



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2005 013 783 B4 2007.08.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2005 013 783.0

(22) Anmelddatum: 22.03.2005

(43) Offenlegungstag: 28.09.2006

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 16.08.2007

(51) Int Cl.⁸: **B23K 26/40 (2006.01)**

B23K 26/06 (2006.01)

H01L 21/78 (2006.01)

C03B 33/00 (2006.01)

B26F 3/16 (2006.01)

B28D 5/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

JENOPIK Automatisierungstechnik GmbH,
07745 Jena, DE

(74) Vertreter:

Patentanwälte Oehmke und Kollegen, 07743 Jena

(72) Erfinder:

Eberhardt, Gabriele, 07749 Jena, DE; Zühlke,
Hans-Ulrich, Dr., 07743 Jena, DE; Weinzierl, Uwe,
Dr., 07743 Jena, DE; Kondratenko, Vladimir
Stepanovich, Prof. Dr., Moskau, RU

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 199 52 331 C1

DE 198 33 368 C1

DE 197 15 537 C2

DE 12 44 346 B

DE 693 04 194 T2

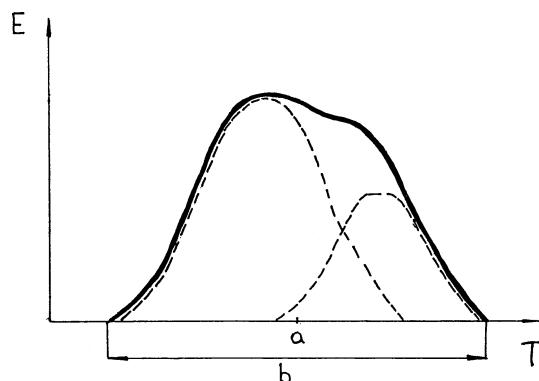
US2002/00 06 765 A1

WO 96/20 062 A1

WO 93/20 015 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Trennen von spröden Materialien mittels Laser mit unsymmetrischer Strahlungs-dichteVerteilung**

(57) Zusammenfassung: Mit dem Verfahren können flache Werkstücke aus sprödem Material, z.B. Saphir, Glaskeramik oder Glas durch Provokation von thermomechanischen Spannungen, insbesondere entlang Trennlinien gleicher Richtung mit einer Laserstrahlung, die auf dem Werkstück einen Strahlungsfleck mit unsymmetrischer Strahlungs-dichteVerteilung aufweist, durch eine Relativbewegung mit unterschiedlichem Richtungssinn getrennt werden, indem eine spiegelsymmetrische Strahlungsdichteänderung allein durch Änderung von Verfahrensparametern bewirkt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen spröder Materialien mittels Laserstrahlung auf dem Prinzip der Induktion thermischer Spannungen, wie es gattungsgemäß aus der DE 197 15 537 C2 bekannt ist.

[0002] Saphir als eines der härtesten spröden Materialien wird derzeit vorrangig als Basismaterial in Form von Waferscheiben für blaue LED's verwendet. Die große Härte des Saphir-Basismaterials (Mohshärte 9) und die sehr kleine Chipgröße (ca. $300 \times 300 \mu\text{m}$) der LED's stellen eine besonders große Herausforderung an das Trennen der Waferscheibe zur Vereinzelung der Chips dar.

[0003] Ähnliche Anforderungen bestehen für das Trennen von einkristallinem Quarz (Mohshärte 7), Keramiksubstraten (Mohshärte 8-9) und Glas.

[0004] Die älteste Methode zum Trennen harter spröder Materialien ist das mechanische Ritzen mit einem Diamantwerkzeug und das anschließende Brechen entlang der Ritzgräben.

