



(10) **DE 10 2015 114 240 A1** 2017.03.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 240.6**

(22) Anmeldetag: **27.08.2015**

(43) Offenlegungstag: **02.03.2017**

(51) Int Cl.: **H01L 31/18** (2006.01)

H01L 21/268 (2006.01)

B23K 26/40 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:

**Lemcke, Brommer & Partner, Patentanwälte
Partnerschaft mbB, 76133 Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:

**Nekarda, Jan, Dr., 79194 Gundelfingen, DE;
Brand, Andreas, 79106 Freiburg, DE; Graf, Martin,
79232 March, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

JP 2001- 44 120 A

JP 2002- 217 125 A

**JP 2001 - 0 44 120 A (Maschinenübersetzung),
AIPN [online] JPO [abgerufen am 17.05.2016]**

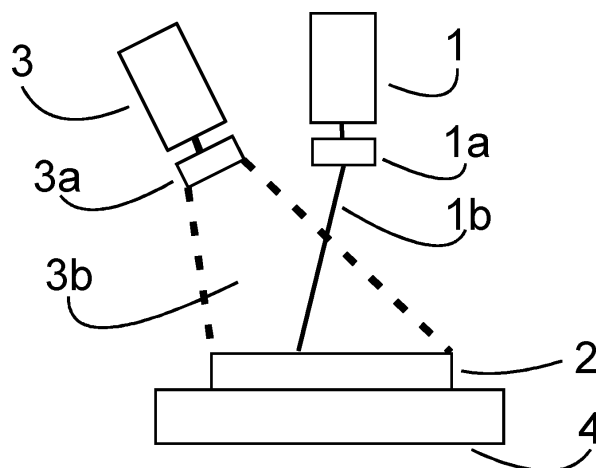
**JP 2002 - 217 125 A (Maschinenübersetzung),
AIPN [online] JPO [abgerufen am 17.05.2016]**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats mittels Laserstrahlung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats, insbesondere eines Halbleitersubstrats zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle, mit einem Laserbearbeitungsschritt, wobei das Halbleitersubstrat lokal in einem Bearbeitungsbereich mittels Bearbeitungslaserstrahlung einer Bearbeitungslaserstrahlungsquelle beaufschlagt wird. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass vor und/oder während des Laserbearbeitungsschritts das Halbleitersubstrat in einem Konditionierungsbereich mittels Konditionierungslaserstrahlung einer Konditionierungslaserstrahlungsquelle mit einer Beleuchtungsintensität größer 50.000 W/m^2 beaufschlagt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 12.

[0002] Zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats, insbesondere eines Halbleitersubstrats bei der Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle, ist es bekannt, das Halbleitersubstrat lokal mittels Laserstrahlung zu beaufschlagen. Hierdurch können unterschiedliche Bearbeitungsarten erzielt werden: So kann eine Ablation von Schichten und/oder Teilbereichen des Halbleitersubstrates durch die Laserstrahlung erfolgen. Alternativ oder zusätzlich können aufgrund eines lokalen Aufschmelzens ein Eintrag von Stoffen, insbesondere von Dotierstoffen und/oder eine elektrische Kontaktierung erfolgen. Ebenso ist aufgrund der Wärmeeinwirkung ein Umkristallisieren eines oberflächennahen Bereiches durch die lokale Beaufschlagung mit Laserstrahlung möglich.

[0003] Bei solchen Bearbeitungsvorgängen des Halbleitersubstrats mittels lokaler Beaufschlagung mit Laserstrahlung ist es stets vorteilhaft, den Energieeintrag in einem engen Parameterbereich vorgeben zu können, um unerwünschte Effekte, insbesondere Schädigungen des Halbleitersubstrats, welche die elektronische Güte verringern, zu vermeiden. Weiterhin sind kurze Prozesszeiten vorteilhaft, um Kosteneinsparungen im Herstellungsprozess zu erzielen.

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, vorbekannte Verfahren zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrates mittels lokaler Beaufschlagung mit Laserstrahlung weiterzubilden, um eine höhere Prozesssicherheit zu erzielen und/oder eine Verkürzung der Prozessdauer zu ermöglichen.

[0005] Gelöst ist diese Aufgabe durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 12. Vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

[0006] Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorteilhafterweise zur Durchführung mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung, insbesondere einer bevorzugten Ausführungsform hiervon, ausgebildet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist vorzugsweise zur Durchführung mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere einer vorteilhaften Ausführungsform davon, ausgeführt.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrates. Der Begriff „Halbleitersubstrat“ bezeichnet hierbei und im Folgenden ein Substrat, welches zumindest eine Halbleiterschicht aufweist. Ein solches Halbleitersubstrat kann ein Halbleiterwafer sein, insbesondere ein Siliziumwafer. Ebenso kann das Halbleitersubstrat aus einem Substrat mit mindestens einer Halbleiterschicht bestehen, beispielsweise ein mit einer Halbleiterschicht beschichtetes Keramiksubstrat. Weiterhin liegt es im Rahmen des Begriffs Halbleitersubstrat, dass eine oder mehrere zusätzliche Schichten von dem Halbleitersubstrat umfasst sein können. Diese Schichten können insbesondere weitere Halbleiterschichten, dielektrische Schichten, metallische Schichten sowie Kombinationen hiervon sein.

[0008] Das Halbleitersubstrat wird zur Bearbeitung in einem Laserbearbeitungsschritt lokal in einem Bearbeitungsbereich mittels Bearbeitungslaserstrahlung einer Bearbeitungslaserstrahlungsquelle beaufschlagt.

[0009] Wesentlich ist, dass vor und/oder während des Laserbearbeitungsschritts das Halbleitersubstrat in einem Konditionierungsbereich mittels Konditionierungslaserstrahlung einer Konditionierungslaserstrahlungsquelle mit einer Beleuchtungsintensität größer 50.000 W/m^2 beaufschlagt wird.

