

B e s c h r e i b u n g

Verfahren zum Trennen von Strukturen von einem Substrat

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Trennen von Strukturen von einem Substrat. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Übertragen von Strukturen von einem ersten Substrat auf ein zweites Substrat. Die von dem Substrat zu trennenden Strukturen sind insbesondere aus einer dünnen Schicht vereinzelte Bauteile oder die dünne Schicht als solche. Die dünne Schicht beziehungsweise die vereinzelten Strukturen wurden insbesondere auf dem Substrat erzeugt, vorzugsweise auf dem Substrat gezüchtet. Die dünne Schicht und die Strukturen werden im weiteren Verlauf des Textes daher synonym verwendet. Die zu trennende Struktur ist folglich jeweils im Zusammenhang mit einer vereinzelten Struktur oder einer dünnen Schicht offenbart.

Der Stand der Technik befasst sich mit der Ablation von dünnen Schichten oder vereinzelten Strukturen von einem Substrat mit Hilfe elektromagnetischer Strahlen. So ist es üblich, dass ein Laser insbesondere von einer Rückseite eines für die elektromagnetische Strahlung transparenten Substrats auf einen Grenzbereich einwirkt, um eine Lösung der dünnen Schicht von diesem Substrat zu bewerkstelligen. Die dünne Schicht wird dabei nicht durchstrahlt, sondern von der Seite des Substrats, auf dem die dünne Schicht fixiert ist, bestrahlt. Dieser Prozess wird im Stand der Technik Laser lift off (LLO) Prozess genannt.

- 2 -

Ein LLO-Prozess ist ein kontaktloser Prozess mit dem dünne bis ultradünne Schichten von einem Substrat, insbesondere von einem Wachstumssubstrat, getrennt werden können. Eine der Voraussetzungen für eine Trennung ist, dass das Substrat transparent für die verwendete Laserstrahlung ist. Des Weiteren ist im Stand der Technik häufig vorgesehen, dass eine absorbierende Schicht zwischen dem Substrat und der dünnen Schicht bereitgestellt wird, so dass das Lösen durch ein Einwirken des Lasers auf diese sogenannte Löseschicht erfolgt. Dabei wird die Laserstrahlung zunächst von der Rückseite des Substrates durch das Substrat geleitet und trifft anschließend auf die Löseschicht beziehungsweise auf die dünne Schicht. Durch die Wechselwirkung der Laserstrahlung mit der absorbierenden Schicht findet eine Ablation durch eine physikalische und/oder chemische Reaktion statt.

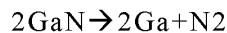
Denkbar sind beispielsweise photochemische, photothermische oder kombinierte Trennprozesse. Denkbar ist auch, dass die dünne Schicht selbst eine hohe Absorptionsfähigkeit für die Laserstrahlung besitzt und auf eine absorbierende Schicht verzichtet wird. In diesem Fall finden die Prozesse in einem Grenzbereich beziehungsweise an einer Grenzfläche des Substrats und der dünnen Schicht statt. Des Weiteren wird sehr oft Plasma verwendet, um die Lösung der dünnen Schicht vom Substrat zu verbessern.

Durch die genannte Vorgehensweise werden die Adhäsionskräfte zwischen dem Substrat und der dünnen Schicht signifikant geschwächt. Insbesondere trägt auch eine Gasbildung zwischen dem Substrat und der dünnen Schicht zu einer Schwächung der Adhäsionskräfte bei. Gas entsteht vor allem bei der Verwendung einer zusätzlichen absorbierenden Schicht zwischen dem Substrat und der dünnen Schicht.

Bei LLO Prozessen werden typischerweise die Transparenzeigenschaften des Substrats und die Absorptionseigenschaften der Grenzfläche zwischen dem

Substrat und der dünnen Schicht beziehungsweise der dünnen Schicht selbst ausgenutzt.

Ein Beispiel im Stand der Technik ist das System Galliumnitrid/Saphir. Die sehr dünne Galliumnitrid (GaN) Schicht wird auf einem Saphirsubstrat gezüchtet. Die Ablation erfolgt mit UV-Strahlung. In diesem System absorbiert GaN die verwendete UV-Strahlung sehr stark, während das Saphirsubstrat in diesem Wellenlängenbereich sehr transparent ist. Des Weiteren findet die photochemische Reaktion



statt, bei der Stickstoffgas entsteht, welches die Ablation durch seine Volumenausdehnung begünstigt. Die höhere Absorption und Reflektivität von reinem, metallischem Gallium, welches durch die chemische Reaktion an der Grenzfläche entsteht, unterstützt den Prozess weiter.

Die Laser-Materiewechselwirkung findet dabei insbesondere über die Elektronen statt. In seltenen Fällen erlauben Resonanzen eine direkte Interaktion mit gebundenen Zuständen. Dafür wird Laserstrahlung mit einer exakten Energie benötigt. Quasi freie Elektronen in Metallen, d.h. Elektronen, die nur sehr dem vorherrschenden Potential unterliegen, können als hocheffiziente Breitbandabsorber dienen, um Laserstrahlung zu absorbieren. Epitaktisch gewachsene GaN Schichten haben eine Bandlücke von 3,3 eV, während die Bandlücke von Saphir bei ca. 9.9 eV liegt. Für einen LLO-Prozess an GaN auf Saphir kann beispielsweise ein UV Laser verwendet werden, um das Saphirsubstrat zu durchdringen und mit dem GaN beziehungsweise mit der GaN-Saphir Grenzfläche zu interagieren.

Solche dünnen Schichten, zum Beispiel GaN-Schichten, werden meistens auf einem Wachstumssubstrat erzeugt, das eine sehr geringe Transmissivität für die verwendete elektromagnetische Strahlung besitzt, die für die Ablation

- 4 -

verwendet werden soll. Somit absorbiert das Wachstumssubstrat die elektromagnetische Strahlung und diese gelangt nicht in den Grenzbereich beziehungsweise zur Grenzfläche zwischen der dünnen Schicht und dem Wachstumssubstrat, so dass ein Trennen der dünnen Schicht nicht ohne Weiteres mittels elektromagnetischer Strahlung möglich ist.

Eine Möglichkeit zur Lösung des Problems wäre die Wahl eines Wachstumssubstrats, das transparent für die elektromagnetische Strahlung ist. Allerdings müssen Wachstumssubstrate gewählt werden, auf denen die gewünschten dünnen Schichten optimal wachsen. Folglich ist man bei dem Trennen einer insbesondere gezüchteten dünnen Schicht von dem Wachstumssubstrat bezüglich des Materials des Substrates, auf welchem die dünnen Schichten beziehungsweise Strukturen bereitgestellt werden, eingeschränkt.

Eine Möglichkeit, um ein Trennen der dünnen Schicht von dem Wachstumssubstrat durchzuführen, besteht in der Wahl einer elektromagnetischen Strahlung mit einer entsprechenden Frequenz beziehungsweise Wellenlänge, bei der die Transmissivität hoch genug ist, um die Grenzfläche zwischen der dünnen Schicht und dem Wachstumssubstrat zu erreichen. Die Ablationsfähigkeit des Lasers für die dünne Schicht hängt allerdings stark von der Frequenz ab, sodass eine optimale Wahl der Frequenz, die einerseits eine hohe Transmissivität bezüglich des Substrates, andererseits eine hohe Ablationsfähigkeit erlaubt, sehr schwierig ist. Des Weiteren stehen, besonders bei Lasern, nur elektromagnetische Strahlung mit einer wohldefinierten Frequenz zur Verfügung, die nicht beliebig variiert oder angepasst werden kann.