[0005] Bereits seit einigen Jahren wird das mechanische Ritzen durch ein Ritzen mit UV-Lasern bzw. CO₂-Lasern abgelöst, mit denen sich durch hohe Genauigkeit und verschleißfreies Arbeiten eine deutliche Produktivitätserhöhung erzielen lässt. Durch Ablation werden schmale V-förmige Gräben bzw. Aneinanderreihungen kleiner Löcher erzeugt, die sich anschließend gezielt brechen lassen.

[0006] Nachteil dieser Laser-Ritzverfahren ist der Niederschlag der verdampften Materialanteile an den Schnittkanten zum einen und der anschließend notwendige Verfahrensschritt des Brechens zum anderen. Durch das Brechen kommt es zu Kantenabschrägen und damit unsauberen Kanten und Ecken.

[0007] Ein Laserverfahren, bei dem kein Material abgetragen wird, sondern bei dem das Material durch Induktion thermischer Spannungen gespalten wird, ist in der DE 693 04 194 beschrieben. Das Material wird bei diesem Verfahren durch einen CO₂-Laser mit einer Wellenlänge von 10,6 μm lokal aufgeheizt, wodurch Druckspannungen im Material entstehen. Mittels eines gerichteten Kühlmittelstrahles wird das Material im Anschluss abgekühlt, wodurch Zugspannungen generiert werden. Die entstehenden Kräfte im Material führen zu einem Spaltbruch. Da kein Material verdampft oder abgetragen wird, entstehen keine Verunreinigungen auf der Materialoberfläche sowie den Schnittkanten und es gibt keinen Materialverlust.

[0008] Die Strahlfleckgeometrie weist bevorzugt eine elliptische Form mit einer Gaußschen Verteilung der Strahlungsdichte auf, die zu beiden Halbachsen

(entlang der Trennlinie und senkrecht zur Trennlinie) symmetrisch ist. Die Erhitzung erfolgt in einem sehr engen Bereich, wobei sich die Temperatur von der Peripherie zum Zentrum hin gravierend erhöht.

[0009] Um eine Überhitzung im Zentrum des Strahlungsfleckes und damit die Überschreitung der Aufweichtemperatur des Materials zu vermeiden, wird in der WO 96/20062 vorgeschlagen, ein Laserstrahlungsbündel zu verwenden, indem sich die Strahlungsdichte auf der Oberfläche des Materials abnehmend von der Peripherie zum Zentrum hin verteilt. Hierdurch sollen die Erhitzungsbedingungen des Materials optimiert werden, die einerseits ein gleichmäßigeres Durchhitzen der gesamten Breite des bestrahlten Abschnittes gewährleisten und andererseits ein Überhitzen im Zentrum ausschließen sollen. Eine solche Strahlungsdichteverteilung erreicht man mit einem elliptischen Ring oder mit zwei in Längsrichtung nebeneinander angeordneten elliptischen Strahlflecken mit einer Gaußverteilung. Die positiven Wirkungen gemäß einem Verfahren nach der WO 96/20062 gegenüber einem Verfahren nach DE 693 04 194 erreicht man auch mit einem Strahlungsbündel, indem sich die Leistungsdichte im Querschnitt praktisch gleichmäßig verteilt oder sogar in Richtung Zentrum hin nur unwesentlich erhöht. In jedem Fall ist die hier vorgeschlagene Strahlungsdichteverteilung zu den beiden Halbachsen hin symmetrisch.

[0010] In der DE 197 15 537 C2 wird eine Strahlungsdichteverteilung gemäß einem Strahlungsfleck nach WO 96/20062 als ungünstige Temperaturverteilung bewirkend dargestellt, und es wird vorgeschlagen, mit einem Wärmestrahlungsfleck zu schneiden, dessen maximale Strahlungsintensität auf einer V- oder U-förmigen Kurve liegt, die sich zum vorderen Ende des Wärmestrahlungsfleckes hin öffnet und bei dem das Temperaturmaximum örtlich im Scheitelpunkt der V- oder U-förmigen Kurve liegt.

