



(10) **DE 10 2014 116 276 A1** 2016.05.12

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 116 276.5**
(22) Anmeldetag: **07.11.2014**
(43) Offenlegungstag: **12.05.2016**

(51) Int Cl.: **H01L 21/20** (2006.01)
H01L 33/20 (2010.01)
H01L 31/18 (2006.01)
H01L 31/101 (2006.01)
H01L 21/782 (2006.01)
C30B 25/18 (2006.01)
C30B 29/40 (2006.01)

(71) Anmelder:
**OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93055
Regensburg, DE**

(72) Erfinder:
Englhard, Marco, 93047 Regensburg, DE

(74) Vertreter:
**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2004 030 603 A1
DE 10 2012 109 594 A1
AT 510 068 A2

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

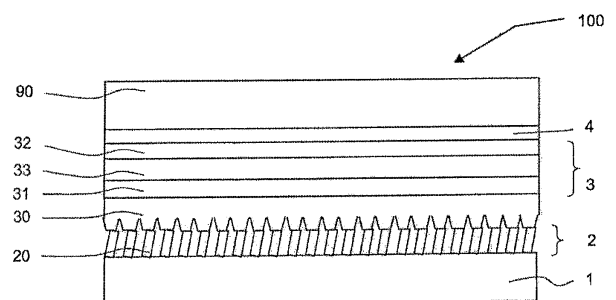
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Epitaxie-Wafer, Bauelement und Verfahren zur Herstellung eines Epitaxie-Wafers und eines Bauelements**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Bauelement sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelements angegeben, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Ausbilden oder Bereitstellen eines Epitaxie-Wafers, der ein Substrat und eine auf dem Substrat angeordnete Trennschicht aufweist, wobei die Trennschicht eine Mehrzahl von säulenartigen Strukturen aus einem Halbleitermaterial aufweist,
- Ausbilden einer Schichtenfolge mit einer aktiven Schicht auf dem Epitaxie-Wafer; und
- Entfernen des Substrats von der Schichtenfolge an der Trennschicht, indem die säulenartigen Strukturen zumindest teilweise zerstört werden.

Des Weiteren wird ein Epitaxie-Wafer angegeben, der für die Herstellung des Bauelements besonders geeignet ist.



Beschreibung

[0001] Es werden ein Epitaxie-Wafer, ein Bauelement und Verfahren zur Herstellung eines Epitaxie-Wafers sowie eines Bauelements angegeben.

[0002] Zur Herstellung eines Halbleiterbauelements mit einem Halbleiterkörper, das frei von einem Aufwachssubstrat ist, kann das Aufwachssubstrat mittels eines Laser-Liftoff-Verfahrens von dem Halbleiterkörper getrennt werden. Das Laser-Liftoff-Verfahren ist jedoch nur für bestimmte Typen des Aufwachssubstrats geeignet. Bei alternativen Verfahren zur Trennung des Aufwachssubstrats besteht oft nicht die Möglichkeit, das Aufwachssubstrat wiederzuverwenden. Beispielsweise kann zur Trennung des Aufwachssubstrats eine kontrollierte Spaltmethode angewendet werden, bei der das Aufwachssubstrat gezielt an verschiedenen Stellen durch mechanische Einflüsse von dem Halbleiterkörper getrennt wird. Allerdings wird das Aufwachssubstrat dabei oft beschädigt, so dass eine Wiederverwendung des Aufwachssubstrats nicht mehr möglich ist.

[0003] Eine Aufgabe ist es, ein vereinfachtes, zuverlässiges und kostengünstiges Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen anzugeben, bei dem ein Aufwachssubstrat wiederverwertbar ist. Als weitere Aufgaben sollen ein Epitaxie-Wafer mit einem wiederverwertbaren Aufwachssubstrat sowie ein insbesondere mit einem solchen Epitaxie-Wafer hergestelltes Bauelement angegeben werden.

[0004] Gemäß zumindest einer Ausführungsform eines Verfahrens zur Herstellung eines Bauelements wird ein Epitaxie-Wafer ausgebildet oder bereitgestellt. Der Epitaxie-Wafer weist insbesondere ein Substrat und eine auf dem Substrat angeordnete Trennschicht auf. Die Trennschicht weist zum Beispiel eine Mehrzahl von säulenartigen Strukturen etwa aus einem Halbleitermaterial auf.

[0005] Das Substrat weist eine der Trennschicht zugewandte Hauptfläche auf, die insbesondere eben ausgebildet ist. Das bedeutet insbesondere, dass die Hauptfläche im Rahmen der Herstellungstoleranzen keine Krümmungen, Erhebungen oder Vertiefungen aufweist.

[0006] Unter einer säulenartigen Struktur der Trennschicht wird eine Struktur verstanden, die einen zu der Hauptfläche des Substrats lateral ausgedehnten Querschnitt und eine zu der Hauptfläche vertikal gerichtete Höhe aufweist. Unter einer lateralen Richtung wird eine Richtung verstanden, die insbesondere parallel zu der Hauptfläche des Substrats gerichtet ist. Die vertikale Richtung ist senkrecht zu der Hauptfläche gerichtet und ist somit senkrecht zu der lateralen Richtung. Eine Umrandung des Querschnitts kann dabei eine beliebige Form annehmen,

beispielsweise gekrümmt, etwa kreisförmig, ellipsenförmig oder oval, oder mehreckig, etwa viereckig oder hexagonal. Insbesondere bleibt der Querschnitt der säulenartigen Struktur entlang der Richtung der Höhe, das heißt entlang der vertikalen Richtung, im Wesentlichen konstant. Im Wesentlichen konstant bedeutet, dass sich die Form des Querschnitts insbesondere nicht ändert. Dabei kann ein Verhältnis von einem minimalen Querschnitt zu einem maximalen Querschnitt der säulenartigen Struktur zwischen einschließlich 0,4 und einschließlich 1, etwa zwischen einschließlich 0,6 und einschließlich 1 oder 0,8 und einschließlich 1 sein. Ein Aspektverhältnis der Höhe zu der maximalen Ausdehnung des Querschnitts der säulenartigen Struktur ist so eingerichtet, dass die säulenartige Struktur im Normalzustand bei der Herstellung des Bauelements ausreichende mechanische Stabilität aufweist. Beispielsweise beträgt das Aspektverhältnis zwischen einschließlich 0,1 und 10, etwa zwischen 0,5 und 5 oder zwischen 1 und 5. Beispielsweise weist die säulenartige Struktur eine laterale Breite auf, die die maximale laterale Ausdehnung des Querschnitts ist, wobei die vertikale Höhe größer als die laterale Breite ist.