Heutzutage werden daher dünne Schichten, wie zum Beispiel GaN-LEDs (GaN light emitting diodes) auf kleinen sowie teuren Saphirsubstraten hergestellt

beziehungsweise erzeugt. Diese erlauben einen LLO Prozess durch das Saphirsubstrat von der Rückseite mittels UV-Laserstrahlung. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen wäre die Erzeugung von solchen dünnen Schichten (beispielsweise GaN-Schichten) auf günstigerem Silizium sinnvoll. Da Silizium allerdings im UV-Wellenlängenbereich intransparent ist, kann man keine UV-Laser verwenden, um die GaN Ablation durchzuführen. Ein Lösen einer erzeugten dünnen Schicht, insbesondere einer GaN-Schicht beziehungsweise einer GaN-Struktur, mittels elektromagnetischer Strahlung von einem Substrat, ist daher aufwendig.

Zudem ist man bei der Wahl des Materials des Substrates und der zu erzeugenden dünnen Schicht eingeschränkt, da das Trennen der dünnen Schicht von dem Grad der Transmissivität des Materials für die elektromagnetische Strahlung abhängig ist. Ein selektiv durchführbares Trennungsverfahren mittels elektromagnetischer Strahlung ist insbesondere für das Herstellen von elektronischen Bauteilen gewünscht. Dabei ist man im Stand der Technik auf bestimmte Materialien für Wachstumssubstrate eingeschränkt, welche ein Trennen der Strukturen durch das Durchstrahlen des Wachstumssubstrat selbst mittels elektromagnetischer Strahlung erlauben.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung aufzuzeigen, welche die im Stand der Technik aufgeführten Nachteile zumindest zum Teil beseitigen, insbesondere vollständig beseitigen. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung ein verbessertes Verfahren und eine Vorrichtung aufzuzeigen, um Strukturen von einem Substrat zu trennen. Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein alternatives Verfahren und eine alternative Vorrichtung zum Trennen von Strukturen von einem Substrat aufzuzeigen. Weiterhin ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung aufzuzeigen, welche das Übertragen von Strukturen von einem Geber- auf ein Empfängersubstrat verbessern.

Die vorliegende Aufgabe wird mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei in der Beschreibung, in den Ansprüchen und/oder den Zeichnungen angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart gelten und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

Demnach betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Trennen von Strukturen von einem Substrat, aufweisend zumindest die folgenden Schritte, insbesondere in der folgenden Reihenfolge,

- i) Bereitstellen mindestens einer Struktur auf einem ersten Substrat,
 - ii) Bestrahlen eines Grenzbereich zwischen dem ersten Substrat und der mindestens einen Struktur mit elektromagnetischer Strahlung,
 - iii) Trennen der mindestens einen Struktur von dem ersten Substrat,
- wobei die elektromagnetische Strahlung erst die mindestens eine Struktur durchdringt und danach auf den Grenzbereich trifft.

Der Strahlengang der elektromagnetischen Strahlung verläuft somit von der Quelle erst durch die zu trennenden Strukturen und trifft erst im Anschluss auf den Grenzbereich. Der Grenzbereich beziehungsweise die Grenzfläche liegt im Bereich zwischen den Strukturen und dem ersten Substrat. Ist zwischen dem ersten Substrat und den Strukturen eine weitere Schicht zum Lösen (Löseschicht) angeordnet, wird der Grenzbereich quasi durch diese gebildet.

Dabei wird die dünne Schicht auf dem ersten Substrat, insbesondere einer Substratoberfläche bereitgestellt. Die dünne Schicht kann dabei auf dem

ersten Substrat erzeugt werden. Die dünne Schicht wird in optionalen weiteren Schritten zu den Strukturen vereinzelt. Die vereinzelt Strukturen sind dann insbesondere elektronische Bauteile mit einer Funktion. Jedoch kann eine Struktur auch durch eine dünne Schicht gebildet sein, so dass statt einer vereinzelt Struktur auch die gesamte dünne Schicht getrennt werden kann. Somit stellt auch die dünne Schicht eine Struktur dar.

Die elektromagnetische Strahlung wird bei dem Verfahren zum Trennen beziehungsweise zum Lösen der Strukturen nicht durch das erste Substrat gestrahlt. Vielmehr ist die elektromagnetische Strahlung auf die mindestens eine Struktur gerichtet, wobei die mindestens eine Struktur zumindest teilweise für die elektromagnetische Strahlung durchlässig ist. Auf diese Weise kann die mindestens eine Struktur vorteilhaft von dem ersten Substrat getrennt werden, ohne dass die Strahlung durch das erste Substrat zu dem Grenzbereich geleitet werden muss. Somit ist das Verfahren zum Trennen effizienter, da kein Energieverlust durch Leiten der elektromagnetischen Strahlung durch das erste Substrat entsteht. Ferner können mit dem Verfahren die Strukturen von einem ersten Substrat gelöst werden, welches aus einem Material besteht, das für die elektromagnetische Strahlung undurchlässig ist. Weiterhin kann das erste Substrat vorteilhaft geschont werden, da die elektromagnetische Strahlung nur im Grenzbereich von dem ersten Substrat absorbiert wird und nicht durch das erste Substrat gestrahlt wird. Auf diese Weise kann vorteilhaft elektromagnetische Strahlung im UV-Bereich verwendet werden. Weiterhin wird die mindestens eine zu trennende Struktur ebenfalls geschont, da diese für die elektromagnetische Strahlung im Wesentlichen durchlässig ausgebildet ist. Das Trennen kann somit besonders defektfrei durchgeführt werden. Zudem kann die elektromagnetische Strahlung vorteilhaft von der Seite des ersten Substrates erfolgen, auf welcher die Strukturen bereitgestellt.

- 8 -

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Trennen von Strukturen von einem Substrat, zumindest aufweisend:

- ein erstes Substrat mit mindestens einer auf dem ersten Substrat bereitstellbaren Struktur,
- Bestrahlungsmittel zum Bestrahlen eines Grenzbereiches zwischen dem ersten Substrat und der mindestens einen Struktur mit elektromagnetischer Strahlung und
- Trennmittel zum Trennen der mindestens einen Struktur,

wobei die Bestrahlungsmittel so ausgebildet sind, dass die elektromagnetische Strahlung erst die mindestens eine Struktur durchdringt und danach auf den Grenzbereich trifft.

