the forming body 3 to the pulling rollers 4. Each of components 3, 4, 5, and 6 is surrounded by a furnace wall 7 made of fire-resistant bricks. In addition, in this embodiment, a plurality of heaters 8 capable of zone heating the glass (molten glass) flowing down the side surface 3c of the forming body 3 in the vertical and horizontal directions are arranged around the periphery of the side surface 3c of the forming body 3 on both sides of the forming body 3 within the inner surface of the side wall portion of the furnace wall 7.

[0043]

Four pairs of pulling rollers 4 holding only the end portions of sheet glass G in the width direction are provided, one pair at each end. Two pulling rollers 4 on the front side of the sheet-shaped glass G are connected by a shaft member 4a to rotate integrally, and the two pulling rollers 4 on the rear side are also connected by a shaft member 4a to rotate integrally. These pulling rollers 4 are provided with rotational driving force. Four pairs of cooling rollers 5 holding only the end portions of sheet glass G in the width direction are provided, one pair at each end. The two cooling rollers 5 on the front side of the sheet glass G are separated and can rotate independently, and the two cooling rollers 5 on the back side are also separated and can rotate independently (the same applies to the auxiliary cooling rollers 6). The cooling rollers 5 are driven rollers that are rotated by a rotational driving force, whereas the auxiliary cooling rollers 6 are non-driven rollers that rotate freely without being driven by a rotational driving force.

[0044]

The pulling rollers 4, cooling rollers 5, and auxiliary cooling rollers 6 are formed of stainless steel, heat-resistant steel, or ceramics. These rollers 5, 6 are also hollow inside, allowing a coolant to flow through the hollow portion to the axial end portion. Here, a gas or liquid can be used as the coolant.

[0045]

The cooling rollers 5 are arranged so as to hold and cool the sheet-shaped glass G, which has just been formed into a single sheet by molten glass Y flowing down from the top portion of the forming body 3 along both sides 3c and converging at the lower end 3b of the forming body 3. More specifically, the cooling rollers 5 are maintained at positions where they hold the end portions of the sheet-shaped glass G in the width direction when the viscosity at the end portions is $10^{5.2}$ to $10^{8.6}$ dPa·s, preferably $10^{5.7}$ to $10^{7.5}$ dPa·s (and more preferably $10^{6.0}$ to $10^{7.0}$ dPa·s). In order to satisfy these conditions, the distance (a) from the lower end portion 3b of the forming body 3 to the center axis of the cooling rollers 5 is set from 30 to 200 mm, and more preferably to from 30 to 100 mm. Here, the distance (b) between the center axis of the cooling rollers 5 and the center axis of the auxiliary cooling rollers 6 is set from 50 to 300 mm, and more preferably to from 100 to 200 mm.

[0046]

The ratio of the circumferential speed of the cooling rollers 5 to that of pulling rollers 4 is set from 1:3.5 to 1:20, and more preferably to from 1:4 to 1:15, and the circumferential speed of auxiliary cooling rollers 6 is set to be at least within the range of the circumferential speed of the cooling rollers 5, and less than 80%, and more preferably less than 70%, of the circumferential speed of pulling rollers 4.

[0047]

In a forming device 2 with the configuration described above, the molten glass Y supplied to the forming body 3 and flowing down along the side 3c from the top portion thereof is adjusted in terms of viscosity by the heaters 8 and converges at the lower end 3b of the forming body 3 to form a single sheet of glass. This sheet-like glass G is then held by the pulling rollers 4 and pulled downward. In the initial stage of pulling by the pulling rollers 4, the cooling rollers 5 come into contact with both ends of the sheet glass G in the width direction and moderately cool the surrounding contact portions. The viscosity at the contact portions between the sheet glass G and the cooling rollers 5 is fairly low, as mentioned above. Therefore, even if the circumferential speed of the pulling rollers 4 is increased to improve productivity, slippage between the sheet glass G and the cooling rollers 5 is unlikely to occur.

[0048]

Also, since the distance between the lower end portion 3b of the forming body 3 and the center axis of the cooling rollers 5 has been appropriately shortened as described above, the viscosity at the contact portions between the sheet-shaped glass G and the cooling rollers 5 can be effectively lowered. In addition, the circumferential speed of the pulling rollers 4 is appropriately increased relative to the circumferential speed of the cooling rollers 5, as described above, thereby preventing obstruction of travel by the sheet-shaped glass G and enabling a significant increase in productivity.

[0049]

In this way, while the sheet-shaped glass G is being pulled downward, the auxiliary cooling rollers 6 also hold the end portions of the sheet-shaped glass G in the widthwise direction and perform auxiliary cooling. If the auxiliary cooling rollers 6 were not present, the sheet glass G would contract in the width direction as indicated by the dotted lines (and by X) in FIG. 3, and it would not be possible to obtain wide sheet glass. By providing auxiliary cooling rollers 6 as in the present embodiment, it is possible to suppress the widthwise contraction of the sheet glass G, which is advantageous for producing thinner and larger sheet glass. In consideration of this, auxiliary cooling rollers 6 are preferably arranged at multiple stages (for example, two to four stages) between the uppermost cooling rollers 5 and the lowermost pulling rollers 4.

