

(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2021-66655
(P2021-66655A)

(43) 公開日 令和3年4月30日(2021.4.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C03B 33/09 (2006.01)	C03B 33/09	4E168
C03B 17/06 (2006.01)	C03B 17/06	4G015
B23K 26/53 (2014.01)	B23K 26/53	
B23K 26/073 (2006.01)	B23K 26/073	

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L 外国語出願 (全 57 頁)

(21) 出願番号 特願2020-179411 (P2020-179411)	(71) 出願人 504299782 ショット アクチエンゲゼルシャフト Schott AG ドイツ連邦共和国 マインツ ハッテンベルクシュトラーセ 10 Hattenbergstr. 10, D-55122 Mainz, Germany
(22) 出願日 令和2年10月27日 (2020.10.27)	(74) 代理人 100114890 弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
(31) 優先権主張番号 10 2019 129 036.8	(74) 代理人 100098501 弁理士 森田 拓
(32) 優先日 令和1年10月28日 (2019.10.28)	(74) 代理人 100116403 弁理士 前川 純一
(33) 優先権主張国・地域又は機関 ドイツ (DE)	

最終頁に続く

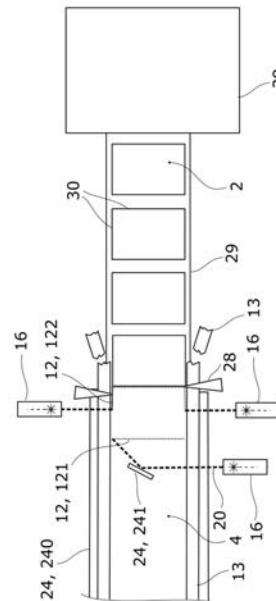
(54) 【発明の名称】 ガラス板の製造方法、および該方法により製造されたガラス板並びにその使用

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 高い冷却速度にも関わらずガラス板の端部強度が高いことを確実にする、超薄ガラス板を製造するための経済的な方法を提供する。

【解決手段】 ガラス溶融物から、15 μm ~ 2 mm の範囲の所定のガラス厚を有する連続するガラスリボン (4) を熱間成型する段階、前記ガラスリボン (4) を前記所定のガラス厚に依存して選択された冷却速度で冷却する段階、ビーム形成光学系を用いて、レーザービーム (20) の焦点領域を、その焦点領域がガラスリボン (4) の厚さよりも大きくなるように生成する段階、フィラメント状の傷が好ましくは前記ガラスリボン (4) の一方の側面から反対側の側面へと延伸するように、前記レーザービーム (20) によってフィラメント状の傷からの目標破断線 (12) を前記ガラスリボン (4) に導入する段階を含む方法が提供される。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ガラス板(2)の製造方法であって、以下の段階：

- ・ ガラス溶融物(10)から、 $15\mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ の範囲の所定のガラス厚(d)を有する連続するガラスリボン(4)を熱間成型する段階、
- ・ 前記ガラスリボン(4)を前記所定のガラス厚(d)に依存して選択された冷却速度で冷却する段階、
- ・ 少なくとも1つの超短パルスレーザー(16)を用いてレーザービーム(20)を生成する段階、
- ・ ビーム形成光学系を用いて、前記レーザービーム(20)の焦点領域(22)を、その焦点領域(22)がガラスリボン(4)のガラス厚よりも大きくなるように生成する段階、
- ・ 前記レーザービーム(20)によって、フィラメント状の傷(14)が好ましくはガラスリボン(4)の一方の側面(51)から反対側の側面(52)へと延在するようにフィラメント状の傷(14)からの目標破断線(12)を前記ガラスリボン(4)に導入する段階、

10

その際、前記フィラメント状の傷(14)は前記目標破断線(12)に沿って間隔をあけて導入され、

その際、前記ガラスリボン(4)を横切る横方向の目標破断線(121)と、各々厚くなった耳部(13)を有する縁を有する前記ガラスリボン(4)に対して縦の両側の縦方向の目標破断線(122)とが生成される、

20

・ 前記縦方向の目標破断線(122)に沿った耳部(13)を分離して、端部(30)を形成する段階、並びに

・ 前記ガラスリボン(4)を横切って走る横方向の目標破断線(122)のところで分けることによりガラス板(2)を分離して、端部(30)を形成する段階、を有する、前記方法。

【請求項 2】

前記ガラスリボン(4)が、 40ケルビン/秒 以上、好ましくは 100ケルビン/秒 以上、特に好ましくは 150ケルビン/秒 以上、または 200ケルビン/秒 以上の冷却速度で冷却されることを特徴とする、請求項1に記載のガラス板(2)の製造方法。

30

【請求項 3】

前記ガラスリボン(4)が、 $(1/d) \cdot 4500\text{ケルビン}/(\text{秒} \cdot \mu\text{m}) \sim (1/d) \cdot 9000\text{ケルビン}/(\text{秒} \cdot \mu\text{m})$ [前記dはガラスリボン(4)の厚さを示す]の範囲である冷却速度で冷却されることを特徴とする、請求項1または2に記載のガラス板(2)の製造方法。

【請求項 4】

前記ガラスリボン(4)の冷却を、ガラス転移温度の範囲で目標破断線(12)を導入する前に、有利には軟化点を下回る温度で、特に好ましくはガラス転移温度を下回る温度で行い、且つその際、前記ガラスリボン(4)の冷却を任意に追加的に、目標破断線(12)を導入する間および/またはその後に行うことを特徴とする、請求項1から3までのいずれか1項に記載のガラス板(2)の製造方法。

40

【請求項 5】

前記冷却を、冷却炉(27)内で、殊に発熱体を用いて行うことを特徴とする、請求項1から4までのいずれか1項に記載のガラス板(2)の製造方法。

【請求項 6】

前記レーザービーム(20)のビームのプロファイルが、レーザービーム(20)の広がり目標破断線(12)の方向で、該目標破断線(12)を横切る方向よりも大きくなるように形成されることを特徴とする、請求項1から5までのいずれか1項に記載のガラス板(2)の製造方法。

【請求項 7】

50

ビーム形成光学系（１８）によって、水平の優先方向を有するビームのプロファイル、好ましくは楕円形のビームのプロファイル（３２）、または液滴状のビームのプロファイル（３３）、または二重ビームの形状でのビームのプロファイル、または菱形のビームのプロファイル（３５）、またはダンベル形のビームのプロファイル（３６）、またはくさび形のビームのプロファイル（３７）、または主ビームと、より弱い強度または広がりをも有する周辺部とを有するビームのプロファイル（３８）が生成されることを特徴とする、請求項１から６までのいずれか１項に記載のガラス板（２）の製造方法。

【請求項８】

前記ビーム形成光学系（１８）を用いて、レーザービーム（２０）が、その焦点領域（２２）において、前記レーザービーム（２０）の目標破断線に沿った方向での広がりが、目標破断線に垂直な方向での広がりよりも１．３～５倍の範囲、有利には１．５～４倍の範囲で大きくなるように形成されることを特徴とする、請求項１から７までのいずれか１項に記載のガラス板（２）の製造方法。

10

【請求項９】

前記フィラメント状の傷（１４）が、進行方向に対して垂直な鏡像に関して非対称なビームのプロファイルをも有するレーザービーム（２０）を用いて導入されることを特徴とする、請求項１から８までのいずれか１項に記載のガラス板（２）の製造方法。

【請求項１０】

前記フィラメント状の傷（１４）が並び合っ、最大でガラス厚（ d ）の大きさの間隔をあけて導入され、有利には互いに隣り合うフィラメント状の傷（１４）の間の平均間隔 $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ の範囲、好ましくは $3\ \mu\text{m} \sim 8\ \mu\text{m}$ の範囲で導入されることを特徴とする、請求項１から９までのいずれか１項に記載のガラス板（２）の製造方法。

20

【請求項１１】

前記目標破断線（１２）の導入が、まず前記ガラスリボン（４）を横切って、横方向の目標破断線（１２１）を生成し、次いで前記ガラスリボン（４）に対して縦に、縦方向の目標破断線（１２２）を生成する順で行われることを特徴とする、請求項１から１０までのいずれか１項に記載のガラス板（２）の製造方法。

【請求項１２】

複数の超短パルスレーザー（１６）を使用し、その際、少なくとも１つの第１の超短パルスレーザー（１６）が横方向の目標破断線（１２１）を導入し、且つ少なくとも１つの第２の超短パルスレーザー（１６）が縦方向の目標破断線（１２２）を導入することを特徴とする、請求項１から１１までのいずれか１項に記載のガラス板（２）の製造方法。

30

【請求項１３】

冷却に依存する端部強度 $K G_K$ を有する端部（３０）をも有するガラス板（４）を製造し、前記 $K G_K$ は以下の式：

$$K G_K = K G / K、\text{もしくは} K G = K G_K \cdot K$$

[式中、 $K G$ は MPa での強度の値を示し、且つ K はケルビン／秒での冷却速度を示す] を満たし、

少なくとも $30\ \mu\text{m}$ のガラス厚（ d ）について、前記冷却に依存する端部強度 $K G_K$ は $0.2\ \text{MPa} \cdot \text{秒} / \text{ケルビン}$ を上回り、好ましくは $0.5\ \text{MPa} \cdot \text{秒} / \text{ケルビン}$ を上回り

40

、
少なくとも $50\ \mu\text{m}$ のガラス厚（ d ）について、前記冷却に依存する端部強度 $K G_K$ は $0.5\ \text{MPa} \cdot \text{秒} / \text{ケルビン}$ を上回り、好ましくは $0.9\ \text{MPa} \cdot \text{秒} / \text{ケルビン}$ を上回り、且つ

少なくとも $100\ \mu\text{m}$ のガラス厚（ d ）について、前記冷却に依存する端部強度 $K G_K$ は $1.5\ \text{MPa} \cdot \text{秒} / \text{ケルビン}$ を上回り、好ましくは $2\ \text{MPa} \cdot \text{秒} / \text{ケルビン}$ を上回ること

【請求項１４】

前記ガラスリボン（４）の軸の位置が、好ましくは少なくとも１つの押し付けロール、

50

押し付けエッジを用いて、または吸引によって、前記焦点領域内に固定されていることを特徴とする、請求項 1 から 13 までのいずれか 1 項に記載のガラス板 (2) の製造方法。

【請求項 15】

前記縦方向の目標破断線 (122) のところでの前記耳部 (13) の分離、およびガラスリボン (4) を横切って走る前記横方向の目標破断線 (121) のところで分けることによるガラス板 (2) の分離を機械的に行うことを特徴とする、請求項 1 から 14 までのいずれか 1 項に記載のガラス板 (2) の製造方法。

【請求項 16】

請求項 1 から 15 までのいずれか 1 項に記載の方法によって製造される、 $15\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲のガラス厚 (d) を有するガラスリボン (4) であって、前記ガラスリボン (4) は、耳部 (13) を分離できるように縁の内側にフィラメント状の傷 (14) からの縦方向の目標破断線 (122) を有し、且つガラス板を分離するために前記ガラスリボン (4) を横切るフィラメント状の傷 (14) からの横方向の目標破断線 (121) を有し、ここで前記フィラメント状の傷 (14) は好ましくは前記ガラスリボン (4) の一方の側面 (51) から反対側の側面 (52) へと延在し、且つここで前記フィラメント状の傷 (14) は目標破断線 (12) に沿って間隔をあけて導入されている、前記ガラスリボン (4) 。

10

【請求項 17】

前記フィラメント状の傷 (14) が、最大でもガラス厚 (d) の深さであり、互いに隣り合うフィラメント状の傷 (14) の間の平均間隔 $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ の範囲、好ましくは $3\ \mu\text{m} \sim 8\ \mu\text{m}$ の範囲で導入されていることを特徴とする、請求項 16 に記載のガラスリボン (4) 。

20

【請求項 18】

$15\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ のガラス厚 (d) を有する、好ましくは $100\ \mu\text{m}$ 以下、 $50\ \mu\text{m}$ 以下、または $30\ \mu\text{m}$ 以下のガラス厚 (d) を有する、好ましくは $6\ \text{ppm}$ / ケルビンを上回る熱膨張係数を有する、請求項 1 から 12 までのいずれか 1 項に記載の方法によって製造されるガラス板 (2) であって、前記ガラス板 (2) が 7 を上回るワイブル係数 (DIN EN 843 - 5 による)、および $130\ \text{MPa}$ を上回る、有利には $150\ \text{MPa}$ を上回る特徴的な破壊応力を有することを特徴とする、前記ガラス板 (2) 。

30

【請求項 19】

前記ガラス板 (2) が、フィラメント状の傷 (14) を有する粗い面 (41) と、その間にある、フィラメント状の傷を有さない平坦な面 (40) とを有することを特徴とする、請求項 18 に記載のガラス板 (2) 。

【請求項 20】

前記平坦な面 (40) の、前記粗い面 (41) に対する面積比が $3 : 10 \sim 2 : 1$ である、請求項 19 に記載のガラス板 (2) 。

【請求項 21】

請求項 18 から 20 までのいずれか 1 項に記載のガラス板 (2)、または請求項 1 から 15 までのいずれか 1 項に記載の方法により製造されるガラス板の使用であって、電子部品用の絶縁性の中間基板またはスペーサーのための、光電子部品の封入のための、薄膜セル、例えば薄膜電池または薄膜太陽電池用の支持体としての、ディスプレイ用およびマイクロ流体セル用の複合基板としての前記使用。

40

【請求項 22】

ガラス板 (2) を製造するための、殊に請求項 1 から 15 までのいずれか 1 項に記載のガラス板 (2) の製造方法のための装置 (1) であって、

- ・ ガラス溶融物 (10) から $15\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲の所定のガラス厚 (d) を有する連続するガラスリボン (4) を熱間成型するための装置 (8)、
- ・ ガラスリボン (4) を横切る横方向の目標破断線 (121) を形成するため、および各々厚くなった耳部 (13) を有する縁を有するガラスリボン (4) に対して縦の両側の縦方向の目標破断線 (122) を形成するために、前記ガラスリボン (4) の所定の体

50

積において深さ方向の互いに間隔をあけたフィラメント状の傷（１４）を生成するための、少なくとも１つの超短パルスレーザー（１６）、およびガラス厚（ d ）よりも大きくなるように調節可能である焦点領域（２２）を有するレーザービーム（２０）を生成するビーム形成光学系（１８）、

- ・ 前記ガラスリボン（４）上の目標破断線（１２）の所定の進路に沿ったレーザービーム（２０）の位置決めのための移動装置（２４）、および

- ・ 前記ガラスリボン（４）にフィラメント状の傷（１４）を導入する前、その間、および/またはその後、所定のガラス厚（ d ）に依存して選択された冷却速度で前記ガラスリボン（４）を冷却するように配置され且つ調整されている冷却装置（２６）

を含む、前記装置（１）。

10

【請求項 23】

分離装置（２８）が、前記耳部（１３）を前記縦方向の目標破断線（１２）に沿って、且つ前記ガラス板を、前記ガラスリボン（４）を横切って走る横方向の目標破断線（１２）のところで分けることにより、好ましくは機械的に分離して、それぞれ端部（３０）を形成するように配置され且つ調整されていることを特徴とする、請求項 22 に記載の装置（１）。

【請求項 24】

前記ガラスリボン（４）を移動させるための移動装置（２４）が、前記ガラスリボン（４）の位置を焦点領域内に固定するための少なくとも１つの押し付けロール、押し付けエッジ、または吸引装置を備えることを特徴とする、請求項 22 または 23 に記載のガラス板（２）の製造装置（１）。

20

【請求項 25】

ビーム形成光学系（１８）が、少なくとも１つの以下の特徴：

- ・ レーザービーム（２０）のビームのプロファイルが、前記目標破断線（１２）の方向での前記レーザービーム（２０）の広がり、該目標破断線（１２）を横切る方向よりも大きくなるように形成されるように前記ビーム形成光学系（１８）が調整されていること、

- ・ レーザービーム（２０）が、その焦点領域（２２）内で、前記ガラスリボン（４）上で前記移動装置によって媒介されるレーザービーム（２０）の移動方向に沿った方向でのレーザービーム（２０）の広がり、目標破断線に垂直な方向での広がりよりも、

30

１．３～５倍の範囲、有利には１．５～４倍の範囲で大きくなるように形成されるように、前記ビーム形成光学系（１８）が調整されていること、

を有することを特徴とする、請求項 22 から 24 までのいずれか 1 項に記載の装置（１）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エンドレスガラスリボン上で目標破断線を導入し、引き続き工程に起因して厚くなった耳部、つまりガラスリボンの縦方向での両縁で隆起して厚くなった部分を分離し、並びにガラス板をガラスリボンの横方向に分離するための、レーザーフィラメンテーションによる超薄ガラス板、つまりガラス厚 $15\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ を有するガラスの製造に関する。ここで、いわゆるガラスシートも前記超薄ガラス板に含まれる。

40

【背景技術】

【0002】

ガラスリボンにおける耳部の切断および横方向の個別化のための、および場合によりガラスの後の分離と組み合わせた、レーザーフィラメンテーションによって、例えば、殊に耳部および横方向の刻みについて達成可能な切断速度が作業者により実施される分離および保管工程によって制限されるホイール切断の場合よりも、切断工程におけるより高いガラスリボン速度もしくは引張速度および切断速度が可能である。さらに、レーザーフィラメンテーションは粒子の少ない方法であるため、ガラスにおける汚染および引っかき傷が

50

少ない。

【0003】

超短パルスレーザーによるフィラメントを導入することによるガラス板の分離は自体公知である。相応の方法はとりわけ国際公開第2018/020145号(WO2018/020145A1)、国際公開第2017/055576号(WO2017/055576 A1)、米国特許出願公開第2018/0057390号明細書(US2018/0057390A1)、および米国特許出願公開第2017/0120374(US2017/0120374A1)号明細書内に記載されている。

【0004】

超薄ガラスの場合、反りおよび厚さのばらつきなどに関して特定の幾何学的な係数を守るには、特定の最小引っ張り速度を必要とするので、高い引っ張り速度の際は著しい冷却速度がもたらされる。高い冷却速度は通常、ガラスの内部応力をもたらす、それによりガラス切断の際の端部強度が低下するので、高い冷却速度は通常は不利である。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】国際公開第2018/020145号

【特許文献2】国際公開第2017/055576号

【特許文献3】米国特許出願公開第2018/0057390号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2017/0120374号明細書

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、本発明の課題は、超薄ガラス板を製造するための特に経済的な方法であって、様々な冷却速度を考慮して、殊に高い冷却速度にも関わらず、その方法で製造されたガラス板の端部強度が高いことを確実にする前記方法を提供することである。前記の課題は、独立請求項の対象によって解決される。本発明の有利な態様は、それぞれ従属請求項に記載される。

【課題を解決するための手段】

【0007】

従って、本発明はガラス板の製造方法であって、以下の段階：

30

- ・ ガラス溶融物から15 μm ~ 2 mmの範囲の所定のガラス厚を有するガラスリボンを連続的、殊に連続的に引き出して熱間成型する段階、

- ・ 所定のガラス厚に依存して選択される冷却速度で前記ガラスリボンを冷却する段階、ここで有利には、ガラス厚がより低いもしくはより少ないと冷却速度が高められ、つまり有利には、ガラス厚が少なくなるほどより高い冷却速度が選択され、且つガラス厚が高くなるほど低い冷却速度が選択される、

- ・ 少なくとも1つの超短パルスレーザーによるレーザービームを生成する段階、

- ・ 前記レーザービームの焦点領域を、その焦点領域がガラスリボンのガラス厚よりも大きくなるように、ビーム形成光学系を用いて生成する段階、

- ・ 前記レーザービームによって、フィラメント状の傷が好ましくはガラスリボンの一方の側面から反対側の側面へと延在するように、フィラメント状の傷からの目標破断線をガラスリボンに導入する段階、その際、前記フィラメント状の傷が目標破断線に沿って間隔をあけて導入され、且つその際、ガラスリボンを横切る横方向の目標破断線、および各々厚くなった耳部を有する縁を有するガラスリボンに対して縦の両側の縦方向の目標破断線が生成される、

40

- ・ 前記縦方向の目標破断線に沿った耳部を分離して、好ましくは所定の端部強度を有する端部を形成する段階、並びに、

- ・ 前記ガラスリボンを横切って走る横方向の目標破断線のところでの分離によりガラス板を分離して、好ましくは所定の端部強度を有する端部を形成する段階、を有する方法を提供する。