Die Bestrahlungsmittel sind vorzugsweise Laser, welche elektromagnetische Strahlung einer bestimmten Wellenlänge emittieren. Abhängig von den verwendeten Materialien und dem damit hervorgerufenen physikalischen Effekt zum Herabsetzen der Haftungseigenschaften im Grenzbereich, können die Bestrahlungsmittel auch als Trennmittel angesehen werden. Jedoch ist es auch denkbar, dass die Vorrichtung zusätzliche mechanische Trennmittel zum Trennen der Strukturen von dem ersten Substrat aufweist. Mit der Vorrichtung zum Trennen von Strukturen sind ist ein Verfahren zum Trennen von Strukturen besonders vorteilhaft durchführbar. Die oben genannten Vorteile gelten auch in Verbindung mit der Vorrichtung zum Trennen von Strukturen.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Übertragen von Strukturen, insbesondere zum Übertragen von elektronischen Bauteilen, von einem ersten Substrat auf ein zweites Substrat, wobei die Strukturen mit dem Verfahren zum Trennen von Strukturen von dem ersten Substrat getrennt werden. Die auf dem ersten Substrat bereitgestellten Strukturen können besonders effizient auf das zweite Substrat übertragen werden. Zudem wird das erste Substrat vorteilhaft geschont und absorbiert im Wesentlichen nur im Grenzbereich die elektromagnetische Strahlung.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Übertragen von Strukturen, insbesondere zum Übertragen von elektronischen Bauteilen, von dem ersten Substrat auf ein zweites Substrat, wobei die auf dem ersten Substrat bereitgestellten Strukturen mit der Vorrichtung um Trennen von Strukturen von dem ersten Substrat trennbar sind. Das Übertragen der Strukturen ist vorteilhaft effizient mit der Vorrichtung durchführbar.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Trennen der mindestens einen Struktur selektiv erfolgt. Bei dem Bestrahlen des Grenzbereiches mit elektromagnetischer Strahlung kann diese vorteilhaft lokal begrenzt auf den entsprechenden Grenzbereich der mindestens einen Struktur eingebracht werden. Das erste Substrat wird daher nur in dem Grenzbereich der Struktur die elektromagnetische Strahlung absorbieren. Das Verfahren schont somit das erste Substrat, da nur in ausgewählten Bereichen des Grenzbereiches die elektromagnetische Strahlung eingebracht wird. Weiterhin kann ein Trennen von einzelnen auf dem ersten Substrat bereitgestellten Strukturen selektiv erfolgen, so dass ein breiteres Anwendungsgebiet für das Verfahren zum Trennen ermöglicht wird. Beispielsweise können defekte Strukturen gezielt nicht von dem ersten Substrat getrennt werden oder nur bestimmte Strukturen mit bestimmten Eigenschaften gezielt von dem ersten Substrat gelöst werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die mindestens eine Struktur eine Dicke zwischen 0 μm und 1000 μm , vorzugsweise zwischen 0 μm und 500 μm , noch bevorzugter zwischen 0 μm und 200 μm , am bevorzugtesten zwischen 0 μm und 150 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 0 μm und 100 μm aufweist. Die dünne Schicht beziehungsweise Struktur kann somit besonders geschont und effizient von der elektromagnetischen Strahlung durchstrahlt werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die mindestens eine Struktur vor dem Trennen von dem ersten Substrat auf dem ersten Substrat erzeugt wird, bevorzugt gezüchtet wird. In anderen Worten ist das erste Substrat vorzugsweise ein Wachstumssubstrat auf welchem die dünne Schicht beziehungsweise die vereinzelter Strukturen direkt erzeugt, vorzugsweise gezüchtet werden. Weiterhin ist es denkbar, dass auf dem ersten Substrat eine Wachstumsschicht aufgebracht ist, auf welcher die dünne Schicht beziehungsweise die Strukturen erzeugt werden und somit für das Verfahren zum Trennen bereitgestellt werden. Insbesondere kann dabei die Wachstumsschicht auch gleichzeitig als Löseschicht wirken. Wird die dünne Schicht beziehungsweise die mindestens eine Struktur auf dem Substrat erzeugt, können diese vorteilhaft mit dem Verfahren zum Trennen von dem ersten Substrat getrennt werden, ohne dass das erste Substrat für die elektromagnetische Strahlung durchlässig ausgebildet sein muss.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass bei dem Bestrahlen in Schritt ii) Bestrahlungsmittel die elektromagnetische Strahlung emittieren und auf die mindestens eine Struktur gerichtet sind. Die Bestrahlungsmittel sind vorzugsweise Laser. Diese sind besonders bevorzugt gepulst und fokussiert, so dass die elektromagnetische Strahlung vorteilhaft lokal eingebracht werden kann. Die elektromagnetische Strahlung passiert die mindestens eine Struktur und wird von dieser quasi nicht absorbiert. Die Bestrahlungsmittel sind dabei auf die mindestens eine Struktur gerichtet. Denkbar ist jedoch, dass weitere Schichten oder andere Elemente von der elektromagnetischen Strahlung durchdrungen werden, bevor diese zunächst auf die mindestens eine Struktur und im Anschluss auf den Grenzbereich trifft. Beispielsweise können Beschichtungen auf eine dem ersten Substrat abgewandten Seite der Strukturen aufgebracht werden, so dass die getrennten Strukturen besser auf einer anderen Oberfläche aufgebracht beziehungsweise fixiert werden können.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das erste Substrat aus Silizium ist. Das erste Substrat besteht somit im Wesentlichen aus Silizium. Es hat sich überraschend herausgestellt, dass Strukturen von Substraten auf Siliziumbasis besonders einfach und effizient mit dem Verfahren zum Trennen getrennt werden können.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die mindestens eine Struktur aus Galliumnitrid (GaN) ist. Besonders bevorzugt ist das Verfahren zum Trennen von dünnen Schichten oder Strukturen aus Galliumnitrid. Es hat sich überraschend herausgestellt, dass das Verfahren zum Trennen mittels elektromagnetischer Strahlung, insbesondere im UV-Bereich, besonders effizient und einfach mit Strukturen aus Galliumnitrid durchführbar ist. Abhängig von der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung, kann die mindestens eine Struktur aus Galliumnitrid besonders geschont von dem ersten Substrat getrennt werden. Die elektromagnetische Strahlung wird bei dem Durchdringen der Strukturen aus GaN weitestgehend nicht absorbiert, so dass das Verfahren zum Trennen prädestiniert für Strukturen aus Galliumnitrid ist.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung zwischen 300 nm und 2000 nm, vorzugsweise zwischen 310 nm und 1800 nm, noch bevorzugter zwischen 320 nm und 1600 nm, am bevorzugtesten zwischen 340 nm und 1400 nm, am allerbevorzugtesten zwischen 370 nm und 1250 nm liegt. Das Verfahren kann im Bereich dieser Wellenlängen besonders effizient durchgeführt werden. Besonders bevorzugt wird die Wellenlänge an das Material der Strukturen beziehungsweise der dünnen Schichten angepasst, so dass diese die elektromagnetische Strahlung weitestgehend nicht absorbieren. Durch die Verwendung kurzwelliger elektromagnetische Strahlung, insbesondere UV-Strahlung, kann ein Eindringen der elektromagnetischen

- 12 -

Strahlung in das erste Substrat auf den Grenzbereich begrenzt werden. Das erste Substrat, welches vorzugsweise ein Wachstumssubstrat ist, wird somit vorteilhaft geschont. Weiterhin kann durch die Verwendung kurzwelliger elektromagnetische Strahlung, insbesondere UV-Strahlung, insbesondere mit Pulszeiten im Pico- bis Nanosekundenbereich eine Plasmaerzeugung in der Grenzfläche gefördert werden. Auf diese Weise wird eine besonders defektfreie und schonende Trennung der Strukturen ermöglicht.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Transmissivität der mindestens einen Struktur für die elektromagnetischen Strahlung größer als 10%, vorzugsweise größer als 25%, noch bevorzugter größer als 50%, am bevorzugtesten größer als 75%, am allerbevorzugtesten größer als 90% ist. Die mindestens eine Struktur beziehungsweise die dünne Schicht wird möglichst wenig erwärmt, so dass Fehler aufgrund von Wärme oder Strahlungseintrag in der Struktur reduziert werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Transmissivität des ersten Substrates für die elektromagnetische Strahlung kleiner als 90%, vorzugsweise kleiner als 75%, noch bevorzugter kleiner als 50%, am bevorzugtesten kleiner als 25%, am allerbevorzugtesten kleiner als 10% ist. Auf diese Weise kann vorteilhaft der Grenzbereich lokal beeinflusst werden. Ein Eindringen der elektromagnetischen Strahlung in das erste Substrat kann vorteilhaft verhindert werden, so dass das erste Substrat geschont wird und folglich öfters zum Bereitstellen beziehungsweise zum Erzeugen der Strukturen verwendet werden kann.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Intensität der elektromagnetischen Strahlung zwischen 100 mWatt und 10 kWatt, vorzugsweise zwischen 1 Watt und 1 kWatt, noch bevorzugter

zwischen 5 Watt und 500 Watt, am bevorzugteste zwischen 7 Watt und 250 Watt, am allerbevorzugtesten zwischen 10 Watt und 100 Watt liegt. Es hat sich überraschend herausgestellt, dass der Energieeintrag für diese Bereiche optimal ist, um das Verfahren zum Trennen von Strukturen durchzuführen.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das zweite Substrat transparent für die elektromagnetische Strahlung ist und bei dem Bestrahlen in Schritt ii) zwischen den Bestrahlungsmitteln und der mindestens einen Struktur angeordnet ist. Ein Verfahren zum Übertragen kann besonders effizient durchgeführt werden, wenn das zweite Substrat für die elektromagnetische Strahlung weitestgehend transparent, ausgebildet ist. Auf diese Weise können beispielsweise die Bestrahlungsmittel vorteilhaft platzsparend auf der dem ersten Substrat abgewandten Seite des zweiten Substrates angeordnet werden. Zudem kann in einem Bestrahlungsvorgang nicht nur eine Trennung der Strukturen durch dieselben Bestrahlungsmittel durchgeführt werden, sondern auch ein Übertragen der Strukturen auf das zweite Substrat erfolgen.