[Examples]

[0050]

In Example 1 of the present invention, a device having the same basic configuration as the forming device 2 shown in FIG. 2 and FIG. 3 but without auxiliary cooling rollers 6 was used to form sheet glass with a composition of SiO₂ 60%, Al₂O₃ 15%, B₂O₃ 10%, CaO 6%, SrO 6%, BaO 2%, and 1% clarifying agent in terms of mass percentages (No. OA-10 from Nippon Electric Glass Co., Ltd.). The width of the forming body 3 in this device was 2500 mm, and the distance from the lower end 3b of the forming body 3 to the center axis of the cooling rollers 5 was 100 mm. Note that the coolant for the cooling rollers 5 was air. During formation, the heaters 8 heated the molten glass Y flowing down along both sides 3c of the forming body 3 and the sheet-shaped glass G between lower end 3b of forming body 3 and cooling rollers 5 so that the viscosity of the end portions of sheet-shaped glass G in the width direction was 10^{6.9} dPa·s when held between cooling rollers 5. The circumferential speed of the pulling rollers 4 was set to 200 cm/min, and the circumferential speed of the cooling rollers 5 was set to 40 cm/min.

[0051]

The sheet glass formed under these conditions had a sheet width of 2100 mm, a thickness of 0.7 mm at the center in the widthwise direction, and an effective width of 1800 mm or more, with the thickness falling within the range of 0.7 mm ± 0.05 mm. This sheet glass was cut to dimensions of 1800 mm on the short side and 2200 mm on the long side, and the warping rate was calculated. The results showed that the warping rate was 0.01% or less on both the short side and the long side. In addition, this sheet glass had a strain point of 660°C, a thermal expansion coefficient of $37 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ at 30 to 380°C, a density of 2.49 g/cm³, and a viscosity of 10⁶ dPa·s or higher at the liquid phase temperature. It also exhibits excellent resistance to buffered hydrofluoric acid and hydrochloric acid. Note that the strain point was measured using the method specified in ASTM C336-71, the thermal expansion coefficient was measured using a push-rod type thermal expansion measuring device, and the density was measured using the well-known Archimedes method. The viscosity of the sheet glass at the liquid phase temperature was determined by first grinding the glass into particles of 300 to 500 μm in diameter, filling a platinum boat with the ground glass, holding the glass in a temperature gradient furnace for eight hours, and then using a microscope to determine the highest temperature at which crystals precipitated inside. This temperature was used as the liquid phase temperature, and the viscosity corresponding to this liquid phase temperature was measured using the well-known platinum ball pull-up method. The buffered hydrofluoric acid resistance was evaluated by optically polishing the glass surface, immersing the glass in a buffered hydrofluoric acid solution consisting of 38.7 mass% ammonium fluoride and 1.6 mass% hydrofluoric acid maintained at 20°C for 30 minutes, and then observing the surface conditions. In addition, acid resistance was evaluated by optically polishing the glass surface, immersing the glass in a 10 mass% hydrochloric acid solution maintained at 80°C for 24 hours, and then observing the surface condition. The sheet glass showed no surface changes and thus had excellent chemical resistance.

[0052]

In Example 2 of the present invention, a forming device comprising auxiliary cooling rollers 6 in addition to cooling rollers 5 is provided, that is, one having the same components as those shown in FIG. 2 and FIG. 3. A sheet glass with the same composition as the sheet glass formed in Example 1 was formed using a forming device similar to the one in Example 1, differing only in that it was provided with auxiliary cooling rollers 6. In this forming device, the distance between the center axis of the cooling rollers 5 and the center axis of the auxiliary cooling rollers 6 was set to 200 mm, and the end portions of the sheet-shaped glass G were held by the cooling rollers 5 when the viscosity of the end portions was 10^{6.9} dPa·s, the circumferential speed of the pulling rollers 4 was set to 220 cm/min, the circumferential speed of the cooling rollers 5 are set to 33 cm/min, and the circumferential speed of auxiliary cooling rollers 6 was set to 155 cm/min. Also, the cooling medium for both the cooling rollers 5 and the auxiliary cooling rollers 6 was air.

[0053]

The sheet glass formed under these conditions had a sheet width of 2250 mm, a thickness of 0.63 mm at the center widthwise, and an effective width of 1950 mm or more, with the thickness falling within the range of $0.63 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$. Then, this sheet glass was cut to dimensions of 1950 mm on the short side and 2200 mm on the long side, and the warping rate was calculated. The results showed that the warping rate was 0.01% or less on both the short side and the long side.

