

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5416386号
(P5416386)

(45) 発行日 平成26年2月12日(2014.2.12)

(24) 登録日 平成25年11月22日(2013.11.22)

(51) Int. Cl.	F I
C O 3 B 33/09 (2006.01)	C O 3 B 33/09
B 2 3 K 26/364 (2014.01)	B 2 3 K 26/00 D
B 2 3 K 26/00 (2014.01)	B 2 3 K 26/00 M
B 2 3 K 26/08 (2014.01)	B 2 3 K 26/00 G
	B 2 3 K 26/10

請求項の数 3 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-274768 (P2008-274768)	(73) 特許権者	390000608
(22) 出願日	平成20年10月24日(2008.10.24)		三星ダイヤモンド工業株式会社
(65) 公開番号	特開2010-100495 (P2010-100495A)		大阪府摂津市香露園32番12号
(43) 公開日	平成22年5月6日(2010.5.6)	(74) 代理人	100114030
審査請求日	平成23年5月27日(2011.5.27)		弁理士 鹿島 義雄
		(72) 発明者	山本 幸司
			大阪府吹田市南金田2丁目12番12号
			三星ダイヤモンド工業株式会社内
		(72) 発明者	蘇 宇航
			大阪府吹田市南金田2丁目12番12号
			三星ダイヤモンド工業株式会社内
		審査官	大工原 大二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄板ガラス基板のスクライプ方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

板厚が0.1mm～0.4mmである薄板ガラス基板のスクライプ予定ラインに対し、基板に熱的損傷を与えない温度で加熱するようにレーザービームを相対移動させながらスクライプ予定ラインに沿って照射し、次いで冷却することにより、基板を貫通しないクラックがスクライプ予定ライン上を進行するようにして、スクライプラインを形成する薄板ガラス基板のスクライプ方法であって、

前記冷却された基板がレーザー照射面側に凹となる変形をする板厚および走査速度の加工条件でスクライプラインを形成するように、前記基板の板厚に応じた前記走査速度の加工条件を設定し、かつ、基板吸着機構を備えたテーブル上に前記基板を吸着させた状態で、レーザー照射と冷却とを行うことを特徴とする薄板ガラス基板のスクライプ方法。

10

【請求項2】

前記冷却された基板がレーザー照射面側に凹となる変形をする板厚および走査速度の加工条件は、スクライプラインが形成される前記基板の板厚が前記基板に対するレーザービームの走査速度に対して式(1)を満たす板厚よりも小さい場合である請求項1に記載のスクライプ方法。

$$y = 7.5 \times 10^{-2} \cdot x^8 \cdots (1)$$

ここで、yは走査速度(mm/秒)、xは板厚(mm)

【請求項3】

20

前記基板吸着機構は、テーブル上面に配設された多孔質部材を介して基板を吸着させる請求項 1 に記載のスクライブ方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガラス基板のレーザスクライブ方法に関し、さらに詳細には、板厚が 0.1 mm ~ 0.4 mm の非常に薄いガラス基板のスクライブ方法に関する。

【0002】

本発明において、「スクライブ」とは、基板上に設定したスクライブ予定ラインに沿って基板を貫通していないクラックを面方向に進行させる加工をいう。スクライブによって面方向に進行したクラックは、スクライブラインを形成することになる。

10

なお、「スクライブ」はクラックの深さ方向の先端（クラックの最深部分）が基板内に留まるクラックが形成される加工をいい、フルカット（基板が完全に分断された状態）をひき起こすような、基板の表面から裏面まで貫通するクラックが形成される加工（フルカット加工という）は含まれない。

したがって、スクライブによって形成されたスクライブラインに沿って、基板を完全に分断するには、後から、クラックを深さ方向に進展させるブレイク処理が行われることになる。

【0003】

なお、説明の便宜上、「クラックの進行」とは、クラックが基板の面方向へ成長することをいうこととする。また、クラックが基板の厚み方向（深さ方向）へ浸透することを「クラックの進展」ということとする。

20

【背景技術】

【0004】

ガラス基板に対し、レーザビームを走査しながら照射すると、レーザビームのビームスポットが通過して加熱された領域に、圧縮応力が生じる。そしてビームスポットが通過した直後の位置に冷媒を吹き付けて冷却することにより、冷却された領域（冷却スポット）に引張応力が生じる。このように、基板に圧縮応力が生じる領域と、引張応力が生じる領域とを接近させて形成することにより応力勾配が形成される。

近年、この応力勾配を利用してガラス基板にクラックを形成することにより、基板表面にスクライブ加工を行ったり（例えば特許文献 1 参照）、ガラス基板のフルカット加工を行ったりする加工技術が利用されている（例えば特許文献 2、3 参照）。

30

【0005】

レーザ照射による加熱と加熱直後の冷却とにより、基板に応力勾配を形成してガラス基板を分断しようとする場合、上述したように、スクライブラインを形成した後にブレイク処理が必要なスクライブ加工と、ブレイク処理を行わずに基板が分断されるフルカット加工とがある。

【0006】

このうちフルカット加工は、ブレイク処理を行わずに基板を分断できることから工程が簡略化できる点では好ましいが、最終的に得られる加工端面の直進性等の加工品質について比較すると、スクライブ加工に比べて劣っている。

40

【0007】

一方、スクライブ加工は、形成される端面の品質が非常に優れている。しかも基板上で縦横にスクライブラインを形成してから、完全分断させることができるクロススクライブ加工が可能であるため、液晶パネルの製造工程等では、大面積基板から方形の小型基板を切り出す加工において、スクライブ加工が利用されることが多い。

【特許文献 1】国際公開番号 WO 03/008352 公報

【特許文献 2】特開 2004-155159 号公報

【特許文献 3】特開 2001-170786 号公報

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

液晶パネルの製造分野では、これまで1mm以上の板厚のガラス基板が使用されていたが、製品の軽量化のため、できるだけ薄い基板を使用することが求められている。具体的には使用する基板の板厚を0.7mm以下にすること、さらに好ましくは0.1mm~0.4mmの範囲にすることが求められている。

そのため、ガラス基板の分断加工技術においては、このような0.4mm以下の板厚の薄板基板をフルカット加工ではなく、スクライプ加工にて加工することが求められている。

【0009】

レーザ照射により、スクライプ加工、フルカット加工のいずれが成立するかは、加熱条件（照射時間、照射パワー、走査速度等）や冷却条件（冷媒温度、吹付量、吹付位置等）などの加工条件パラメータとともに、ガラス基板の板厚にも依存する。

【0010】

一般に、ガラス基板の板厚が厚い場合には、簡単、かつ、確実にスクライプ加工を成立させることができるが、板厚が0.7mmよりも薄くなるにつれてスクライプ加工が成立するかどうか不確実になる。さらに、0.4mm以下になると、スクライプ加工が困難になり、無理に加工すると、貫通クラックとなってフルカット加工になってしまう傾向があった。以下、基板の板厚と、加工モードとの関係について模式図を用いて説明する。

【0011】

<厚板基板>

まず、板厚が厚いガラス基板の場合について説明する。ここでいう板厚が厚い場合とは、基板上面にレーザビームが照射され、上面付近に発生した熱（温熱）が基板内に伝達されるときに、基板の板厚が十分厚いために、基板表面にクラックが形成される時点で、熱の伝達が基板の内部でとどまり基板下面まで熱が伝達されることのない場合をいう。具体的には、ガラス基板の場合、1mm以上の板厚になると熱の伝達が基板内部にとどまる傾向がある。

【0012】

図9は、1mm以上の板厚を有する厚板基板に対し、レーザ照射および冷却を行うことによりクラックを進展、進行させたときに、基板に生じる応力分布を説明するための模式図であり、図9(a)は斜視図、図9(b)はその平面図である。