[0011] Ein solcher Wärmestrahlungsfleck kann beispielsweise mit einem kreisförmigen Laserstrahlungssquerschnitt mit einer homogenen oder Gaußschen Verteilung durch Scannen auf der Werkstückoberfläche erzeugt werden oder aber durch einen ringförmigen Laserstrahlungssquerschnitt, der halbseitig ausgeblendet wird.

[0012] In der DE 198 33 368 C1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung beschrieben, bei dem mit einem oder mehreren in den Strahlengang eingebrachten Blenden die Intensitätsverteilung auf der Werkstückoberfläche beeinflusst wird. Gegenüber dem Stand der Technik, bei dem vorgegebene Intensitätsprofile durch kostspielige Zusatzoptiken erzielt werden, sei es mit der hier beschriebenen Lösung möglich, kostengünstig und nur geringem Justageaufwand eine Vielzahl verschiedener und dem jeweiligen Zweck angepasste Intensitätsverteilungen zu erzielen. So

wird zum Beispiel vorgeschlagen, mit einer drehbaren Streifenblende eine innere rotationssymmetrische Abschattung des Strahlungsbündels mit einer Breite entsprechend der Winkellage der Streifenblende zu bewirken.

[0013] Nachteilig ist hier, dass die Beeinflussung der Intensitätsverteilung in jedem Fall mit einem Intensitätsverlust verbunden ist, d.h. um einen gewünschten Leistungseintrag zu erzielen, muss in jedem Fall eine Strahlungsquelle deutlich höherer Leistung verwendet werden.

[0014] Das Trennen von sprödem Material durch Provokation thermomechanischer Spannungen unter Verwendung von zwei oder mehr Laserstrahlen ist außer aus der WO 96/20062, wie bereits beschrieben, auch aus der DE AS 1 244 346 und der DE 199 52 331 C1 bekannt.

[0015] Bei dem in der DE AS 1 244 346 beschriebenen Verfahren soll mit mehreren Laserstrahlen, die einen unterschiedlichen Winkel zur Werkstückoberfläche bilden, eine bestimmte Kantengeometrie geschaffen werden.

[0016] Die DE 199 52 331 C1 soll gegenüber dem dort geschilderten Stand der Technik, in dem ein Verfahren nach WO 93/20015 (gleich DE 693 04 194) vergleichsweise als überlegen und als in der Praxis durchgesetzt beschrieben wird, eine höhere Schnittgeschwindigkeit und höhere Schnittgenauigkeit liefern. Um höhere Leistungen einzubringen, wird vorgeschlagen, dass mehrere Laserstrahlungsbündel hintereinanderliegend über die Schneidlinie geführt werden. Zu diesem Zweck sind bei einer Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens optische Mittel vorhanden, die ein gekoppeltes Führen der Laserstrahlungsbündel derart erlauben, dass die Laserstrahlen fokussiert und voneinander getrennt oder aber ganz oder teilweise überlagert auf der Trennlinie geführt werden.

[0017] Die US 2002/0006765 A1 beschreibt eine Vorrichtung zum Trennen von brüchigem Material in der von einem Laser mit einer nachgeordneten Strahlteilungsoptik bzw. von zwei Lasern kommend elliptisch geformte Strahlungsbündel auf eine Werkstückoberfläche entlang einer gewünschten Trennlinie geführt werden.

[0018] Dabei sind die Hauptachsen der beiden Strahlungsbündel jeweils in Richtung der Trennlinie ausgerichtet. Je nachdem welchen Abstand sie zueinander aufweisen, der auch Null sein kann, entsteht ein zur Trennlinie hin unterschiedliches Strahlprofil, welches ein Gaußprofil, ein sogenanntes Kopf- und Schulter-Profil oder zwei Gaußprofile sein kann.