50

【0008】

前記レーザービームは、ビーム形成光学系によって殊にベッセルビームとして形成され得る。

【0009】

ガラス板を製造するための上記の方法に対応する装置は好ましくは、

- ・ ガラス溶融物から $15\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲の所定のガラス厚を有する連続的なガラスリボン熱間成型するための装置、

- ・ ガラスリボンを横切る横方向の目標破断線を形成するため、および各々厚くなった耳部を有する縁を有するガラスリボンに対して縦の両側に縦方向の目標破断線を形成するために、ガラスリボンの所定の体積において深さ方向の互いに間隔をあけたフィラメント状の傷を生成するための、少なくとも1つの超短パルスレーザー、およびビームの形状としてガラス厚よりも大きく調節される焦点領域を生成するベッセルビームを生成するビーム形成光学系、

- ・ ガラスリボン上の目標破断線の所定の進路に沿ったレーザービームの位置決めのための移動装置、

- ・ ガラスリボンにフィラメント状の傷を導入する前、その間、および/またはその後、所定のガラス厚に依存して選択された冷却速度でガラスリボンを冷却し、その際有利には、ガラスの厚さが小さいほど高い冷却速度が選択されるように、配置され且つ調整されている冷却装置

を含む。さらに分離装置を備えることができ、該分離装置は、耳部を縦方向の目標破断線に沿って、且つガラス板を、ガラスリボンを横切って走る横方向の目標破断線のところで分離することにより、好ましくは機械的に分離して、それぞれ端部を形成するように配置され且つ調整されている。

【0010】

移動装置によるレーザービームの位置決めは、ガラスリボンの移動、少なくとも1つの超短パルスレーザーの移動、ビーム形成光学系の移動または調節の少なくとも1つの段階によって行うことができる。

【0011】

その際、好ましいガラス厚は $100\ \mu\text{m}$ 以下、 $70\ \mu\text{m}$ 未満、 $50\ \mu\text{m}$ 以下、 $30\ \mu\text{m}$ 以下、または $20\ \mu\text{m}$ 未満である。

【0012】

ガラスリボンを有利には、ダウンドロー法で、好ましくは毎分1メートル～毎分50メートルの範囲の速度で速やかに引き出す。しかし、前記方法はダウンドロー法に限定されない。オーバーフローフュージョン法または薄いガラスリボンを製造するために適したさらなる方法で引き出すことも可能である。

【0013】

フィラメント状の傷からの目標破断線の導入を好ましくは、1つの実施態様によれば、ダウンドロー法の際に、ガラスリボンが水平に方向転換した後に行う。

【0014】

ガラスリボンを好ましくは速やかに冷却し、殊に $40\ \text{K}/\text{秒}$ 以上の冷却速度を使用できる。殊に冷却速度は明らかにより大きく、好ましくは $100\ \text{K}/\text{秒}$ 以上、特に好ましくは $150\ \text{K}/\text{秒}$ 以上、またはさらには $200\ \text{K}/\text{秒}$ 以上であってもよい。

【0015】

本発明のさらなる態様によれば、ガラスリボンは厚さに依存した冷却速度で、好ましくは $(1/d) \cdot 4500\ \text{ケルビン}/(\text{秒} \cdot \mu\text{m}) \sim (1/d) \cdot 9000\ \text{ケルビン}/(\text{秒} \cdot \mu\text{m})$ の範囲である冷却速度で冷却され、ここで d はガラスリボンの厚さを示す。従って、有利には、ガラスリボンの所定の厚さがより小さいと冷却速度が高められるか、もしくはガラスリボンの所定の厚さがより大きいと冷却速度が下降/低下される。

【0016】

引き続きガラスリボンから耳部を信頼性高く且つ容易に分離でき且つ個々のガラス板の

10

20

30

40

50

分離を達成するために、ガラスリボンの冷却を好ましくは、ガラス転移温度の範囲において目標破断線を導入する前に、有利には軟化点を下回る温度で、特に好ましくはガラス転移温度を下回る温度で行う。前記方法を最適化するために、ガラスリボンの冷却を任意に追加的に、目標破断線の導入の間および/またはその後にも行うことができる。

【0017】

前記方法の好ましい実施態様において、冷却を、冷却炉内で、殊に発熱体を用いて、または冷却流体、殊に空気、他のガス状媒体またはエアロゾルの吹きつけまたは噴霧によって行う。後者の場合、冷却速度は例えば冷却流体の流量を制御することによって、工程パラメータのガラス温度および送り速度に合わせて/決定して、ガラスリボンにおける望ましくない応力を防止できる。

10

【0018】

特に好ましい態様によれば、ビーム形成光学系を介して、ガラス中の強度分布、ひいてはフィラメント状の傷の形状も狙い通りに調節される。このために、ビームのプロファイルを、相応のビーム形成光学系によって有利には、レーザービームの光の強度、もしくはその広がり、目標破断線方向において、それを横切る方向よりも大きくなるように調節する。

【0019】

前記方法のさらに好ましい実施形態において、ビーム形成光学系により、水平の優先方向を有するビームのプロファイル、好ましくは楕円形の、ランセット形の、液滴形の、2つの互いに間隔をあけたビーム(例えば2重ベッセルビーム)の、菱形の、ダンベル形の、くさび形の、または点の形のビームのプロファイル、または主ビームと、より弱い強度を有する周辺部とを有するビームのプロファイルも生成される。それにより、耳部の分離およびガラス板の個別化後に、特に高い端部品質もしくは端部強度を有するほぼ任意の輪郭をもたらすことができる。

20

【0020】

超短パルスレーザーの速度および繰り返し速度は、好ましくは、フィラメント状の傷が、最大でもガラス厚の大きさである間隔をあけて隣り合って導入されるように調節される。有利には、フィラメント状の傷は互いに $1\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 、好ましくは $3\ \mu\text{m} \sim 8\ \mu\text{m}$ の範囲の平均間隔を有する。

【0021】

ガラス板を製造するための方法の好ましい実施態様において、目標破断線の導入は、まずガラスリボンを横切る方向であり、それにより横方向の目標破断線が生成され、次いで各々厚くなった耳部を有する縁を有するガラスリボンに対して縦の両側で、縦方向の目標破断線を生成する順で行う。このようにして、ガラスリボンは、横方向の目標破断線の導入後にまだ耳部と一緒に保持することにより、機械的に安定化される。

30

【0022】

さらに、端部強度は、より薄いガラスの場合、より高い冷却速度に伴い減少すること、および逆に端部強度はより厚いガラスの場合、冷却速度が小さくなると増加することが判明した。前記方法の好ましい実施態様において、以下の式を満たす、冷却に依存した端部強度 $K G_K$ を有する縁部を備えたガラス板が製造される：

40

$$(1) \quad K G_K = K G / K, \text{ もしくは}$$

$$(2) \quad K G = K G_K \cdot K.$$

前記式中、 $K G$ は MPa での強度の値を示し、且つ K は ケルビン/秒 での冷却速度を示す。殊に、本願で開示される分離方法で、少なくとも $30\ \mu\text{m}$ のガラス厚について $0.2\ \text{MPa} \cdot \text{秒/ケルビン}$ を上回る、好ましくは $0.5\ \text{MPa} \cdot \text{秒/ケルビン}$ を上回る係数 $K G_K$ を達成できる。少なくとも $50\ \mu\text{m}$ のガラス厚については、冷却に依存する端部強度 $K G_K$ は $0.5\ \text{MPa} \cdot \text{秒/ケルビン}$ を上回る、好ましくは $0.9\ \text{MPa} \cdot \text{秒/ケルビン}$ を上回ることができる。少なくとも $100\ \mu\text{m}$ のガラス厚については、さらなる実施態様によれば、冷却に依存する端部強度 $K G_K$ は $1.5\ \text{MPa} \cdot \text{秒/ケルビン}$ を上回る、好ましくは $2\ \text{MPa} \cdot \text{秒/ケルビン}$ を上回る。

50

【 0 0 2 3 】

さらに好ましい実施態様において、ガラスリボンを動かすための移動装置は有利には少なくとも、ガラスリボンの位置を焦点領域内に固定するための押し付けロール、押し付けエッジまたは吸引装置を備える。従って、ガラスリボンは、超短パルスレーザーの焦点の位置、およびフィラメント状の傷からの目標破断位置の配置に関して固定されており、ベッセルビームの焦点の領域からガラスリボンが外れることが回避される。

【 0 0 2 4 】

殊に、前記の固定により、上記の欠点を回避しながら製造工程の速度も高めることができ、そのことは前記方法の経済性に良い影響を及ぼす。

【 0 0 2 5 】

縦方向の破断線のところでの耳部の分離、およびガラスリボンを横切って走る横方向の破断線のところで分離することによるガラス板の分離を、有利には機械的に行う。目標破断線のところでの分離が一般に機械的な作用をほとんど必要としないことが示されている。多くの場合、ガラスリボンの搬送の際の移動および応力が、目標破断位置を分離するために既に十分である。

【 0 0 2 6 】

本開示による超薄ガラス板を製造するための方法で、特に高い切断速度、殊に5 m / 秒まで、特に好ましくは3 m / 秒 ~ 5 m / 秒の切断速度も達成できる。

【 0 0 2 7 】

レーザーフィラメンテーションによれば、ガラスリボンにおける耳部の切断および横方向の個別化のために、つまり耳部の分離および個別のガラス板の分離もしくはいわゆる全体切断 (F B C : F u l l B o d y C u t) のために、上記のとおり、分離力は非常にわずかにしか必要とされないか、または必要とされない。殊に、温度をもたらしことによる熱応力の誘導、つまり、温度差の誘導は必要ではなく、従って例えばいわゆる熱劈開法、および急峻な温度低下による、殊に冷却衝撃による熱衝撃切断は必要ではない。

【 0 0 2 8 】

本願の開示による方法で、ガラス厚を考慮して、種々の冷却速度で、殊に高い冷却速度でも高い端部強度が達成される。

【 0 0 2 9 】

従って、厚さに依存する冷却速度は欠点ではなく、課題の解決策の要素である。

【 0 0 3 0 】

前記方法は、特に粒子が少なく、且つ特に安定な端部強度、ひいては高められた予定収率をもたらす。

【 0 0 3 1 】

ガラスリボンの低減された製造コストおよび前記方法で達成された安定な品質により、前記方法はさらに特に経済的である。

【 0 0 3 2 】

前記方法によれば、15 μm ~ 2 mmのガラス厚を有する、好ましくは100 μm 以下、50 μm 以下または30 μm 以下のガラス厚を有する、好ましくは6 ppm / Kを上回る熱膨張係数を有するガラス板が製造可能であり、その際、前記ガラス板は好ましくは7を上回るワイブル係数 (D I N E N 8 4 3 - 5 による) および130 MPaを上回る、多くの場合150 MPaすら上回る、または200 MPaすら上回る特徴的な破壊応力を有する。好ましい実施態様において、前記の特徴的な破壊応力は150 MPa ~ 250 MPaの範囲である。1.68メートルの端部長の際の5%の分位点 $5\%@1.68$ について、90 MPaを上回る、多くの場合130 MPaすら上回る値がもたらされる。

【 0 0 3 3 】

ガラス板は好ましくはフィラメント状の傷を有する粗い面と、その間にあるフィラメント状の傷を有さない平坦な面とを有し、その際、前記平坦な面の前記粗い面に対する面積比は好ましくは3 : 10 ~ 2 : 1である。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

本発明による方法により製造できる超薄ガラス板を、非常に様々な用途のために使用できる。好ましくは、それらは、電子部品用の絶縁性の中間基板またはスペーサーのために、光電子部品の封止のために、薄膜セル、例えば薄膜電池または薄膜太陽電池用の支持体として、ディスプレイ用およびマイクロ流体セル用の複合基板として使用される。

【0035】

前記の様々な用途は、化学薬品耐性、温度変化耐性および熱耐性、気密性、高い電気絶縁性、適合された膨張係数、曲げ性、高い光学的品質および光透過性、またはさらには、薄ガラスの両側で非常にわずかな粗さを有する高い表面品質、並びに前記分離方法により達成される高い端部強度などの特性に基づく。

【0036】

本発明を次に、添付の図面を参照しながらより詳細に説明するが、本発明はそこに限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】図1はガラス板の製造装置を示す。

【図2】図2はビーム形成光学系のビームのプロファイルを示す。

【図3】図3はガラスリボンを個別化されたガラス板へ分離するための配置を示す。

【図4】図4は冷却速度のガラス厚依存性のグラフである。

【図5】図5は端部強度および冷却速度のガラス厚依存性のグラフである。

【図6】図6は冷却速度に依存する端部強度の係数の、ガラス厚依存性のグラフである。

【図7】図7は破壊応力の関数としての故障確率のワイブルグラフを示す。

【図8】図8は破壊応力の関数としての故障確率のワイブルグラフを示す。

【図9】図9はガラス板の縁領域の顕微鏡写真を示す。

【図10】図10はガラス板の端部の顕微鏡写真を示す。

【図11】図11は、目標破断線に沿った焦点領域22の強度の推移43および目標破断線に対して垂直な焦点領域22の強度の推移44の模式的なグラフを示す。

【発明を実施するための形態】

【0038】

図1は、 $15\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲内の所定のガラス厚 d を有するガラス板2を製造するための装置1の例示的な実施態様を示す。連続したガラスリボン4が、熱間成型装置8の一部である下向きのスリット状のノズル6を通じて、ガラス溶融物10から引き出される。ここで、ガラスリボン用の熱間成型方法として、好ましくはいわゆるダウンドロー法が使用され、且つフィラメント状の傷14からの目標破断線12の導入、つまりレーザーフィラメンテーションは、好ましくはダウンドロー法の際に直接的に、特に好ましくはガラスリボン4が水平に方向転換された後に行われる。

【0039】

ガラスリボン4に、少なくとも1つの超短パルスレーザー16で制御されたフィラメント状の傷14からの目標破断線12を導入し、その際、そのレーザーパルスはビーム形成光学系18によって近似ベッセルビーム20を生成し、それによってガラスリボン4を通り抜ける焦点領域22を生成する。殊に、ビーム形成光学系18がレーザービーム20の焦点を合わせて、ガラス中で出力密度を高めることができる。ビーム形成光学系18を介して、強度分布、ひいてはフィラメント状の傷14の形態も狙い通りに調節できる。

【0040】

焦点領域は好ましくはガラス厚 d より長く調節され、ガラスリボン4の所定の体積において、深い方向に（互いに間隔をあけて）フィラメント状の傷14を生成し、好ましくはガラスリボン4の一方の側面51から反対側の側面52へと、つまり好ましくはガラスリボン4の厚さ d 全体にわたって導入する。

【0041】

本発明の目的のための超短パルスレーザーとして、例えば波長 $1064\ \text{nm}$ 、平均出力 $12\ \text{W}$ （ $1064\ \text{nm}$ 、 $100\ \text{kHz}$ 、1バーストあたり1パルスで）、繰り返し速度1

10

20

30

40

50

00kHz、パースト周波数50MHzおよびパルス持続時間約10ps(1064nm且つ100kHzで)を有するNd:YAGレーザーが適している。

【0042】

さらなる実施態様によれば、1030nmを有するYb:YAG-レーザーを使用できる。一般に、前記レーザーは周波数を2倍化(SHG)または周波数を3倍化(THG)したバージョンとして使用できる。パルス長は、1つの実施態様によれば300fs~20psの範囲、または400fs~10ps未満の範囲である。繰り返し速度は、50kHz~1MHz、好ましくは100kHz~500kHzの範囲であってよい。パルスエネルギーは100μJを上回る、200μJを上回る、またはさらには400μJを上回ることができる。パーストパルスの数は2、4、または8である。

10

【0043】

さらに、ガラスリボン2の製造装置1は好ましくは、ガラスリボン4を移動させるための例えば搬送ロール、殊に延伸ロールによる移動装置24、超短レーザー16、および/またはガラスリボン4上で目標破断線12の所定の進路に沿ってレーザービーム20の位置決めをするためのビーム形成光学系18を含む。

【0044】

その際、レーザービーム20がガラスリボン4上を導かれてもよいし、ガラスリボン4がレーザービーム20に対して導かれてもよい。両方の態様の組み合わせも可能である。レーザービーム20をガラスリボン4の移動方向に対して垂直に動かすために、例えばガルバノスキャナを使用するか、または偏向ミラーを、ガラスリボンを横切る可動軸上で搬送することができる。

20

【0045】

この場合、ガラスリボン4を横切る横方向の目標破断線121と、各々厚くなった耳部13を有する縁を有するガラスリボン4に対して縦の両側の縦方向の目標破断線122とが形成される。

【0046】

本発明は、本開示によるレーザー支援法で生成される端部での破壊力のばらつきを、ガラス厚に適合された冷却速度で低減できるという知見にも基づく。

【0047】

従って、ガラス板2の製造装置1は、さらに冷却装置26を有し、該冷却装置は、ガラスリボン4にフィラメント状の傷14を導入する前に、所定のガラス厚dに依存して選択された冷却速度でガラスリボン4を冷却し、その際有利には、ガラスの厚さが小さいほど高い冷却速度が選択されるように、配置され且つ調整されている。

30

【0048】

好ましくはガラスリボン4の冷却を、ガラス転移温度の範囲で目標破断線12を導入する前に、好ましくは軟化点未満の温度で、特に好ましくはガラス転移温度を下回る温度で行う。

【0049】

有利な実施態様において、ガラスリボン4の冷却を冷却炉27内で、殊に発熱体を用いて調整して実施する。場合により、均質な冷却を、冷却媒体の、殊に空気、エアロゾルの吹きつけまたは噴霧によって促進することもできる。

40

【0050】

1つの実施態様によれば、ガラス板2の製造装置1はさらに分離装置28を含み、該分離装置は、縦方向の目標破断線122に沿った耳部13を好ましくは機械的に分離して端部30を形成し、且つガラスリボン4を横切って走る横方向の目標破断線121のところで分離することによりガラス板2を好ましくは機械的に分離して、端部30を形成するように配置され且つ調整されている。例えば、前記分離装置は、目標破断線上を導かれる球状のローラーを備えた配置を含むことができる。熱源、例えばレーザーを備えて、目標破断線のところで熱応力を誘導することもできる。場合により、ガラスを目標破断線のところで分離するために機械的な作用はもはや必要とされない。

50

【 0 0 5 1 】

また、ビーム形成光学系 18 を介して、ガラス中での強度分布、ひいてはフィラメント状の傷 14 の形状も狙い通りに調節できる。

【 0 0 5 2 】

さらなる好ましい実施態様において、ガラスリボン 4 を移動するための移動装置 24 は、軸の位置、もしくはガラスリボン 4 の位置を焦点領域内のビームの方向に固定するために、少なくとも 1 つの押し付けロール、押し付けエッジ、または吸引装置を備え、それによってガラスリボン 4 は、個々のガラス板 2 の形状および端部の品質が損なわれかねないガラス板 2 の個別化および耳部 13 の分離に関して歪まない。殊に固定により、製造工程の速度も高められ、上述の欠点を回避でき、そのことが該方法の経済性に良い影響を及ぼす。図 1 に示された例の場合、ガラスリボン 4 の垂直位置を固定するための装置として、一对の押し付けロール 15 が示され、それは超短パルスレーザー 16 の照射点付近でガラスリボンの位置をレーザービーム 20 の入射方向に固定する。

10

【 0 0 5 3 】

ガラス板 2 を製造するための好ましい実施態様において、ビームのプロファイルは、相応のビーム形成光学系 18 によって、好ましくは、強度プロファイルがベッセルビームの形で、もしくは光軸上で非常に高められた強度を有してベッセルビームの形に類似して形成されるように調節される。ビーム形成光学系は、線状の焦点への焦点合わせをもたらす。そのような焦点合わせを達成するために、例えば 1 つ以上のアキシコンまたは回折光学素子 (DOE) またはそれらと他の光学素子との組み合わせが、ビーム形成光学素子として適している。