また、図10(a)、図10(b)および図10(c)、は、それぞれ図9のA-A'断面、B-B'断面およびC-C'断面における温度分布と応力分布を説明するための模式図である。なお、別の視点から見れば、図10(a)、図10(b)および図10(c)は、ビームスポットBSおよび冷却スポットCSの通過に起因する同一地点の温度分布および応力分布の時間的な変化を表している。

【0013】

図9において、レーザビーム照射機構（不図示）から照射されるレーザビームにより、楕円状のビームスポットBSが形成される。ビームスポットBSの後方には、冷却機構（不図示）から吹き付けられる冷媒により、楕円状の冷却スポットCSが形成される。ビームスポットBSと冷却スポットCSとは、少し距離を隔てた位置関係を維持しつつ、厚板基板GAの上を、予め初期亀裂TRが形成してある一端側から他端側に向けて、スクライプ予定ラインSLに沿って走査される。

【0014】

このとき、厚板基板GAの上面付近には、ビームスポットBSの通過により加熱された領域近傍に、加熱による膨張の影響で圧縮応力（図中破線矢印で示す）が生じる。次いで、冷却スポットCSの通過により冷却された領域近傍に、厚板基板GAに形成された温度分布に起因する引張応力（図中実線矢印で示す）が生じる。

【0015】

次に、図10に基づいて厚板基板GAの内部に生じる応力および歪について説明する。

10

20

30

40

50

厚板基板 G A では、レーザービームのビームスポット B S の通過による加熱によって、図 10 (a) に示すように加熱部位 H R が基板内部に形成され、加熱部位 H R が局所的に膨張することにより、圧縮応力 (図中破線矢印で示す) が生じる。

【 0 0 1 6 】

続いて、少し遅れてから冷却スポット C S の通過による冷熱によって、図 10 (b) に示すように冷却部位 C R が表面近傍に形成され、冷却部位 C R が局所的に収縮することにより、引張応力 (図中実線矢印で示す) が生じる。

厚板基板 G A の場合には、加熱部位 H R は徐々に基板内部に伝達されるが、基板が厚いためクラック形成時に裏面まで到達することはなく、加熱部位 H R が基板内部にとどまった状態になる。

【 0 0 1 7 】

そして、図 10 (c) に示すように、冷却部位 C R の形成により厚板基板 G A の表層から徐々に冷熱が伝達されると、冷却部位 C R は基板上面近傍に存在し、その下方に加熱部位 H R が存在するようになる。この加熱部位 H R は、圧縮応力が発生している部位であるので、基板内部に存在する内部圧縮応力場 H in と言い換えることができる。

【 0 0 1 8 】

厚板基板 G A に内部圧縮応力場 H in が形成され、基板の上面近傍に引張応力が形成されることにより、厚板基板 G A には、局所的に上に凸となる歪が発生し、引張応力と同じ方向に基板を撓ませる力 (図中一点鎖線矢印で示す) が基板上面に発生することになる。なお、図 10 (c) では、撓みの方向を示すため、便宜上、厚板基板 G A に生じる歪による変形を誇張して示している。

【 0 0 1 9 】

その結果、厚板基板 G A の上面には、引張応力、および、基板が上に凸となるように撓ませる力により、基板上面から厚み方向 (深さ方向) に、垂直なクラック C が形成される。このクラック C がスクライブラインを形成することになる。

【 0 0 2 0 】

この場合、厚板基板 G A の内部には、既述のように、内部圧縮応力場 H in が形成されているために、クラック C がこの内部圧縮応力場に到達すると進展が妨げられ、厚板基板 G A におけるクラック C の進展は内部圧縮応力場近傍で停止することになる。

【 0 0 2 1 】

よって、厚板基板 G A においては、クラック C が裏面に到達するまで進展することが困難となり、基板の上面近傍に貫通しないクラックが形成されるスクライブ加工となる。換言すれば、スクライブ加工モードは、基板の厚さ方向に形成された温熱と冷熱の温度勾配に起因する応力勾配によってクラックを進展させる加工モードである。

【 0 0 2 2 】

< 薄板基板 >

次に、板厚が薄いガラス基板の場合について説明する。ここでいう板厚が薄い場合とは、基板上面にレーザービームが照射され基板上面付近に発生した熱 (温熱) が基板内に伝達されるときに、基板の板厚が十分薄いため、その後、基板表面が冷却されてクラックが形成される時点で、温熱が下面に達する場合をいう。具体的には、0.7 mm 以下、特に 0.4 mm 以下の板厚になると基板上面に与えられた温熱が下面に達するようになる。

【 0 0 2 3 】

図 11 は、板厚が 0.7 mm 以下の薄板ガラス基板に対し、レーザー照射および冷却を行うことによりクラックを進展、進行させるときに、基板に生じる応力分布を説明するための模式図であり、図 11 (a) は斜視図、図 11 (b) は平面図である。

また、図 12 (a)、(b) および (c) は、それぞれ図 11 の D - D '、断面 E - E ' および断面 F - F ' 断面におけるレーザー照射後の温度分布と応力分布を説明するための模式図である。

【 0 0 2 4 】

図 11 において、レーザービーム照射機構 (不図示) から照射されるレーザービームにより

10

20

30

40

50

、楕円状のビームスポットBSが形成される。ビームスポットBSの後方には、冷却機構（不図示）から吹き付けられる冷媒により、楕円状の冷却スポットCSが形成される。ビームスポットBSと冷却スポットCSとは、少し距離を隔てた位置関係を維持しつつ、薄板基板GBの上を、予め初期亀裂TRが形成してある一端側から他端側に向けて、分断予定ラインSLに沿って走査される。

【0025】

このとき、薄板基板GBの上面付近には、ビームスポットBSの通過により加熱された領域近傍に、加熱による膨張の影響で圧縮応力（図中破線矢印で示す）が生じる。次いで、冷却スポットCSの通過により冷却された領域近傍に、冷却による収縮の影響で引張応力（図中実線矢印で示す）が生じる。

10

その結果、薄板基板GBの上面付近には、前方（奥側）が圧縮応力で、後方（手前側）が引張応力である応力勾配が発生する。

この場合、薄板基板GB上面付近における応力分布については、板厚が薄くなったことで基板上下方向の温度差が生じにくくなり、その結果、面方向に進行しようとするクラックが形成されやすい状態になる。この理由について、基板内部に生じる応力に基づいて説明する。

【0026】

図12は薄板基板GBの内部に生じる応力および歪を説明するための模式図である。薄板基板GBでは、基板上面に照射されるレーザビームのビームスポットBSの通過による加熱によって、図12(a)に示すように加熱部位HRが基板内部に形成され、加熱部位HRが局部的に膨張することにより、圧縮応力（図中破線矢印で示す）が生じる。この場合、基板の板厚が薄いために、すぐに加熱部位HRが基板GBの下面に達するようになる。

20

【0027】

次いで、冷却スポットCSの通過による冷熱によって、図12(b)に示すように冷却部位CRが表面近傍に形成される。

薄板基板GBの場合は、冷熱部位CRがすぐに基板GBの中央まで達するようになる。

【0028】

さらに冷熱が伝達されると、図12(c)に示すように、冷却部位CRが薄板基板GBの下面に達する。このように、薄板基板GBでは温熱および冷熱が薄板基板GBの上面から下面に速やかに伝達されるため、基板の厚さ方向の温度勾配に起因する応力勾配を維持することが困難である。従って、薄板基板では、スクライブ加工が成立し難い。また、成立する場合であってもプロセスウィンドウが狭くなり、安定的な加工が困難である。