[0010] Hierbei und im Folgenden bezeichnet die Beleuchtungsintensität die Intensität der Konditionierungsstrahlung an der Oberfläche des Halbleitersubstrats, welche mit der Konditionierungsstrahlung beaufschlagt wird.

[0011] Die Erfindung ist in der Erkenntnis begründet, dass eine Beaufschlagung des Halbleitersubstrats mit Konditionierungsstrahlung durch eine zu der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle zusätzliche, separate Konditionierungslaserstrahlungsquelle erhebliche Vorteile aufweist: Durch die Konditionierungsstrahlung wird zumindest in dem Konditionierungsbereich eine Erwärmung und/oder eine Erhöhung der freien Ladungsträgerdichte erzielt. Bei typischen Prozessen ist es vorteilhaft, dass in dem Bearbeitungsbereich, in welchem das Halbleitersubstrat mit der Bearbeitungslaserstrahlung bearbeitet wird, eine erhöhte Temperatur vorliegt und/oder eine erhöhte Dichte an freien Ladungsträgern. Durch die Verwendung einer separaten Konditionierungslaserstrahlungsquelle, welche mit hoher Intensität größer 50.000 W/m^2 zumindest in dem Konditionierungsbereich das Halbleitersubstrat beaufschlagt, kann somit in konstruktiv und verfahrenstechnisch einfacher Weise

ein optimierter Zustand des Halbleitersubstrates in dem Bearbeitungsbereich erzielt werden. Hierdurch wird eine höhere Prozesssicherheit bei der Bearbeitung des Halbleitersubstrats und/oder eine Beschleunigung des Bearbeitungsprozesses erzielt.

[0012] Um eine schnelle Konditionierung zu erzielen, wird das Halbleitersubstrat bevorzugt mit einer Intensität größer 100.000 W/m^2 , insbesondere größer 200.000 W/m^2 , weiter bevorzugt größer 500.000 W/m^2 beaufschlagt.

[0013] Vorzugsweise wird das Halbleitersubstrat vor dem Laserbearbeitungsschritt in dem Konditionierungsbereich mittels Konditionierungslaserstrahlung der Konditionierungslaserstrahlungsquelle für eine Zeitdauer größer $0,1 \text{ s}$, insbesondere im Bereich $0,01 \text{ s}$ bis 2 s , insbesondere im Bereich $0,1 \text{ s}$ bis 1 s beaufschlagt, um eine ausreichende Konditionierung bei Beginn der lokalen Laserbearbeitung zu gewährleisten.

[0014] Vorzugsweise überdeckt der Konditionierungsbereich den Bearbeitungsbereich vollständig, insbesondere überragt der Konditionierungsbereich den Bearbeitungsbereich bevorzugt umlaufend in vorteilhafter Weise um mindestens $0,01 \text{ cm}$, vorzugsweise um mindestens $0,1 \text{ cm}$, insbesondere zumindest 1 cm . Hierdurch ist sichergestellt, dass in dem Bearbeitungsbereich die gewünschten Prozessbedingungen vorliegen.

[0015] Bei typischen Bearbeitungen eines Halbleitersubstrates mittels lokaler Beaufschlagung mit Bearbeitungslaserstrahlung erfolgt ein Bewegen eines Laserstrahls der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle über die Oberfläche des Halbleitersubstrates und/oder ein sukzessives Beaufschlagen einer Mehrzahl lokaler Bereiche des Halbleitersubstrates mit der Bearbeitungslaserstrahlung. Hierbei ist es vorteilhaft, dass der Konditionierungsbereich einen großflächigen Bereich des Halbleitersubstrates überdeckt. Insbesondere ist es vorteilhaft, dass der Konditionierungsbereich sich über die gesamte Breite des Halbleiterwafers erstreckt, bevorzugt, dass der Konditionierungsbereich quer zur Erstreckung über die Breite des Halbleiterwafers eine Länge von zumindest $0,01 \text{ cm}$, vorzugsweise zumindest $0,1 \text{ cm}$, insbesondere zumindest 1 cm aufweist. Hierdurch ist eine großflächige Konditionierung des Halbleitersubstrats gegeben. Abhängig davon, in welchen Bereichen eine lokale Bearbeitung mittels der Bearbeitungslaserstrahlung erfolgt, kann der Bearbeitungsbereich relativ zu der photovoltaischen Solarzelle verschoben werden, um stets eine Konditionierung in den Bearbeitungsbereich sicherzustellen.

[0016] Vorteilhafterweise erstreckt sich der Konditionierungsbereich über das gesamte Halbleitersubstrat. Das Halbleitersubstrat wird somit in dieser vorteilhafter Ausgestaltung ganzflächig mit der Konditionierungslaserstrahlung beaufschlagt. Hierdurch ist eine Konditionierung des gesamten Halbleitersubstrats gewährleistet, sodass unabhängig davon, an welchen lokalen Bereichen eine Bearbeitung mittels Bearbeitungslaserstrahlung erfolgt, stets optimierte Prozessbedingungen vorliegen.

[0017] In einer vorteilhaften Ausführungsform wird das Halbleitersubstrat auf einer Bearbeitungsseite mit Bearbeitungslaserstrahlung und auf dieser Bearbeitungsseite mit der Konditionierungslaserstrahlung beaufschlagt. In dieser vorteilhaften Ausführungsform erfolgt somit die Beaufschlagung sowohl mit Bearbeitungslaserstrahlung als auch mit Konditionierungslaserstrahlung von derselben Seite. Dies weist den Vorteil auf, dass das zu bearbeitende Halbleitersubstrat beliebig gelagert werden kann, insbesondere in an sich bekannten Fördervorrichtungen oder Aufnahmevorrichtungen gelagert werden kann.