[0007] Die säulenartigen Strukturen können dabei unterschiedlich große Querschnitte aufweisen. Insbesondere können die säulenartigen Strukturen regelmäßig oder unregelmäßig auf dem Substrat angeordnet sein. Insbesondere ist das Substrat von den säulenartigen Strukturen nicht vollständig bedeckt, sondern zwischen den säulenartigen Strukturen befinden sich unbedeckte Bereiche des Substrats.

[0008] Die Trennschicht weist insbesondere ein Halbleitermaterial auf oder besteht aus diesem. Beispielsweise ist das Halbleitermaterial ein III-V- oder II-VI-Halbleitermaterial. Insbesondere werden ein Material des Substrats und ein Material der Trennschicht so gewählt, dass eine kristallographische Fernordnung innerhalb des Epitaxie-Wafers aus dem Substrat und der Trennschicht beibehalten wird. Durch die Beibehaltung der kristallographischen Fernordnung können die säulenartigen Strukturen auf einfache Art und Weise mit einer Halbleiterschicht oder einer Schichtenfolge überwachsen werden, wobei Gitterfehler innerhalb der auf dem Epitaxie-Wafer eingebrachten Halbleiterschicht beziehungsweise Schichtenfolge weitgehend vermieden werden können.

[0009] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird eine Schichtenfolge auf dem Epitaxie-Wafer ausgebildet. Die Schichtenfolge enthält insbesondere eine Mehrzahl von Halbleiterschichten. Insbesondere weisen die Schichtenfolge und die Trennschicht ausschließlich Halbleiterschichten auf. Beispielsweise weist die Schichtenfolge eine aktive Schicht auf, die beispielsweise im Betrieb des Bauelements eine elektromagnetische Strahlung emittiert. Alternativ kann die aktive Schicht so aus-

gestaltet sein, dass diese im Betrieb des Bauelements eine elektromagnetische Strahlung absorbiert und diese in elektrische Signale oder in elektrische Energie umwandelt. Die Schichtenfolge kann außerdem mehrere Halbleiterschichten verschiedener Ladungsträgertypen aufweisen. Insbesondere wird die Schichtenfolge mittels eines Epitaxie-Verfahrens schichtenweise auf dem Epitaxie-Wafer aufgebracht.

[0010] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird das Substrat von der Schichtenfolge an der Trennschicht entfernt, wobei die säulenartigen Strukturen bei der Abtrennung des Substrats zumindest teilweise zerstört werden. Insbesondere werden die säulenartigen Strukturen der Trennschicht zur Abtrennung des Substrats durch seitliche mechanische Krafteinwirkungen etwa durch Anlegen einer Scherkraft zerbrochen.

[0011] In mindestens einer Ausführungsform eines Verfahrens zur Herstellung eines Bauelements wird ein Epitaxie-Wafer ausgebildet oder bereitgestellt. Der Epitaxie-Wafer weist ein Substrat und eine auf dem Substrat angeordnete Trennschicht auf. Die Trennschicht weist eine Mehrzahl von säulenartigen Strukturen aus einem Halbleitermaterial auf. Auf dem Epitaxie-Wafer wird eine Schichtenfolge, etwa eine Halbleiterschichtenfolge, mit einer aktiven Schicht ausgebildet. Das Substrat wird an der Trennschicht von der Schichtenfolge entfernt, wobei die säulenartigen Strukturen bei der Entfernung des Substrats zumindest teilweise zerstört werden.

[0012] Die säulenartigen Strukturen tragen dazu bei, dass das Substrat und die Schichtenfolge vereinfacht und zuverlässig durch ein mechanisches Trennverfahren hinsichtlich des Substrats und der Schichtenfolge zerstörungsfrei voneinander abgetrennt werden können. Ein Trennverfahren lediglich mittels äußerer mechanischer Krafteinwirkungen kann unabhängig von der Materialauswahl des benutzten Substrats angewendet werden. Das zerstörungsfreie, abgelöste Substrat kann außerdem wiederverwendet werden, wodurch die Kosten für die Herstellung der Bauelemente reduziert sind.

[0013] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Schichtenfolge direkt auf dem Epitaxie-Wafer aufgebracht. Dabei kann die Schichtenfolge direkt auf die säulenartigen Strukturen der Trennschicht aufgebracht sein. Insbesondere weist die Schichtenfolge nach dem Aufbringen eine den säulenartigen Strukturen zugewandte Übergangsschicht auf, die in Draufsicht auf das Substrat die säulenartigen Strukturen vollständig bedeckt. Dabei werden die Übergangsschicht und weitere Schichten der Schichtenfolge in einem selben Verfahrensschritt schichtenweise, etwa mittels eines Epitaxie-Verfahrens, aufgebracht. Alternativ ist es auch möglich, dass die Übergangsschicht und die

weiteren Schichten der Schichtenfolge in getrennten Verfahrensschritten hergestellt sind. In diesem Fall kann der Epitaxie-Wafer bei der Herstellung des Bauelements vorgefertigt bereitgestellt werden, wobei der vorgefertigte Epitaxie-Wafer die Übergangsschicht aufweist, die beispielsweise durch ein laterales Überwachsen über den säulenartigen Strukturen ausgebildet ist und als eine zusammenhängende Halbleiterschicht vorliegt. Insbesondere ist ein Material der Übergangsschicht so gewählt, dass die kristallographische Fernordnung innerhalb des Epitaxie-Wafers mit dem Substrat, der Trennschicht und der Übergangsschicht beibehalten wird.