30

【0029】

このため、薄板基板GBでは、ビームスポットBSによって下面まで加熱された領域と冷却スポットによって下面まで冷却された領域の存在により分断予定ラインに沿って前後方向に生じる温度差に起因する応力勾配によって基板のクラックが進行することとなる。すなわち、加熱部位HRと冷却部位CRとがそれぞれ薄板基板GBの上面から下面まで存在している状態では、加熱部位HRと冷却部位CRの境界付近に薄板基板GBの上面から下面にわたって引張応力が生じることとなる。その結果、薄板基板の上面から下面まで達するクラックが冷却部位CRから加熱部位HRの方向に進行することとなる。従って、フルカット加工モードが成立し易くなる。

40

【0030】

このように基板の板厚が厚いときはスクライブ加工になるが、基板の板厚が薄くなるにつれて、フルカット加工になりやすくなり、スクライブ加工が困難になる。

そのため、加工に際して、フルカット加工になることを避け、しかも確実にスクライブラインが形成できるスクライブ加工モードにするには、ガラス基板の板厚を厚くしておく必要があった。そして板厚が0.4mm以下の非常に薄い基板の加工については、スクライブ加工による分断は、狭いプロセスウィンドウの範囲の中から加工条件を選択するか、スクライブ加工は困難であるとしてあきらめて、フルカット加工で分断することを前提と

50

していた。

【0031】

そこで、本発明は、これまではスクライプ加工ができないと考えられていた基板の板厚が0.1mm~0.4mmの範囲の薄板ガラス基板であっても、確実にスクライプ加工を行うことができるスクライプ方法を提供することを目的とする。

また、本発明は上記板厚の薄板ガラス基板において、スクライプ加工ができる加工条件のプロセスウィンドウを広げることが目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0032】

基板にレーザー照射による加熱が行われ、その後に冷却が行われると、冷却直後のクラックが形成される時点の基板内には、レーザー照射面（基板上面）側に引張応力が発生する。そのため、加熱と冷却がなされた後の基板は、上に凸（レーザー照射面側に凸）に変形するものと考えられていた。

しかしながら、板厚が異なる複数のガラス基板のレーザースクライプを行って、板厚の影響を実験的に求め、その実験結果に基づいた有限要素法による二次元熱弾性解析を行って見た。その結果、基板の板厚が0.4mmより薄くなり、しかもレーザービームの走査速度が遅いときは（すなわち加熱と冷却との間の時間差が大きくなる）、加工条件によっては基板が上に凹（レーザー照射面側に凹）に変形することを発見した。そして、このような加工条件になると、クラックの進行およびクラックの進展が抑制されてクラックが形成されなくなると考えられるので、本発明では以下のスクライプ方法を考案したものである。

【0033】

上記課題を解決するためになされた本発明の薄板ガラス基板のスクライプ方法は、板厚が0.1mm~0.4mmである薄板ガラス基板上のスクライプ予定ラインに対し、基板に熱的損傷を与えない温度で加熱するようにレーザービームを相対移動させながらスクライプ予定ラインに沿って照射し、次いで冷却することにより、基板を貫通しないクラックがスクライプ予定ライン上を進行するようにして、スクライプラインを形成する薄板ガラス基板のスクライプ方法であって、前記冷却された基板がレーザー照射面側に凹となる変形をする板厚および走査速度の加工条件でスクライプラインを形成するように、前記基板の板厚に応じた前記走査速度の加工条件を設定し、かつ、基板吸着機構を備えたテーブル上に前記基板を吸着させた状態で、レーザー照射と冷却とを行うようにする。

【0034】

ここで「熱的損傷を与えない温度」とは、ビームスポットが通過したときに過度に加熱され、目視で確認できる変形、溶融等の損傷が残る温度をいう。具体的には、例えばソーダガラス基板では、後述するように、実験的に求められた500（図5参照）よりも低ければよい。

本発明によれば、板厚が0.1mm~0.4mmの薄板ガラス基板を加工する際に、基板吸着機構で基板をテーブルに吸着させて固定する。これにより、スクライプ予定ラインに沿った前後方向の応力勾配により、スクライプ予定ラインに対し横方向に裂こうとする力を抑制し、フルカット状態になるのを防ぐ。

【0035】

一方、レーザー照射面側に凹となる変形をしている基板は、レーザー照射側の表面に発生した引張応力が基板の変形により緩和されているのでクラックが基板の表面のみで進展しにくい状態になっており、亀裂が全く進展しないか亀裂が進展してもフルカットになってしまう。しかしながら、基板吸着機構で基板を固定することで、上に凹になっていた撓みを解消させることにより、（フルカットの抑制とともに）クラックが進展できるようになり、その結果、これまで不可能であった加工条件でスクライプ加工を成立させることができるようになる。

【発明の効果】

【0036】

10

20

30

40

50

本発明によれば、板厚が0.1mm~0.4mmの薄板基板であっても、フルカット加工ではなくスクライブ加工を成立させることが可能になり、スクライブ加工ができるプロセスウィンドウを広げることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。

[装置構成]

最初に本発明のスクライブ方法を実施するための装置構成について説明する。ここでは基板吸着機構が搭載された汎用のレーザスクライブ装置を用いる。図1は本発明で使用するレーザスクライブ装置LSの要部の概略構成を示す図である。図2は後述する有限要素法による熱弾性解析によって求めたガラス基板の板厚、ビームスポットおよび冷却スポットの走査速度と、基板の変形状態との関係を示す図である。

10

【0038】

本発明では、真空吸着機構が設けられたテーブル10が用いられる。テーブル10の上には、多孔質部材（例えば多孔質セラミック）で形成され、基板Gが載置されるプレート11が設けられている。テーブル10は、プレート11の周囲に密着し、底面が形成され、プレート11との間に中空空間12aが形成されるボディ12と、中空空間12aに繋がる流路13が形成され、外部流路14に接続されるプラグ15と、流路13、外部流路14、開度調節弁16aを介して中空空間12aを減圧する真空ポンプ16と、流路13、外部流路14、圧力調整弁17aを介して中空空間12aに加圧空気を送るエア源17とからなる。このテーブル10は、真空ポンプ16を作動させることで、プレート上に載置されたガラス基板Gを吸着することができ、エア源17から空気を送ることで吸着状態を解除することができるようにしてある。

20

【0039】

プレート11の上方には、基板上に楕円状のビームスポットを照射するレーザ照射機構21と、冷媒を噴射して基板上に楕円形の冷却スポットを形成する冷却機構22とを一体に走査するスクライブヘッド23が配置されている。スクライブヘッド23は図示しない走査駆動機構および制御部により、走査速度が10mm/秒から500mm/秒の間で制御できるようにしてある。

【0040】

30

[スクライブ方法]

本発明では、板厚が0.1mm~0.4mmのガラス基板が対象となる。これまで、この板厚範囲のガラス基板をスクライブ加工することは困難であり、狭いプロセスウィンドウから加工条件を選択する必要があった。特に基板の板厚が薄くなるほど、プロセスウィンドウが狭くなり、0.2mmくらいまで薄くなると、全くスクライブ加工ができないと考えられていた。

しかしながら、後述する実験と、その実験結果に基づいた有限要素法による二次元熱弾性解析を行うことにより、図2に示すように、基板がレーザ照射面側に凹となる変形をする板厚および走査速度の加工条件があることを見出した。そこで、本発明のスクライブ方法では、レーザ照射面側に凹となる変形をする板厚および走査速度の加工条件で、基板吸着機構で基板を吸着させた状態にして、上記加工条件の範囲で加工することで、フルカットになるのを防ぐとともに、基板上面側に引張応力と同じ方向の力を与えるようにする。その結果、確実にスクライブ加工ができるようになる。

40

【0041】

[実験]