[0019] In keiner der vier Schriften (WO 96/20062,

DE AS 1 244 346, DE 199 52 331 C1 und US 2002/0006765 A1), bei denen mehr als ein Laserstrahlungsbündel auf das zu trennende Material gerichtet wird, wird angeregt, diese so aufeinander abzustimmen, dass ein Strahlungsleck mit einer zur Halbachse des Strahlungsfleckes unsymmetrischen Strahlungsdichteverteilung entsteht.

[0020] Die scheinbar unendliche Anzahl von Publikationen und hierbei insbesondere von erteilten Patenten zum Trennen von sprödem Material durch Provokation von thermomechanischen Spannungen und deren zum Teil widersprüchlich erscheinende Lösungsangebote sowie die Erfahrungen der Praxis zeigen, dass die einzelnen Lösungen jeweils mehr oder weniger individuell für bestimmte Anwendungsbeispiele von Vorteil sind.

[0021] Unterschiedlichste Strahlungsfleckformen und Strahlungsdichteverteilungen über den Strahlungsfleck in Verbindung mit der Strahlungsfleckgröße, der Strahlungsleistung und der Vorschubgeschwindigkeit sind in Abhängigkeit vom Material, insbesondere der Wärmeleitfähigkeit und der Materialdicke mehr oder weniger gut geeignet.

[0022] So kann es in Abhängigkeit von der konkreten Anwendung von Vorteil oder von Nachteil sein, wenn das Strahlungsdichtemaximum mittig auf der Trennlinie liegt wie z.B. bei WO 93/20015 (gleich DE 693 04 194) oder DE 199 52 331 C1, bzw. wenn das Strahlungsdichteminimum auf der Trennlinie liegt wie bei DE 197 15 537 C2.

[0023] Der Anmelder hat darüber hinaus bei praktischen Versuchen festgestellt, dass es für verschiedene Anwendungen von Vorteil ist, wenn der Strahlungsfleck entlang der Trennlinie eine überhöhte Strahlungsdichte (nachfolgend Strahlungsspitze) am Ende oder aber auch am Anfang eines entlang der Trennlinie langgezogenen Strahlungsfleckes aufweist, d.h. wenn die Strahlungsdichteverteilung zu der die Trennlinie schneidenden Halbachse des Strahlungsfleckes unsymmetrisch ist. Durch die Lage und die Höhe der Strahlungsspitze können in Abhängigkeit vom Material und dessen Dicke die Prozessgeschwindigkeit und die Schnittqualität beeinflusst werden. Praktisch hat ein solcher Strahlungsfleck jedoch den Nachteil, dass die Bearbeitungsrichtung nicht in ihrem Richtungssinn umgekehrt werden kann. D.h. wenn z.B. eine Platte beginnend von einer ersten Kante in einzelne parallele Streifen aufgeteilt werden soll, muss der Laser immer erst zu dieser ersten Kante zurückfahren werden, bzw. bei feststehendem Laser diese erste Kante zum Laser positioniert werden, damit die Verfahrensparameter für jeden Schnitt gleich sind. Bei der maschinellen Umsetzung dieses Schnittregimes kommt es zu ca. 50% Leerlaufzeit.

[0024] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, bei dem ein sprödes Material durch Provokation einer thermomechanischen Spannung mittels einer Laserstrahlung mit unsymmetrischer Strahlungsdichteverteilung im Strahlungsfleck getrennt wird, wobei der Trennschnitt vorteilhaft bidirektional, d.h. in einer Richtung mit wechselndem Richtungssinn ausgeführt werden kann.

[0025] Diese Aufgabe wird für ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0026] Die Erfindung soll nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

[0027] In einem Ausführungsbeispiel soll ein Wafer aus Saphir mit einem Durchmesser von 2" und einer Dicke von 90 µm in Chips mit einer Kantenlänge von 320 µm getrennt werden. Dazu werden Trennschnitte im Abstand von 320 µm erst in X- und dann in Y-Richtung im Wafer erzeugt.