[0014] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird bei der Ausbildung des Epitaxie-Wafers die Trennschicht zunächst flächig auf das Substrat aufgebracht. Zur Ausbildung der säulenartigen Strukturen wird die Trennschicht anschließend strukturiert. Dabei kann Trennschicht nach der Strukturierung eine dem Substrat zugewandte Bodenschicht mit darauf angeordneten säulenartigen Strukturen aufweisen. Abweichend davon ist es auch möglich, dass die säulenartigen Strukturen etwa durch eine Maske auf das Substrat strukturiert aufgebracht werden. Eine solche Maske kann vorgefertigt sein oder durch Markierung des Substrats beispielsweise mit einer Oxidschicht ausgebildet sein, wobei die säulenartigen Strukturen auf nichtmarkierte Stellen des Substrats etwa durch ein Epitaxie-Verfahren aufgewachsen werden können.

[0015] Gemäß zumindest einer Ausführungsform zur Herstellung einer Mehrzahl von Bauelementen wird die Schichtenfolge vor dem Entfernen von dem Substrat an einem Trägerverbund befestigt. Nach dem Entfernen des Substrats können der Trägerverbund und die Schichtenfolge zur Vereinzelung der Mehrzahl der Bauelemente so vereinzelt werden, dass die vereinzelt Bauelemente jeweils einen Träger aus dem Trägerverbund und eine zugehörige Schichtenfolge aufweisen.

[0016] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird zumindest ein Graben durch die Schichtenfolge hindurch ausgebildet, insbesondere bevor die Schichtenfolge an dem Trägerverbund befestigt wird. Das Substrat wird dann von der Schichtenfolge so entfernt, dass der Graben insbesondere freigelegt wird. Anschließend kann der Trägerverbund zur Vereinzelung der Mehrzahl der Bauelemente entlang des Grabens vereinzelt werden.

[0017] Der Graben dient somit als eine Trennlinie zwischen den Schichtenfolgen der herzustellenden Bauelemente. Entlang des Grabens kann beispielsweise gesägt werden. Es ist auch möglich, dass der zumindest eine Graben so ausgebildet wird, dass sich dieser durch die Trennschicht hindurch zum Substrat erstreckt. Auch eine Mehrzahl von Gräben kann

ausgebildet werden. Insbesondere können die Gräben so ausgebildet werden, dass die Schichtenfolgen der herzustellenden Bauelemente jeweils von den Gräben umgeben sind und somit auf dem gemeinsamen Trägerverbund voneinander lateral beabstandet vorliegen. Das bedeutet, dass die Größe der herzustellenden Bauelemente bereits durch die Ausbildung der Gräben festgelegt werden kann. Die Vereinzelung des Trägerverbunds entlang der Gräben kann so vereinfacht und zuverlässig mit hoher Ausbeute gestaltet werden.

[0018] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird das Substrat von der Schichtenfolge mechanisch abgetrennt. Dies kann insbesondere durch Anlegen einer Scherkraft, beispielsweise durch seitliche mechanische Krafteinwirkungen erfolgen, wodurch die säulenartigen Strukturen zumindest teilweise oder vollständig zerbrochen werden. Das Substrat kann dadurch zerstörungsfrei von der Schichtenfolge abgetrennt und somit wiederverwendet werden.

[0019] Zur weiteren Vereinfachung der Abtrennung des Substrats durch mechanische Krafteinwirkungen können die säulenartigen Strukturen auf dem Substrat so ausgebildet sein, dass eine Verteilungsdichte der säulenartigen Struktur in Abhängigkeit von einem Abstand von einem Rand des Substrats variiert. Beispielsweise können Abstände benachbarter säulenartiger Strukturen von einem ersten Rand des Substrats zu einem dem ersten gegenüberliegenden zweiten Rand oder zu einem zentralen Bereich des Substrats hin zumindest bereichsweise stetig variieren. Unter Abständen benachbarter säulenartiger Strukturen werden laterale Entfernungen zwischen säulenartigen Strukturen verstanden, die zueinander insbesondere unmittelbar benachbart sind. Unter einem zentralen Bereich des Substrats wird ein Bereich verstanden, der beispielsweise um einen geometrischen Mittelpunkt oder um einen Massenmittelpunkt des Substrats angeordnet ist, wobei eine Oberfläche des zentralen Bereichs insbesondere höchstens 30 %, etwa höchstens 20 % oder höchstens 10 %, einer Gesamtoberfläche der Hauptfläche des Substrats ausmacht.

[0020] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens weisen die säulenartigen Strukturen jeweils einen Querschnitt auf, dessen maximale laterale Ausdehnung kleiner ist als ein Abstand von der zugehörigen säulenartigen Struktur zu deren unmittelbar benachbarter säulenartiger Struktur oder benachbarten säulenartigen Strukturen. Durch eine derartige Gestaltung der säulenartigen Strukturen wird das Abtrennen des Substrats von der Schichtenfolge durch seitliche mechanische Krafteinwirkungen besonders vereinfacht.

[0021] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens wird zur Abtrennung des Substrats ein Ätzmittel in den zumindest einen Graben oder in die Mehrzahl von den Gräben zugeführt, sodass das Ätzmittel die säulenartigen Strukturen teilweise wegätzt. Anschließend kann das Substrat durch seitliche Krafteinwirkungen von der Schichtenfolge vollständig entfernt werden. Es ist auch möglich, dass die Menge oder die Konzentration des Ätzmittels so gewählt wird, dass das Substrat allein aufgrund des Ätzevorgangs von der Schichtenfolge vollständig abgetrennt wird, wodurch auf ein Trennverfahren aufgrund mechanischer Krafteinwirkungen verzichtet werden kann.