レーザスクライブ加工におけるガラス基板の板厚の影響を検討するために、板厚が1.1mm、0.7mm、0.55mm、0.4mmのガラス基板に対するレーザスクライブが可能な加工条件の範囲を実験により求め、その結果に基づいて有限要素法による二次元熱弾性解析を行った。

【0042】

50

実験方法について説明する。300 mm × 400 mmのソーダガラス基板を真空吸着機構（図1参照）に固定して、フルカット加工になりにくい状態にする。ガラス基板の端部には、予め、スクライプの起点となる初期亀裂をカッターホイールで設ける。レーザー光源にはCO₂レーザーを用いるとともに、ガラス表面で楕円状のビームスポットになるように成形する。冷却スポットは、ウォータージェットにより形成し、ビームスポットの後端付近に形成する。なお、ビームスポットと冷却スポットの位置関係は、図9（b）や図11（b）に図示したビームスポットBS、冷却スポットCSと同じであり、寸法関係は以下のとおりである。

ビームスポットの長軸YA : 22 mm

ビームスポットの短軸XA : 2.1 mm

冷却スポットの長軸YB : 3.0 mm

冷却スポットの短軸YA : 2.0 mm

ビームスポット中心と冷却スポット中心間の距離d : 10 mm

【0043】

図3は、各板厚hにおけるレーザースクライプが可能な加工条件を、レーザー出力Pに対する走査速度vとして求めたデータ（図3（a1）～図3（d1））と、レーザー出力Pに対するクラック深さDcを求めたデータ（図3（a2）～図3（d2））である。

板厚hが0.4 mmでは、図3（d1）に見られるように、装置の最高走査速度500 mm/秒でもスクライプが可能である。図3（a1）～図3（d1）において、高速側の×印はクラックの進行が停止した状態を表しており、低速側の×印は熱的損傷がガラス基板に残った状態を表している。

【0044】

いずれの板厚においてもレーザー出力が増加するにつれて、スクライプ可能な走査速度が高速になる傾向がある。また熱的損傷が生じた加工条件（低速側の×印）は、板厚に依らず、ほぼ同じ条件になっている。

図3（a2）～図3（d2）における各レーザー出力に対するクラック深さDcは、その深さが深い方が走査速度の低速側、浅い方が高速側に対応している。

【0045】

板厚hが1.1 mmにおいてクラック進行が停止した加工条件（高速側の×印）は、レーザーの低出力側でスクライプ可能な走査速度の範囲が広いのに対し、高出力側では狭くなる。走査速度が350 mm/秒以上ではスクライプができなくなっている。

一方、板厚hが0.4 mmでは、低出力側でスクライプ可能な走査速度の範囲が狭く、レーザー出力が30.4 Wでは、すべての走査速度においてスクライプができなくなっている。これに対して、高出力側のスクライプが可能な走査速度範囲は広く、走査速度が500 mm/秒でもスクライプができている。

すなわち、板厚hが厚くなるほど、走査速度の高速側でスクライプが困難になり、板厚hが薄くなるほど、低速側でスクライプが困難になる。

【0046】

図4は、熱的損傷が発生しなかった5つの加工条件のクラック深さDcを、板厚に対して整理した結果を示す図である。クラック進行が停止してスクライプができなかった条件を×印で示している。

レーザー出力71.0 W、走査速度320 mm/秒の加工条件では、板厚1.1 mmでスクライプができなくなっており、レーザー出力30.4 W、走査速度80 mm/秒の条件では、板厚0.4 mmでスクライプができなくなっている。これら以外ではすべての板厚においてスクライプができている。

【0047】

次に、実験で求めた加工条件に基づいて、以下の方法で有限要素法による熱弾性解析を行い、スクライプの加工条件における板厚の影響を検討した。有限要素法解析プログラムは、計算力学計算センター製のQuick Welderである。

レーザー照射面をx-y座標とし、y軸をスクライプ方向、z軸を板厚方向として要素分

10

20

30

40

50

割を行う。要素分割は、ビーム方向（ y 方向）の分割最小値を $3.7\ \mu\text{m}$ とし、板厚方向（ z 方向）の分割最小値を $2.7\ \mu\text{m}$ とした。

ソーダガラス基板の物性値は以下のとおりである。

密度： $2520\ \text{kg}/\text{m}^3$

比熱： $800\ \text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$

熱伝導率： $1.03\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$

熱膨張係数： $8.7 \times 10^{-6}\ \text{K}^{-1}$

ヤング率： $71.6\ \text{GPa}$

ポアソン比： 0.23

軟化温度： $720 \sim 730$

曲げ強度： $49\ \text{MPa}$

10

【0048】

時間ステップは、 $0.25\ \text{mm}$ を走査速度 v で除した時間である $0.25\ \text{mm}/v$ とした。ビームスポットおよび冷却スポットの大きさは、上述したものと同一楕円形状でありガウス分布とした。

【0049】

$x-z$ 面の二次元熱伝導解析では、レーザビーム中心を $y = -1.5\ \text{mm}$ の位置から y 方向に走査し、加熱、冷却条件を時間とともに変化させた。このとき、ガラスへの入熱量は光学系の減衰率、ガラスの反射率を考慮して、レーザ出力 $P\ (\text{W})$ に対し、 $0.798P\ (\text{W})$ とした。また、冷却域の熱伝達率 h_0 は、 $10^5\ \text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ とした。

20

続いて、得られた温度場を用いて、 $\sigma_y = \sigma_x = \sigma_z = 0$ と仮定した平面応力問題として $x-z$ 面の二次元熱弾性解析を行った。レーザビームの照射端を x 方向に拘束し、他端を x 方向および z 方向にそれぞれ拘束した。

以下の説明においては、レーザスクライプ時のガラス基板表面の最高到達温度を T_{max} 、冷却域で発生するガラス基板表面の σ_x の最大引張応力を σ_{max} とする。

【0050】

板厚 $0.4\ \text{mm}$ 、 $0.55\ \text{mm}$ 、 $0.7\ \text{mm}$ 、 $1.1\ \text{mm}$ のガラス基板において、レーザスクライプが可能であった出力および走査速度の加工条件のもとで、熱弾性解析を行った。

図5は、熱弾性解析の結果を示す図である。図5(a)～図5(d)はそれぞれ板厚 $1.1\ \text{mm}$ 、 $0.7\ \text{mm}$ 、 $0.55\ \text{mm}$ 、 $0.4\ \text{mm}$ の解析結果を示している。

30

図中の上側のプロット点群は、ガラス基板表面の最高到達温度 T_{max} を表し（右縦軸）、下側のプロット点群は、ガラス基板表面の最大引張応力 σ_{max} を表している（左縦軸）。

それぞれのプロット点群の高速側の x 印が、図3(a1)～図3(d1)においてレーザスクライプのクラック進行が途中で停止した加工条件に対応しており、低速側の x 印が、熱的損傷の生じた加工条件に対応している。

【0051】

各板厚において、レーザ出力が一定のとき、走査速度が低速になると T_{max} は増加する。いずれのレーザ出力のときも T_{max} の上限値は走査速度に依存せずほぼ一定（約 500 ）となっている。したがって、 T_{max} の上限値以下ではガラスに熱的損傷は発生しないといえる。

40

【0052】

一方、レーザ出力が一定のとき、走査速度が高速になると σ_{max} は減少している。これが図3(a2)～図3(d2)において、高速側でクラック深さが浅くなる理由である。いずれのレーザ出力のときも σ_{max} の下限値は走査速度に依存せずほぼ一定（約 $65\ \text{MPa}$ ）となっている。したがって、 σ_{max} の下限値以上でレーザスクライプでのクラックが進行するといえる。