[0028] Gemäß der Erfindung werden die X-Trennschnitte bzw. die Y-Trennschnitte jeweils im Wechsel von sich gegenüberliegenden Außenkanten begonnen, d.h. der jeweilige Folgeschnitt beginnt um 320 µm versetzt am Umfang der Waferscheibe dort, wo der vorherige Trennschnitt geendet hat.

[0029] Damit die Trennschnitte unabhängig vom Richtungssinn der Relativbewegung (bidirektional) zwischen Laserstrahlungsbündel und Wafer mit gleicher Prozessgeschwindigkeit und gleicher Schnittqualität durchgeführt werden, müssen unabhängig vom Richtungssinn absolut gleiche Bedingungen herrschen, die einfach und schnell einstellbar sein sollen.

[0030] Für das Trennen einer Waferscheibe aus Saphir, wie hier im ersten Ausführungsbeispiel, hat sich praktisch erwiesen, dass eine Strahlungsdichteverteilung im Strahlungsfleck von Vorteil ist, die in Bewegungsrichtung eine überhöhte Strahlungsdichte (Strahlungsspitze) am Ende aufweist.

[0031] Eine solche Strahlungsdichteverteilung soll erfindungsgemäß durch die Überlagerung zweier elliptischer Laserstrahlungsbündel mit Gaußscher Strahlungsdichteverteilung und unterschiedlicher Leistung erzeugt werden.

[0032] Fig. 1 zeigt eine Strahlungsdichteverteilung der beiden Laserstrahlungsbündel (Strichlinien) und eine durch deren Überlagerung entstehende unsymmetrische Strahlungsdichteverteilung (Volllinie) im gemeinsamen Strahlungsfleck entlang dessen großer Hauptachse b. Deutlich ist die Unsymmetrie zum Schnittpunkt a der kleinen Hauptachse senkrecht zu der in der Trennrichtung T verlaufenden großen

Hauptachse b des gemeinsamen Strahlungsflecks.

[0033] Um eine Strahlungsdichteverteilung im gemeinsamen Strahlungsfleck mit einer Strahlungsspitze am Ende zu erhalten, muss jeweils die Leistung des Lasers höher gewählt werden, dessen Strahlung in Bewegungsrichtung hinter der Strahlung des anderen Lasers auf die Oberfläche gerichtet ist. Das Profil der Strahlungsdichteverteilung wird durch die Leistung der beiden Laser, insbesondere der Leistungsdifferenz und dem Grad der Überlagerung bestimmt.

[0034] Die Strahlungsdichteverteilung im gemeinsamen Strahlungsfleck kann auch zusätzlich beeinflusst werden, indem die beiden Laserstrahlungsbündel auf der Werkstückoberfläche unterschiedlich große Strahlungsflecken erzeugen, d.h. Strahlungsflecken mit unterschiedlich langen kleinen und/oder unterschiedlich langen großen Halbachsen. Die Vorgaben für die Leistung, die an den beiden Lasern jeweils eingestellt wird, für den Überdeckungsgrad und für das Größenverhältnis der sich überlagernden Strahlungsflecken, sind abhängig vom zu trennenden Material und der Materialdicke und werden in praktischer Erprobung optimiert und dann entsprechend vorgegeben.

[0035] Unabhängig vom Verhältnis der vorgegebenen Leistung für die beiden Laser, dem Überlappungsgrad und dem Größenverhältnis, entsteht ein Strahlungsfleck mit einer spiegelsymmetrischen Strahlungsdichteverteilung, wenn man die Leistungseinstellungen der Laser und das Größenverhältnis, sofern es nicht gleich 1 ist, umkehrt.

[0036] Entsprechend bekannten Verfahren aus dem Stand der Technik wird die Laserstrahlung auf die Oberfläche des Wafers gerichtet und entlang der ersten Trennlinie relativ zum Wafer geführt. Dem gemeinsamen Strahlungsfleck folgend wird mittels eines ebenfalls entlang der Trennlinie relativ zum Wafer geführten Kühlmittelstrahles ein Kühlfleck erzeugt.