20

【 0 0 5 4 】

殊に、ビームのプロファイルは好ましくは、目標破断線 12 の方向でのレーザービームの広がり、前記破断線に対して横方向、殊に垂直な方向よりも大きくなるように調節される。このようにして、目標破断線に沿いに積算されるビーム量は、目標破断線に対して垂直に走る、ビームの中心を横切る線沿いよりも大きい。換言すれば、ビーム形成光学系は有利には、断面を有する光束を生成し、該断面は、線状に並ぶフィラメント状の傷 14 の方向において、この方向を横切る方向よりも広がっており、個々のフィラメント状の傷 14 は、ガラスリボン 4 の表面を横切って、有利にはガラスリボン 4 の表面に対して垂直な縦方向に続くレーザービーム 20 の広がる方向に走る。このために、ビーム形成光学系 18 は好ましくはより大きな光束・断面の広がりに関して調節可能であり、且つそのより大きな断面の広がりの方角は有利には、線状に並ぶフィラメント状の傷 14 の進路上を追跡する。

30

【 0 0 5 5 】

前記方法のさらに好ましい実施態様において、ビーム形成光学系 18 によって、水平の優先方向を有する非対称なビームのプロファイルが生成される。図 2 は、このためのビームのプロファイルの種々の可能性を示す。部分図 (a) は、楕円形のビームのプロファイル 32 を示す。これは、その長い半軸が各々の目標破断線に沿って配列するように配列されている。従って、目標破断線に沿ったビームのプロファイルの広がり A_p は、目標破断線に対して垂直な広がり A_s よりも大きい。部分図 (b) は、液滴状のビームのプロファイル 33 を示す。部分図 (c) による実施態様の場合、レーザービームは 2 つのビームに分割される。従って、ビームのプロファイル 34 は、二重ビームの形で、間隔をあけた 2 つのビームを有する。部分図 (d) は菱形のビームのプロファイル 35 を示す。図 2 (e) にダンベル形のビームのプロファイル 36 を示し、図 2 (f) にくさび形のビームのプロファイル 37 を示す。最後に、図 2 (g) は主ビームと、より弱いまたは小さい周辺部とを有するビームのプロファイル 38 を示す。部分図 (b)、(e)、(f) および (g) の実施態様は、それらが進行方向において、それに垂直な方向よりも広がっているだけでなく、進行方向に対して垂直な鏡軸に関して非対称であることも共通している。そのような形状は、分離をさらに容易にし、且つより高い端部強度を達成するために非常に有利であることができる。これは、フィラメントの導入の間に非対称な条件も存在するからで

40

50

あり、既にビームで走査された部分の目標破断線に対して、進行方向に見てレーザービームの前にまだフィラメントが存在しないからである。従って一般に、特定の例に限定されることなく、フィラメント状の傷は、進行方向に対して垂直な鏡像に関して非対称なビームのプロファイルを有するレーザービーム 20 を用いて導入されることが想定される。

【0056】

それによって、生じるフィラメント状の傷 14 からの目標破断線 12 のより高い幾何学的な正確性を有する調節可能な形状がもたらされると共に、耳部 13 の分離およびガラス板 2 の個別化の後により高い端部強度がもたらされる。

【0057】

目標破断線の方向での割れ目の形成を促進するために、所望の破断の方向に広がりを持つレーザー光束の断面形状は目的に応じて選択される。

【0058】

図 2 (a) の楕円形の断面形状 32 は、例えば組み合わせられたシリンダーレンズを通じて、レーザービームの元の円形の断面形状から得られる。さらなるビームのプロファイルも、適したレンズを通じて、場合により回折光学素子 (DOE) も使用して生成できる。

【0059】

ガラス板 2 を製造するための方法の好ましい実施態様においては、工程技術的に、目標破断線 12 の導入の順序が、まずガラスリボンに対して横方向であり、ここで横方向の破断線 121 をもたらし、次いで、各々厚くなった耳部を有する縁を有するガラスリボンに対して縦の両側で、縦方向の目標破断線 122 をもたらし条件で行い、なぜなら、その際、ガラスリボン 4 は耳部 13 によってまだ一緒に保持され、そのことにより機械的に安定化されるからである。

【0060】

図 3 は、ガラスリボン 4 を個別化されたガラス板 2 に分けるための、および耳部 3 を分離するための配置を示す。

【0061】

この方法のために好ましくは、連続的に引き出されたガラスリボン 4 を搬送するための移動装置 24 が備えられ、示された例においてはコンベヤベルト 240 を含む。目標破断線 12 を導入するために一般には、示される例に限定されることなく、有利には複数の超短パルスレーザー 16 が使用されることがあり、その際、少なくとも 1 つの第 1 の超短パルスレーザー 16 は横方向の目標破断線 121 を導入し、且つ少なくとも 1 つの第 2 の超短パルスレーザー 16 は縦方向の目標破断線 122 を導入する。殊に、示される例において、2 つの縦方向の目標破断線 122 のために超短パルスレーザー 16 を使用することもできる。超短パルスレーザー 16 のビーム形成光学系 18 は、簡略化のために図面には示されていない。示された例のように、移動装置 24 はビーム偏向光学系 241 も含む得る。1 つの実施態様によれば、その際、目標破断線 121 はビーム偏向光学系 241 によってガラスリボン 4 を動くレーザービーム 20 によって導入される。ビーム形成光学系 241 は例えばガルバノスキャナを含む得る。

【0062】

示されたとおり、1 つの好ましい実施態様においては、上記の目標破断線 121、122 を、最初に横方向、次いで縦方向に、連続するガラスリボン 4 に導入する。

【0063】

ガラスリボン 4 を横切って走る横方向の目標破断線 121 のところで分離もしくは割ることによる、個々のガラス板 2 の分離もしくはいわゆる全体切断 (FBC: Full Body Cut) を、機械的な分離装置 28 によって行うことができ、このためにレーザーフィラメンテーションによれば特にわずかな分離力しか必要とされないか、または分離力が必要とされない。耳部 13 の切断、つまりガラスリボン 4 の縦方向の目標破断線 122 に沿った耳部の分離も、特にわずかな分離力によって、例えば簡単に引っ張ることによって、および/または加速ベルト 29 上で移動させることによって行うことができる。

10

20

30

40

50

個々のガラス板 2 を移動方向に分離する加速ベルト 29 は、例えば、分離装置 28 の一部であってもよいし、または分離装置 28 であってもよい。

【0064】

ガラス板 2 の分離または個別化の後、移動装置 24 を用いてそれらを検査ユニット 39 に運ぶことができる。検査ユニット 39 を用いて、とりわけ、ガラス板の寸法およびその端部品質を検査できる。

【0065】

殊に、良好な端部の品質を達成するために、応力を導入することによるガラスリボン 4 の熱による分離は必要とされないか、もしくは、温度の導入による熱的分離の誘導、つまり例えば CO₂ レーザーによる温度差の誘導、つまりいわゆる熱劈開法は分離のために必要とされず、且つ例えば急峻な温度低下による、例えば冷却衝撃による熱衝撃切断は必要とされない。

10

【0066】

その際、分離は例えば、球状のローラーで機械的応力を導入することによって、または球状のローラー上で目標破断線を導くことによって行うことができる。次いで、残りのガラスリボン 4 から分離された耳部 13 を、例えば破片容器内で、場合によりガラスリボンから除去して（破片貯蔵部 / 他の空間で）収容できる。

【0067】

本発明による方法の際、ガラスリボン 4 の冷却を、所定のガラス厚 d に依存して選択される冷却速度で行い、その際、有利には、所定のガラス厚 d が小さいほど冷却速度が高められるか、もしくは、所定のガラス厚 d が大きいほど冷却速度が下げられる。つまり、有利には、ガラスの厚さが小さいほど高い冷却速度が選択され、且つガラスの厚さが大きいほど低い冷却速度が選択される。

20

【0068】

図 4 は、ガラス厚に依存して選択された冷却速度のグラフである。殊に、図 4 において、40 K / 秒 ~ 325 K / 秒の範囲における冷却速度の、Schott AG の AF32 ガラスの例のガラスリボン 4 の 25 μm ~ 110 μm の範囲のガラス厚 d 依存性が示される（曲線 (a)）。

【0069】

Schott AG が名称 AF32 として提供しているガラスは、該方法のためによく適したアルカリ不含ガラスの類のアルカリ不含のアルミニウムホウケイ酸薄ガラスであり、以下の成分を質量%で有する：

30

SiO ₂	58 ~ 65
B ₂ O ₃	6 ~ 10.5
Al ₂ O ₃	14 ~ 25
MgO	0 ~ 3
CaO	0 ~ 9
BaO	3 ~ 8
ZnO	0 ~ 2、

ここで、MgO、CaO および BaO の含有率の合計は 8 ~ 18 質量% の範囲であることを特徴とする。

40

【0070】

その際、前記実施例の基礎をなすガラスは、以下の組成を質量%で有する：

SiO ₂	61
Al ₂ O ₃	18
B ₂ O ₃	10
CaO	5
BaO	3
MgO	3。

【0071】

50

前記ガラスAF32は、高い光透過率を有し、 2430 kg/m^3 の密度、および 0.3 N/m の表面張力、 2 W/mK の熱伝導率、および 1360 J/kgK の比熱容量 c_p を有する。ガラスAF32の転移温度 T_g は 713 である。前記ガラスAF32は、ケイ素の熱膨張係数に近い小さな熱膨張係数を有する。ダウンドロー法でさらに、 1 nm 未満(RMS)の小さな粗さを有する特に平坦な表面を生成できる。適用温度は約 600 まで達する。

【0072】

本願で記載される方法のために適したさらなるガラスの類は、以下の成分を質量%で含有する：

SiO ₂	50 ~ 70	10
Al ₂ O ₃	10 ~ 20	
B ₂ O ₃	5 ~ 15	
CaO	4 ~ 8	
BaO	0.5 ~ 5	
SrO	4 ~ 8。	

【0073】

1つの実施例において、ガラスは以下の成分で製造される：

SiO ₂	60 質量%	
B ₂ O ₃	10 質量%	
Al ₂ O ₃	15 質量%	20
SrO	6 質量%	
CaO	6 質量%	
BaO	2 質量%	

並びに1質量%のさらなる成分。

【0074】

さらなる実施例によれば、ガラスリボンは有利には $50 \mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$ の厚さで引き出される。例えばオーバーフローフュージョン法が適している。

【0075】

薄いガラスリボンに加工され且つ本願で記載される目標破断線の導入により良好に分割されるので本発明のためによく適しているガラスのさらなる類は、以下の成分を質量%で含有する：

SiO ₂	30 ~ 85	
B ₂ O ₃	3 ~ 20	
Al ₂ O ₃	0 ~ 15	
Na ₂ O	3 ~ 15	
K ₂ O	3 ~ 15	
ZnO	0 ~ 12	
TiO ₂	0.5 ~ 10	
CaO	0 ~ 0.1。	

【0076】

この類のガラスからの例は、以下の組成を質量%で含有する：

SiO ₂	64.0	
B ₂ O ₃	8.3	
Al ₂ O ₃	4.0	
Na ₂ O	6.5	
K ₂ O	7.0	
ZnO	5.5	
TiO ₂	4.0	
Sb ₂ O ₃	0.6	
Cl ⁻	0.1。	50

【0077】

この組成を有するガラス板は一般に以下の特徴を有する：

$(20-300)$ $7.2 \times 10^{-6} / K$
 T_g 557
 密度 $2.5 \text{ g} / \text{cm}^3$ 。

【0078】

化学強化可能であり且つ本願で記載される方法で加工するために特に適しているガラスのさらなる類は、以下の成分を質量%で有する：

SiO_2 50 ~ 65
 Al_2O_3 15 ~ 20
 B_2O_3 0 ~ 6
 Li_2O 0 ~ 6
 Na_2O 8 ~ 15
 K_2O 0 ~ 5
 MgO 0 ~ 5
 CaO 0 ~ 7、好ましくは0 ~ 1
 ZnO 0 ~ 4、好ましくは0 ~ 1
 ZrO_2 0 ~ 4
 TiO_2 0 ~ 1、好ましくは本質的に TiO_2 不含。

【0079】

さらに、ガラス中に0 ~ 1質量%の P_2O_5 、 SrO 、 BaO 、並びに0 ~ 1質量%の清澄剤 SnO_2 、 CeO_2 または As_2O_3 または他の清澄剤が含有され得る。

【0080】

1つの実施態様によれば、上記範囲からの組成を有するガラスから、以下の厚さを有するガラス板が製造される： $35 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ 、 $50 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ 、 $75 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ 、 $100 \mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$ 。上記の類のガラスは、ダウンドロー法によっても、オーバーフローフュージョン法によっても、本願で記載される方法によって目標破断線の導入により容易に且つガラス板における高い強度を達成して分割できる、薄いガラスリボンへと引き出すことができる。場合により、所望のガラス厚の達成が引き出し法において可能ではないか、困難である場合、化学的または機械的に薄くすることで前記の所望のガラス厚を達成できる。

【0081】

この類からのガラスの例は、以下の組成を質量%で有する：

SiO_2 60.7
 Al_2O_3 16.9
 Na_2O 12.2
 K_2O 4.1
 MgO 3.9
 ZrO_2 1.5
 SnO_2 0.4
 CeO_2 0.3。

【0082】

ここで挙げられた全てのガラスはダウンドローによって、 $30 \sim 100 \mu\text{m}$ の範囲の厚さを有するガラスリボンに良好に加工できる。

【0083】

示された例に限定されることなく、 $15 \mu\text{m} \sim 2 \text{ mm}$ の範囲の所定のガラス厚 d を有するガラスリボン4は、本発明の方法によれば好ましくは(図4については $40 \text{ K} / \text{秒}$) $50 \text{ K} / \text{秒}$ 以上、好ましくは $100 \text{ ケルビン} / \text{秒}$ 以上、特に好ましくは $150 \text{ ケルビン} / \text{秒}$ 以上、または $200 \text{ ケルビン} / \text{秒}$ 以上の冷却速度で冷却される。

【0084】

図4によるグラフに示されるとおり、ガラスリボンの厚さが30 μm の場合、好ましくは150ケルビン/秒～300ケルビン/秒の範囲の冷却速度が選択され、ガラスリボンの厚さが50 μm の場合、好ましくは90ケルビン/秒～180ケルビン/秒の範囲の冷却速度が選択され、且つガラスリボンの厚さ100 μm の場合、好ましくは45ケルビン/秒～90ケルビン/秒の範囲の冷却速度が選択される。

【0085】

従って、示された例または本願で記載されるガラス組成に限定されることなく、ガラスリボンは好ましくは150ケルビン/秒・30 $\mu\text{m}/\text{d}$ ～300ケルビン/秒・30 $\mu\text{m}/\text{d}$ の範囲である冷却速度で冷却され、前記式中、dはガラスリボンの厚さを示す。ここで、図4において曲線(b)は $(1/d) \cdot 300$ ケルビン/秒・30 μm の上限、曲線(c)は $(1/d) \cdot 150$ ケルビン/秒・30 μm の下限を示す。この好ましい範囲を代替的に以下のように表すことができる：ガラスリボンは好ましくは $(1/d) \cdot 4500$ ケルビン・ $\mu\text{m}/\text{秒}$ (曲線(c))～ $(1/d) \cdot 9000$ ケルビン・ $\mu\text{m}/\text{秒}$ (曲線(b))

[式中、dはガラスリボンの厚さを示す]の範囲である冷却速度で冷却される。

【0086】

本発明による方法で、意外なことに、図5および6に例示的に示されるとおり、ガラス厚を考慮に入れて、高い冷却速度の場合にも高い端部強度を有するガラス板を達成できる。

【0087】

図5は端部強度と冷却速度とのガラス厚依存性のグラフであり、図6は冷却速度に依存する端部強度の係数のガラス厚依存性のグラフを示す。

【0088】

図5に、Schott AGのガラスAF32の例での、85MPa～155MPaの範囲の端部強度(曲線(f))および40～230ケルビン/秒の範囲の冷却速度(曲線(e))の、20 μm ～110 μm の範囲のガラス厚依存性のグラフを示す。図5に示されるとおり、ガラス厚30 μm 且つ冷却速度150ケルビン/秒の際、端部強度は約90MPaであり、ガラス厚50 μm 且つ冷却速度120ケルビン/秒の場合、端部強度は約140MPaであり、ガラス厚100 μm 且つ冷却速度70ケルビン/秒の場合、端部強度は約155MPaである。全ての端部強度はガラスの使用のために十分である。これは殊に、より薄いガラスはより低い端部強度を示すが、厚さが少ないことに基づいて非常に高い柔軟性を示すからである。厚さが少ないことに基づき、ガラスを曲げる際に端部で生じる応力も小さい。

【0089】

この関係は、「冷却に依存する端部強度」($K G_K$) [MPa・K/秒]の係数によっても記述できる：

$$K G_K = K G / K$$

[式中、KGはMPaでの端部強度であり、KはK/秒での冷却速度を示す]。

【0090】

図6に、0.3～2.5MPa・秒/Kの範囲の冷却に依存する端部強度の係数の、Schott AGのガラスAF32の例での20 μm ～110 μm の範囲のガラス厚依存性のグラフを示す。本願に開示される分離方法で、冷却速度に対する端部強度の係数は一般に、示される例に限定されることなく、層厚に対して線形な関係を有することが示される。

【0091】

ガラスAF32についての例において、図6の値から

$$K G_K = K G / K \quad (K G_K = -0.16974 + 0.02434 \cdot d)$$

[式中、dはマイクロメートルでのガラスの厚さを示す]の関係が得られる。

10

20

30

40

50

【0092】

少なくとも $30\ \mu\text{m}$ のガラス厚について、冷却速度に依存する端部強度 $K G_K$ は好ましくは $0.2\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{ケルビン}$ を上回り、特に好ましくは $0.5\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{ケルビン}$ を上回る。上記の関係を $K G = K \cdot K G_K$ に置き換えることにより、少なくとも $30\ \mu\text{m}$ のガラス厚の際、且つ

- ・ 冷却速度 (K) $150\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ の際に係数「冷却に依存する端部強度」 $(K G_K)$ $0.6\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ で、端部強度 $(K G)$ $90\ \text{MPa}$ 、

- ・ 冷却速度 (K) $150\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ の際に係数「冷却に依存する端部強度」 $(K G_K)$ $0.2\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ で、端部強度 $(K G)$ $30\ \text{MPa}$ 、および

- ・ 冷却速度 (K) $300\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ の際に係数「冷却に依存する端部強度」 $(K G_K)$ $0.5\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ で、端部強度 $(K G)$ $150\ \text{MPa}$

がもたらされる。

10

【0093】

少なくとも $50\ \mu\text{m}$ のガラス厚について、冷却に依存する端部強度 $K G_K$ は好ましくは $0.5\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{ケルビン}$ を上回り、特に好ましくは $0.9\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{ケルビン}$ を上回る。従って、少なくとも $50\ \mu\text{m}$ のガラス厚について、且つ

- ・ 冷却速度 (K) $90\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ の際に係数「冷却に依存する端部強度」 $(K G_K)$ $0.5\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ で、端部強度 $(K G)$ $45\ \text{MPa}$ がもたらされ、並びに

- ・ 冷却速度 (K) $180\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ の際に係数「冷却に依存する端部強度」 $(K G_K)$ $0.9\ \text{MPa}\cdot\text{s}/\text{K}$ で、端部強度 $(K G)$ $162\ \text{MPa}$ がもたらされる。

20

【0094】

少なくとも $100\ \mu\text{m}$ のガラス厚について、冷却速度に依存する端部強度 $K G_K$ は好ましくは $1.5\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{ケルビン}$ を上回り、特に好ましくは $2\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{ケルビン}$ を上回る。従って、少なくとも $100\ \mu\text{m}$ のガラス厚について、且つ

- ・ 冷却速度 (K) $45\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ の際に係数「冷却に依存する端部強度」 $(K G_K)$ $1.5\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ で、端部強度 $(K G)$ $67.5\ \text{MPa}$ がもたらされ、並びに

- ・ 冷却速度 (K) $90\ \text{MPa}\cdot\text{秒}/\text{K}$ の際に係数「冷却に依存する端部強度」 $(K G_K)$ $2\ \text{MPa}\cdot\text{s}/\text{K}$ で、端部強度 $(K G)$ $180\ \text{MPa}$ がもたらされる。