これにより、熱弾性解析の結果から、板厚にかかわらず、レーザスクライプが可能な加工条件が、表面最高到達温度 T_{max} と、冷却域の最大引張応力 σ_{max} から推定する

50

ことができる。

【0053】

次に、レーザスクライブにおける板厚の影響について説明する。

図6は冷却域の最大引張応力 t_{max} 発生位置における $x-z$ 面（ただしスクライブ予定ラインを一端とする片側半分）の温度分布と変形状態とを示す図である。各図の左端はスクライブ予定ライン直下の位置に対応している。したがって左上端がレーザ入射位置となる。スクライブ予定ラインを挟んだ反対側では、対称性からこれらの図を鏡面对称にした温度分布および変形状態が形成されている。

各図における傾斜は、基板変形の大きさおよび変形方向（上に凸または上に凹）を表している。すなわち、右下がりの図は、上に凸の変形状態であり、右上がりの図は、上に凹の変形状態をしていることになる。

10

【0054】

ここでは、板厚が1.1mm、0.7mm、0.55mm、0.4mmの基板に対して、(a)レーザ出力 $P = 30.4$ W、走査速度 $V = 80$ mm/秒と、(b)レーザ出力 $P = 52.8$ W、走査速度 $V = 80$ mm/秒と、(c)レーザ出力 $P = 71.0$ W、走査速度 $V = 320$ mm/秒の各加工条件について示している。

【0055】

$x-z$ 面の温度分布は冷却直下のガラス内部に高温領域が残存している。走査速度が低速になるほど高温領域が深くなり、内部まで熱が伝達されている。

これらの中で、特に、板厚0.4mmでレーザ出力 $P = 30.4$ W、走査速度 $V = 80$ mm/秒の加工条件では、裏面が約200μmまで温度上昇している。そして、この加工条件の基板では、他と異なり、上に凹に変形するようになっている。

20

【0056】

図7は、図6に対応する応力分布を示す図である。冷却域の表面に引張応力が生じ、冷却域直下の基板内部に高温領域が形成され、圧縮応力場となっている。

そして、板厚が0.4mmでレーザ出力 $P = 30.4$ W、走査速度 $V = 80$ mm/秒の加工条件で加工したときの内部圧縮応力場の深さ（板厚に対する相対的な深さ）が、他の加工条件に比べると深くなっている。これが、基板が上に凹状態に変形する一因と考えられる。

【0057】

30

図8は、図4で示した5つの加工条件の冷却域の最大引張応力 t_{max} を、板厚に関して整理して示した図である。いずれの加工条件でも、 t_{max} は上に凸となり、極大となる板厚は走査速度が高速になるほど薄い方にシフトし、低速になるほど厚い方にシフトする傾向がある。例えばレーザ出力 $P = 71.0$ W、走査速度 $v = 320$ mm/秒の加工条件では、最大引張応力 t_{max} が極大となる板厚は0.4mmに近づく。板厚1.1mmのときの最大引張応力 t_{max} がクラック進行する下限値より小さくなっており、その結果スクライブができなくなったと考えられる。

また、レーザ出力 $P = 30.4$ W、走査速度 $V = 80$ mm/秒の条件では最大引張応力 t_{max} が極大となる板厚は1.1mm以上となる。その結果、板厚0.4mmの最大引張応力 t_{max} がクラック進行する下限値より小さくなり、スクライブができなくなったと考えられる。

40

【0058】

先に示した図2は、板厚と走査速度とをパラメータとして基板の変形状態（上に凸状態、上に凹状態）を整理して表した図である。

上述した熱弾性解析の結果を整理すると、基板が上に凸になる状態（境界より右側）と、上に凹になる状態（境界より左側）とは、下記式(1)を境界にして分かれる。

$$y = 7.5 X^{-2.8} \cdots (1)$$

y は走査速度 (mm/秒)、 x は板厚 (mm)

【0059】

例えば、基板の板厚が0.4mmのときは、走査速度が320mm/秒、160mm/

50

秒のときは上に凸状態に変形しているが、走査速度が80mm/秒になると上に凹状態に変形するようになる。

【0060】

そして、基板の板厚が0.1mm~0.4mmになると、式(1)において上に凹状態になる範囲が支配的になる。

その結果、既述のように、上に凹状態になる範囲では、基板吸着機構でテーブルに密着させて基板の凹状態への変形を抑制することで、基板上面に引張応力を加えた状態にすることができ、クラックを進展、進行させやすくすることができるようになる。したがって、スクライプ加工ができるプロセスウィンドウが広がるようになる。なお、スクライプ予定ラインにおける基板の変形を抑制するためには、スクライプ予定ラインの近傍を吸着する必要があるが、多孔質部材を上面に設けた真空吸着機構を有するテーブルを用いることによりスクライプ加工ができるプロセスウィンドウが広がることを確認した。なお、スクライプ予定ラインから0.5mm程度の範囲に吸着孔が存在すれば、複数の吸着孔を設けた板材を上面に設けた吸着テーブルでも基板の変形を抑制してスクライプ加工ができるプロセスウィンドウが広がることを確認したが、テーブルの吸着孔とスクライプ予定ラインとの位置合わせが不要なため、多孔質部材を上面に設けた真空吸着テーブルを用いることが好ましい。

【0061】

ちなみに、上に凸状態になる領域では、フルカット状態になるのを避けるために基板を吸着機構で吸着させると、基板を吸着させることでスクライプ予定ラインの位置に圧縮応力と同じ方向の力が加わるようになり、むしろスクライプ加工が困難になってしまうことから、薄板基板をスクライプ加工する場合は、上に凹状態になる領域で加工するスクライプ方法を用いる方法が有意義であることが判明した。

【産業上の利用可能性】

【0062】

本発明は、板厚が0.1mm~0.4mmの薄板ガラス基板に対するスクライプ加工を行うときに利用される。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】本発明のスクライプ方法を実施するために用いるレーザスクライプ装置の要部の構成を示す図。

【図2】有限要素法による熱弾性解析によって求めたガラス基板の板厚、ビームスポットおよび冷却スポットの走査速度と、基板の変形状態との関係を示す図。

【図3】各板厚hにおけるレーザスクライプ可能な加工条件を、レーザ出力Pに対する走査速度vとして求めたデータ(図3(a1)~図3(d1))と、レーザ出力Pに対するクラック深さDcを求めたデータ(図3(a2)~図3(d2))とを示す図。