Es ist somit ein Aspekt der Erfindung, eine elektromagnetische Strahlung, insbesondere Laserstrahlung, durch die dünne Schicht beziehungsweise durch die Struktur, auf den Grenzbereich beziehungsweise die Grenzfläche zu fokussieren. Dadurch ist es möglich auf die Durchstrahlung des Substrats, welches sehr oft für die zu verwendende elektromagnetische Strahlung intransparent ist, zu verzichten. Die Ablation beziehungsweise das Trennen der dünnen Schicht ist daher von der dem Substrat gegenüberliegenden Seite möglich. Weiterhin ist man bei der Materialwahl für das Wachstumssubstrat nicht unnötig eingeschränkt, wenn das Trennen mit dem vorgeschlagenen Verfahren durchgeführt wird.

- 14 -

Dies geschieht insbesondere durch die Wahl einer Einstrahlrichtung, bei der die elektromagnetische Strahlung, insbesondere eine Laserstrahlung, durch die zu lösende dünne Schicht gestrahlt wird, um den Grenzbereich beziehungsweise die Grenzfläche zwischen der zu trennenden Struktur und dem Substrat zu erreichen. Die Laserstrahlung erreicht die Grenzfläche also nicht wie im Stand der Technik durch das Substrat, sondern durch die dünne Schicht beziehungsweise die Struktur.

Das Verfahren ermöglicht somit ein Trennen der Strukturen, ohne dass die Rückseite des Substrats zugänglich sein muss. Weiterhin wird auf diese Weise eine kostengünstigere Herstellung von gezüchteten beziehungsweise erzeugten dünnen Schichten oder Strukturen (z.B. GaN-basierten Leistungsbaulementen) ermöglicht, da diese auch auf intransparenten Substraten erzeugt werden können.

Beispielsweise haben Siliziumsubstrate eine kleine Bandlücke, sodass elektromagnetische Strahlung im UV- und im sichtbaren Wellenlängenbereich absorbiert wird. Daher werden im Stand der Technik für die Ablation Laser mit einer Wellenlänge im Infrarotbereich benötigt.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren zum Trennen von Strukturen, insbesondere für GaN, befindet sich eine dünne Schicht auf einem Substrat mit hoher Absorption im Wellenlängenbereich der verwendeten elektromagnetischen Strahlung. Dazu muss die dünne Schicht zumindest teilweise transparent für die verwendete elektromagnetische Strahlung sein, die für die Ablation der dünnen Schicht verwendet wird. GaN mit einer Bandlücke von ca. 3.3 eV ist transparent im UV-Wellenlängenbereich. Eine GaN-Schicht/Struktur auf Silizium wird somit zunächst von der elektromagnetischen Strahlung bestrahlt und von dieser durchdrungen. Anschließend absorbiert das dahinterliegende Silizium die elektromagnetische

Strahlung im Grenzbereich. Die Absorption führt dann zur Ablation der dünnen Schicht beziehungsweise der Struktur.

GaN zersetzt sich thermisch zu reinem, metallischem Gallium und Stickstoffgas zwischen ca. 710°C und 980°C. Diese Temperatur kann lokal durch Laserstrahlung erreicht werden, insbesondere wenn durch die Lasereinstrahlung auch ein Plasma in der Grenzfläche erzeugt wird. Eine kurze Pulsdauer kann die Hitzeeinwirkung örtlich begrenzen. Des Weiteren kann durch eine Dotierung des Substrats die Dissoziation beeinflusst werden.

Das Verfahren erlaubt vorteilhaft die Verwendung eines beliebigen Substrats, insbesondere Wachstumssubstrats, zum Erzeugen der dünnen Schicht. Insbesondere wird die Verwendung von Silizium als Wachstumssubstrat ermöglicht, das eine günstigere Alternative zu Saphirsubstraten darstellt. Somit können die dünnen Schichten auf nichttransparenten Substraten hergestellt werden, die billiger, leichter verfügbar, größer oder leistungsfähiger sind.

Die Ablation kann vorteilhaft mit elektromagnetischer Strahlung durchgeführt werden, die bei höheren Frequenzen liegt. Zudem wird ein selektives Trennen von einzelnen Strukturen oder Schichtbereichen ermöglicht.

Weiterhin kann elektromagnetische Strahlung verwendet werden, welche die dünne Schicht zwar durchdringt, diese aber nur unbedeutend erwärmt. Die dünne Schicht beziehungsweise die aus ihr erzeugte Struktur wird damit weniger belastet.

Besonders vorteilhaft wird durch die Reihenfolge der Durchstrahlung der Schaden am Wachstumssubstrat minimiert und reduziert, da das

- 16 -

Wachstumssubstrat nicht durchstrahlt wird, sondern wenn nur im Grenzbereich die Strahlung absorbiert.

Das vorgeschlagene Verfahren ist vorteilhaft auch für andere Materialien beziehungsweise andere dünne Schichten auf anderen ersten Substraten/Wachstumssubstraten anwendbar, solange eine elektromagnetische Strahlung erzeugt werden kann, die die dünne Schicht durchdringt und vom Wachstumssubstrat absorbiert wird.

Das Wachstumssubstrat und ein optionales zweites (Transfer- oder Produkt-) Substrat, auf welches die dünne Schicht beziehungsweise die Strukturen transferiert werden, werden weniger geschädigt und können daher öfter verwendet werden.

Das Verfahren beschreibt somit eine neue Möglichkeit, eine dünne Schicht oder Strukturen, die aus dieser dünnen Schicht erzeugt wurden, von einem ersten Substrat zu trennen. Da die Strukturen ebenfalls aus einer dünnen Schicht entstehen, und durch weitere Prozessschritte nur entsprechend vereinzelt werden, wird, der Einfachheit halber, im weiteren Verlauf des Textes vorzugsweise nur mehr von Struktur gesprochen. Struktur und dünne Schicht können synonym verwendet werden, auch wenn die Struktur als Element aus mehr als der dünnen Schicht aufgebaut sein kann.

Vorzugsweise wird die dünne Schicht direkt auf dem ersten Substrat hergestellt, insbesondere gezüchtet. Das erste Substrat kann daher auch als Wachstumssubstrat bezeichnet werden.

Die Pulszeiten der elektromagnetischen Strahlung liegen vorzugsweise zwischen 1.0 Pikosekunden und 100 Pikosekunden, vorzugsweise zwischen

2.0 Pikosekunden und 75 Pikosekunden, noch bevorzugter zwischen 3.0 Pikosekunden und 50 Pikosekunden, am bevorzugtesten zwischen 4.0 Pikosekunden und 25 Pikosekunden, am allerbevorzugtesten bei ungefähr 5 Pikosekunden.