[0018] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird das Halbleitersubstrat auf einer Bearbeitungsseite mit der Bearbeitungslaserstrahlung und auf einer gegenüberliegenden Konditionierungsseite mit der Konditionierungslaserstrahlung beaufschlagt. In diesem Fall erfolgt somit die Beaufschlagung mit Bearbeitungslaserstrahlung einerseits und Konditionierungslaserstrahlung andererseits von zwei gegenüberliegenden Seiten des Halbleitersubstrats. Dies weist insbesondere den konstruktiven Vorteil auf, dass die optischen Komponenten zum Abbilden der Bearbeitungslaserstrahlung einerseits und der Konditionierungslaserstrahlung andererseits optimiert ausgebildet und positioniert werden können, ohne dass die räumliche Anordnung der optischen Mittel für die Bearbeitungslaserstrahlung durch die räumliche Anordnung der optischen Mittel für die Konditionierungslaserstrahlung eingeschränkt ist. Hierdurch kann insbesondere in konstruktiv einfacher Weise eine homogene Ausgestaltung und Beaufschlagung des Halbleitersubstrates mit der Konditionierungslaserstrahlung, insbesondere eine ganzflächige, homogene Beaufschlagung erzielt werden.

[0019] Weiterhin ist es insbesondere vorteilhaft, dass der Halbleiterwafer auf einer für die Konditionierungslaserstrahlung transparenten Auflage angeordnet wird und durch die Auflage hindurch mit der Konditionierungslaserstrahlung beaufschlagt wird.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere für eines oder mehrere der nachfolgenden Verfahren verwendbar:

- a. Erzeugen von lokalen elektrischen Kontaktierungen durch lokales Aufschmelzen mittels der Bearbeitungslaserstrahlung (im Folgenden „LFC“);
- b. Erzeugen von Vias, welche den Halbleiterwafer durchdringen (im Folgenden „Via“);
- c. Einbringen von Dotierstoff durch lokales Aufschmelzen des Halbleitersubstrats mittels der Bearbeitungslaserstrahlung (im Folgenden „Dotieren“);
- d. Umkristallisieren einer Schicht des Halbleitersubstrats durch zumindest lokales Aufschmelzen des Halbleitersubstrats mittels der Bearbeitungslaserstrahlung (im Folgenden „Umkristallisieren“);
- e. Erzeugen von lokalen Strukturen in dünnen Schichten durch deren Ablation mittels der Bearbeitungslaserstrahlung (im Folgenden „Ablation“).

[0021] Wie bereits erwähnt, ermöglicht das Verfahren insbesondere zwei vorteilhafte Konditionierungen zur Bearbeitung des Halbleitersubstrates mittels der Bearbeitungslaserstrahlung, wobei die beiden Konditionierungen alternativ oder gemeinsam erzielt werden können:

Für eine Vielzahl von Verfahren ist zumindest eine Erwärmung des Halbleitersubstrates zur Bearbeitung mittels der Bearbeitungslaserstrahlung vorteilhaft.

[0022] Hierbei ist es in der Regel unerheblich, ob zusätzlich die freie Ladungsträgerdichte aufgrund der Konditionierungsstrahlung erhöht wird oder nicht. Es ist somit insbesondere vorteilhaft, durch Beaufschlagen mittels der Konditionierungsstrahlung das Halbleitersubstrat zumindest im Konditionierungsbereich, vorzugsweise das gesamte Halbleitersubstrat, auf eine Temperatur von zumindest 50°C, insbesondere zumindest 100°C zu erwärmen. Für eine Vielzahl von Prozessen sind weiter erhöhte Temperaturen vorteilhaft, so dass vorteilhafterweise durch Beaufschlagen mittels der Konditionierungsstrahlung das Halbleitersubstrat zumindest im Konditionierungsbereich, vorzugsweise das gesamte Halbleitersubstrat, auf eine Temperatur von zumindest 200°C, insbesondere zumindest 300°C erwärmt wird.

[0023] Insbesondere für folgende Bearbeitungsverfahren ist eine Erwärmung auf die angegebenen Temperaturen zumindest im Konditionierungsbereich, vorzugsweise ein Erwärmen des gesamten Halbleitersubstrates, insbesondere eine Erwärmen der gesamten Solarzelle vorteilhaft:

Bearbeitungsverfahren (gemäß den zuvor in Klammern aufgeführten Abkürzungen)	Erwärmen zumindest des Konditionierungsbereiches, bevorzugt des gesamten Halbleitersubstrates, insbesondere der gesamten Solarzelle auf
LFC	zumindest 200°C, bevorzugt auf eine Temperatur im Bereich 250°C bis 700°C, insbesondere im Bereich 300°C bis 600°C, mit einer Intensität bevorzugt größer 100.000 W/m ² , insbesondere größer 200.000 W/m ² , weiter bevorzugt größer 500.000 W/m ²
Via	zumindest 400°C, bevorzugt auf eine Temperatur im Bereich 500°C bis 1500°C, insbesondere im Bereich 600°C bis 1400°C mit einer Intensität bevorzugt größer 100.000 W/m ² , insbesondere größer 200.000 W/m ² , weiter bevorzugt größer 500.000 W/m ²
Dotieren	zumindest 400°C, bevorzugt auf eine Temperatur im Bereich 500°C bis 1500°C, insbesondere im Bereich 600°C bis 1400°C mit einer Intensität bevorzugt größer 100.000 W/m ² , insbesondere größer 200.000 W/m ² , weiter bevorzugt größer 500.000 W/m ²
Umkristallisieren	zumindest 400°C, bevorzugt auf eine Temperatur im Bereich 500°C bis 1500°C, insbesondere im Bereich 600°C bis 1400°C mit einer Intensität bevorzugt größer 100.000 W/m ² , insbesondere größer 200.000 W/m ² , weiter bevorzugt größer 500.000 W/m ²
Ablation	zumindest 400°C, bevorzugt auf eine Temperatur im Bereich 500°C bis 1500°C, insbesondere im Bereich 600°C bis 1400°C mit einer Intensität bevorzugt größer 100.000 W/m ² , insbesondere größer 200.000 W/m ² , weiter bevorzugt größer 500.000 W/m ²

[0024] Bei einigen Bearbeitungsverfahren ist es sinnvoll, die freie Ladungsträgerdichte zu erhöhen. Dies ist insbesondere darin begründet, dass sich die Absorption des Bearbeitungslasers in dem Halbleitersubstrat

erhöht, sofern mittels der Konditionierungslaserstrahlung die freie Ladungsträgerdichte erhöht wird. Hierdurch kann somit die Effizienz der Bearbeitung verbessert werden.