[0022] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Verfahrens enthält die Trennschicht eine Opferschicht und eine weitere Schicht, wobei die Opferschicht zwischen dem Substrat und der weiteren Schicht angeordnet ist. Beispielsweise weist die Opferschicht ein Material auf, das ätzanfälliger ist als ein Material der weiteren Schicht. Die Opferschicht und die weitere Schicht der Trennschicht werden strukturiert oder auf das Substrat strukturiert aufgebracht, sodass die säulenartigen Strukturen jeweils einen ersten Bereich aus der Opferschicht und einen zweiten Bereich aus der weiteren Schicht ausgebildet sind. Aufgrund des ätzanfälligeren Materials der Opferschicht werden die säulenartigen Strukturen bei Zufuhr eines Ätzmittels vorwiegend oder ausschließlich an der Opferschicht geätzt. Alternativ oder ergänzend zur Abtrennung des Substrats durch seitliche mechanische Krafteinwirkungen können die säulenartigen Strukturen somit vollständig beziehungsweise teilweise an der Opferschicht geätzt werden.

[0023] In zumindest einer Ausführungsform eines Epitaxie-Wafers weist dieser ein Substrat, eine Trennschicht und insbesondere eine Übergangsschicht auf. Die Übergangsschicht und die Trennschicht sind beispielsweise Halbleiterschichten, wobei die Trennschicht zwischen dem Substrat und der Übergangsschicht angeordnet ist. Die Trennschicht weist eine Mehrzahl von säulenartigen Strukturen etwa aus einem Halbleitermaterial auf, wobei die säulenartigen Strukturen zur Trennung des Substrats von der Übergangsschicht durch ein mechanisches Trennverfahren, etwa durch seitliche mechanische Krafteinwirkungen, brechbar ausgebildet sind.

[0024] Ein solcher Epitaxie-Wafer eignet sich besonders für das vorstehend beschriebene Verfahren. Die im Zusammenhang mit dem vorstehend beschriebenen Verfahren offenbarten Merkmale können daher auch für den Epitaxie-Wafer herangezogen werden oder umgekehrt.

[0025] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Epitaxie-Wafers ist eine kristallographische Fernordnung innerhalb des gesamten Epitaxie-Wafers in-

nerhalb der Fertigungstoleranzen beibehalten. Die Trennschicht und die Übergangsschicht können dabei ein gleiches Halbleitermaterial aufweisen. Abweichend davon können sie auch unterschiedliche Materialien aufweisen, die insbesondere so gewählt sind, dass die kristallographische Fernordnung des Substrats über die Trennschicht hinweg in der Übergangsschicht weiterhin insbesondere innerhalb der Fertigungstoleranzen erhalten ist.

[0026] In zumindest einer Ausführungsform eines Bauelements weist dieses einen Träger und eine auf dem Träger angeordnete Schichtenfolge mit einer aktiven Schicht auf. Das Bauelement ist insbesondere frei von einem Aufwachssubstrat.

[0027] Insbesondere ist das Bauelement mit einem vorstehend beschriebenen Epitaxie-Wafer hergestellt. Das Bauelement ist frei von dem Substrat des Epitaxie-Wafers. Insbesondere weist das Bauelement eine dem Träger abgewandte, insbesondere freiliegende Oberfläche mit teilweise entfernten säulenartigen Strukturen etwa aus einem Halbleitermaterial auf. Unter teilweise entfernten säulenartigen Strukturen werden säulenartige Strukturen verstanden, die beispielsweise Trennschichten aufweisen. Die Trennschichten können dabei aus einem Ätzverfahren oder aus einem mechanischen Trennverfahren hervorgehen.

[0028] Gemäß zumindest einer Ausführungsform des Bauelements emittiert die aktive Schicht im Betrieb des Bauelements eine elektromagnetische Strahlung, insbesondere im ultravioletten, sichtbaren oder im infraroten Spektralbereich. Alternativ kann die aktive Schicht so ausgebildet sein, dass diese im Betrieb des Bauelements eine elektromagnetische Strahlung absorbiert und die Strahlung in elektrische Energie oder in elektrische Signale umwandelt. Die zum Teil entfernten säulenartigen Strukturen können dabei als Auskoppelstrukturen des Bauelements dienen.

[0029] Abweichend von der Oberfläche mit den teilweise entfernten säulenartigen Strukturen kann die dem Träger abgewandte, insbesondere freiliegende Oberfläche des Bauelements durch eine Oberfläche der Übergangsschicht ausgebildet sein. Die Oberfläche der Übergangsschicht kann strukturiert sein. Diese strukturierte Oberfläche dient beispielsweise als eine Strahlungsauskoppelfläche des Bauelements. Insbesondere ist die Übergangsschicht direkt auf die säulenartigen Strukturen überwachsen, so dass die strukturierte Oberfläche der Übergangsschicht eine Verteilung der säulenartigen Strukturen nachbildet.

[0030] Das vorstehend beschriebene Verfahren und/oder der vorstehend beschriebene Epitaxie-Wafer sind besonders geeignet für die Herstellung eines oben beschriebenen Bauelements. Die im Zu-

sammenhang mit dem Verfahren oder Epitaxie-Wafer beschriebenen Merkmale können daher auch für das Bauelement herangezogen werden und umgekehrt.

[0031] Weitere Vorteile, bevorzugte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Epitaxie-Wafers, des Bauelements sowie des Verfahrens ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den **Fig. 1** bis **Fig. 8** erläuterten Ausführungsbeispielen.

[0032] Es zeigen:

[0033] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels für einen Epitaxie-Wafer sowie für ein Verfahren zu dessen Herstellung,

[0034] **Fig. 2A** bis **Fig. 2D** schematische Darstellungen verschiedener Ausführungsbeispiele für einen Epitaxie-Wafer,

[0035] **Fig. 3** und **Fig. 4** schematische Darstellungen eines Verfahrens zur Herstellung eines Bauelements,

[0036] **Fig. 5** und **Fig. 6** schematische Darstellungen eines Bauelements, und

[0037] **Fig. 7** und **Fig. 8** weitere Ausführungsbeispiele für ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelements.

[0038] Gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Die Figuren sind jeweils schematische Darstellungen und daher nicht unbedingt maßstabsgetreu. Vielmehr können vergleichsweise kleine Elemente und insbesondere Schichtdicken zur Verdeutlichung übertrieben groß dargestellt sein.