【0095】

従って、冷却速度の選択を通じて、所定のガラス厚について狙い通りに所定/特定のガラス板の端部強度をもたらすことができる。

30

【0096】

本発明による方法によれば、ガラス板は $15\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ のガラス厚、好ましくは $100\ \mu\text{m}$ 以下、 $50\ \mu\text{m}$ 以下、または $30\ \mu\text{m}$ 以下のガラス厚を有して、また $6\ \text{ppm}/\text{ケルビン}$ を上回る熱膨張係数を有して製造可能であり、その際、ガラス板は好ましくは7を上回る、殊に8を上回るワイブル係数(DIN EN 843-5による)、および $150\ \text{MPa}$ を上回る、有利には $180\ \text{MPa}$ を上回る端部強度もしくは破壊応力を有する。

【0097】

【表 1】

表

名称	特徴的な破壊応力 [MPa]	ワイブル係数 (DIN EN843-5 による)
AF32_30 μm	150-250	≥ 7
AF32_50 μm	150-250	
設定1-AF32_100 μm	150-250	

10

【0098】

前記表は、種々のガラス厚 30 μm、50 μm および 100 μm を有する、ダウンドロ
ー法によって製造されレーザー切断された Schott の AF32 ガラスについて、特徴
的な破壊応力および強度分布のワイブル係数を示す。

【0099】

ワイブル係数が高いほど、加工物、つまり本願ではガラス板はより均質になり且つより
故障しにくくなる。高いワイブル係数は、本願に開示された方法で製造されたガラス板 2
の特別な特徴である。

20

【0100】

図 7 および図 8 は破壊応力の関数としての故障確率のワイブルグラフを例として示す。
図 7 のグラフは、表の見出し「AF32_50 μm」についてのデータが採取された測定
値を示す。従って、50 μm の厚さを有するガラス AF32 からのガラス板が試験された。
図 8 は、表の見出し「設定 1 - AF32_100 μm」についての測定値を示す。それ
に応じて、このために厚さ 100 μm を有する AF32 ガラス板が試験された。

【0101】

本発明により製造されたガラス板は、典型的には、フィラメント状の傷のところでの分
離により生じる粗い面と、その間にある本質的に平坦な面とを有する。前記の平坦な面の
粗い面に対する面積比は一般に 3 : 10 ~ 2 : 1 である。これについて、図 9 における顕
微鏡写真は、この開示による方法で、並び合って間隔をあけられたフィラメント状の傷 1
4 からの目標破断線を導入すること、および引き続き前記目標破断線のところではガラスリ
ボンを分離することにより製造された、ガラス板 2 の端部 30 を境界とする側面 51 の例
を示す。フィラメント状の傷 14 も、端部 30 のところで半開きのチャネルとしてまだ見
られる。これらのチャネルが端部 30 のところで粗い面 41 を形成する。これらの粗い面
の間に平坦な面 40 が延在する。

30

【0102】

端部 30 の構造は、図 10 の例でも明らかである。図 10 は厚さ 30 μm を有するガラ
ス板 2 の端部 30 を上から見た顕微鏡写真を示す。一方の側面 51 から反対側の側面 52
へと延在するフィラメント状の傷 14 の周期的な構造が粗い面を形成し、その間に比較的
平坦な面 40 が延在することが明らかにわかる。

40

【0103】

上記で既に議論したとおり、高いワイブル係数を有する特に固い端部 30 は、ビームの
プロファイルを、レーザービーム 20 の光強度が、目標破断線 12 の方向で、それを横切
る方向よりも大きくなるように調節することにより達成される。これは、目標破断線に沿
った方向でのビームのプロファイルが、それに垂直な方向よりもさらに広がっていること
によって達成される。目標破断線に対して垂直な方向の広がり A_v および目標破断線に対
して平行な方向の広がり A_p は、図 2 の部分図 (a) の例に示されている。図 11 は、目

50

標破断線に沿った焦点領域 2 2 の強度の推移 4 3 および目標破断線に対して垂直な焦点領域 2 2 の強度の推移 4 4 の模式的なグラフをさらに示す。広がり A_s および A_p として、その中で光の強度がその最大値 I_{max} から係数 $1/e$ だけ低下した値 $I_{1/e}$ に低下する広がり A_s とみなすことができる。示されるとおり、 A_s は A_p よりも小さい。一般に、示される例に限定されることなく、1つの好ましい実施態様においては適したビーム形成光学系 1 8 を用いて、レーザービーム 2 0 は、その焦点領域 2 2 において、目標破断線に沿った方向での、もしくは移動装置によって媒介されるレーザービーム 2 0 のガラスリボン 4 上での移動方向に沿った方向でのレーザービーム 2 0 の広がり A_p が、目標破断線に対して垂直な方向の広がり A_s よりも、1.3 ~ 5 倍の範囲、有利には 1.5 ~ 4 倍の範囲で大きくなるように形成されることが想定される。ビームのプロファイルがあまりに変形する場合、光の強度の広すぎる分布が生じることがあり、それはガラスにおけるフィラメント状の傷の効果的な形成に反する。

10

【0104】

本開示が図面において具体的に示される実施例に限定されるのではなく、特許請求の範囲の特徴の範囲内で多様に変更され得ることが当業者には明らかである。例えば、例 (b)、(f) および (g) だけでなく、鏡対象ではない、殊に進行方向に対して垂直な鏡像に関して非対称なビームのプロファイルを有する、ビームのプロファイルの非常の多くのさらなる形状が可能である。例えば、横方向の目標破断線を導入するためのレーザービーム 2 0 の移動は、図 3 に示される以外にも、光学系を機械的に動かすことによって、殊に超短パルスレーザー 1 6 全体をビーム形成光学系と共にガラスリボン 4 上で動かすことによっても行うことができる。このために、レーザーを例えば往復台を用いて横桁上で動かしてもよいし、またはビームを、動くミラー付きの偏向プリズムまたはミラーを用いて種々の横方向の位置でガラスリボンに向けてもよい。

20

【符号の説明】

【0105】

- 1 ガラス板 2 の製造装置
- 2 ガラス板
- 4 ガラスリボン
- 6 スリット状のノズル
- 8 熱間成型装置
- 10 ガラス溶融物
- 12 目標破断線
 - 121 横方向の目標破断線
 - 122 縦方向の目標破断線
- 13 耳部
- 14 フィラメント状の傷
- 15 押し付けロール
- 16 超短パルスレーザー
- 18 ビーム形成光学系
- 20 レーザービーム
- 22 焦点領域
- 24 移動装置
- 26 冷却装置
- 27 冷却炉
- 28 分離装置
- 29 加速ベルト
- 30 端部
- 32 ~ 38 ビームのプロファイル
- 39 検査ユニット
- 40 平坦な面

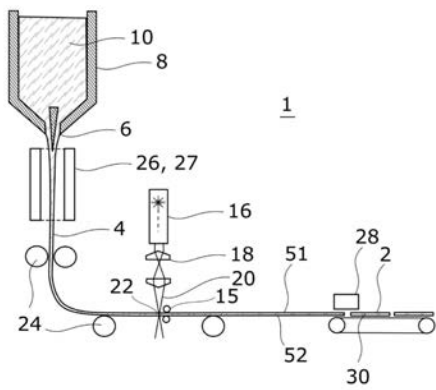
30

40

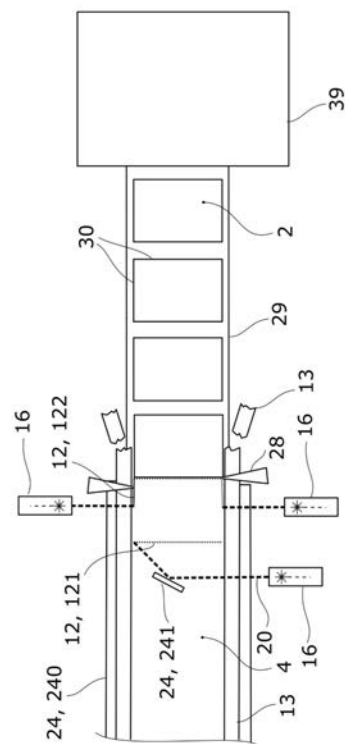
50

- 4 1 粗い面
- 4 3 目標破断線に沿った焦点領域 2 2 の強度の推移
- 4 4 目標破断線に垂直な焦点領域 2 2 の強度の推移
- 5 1、5 2 ガラスリボン 4 の側面
- 2 4 0 コンベヤベルト
- 2 4 1 偏向光学系
- d ガラス厚

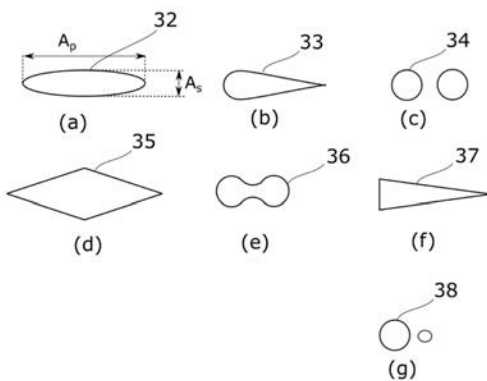
【 図 1 】



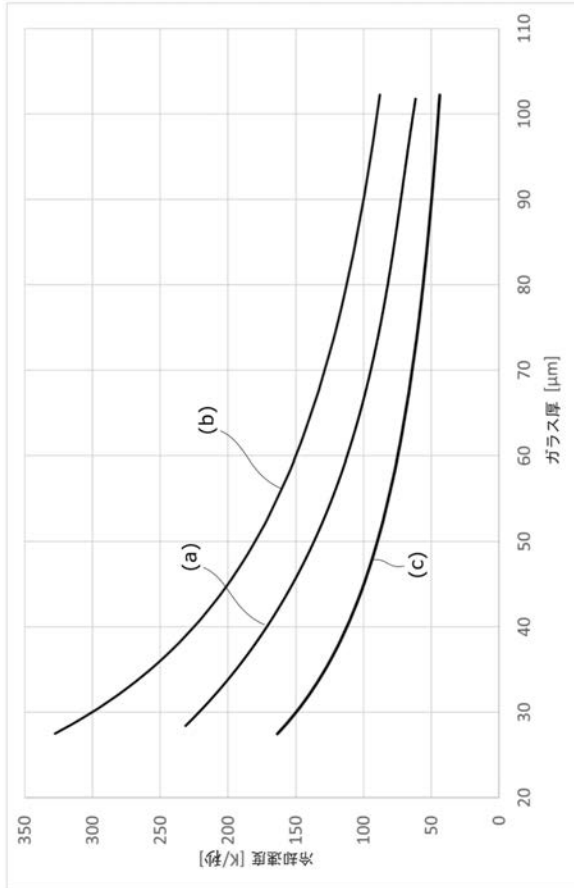
【 図 3 】



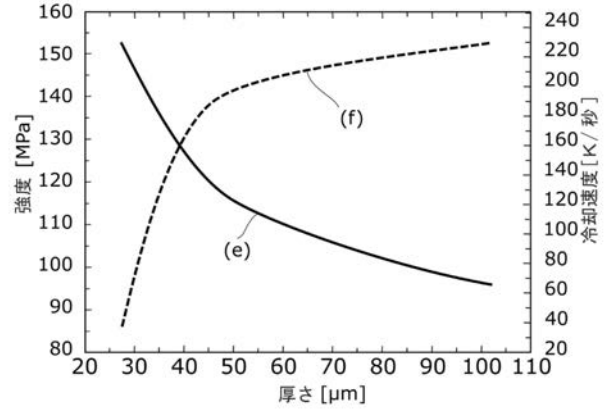
【 図 2 】



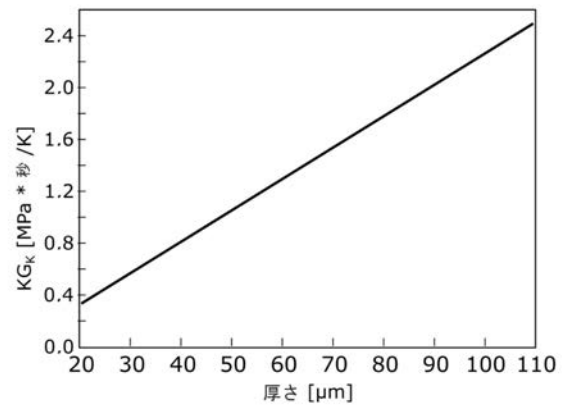
【 図 4 】



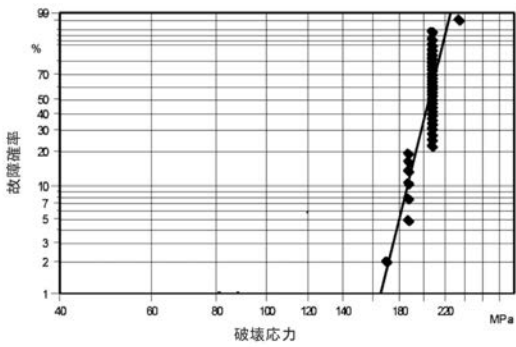
【 図 5 】



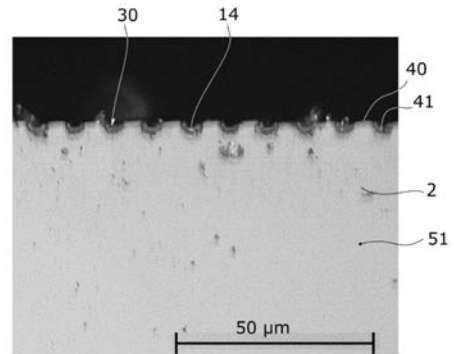
【 図 6 】



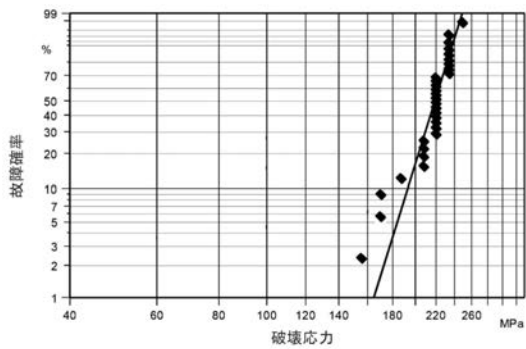
【 図 7 】



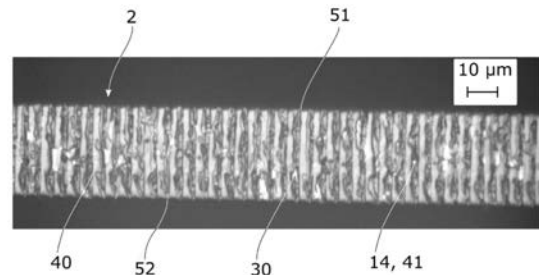
【 図 9 】



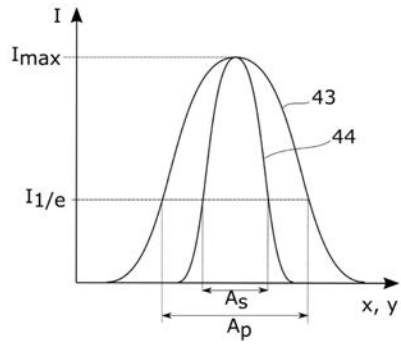
【 図 8 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

(74)代理人 100134315

弁理士 永島 秀郎

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 クラウス - ペーター クーレク

ドイツ連邦共和国 マインツ カタリーナ - フリーデリヒ - シュトラーセ 4 5

(72)発明者 マーティン クアツ

ドイツ連邦共和国 クローンベアク ハイน์リヒ - ヴィンター - シュトラーセ 1 2 アー

(72)発明者 アンドレアス オアトナー

ドイツ連邦共和国 ガウ - アルゲスハイム マインツァー シュトラーセ 6 エル

(72)発明者 オーラフ クラウセン

ドイツ連邦共和国 ウンデンハイム ドルチェ - リング 1 0

F ターム(参考) 4E168 AE01 DA02 DA34 DA46 DA47 JA14

4G015 FA06 FB02 FC04 FC14

【 外国語明細書 】

Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben und verfahrensgemäß hergestellte Glasscheibe sowie deren Verwendung

Die vorliegende Erfindung betrifft die Herstellung von ultradünnen Glasscheiben, also
5 Gläsern mit einer Glasdicke von 15 µm bis 2 mm, durch Laser-Filamentierung für das Einfügen
von Sollbruchlinien am Endlos-Glasband und das anschließende Abtrennen der prozessbedingt
verdickten Borten, das heißt der wulstartigen Verdickungen an den beiden Rändern in
Längsrichtung des Glasbands, sowie das Abtrennen der Glasscheiben in Querrichtung des
Glasbands. Unter die ultradünnen Glasscheiben fallen dabei auch sogenannte Glasfolien.

10

Beschreibung

Durch die Laser-Filamentierung für den Bortenschnitt und die Quervereinzelung am
Glasband und gegebenenfalls in Kombination mit einem späteren Trennen des Glases sind
15 höhere Glasband-Geschwindigkeiten bzw. Ziehgeschwindigkeiten und Schnittgeschwindigkeiten
im Schneidprozess möglich als beispielsweise beim Rädchenschnitt, bei dem insbesondere
durch die von einem Werker durchzuführenden Trenn- und Ablageprozesse die erzielbaren
Schnittgeschwindigkeiten für Borte und Querritz limitiert sind. Die Laser-Filamentierung ist zudem
ein partikelarmes Verfahren, so dass weniger Kontaminationen und Kratzer im Glas vorliegen.

20 Das Trennen von Glasscheiben durch das Einfügen von Filamenten durch Ultrakurzpuls-
Laser ist an sich bekannt. Entsprechende Verfahren werden unter anderem in der
WO 2018/020145 A1, der WO 2017/055576 A1, der US 2018/0057390 A1, und der
US 2017/0120374 A1 beschrieben.

25 Da die Einhaltung bestimmter Geometriefaktoren wegen der Verwölbungen und der
Dickenvariation etc. bestimmte Mindest-Ziehgeschwindigkeiten bei ultradünnen Gläsern
erfordern, kommt es bei hohen Ziehgeschwindigkeiten zu erheblichen Abkühlraten. Die hohen
Abkühlraten führen üblicherweise zu inneren Spannungen im Glas, was in einer verminderten
Kantenfestigkeit beim Glasschnitt resultiert, so dass hohe Abkühlraten üblicherweise nachteilhaft
sind.

30 Der Erfindung liegt mithin die Aufgabe zugrunde, ein besonders wirtschaftliches
Verfahren zur Herstellung von ultradünnen Glasscheiben zur Verfügung zu stellen, das unter
Berücksichtigung verschiedener Abkühlraten, insbesondere trotz hoher Abkühlraten, eine hohe

Kantenfestigkeit der mit dem Verfahren hergestellten Glasscheiben garantiert. Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen angegeben.

5 Daher sieht die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben mit den folgenden Schritten vor:

- Heißformen eines kontinuierlichen, insbesondere eines kontinuierlich gezogenen, Glasbands mit einer vorgegebenen Glasdicke im Bereich von 15 μm bis 2 mm aus einer Glasschmelze,
- Abkühlen des Glasbands mit einer Abkühlrate, die abhängig von der vorgegebenen Glasdicke, gewählt wird, wobei vorzugsweise mit sinkender bzw. geringerer Glasdicke die Abkühlrate erhöht
- 10 wird, d.h. vorzugsweise je geringer die Glasdicke ist, eine höhere Abkühlrate gewählt wird, und je höher die Glasdicke ist, eine niedrigere Glasdicke gewählt wird,
- Erzeugen eines Laserstrahls mittels zumindest einem Ultrakurzpulslaser,
- Erzeugen eines Fokusbereichs des Laserstrahls mittels einer strahlformenden Optik derart, dass der Fokusbereich länger als die Glasdicke des Glasbands ist,
- 15 - Einfügen von Sollbruchlinien aus filamentförmigen Schädigungen in das Glasband mit dem Laserstrahl, so dass sich die filamentförmigen Schädigungen bevorzugt von einer Seitenfläche zur gegenüberliegenden Seitenfläche des Glasbands erstrecken, und wobei die filamentförmigen Schädigungen entlang der Sollbruchlinien beabstandet eingefügt werden,- wobei Quer-
- Sollbruchlinien quer zum Glasband und Längs-Sollbruchlinien beidseitig längs zum Glasband mit
- 20 Rändern, die jeweils eine verdickte Borte aufweisen, erzeugt werden,
- Abtrennen der Borten entlang der Längs-Sollbruchstellen unter Bildung von Kanten, bevorzugt mit vorgegebener Kantenfestigkeit, sowie
- Abtrennen von Glasscheiben durch Auftrennen an den quer zum Glasband laufenden Quer-Sollbruchlinien unter Bildung von Kanten, bevorzugt mit vorgegebener Kantenfestigkeit.