[0025] Darüber hinaus bietet sich ein erheblicher Vorteil, indem aufgrund einer erhöhten Absorption durch Erhöhen der freien Ladungsträgerdichte mittels der Konditionierungslaserstrahlung eine kostengünstigere Bearbeitungslaserstrahlungsquelle gegenüber der bisher typischerweise verwendeten Bearbeitungslaserstrahlungsquelle verwendet werden kann:

So werden für typische Bearbeitungsvorgänge Bearbeitungslaserstrahlungsquellen mit einer Wellenlänge im Bereich 300 nm bis 600 nm verwendet, um eine hohe Bearbeitungseffizienz zu erzielen. Dies betrifft insbesondere die folgenden Bearbeitungsverfahren: Ablation und Dotieren. Nachteilig hierbei ist, dass Laserstrahlungsquellen für Laserstrahlen in dem genannten Wellenlängenbereich (insbesondere UV-Laser) kostenintensive Elemente einer entsprechenden Bearbeitungsvorrichtung darstellen. Wird hingegen die freie Ladungsträgerdichte aufgrund der Konditionierungslaserstrahlung erhöht, insbesondere bevorzugt auf eine freie Ladungsträgerdichte größer $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, insbesondere größer $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, so kann die Bearbeitungslaserstrahlungsquelle auch mit Bearbeitungslaserstrahlung mit einer Wellenlänge größer 500 nm, insbesondere größer 1000 nm, bevorzugt größer 2000 nm verwendet werden. Solche Laserstrahlquellen sind kostengünstiger (insbesondere IR-Laser mit einer Wellenlänge im Bereich 1000 nm bis 1200 nm), sodass trotz des zusätzlichen Vorsehens einer zusätzlichen Konditionierungslaserstrahlungsquelle eine Kosteneinsparung möglich ist. Es ist somit insbesondere vorteilhaft, mittels der Konditionierungslaserstrahlung zumindest in dem Konditionierungsbereich eine freie Ladungsträgerdichte größer $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, insbesondere größer $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ zu erzeugen.

[0026] Die Möglichkeit der Kosteneinsparung durch die Verwendung einer anderen Bearbeitungslaserstrahlungsquelle ist insbesondere bei den folgenden Bearbeitungsverfahren Ablation und Dotieren vorteilhaft, da dort eine hohe Eindringtiefe der Laserstrahlung in das Halbleitersubstrat zu unerwünschten Schädigungen führen kann.

[0027] Bei manchen Bearbeitungsverfahren ist es insbesondere vorteilhaft, dass die freie Ladungsträgerdichte erhöht wird, um die Absorption der Bearbeitungslaserstrahlung wie zuvor beschrieben zu erhöhen, dass jedoch die Temperatur des Halbleitersubstrats eine vorgegebene Temperatur nicht überschreitet, um negative Einflüsse auf das Halbleitersubstrat, insbesondere auf die elektronische Qualität des Halbleitersubstrates, aufgrund einer zu starken Erwärmung zu vermeiden. In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist es daher insbesondere vorteilhaft, dass während und/oder vor der Beaufschlagung des Halbleitersubstrates (insbesondere vorteilhafterweise zumindest während der Beaufschlagung des Halbleitersubstrates mittels der Bearbeitungslaserstrahlung) mittels der Konditionierungslaserstrahlung ein aktives Kühlen des Halbleitersubstrates erfolgt. Durch das aktive Kühlen wird gewährleistet, dass das Halbleitersubstrat eine vorgegebene Temperaturobergrenze nicht überschreitet. Das aktive Kühlen kann durch Anblasen mittels eines Kühlgases oder Umgebungsluft, bevorzugt gekühlter Umgebungsluft, erfolgen. Ebenso kann ein Kühlen durch Besprühen und/oder Benetzen des Halbleitersubstrates mit Kühlflüssigkeit erfolgen. Ebenso kann ein aktives Kühlen durch einen mittelbaren oder bevorzugt unmittelbaren thermischen Kontakt der Solarzelle mit einem Kühlblock, welcher aktiv gekühlt ist, erfolgen. Ein solcher Kühlblock kann insbesondere in an sich bekannter Weise zum flächigen Auflegen der photovoltaischen Solarzelle auf den Kühlblock und besonders bevorzugt zum Ansaugen der Solarzelle an den Kühlblock ausgebildet sein, um einen guten thermischen Kontakt zwischen Solarzelle und Kühlblock auszubilden. Der Kühlblock kann an sich eine aktive Kühlung aufweisen oder mittels Durchfluss von einem Kühlmedium, insbesondere einer Kühlflüssigkeit, aktiv gekühlt werden.

[0028] Bearbeitungsvorgänge, bei welchen vorteilhafterweise ein aktives Kühlen der photovoltaischen Solarzelle zumindest während der Beaufschlagung des Halbleitersubstrats mittels der Konditionierungslaserstrahlung erfolgt, sind insbesondere LFC.