[0039] Ein erstes Ausführungsbeispiel für einen Epitaxie-Wafer und dessen Herstellung ist in **Fig. 1** schematisch dargestellt.

[0040] Der Epitaxie-Wafer **10** weist ein Substrat **1**, eine Übergangsschicht **30** und eine zwischen dem Substrat **1** und der Übergangsschicht **30** angeordnete Trennschicht **2** auf. Die Trennschicht **2** weist eine Mehrzahl von säulenartigen Strukturen **20** auf.

[0041] Die Übergangsschicht **30** und die Trennschicht **2** sind insbesondere Halbleiterschichten. Sie können aus einem selben Halbleitermaterial ausgebildet sein oder verschiedene Halbleitermaterialien aufweisen. Das Substrat **1** weist eine den säulenartigen Strukturen **20** zugewandte Hauptfläche **11** auf. Eine den säulenartigen Strukturen **20** abgewandte Hauptfläche **301** der Übergangsschicht **30** ist parallel zu der Hauptfläche **11** des Substrats ausgebildet. Die Hauptfläche **301** der Übergangsschicht **30** ist eben ausgebildet. Die Übergangsschicht **30** weist ei-

ne den säulenartigen Strukturen zugewandte Oberfläche **302** auf, die strukturiert ausgebildet ist. Die Übergangsschicht **30** ist insbesondere direkt auf die säulenartigen Strukturen **20** lateral überwachsen, so dass die strukturierte Oberfläche **302** der Übergangsschicht **30** die Positionen der säulenartigen Strukturen **20** wiedergibt. Mit anderen Worten ist die strukturierte Oberfläche **302** einer Verteilung der säulenartigen Strukturen **20** nachgebildet.

[0042] Die säulenartigen Strukturen **20** können dabei mindestens 20 % und höchstens 80 % einer Gesamtfläche der Hauptfläche **11** des Substrats **1** bedecken. Insbesondere bedecken die säulenartigen Strukturen **20** zwischen einschließlich 25 % und einschließlich 70 %, etwa zwischen einschließlich 30 % und einschließlich 60 % der Gesamtfläche der Hauptfläche **11** des Substrats **1**. Bevorzugt bedecken die säulenartigen Strukturen **20** zwischen einschließlich 40 % und 70 % der Gesamtfläche der Hauptfläche **11**, wodurch die Übergangsschicht **30** zuverlässig auf die säulenartigen Strukturen **20** aufgebracht werden kann und das Substrat **1** in einem nachfolgenden Schritt beispielsweise durch ein mechanisches Trennverfahren vereinfacht von der Übergangsschicht **30** abgetrennt werden kann.

[0043] Zur Herstellung eines solchen Epitaxie-Wafers **10** wird das Substrat **1** bereitgestellt. Das Substrat **1** kann ein Saphirsubstrat, ein Siliziumsubstrat, ein Germaniumsubstrat oder ein galliumhaltiges Substrat, etwa ein Galliumnitrid- oder ein Galliumarsenidsubstrat sein. Auf das Substrat **1** wird die Trennschicht **2** beispielsweise flächig aufgebracht. Die flächig aufgebrachte Trennschicht **2** kann anschließend mittels Phototechnik, etwa mittels einer Photomaske, und eines Ätzverfahrens zu den säulenartigen Strukturen **20** strukturiert werden. Dabei kann zunächst eine Lackschicht auf die Trennschicht **2** aufgebracht werden und anschließend die von der Lackschicht unbedeckten Stellen der Trennschicht **2** beispielsweise mittels eines Ätzprozesses, etwa eines Plasmaätzprozesses wie ICP-Ätzen (Englisch: Inductively Coupled Plasma Etching), strukturiert werden, wodurch die säulenartigen Strukturen **20** erzeugt werden. Die von der Lackschicht unbedeckten Stellen können dabei eine beliebige Geometrie aufweisen, etwa kreisförmig, ellipsenförmig oder oval, oder mehreckig, etwa viereckig oder hexagonal. Alternativ können die säulenartigen Strukturen **20** direkt auf das Substrat **1** aufgebracht werden. Die Hauptfläche **11** des Substrats kann dabei von einer Maske, etwa aus Siliziumoxid wie SiO₂, teilweise bedeckt werden, wobei die säulenartigen Strukturen **20** auf unbedeckte Stellen der Hauptfläche **11** insbesondere durch ein Epitaxie-Verfahren, etwa durch die sogenannte Molekularstrahlepitaxie, aufgewachsen werden können. Die Maske weist insbesondere Öffnungen auf, deren Querschnitt eine beliebige Geometrie aufweisen

kann, etwa kreisförmig, ellipsenförmig oder oval, oder mehreckig, etwa viereckig oder hexagonal.

[0044] Die Geometrie sowie die Verteilung der säulenartigen Strukturen **20** werden so gewählt, dass die säulenartigen Strukturen **20** zur Trennung des Substrats **2** von der Übergangsschicht **30** oder von einer auf der Übergangsschicht **30** ausgebildeten Schichtenfolge durch ein mechanisches Trennverfahren, etwa durch seitliche mechanische Krafteinwirkungen, brechbar ausgebildet sind. Mit anderen Worten werden die säulenartigen Strukturen **20** so ausgebildet, dass das Substrat **1** an der Trennschicht **2** entfernt werden kann, indem die säulenartigen Strukturen **20** zumindest teilweise oder vollständig zerstört werden.

[0045] Die säulenartigen Strukturen **20** können einen lateralen Querschnitt aufweisen, dessen maximale laterale Ausdehnung zwischen 10 nm und 100 µm, insbesondere zwischen 20 nm und 10 µm, etwa zwischen 20 nm und 1 µm sein kann. Insbesondere sind die säulenartigen Strukturen **20** auf dem Substrat **1** so verteilt, dass dieser bei der Trennung des Substrats **1** durch ein mechanisches Trennverfahren, etwa durch seitliche mechanische Einwirkungen als Sollbruchstellen dienen.