25 Der Laserstrahl kann durch die strahlformende Optik insbesondere als Bessel-Strahl geformt werden.

Die für das genannte Verfahren entsprechende Vorrichtung zur Herstellung von Glasscheiben umfasst bevorzugt

- eine Vorrichtung zum Heißformen eines kontinuierlichen Glasbands mit einer vorgegebenen
- 30 Glasdicke im Bereich von 15 μm bis 2 mm aus einer Glasschmelze,
- mindestens einen Ultrakurzpulslaser und eine strahlformende Optik, die einen Bessel-Strahl erzeugt, mit dem als Strahlprofil ein Fokusbereich erzeugt wird, der länger als die Glasdicke

eingestellt wird, um in die Tiefe gehende, voneinander beabstandete, filamentförmige Schädigungen in einem vorbestimmten Volumen des Glasbands zu erzeugen, zur Bildung von Quer-Sollbruchlinien quer zum Glasband und zur Bildung von Längs-Sollbruchlinien beidseitig längs zum Glasband mit Rändern, die jeweils eine verdickte Borte aufweisen,

- 5 - eine Bewegungseinrichtung zur Positionierung des Laserstrahls entlang eines vorgesehenen Verlaufs der Sollbruchlinien auf dem Glasband,
- eine Kühleinrichtung, welche so angeordnet und eingerichtet ist, dass diese das Glasband vor, während und/oder nach dem Einfügen der filamentförmigen Schädigungen in das Glasband mit einer Abkühlrate abkühlt, die abhängig von der vorgegebenen Glasdicke gewählt wird, wobei
10 vorzugsweise eine höhere Abkühlrate gewählt wird, je geringer die Glasdicke ist. Weiterhin kann eine Abtrennvorrichtung vorgesehen werden, welche so angeordnet und eingerichtet ist, dass diese die Borten entlang der Längs-Sollbruchlinien und die Glasscheiben durch Auftrennen an den quer zum Glasband laufenden Quer-Sollbruchlinien jeweils unter Bildung von Kanten, bevorzugt mechanisch, separiert.

- 15 Die Positionierung des Laserstrahls durch die Bewegungseinrichtung kann durch zumindest einen der Schritte Bewegen des Glasbands, Bewegen des zumindest einen UltrakurzpulsLasers, Bewegen oder Einstellen der strahlformenden Optik erfolgen.

Die bevorzugte Glasdicke liegt dabei bei gleich oder kleiner als 100 μm , bei kleiner als 70 μm , gleich oder kleiner als 50 μm , gleich oder kleiner als 30 μm oder bei kleiner als 20 μm .

- 20 Das Glasband wird vorzugsweise in einem Down-Draw-Verfahren schnell gezogen, bevorzugt mit einer Geschwindigkeit im Bereich von 1 Meter pro Minute bis 50 Meter pro Minute. Das Verfahren ist aber nicht auf das Down-Draw-Verfahren beschränkt. Möglich ist auch ein Ziehen im Overflow-Fusion-Verfahren oder weiteren Verfahren, die geeignet sind, dünne Glasbänder herzustellen.

- 25 Das Einfügen der Sollbruchlinien aus filamentförmigen Schädigungen erfolgt bevorzugt beim Down-Draw-Verfahren, gemäß einer Ausführungsform nach einem Umlenken des Glasbands in die Horizontale.

- Das Glasband wird bevorzugt schnell abgekühlt, insbesondere können Abkühlraten von gleich oder größer als 40 K/s verwendet werden. Insbesondere können die Abkühlraten auch
30 deutlich größer sein, bevorzugt gleich oder größer als 100 K/s, besonders bevorzugt von gleich oder größer als 150 K/s oder sogar von gleich oder größer als 200 K/s.

Das Glasband wird gemäß einer Weiterbildung der Erfindung mit einer dickenabhängigen Abkühlrate abgekühlt, bevorzugt mit einer Abkühlrate, die im Bereich von $(1/d) \cdot 4500$ Kelvin/(s · μm) bis $(1/d) \cdot 9000$ Kelvin/(s · μm) liegt, wobei d die Dicke des Glasbands bezeichnet.

5 Somit wird vorzugsweise mit vorgegebener kleinerer Dicke des Glasbands die Abkühlrate erhöht bzw. mit vorgegebener größerer Dicke des Glasbands die Abkühlrate abgesenkt/erniedrigt.

Um nachfolgend eine zuverlässige und leichte Trennbarkeit der Borten vom Glasband und der Abtrennung einzelner Glasscheiben zu erreichen, erfolgt das Abkühlen des Glasbands bevorzugt vor dem Einfügen der Sollbruchlinien im Bereich der Glasübergangstemperatur, vorzugsweise bei einer Temperatur unterhalb des Erweichungspunktes, besonders bevorzugt bei
10 einer Temperatur unterhalb der Glasübergangstemperatur. Zur Optimierung des Verfahrens kann das Abkühlen des Glasbands optional zusätzlich auch während und/oder nach dem Einfügen der Sollbruchlinien erfolgen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt das Abkühlen in einem Kühllofen, insbesondere mit Heizelementen, oder durch Anblasen mit oder Aufspritzen von einem
15 Kühlfluid, insbesondere mit Luft, anderen gasförmigen Medien oder einem Aerosol. Bei letzterem kann die Abkühlrate beispielsweise durch Regelung der Durchflussmenge des Kühlfluids an die Prozessparameter Glasbandtemperatur und Vorschubgeschwindigkeit angepasst/bestimmt werden, um unerwünschte Spannungen im Glasband zu verhindern.

Gemäß einem besonders bevorzugten Aspekt wird über die strahlformende Optik die
20 Intensitätsverteilung im Glas und damit auch die Form der filamentförmigen Schädigungen gezielt eingestellt. Dafür wird das Strahlprofil durch eine entsprechende strahlformende Optik vorzugsweise so eingestellt, dass die Lichtintensität des Laserstrahls, beziehungsweise dessen Ausdehnung, in Richtung der Sollbruchlinien größer ist als quer dazu.

In einer weiter bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird durch die strahlformende
25 Optik ein Strahlprofil mit lateraler Vorzugsrichtung erzeugt, bevorzugt ein elliptisches, lanzettenförmiges, tropfenförmiges, mit zwei zueinander beabstandeten Strahlen- (z.B. als Doppel-Bessel-Strahl), rauten- hantel-, keil-, oder spot-förmiges Strahlprofil, oder auch ein Strahlprofil mit einem Hauptstrahl und einem Satelliten mit geringerer Intensität. Dadurch lassen sich nahezu beliebige Konturen mit besonders hoher Kantengüte bzw. Kantenfestigkeit nach dem
30 Abrennen der Borten und der Vereinzelung der Glasscheiben erzeugen.

Die Geschwindigkeit und die Wiederholrate des Ultrakurzpulslasers werden bevorzugt so eingestellt, dass die filamentförmigen Schädigungen in einem Abstand nebeneinander eingefügt

werden, der höchstens so groß wie die Glasdicke ist. Vorzugsweise weisen die filamentförmigen Schädigungen mittlere Abstände zueinander im Bereich von 1 μm bis 10 μm , bevorzugt von 3 μm bis 8 μm auf.

5 In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Glasscheiben erfolgt die Reihenfolge des Einfügens der Sollbruchlinien erst quer zum Glasband, wodurch die Quer-Sollbruchlinien erzeugt werden, und dann beidseitig längs zum Glasband mit Rändern, die jeweils eine verdickte Borte aufweisen, zur Erzeugung der Längs-Sollbruchlinien. Auf diese Weise wird das Glasband nach dem Einfügen der Quer-Sollbruchlinien noch durch die Borten zusammengehalten und dadurch mechanisch stabilisiert.

10 Es wurde ferner herausgefunden, dass die Kantenfestigkeit bei dünneren Gläsern einhergehend mit höherer Abkühlrate abnimmt, und dass umgekehrt die Kantenfestigkeit bei dickeren Gläsern mit geringerer Kühlrate zunimmt. In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens werden die Glasscheiben mit Kanten mit einer kühlabhängigen Kantenfestigkeit KG_K hergestellt, die der folgenden Formel genügen:

15 (1) $KG_K = KG / K$, beziehungsweise

(2) $KG = KG_K * K$.

Hierbei bezeichnet KG einen Festigkeitswert in MPa und K die Abkühlrate in Kelvin/s.

Insbesondere kann mittels dem hier offenbarten Trennverfahren ein Koeffizient KG_K erreicht werden, der für eine Glasdicke von mindestens 30 μm größer als 0,2 MPa*s/Kelvin, bevorzugt größer als 0,5 MPa*s/Kelvin, beträgt. Für eine Glasdicke von mindestens 50 μm kann die kühlabhängige Kantenfestigkeit KG_K größer als 0,5 MPa*s/Kelvin, bevorzugt größer als 0,9 MPa*s/Kelvin betragen. Für eine Glasdicke von mindestens 100 μm ist gemäß noch einer Ausführungsform die kühlabhängige Kantenfestigkeit KG_K größer als 1,5 MPa*s/Kelvin, bevorzugt größer als 2 MPa*s/Kelvin.

25 In einer weiter bevorzugten Ausgestaltung ist die Bewegungseinrichtung zum Bewegen des Glasbands vorzugsweise zumindest mit einer Anpress-Rolle, einer Anpresskante oder einer Ansaugereinrichtung ausgestattet zur Fixierung der Lage des Glasbands innerhalb des Fokusbereichs. Damit wird das Glasband im Hinblick auf die Lage des Fokus des Ultrakurzpulslasers und die Anordnung der Sollbruchstellen aus filamentartigen Schädigungen festgelegt und ein Herauslaufen des Glasbands aus dem Bereich des Fokus des Bessel-Strahls
30 vermieden.

Insbesondere kann durch die Fixierung auch die Geschwindigkeit des Herstellungsprozesses unter Vermeidung der beschriebenen Nachteile erhöht werden, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens auswirkt.

5 Das Abtrennen der Borten an den Längs-Sollbruchlinien und das Abtrennen von Glasscheiben durch Auftrennen an den quer zum Glasband laufenden Quer-Sollbruchlinien erfolgt vorzugsweise mechanisch. Es hat sich gezeigt, dass die Auftrennung an der Sollbruchlinie im Allgemeinen kaum einer mechanischen Einwirkung bedarf. Oft reichen die Bewegungen und Spannungen beim Transport des Glasbands bereits aus, um die Sollbruchstelle aufzutrennen.

10 Mit dem Verfahren zur Herstellung von ultradünnen Glasscheiben gemäß dieser Offenbarung können auch besonders hohe Schnittgeschwindigkeiten, insbesondere bis 5 m/s, besonders bevorzugt 3 m/s bis 5 m/s, erreicht werden.

Durch die Laser-Filamentierung sind für den Bortenschnitt und die Quervereinzelung am Glasband, also für das Separieren der Borten und die Trennung einzelner Glasscheiben bzw. den sogenannten Ganzkörperschnitt (FBC: Full Body Cut), wie gesagt, nur noch sehr geringe oder
15 keine Trennkräfte notwendig. Insbesondere ist kein Induzieren von thermischen Spannungen durch Einbringen von Temperatur, d.h. das Induzieren einer Temperaturdifferenz, notwendig, also beispielsweise kein sog. thermischer Cleaving-Prozess und kein Thermal-Shock-Cutting durch eine abrupte Temperaturemniedrigung, insbesondere durch einen Kälteschock, notwendig.

Mit dem Verfahren nach dieser Offenbarung lassen sich hohe Kantenfestigkeiten mit
20 verschiedenen Abkühlraten, insbesondere auch mit hohen Abkühlraten, unter Berücksichtigung der Glasdicke erreichen.

Die dickenabhängige Abkühlrate stellt somit gerade keinen Nachteil dar, sondern ist Bestandteil der Lösung der Aufgabe.

25 Das Verfahren ist besonders partikelarm und führt zu einer besonders stabilen Kantenfestigkeit und somit zu erhöhten planbaren Ausbeuten.

Durch die reduzierten Herstellungskosten und die mit dem Verfahren erzielte stabile Qualität der Glasscheiben ist das Verfahren zudem besonders wirtschaftlich.

30 Es sind nach dem Verfahren Glasscheiben mit einer Glasdicke von 15 μm bis 2 mm, bevorzugt mit einer Glasdicke von gleich oder kleiner 100 μm , 50 μm oder 30 μm , bevorzugt mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von größer 6 ppm/K, herstellbar, wobei die Glasscheibe bevorzugt ein Weibull-Modul (nach DIN EN 843-5) von größer 7 und eine charakteristische Bruchspannung von mehr als 130 MPa, oft sogar von mehr als 150 MPa, oder

sogar mehr als 200 MPa aufweist. In einer bevorzugten Ausführungsform liegt die charakteristische Bruchspannung in einem Bereich von 150 MPa bis 250 MPa. Für das 5%-Quantil bei einer Kantenlänge von 1,68 Metern, $\sigma_{5\%@1,68}$ ergeben sich Werte von mehr als 90 MPa, oft sogar mehr als 130 MPa.

5 Die Glasscheiben weisen bevorzugt raue Flächen mit filamentförmigen Schädigungen und dazwischen liegende ebene Flächen ohne filamentförmigen Schädigungen auf, wobei das Flächenverhältnis der ebenen Flächen zu den rauen Flächen bevorzugt zwischen 3:10 bis 2:1 beträgt.

10 Diese nach dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbaren ultradünnen Glasscheiben können für sehr verschiedene Anwendungen eingesetzt werden. Bevorzugt finden sie Verwendung für isolierende Zwischensubstrate oder Abstandhalter für elektronische Komponenten, zur Verkapselung optoelektronischer Komponenten, als Träger für Dünnschicht-Zellen, wie Dünnschicht-Batterien oder Dünnschicht-Solarzellen, als Verbundsubstrate für Displays und für Mikrofluidik-Zellen.

15 Die vielfältigen Anwendungen beruhen auf den Eigenschaften, wie der Chemikalien-, Temperaturwechsel- und Hitzebeständigkeit, Gasdichtigkeit, des hohen elektrischen Isolationsvermögens, angepassten Ausdehnungskoeffizienten, der Biegsamkeit, hohen optischen Qualität und Lichtdurchlässigkeit oder auch der hohen Oberflächenqualität mit sehr geringer Rauigkeit der beiden Dünnglasseiten, sowie der durch das Trennverfahren erreichten hohen
20 Kantenfestigkeit.

Die Erfindung wird nachfolgend genauer anhand und unter Bezugnahme auf die beigeschlossenen Figuren erläutert, jedoch ohne die Erfindung einzuschränken.

Kurzbeschreibung der Figuren

25

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Herstellung von Glasscheiben.

Fig. 2 zeigt Strahlprofile der strahlformenden Optik.

Fig. 3 zeigt eine Anordnung zum Trennen des Glasbands in vereinzelte Glasscheiben.

Fig. 4 ist ein Diagramm der Abkühlrate in Abhängigkeit der Glasdicke.

30 Fig. 5 ist ein Diagramm der Kantenfestigkeit und der Abkühlrate in Abhängigkeit der Glasdicke,

Fig. 6 ist ein Diagramm eines Koeffizienten der kühlratenabhängigen Kantenfestigkeit in Abhängigkeit der Glasdicke.

Fig. 7 und Fig. 8 zeigen Weibull-Diagramme der Ausfallwahrscheinlichkeit als Funktion der Bruchspannung.

5 Fig. 9 zeigt eine mikroskopische Aufnahme des Randbereichs einer Glasscheibe.

Fig. 10 zeigt eine mikroskopische Aufnahme der Kante einer Glasscheibe.

Fig. 1 zeigt eine beispielhafte Ausführungsform einer Vorrichtung 1 zur Herstellung von Glasscheiben 2 mit einer vorgegebenen Glasdicke d im Bereich von $15\ \mu\text{m}$ bis $2\ \text{mm}$. Ein
10 kontinuierliches Glasband 4 wird durch eine nach unten gerichtete schlitzförmige Düse 6, die Teil einer Vorrichtung zum Heißformen 8 ist, aus einer Glasschmelze 10 gezogen. Hier wird als Heißformverfahren für Glasbänder bevorzugt das sogenannte Down-Draw-Verfahren verwendet und das Einfügen von Sollbruchlinien 12 aus filamentförmigen Schädigungen 14, das heißt die Laser-Filamentierung, erfolgt bevorzugt direkt beim Down-Draw-Verfahren, besonders bevorzugt
15 nach dem Umlenken des Glasbands 4 in die Horizontale.

In das Glasband 4 werden mit mindestens einem Ultrakurzpulslaser 16 kontrollierte Sollbruchlinien 12 aus filamentförmigen Schädigungen 14 eingefügt, wobei dessen Laserpuls durch eine strahlformende Optik 18 einen annähernden Bessel-Strahl 20 erzeugt, mit dem ein Fokusbereich 22 erzeugt wird, der durch das Glasband 4 hindurchgeht. Insbesondere kann die
20 strahlformende Optik 18 den Laser-Strahl 20 fokussieren, um im Glas die Leistungsdichte zu erhöhen. Über die strahlformende Optik 18 lässt sich die Intensitätsverteilung und damit auch die Form der filamentförmigen Schädigungen 14 gezielt einstellen.

Der Fokusbereich wird bevorzugt länger als die Glasdicke d eingestellt, um in die Tiefe gehende - voneinander beabstandet - filamentförmigen Schädigungen 14 in einem
25 vorbestimmten Volumen des Glasbands 4 zu erzeugen, bevorzugt von einer Seitenfläche 51 zur gegenüberliegenden Seitenfläche 52 des Glasbands 4, das heißt bevorzugt über die gesamte Dicke d des Glasbands 4 einzufügen.

Als Ultrakurzpulslaser für die Zwecke der Erfindung eignet sich beispielsweise ein
30 Nd:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von $1064\ \text{nm}$, einer mittleren Leistung von $12\ \text{W}$ (bei $1064\ \text{nm}$, $100\ \text{kHz}$, $1\ \text{Puls pro Burst}$), einer Repetitionsrate von $100\ \text{kHz}$, eine Burst-Frequenz von $50\ \text{MHz}$ und einer Pulsdauer von ungefähr $10\ \text{ps}$ (bei $1064\ \text{nm}$ und $100\ \text{kHz}$).

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann ein Yb:YAG-Laser mit 1030 nm verwendet werden. Generell können die Laser als frequenzverdoppelte (SHG) oder frequenzverdreifachten (THG) Versionen eingesetzt werden. Die Pulslängen liegen gemäß einer Ausführungsform im Bereich von 300 fs bis 20 ps, oder im Bereich von 400 fs bis kleiner 10 ps. Die Repetitionsraten können im Bereich von 50 kHz bis 1 MHz, bevorzugt 100 kHz bis 500 kHz liegen. Pulsenergien können mehr als 100 μ J, mehr als 200 μ J oder auch mehr als 400 μ J betragen. Die Zahl der Burstpulse ist ≤ 2 , ≤ 4 oder ≤ 8 .

Zudem umfasst die Vorrichtung 1 zur Herstellung von Glasscheiben 2 bevorzugt eine Bewegungseinrichtung 24, zum Beispiel durch Transportrollen, insbesondere Ziehrollen, zum Bewegen des Glasbands 4, des Ultrakurzlasers 16 und/oder der strahlformenden Optik 18 zur Positionierung des Laser-Strahls 20 entlang eines vorgesehenen Verlaufs der Sollbruchlinien 12 auf dem Glasband 4.

Dabei kann sowohl der Laserstrahl 20 über das Glasband 4 geführt, als auch das Glasband 4 am Laserstrahl 20 vorbeigeführt werden. Ebenso ist eine Kombination beider Varianten möglich. Um den Laserstrahl 20 senkrecht zur Bewegungsrichtung des Glasbands 4 zu bewegen, kann beispielsweise ein Galvanometer-Scanner verwendet werden oder ein Umlenkspiegel an einer beweglichen Achse quer zum Glasband transportiert werden.