[0029] Um eine erhöhte Absorption der Bearbeitungslaserstrahlung in dem Halbleitersubstrat zu erzielen, wird bevorzugt mittels der Konditionierungslaserstrahlung in dem Halbleitersubstrat zumindest in dem Konditionierungsbereich, bevorzugt im gesamten Halbleitersubstrat, eine freie Ladungsträgerdichte von zumindest $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, insbesondere zumindest $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ bewirkt. Für eine erhöhte Absorption der Bearbeitungslaserstrahlung ist es hierbei insbesondere vorteilhaft, eine Bearbeitungslaserstrahlung mit einer Wellenlänge größer 1000 nm, insbesondere größer 2000 nm zu verwenden. Hierbei ist insbesondere eine Kombination einer Ladungsträgerdichte von mindestens $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ in Kombination mit einer Bearbeitungslaserstrahlung mit einer Wellenlänge größer 2000 nm oder eine Kombination einer Ladungsträgerdichte von mindestens $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ in Kombination mit einer Bearbeitungslaserstrahlung mit einer Wellenlänge größer 1000 nm vorteilhaft.

[0030] Die Konditionierungslaserstrahlung liegt bevorzugt in einem Wellenlängenbereich 400 nm bis 1200 nm. Sofern ausschließlich eine Erwärmung des Halbleitersubstrates, jedoch nicht oder nur geringfügig eine Erhöhung der freien Ladungsträgerdichte gewünscht ist, kann eine Konditionierungslaserstrahlungsquelle mit einem Wellenlängenbereich gewählt werden, welcher nicht oder nur geringfügig von dem Halbleitersubstrat absorbiert wird. Vorzugsweise liegt in diesem Fall der Wellenlängenbereich der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle im Bereich 900 bis 1200 nm. Alternativ und/oder zusätzlich ist es in diesem Fall möglich, sofern das Halbleitersubstrat eine für die Konditionierungslaserstrahlung absorbierende Schicht aufweist, wie beispielsweise eine metallisierte Rückseite bei typischen Solarzellen, die photovoltaische Solarzelle von der dem Halbleitersubstrat gegenüberliegenden Seite der vorgenannten absorbierenden Schicht mit Konditionierungslaserstrahlung zu beaufschlagen, sodass die Konditionierungslaserstrahlung ganz oder zumindest im Wesentlichen von der für die Konditionierungslaserstrahlung absorbierenden Schicht (insbesondere einer metallischen Schicht) absorbiert wird und somit die photovoltaische Solarzelle im Wesentlichen erwärmt wird und nicht oder nur geringfügig freier Ladungsträger durch Absorption der Konditionierungslaserstrahlung generiert werden.

[0031] Die vorliegende Erfindung ist weiterhin durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 12 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den von Anspruch 12 abhängigen Ansprüchen.

[0032] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats mittels eines Lasers, insbesondere zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle weist eine Bearbeitungslaserstrahlungsquelle zum lokalen Beaufschlagen des Halbleitersubstrates mit Bearbeitungslaserstrahlung auf. Hinsichtlich dieses Grundaufbaus kann die Vorrichtung in an sich bekannter Weise ausgebildet sein. Insbesondere liegt es im Rahmen der Erfindung, dass die Vorrichtung Mittel für eine Relativbewegung zwischen photovoltaischer Solarzelle und Bearbeitungslaserstrahlung aufweist. Solche Mittel können mechanische Mittel zum Bewegen der photovoltaischen Solarzelle und/oder optische Mittel zum Abbilden der Bearbeitungslaserstrahlung auf einen gewünschten Bearbeitungsort auf der photovoltaischen Solarzelle sein, insbesondere beweg- und/oder dreh- und/oder kippbare Ablenkspiegel im Strahlengang der Bearbeitungslaserstrahlung.

[0033] Wesentlich ist, dass die Vorrichtung zusätzlich zu der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle eine Konditionierungslaserstrahlungsquelle aufweist, zum Beaufschlagen des Halbleitersubstrates mit Konditionierungslaserstrahlung, einer Beleuchtungsintensität größer 50.000 W/m^2 .

[0034] Hierdurch ergeben sich die bereits bei den Verfahren und insbesondere zu Anspruch 1 aufgeführten Vorteile.

[0035] Die Konditionierungslaserstrahlungsquelle ist bevorzugt als Diodenlaser, insbesondere als ein Array umfassend eine Mehrzahl von Diodenlasern ausgebildet. Diodenlaser weisen den Vorteil auf, dass ein raumsparender Aufbau, verglichen mit anderen Laserquellen, möglich ist. Darüber hinaus erfolgt eine einfache Ansteuerung über die entsprechende zugeführte elektrische Leistung, sodass insbesondere in schnellen Taktraten die Konditionierungslaserstrahlung an- und ausgeschaltet werden und/oder während des Prozesses nachgeregelt werden kann. Die Verwendung einer Mehrzahl von Lasern, insbesondere einer Mehrzahl von Diodenlasern, weist den Vorteil auf, dass in einfacher und kostengünstiger Weise eine flächige Ausleuchtung eines Konditionierungsbereiches, insbesondere eine flächige Ausleuchtung der gesamten photovoltaischen Solarzelle möglich ist. Bevorzugt ist eine Mehrzahl von Laserdioden als Array angeordnet, insbesondere mit zumindest 2 Spalten und zumindest 1 Zeile.

[0036] Die Konditionierungslaserstrahlungsquelle weist bevorzugt eine Wellenlänge im Bereich 400 nm bis 1200 nm auf, insbesondere im Bereich 600 nm bis 900 nm, hierdurch ergeben sich die zuvor genannten Vorteile, wobei je nach Anwendung insbesondere auch die beim Verfahren als vorteilhaft genannten Wellenlängenbereiche, vorteilhafterweise durch eine entsprechende Ausgestaltung der Konditionierungslaserstrahlungsquelle, gewährleistet sind.

[0037] Wie bereits zuvor ausgeführt, ist zur Vermeidung einer zu starken Erwärmung der photovoltaischen Solarzelle eine aktive Kühlung zumindest während der Beaufschlagung mittels Konditionierungslaserstrahlung vorteilhaft. Vorzugsweise weist daher die Vorrichtung eine aktive Kühlung zum aktiven Kühlen des Halbleitersubstrates auf. Diese kann wie zuvor beschrieben ausgebildet sein.