[0037] Damit erfindungsgemäß die Trennschnitte gleicher Richtung durch eine Relativbewegung mit unterschiedlichem Richtungssinn getrennt werden können, wird nach jedem Schnitt die Leistung der Laser, und sofern das Größenverhältnis ungleich 1 ist, umgeschaltet, ein Schritt der weniger zeitaufwendig ist als zum Beispiel eine Positionsänderung von speziellen Optikteilen, wie ein diffraktives Element, mit denen eine spezielle Strahlungsdichteverteilung bewirkt wird.

[0038] Während mittels eines diffraktiven Elements nur eine konkrete Strahlungsdichteverteilung realisiert werden kann, kann sie mit vorliegender Erfindung über die verschiedenen Parameter variiert und für die konkrete Anwendung optimiert werden.

[0039] In weiteren Versuchen wurden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgreich Keramiksubstrate aus 96%igem Al_2O_3 und Floatglas getrennt.

[0040] Eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung braucht:

- zwei Laser gleicher Strahlcharakteristik mit einstellbarer Laserleistung,
- optische Mittel, mit denen die beiden Laserstrahlungsbündel mit einem vorgegebenen Überlappungsgrad auf das Werkstück geführt werden, so dass deren Strahlungsflecken einen gemeinsamen Strahlungsleck ergeben,
- Mittel zum Aufbringen eines Kühlmittelstromes auf die Trennlinien und
- Mittel zur Erzeugung einer Relativbewegung zwischen den Laserstrahlungsbündeln und dem Kühlmittelstrom einerseits und dem Werkstück andererseits.
- Vorteilhaft sind die Mittel zur Erzeugung der Relativbewegung geeignet, die Relativbewegung im wechselnden Richtungssinn auszuführen
- die Mittel zum Aufbringen eines Kühlmittelstromes müssen geeignet sein, die durch die Laserstrahlung erhitzte Trennlinie zu kühlen, d.h. der Kühlmittelstrom muss jeweils der Laserstrahlung nachlaufend auf die Trennlinie gerichtet werden. Für eine Relativbewegung mit wechselndem Richtungssinn kann dies mit einer schwenkbaren Kühlmitteldüse realisiert werden oder aber, indem zwei Kühldüsen fest installiert werden, über die das Kühlmittel wahlweise abgegeben werden kann.
- Vorteilhaft sind auch Mittel zur Strahlungsformung vorhanden, die es ermöglichen, die Größe der beiden sich überlagernden Strahlungsflecken in ihren Abmessungen zu variieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trennen eines flachen Werkstückes aus sprödem Material durch Provokation von thermomechanischen Spannungen entlang von Trennlinien mittels Laser, mit den Schritten:

- Einstellen einer vorgegebenen Leistung E1 an einem ersten Laser und einer zu E1 unterschiedlichen Leistung E2 an einem zweiten Laser, die je ein Laserstrahlungsbündel erzeugen,
- Richten der beiden Laserstrahlungsbündel auf die Oberfläche des zu trennenden Werkstückes, wo sie je eine elliptische Strahlungsleckgeometrie aufweisen, jeweils bestimmt durch eine große und eine kleine Halbachse, so, dass deren große Halbachsen gemeinsam auf einer Trennlinie sich teilweise überlagernd liegen, wodurch die beiden Strahlungslecken der beiden Laserstrahlungsbündel einen gemeinsamen ebenfalls elliptischen Strahlungsleck bilden dessen Strahlungsdichteverteilung zu dessen kleiner Halbachse unsymmetrisch ist,
- relative Bewegung der Laserstrahlungsbündel zum

Werkstück entlang der durch die Trennlinie bestimmten Richtung,

- Richten eines Kühlmittelstroms in Bewegungsrichtung hinter dem Laserstrahlungsleck auf das Werkstück.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Werkstück entlang Trennlinien gleicher Richtung in eine Vielzahl von Streifen geschnitten wird, indem