Vorliegend werden Quer-Sollbruchlinien 121 quer zum Glasband 4 und Längs-Sollbruchlinien 122 beidseitig längs zum Glasband 4 mit Rändern, die jeweils eine verdickte Borte 13 aufweisen, gebildet.

Der Erfindung liegt auch die Erkenntnis zugrunde, dass die Streuung der Bruchkraft an den mit dem lasergestützten Verfahren gemäß dieser Offenbarung hergestellten Kanten mit einer an den die Glasdicke angepasste Abkühlrate reduziert werden kann.

Die Vorrichtung 1 zur Herstellung von Glasscheiben 2 weist somit ferner eine Kühleinrichtung 26 auf, welche so angeordnet und eingerichtet ist, dass diese das Glasband 4 vor dem Einfügen der filamentförmigen Schädigungen 14 in das Glasband 4 mit einer Abkühlrate abkühlt, die abhängig von der vorgegebenen Glasdicke d gewählt wird, wobei vorzugsweise eine höhere Abkühlrate gewählt wird, je geringer die Glasdicke ist.

Bevorzugt erfolgt das Abkühlen des Glasbands 4 vor dem Einfügen der Sollbruchlinien 12 im Bereich der Glasübergangstemperatur, vorzugsweise bei einer Temperatur unterhalb des Erweichungspunktes, besonders bevorzugt bei einer Temperatur unterhalb der Glasübergangstemperatur.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird das Abkühlen des Glasbands 4 in einem Kühllofen 27, insbesondere kontrolliert mit Heizelementen vorgenommen. Gegebenenfalls kann eine homogene Abkühlung auch durch Anblasen oder Aufspritzen mit einem Kühlfluid, insbesondere mit Luft oder einem Aerosol, unterstützt werden.

5 Die Vorrichtung 1 zur Herstellung von Glasscheiben 2 umfasst gemäß einer Ausführungsform weiterhin eine Abtrennvorrichtung 28, welche so angeordnet und eingerichtet ist, dass diese die Borten 13 entlang der Längs-Sollbruchlinien 122 unter Bildung von Kanten 30 und die Glasscheiben 2 durch Auftrennen an den quer zum Glasband 4 laufenden Quer-Sollbruchlinien 121 unter Bildung von weiteren Kanten 30 bevorzugt mechanisch separieren. So
10 kann die Abtrennvorrichtung eine Anordnung mit einer balligen Walze enthalten, welche über die Sollbruchlinien geführt wird. Auch kann eine Heizquelle, wie etwa ein Laser vorgesehen werden, um thermische Spannungen an der Sollbruchlinie zu induzieren. Gegebenenfalls ist aber keine mechanische Einwirkung mehr erforderlich, um das Glas an den Sollbruchlinien zu separieren.

Auch lässt sich über die strahlformende Optik 18 die Intensitätsverteilung im Glas und
15 damit auch die Form der filamentförmigen Schädigungen 14 gezielt einstellen.

In einer weiter bevorzugten Ausgestaltung ist die Bewegungseinrichtung 24 zum Bewegen des Glasbands 4 zumindest mit einer Anpress-Rolle, einer Anpresskante oder einer Ansaugeneinrichtung zur Fixierung der axialen Position, beziehungsweise der Lage des Glasbands 4 in Strahlrichtung innerhalb des Fokusbereiches ausgestattet, damit das Glasband 4 im Hinblick
20 auf die Vereinzelung der Glasscheiben 2 und das Abtrennen der Borten 13 nicht verzogen wird, wodurch die Form und die Kantenqualität der einzelnen Glasscheiben 2 beeinträchtigt werden könnte. Insbesondere kann durch die Fixierung auch die Geschwindigkeit des Herstellungsprozesses unter Vermeidung der beschriebenen Nachteile erhöht werden, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens auswirkt. Bei dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel ist
25 als Einrichtung zur Fixierung der vertikalen Position des Glasbands 4 ein Paar von Anpressrollen 15 dargestellt, welche nahe dem Auftreffpunkt des UltrakurzpulsLasers 16 die Position des Glasbands in Einstrahlrichtung des Laserstrahls 20 festlegen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Glasscheiben 2 wird das Strahlprofil durch eine entsprechende strahlformende Optik 18 bevorzugt so
30 eingestellt, dass das Intensitätsprofil in Gestalt eines Bessel-Strahls bzw. annähernd in Gestalt eines Bessel-Strahls mit stark überhöhter Intensität auf der optischen Achse ausgebildet wird. Die strahlformende Optik bewirkt eine Fokussierung auf einen Linienfokus. Um eine derartige

Fokussierung zu erreichen, ist beispielsweise ein oder mehrere Axikon(s) oder ein diffraktives optisches Element (DOE) oder Kombinationen hieraus mit anderen optischen Elementen als strahlformende optische Elemente geeignet.

Insbesondere wird das Strahlprofil bevorzugt so eingestellt, dass die Ausdehnung des Laserstrahls, in Richtung der Sollbruchlinien 12 größer ist als quer, insbesondere senkrecht dazu. Auf diese Weise ist die entlang der Sollbruchlinie integrierte Strahlungsmenge größer als entlang einer senkrecht zur Sollbruchlinie verlaufenden, die Mitte des Strahls kreuzenden Linie. Mit anderen Worten erzeugt die strahlformende Optik vorzugsweise ein Strahlenbündel mit einem solchen Querschnitt, der in Richtung der linienförmig aufgereihten filamentförmigen

5
10
15

Schädigungen 14 ausgedehnter ist als quer zu dieser Richtung, die einzelnen filamentförmigen Schädigungen 14 verlaufen der Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls 20 folgend in ihrer Längsrichtung quer, vorzugsweise senkrecht zur Oberfläche des Glasbands 4. Dazu ist die strahlformende Optik 18 bevorzugt hinsichtlich einer größeren Strahlenbündel-Querschnittsausdehnung verstellbar und die Richtung der größeren Querschnittsausdehnung wird vorzugsweise auf den Verlauf der linienförmig aufgereihten filamentförmigen Schädigungen 14 nachgeführt.

In einer weiter bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird durch die strahlformende Optik 18 ein asymmetrisches Strahlprofil mit lateraler Vorzugsrichtung erzeugt. Fig. 2 zeigt dazu verschiedene Möglichkeiten eines Strahlprofils. Teilbild (a) zeigt ein elliptisches Strahlprofil 32. Dieses wird so ausgerichtet, dass dessen lange Halbachse entlang der jeweiligen Sollbruchlinie ausgerichtet ist. Demnach ist die Ausdehnung A_p des Strahlprofils entlang der Sollbruchlinie größer als die Ausdehnung A_s senkrecht zur Sollbruchlinie. Teilbild (b) zeigt ein tropfenförmiges Strahlprofil 33. Bei der Ausführungsform nach Teilbild (c) ist der Laserstrahl in zwei Strahlen aufgeteilt. Das Strahlprofil 34 weist demnach in Form eines Doppelstrahls zwei beabstandete

20
25
30

Strahlen auf. Teilbild (d) zeigt ein rautenförmiges Strahlprofil 35, In Fig. 2(e) ist ein hantelförmiges Strahlprofil 36 und in Fig. 2(f) ein keilförmiges Strahlprofil 37 dargestellt. Fig. 2 (g) schließlich zeigt ein Strahlprofil 38 mit einem Hauptstrahl und einen schwächeren oder kleineren Satelliten. Den Ausführungsformen der Teilbilder (b), (e), (f) und (g) ist gemein, dass diese nicht nur in Vorschubrichtung ausgedehnter als senkrecht dazu, sondern auch asymmetrisch in Bezug auf eine Spiegelachse senkrecht zur Vorschubrichtung sind. Eine solche Form kann sehr vorteilhaft sein, um das Auftrennen weiter zu erleichtern und höhere Kantenfestigkeiten zu erzielen. Dies, da während des Einfügens der Filamente ebenfalls asymmetrische Bedingungen

vorliegen, da in Vorschubrichtung gesehen vor dem Laserstrahl noch keine Filamente vorhanden sind, gegenüber dem vom Strahl bereits überstrichenen Teil der Sollbruchlinie. Allgemein, ohne Beschränkung auf die speziellen Beispiele ist daher vorgesehen, dass die filamentförmigen Schädigungen mit einem Laserstrahl 20 eingefügt werden, der ein asymmetrisches Strahlprofil in Bezug auf eine Spiegelung senkrecht zur Vorschubrichtung aufweist.

Dadurch ergibt sich eine kontrollierbare Form mit höherer geometrischer Genauigkeit der entstehenden Sollbruchlinien 12 aus filamentförmigen Schädigungen 14, gepaart mit einer höheren Kantenfestigkeit nach dem Abrennen der Borten 13 und der Vereinzelung der Glasscheiben 2.

Zur Begünstigung der Spaltenbildung in Richtung der Sollbruchlinien ist es zweckmäßig, Querschnittsformen des Laserstrahlbündels auszuwählen, die eine Ausdehnung in Richtung des erwünschten Bruches aufweisen.

Die elliptische Querschnittsformen 32 der Fig. 2 (a) lässt sich beispielsweise durch kombinierte Zylinderlinsen aus einer ursprünglich kreisförmigen Querschnittsform des Laserstrahls gewinnen. Die weiteren Strahlprofile können ebenfalls durch geeignete Linsen, gegebenenfalls auch unter Verwendung diffraktiv-optischer Elemente (DOEs) erzeugen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens zur Herstellung von Glasscheiben 2 erfolgt verfahrenstechnisch bedingt die Reihenfolge des Einfügens der Sollbruchlinien 12 erst quer zum Glasband, wodurch die Quer-Sollbruchlinien 121 erzeugt werden, und dann beidseitig längs zum Glasband mit Rändern, die jeweils eine verdickte Borte aufweisen, zur Erzeugung der Längs-Sollbruchlinien 122, weil das Glasband 4 dann noch durch die Borten 13 zusammengehalten und dadurch mechanisch stabilisiert wird.

Fig. 3 zeigt dazu eine Anordnung zum Trennen des Glasbands 4 in vereinzelte Glasscheiben 2 und zum Abtrennen der Borten 3.

Für dieses Verfahren ist bevorzugt eine Bewegungseinrichtung 24 zum Transport des kontinuierlich gezogenen Glasbands 4 vorgesehen, die im dargestellten Beispiel ein Transportband 240 umfasst. Um die Sollbruchlinien 12 einzufügen können allgemein, ohne Beschränkung auf das dargestellte Beispiel, auch vorteilhaft mehrere Ultrakurzpuls laser 16 verwendet werden, wobei zumindest ein erster Ultrakurzpuls laser 16 die Quer-Sollbruchlinien 121 und zumindest ein zweiter Ultrakurzpuls laser 16 die Längs-Sollbruchlinien 122 einfügt. Insbesondere können auch, wie im dargestellten Beispiel für zwei Längs-Sollbruchlinien 122 zwei Ultrakurzpuls laser 16 verwendet werden. Die strahlformenden Optiken 18 der Ultrakurzpuls laser

16 sind der Einfachheit halber in der Figur nicht dargestellt. Die Bewegungseinrichtung 24 kann wie im gezeigten Beispiel auch eine Strahlablenkoptik 241 umfassen. Gemäß einer Ausführungsform werden dabei die Quer-Sollbruchlinien 121 mit einem durch eine Strahlablenkoptik 241 über das Glasband 4 bewegten Laserstrahl 20 eingefügt. Die Strahlablenkoptik 241 kann beispielsweise einen Galvanometer-Scanner umfassen.

Wie dargestellt, werden in einer bevorzugten Ausführungsform die genannten Sollbruchlinien 121, 122 zunächst quer und dann längs in das fortlaufende Glasband 4 eingefügt.

Das Abtrennen von einzelnen Glasscheiben 2 bzw. der sogenannte Ganzkörperschnitt (FBC: Full Body Cut) durch Auftrennen bzw. Brechen an den quer zum Glasband 4 laufenden Quer-Sollbruchlinien 121 kann durch eine mechanische Abtrennvorrichtung 28 erfolgen, für die nach der Laser-Filamentierung lediglich besonders geringe oder keine Trennkräfte notwendig sind. Auch der Bortenschnitt, also das Abtrennen der Borten 13 entlang der Längs-Sollbruchlinien 122 des Glasbands 4 kann durch besonders geringe Trennkräfte, beispielsweise durch einfaches Ziehen und/oder durch Fortbewegung auf einem Beschleunigungsband 29 erfolgen. Ein Beschleunigungsband 29, mit welchem die einzelnen Glasscheiben 2 in Bewegungsrichtung separiert werden, kann beispielsweise auch Bestandteil einer Trennvorrichtung 28 sein, oder die Trennvorrichtung 28 darstellen.

Nach dem Abtrennen und Vereinzeln der Glasscheiben 2 können diese mittels der Transporteinrichtung 24 zu einer Inspektionseinheit 39 befördert werden. Mittels der Inspektionseinheit 39 können unter anderem die Abmessungen der Glasscheiben und deren Kantenqualität überprüft werden.

Insbesondere ist für das Erzielen einer guten Kantenqualität kein thermisches Trennen des Glasbands 4 durch Spannungseintrag notwendig bzw. kein Induzieren von thermischen Spannungen durch Einbringen von Temperatur, also Induzieren einer Temperaturdifferenz, beispielsweise durch einen CO₂-Laser, das heißt kein sog. thermischer Cleaving-Prozess, für das Trennen und kein Thermal-Shock-Cutting, beispielsweise durch eine abrupte Temperaturerniedrigung, beispielsweise durch einen Kälteschock, notwendig.

Die Trennung kann dabei beispielsweise durch Einbringen einer mechanischen Spannung mit balligen Walzen oder durch Führen der Sollbruchlinien über ballige Rollen erfolgen. Die vom übrigen Glasband 4 abgetrennten Borten 13 können dann beispielsweise in einem Scherbencontainer, ggf. entfernt vom Glasband (in einem Scherbenkeller/anderen Raum), aufgefangen werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt das Abkühlen des Glasbands 4 mit einer Abkühlrate, die abhängig von der vorgegebenen Glasdicke d gewählt wird, wobei vorzugsweise mit vorgegebener kleinerer Glasdicke d die Abkühlrate erhöht wird bzw. mit vorgegebener größerer Glasdicke die Abkühlrate erniedrigt wird. D.h. vorzugsweise wird eine höhere Abkühlrate gewählt, je geringer die Glasdicke ist, und eine niedrigere Abkühlrate wird gewählt, je höher die Glasdicke ist.

Fig. 4 ist ein Diagramm der gewählten Abkühlrate in Abhängigkeit der Glasdicke. Insbesondere ist in Fig. 4 die Abkühlrate im Bereich von 40 K/s bis 325 K/s in Abhängigkeit von der Glasdicke d des Glasbands 4 am Beispiel des Glases AF32 der Schott AG im Bereich von 25 μm bis 110 μm dargestellt (Kurve (a)).

Das von der Schott AG unter der Bezeichnung AF32 angebotene Glas ist ein alkalifreies Aluminium-Borosilikat-Dünnglas einer Klasse von für das Verfahren gut geeigneten alkalifreien Gläsern mit folgenden Komponenten, in Gew.-%:

	SiO ₂	58 bis 65
15	B ₂ O ₃	6 bis 10,5
	Al ₂ O ₃	14 bis 25
	MgO	0 bis 3
	CaO	0 bis 9
	BaO	3 bis 8
20	ZnO	0 bis 2,

wobei gilt, dass die Summe des Gehalts von MgO, CaO und BaO dadurch gekennzeichnet ist, dass sie im Bereich von 8 bis 18 Gew% liegt.

Das dem Ausführungsbeispiel zugrundeliegende Glas weist dabei folgende Zusammensetzung in Gew.-% auf:

25	SiO ₂	61
	Al ₂ O ₃	18
	B ₂ O ₃	10
	CaO	5
	BaO	3
30	MgO	3

Das Glas AF32 weist eine hohe optische Transmission auf, hat eine Dichte ρ von 2430 kg/m³ und eine Oberflächenspannung γ von 0,3 N/m, eine Wärmeleitfähigkeit λ von 2 W/mK und

eine spezifische Wärmekapazität c_p von 1360 J/kgK. Die Transformationstemperatur T_g des Glases AF32 beträgt 713°C. Das Glas AF32 hat einen geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der sehr nah bei dem von Silizium ist. Mit dem Down-Draw-Verfahren lassen sich weiterhin besonders glatte Oberflächen mit einer niedrigen Rauigkeit von kleiner 1 nm (RMS) erzeugen. Die Anwendungstemperatur reicht bis ca. 600°C.

Noch eine Klasse von Gläsern, die für das hier beschriebene Verfahren geeignet sind, enthält folgende Komponenten in Gew-%:

	SiO ₂	50 - 70
	Al ₂ O ₃	10 - 20
10	B ₂ O ₃	5 - 15,
	CaO	4 - 8
	BaO	0,5 - 5
	SrO	4 - 8.

In einem Ausführungsbeispiel wird ein Glas mit den folgenden Komponenten hergestellt:

15	SiO ₂	60 Gew-%,
	B ₂ O ₃	10 Gew-%,
	Al ₂ O ₃	15 Gew-%
	SrO	6 Gew-%
	CaO	6 Gew-%
20	BaO	2 Gew-%,

sowie 1 Gew-% weitere Komponenten.

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel wird ein Glasband mit einer Dicke von vorzugsweise 50 µm ± 10 µm gezogen. Geeignet ist beispielsweise ein Overflow-Fusion-Verfahren.

Eine weitere Klasse von Gläsern, die für die Erfindung gut geeignet sind, da sie sich zu dünnen Glasbändern verarbeiten und durch das hier beschriebene Einfügen von Sollbruchlinien gut zerteilen lassen, weist folgende Komponenten in Gew.-% auf:

	SiO ₂	30 bis 85
	B ₂ O ₃	3 bis 20
30	Al ₂ O ₃	0 bis 15
	Na ₂ O	3 bis 15
	K ₂ O	3 bis 15

ZnO	0 bis 12
TiO ₂	0,5 bis 10
CaO	0 bis 0,1.

Ein Beispiel aus dieser Klasse von Gläsern weist folgende Zusammensetzung auf, in

5 Gew.-%:

SiO ₂	64,0
B ₂ O ₃	8,3
Al ₂ O ₃	4,0
Na ₂ O	6,5
10 K ₂ O	7,0
ZnO	5,5
TiO ₂	4,0
Sb ₂ O ₃	0,6
Cl ⁻	0,1

15 Glasscheiben mit dieser Zusammensetzung weisen im Allgemeinen folgende Merkmale auf:

$\alpha_{(20-300)}$	$7,2 \cdot 10^{-6}/K$
T _g	557°C
Dichte	2,5 g/cm ³

20 Eine weitere Klasse von Gläsern, die chemisch vorspannbar sind, und zur Verarbeitung mit dem hier beschriebenen Verfahren besonders geeignet sind, weisen folgende Komponenten in Gew.-% auf:

SiO ₂	50 bis 65
Al ₂ O ₃	15 bis 20
25 B ₂ O ₃	0 bis 6
Li ₂ O	0 bis 6
Na ₂ O	8 bis 15
K ₂ O	0 bis 5
MgO	0 bis 5
30 CaO	0 bis 7, bevorzugt 0 bis 1
ZnO	0 bis 4, bevorzugt 0 bis 1
ZrO ₂	0 bis 4

TiO₂ 0 bis 1, bevorzugt im wesentlichen TiO₂-frei

Weiterhin können im Glas enthalten sein zu 0 bis 1 Gew.-%: P₂O₅, SrO, BaO; sowie Läutermittel zu 0 bis 1 Gew.-%: SnO₂, CeO₂ oder As₂O₃ oder andere Läutermittel.

- 5 Gemäß einer Ausführungsform werden aus einem Glas mit einer Zusammensetzung aus dem obigen Bereich Glasscheiben mit einer der folgenden Dicken hergestellt: 35µm ± 5 µm, 50 µm ± 5 µm, 75 µm ± 5 µm, 100 µm ± 10 µm. Die Gläser der vorgenannten Klasse lassen sich sowohl durch ein Down-Draw-, als auch durch ein Overflow-Fusion-Verfahren zu dünnen Glasbändern ausziehen, die sich durch das hier beschriebene Verfahren durch Einfügen von Sollbruchlinien einfach und unter Erzielung hoher Festigkeiten in Glasscheiben zerteilen lassen.
- 10 Gegebenenfalls kann die gewünschte Glasdicke auch durch Ausdünnen, chemisch oder mechanisch, erreicht werden, wenn dies im Ziehprozess nicht möglich oder schwierig ist.