[0038] Insbesondere ist es vorteilhaft, dass die Vorrichtung eine Halterung für das Halbleitersubstrat aufweist und die Halterung aktiv gekühlt ist, um mittels thermischen Kontakts zwischen Halterung und photovoltaischer Solarzelle eine aktive Kühlung der photovoltaischen Solarzelle zu bewirken.

[0039] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Halterung für das Halbleitersubstrat auf, welche für die Konditionierungslaserstrahlung transparent ausgebildet ist. Die Halterung ist hierbei im Strahlengang der Konditionierungslaserstrahlung zwischen Konditionierungslaserstrahlungsquelle und Halbleitersubstrat angeordnet. Hierdurch kann somit eine Beaufschlagung der photovoltaischen Solarzelle mittels Konditionierungslaserstrahlung durch die Halterung hindurch erfolgen. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass ein Bearbeiten von der der Halterung gegenüberliegenden Seite des Halbleitersubstrates mittels Bearbeitungslaserstrahlung möglich ist, ohne dass Komponenten der Konditionierungslaserstrahlungsquelle oder optische Mittel zum Abbilden der Konditionierungslaserstrahlung im Strahlengang zwischen Bearbeitungslaserstrahlungsquelle und photovoltaischer Solarzelle angeordnet sein müssen.

[0040] Weitere bevorzugte Merkmale und Ausführungsformen werden im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und der Figuren beschrieben. Dabei zeigt:

[0041] **Fig. 1** ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei welcher Bearbeitungslaserstrahlungsquelle und Konditionierungslaserstrahlungsquelle auf der gleichen Seite einer zu bearbeitenden photovoltaischen Solarzelle angeordnet sind und

[0042] **Fig. 2** ein zweites Ausführungsbeispiel, bei welcher Konditionierungslaserstrahlungsquelle und Bearbeitungslaserstrahlungsquelle auf gegenüberliegenden Seiten der Solarzelle angeordnet sind.

[0043] Die Figuren zeigen schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellungen. In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder gleichwirkende Elemente.

[0044] **Fig. 1** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats mittels eines Lasers.

[0045] Die Vorrichtung weist eine Bearbeitungslaserstrahlungsquelle **1** auf, welche als gepulster IR-Laser ausgebildet ist. Mittels eines solchen Lasers ist es insbesondere vorteilhaft möglich, Punktkontakte mittels des an sich bekannten LFC-Verfahrens zu erzeugen, wie beispielsweise in DE 100 46 170 A1 beschrieben.

[0046] Der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle **1** ist eine Bearbeitungsablenkeinheit **1a** zugeordnet, welche zum Ablenken eines mittels der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle **1** erzeugten Laserstrahls auf einem beliebigen Punkt einer zu bearbeitenden Solarzelle **2** dient. Beispielhaft ist ein Bearbeitungslaserstrahl **1b** dargestellt, welcher auf einen einer Vielzahl sukzessive zu bearbeitender Punkte an der Vorderseite der Solarzelle **2** auftrifft.

[0047] Die Bearbeitungslaserstrahlungsquelle erzeugt eine Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 1030 nm.

[0048] Wesentlich ist, dass die in **Fig. 1** dargestellte Vorrichtung zusätzlich eine Konditionierungslaserstrahlungsquelle **3** aufweist. Diese ist als Diodenlaser ausgebildet. Der Konditionierungslaserstrahlungsquelle **3** kann als optisches Mittel eine Optik **3a** zugeordnet werden, um eine Vorderseite der photovoltaischen Solarzelle **2** flächig und homogen mit Konditionierungslaserstrahlung **3b** zu beaufschlagen.

[0049] Konditionierungslaserstrahlungsquelle **3** und die optische Linse **3a** sind derart zusammenwirkend ausgestaltet, dass auf der Oberfläche der Solarzelle **2** die Konditionierungslaserstrahlung mit einer Beleuchtungsintensität von etwa 100.000 W/m² auftrifft. Hierdurch werden Überschussladungsträger in der Solarzelle **2** generiert und darüber hinaus wird die Solarzelle auf eine Temperatur von etwa 350°C erwärmt.

[0050] Die Solarzelle **2** ist auf einer Halterung **4** der Vorrichtung angeordnet. In diesem Fall ist eine nur geringfügige Wärmeleitung zwischen Solarzelle **2** und Halterung **4** gewünscht, da mittels der Konditionierungslaserstrahlung **3b** insbesondere eine Erwärmung der Solarzelle **2** erfolgen soll. Hierzu weist die Halterung **4** Haltestifte auf, auf welchen die Solarzelle **2** rückseitig aufliegt, sodass nur eine gegenüber der Rückseitenfläche der Solarzelle **2** vergleichsweise geringe Kontaktfläche zwischen Solarzelle **2** und Halterung **4** und ein entsprechend vergleichsweise geringer thermischer Kontakt besteht.

[0051] In einer alternativen Ausführungsform kann die Halterung **4** aus einem thermisch isolierenden Material ausgebildet sein und/oder auf der, der Solarzelle **2** zugewandten Seite mit einer thermisch isolierenden Schicht beschichtet sein.