【図4】クラック深さDcを、板厚に対して整理した結果を示す図。

【図5】熱弾性解析の結果を示す図。

【図6】冷却域の最大引張応力 t_{max} 発生位置におけるx-z面の温度分布と変形状態とを示す図。

【図7】図6に対応する応力分布を示す図。

【図8】冷却域の最大引張応力 t_{max} を、板厚に関して整理して示した図。

【図9】厚板基板に対し、レーザ照射および冷却を行うことによりクラックを進展、進行させたときに基板に生じる応力分布を説明するための模式図。

【図10】図9のA-A'断面、B-B'断面およびC-C'断面における温度分布と応力分布を説明するための模式図。

【図11】薄板基板に対し、レーザ照射および冷却を行うことによりクラックを進展、進行させるときの基板に生じる応力分布を説明するための模式図。

【図12】図11のD-D'、断面E-E'および断面F-F'断面における温度分布と応力分布を説明するための模式図。

10

20

30

40

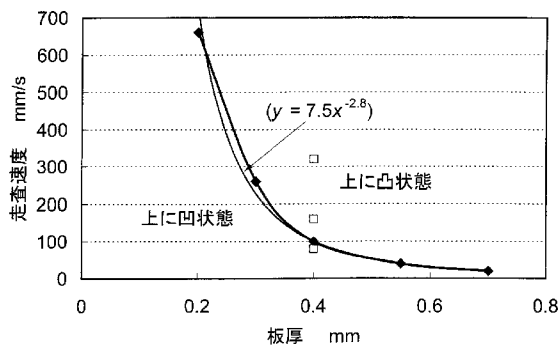
50

【符号の説明】

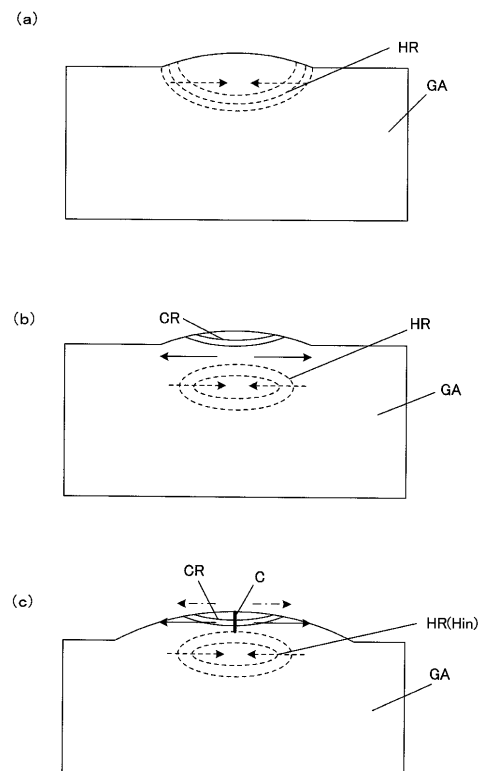
【 0 0 6 4 】

- 1 0 : テーブル
- 1 1 : プレート (多孔質部材)
- 1 2 : ボディ
- 1 6 : 真空ポンプ
- 1 7 : エアース源
- 2 1 : レーザ照射機構
- 2 2 : 冷却機構
- 2 3 : スクライブヘッド
- L S : レーザスクライブ装置
- G : ガラス基板