Pulse im Pikosekunden-Bereich sind auch deshalb bevorzugt, weil noch kürzerer Impulse im Bereich von Femtosekunden nichtlinear Effekte erzeugt, die nachteilig für das Verfahren sein können. Des Weiteren wird durch eine kurz gepulste Einwirkung der elektromagnetischen Strahlung eine thermische Diffusion weitestgehend vermieden.

Unter der Frequenz der Pulsrate versteht man die Anzahl der Pulse an elektromagnetischer Strahlung, die pro Sekunde abgegeben werden. Die Frequenz der Pulsrate liegt zwischen 10 kHz und 1000 kHz, vorzugsweise zwischen 50 kHz und 900 kHz, noch bevorzugter zwischen 100 kHz und 800 kHz, am bevorzugtesten zwischen 250 kHz und 700 kHz, am allerbevorzugtesten bei ungefähr 500 kHz.

Es hat sich zudem herausgestellt, dass eine ideale Energieflächendichten der elektromagnetischen Strahlung bei ungefähr bei $10 \text{ } \mu\text{J} / 25 \text{ } \mu\text{m}^2$, das entspricht $4 \cdot 10^5 \text{ J} / \text{m}^2$, liegt. Die Energieflächendichte liegt daher besonders bevorzugt zwischen $10^2 \text{ J} / \text{m}^2$ und $10^8 \text{ J} / \text{m}^2$, vorzugsweise zwischen $10^3 \text{ J} / \text{m}^2$ und $10^7 \text{ J} / \text{m}^2$, am bevorzugtesten zwischen $10^4 \text{ J} / \text{m}^2$ und $10^5 \text{ J} / \text{m}^2$, am allerbevorzugtesten bei ca. $4 \cdot 10^5 \text{ J} / \text{m}^2$.

Die dünne Schicht hat eine Dicke zwischen $0 \text{ } \mu\text{m}$ und $1000 \text{ } \mu\text{m}$, vorzugsweise zwischen $0 \text{ } \mu\text{m}$ und $500 \text{ } \mu\text{m}$, noch bevorzugter zwischen $0 \text{ } \mu\text{m}$ und $200 \text{ } \mu\text{m}$, am bevorzugtesten zwischen $0 \text{ } \mu\text{m}$ und $150 \text{ } \mu\text{m}$, am allerbevorzugtesten zwischen $0 \text{ } \mu\text{m}$ und $100 \text{ } \mu\text{m}$. Entsprechend haben die vereinzelt Strukturen bevorzugt dieselbe Dicke.

In einer Ausführungsform befindet sich auf dem Wachstumssubstrat eine Absorptionsschicht, welche die elektromagnetische Strahlung absorbieren soll. In diesem Fall wird die später zu trennende dünne Schicht auf der Absorptionsschicht hergestellt, insbesondere gezüchtet. Die Absorptionsschicht ist vorzugsweise sehr dünn und hat eine maximale Absorptionsfähigkeit für die elektromagnetische Strahlung des später beschriebenen Trennprozesses. Somit wird der Grenzbereich quasi durch die zwischen dem ersten Substrat und der dünnen Schicht angeordnete Absorptionsschicht gebildet. Grenzbereich, welcher die elektromagnetische Strahlung absorbiert und den Ort der Trennung zwischen erstem Substrat und der dünnen Schicht beziehungsweise Struktur vorgibt. Die Absorptionsschicht besitzt vorzugsweise dieselbe kristallographische Orientierung wie das erste Substrat.

In einer ganz besonders bevorzugten Variante der Ausführungsform sind die Kristallsysteme und Gittersystem der Absorptionsschicht und des ersten Substrats identisch. In einer ebenfalls bevorzugten Ausführungsform sind die Gitterparameter der Absorptionsschicht und des ersten Substrats identisch.

Die Absorptionsschicht kann also als Wachstumsschicht für die zu erzeugende, dünne Schicht dienen. Das ist insbesondere dann von Vorteil, wenn diese (Absorptions-)Schicht die optimalen Eigenschaften hat, um als Wachstumsschicht und als Absorptionsschicht zu dienen.

Als Grenzbereich beziehungsweise Grenzfläche wird der Bereich verstanden, an dem die zu trennende dünne Schicht beziehungsweise Struktur getrennt werden muss. Sollte die dünne Schicht direkt auf dem ersten Substrat gezüchtet worden sein, ist der Grenzbereich zwischen der dünnen Schicht und dem ersten Substrat. Sollte die dünne Schicht auf einer

Absorptionsschicht gezüchtet worden sein, ist der Grenzbereich zwischen der dünnen Schicht und der Absorptionsschicht.

Die Absorptionsschicht hat eine Dicke zwischen 0 μm und 100 μm , vorzugsweise zwischen 0 μm und 50 μm , noch bevorzugter zwischen 0 μm und 20 μm , am bevorzugtesten zwischen 0 μm und 10 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 0 μm und 1 μm .

Die Materialien auf beiden Seiten der Grenzfläche können so angepasst werden, dass die Absorption und/oder eine Ausgasung verbessert wird. Beispielsweise ist denkbar, dass in der Substratoberfläche des ersten Substrats, des Wachstumssubstrats, und/oder der dünnen Schicht selbst ein oder mehrere Elemente implantiert werden die bei einer elektromagnetischen Strahlung, insbesondere als Gas, austreten und die Ablation unterstützen. Denkbar ist auch, dass in die Substratoberfläche des ersten Substrats, des Wachstumssubstrats, Elemente implantiert werden, die eine besonders effiziente Absorption der elektromagnetischen Strahlung ermöglichen, was zu einer besseren Erwärmung des ersten Substrats führt. In diesem Fall kann beispielsweise auf die Verwendung einer Absorptionsschicht gänzlich verzichtet und die dünne Schicht direkt am ersten Substrat, dem Wachstumssubstrat, hergestellt werden.

Das Verfahren wird bevorzugt mit einer elektromagnetischen Strahlung mit einer bestimmten Frequenz, Intensität und Kohärenz durchgeführt. Grundsätzlich kann jede elektromagnetische Strahlung, welche die dünne Schicht durchstrahlen kann, und zu einer Ablation der dünnen Schicht vom Substrat führt, verwendet werden. Im weiteren Verlauf des Textes wird Laserstrahlung exemplarisch für die elektromagnetische Strahlung verwendet werden.

- 20 -

Die verwendete elektromagnetische Strahlung besitzt dabei eine Wellenlänge beziehungsweise weist eine Frequenz auf, welche nicht zu unerwünschten Absorptionerscheinungen in der dünnen Schicht führt. Die Wellenlänge liegt zwischen 1000 μm und 10 nm, vorzugsweise zwischen 500 μm und 25 nm, noch bevorzugter zwischen 250 μm und 50 nm, am bevorzugtesten zwischen 100 μm und 75 nm, am allerbevorzugtesten zwischen 10 μm und 100 nm.

Für den Spezialfall von gewachsenem GaN auf Silizium sind die bevorzugten Wellenlängenbereiche wie folgt. Die Wellenlänge liegt zwischen 300 nm und 2000 nm, vorzugsweise zwischen 310 nm und 1800 nm, noch bevorzugter zwischen 320 nm und 1600 nm, am bevorzugtesten zwischen 340 nm und 1400 nm, am allerbevorzugtesten zwischen 370 nm und 1250 nm.

Elektromagnetische Strahlung in diesem Wellenlängenbereich durchdringt das GaN also sehr gut und wird vom Silizium gut genug absorbiert. Entsprechend sollte bei einem Verfahren zum Übertragen von den Strukturen auf ein zweites Substrat, das zweite Substrat, auf welches das GaN transferiert wird, transparent für diese Wellenlänge sein. Das zweite Substrat kann daher bevorzugt GaN Strukturen/Schichten aufnehmen und besitzt eine ausreichend gute Transmissivität in dem verwendeten Wellenlängenbereich. Vorzugsweise besteht das zweite Substrat aus Saphir.