Ein Beispiel aus dieser Klasse von Gläsern weist folgende Zusammensetzung auf, in Gew.-%:

	SiO ₂	60,7
15	Al ₂ O ₃	16,9
	Na ₂ O	12,2
	K ₂ O	4,1
	MgO	3,9
	ZrO ₂	1,5
20	SnO ₂	0,4
	CeO ₂	0,3.

Alle hier genannten Gläser lassen sich durch Down-Draw gut zu Glasbändern mit einer Dicke im Bereich von 30 bis 100 µm verarbeiten.

- 25 Ohne Beschränkung auf das dargestellte Beispiel wird ein Glasband 4 mit einer vorgegebenen Glasdicke d im Bereich von 15 µm bis 2 mm nach dem erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt mit einer Abkühlrate von gleich oder größer als (40 K/s wegen Fig. 4) 50 K/s, bevorzugt von gleich oder größer als 100 Kelvin/s, besonders bevorzugt von gleich oder größer als 150 Kelvin/s oder von gleich oder größer als 200 Kelvin/s abgekühlt.

- 30 Wie das Diagramm nach Fig. 4 zeigt, wird bei einer Dicke des Glasbands von 30 µm bevorzugt eine Abkühlrate im Bereich zwischen 150 Kelvin/s und 300 Kelvin/s gewählt, bei einer Dicke des Glasbands von 50 µm bevorzugt eine Abkühlrate im Bereich zwischen 90 Kelvin/s und

180 Kelvin/s gewählt, und bei einer Dicke des Glasbands von 100 μm wird bevorzugt eine Abkühlrate im Bereich zwischen 45 Kelvin/s und 90 Kelvin/s gewählt.

Somit wird ohne Beschränkung auf das dargestellte Beispiel oder die hier beschriebenen Glaszusammensetzungen das Glasband bevorzugt mit einer Abkühlrate abgekühlt, die im Bereich von 150 Kelvin/s \cdot 30 $\mu\text{m}/\text{d}$ bis 300 Kelvin/s \cdot 30 $\mu\text{m}/\text{d}$ liegt, wobei d die Dicke des Glasbands bezeichnet. Kurve (b) kennzeichnet dabei in Fig. 4 die obere Grenze von $(1/d) \cdot 300$ Kelvin/s \cdot 30 μm , Kurve (c) die untere Grenze von $(1/d) \cdot 150$ Kelvin/s \cdot 30 μm .

Dieser bevorzugte Bereich kann alternativ wie folgt ausgedrückt werden: das Glasband wird bevorzugt mit einer Abkühlrate abgekühlt, die im Bereich von $(1/d) \cdot 4500$ Kelvin \cdot $\mu\text{m}/\text{s}$ (Kurve (c)) bis $(1/d) \cdot 9000$ Kelvin \cdot $\mu\text{m}/\text{s}$ (Kurve (b)) liegt, wobei d die Dicke des Glasbands bezeichnet.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich überraschend Glasscheiben mit hohen Kantenfestigkeiten auch bei hohen Abkühlraten unter Berücksichtigung der Glasdicke erreichen, wie beispielhaft in den Fig. 5 und 6 dargestellt.

Fig. 5 ist ein Diagramm der Kantenfestigkeit und der Abkühlrate in Abhängigkeit der Glasdicke und Fig. 6 zeigt ein Diagramm eines Koeffizienten der kühlratenabhängigen Kantenfestigkeit in Abhängigkeit der Glasdicke.

In Fig. 5 ist ein Diagramm der Kantenfestigkeit am Beispiel des Glases AF32 der Schott AG im Bereich von 85 MPa bis 155 MPa (Kurve (f)) und der Abkühlrate (Kurve (e)) im Bereich von 40 bis 230 Kelvin/s in Abhängigkeit von der Glasdicke im Bereich von 20 μm bis 110 μm gezeigt. Wie in der Fig. 5 zu sehen ist, beträgt bei einer Glasdicke von 30 μm und einer Abkühlrate von 150 Kelvin/s die Kantenfestigkeit ca. 90 MPa, bei einer Glasdicke von 50 μm und einer Abkühlrate von 120 Kelvin/s die Kantenfestigkeit ca. 140 MPa und bei einer Glasdicke von 100 μm und einer Abkühlrate von 70 Kelvin/s die Kantenfestigkeit ca. 155 MPa. Alle Kantenfestigkeiten sind für die Verwendungen der Gläser ausreichend. Dies insbesondere, da zwar dünnere Gläser eine niedrigere Kantenfestigkeit zeigen, aber aufgrund der geringen Dicke eine dennoch sehr hohe Flexibilität. Aufgrund der geringen Dicke sind bei einer Biegung des Glases auch die an der Kante auftretenden Spannungen gering.

Dieser Zusammenhang lässt sich auch durch den Koeffizienten „kühlabhängige Kantenfestigkeit“ (KG_K) in $\text{MPa} \cdot \text{K} / \text{s}$ beschreiben:

$\text{KG}_K = \text{KG} / K$, wobei KG die Kantenfestigkeit in MPa und K die Abkühlrate in K/s bezeichnet.

In Fig. 6 ist ein Diagramm der Koeffizienten der kühlratenabhängigen Kantenfestigkeit im Bereich von 0,3 bis 2,5 MPa * s/K in Abhängigkeit der Glasdicke am Beispiel des Glases AF32 der Schott AG im Bereich von 20 µm bis 110 µm dargestellt. Es zeigt sich, dass der Koeffizient von Kantenfestigkeit zu Kühlrate mit dem hier offenbarten Trennverfahren allgemein, ohne

5 Beschränkung auf das dargestellte Beispiel einen linearen Zusammenhang zur Schichtdicke hat.

Im Beispiel für das Glas AF32 ergibt sich aus den Werten der Fig. 6 die Beziehung
 $KG_K = KG / K$ ($KG_K = -0.16974 + 0.02434 * d$),

wobei d die Dicke des Glases in Mikrometern bezeichnet.

Für eine Glasdicke von mindestens 30 µm beträgt die kühlratenabhängige

10 Kantenfestigkeit KG_K bevorzugt größer als 0,2 MPa*s/Kelvin, besonders bevorzugt größer als 0,5 MPa*s/Kelvin. Durch Umstellung der obigen Beziehung in $KG = K * KG_K$ ergibt sich bei einer Glasdicke von mindestens 30 µm und

- bei einer Abkühlrate (K) von 150 MPa * s/K mit dem Koeffizienten „kühlabhängige Kantenfestigkeit“ (KG_K) von 0,6 MPa * s/K eine Kantenfestigkeit (KG) von 90 MPa,
- 15 - bei einer Abkühlrate (K) von 150 MPa * s/K mit dem Koeffizienten der kühlratenabhängigen Kantenfestigkeit (KG_K) von 0,2 MPa * s/K eine Kantenfestigkeit (KG) von 30 MPa und
- bei einer Abkühlrate (K) von 300 MPa * s/K mit dem Koeffizienten der kühlratenabhängigen Kantenfestigkeit (KG_K) von 0,5 MPa * s/K eine Kantenfestigkeit (KG) von 150 MPa.

Für eine Glasdicke von mindestens 50 µm ist die kühlabhängige Kantenfestigkeit KG_K

20 bevorzugt größer als 0,5 MPa*s/Kelvin, besonders bevorzugt größer als 0,9 MPa*s/Kelvin. Somit ergibt sich für eine Glasdicke von mindestens 50 µm und

- bei einer Abkühlrate (K) von 90 MPa * s/K mit dem Koeffizienten der kühlabhängigen Kantenfestigkeit (KG_K) von 0,5 MPa * s/K eine Kantenfestigkeit (KG) von 45 MPa, sowie
- bei einer Abkühlrate (K) von 180 MPa * s/K ergibt sich mit dem Koeffizienten „kühlabhängige
- 25 Kantenfestigkeit“ (KG_K) von 0,9 MPa * s/K eine Kantenfestigkeit (KG) von 162 MPa.

Für eine Glasdicke von mindestens 100 µm ist die kühlratenabhängige Kantenfestigkeit KG_K bevorzugt größer als 1,5 MPa*s/Kelvin, besonders bevorzugt größer als 2 MPa*s/Kelvin. Somit ergibt sich für eine Glasdicke von mindestens 100 µm und

- bei einer Abkühlrate (K) von 45 MPa * s/K mit dem Koeffizienten „kühlabhängige
- 30 Kantenfestigkeit“ (KG_K) von 1,5 MPa * s/K eine Kantenfestigkeit (KG) von 67,5 MPa, sowie
- bei einer Abkühlrate (K) von 90 MPa * s/K ergibt sich mit dem Koeffizienten „kühlabhängige Kantenfestigkeit“ (KG_K) von 2 MPa * s/K eine Kantenfestigkeit (KG) von 180 MPa.

Somit lassen sich für vorgegebene Glasdicken durch die Wahl der Abkühlrate gezielt bestimmte/vorgegebene Kantenfestigkeiten der Glasscheiben erzeugen.

5 Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren sind Glasscheiben mit einer Glasdicke von 15 μm bis 2 mm, bevorzugt mit einer Glasdicke von gleich oder kleiner 100 μm , 50 μm oder 30 μm , auch mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von größer 6 ppm/Kelvin, herstellbar, wobei die Glasscheibe bevorzugt ein Weibull-Modul (nach DIN EN 843-5) von mehr als 7, insbesondere von mehr als 8 und eine Kantenfestigkeit, beziehungsweise charakteristische Bruchspannung von mehr als 150 MPa, vorzugsweise von mehr als 180 MPa aufweist.

Tabelle

Bezeichnung	Charakt. Bruchspannung [MPa]	Weibull-Modul (nach DIN EN 843-5)
AF32_30 μm	150-250	≥ 7
AF32_50 μm	150-250	
Set 1 - AF32_100 μm	150-250	

10

Die Tabelle zeigt die charakteristischen Bruchspannungen und die Weibull-Module der Festigkeitsverteilungen für das nach einem Down-Drawn-Verfahren hergestellte lasergeschnittene AF32 Glas von Schott mit den verschiedenen Glasdicken von 30 μm , 50 μm und 100 μm .

15

Je höher der Weibull-Modul liegt, umso homogener und weniger versagensanfällig ist das Werkstück, also hier die Glasscheibe. Das hohe Weibull-Modul ist ein besonderes Charakteristikum der mit dem hier offenbarten Verfahren hergestellten Glasscheiben 2.

20

Die Fig. 7 und Fig. 8 zeigen als Beispiel Weibull-Diagramme der Ausfallwahrscheinlichkeit als Funktion der Bruchspannung. Das Diagramm der Fig. 7 zeigt die Messwerte, aus denen die Daten zum Tabelleneintrag „AF32_50 μm “ gewonnen wurden. Demnach wurden Glasscheiben aus dem Glas AF32 mit einer Dicke von 50 μm getestet. Fig. 8 zeigt die Messwerte zum Tabelleneintrag „Set 1 - AF32_100 μm “. Dementsprechend wurden hierzu AF-32-Glasscheiben mit einer Dicke von 100 μm getestet.

Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Glasscheiben weisen typischerweise raue Flächen, die durch Trennung an den filamentförmigen Schädigungen entstehen, und dazwischen liegende, im wesentlichen ebene Flächen, auf. Das Flächenverhältnis der ebenen Flächen zu den rauen Flächen beträgt im Allgemeinen zwischen 3:10 bis 2:1. Ein Beispiel hierzu zeigt die mikroskopische Aufnahme in FIG. 9 einer durch eine Kante 30 einer Glasscheibe 2 begrenzten Seitenfläche 51, die mit dem Verfahren gemäß dieser Offenbarung durch Einfügen einer Sollbruchlinie aus nebeneinanderliegenden, beabstandeten filamentförmigen Schädigungen 14 und nachfolgendem Auftrennen des Glasbands an der Sollbruchlinie hergestellt wurde. Die filamentförmigen Schädigungen 14 sind auch an der Kante 30 noch als halboffene Kanäle zu erkennen. Diese Kanäle bilden raue Flächen 41 an der Kante 30. Zwischen diesen rauen Flächen erstrecken sich ebene Flächen 40.

Die Struktur der Kanten 30 wird auch bei dem Beispiel der Fig. 10 ersichtlich. Fig. 10 zeigt eine mikroskopische Aufnahme in Aufsicht auf die Kante 30 einer Glasscheibe 2 mit einer Dicke von 30 μm . Deutlich zu erkennen ist die periodische Struktur der sich von einer Seitenfläche 51 zur gegenüberliegenden Seitenfläche 52 erstreckenden filamentförmigen Schädigungen 14, die raue Flächen bilden, zwischen denen sich relativ ebenere Flächen 40 erstrecken.

Besonders feste Kanten 30 mit einem hohen Weibull-Modul lassen sich, wie oben bereits diskutiert, erzielen, indem das Strahlprofil so eingestellt wird, dass die Lichtintensität des Laserstrahls 20 in Richtung der Sollbruchlinien 12 größer ist als quer dazu. Dies wird dadurch erzielt, indem das Strahlprofil in Richtung entlang der Sollbruchlinie weiter ausgedehnt ist, als senkrecht dazu. Die Ausdehnungen A_s senkrecht zur Sollbruchlinie und A_p parallel zur Sollbruchlinie sind in dem Beispiel des Teilbilds (a) von Fig. 2 eingezeichnet. Fig. 11 zeigt dazu weiter ein schematisches Diagramm des Intensitätsverlaufs 43 des Fokusbereichs 22 entlang der Sollbruchlinie und des Intensitätsverlauf 44 des Fokusbereichs 22 senkrecht zur Sollbruchlinie. Als Ausdehnungen A_s und A_p können die Ausdehnungen angesehen werden, innerhalb denen die Lichtintensität von ihrem Maximalwert I_{max} auf einen um den Faktor $1/e$ erniedrigten Wert $I_{1/e}$ abgefallen ist. Wie dargestellt ist A_s kleiner als A_p . Allgemein, ohne Beschränkung auf die dargestellten Beispiele ist in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, dass mittels einer geeigneten strahlformenden Optik 18 der Laserstrahl 20 so geformt wird, dass in dessen Fokusbereich 22 die Ausdehnung A_p des Laserstrahls 20 in Richtung entlang der Sollbruchlinie, beziehungsweise in Richtung entlang der durch die Bewegungseinrichtung vermittelten

Bewegungsrichtung des Laserstrahls 20 über das Glasband 4 um einen Faktor im Bereich von 1,3 bis 5, vorzugsweise um einen Faktor im Bereich von 1,5 bis 4 größer ist, als die Ausdehnung A_s in Richtung senkrecht zur Sollbruchlinie. Wird das Strahlprofil zu sehr deformiert, kann es zu einer zu weiten Verteilung der Lichtintensität kommen, welcher einer effektiven Ausbildung filamentförmiger Schädigungen im Glas entgegenwirkt.

Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die Offenbarung nicht auf die speziellen in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise im Rahmen der Merkmale der Ansprüche variiert werden können. So sind über die Beispiele (b), (f) und (g) hinaus sehr viele weitere Formen von Strahlprofilen möglich, welche nicht spiegelsymmetrisch sind, insbesondere, welche ein asymmetrisches Strahlprofil in Bezug auf eine Spiegelung senkrecht zur Vorschubrichtung aufweisen. Beispielsweise kann die Bewegung des Laserstrahls 20 zum Einfügen der Quer-Sollbruchlinien anders als in Fig. 3 dargestellt auch durch eine mechanische Bewegung der Optik, insbesondere durch Bewegung des gesamten Ultrakurzpulslasers 16 mitsamt der strahlformenden Optik über das Glasband 4 hinweg erfolgen. Dazu kann der Laser beispielsweise mittels eines Schlittens über eine Traverse bewegt werden oder der Strahl mittels eines bewegten, verspiegelten Umlenkprismas oder Spiegel an verschiedenen Querpositionen auf das Glasband gelenkt werden.

Bezugszeichenliste

	1	Vorrichtung zur Herstellung von Glasscheiben 2
	2	Glasscheiben
5	4	Glasband
	6	schlitzförmige Düse
	8	Vorrichtung zum Heißformen
	10	Glasschmelze
	12	Sollbruchlinie(n)
10	121	Quer-Sollbruchlinie(n)
	122	Längs-Sollbruchlinie(n)
	13	Borte
	14	filamentförmigen Schädigung(en)
	15	Anpressrolle
15	16	Ultrakurzpuls laser
	18	strahlformende Optik
	20	Laserstrahl
	22	Fokusbereich
	24	Bewegungseinrichtung
20	26	Kühleinrichtung
	27	Kühlofen
	28	Abtrenneinrichtung
	29	Beschleunigungsband
	30	Kanten
25	32 – 38	Strahlprofile
	39	Inspektionseinheit
	40	ebene Fläche
	41	raue Fläche
	43	Intensitätsverlauf des Fokusbereichs 22 entlang der Sollbruchlinie
30	44	Intensitätsverlauf des Fokusbereichs 22 senkrecht zur Sollbruchlinie
	51, 52	Seitenflächen des Glasbands 4
	240	Transportband

241 Ablenkoptik
d Glasdicke

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) mit den folgenden Schritten:
 - 5 - Heißformen eines kontinuierlichen Glasbands (4) mit einer vorgegebenen Glasdicke (d) im Bereich von 15 μm bis 2 mm aus einer Glasschmelze (10),
 - Abkühlen des Glasbands (4) mit einer Abkühlrate, die abhängig von der vorgegebenen Glasdicke (d) liegt, gewählt wird,
 - Erzeugen eines Laserstrahls (20) mittels zumindest einem Ultrakurzpulslaser (16)
 - 10 - Erzeugen eines Fokusbereichs (22) des Laserstrahls (20) mittels einer strahlformenden Optik derart, dass der Fokusbereich (22) länger als die Glasdicke des Glasbands (4) ist,
 - Einfügen von Sollbruchlinien (12) aus filamentförmigen Schädigungen (14) in das Glasband (4) mit dem Laserstrahl (20), so dass sich die filamentförmigen Schädigungen (14) bevorzugt von einer Seitenfläche (51) zur gegenüberliegenden Seitenfläche (52) des
 - 15 Glasbands (4) erstrecken, und wobei die filamentförmigen Schädigungen (14) entlang der Sollbruchlinien (12) beabstandet eingefügt werden,
 - wobei Quer-Sollbruchlinien (121) quer zum Glasband (4) und Längs-Sollbruchlinien (122) beidseitig längs zum Glasband (4) mit Rändern, die jeweils eine verdickte Borte (13) aufweisen, erzeugt werden,
 - 20 - Abtrennen der Borten (13) entlang der Längs-Sollbruchlinien (122) unter Bildung von Kanten (30) sowie
 - Abtrennen von Glasscheiben (2) durch Auftrennen an den quer zum Glasband (4) laufenden Quer-Sollbruchlinien (122) unter Bildung von Kanten (30).

- 25 2. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Glasband (4) mit einer Abkühlrate von gleich oder größer als 40 Kelvin/s, bevorzugt von gleich oder größer als 100 Kelvin/s, besonders bevorzugt von gleich oder größer als 150 Kelvin/s oder von gleich oder größer als 200 Kelvin/s abgekühlt wird.

- 30 3. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Glasband (4) mit einer Abkühlrate abgekühlt

wird, die im Bereich von $(1/d) \cdot 4500$ Kelvin/(s · μm) bis $(1/d) \cdot 9000$ Kelvin/(s · μm) liegt, wobei d die Dicke des Glasbands (4) bezeichnet.