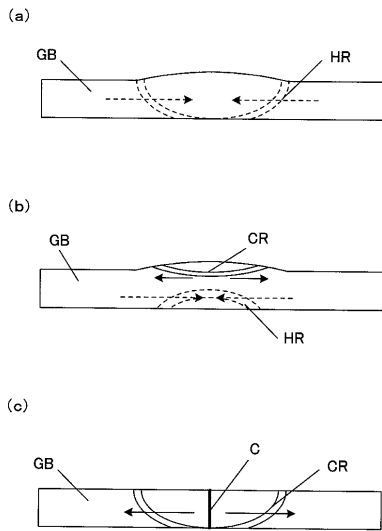
【 図 2 】



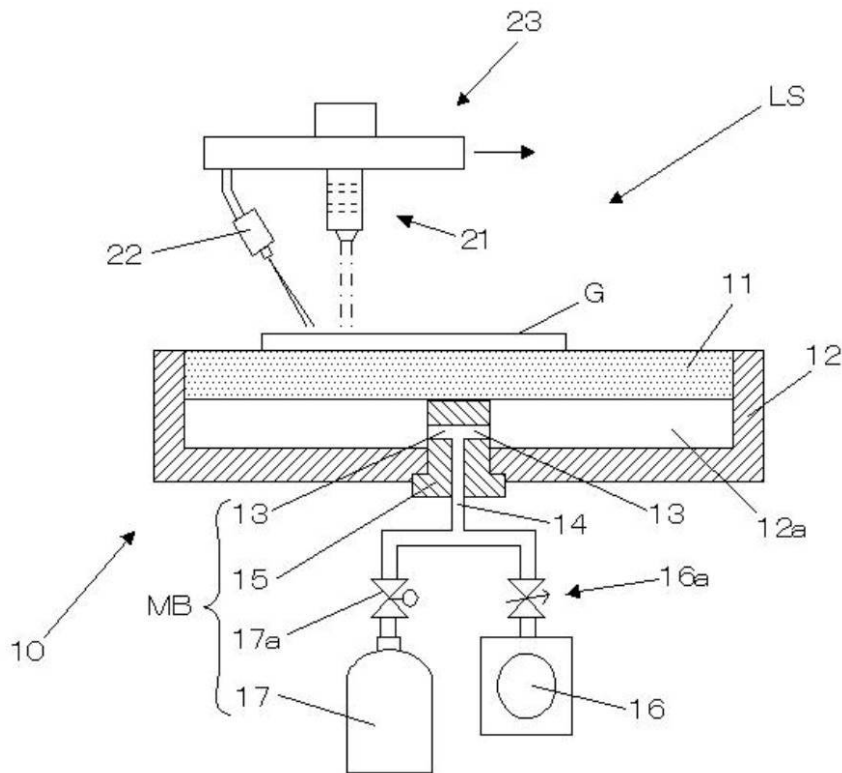
【 図 1 0 】



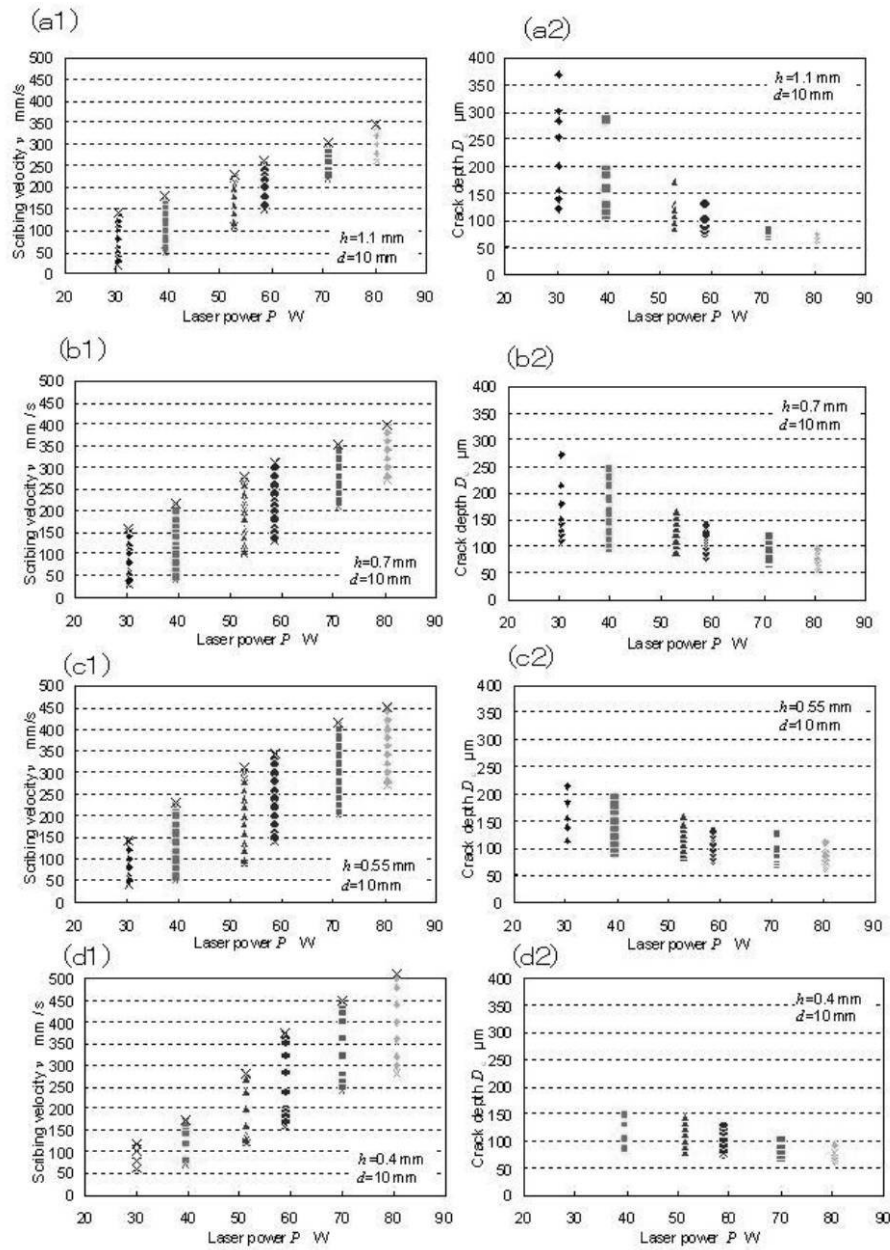
【 図 1 2 】



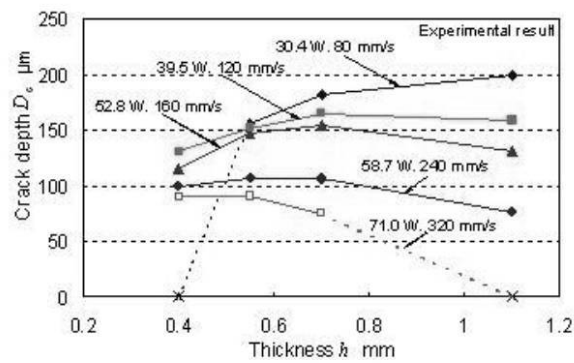
【 図 1 】



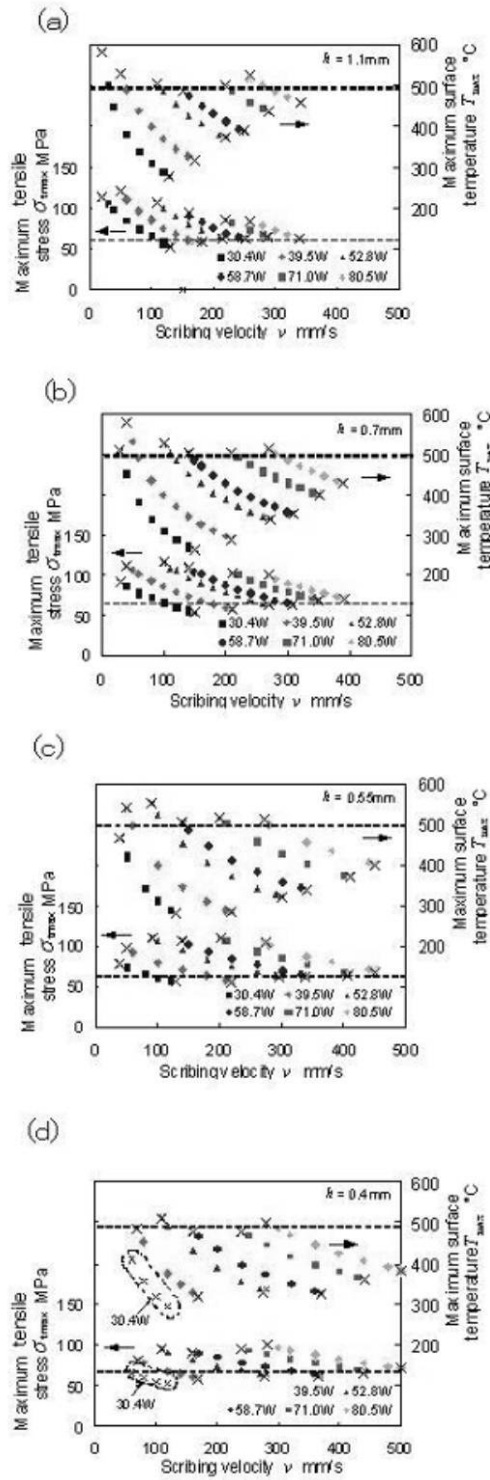
【 図 3 】



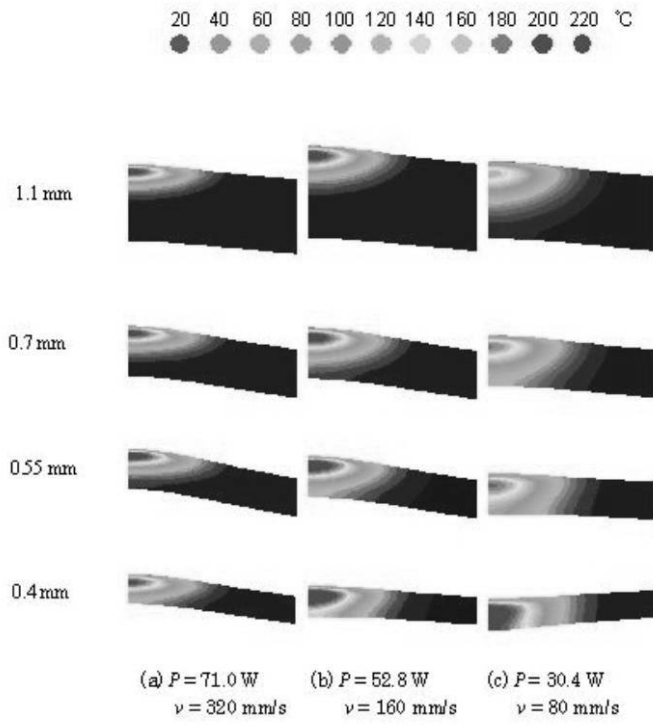
【 図 4 】



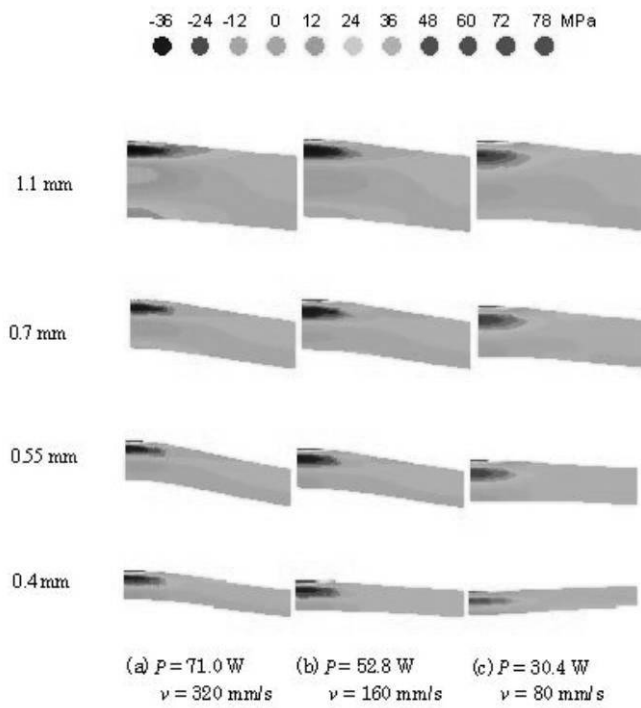
【 図 5 】



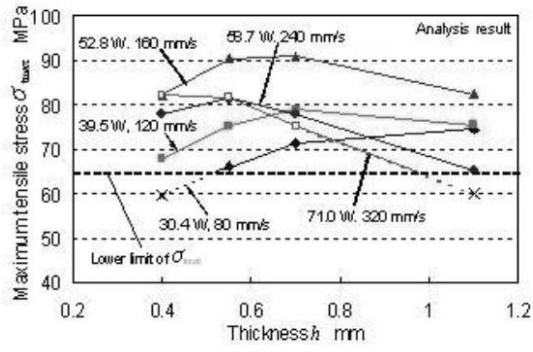