Die Dicken der beiden Substrate liegt zwischen 0 μm und 2000 μm , vorzugsweise zwischen 100 μm und 1500 μm , noch bevorzugter zwischen 200 μm und 1300 μm , am bevorzugtesten zwischen 300 μm und 1200 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 500 μm und 1000 μm . Da das erste Substrat dem Wachstum und das zweite Substrat der Fixierung nach der Ablation dient, sind größere Dicken zu bevorzugen, da größere Dicken die beiden Substrate stabil genug machen.

Es kann eine Relativbewegung zwischen dem Substrat und der Quelle der elektromagnetischen Strahlung durchgeführt werden. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind alle optischen Komponenten statisch, während sich das an einem Substrathalter fixierte Substrat bewegt. Der Substrathalter ist dann so konzipiert, dass die elektromagnetische Strahlung auf die Grenzfläche zwischen dem ersten Substrat und der dünnen Schicht fokussiert werden kann. Die Relativbewegung erfolgt mäanderförmig und/oder linear und/oder rotatorisch. Diese Art der Relativbewegung, bei der eine Fläche entlang eines Pfades abgerastert wird, wird manchmal auch Scannen genannt.

In einer besonderen Ausführungsform kann die Trennung der dünnen Schicht oder der Strukturen, die aus der dünnen Schicht gefertigt werden, vom ersten Substrat durch mechanische Trennprozesse unterstützt werden.

Im Gegensatz zum Stand der Technik, in dem vorwiegend Laserstrahlung im Infrarotbereich verwendet wird, kann in dem verbesserten Verfahren Laserstrahlung aus einem höheren Frequenzbereich verwendet werden. Vorzugsweise wird Laserstrahlung aus dem UV-Bereich verwendet.

Für einige Anwendungen wie Mikro (p)-LED Übertragungen kann das GaN auf einem Träger vorstrukturiert. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte die Anzahl der LEDs pro Träger möglichst groß sein. Technisch ist es allerdings notwendig, die LEDs einzeln vom Träger zu lösen, um sie mit anderen Bauteilen kombinieren zu können. Dabei kann das Lösen beziehungsweise Trennen der Strukturen vorteilhaft selektiv erfolgen.

Die Verfahren zur Übertragung von Bauteilen kann auch für nicht strukturierte, insbesondere epitaktische (dünne) Schichten verwendet werden. In diesem Fall wird die dünne und gezüchtete Schicht von dem ersten Substrat

getrennt. Dabei können einzelne Bereiche selektiv getrennt werden oder die elektromagnetische Strahlung vollflächig in den Grenzbereich eingebracht werden.

Das Verfahren zum Übertragen von Bauteilen ist in Bezug auf eine Vielzahl von Schichten und Strukturen anwendbar. Jedoch sind die Übertragung von GaN basierende Strukturen, z.B. wie p-LEDs, Leistungsbauteile oder reine, dünne GaN Schichten bevorzugt. Dabei werden die auf dem ersten Substrat bevorzugt gezüchteten und vereinzelt Strukturen auf ein zweites Substrat transferiert, indem eine elektromagnetische Strahlung, insbesondere ein Laser, durch die Strukturen dringt und an der Grenzfläche der Struktur eine Ablation hervorruft, um die Struktur von dem ersten Substrat zu trennen.

Wichtige Aspekte und Vorteile des Verfahrens zum Trennen von Strukturen sind beispielsweise, dass:

- das erste Substrat beziehungsweise eine Absorptionsschicht die elektromagnetische Strahlung absorbiert und zu einer, insbesondere defektfreien, Ablation der Struktur führt,
- die elektromagnetische Strahlung gepulst und fokussiert, d.h. lokal, eingebracht wird,
- die elektromagnetische Strahlung, im Gegensatz zum Stand der Technik nicht durch das erste Substrat, das Wachstumssubstrat, sondern durch die Struktur, auf die Grenzfläche einwirkt,
- durch die Verwendung kurzwelliger elektromagnetische Strahlung, insbesondere UV-Strahlung, ein Eindringen der elektromagnetischen Strahlung in das erste Substrat, das Wachstumssubstrat, behindert wird, was zu einer Schonung des Wachstumssubstrat führt,
- durch die Verwendung kurzwelliger elektromagnetische Strahlung, insbesondere UV-Strahlung, insbesondere durch Pulszeiten im Pico- bis

- 23 -

Nanosekundenbereich die Plasmaerzeugung in der Grenzfläche gefördert wird, was zu einer verbesserten Ablation führt und

- durch die Veränderung der Substratoberfläche des ersten Substrats die Absorption und/oder ein Ausgasprozess verbessert werden kann.

In der folgenden Tabelle werden drei mögliche Systeme dargestellt, mit welchen das erfindungsgemäße Verfahren zum Trennen von Strukturen durchgeführt werden kann.

	System 1	System 2	System 3
Erstes Substrat/ Wachstumssubstrat	Silizium	Silizium	Saphir oder Silizium
Struktur/ dünne Schicht	GaN	GaAs	InGaAs
Zweites Substrat	Glas	Glas	Glas
Wellenlängenbereich	0.4µm-1.1µm	0.95µm-10µm	1.00µm-2.4µm (abhängig von der As Konzentration)
Laser	Titan-Saphir- Laser	Yb-YAG-Laser Ho-YAG-Laser Er-YAG-Laser Er-Glas-Laser Nd-Glas-Laser	Yb-YAG-Laser Ho-YAG-Laser Er-YAG-Laser Er-Glas-Laser Nd-Glas-Laser

Diese Systeme sind prädestiniert für das erfindungsgemäße Verfahren. Weitere Systeme und/oder Kombinationen dieser sind jedoch ebenfalls für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens denkbar. Jedes System

umfasst die Materialien für ein erstes Substrat, das als Wachstumssubstrat dient, für die Strukturen beziehungsweise eine dünne Schicht, sowie ein bevorzugtes zweites Substrat, auf welches die Strukturen beziehungsweise die dünne Schicht transferiert werden sollen. Des Weiteren sind mögliche Wellenlängenbereiche angegeben und die Laser deren Photonenwellenlänge in diesem Wellenlängenbereich liegt. Der Fachmann kennt im Allgemeinen mehrere Laser für den angegebenen Wellenlängenbereich.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Die Figuren zeigen schematisch in:

- Figur 1a einen ersten Prozessschritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 1b einen zweiten Prozessschritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 1c einen dritten Prozessschritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 1d einen vierten Prozessschritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 1e einen fünften Prozessschritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 1f einen sechsten Prozessschritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 2 ein Diagramm der Eindringtiefe d in Silizium als Funktion der Wellenlänge λ der verwendeten elektromagnetischen Strahlung,
- Figur 3 zwei Diagramme zu einer Transmissivität (linke Ordinate, durchgezogene Linie) und einer Absorption (rechte Ordinate, gestrichelte Linie) als Funktion der Wellenlänge für Silizium (oben) und für GaN (unten).

In den Figuren sind gleiche Bauteile oder Bauteile mit der gleichen Funktion mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

In den folgenden Figuren wird eine Ausführungsform eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens aufgezeigt. Dabei wird eine dünne Schicht 2 direkt auf einem ersten Substrat 1, einem Wachstumssubstrat, erzeugt. Die dünne Schicht 2 ist entweder die zu trennende Struktur 2 oder wird in einem optionalen Schritt in mehrere Strukturen 3 unterteilt, welche insbesondere einzeln und selektiv gelöst werden können. Auf die Darstellung einer Absorptionsschicht, die insbesondere gleichzeitig auch als Wachstumsschicht dienen kann, und sich auf dem ersten Substrat befindet, wird hierbei verzichtet. Im Falle einer Absorptionsschicht erfolgt die Absorption der elektromagnetischen Strahlung 5 dann nicht hauptsächlich am ersten Substrat 1, sondern hauptsächlich an der Absorptionsschicht. Die Grenzfläche 6 ist dann die Grenzfläche zwischen der dünnen Schicht 2 und der Absorptionsschicht. Das Substrat 1 und/oder die Absorptionsschicht sind dabei für die Bestrahlungsmittel vorwiegend, vorzugsweise vollständig, undurchlässig ausgebildet.