- 5
4. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Abkühlen des Glasbands (4) vor dem Einfügen der Sollbruchlinien (12) im Bereich der Glasübergangstemperatur erfolgt, vorzugsweise bei einer Temperatur unterhalb des Erweichungspunktes, besonders bevorzugt bei einer Temperatur unterhalb der Glasübergangstemperatur, und wobei das Abkühlen des Glasbands (4) optional zusätzlich während und/oder nach dem Einfügen der
- 10
- Sollbruchlinien (12) erfolgt.
5. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Abkühlen in einem Kühlofen (27), insbesondere mit Heizelementen erfolgt.
- 15
6. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahlprofil des Laserstrahls (20) so geformt wird, dass die Ausdehnung des Laserstrahls (20) in Richtung der Sollbruchlinien (12) größer ist als quer dazu.
- 20
7. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch die strahlformende Optik (18) ein Strahlprofil mit lateraler Vorzugsrichtung erzeugt wird, bevorzugt ein elliptisches Strahlprofil (32), oder ein tropfenförmiges Strahlprofil (32), oder ein Strahlprofil in Form eines
- 25
- Doppelstrahls, oder ein rautenförmiges Strahlprofil (35), oder ein hantelförmiges Strahlprofil (36), oder ein keilförmiges Strahlprofil (37), oder ein Strahlprofil (38) mit einem Hauptstrahl und einem Satelliten mit geringerer Intensität oder Ausdehnung.
8. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden
- 30
- Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der strahlformenden Optik (18) der Laserstrahl (20) so geformt wird, dass in dessen Fokusbereich (22) die Ausdehnung des Laserstrahls (20) in Richtung entlang der Sollbruchlinie, um einen Faktor im Bereich von 1,3

bis 5, vorzugsweise um einen Faktor im Bereich von 1,5 bis 4 größer ist, als die Ausdehnung in Richtung senkrecht zur Sollbruchlinie.

- 5 9. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die filamentförmigen Schädigungen (14) mit einem Laserstrahl (20) eingefügt werden, der ein asymmetrisches Strahlprofil in Bezug auf eine Spiegelung senkrecht zur Vorschubrichtung aufweist.
- 10 10. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die filamentförmigen Schädigungen (14) in einem Abstand nebeneinander eingefügt werden, der höchstens so groß wie die Glasdicke (d) ist, vorzugsweise mit mittleren Abständen zwischen benachbarten filamentförmigen Schädigungen (14) im Bereich von 1 μm bis 10 μm zueinander, bevorzugt von 3 μm bis 8 μm , eingefügt werden.
- 15 11. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reihenfolge des Einfügens der Sollbruchlinien (12) erst quer zum Glasband (4) zur Erzeugung der Quer-Sollbruchlinien (121) und dann längs zum Glasband (4) zur Erzeugung der Längs-Sollbruchlinien (122) erfolgt.
- 20 12. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Ultrakurzpulslaser (16) verwendet werden, wobei zumindest ein erster Ultrakurzpulslaser (16) die Quer-Sollbruchlinien (121) und zumindest ein zweiter Ultrakurzpulslaser (16) die Längs-Sollbruchlinien (122) einfügt.
- 25 13. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Glasscheiben (4) mit Kanten (30) mit einer kühlabhängigen Kantenfestigkeit KG_K hergestellt werden, die der folgenden Formel genügen: $KG_K = KG / K$, beziehungsweise $KG = KG_K * K$, wobei KG einen Festigkeitswert in MPa und K die Abkühlrate in Kelvin/s bezeichnet, wobei für eine Glasdicke (d) von mindestens 30 μm die kühlabhängige Kantenfestigkeit KG_K
- 30

- größer als 0,2 MPa·s/Kelvin, bevorzugt größer als 0,5 MPa·s/Kelvin, beträgt,
wobei für eine Glasdicke (d) von mindestens 50 µm die kühlabhängige Kantenfestigkeit
KG_K größer als 0,5 MPa·s/Kelvin, bevorzugt größer als 0,9 MPa·s/Kelvin, beträgt, und
wobei für eine Glasdicke (d) von mindestens 100 µm die kühlabhängige Kantenfestigkeit
5 KG_K größer als 1,5 MPa·s/Kelvin, bevorzugt größer als 2 MPa·s/Kelvin, beträgt.
14. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die axiale Position des Glasbands (4) innerhalb
des Fokusbereiches fixiert wird, bevorzugt mit zumindest einer Anpress-Rolle, einer
10 Anpresskante oder durch Ansaugen.
15. Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtrennen der Borten (13) an den Längs-
Sollbruchlinien (122) und das Abtrennen von Glasscheiben (2) durch Auftrennen an den
15 quer zum Glasband laufenden Quer-Sollbruchlinien (121) mechanisch erfolgt.
16. Glasband (4) mit einer Glasdicke (d) im Bereich von 15 µm bis 2 mm, herstellbar nach
einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Glasband (4)
einwärts der Ränder Längs-Sollbruchlinien (122) aus filamentförmigen Schädigungen (14)
20 aufweist, so dass die Borten (13) abgetrennt werden können, und das quer zum Glasband
(4) Quer-Sollbruchlinien (121) aus filamentförmigen Schädigungen (14) aufweist, um
Glasscheiben abzutrennen, wobei sich die filamentförmigen Schädigungen (14) bevorzugt
von einer Seitenfläche (51) zur gegenüberliegenden Seitenfläche (52) des Glasbands (4)
erstrecken und wobei die filamentförmigen Schädigungen (14) entlang der Sollbruchlinien
25 (12) beabstandet eingefügt sind.
17. Glasband (4) gemäß dem vorstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die
filamentförmigen Schädigungen (14) höchstens so tief wie die Glasdicke (d) mit mittleren
Abständen zwischen benachbarten filamentförmigen Schädigungen (14) im Bereich von 1
30 µm bis 10 µm zueinander, bevorzugt von 3 µm bis 8 µm, eingefügt sind.

18. Glasscheibe (2) mit einer Glasdicke (d) von 15 μm bis 2 mm, bevorzugt mit einer Glasdicke (d) von gleich oder kleiner 100 μm , 50 μm oder 30 μm , bevorzugt mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von größer 6 ppm/Kelvin, herstellbar nach einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Glasscheibe (2) ein Weibull-Modul (nach DIN EN 843-5) von mehr als 7 und eine charakteristische Bruchspannung von mehr als 130 MPa, vorzugsweise mehr als 150 MPa aufweist.
19. Glasscheibe (2) nach dem vorstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Glasscheibe (2) raue Flächen (41) mit filamentförmigen Schädigungen (14) und dazwischen liegende ebene Flächen (40) ohne filamentförmigen Schädigungen aufweist.
20. Glasscheibe (2) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei das Flächenverhältnis der ebenen Flächen (40) zu den rauen Flächen zwischen 3:10 bis 2:1 beträgt.
21. Verwendung von Glasscheiben (2) nach den Ansprüchen 18 bis 20, oder von Glasscheiben herstellbar nach einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 15, für isolierende Zwischensubstrate oder Abstandhalter für elektronische Komponenten, zur Verkapselung optoelektronischer Komponenten, als Träger für Dünnschicht-Zellen, wie Dünnschicht-Batterien oder Dünnschicht-Solarzellen, als Verbundsubstrate für Displays und für Mikrofluidik-Zellen.
22. Vorrichtung (1) zur Herstellung von Glasscheiben (2), insbesondere für das Verfahren zur Herstellung von Glasscheiben (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, umfassend
- eine Vorrichtung zum Heißformen (8) eines kontinuierlichen Glasbands (4) mit einer vorgegebenen Glasdicke (d) im Bereich von 15 μm bis 2 mm aus einer Glasschmelze (10),
 - mindestens einen Ultrakurzpulslaser (16) und eine strahlformende Optik (18), die einen Laserstrahl (20) mit einem Fokusbereich (22) erzeugt, der länger als die Glasdicke (d) einstellbar ist, um in die Tiefe gehende voneinander beabstandet filamentförmigen Schädigungen (14) in einem vorbestimmten Volumen des Glasbands (4) zu erzeugen, zur Bildung von Quer-Sollbruchlinien (121) quer zum Glasband (4) und zur Bildung von Längs-Sollbruchlinien (122) beidseitig längs zum Glasband (4) mit Rändern, die jeweils eine

- verdickte Borte (13) aufweisen,
- eine Bewegungseinrichtung (24) zur Positionierung des Laserstrahls (20) entlang eines vorgesehenen Verlaufs der Sollbruchlinien (12) auf dem Glasband (4), und
- eine Kühleinrichtung (26), welche so angeordnet und eingerichtet ist, dass diese das Glasband (4) vor, während und/oder nach dem Einfügen der filamentförmigen Schädigungen (14) in das Glasband (4) mit einer Abkühlrate abkühlt, die abhängig von der vorgegebenen Glasdicke (d) gewählt wird.
- 5
23. Vorrichtung (1) gemäß dem vorstehenden Anspruch, gekennzeichnet durch eine Abtrennvorrichtung (28), welche so angeordnet und eingerichtet ist, dass diese die Borten (13) entlang der Längs-Sollbruchlinien (122) und die Glasscheiben durch Auftrennen an den quer zum Glasband (4) laufenden Quer-Sollbruchlinien (121) jeweils unter Bildung von Kanten (30), bevorzugt mechanisch, separiert.
- 10
24. Vorrichtung (1) zur Herstellung von Glasscheiben (2) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungseinrichtung (24) zum Bewegen des Glasbands (4) zumindest eine Anpress-Rolle, eine Anpress-Kante oder eine Ansaugereinrichtung zur Fixierung der Lage des Glasbands (4) innerhalb des Fokusbereichs vorsieht.
- 15
25. Vorrichtung (1) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine strahlformende Optik (18) mit zumindest einem der Merkmale:
- 20
- die strahlformende Optik (18) ist eingerichtet, das Strahlprofil des Laserstrahls (20) so zu formen, dass die Ausdehnung des Laserstrahls (20) in Richtung der Sollbruchlinien (12) größer ist als quer dazu,
 - die strahlformende Optik (18) ist eingerichtet, den Laserstrahl (20) so zu formen, dass in dessen Fokusbereich (22) die Ausdehnung des Laserstrahls (20) in Richtung entlang der durch die Bewegungseinrichtung vermittelte Bewegungsrichtung des Laserstrahls (20) über das Glasband (4), um einen Faktor im Bereich von 1,3 bis 5, vorzugsweise um einen Faktor im Bereich von 1,5 bis 4 größer ist, als die Ausdehnung in Richtung senkrecht zur Sollbruchlinie.
- 25
- 30

Zusammenfassung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein besonders wirtschaftliches Verfahren zur Herstellung von ultradünnen Glasscheiben zur Verfügung zu stellen, das unter

5 Berücksichtigung verschiedener Abkühlraten, insbesondere trotz hoher Abkühlraten, eine hohe Kantenfestigkeit der mit dem Verfahren hergestellten Glasscheiben garantiert.

Dazu ist ein Verfahren mit den folgenden Schritten vorgesehen:

- Heißformen eines kontinuierlichen Glasbands (4) mit einer vorgegebenen Glasdicke (d) im Bereich von 15 μm bis 2 mm aus einer Glasschmelze (10),
- 10 - Abkühlen des Glasbands (4) mit einer Abkühlrate, die abhängig von der vorgegebenen Glasdicke (d) gewählt wird,
- Erzeugen eines Laserstrahls (20) mittels zumindest einem Ultrakurzpulslaser (16)
- Erzeugen eines Fokusbereichs (22) des Laserstrahls (20) mittels einer strahlformenden Optik derart, dass der Fokusbereich (22) länger als die Glasdicke des Glasbands (4) ist,
- 15 - Einfügen von Sollbruchlinien (12) aus filamentförmigen Schädigungen (14) in das Glasband (4) mit dem Laserstrahl (20), so dass sich die filamentförmigen Schädigungen (14) bevorzugt von einer Seitenfläche (51) zur gegenüberliegenden Seitenfläche (52) des Glasbands (4) erstrecken, und wobei die filamentförmigen Schädigungen (14) entlang der Sollbruchlinien (12) beabstandet eingefügt werden,
- 20 - wobei Quer-Sollbruchlinien (121) quer zum Glasband (4) und Längs-Sollbruchlinien (122) beidseitig längs zum Glasband (4) mit Rändern, die jeweils eine verdickte Borte (13) aufweisen, erzeugt werden,
- Abtrennen der Borten (13) entlang der Längs-Sollbruchstellen (122) unter Bildung von Kanten (30) sowie
- 25 - Abtrennen von Glasscheiben (2) durch Auftrennen an den quer zum Glasband (4) laufenden Quer-Sollbruchlinien (122) unter Bildung von Kanten (30).

- Fig. 3 -

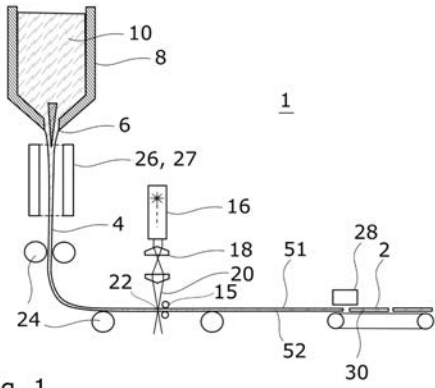


Fig. 1

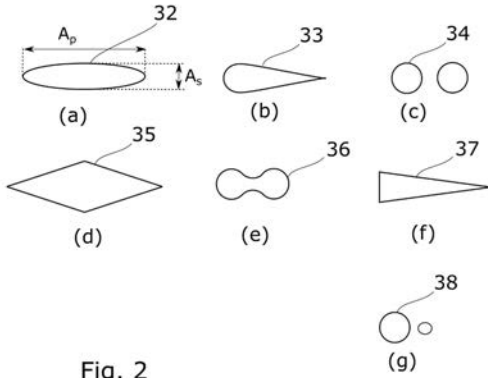


Fig. 2

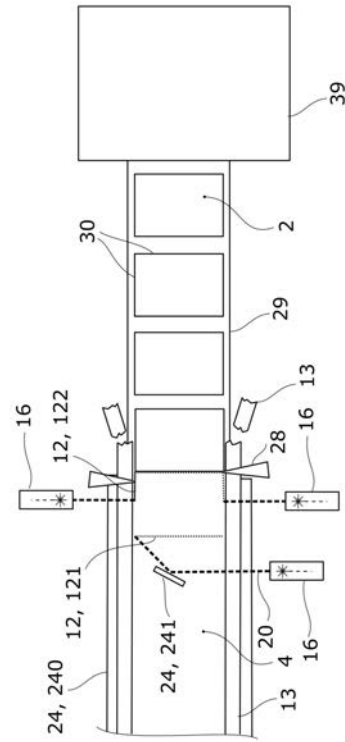


Fig. 3

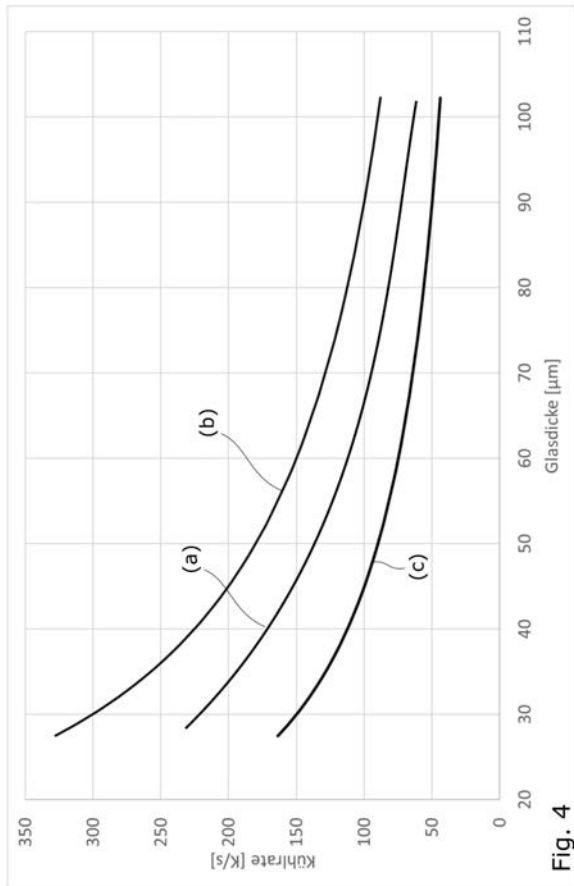


Fig. 4

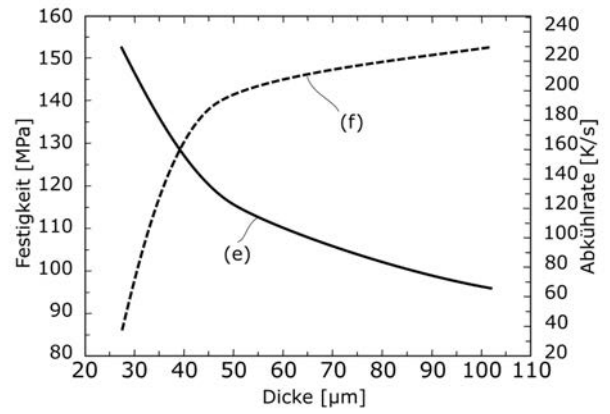


Fig. 5

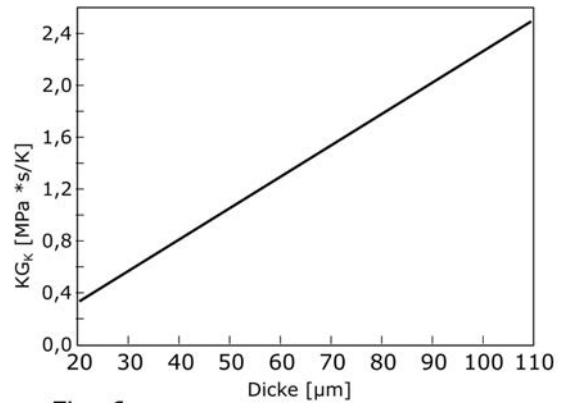


Fig. 6

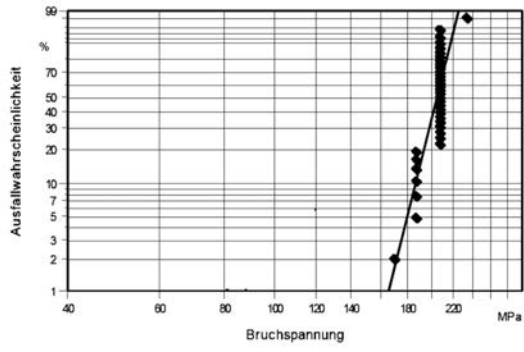


Fig. 7

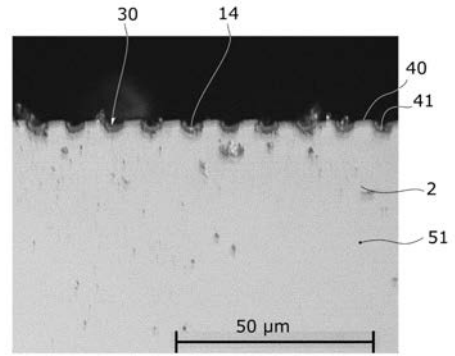


Fig. 9

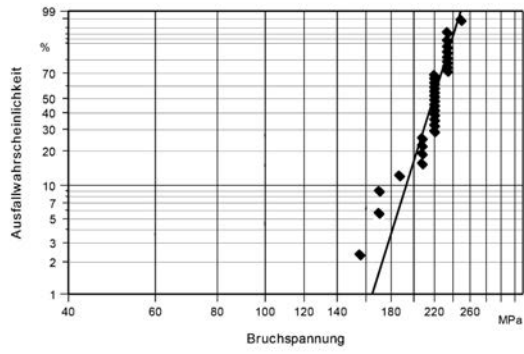


Fig. 8

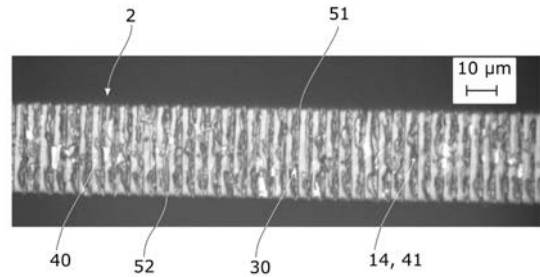


Fig. 10

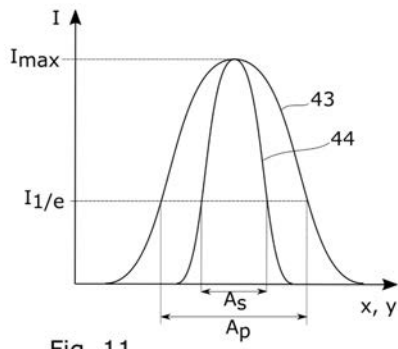


Fig. 11