【 図 6 】



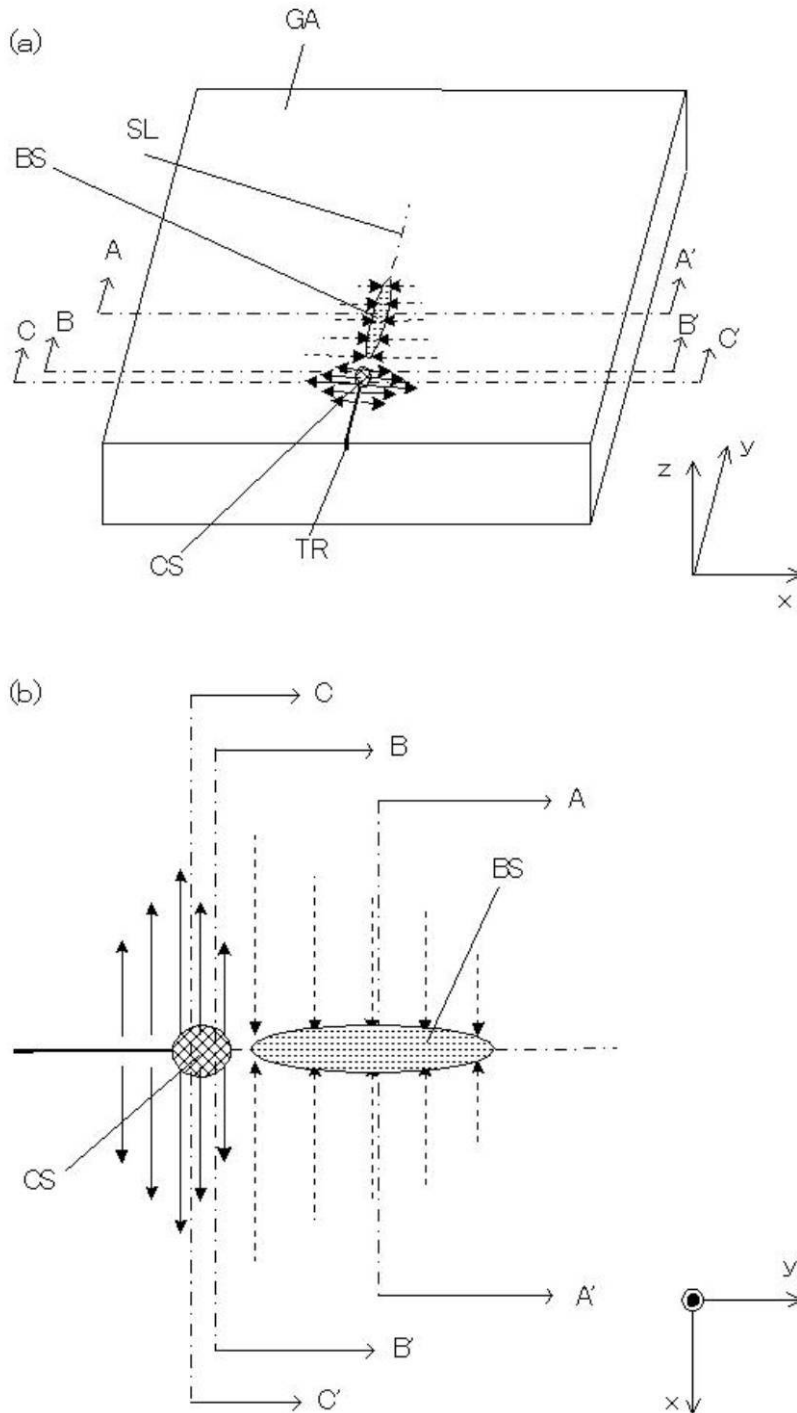
【 図 7 】



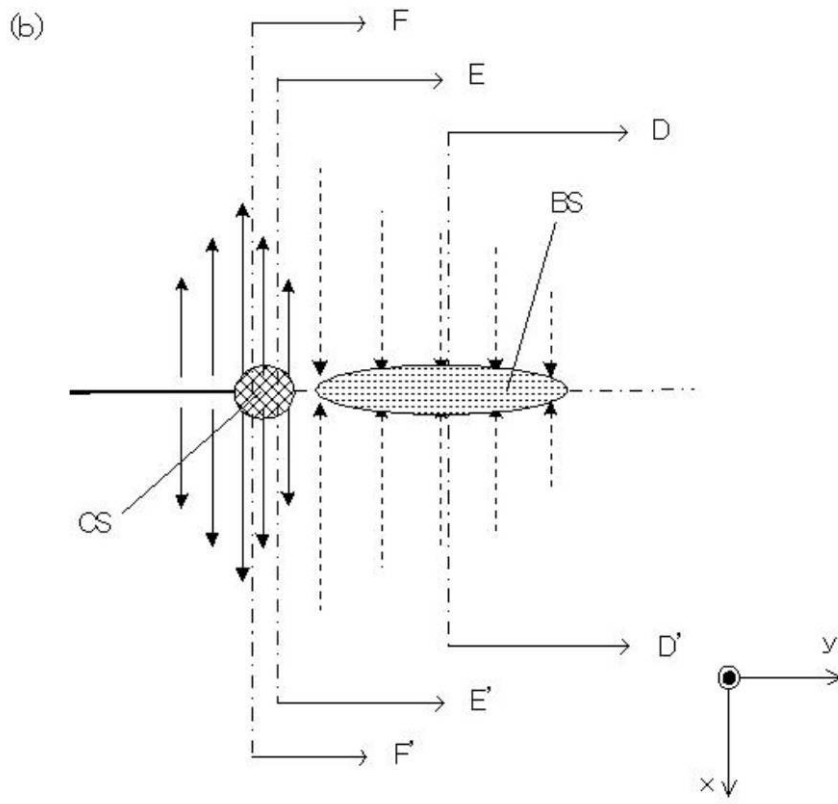
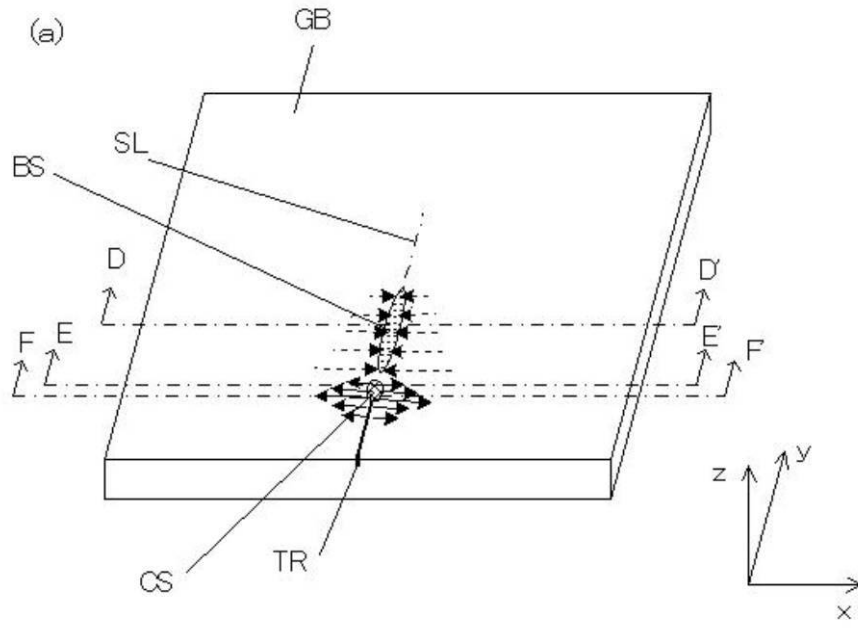
【 図 8 】



【 図 9 】



【図11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-183599(JP,A)
特開2006-027795(JP,A)
特開2007-275920(JP,A)
特開2007-090860(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C03B 23/00 - 35/26
C03B 40/00 - 40/04
B23K 26/00 - 26/42