Die **Figur 1a** zeigt einen ersten Prozessschritt, bei dem auf einem ersten Substrat 1 eine dünne Schicht 2 erzeugt wurde. Die dünne Schicht 2 kann durch ein beliebige Verfahren erzeugt werden, beispielsweise durch PVD oder CVD Verfahren. Bei der dünnen Schicht 2 handelt es sich vorzugsweise um eine epitaktische Schicht. Das Substrat 1 ist daher geeignet sein, um auf eine Oberfläche die gewünschte dünne Schicht 2 wachsen zu lassen. Insbesondere sollten die kristallographische Orientierung, die Gitterparameter und das Material des Substrats 1 so gewählt werden, dass die dünne Schicht 2 optimale, insbesondere epitaktisch, einkristallin und vorzugsweise möglichst defektfrei wachsen kann. Durch diese Bedingungen werden die Wahlmöglichkeiten für ein geeignetes Substrat 1 zum Bereitstellen der

gewünschten dünnen Schicht 2 eingeschränkt. Jedoch ist es vorteilhaft nicht notwendig, dass das Substrat 1 durchlässig für die Bestrahlungsmittel ausgebildet ist.

Die **Figur 1b** zeigt einen optionalen zweiten Prozessschritt, bei dem die dünne Schicht 2 vereinzelt wird. Zur Vereinzelung der dünnen Schicht 2 sind im Allgemeinen mehrere Prozessschritte notwendig. Denkbar wäre auch, dass dieser Prozessschritt nicht stattfindet, dann wird die gesamte dünne Schicht 2 übertragen und bildet die zu übertragende Struktur 2. Durch eine Vereinzelung der dünnen Schicht 2 entstehen mehrere vereinzelte Strukturen 3, die als Bauteile bezeichnet werden, da sie meistens über eine Funktionalität verfügen. Denkbar wäre beispielsweise, dass aus den Strukturen 3, LEDs entstehen. Dem Fachmann auf dem Gebiet ist bekannt, welche Bauteile erzeugt werden können.

Die **Figur 1c** zeigt einen optionalen dritten Prozessschritt, bei dem die Strukturen 3 beschichtet, insbesondere oxidiert werden. Die Beschichtung 4 kann auch bereits vor dem zweiten Schritt der Vereinzelung gemäß Figur 1b erfolgen. Die Beschichtung 4 kann beliebige Gründe haben, dient aber vorzugsweise einer Verbesserung des Bonds beim Übertragen der Strukturen 3 auf ein zweites Substrat 1'. Insbesondere eine Oxidschicht kann den Bond zwischen den Strukturen 3 und dem zweiten Substrat 1' verbessern.

Die **Figur 1d** zeigt einen vierten Prozessschritt, bei dem eine Kontaktierung, ein sogenannter Bond, zwischen den Strukturen 3 des ersten Substrats 1 und einem zweiten Substrat 1' erfolgt. Die beiden Substrate 1 und 1' werden vorher vorzugsweise zueinander ausgerichtet. Denkbar ist auch, dass die Strukturen 3 relativ zu Ausrichtungsmarken am zweiten Substrat 1' ausgerichtet werden. Denkbar ist auch, dass eine thermische Behandlung nach der Kontaktierung durchgeführt wird, um den Bond zwischen den

Strukturen 3 und dem zweiten Substrat 1' zu verbessern. Das zweite Substrat 1' ist dabei transparent für die im nächsten Prozessschritt verwendete elektromagnetische Strahlung 5.

Die **Figur 1e** zeigt einen fünften Prozessschritt, in welchem die Bestrahlungsmittel eine bestimmte elektromagnetische Strahlung 5 durch die Strukturen 3 auf eine Grenzfläche zwischen den Strukturen 3 und dem ersten Substrat 1' strahlen. Mit Hilfe der elektromagnetischen Strahlung 5, insbesondere einem Laser, wird die Grenzfläche 6 zwischen dem ersten Substrat 1 und den Strukturen 3 bestrahlt. Dabei durchstrahlt die elektromagnetische Strahlung 5 erfindungsgemäß die Strukturen 3. Das verwendete zweite Substrat 1' kann immer so gewählt werden, dass es für die jeweils verwendete elektromagnetische Strahlung transparent ist. Dabei wird die elektromagnetische Strahlung also nicht durch das erste Substrat 1, das als Wachstumssubstrat sehr spezifische Forderungen erfüllen muss, auf die Grenzfläche 6 gestrahlt, sondern durchdringt das bezüglich seiner physikalischen Eigenschaften relativ frei wählbare zweite Substrat 1', sowie eine mögliche Beschichtung 4 und die Struktur 3.

Eine vorhandene Beschichtung 4 ist im Regelfall sehr dünn, sodass sie in den seltensten Fällen eine hohe Absorption der elektromagnetischen Strahlung bewirkt. Des Weiteren handelt es sich in den meisten Fällen bei der Beschichtung 4 ohnehin um ein Oxid, welches in einem breiten Wellenlängenspektrum durchlässig ist. In der Figur wird die Beaufschlagung zweier Strukturen 3 dargestellt, um die Selektivitätsmöglichkeit des Prozesses zu verdeutlichen. Die Strukturen 3 können einzeln, je nach Bedarf, gelöst und übertragen werden. Die verwendete elektromagnetische Strahlung 5 wird vorzugsweise gepulst. Die gepulste Energie führt zu einer Ablation der Struktur 3 vom ersten Substrat 1 entlang der Grenzfläche 6.

Die Ablation kann durch unterschiedliche chemische und/oder physikalische Effekte zustande kommen. Denkbar ist beispielsweise, dass die thermischen Ausdehnungen der Materialien der Struktur 3 und des ersten Substrats 1 unterschiedlich sind. Dies führt zu einem thermischen Dehnungsunterschied und damit zu thermischen Spannungen. Die thermischen Spannungen führen schließlich zur Ablation. Denkbar ist auch, dass in der Grenzfläche 6 ein Gas entsteht. Insbesondere wenn die Strukturen 3 aus einem Material gefertigt wurden, welches Stickstoff, Kohlenstoff oder Wasserstoff aufweist, kann eine Bildung von Stickstoffgas, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasserstoffgas, bei Existenz von Oxiden in der Nähe auch von Wasser, zu einer Ablation entlang der Grenzfläche 6 führen, da die gebildeten Gase und/oder Flüssigkeiten durch Ihre Volumenausdehnung einen Druckerhöhung bewirken, welche zu einer Ablation der Struktur 3 vom ersten Substrat 1 führt. Denkbar ist ebenfalls die Erzeugung eines Plasmas in der Grenzfläche 6, welches die Ablation sogar noch verbessert.

Die **Figur 1f** zeigt einen sechsten Prozessschritt, bei dem sich zwei Strukturen 3 auf dem zweiten Substrat 1' befinden, während alle übrigen Strukturen 3 am ersten Substrat 1 verbleiben. Denkbar wäre natürlich auch, dass das Substrat 1' bereits über andere Strukturen (nicht eingezeichnet) verfügt und die übertragenen Strukturen 3 nicht direkt auf die Substratoberfläche 1o' des zweiten Substrats 1', sondern auf die bereits am zweiten Substrat 1' befindlichen Strukturen (nicht eingezeichnet), übertragen werden. In diesem Fall wäre es ein leichtes, insbesondere mehrere, Stapel von Strukturen 3 auf einem zweiten Substrat 1' zu erzeugen. Die an der Grenzfläche 6 ankommende und durch einen Strukturstapel verlaufende verwendete elektromagnetische Strahlung 5 ist gegebenenfalls durch mehrere übereinander angeordnete Strukturen 3 schwächer. Entsprechend müssen die Bestrahlungsmittel ausgelegt werden.