[0046] Die Abstände zwischen den säulenartigen Strukturen **20** werden so gewählt, dass die Übergangsschicht **30** auf die säulenartigen Strukturen **20** lateral, etwa mittels eines Epitaxie-Verfahrens, überwachsen kann. Die Übergangsschicht **30** bildet dabei insbesondere eine zusammenhängende Schicht.

[0047] Die Übergangsschicht **30** und die Trennschicht **2** können jeweils ein Halbleitermaterial aufweisen. Insbesondere können sie ein gleiches Halbleitermaterial aufweisen, etwa Galliumarsenid oder Galliumnitrid. Die Materialien der Übergangsschicht **30** und der Trennschicht **2** sind so ausgebildet, dass insbesondere eine kristallographische Fernordnung innerhalb des gesamten Epitaxie-Wafers **10** beibehalten wird. Beispielsweise ist ein Material des Substrats **1** so ausgewählt, dass die kristallographische Fernordnung des Substrats **1** über die Trennschicht **2** hinweg in der Übergangsschicht **30** weiterhin erhalten ist. Beispielsweise ist das Substrat **1** ein Galliumarsenid- oder ein Galliumnitrid-Substrat.

[0048] Die säulenartigen Strukturen **20** sind in der **Fig. 1** gleichmäßig auf dem Substrat **1** angeordnet. Mit anderen Worten sind die Abstände zwischen benachbarten säulenartigen Strukturen **20** im Wesentlichen gleich. Sie weisen insbesondere gleiche Querschnitte auf. Alternativ können die säulenartigen Strukturen **20** ungleichmäßig angeordnet sein. Sie können unterschiedliche Querschnitte aufweisen oder so auf dem Substrat **1** angeordnet, dass die Abstände zwischen den benachbarten säulenartigen Strukturen **20** insbesondere unterschiedlich sind.

[0049] Beispielsweise sind die säulenartigen Strukturen **20** auf dem Substrat **2** so ausgebildet, dass eine Verteilungsdichte der säulenartigen Strukturen **20** in Abhängigkeit von einem Abstand von einem Rand des Substrats variiert.

[0050] In der **Fig. 2A** variieren die Abstände benachbarter säulenartiger Strukturen **20** von einem ersten Rand des Substrats **1** stetig zu einem zentralen Bereich des Substrats. Die Abstände zwischen den benachbarten säulenartigen Strukturen **20** nehmen somit von einem Rand des Substrats **1** zu dem zentralen Bereich hin stetig zu. Abgesehen davon ist es auch möglich, dass die Abstände von einem Rand des Substrats **2** zu dem zentralen Bereich stetig abnehmen.

[0051] In der **Fig. 2B** variieren die Abstände benachbarter säulenartiger Strukturen **20** stetig von einem ersten Rand des Substrats **1** zu einem dem ersten Rand gegenüberliegenden zweiten Rand hin. Abgesehen davon ist es auch möglich, dass die Abstände lediglich bereichsweise stetig variieren.

[0052] In der **Fig. 2C** sind die säulenartigen Strukturen **20** auf dem Substrat **1** so angeordnet, dass eine Mehrzahl von Gruppen der säulenartigen Strukturen **20** ausgebildet sind, wobei ein lateraler Abstand zwischen den benachbarten Gruppen größer ist als die Abstände zwischen den säulenartigen Strukturen **20** innerhalb einer Gruppe.

[0053] In der **Fig. 2D** ist die Trennschicht **2** so ausgebildet, dass die Abstände zwischen den benachbarten säulenartigen Strukturen **20** größer sind als die vertikalen Höhen der säulenartigen Strukturen **20**.

[0054] In der **Fig. 3** ist ein Verfahrensschritt eines Ausführungsbeispiels zur Herstellung eines Bauelements **100** schematisch dargestellt. Der Epitaxie-Wafer **10** dieses Ausführungsbeispiels entspricht dem im Zusammenhang mit **Fig. 1** beschriebenen Ausführungsbeispiel für einen Epitaxie-Wafer.

[0055] Auf dem Epitaxie-Wafer **10** wird eine Schichtenfolge **3** ausgebildet. Die Schichtenfolge **3** weist eine erste Halbleiterschicht **31** eines ersten Ladungstyps, eine zweite Halbleiterschicht **32** eines zweiten Ladungstyps und eine zwischen der ersten Halbleiterschicht **31** und der zweiten Halbleiterschicht **32** angeordnete aktive Schicht **33** auf. Die Schichtenfolge **3** kann dabei direkt nach dem Aufbringen der Übergangsschicht **30** auf diese beispielsweise mittels eines Epitaxie-Verfahrens aufgebracht werden. Mit anderen Worten können die Schichtenfolge **3** und die Übergangsschicht **30** in einem gemeinsamen Verfahrensschritt, etwa in einem gemeinsamen Epitaxie-Vorgang, ausgebildet werden. Insbesondere können die Übergangsschicht **30** und die erste Halbleiterschicht **31** ein gleiches Halbleitermaterial aufweisen,

wobei sie auch in einem gemeinsamen Verfahrensschritt ausgebildet werden können.

[0056] Alternativ ist es auch möglich, dass der Epitaxie-Wafer **10** mit der Übergangsschicht **30** in einem getrennten Verfahren hergestellt wird, der Epitaxie-Wafer **10** zur Herstellung des Bauelements **10** bereitgestellt wird und die Schichtenfolge **3** in einem von der Herstellung des Epitaxie-Wafers **10** getrennten Verfahren auf die Übergangsschicht **30** des Epitaxie-Wafers **10** aufgebracht wird.

[0057] In einem weiteren Verfahrensschritt wird die Schichtenfolge **3** an einem Träger **9** oder an einem Trägerverbund **90** mittels einer Verbindungsschicht **4**, etwa einer Klebeschicht oder einer Lot-schicht, befestigt. Es ist auch möglich, dass die Verbindungsschicht **4** strahlungsreflektierend ausgebildet ist. Der Träger **9** beziehungsweise der Trägerverbund **90** können Germanium oder Silizium aufweisen oder aus Germanium oder Silizium bestehen. Insbesondere wird die Schichtenfolge **3** auf dem Trägerverbund **90** gebondet. In diesem Fall ist die Verbindungsschicht **4** als eine Bondverbindung ausgebildet.