- nach Beendigung eines Trennschnittes die Leistung E1 bzw. E2 des jeweils anderen Lasers eingestellt wird, so dass für den ersten Laser für jeden ungeradzahligen Schnitt jeweils die Leistung eingestellt ist, die bei dem zweiten Laser für jeden geradzahligen Schnitt eingestellt ist und umgekehrt und
- dass die Trennschnitte jeweils mit wechselndem Richtungssinn durchgeführt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beeinflussung der Strahlungsdichteverteilung des gemeinsamen Strahlungsleckes die kleinen Halbachsen und die großen Halbachsen der beiden Laserstrahlungsbündel durch Vorgabe eines Größenverhältnisses ungleich 1 unterschiedlich gewählt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass nach Beendigung eines Trennschnittes das Größenverhältnis für die beiden Laserstrahlungsbündel umgekehrt wird.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

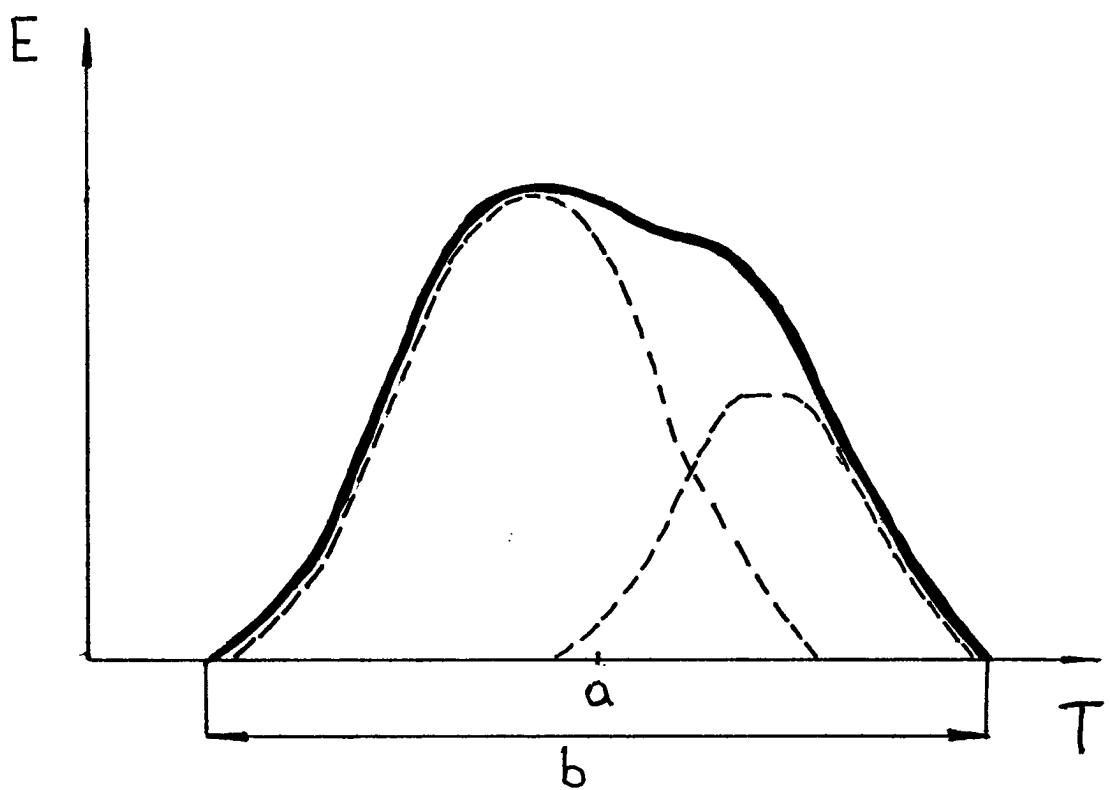


Fig. 1