[0052] Mit einer Vorrichtung gemäß **Fig. 1** lassen sich insbesondere die folgenden bevorzugten Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Verfahrens durchführen:

- a. Erzeugen von lokalen elektrischen Kontaktierungen durch lokales Aufschmelzen mittels der Bearbeitungslaserstrahlung (Wellenlänge 1000 nm bis 1200 nm). Eine erhöhte Halbleitersubstrattemperatur durch den Konditionierungslaser (Wellenlänge von 700 nm bis 900 nm) steigert die Schmelzeffizienz und durch eine langsamere Abkühlung der Schmelze nach der Bearbeitung wird die Kristallinität erhöht und die Ausbildung einer lokalen Hochdotierung im Kontaktbereich verbessert.
- b. Erzeugung von Löchern, sogenannten Vias, die den Halbleiterwafer durchdringen mit einem gepulsten IR Laser (Wellenlänge 1000 nm bis 1200 nm). Eine Konditionierungsstrahlung mit einer Wellenlänge von 700 bis 900 nm führt zu einer Erhöhung der Wafertemperatur. Dies steigert die Materialabtragsrate und somit die Bohreffizienz. Die erhöhte Halbleitersubstrattemperatur reduziert zusätzlich die Rekristallisierungsschäden an den Rändern der Vias aufgrund einer langsameren Abkühlrate.
- c. Einbringen von Dotierstoff durch lokales Aufschmelzen des Halbleitersubstrats mittels der Bearbeitungslaserstrahlung (Wellenlänge 500 nm bis 1200 nm). Eine Konditionierungsstrahlung mit einer Wellenlänge von 700 bis 900 nm führt zu einer Erhöhung der Wafertemperatur. Die Erhöhung der Temperatur verbessert die Diffusion des Dotierstoffs im Halbleitersubstrat und mögliche erzeugt Schädigungen am Material können auf Grund langsamerer Abkühlrampen rekristallisieren.
- d. Umkristallisation mit gepulstem Laser (Wellenlänge 500 nm bis 1200 nm) durch Aufschmelzen. Eine erhöhte Halbleitersubstrattemperatur durch den Konditionierungslaser (Wellenlänge von 700 nm bis 900 nm) steigert die Schmelzeffizienz und durch eine langsamere Abkühlung der Schmelze nach der Bearbeitung wird die Kristallinität erhöht.

[0053] In **Fig. 2** ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gezeigt.

[0054] Auch diese Vorrichtung weist eine Bearbeitungslaserstrahlungsquelle **1** und eine Bearbeitungsablenkeinheit **1a** auf, um einen Bearbeitungslaserstrahl **1b** sukzessive auf mehrere vorgegebene Ortspunkte auf einer Vorderseite einer Solarzelle **2** abzubilden.

[0055] Im Gegensatz zu der Vorrichtung gemäß **Fig. 1** ist eine Konditionierungslaserstrahlungsquelle **3'** auf der der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle **1** gegenüberliegenden Seite der Solarzelle **2** angeordnet.

[0056] Die Konditionierungslaserstrahlungsquelle **3'** ist als ein Array von Halbleiterdiodenlasern ausgebildet sodass die Halbleiterlaser auf den Kreuzungspunkten eines Rechteckgitters mit quadratischen Grundelementen angeordnet sind. In Draufsicht von oben weist das Array eine Fläche von etwa $15 \times 15 \text{ cm}^2$ auf. Hierdurch wird eine vergleichsweise homogene, flächige Konditionierungslaserstrahlung **3b'** von der Mehrzahl von Halbleiterlaserdioden erzeugt.

[0057] Die Solarzelle **2** ist auf einer für die Konditionierungslaserstrahlung – mit einer Wellenlänge von 808 nm – transparente Halterung **4'** angeordnet, sodass die Konditionierungslaserstrahlung die Halterung **4'** durchdringt und rückseitig auf die Solarzelle **2** auftrifft.

[0058] Die Solarzelle **2** weist in diesem Verfahrensstadium rückseitig bereits eine vollflächig oder annähernd vollflächige Metallisierung auf, sodass die Konditionierungslaserstrahlung **3b'** nicht oder nur geringfügig in eine Halbleitersolarzelle **2** eindringt und somit im Wesentlichen eine Erwärmung der Solarzelle **2** erfolgt und keine oder nur eine geringfügige Generation von freien Ladungsträgern in der Solarzelle **2** aufgrund von Absorption der Konditionierungslaserstrahlung **3b'** in dem Halbleitersubstrat der Solarzelle **2** erfolgt.

[0059] In einem alternativen Ausführungsbeispiel weist die Vorrichtung gemäß **Fig. 1** eine aktiv gekühlte Halterung **4** auf, an welcher die Solarzelle **2** rückseitig flächig aufliegt, sodass ein guter thermischer Kontakt zwischen Solarzelle **2** und Halterung **4** besteht. Die Halterung **4** weist hierzu Leitungen für eine Kühlflüssigkeit auf, welche von einem externen Kühlaggregat gekühlt zugeführt wird. Die Halterung **4** ist im Wesentlichen aus Metall, insbesondere aus Kupfer, ausgebildet und weist somit eine große thermische Masse und eine hohe Wärmeleitfähigkeit auf.

[0060] Bei dieser alternativen Ausführungsform des ersten Ausführungsbeispiels kann somit durch die aktive Kühlung gewährleistet werden, dass die Solarzelle **2** während der Beaufschlagung mit Konditionierungslaserstrahlung **3b** sich nicht über eine vorgegebene Temperatur erwärmt.