[0058] In **Fig. 4** ist ein weiterer Verfahrensschritt eines Ausführungsbeispiels zur Herstellung eines oder einer Mehrzahl von Bauelementen in schematischer Schnittansicht dargestellt.

[0059] Dieses Ausführungsbeispiel entspricht im Wesentlichen dem im Zusammenhang mit **Fig. 3** beschriebenen Ausführungsbeispiel. Im Unterschied hierzu wird das Substrat **1** von der Schichtenfolge **3** insbesondere durch ein mechanisches Trennverfahren entfernt. Das Substrat wird von der Schichtenfolge **3** an der Trennschicht **2** abgetrennt, indem die säulenartigen Strukturen **20** zumindest teilweise oder vollständig zerstört werden. Zur Abtrennung des Substrats **1** wird eine Scherkraft angelegt, etwa durch seitliche mechanische Krafteinwirkungen auf das Substrat **1** und/oder auf die Schichtenfolge **3** beziehungsweise auf den Trägerverbund **90**. Durch die Scherkrafteinwirkung, etwa aufgrund von seitlichen mechanischen Krafteinwirkungen, werden die säulenartigen Strukturen **20** zerbrochen. Das Substrat **1** kann dabei zerstörungsfrei von der Schichtenfolge **3** abgetrennt und wiederverwendet werden.

[0060] Zur Herstellung einer Mehrzahl von Bauelementen **100** wird der Trägerverbund **90** mit der darauf angeordneten Schichtenfolge **3** nach dem Entfernen des Substrats **1** vereinzelt, wodurch eine Mehrzahl von vereinzelt Bauelementen **100** entsteht, die jeweils einen Träger **9** aus dem Trägerverbund **90** und eine zugehörige Schichtenfolge aufweisen. Ein solches Bauelement ist beispielsweise in der **Fig. 5** schematisch dargestellt.

[0061] Das Bauelement **100** in der **Fig. 5** ist frei von einem Aufwachssubstrat. In diesem Fall ist das Bauelement **100** frei von dem Substrat **1** des Epitaxie-Wafers **10**. Die aktive Schicht **33** der Schichtenfolge **3** kann so ausgebildet sein, dass diese im Betrieb des Bauelements **100** eine elektromagnetische Strahlung etwa im sichtbaren Bereich, im ultravioletten Bereich oder im infraroten Bereich emittiert. Alternativ ist es auch möglich, dass die aktive Schicht **33** im Betrieb des Bauelements **100** eine elektromagnetische Strahlung absorbiert und diese in elektrische Energie oder in elektrische Signale umwandelt.

[0062] Das Bauelement **100** weist eine dem Träger **9** abgewandte, insbesondere freiliegende Oberfläche mit teilweise entfernten säulenartigen Strukturen **20** auf. Unter teilweise entfernten säulenartigen Strukturen **20** werden insbesondere säulenartige Strukturen verstanden, die auf ihrer der Schichtenfolge **3** abgewandten Seite Trennschichten aufweist. Insbesondere bildet die Oberfläche mit den teilweise entfernten säulenartigen Strukturen **20** eine Strahlungsdurchtrittsfläche **101** etwa eine Strahlungsaustrittsfläche oder eine Strahlungseintrittsfläche des Bauelements **100**, wobei die säulenartigen Strukturen **20** als Strahlungsauskoppel- beziehungsweise als Strahlungseinkoppelstrukturen ausgebildet sind. Die säulenartigen Strukturen **20** wirken dabei insbesondere als Strahlungsauskoppelstrukturen oder als Streustrukturen, die die aus dem Bauelement austretenden Strahlungen insbesondere gleichmäßig in verschiedene Richtungen streuen. Insbesondere weisen die Strahlungsdurchtrittsfläche **101** säulenartige Strukturen **20** mit Trennschichten auf, die aus einem mechanischen Trennprozess stammen, bei dem die säulenartigen Strukturen **20** zerbrochen werden.

[0063] In **Fig. 6** ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein Bauelement **100** schematisch dargestellt. Das Bauelement **100** dieses Ausführungsbeispiels entspricht im Wesentlichen dem im Zusammenhang mit der **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsbeispiel für ein Bauelement. Im Unterschied hierzu weist das Bauelement **100** eine Spiegelschicht **5** auf, die zwischen dem Träger **9** und der Schichtenfolge **3** angeordnet ist. In der **Fig. 6** ist die Strahlungsdurchtrittsfläche **101** eine Oberfläche der Übergangsschicht **30**, wobei die Oberfläche der Übergangsschicht **30** strukturiert, jedoch frei von den säulenartigen Strukturen **20** ist. Mit anderen Worten sind die säulenartigen Strukturen **20** im Vergleich zu dem in der **Fig. 5** beschriebenen Ausführungsbeispiel vollständig entfernt.

[0064] In **Fig. 7** ist ein Ausführungsbeispiel für ein Verfahren zur Herstellung einer Mehrzahl von Bauelementen in schematischer Schnittansicht dargestellt. Dieses Ausführungsbeispiel entspricht im Wesentlichen dem in der **Fig. 3** beschriebenen Ausführungsbeispiel.

[0065] Im Unterschied hierzu wird ein Graben **23** durch die Schichtenfolge **3** und durch die Trennschicht **2** hindurch zum Substrat **1** ausgebildet, bevor die Schichtenfolge **3** an dem Trägerverbund **90** befestigt wird. Das Substrat **1** wird in einem nachfolgenden Verfahrensschritt von der Schichtenfolge **3** insbesondere so entfernt, dass der Graben **23** freigelegt wird. Es ist auch möglich, dass eine Mehrzahl von Gräben **23** ausgebildet werden. Zur Vereinzelung der Mehrzahl von Bauelementen **100** wird der Trägerverbund **90** entlang des Grabens **23** beziehungsweise entlang der Gräben **23** vereinzelte.