Die **Figur 2** zeigt ein schematisches, nachgezeichnetes Diagramm aus dem die Eindringtiefe d in Silizium als Funktion der Wellenlänge λ der verwendeten elektromagnetischen Strahlung abgelesen werden kann. Die Eindringtiefe im Silizium kann verwendet werden, um den Bereich der Absorption zu optimieren. Im Diagramm ist erkennbar, dass die Eindringtiefe bei einer verwendeten Wellenlänge von weniger als ca. 900 nm sich auf einige wenige Mikrometer beschränkt. Ein Titan Ionen basierter Laser emittiert beispielsweise Photonen dieser Wellenlänge. Im Wellenlängenbereich zwischen 800 nm und 1100 nm ist die Eindringtiefe immer noch max. 100 μm . Für diesen Wellenlängenbereich könnten beispielsweise Neodymium oder Ytterbiumlaser mit $\lambda \sim 1064$ nm und $\lambda \sim 1043$ nm verwendet werden.

Die **Figur 3** zeigt zwei Diagramme, eines für Silizium (oben) und eines für GaN (unten). In jedem Diagramm werden die Transmissivität (linke Ordinate, durchgezogene Linie) und die Absorption (rechte Ordinate, gestrichelte Linie) als Funktion der Wellenlänge dargestellt. Silizium ist demnach für elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von mehr als ca. 1200 nm transparent, absorbiert also so gut wie keine Photonen. GaN ist für elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von mehr als ca. 380 nm transparent. Dabei soll die elektromagnetische Strahlung die dünne Schicht, im vorliegenden Fall das GaN, durchdringen aber in dem Grenzbereich 6, im vorliegenden Fall das Silizium, absorbiert werden. Dementsprechend bietet sich für diese beispielhafte Kombination ein Transmissionsfenster 7 im Wellenlängenbereich zwischen ca. 380 nm und 900 nm an. Akzeptiert man ein Eindringen der elektromagnetischen Strahlung in das Silizium, kann ein erweitertes Transmissionsfenster 7' bis ca. 1100 nm verwendet werden. Die vorliegenden Diagramme beziehen sich somit lediglich auf das beispielhafte System GaN/Si. Für andere Systeme sind entsprechende Diagramm zu analysieren, um die optimalen Transmissionsfenster zu erhalten.

B e z u g s z e i c h e n l i s t e

1	Erstes Substrat (Gebersubstrat, Wachstumssubstrat)
1'	Zweites Substrat (Empfängersubstrat, Transfersubstrat)
10'	Substratoberfläche
2	Dünne Schicht
3	Struktur
4	Beschichtung
5	Elektromagnetische Strahlung
6	Grenzbereich, Grenzfläche
7, 7'	Transmissionsfenster

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zum Trennen von Strukturen (3) von einem Substrat, aufweisend zumindest die folgenden Schritte, insbesondere in der folgenden Reihenfolge,
 - i) Bereitstellen mindestens einer Struktur (3) auf einem ersten Substrat (1),
 - ii) Bestrahlen eines Grenzbereich (6) zwischen dem ersten Substrat (1) und der mindestens einen Struktur (3) mit elektromagnetischer Strahlung (5),
 - iii) Trennen der mindestens einen Struktur (3) von dem ersten Substrat (1),dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetische Strahlung (5) erst die mindestens eine Struktur (3) durchdringt und danach auf den Grenzbereich (6) trifft.

- 32 -

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Trennen der mindestens einen Struktur (3) selektiv erfolgt.
3. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Struktur (3) eine Dicke zwischen 0 μm und 1000 μm , vorzugsweise zwischen 0 μm und 500 μm , noch bevorzugter zwischen 0 μm und 200 μm , am bevorzugtesten zwischen 0 μm und 150 μm , am allerbevorzugtesten zwischen 0 μm und 100 μm aufweist.
4. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Struktur (3) vor dem Trennen auf dem ersten Substrat (1) erzeugt wird, bevorzugt gezüchtet wird.
5. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei dem Bestrahlen in Schritt ii) Bestahlungsmittel die elektromagnetische Strahlung (5) emittieren und auf die mindestens eine Struktur (3) gerichtet sind.
6. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste Substrat (1) aus Silizium ist.
7. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Struktur (3) aus Galliumnitrid (GaN) ist.

- 33 -

8. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung (5) zwischen 300 nm und 2000 nm, vorzugsweise zwischen 310 nm und 1800 nm, noch bevorzugter zwischen 320 nm und 1600 nm, am bevorzugtesten zwischen 340 nm und 1400 nm, am allerbevorzugtesten zwischen 370 nm und 1250 nm liegt.
9. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Transmissivität der mindestens einen Struktur (3) für die elektromagnetischen Strahlung (5) größer als 10%, vorzugsweise größer als 25%, noch bevorzugter größer als 50%, am bevorzugtesten größer als 75%, am allerbevorzugtesten größer als 90% ist.
10. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Transmissivität des ersten Substrates für die elektromagnetische Strahlung kleiner als 90%, vorzugsweise kleiner als 75%, noch bevorzugter kleiner als 50%, am bevorzugtesten kleiner als 25%, am allerbevorzugtesten kleiner als 10% ist.
11. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Intensität der elektromagnetischen Strahlung zwischen 100 mWatt und 10 kWatt, vorzugsweise zwischen 1 Watt und 1 kWatt, noch bevorzugter zwischen 5 Watt und 500 Watt, am bevorzugtesten zwischen 7 Watt und 250 Watt, am allerbevorzugtesten zwischen 10 Watt und 100 Watt liegt.

- 34 -

12. Vorrichtung zum Trennen von Strukturen (3) von einem Substrat (1),
zumindest aufweisend:
- ein erstes Substrat (1) mit mindestens einer auf dem ersten Substrat (1) bereitstellbaren Struktur (1),
 - Bestrahlungsmittel zum Bestrahlen eines Grenzbereiches (6) zwischen dem ersten Substrat (1) und der mindestens einen Struktur (3) mit elektromagnetische Strahlung (5) und
 - Trennmittel zum Trennen der mindestens einen Struktur (1),
- dadurch gekennzeichnet, dass die Bestrahlungsmittel so ausgebildet sind, dass die elektromagnetische Strahlung (5) erst die mindestens eine Struktur (3) durchdringt und danach auf den Grenzbereich (6) trifft.

13. Verfahren zum Übertragen von Strukturen (3), insbesondere zum Übertragen von elektronischen Bauteilen, von einem ersten Substrat (1) auf ein zweites Substrat (1'), dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturen (3) mit einem Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 11 von dem ersten Substrat (1) getrennt werden.

- 36 -

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das zweite Substrat (1') transparent für die elektromagnetische Strahlung (5) ist und bei dem Bestrahlen in Schritt ii) zwischen den Bestahlungsmitteln und der mindestens einen Struktur (3) angeordnet ist.

15. Vorrichtung zum Übertragen von Strukturen (3), insbesondere zum Übertragen von elektronischen Bauteilen, von dem ersten Substrat (1) auf ein zweites Substrat (1'), dadurch gekennzeichnet, dass die auf dem ersten Substrat (1) bereitgestellten Strukturen (3) mit einer Vorrichtung nach Anspruch 12 von dem ersten Substrat (1) trennbar sind.