[0061] Bei dem zuvor erwähnten LFC Prozess ist dies von Vorteil, da eine Temperatur von über 450°C über einen Zeitraum von mehreren Sekunden zu einer Verschlechterung der Vorderseitenkontaktierung (Silberpaste) führen kann.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 10046170 A1 [0045]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats, insbesondere eines Halbleitersubstrats zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle (2), mit einem Laserbearbeitungsschritt, wobei das Halbleitersubstrat lokal in einem Bearbeitungsbereich mittels Bearbeitungslaserstrahlung einer Bearbeitungslaserstrahlungsquelle beaufschlagt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor und/oder während des Laserbearbeitungsschritts das Halbleitersubstrat in einem Konditionierungsbereich mittels Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') einer Konditionierungslaserstrahlungsquelle (3, 3') mit einer Beleuchtungsintensität größer 50.000 W/m² beaufschlagt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Konditionierungsbereich den Bearbeitungsbereich zumindest vollständig überdeckt, insbesondere umlaufend um mindestens 0,5 cm, vorzugsweise mindestens 1 cm überragt.
3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der Konditionierungsbereich über die gesamte Breite des Halbleiterwafers erstreckt, vorzugsweise, dass der Konditionierungsbereich quer zur Erstreckung über die Breite des Halbleiterwafers eine Länge von zumindest 0,01 cm, vorzugsweise zumindest 0,1 cm, insbesondere zumindest 1 cm aufweist.
4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Konditionierungsbereich über die Oberfläche des Halbleiterwafers bewegt wird.
5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich der Konditionierungsbereich über den gesamten Halbleiterwafer erstreckt.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleitersubstrat vor dem Laserbearbeitungsschritt in dem Konditionierungsbereich mittels Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') der Konditionierungslaserstrahlungsquelle (3, 3') für eine Zeitdauer im Bereich 0,01 s bis 2 s, insbesondere im Bereich 0,1 s bis 1 s beaufschlagt wird.
7. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor und/oder während des Laserbearbeitungsschritts das Halbleitersubstrat zumindest in dem Konditionierungsbereich, vorzugsweise das gesamte Halbleitersubstrat, mittels der Konditionierungslaserstrahlung auf eine Temperatur von zumindest 50°C, insbesondere zumindest 100°C, bevorzugt auf eine Temperatur von zumindest 200°C, insbesondere zumindest 300°C erwärmt wird.
8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Halbleitersubstrat auf einer Bearbeitungsseite mit der Bearbeitungslaserstrahlung und auf einer gegenüberliegenden Konditionierungsseite mit der Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') beaufschlagt wird.
9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Halbleiterwafer auf einer für die Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') transparente Auflage angeordnet wird und durch die Auflage hindurch mit der Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') beaufschlagt wird.
10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Laserbearbeitungsschritt einen oder mehrere der nachfolgenden Bearbeitungsschritte umfasst:
 - a. Erzeugen von lokalen elektrischen Kontaktierungen durch lokales Aufschmelzen mittels der Bearbeitungslaserstrahlung;
 - b. Erzeugen von Vias, welche den Halbleiterwafer durchdringen;
 - c. Einbringen von Dotierstoff durch lokales Aufschmelzen des Halbleitersubstrats mittels der Bearbeitungslaserstrahlung;
 - d. Umkristallisieren einer Schicht des Halbleitersubstrats durch zumindest lokales Aufschmelzen des Halbleitersubstrats mittels der Bearbeitungslaserstrahlung;
 - e. Erzeugen von lokalen Strukturen in dünnen Schichten durch deren Ablation mittels der Bearbeitungslaserstrahlung (Ablation).
11. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während und/oder vor der Beaufschlagung des Halbleitersubstrats mittels der Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') ein aktives Kühlen des Halbleitersubstrats erfolgt.

12. Vorrichtung zur Bearbeitung eines Halbleitersubstrats mittels eines Lasers, insbesondere zur Herstellung einer photovoltaischen Solarzelle (2), mit einer Bearbeitungslaserstrahlungsquelle (1), zum lokalen Beaufschlagen des Halbleitersubstrats mit Bearbeitungslaserstrahlung, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung zusätzlich zu der Bearbeitungslaserstrahlungsquelle eine Konditionierungslaserstrahlungsquelle (3, 3') aufweist, zum Beaufschlagen des Halbleitersubstrats mit Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') einer Beleuchtungsintensität größer 50.000 W/m².

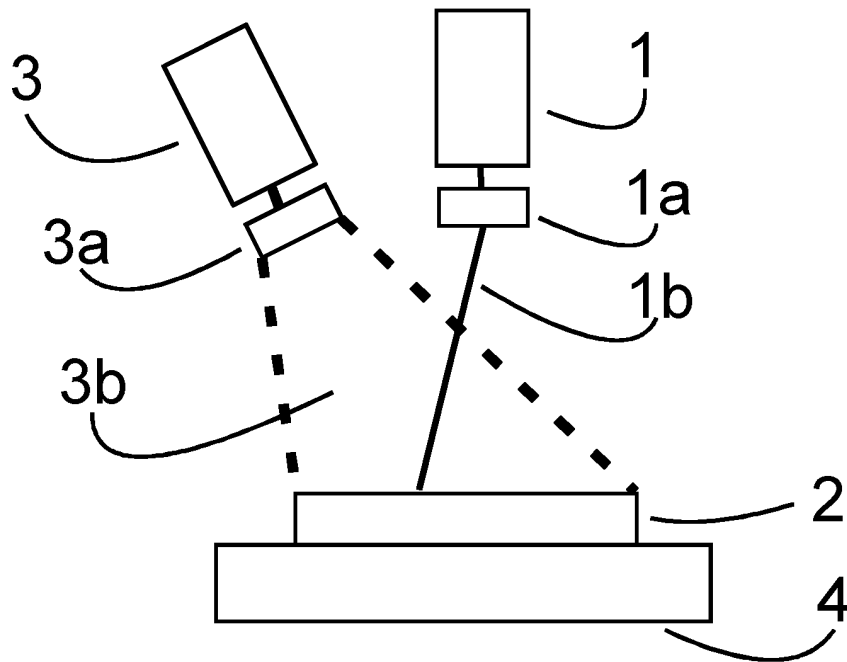
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Konditionierungslaserstrahlungsquelle (3, 3') als Diodenlaser, insbesondere als ein Array umfassend eine Mehrzahl von Diodenlasern ausgebildet ist.

14. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 12 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine Halterung (4, 4') für das Halbleitersubstrat aufweist, welche für die Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') transparent ist und dass die Halterung (4, 4') im Strahlengang der Konditionierungslaserstrahlung (3b, 3b') zwischen Konditionierungslaserstrahlungsquelle (3, 3') und Halbleitersubstrat angeordnet ist.

15. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung eine aktive Kühlung zum aktiven Kühlen des Halbleitersubstrats aufweist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Figur 1



Figur 2