[0054]

In Example 3 of the present invention, a sheet glass with the same composition as that described in Example 1 was formed using a forming device with the same components as those used in Example 2. The forming device used in Example 3 differs from the forming device in Example 2 in that the width of the forming body 3 is 2000 mm, and the circumferential speed of the pulling rollers 4 is 500 cm/min, the circumferential speed of the cooling rollers 5 is 40 cm/min, and the circumferential speed of the auxiliary cooling rollers 6 is 300 cm/min.

[0055]

The sheet glass formed under these conditions had a sheet width of 1600 mm, a thickness of 0.2 mm at the center widthwise, and an effective width of 1200 mm or more, with the thickness falling within the range of $0.2 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$. Then, this sheet glass was cut to dimensions of 1200 mm on the short side and 1400 mm on the long side, and the warping rate was calculated. The results showed that the warping rate was 0.02% or less on both the short side and the long side.

[Brief Description of the Drawings]

[0056]

[FIG. 1] FIG. 1 is a cross-sectional view showing an exaggerated representation of the sheet glass in an embodiment of the present invention.

[FIG. 2] FIG. 2 is a side view showing the main components of the forming device used to form the sheet glass.

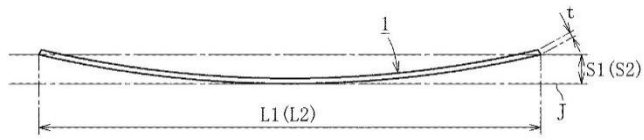
[FIG. 3] FIG. 3 is a front view showing the main components of the forming device used to form the sheet glass.

[Reference Numbers]

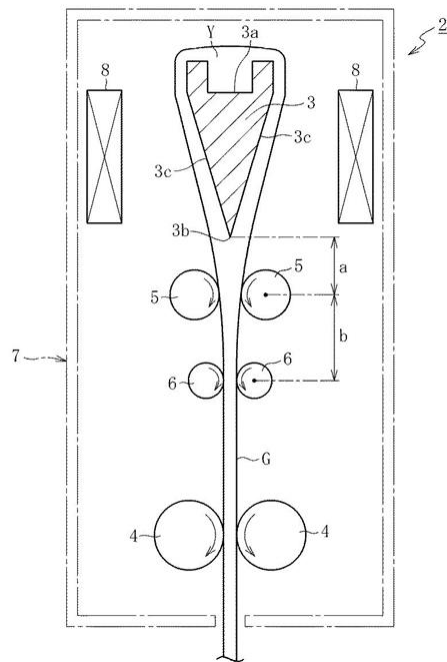
[0057]

- 1: Sheet glass
- 2: Forming device
- 3: Forming body
- 3b: Lower end portion of the forming body
- 3c: Side portion of the forming body
- 4: Pulling roller
- 5: Cooling roller
- 6: Auxiliary cooling roller
- 8: Heater
- Y: Molten glass
- G: Sheet glass
- a: Distance from the lower end portion of the forming body to the center axis of the cooling rollers

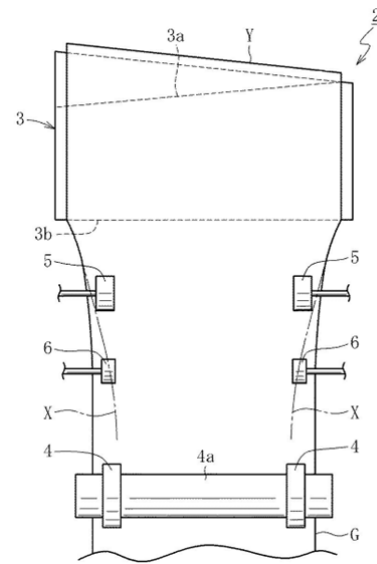
[FIG. 1]



[FIG. 2]



[FIG. 3]



Continued from front page

(72) Inventor Tomonori KANO
Nippon Electric Glass Co., Ltd., 2-7-1, Seiran, Otsu-shi, Shiga-ken

F Terms (Reference) 2H090 JB02 JC00 JD09 JD14
4G062 AA01 BB01 DA06 DB04 DC03 DC04 DD01 DE01 DF01 EA01 EA10 EB01
EC01 ED01 ED03 ED04 EE01 EE03 EE04 EF01 EF03 EF04 EG01 EG03
EG04 FA01 FA10 FB01 FC01 FD01 FE01 FF01 FG01 FH01 FJ01 FK01 FL01
GA01 GA10 GB01 GC01 GD01 GE01 HH01 HH03 HH05 HH07 HH09 HH11
HH13 HH15 HH17 HH20 JJ01 JJ03 JJ05 JJ07 JJ10 KK01 KK03 KK05 KK07
KK10 MM12 NN29 NN34
5C094 AA36 AA43 BA27 BA31 BA43 EB02 GB10 JA01 JA08