[0066] In **Fig. 8** ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein Verfahren zur Herstellung einer Mehrzahl von Bauelementen **100** schematisch dargestellt. Dieses Ausführungsbeispiel entspricht im Wesentlichen dem in der **Fig. 7** beschriebenen Ausführungsbeispiel.

[0067] Im Unterschied hierzu wird bei der Ausbildung der Trennschicht **2** zunächst eine Opferschicht **21**, etwa aus Aluminiumarsenid (AlAs) auf das Substrat **1**, etwa aus Galliumarsenid (GaAs) aufgebracht. Die Trennschicht **2** weist eine weitere Schicht **22** auf, die beispielsweise mittels eines Epitaxie-Verfahrens auf die Opferschicht **21** aufgebracht wird. Insbesondere weist die weitere Schicht **22** der Trennschicht **2** ein Material auf, das ätzresistenter als ein Material der Opferschicht **21** ist. Die Trennschicht **2** mit der zwischen der weiteren Schicht **22** und dem Substrat **1** angeordneten Opferschicht **21** wird anschließend zur Ausbildung einer Mehrzahl von säulenartigen Strukturen **20** etwa mittels eines Ätzverfahrens strukturiert. Die säulenartigen Strukturen **20** weisen somit jeweils einen Anteil aus der Opferschicht **21** und einen weiteren Anteil aus der weiteren Schicht **22** der Trennschicht **2** auf. Es ist auch möglich, dass solche säulenartigen Strukturen **20** direkt strukturiert, etwa durch eine Maske aus Siliziumdioxid, auf das Substrat **1** aufgebracht werden.

[0068] Gemäß dem Ausführungsbeispiel in der **Fig. 8** kann das Substrat **1** durch ein mechanisches Trennverfahren, etwa durch seitliche mechanische Kräfteinwirkungen auf das Substrat beziehungsweise auf den Trägerverbund **90** oder auf die Schichtenfolge **3**, von der Schichtenfolge **3** abgetrennt werden. Aufgrund des Vorhandenseins des Grabens **23** kann die Scherkräfte verringert werden, da ein Teil des abzuscherenden Materials der Trennschicht **2** bereits entfernt worden ist.

[0069] Alternativ oder zusätzlich wird bei der Abtrennung des Substrats **1** ein Ätzprozess angewandt. Ein Ätzmittel, zum Beispiel eine Flusssäure wie Fluorwasserstoffsäure (HF), kann in den Graben **23** beziehungsweise in die Mehrzahl von Gräben **23** zugeführt werden. Aufgrund des Kapillareffekts kann sich das Ätzmittel lateral auf dem Substrat **1** und vertikal innerhalb der Trennschicht **2** ausbreiten. Es ist auch

denkbar, dass das Ätzmittel zusätzlich zum Kapillareffekt durch Erzeugen eines Unterdrucks in die Gräben geführt beziehungsweise gezogen werden kann. Die Opferschicht **21** kann dabei teilweise oder vollständig weggeätzt sein. Bei einer vollständigen Wegätzung der Opferschicht **21** wird das Substrat **1** allein aufgrund des Ätzprozesses von der Schichtenfolge **3** abgetrennt. Durch die Ausbildung der säulenartigen Strukturen **20** und/oder der Gräben **23** wird die Menge des zu ätzenden Materials der Opferschicht **21** deutlich verringert. Im Vergleich zu einer unstrukturierten Opferschicht **21** kann die Menge des zu ätzenden Materials bis zu 50% oder mehr reduziert werden. Es ist auch möglich, dass die säulenartigen Strukturen **20** lediglich teilweise geätzt werden und zur Abtrennung des Substrats zusätzlich eine Scherkraft an das Substrat **1** und/oder an den Trägerverbund **1** beziehungsweise an die Schichtenfolge **3** angelegt wird. Bei einer Vorätzung kann die Scherkraft weiter verringert werden.

[0070] Mit der Ausbildung einer Mehrzahl von säulenartigen Strukturen in der Trennschicht kann ein besonders kostengünstiges Verfahren zur Herstellung einer Mehrzahl von Bauelementen angegeben werden, bei dem das Aufwachssubstrat vereinfacht sowie zuverlässig von den herzustellenden Bauelementen zerstörungsfrei abgetrennt wird und somit wiederverwendet werden kann. Ein solches Trennverfahren ist außerdem für ein beliebiges Aufwachssubstrat anwendbar, so dass beispielsweise ein Saphir-Substrat auch ohne Verwendung des Laser-Liftoff-Prozesses oder ein GaAs-Substrat auch ohne Verwendung von Ätzmitteln zuverlässig von der Schichtenfolge zerstörungsfrei entfernt werden kann.

[0071] Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung der Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Die Erfindung umfasst vielmehr jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauelements (**100**) mit folgenden Schritten:

a) Ausbilden oder Bereitstellen eines Epitaxie-Wafers (**10**), der ein Substrat (**1**) und eine auf dem Substrat (**1**) angeordnete Trennschicht (**2**) aufweist, wobei die Trennschicht (**2**) eine Mehrzahl von säulenartigen Strukturen (**20**) aus einem Halbleitermaterial aufweist;

b) Ausbilden einer Schichtenfolge (**3**) mit einer aktiven Schicht (**33**) auf dem Epitaxie-Wafer (**10**); und

c) Entfernen des Substrats (**1**) von der Schichtenfolge (**3**) an der Trennschicht (**2**), indem die säulenartigen Strukturen (**20**) zumindest teilweise zerstört werden.

2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem die Schichtenfolge (**3**) direkt auf den Epitaxie-Wafer (**10**) aufgebracht wird, wobei die Schichtenfolge (**3**) und die Trennschicht (**2**) ausschließlich Halbleiterschichten aufweisen.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Trennschicht (**2**) zunächst flächig auf das Substrat (**1**) aufgebracht und anschließend zur Ausbildung der säulenartigen Strukturen (**20**) strukturiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, bei dem eine Maske auf dem Substrat (**1**) ausgebildet wird und die säulenartigen Strukturen (**20**) durch die Maske auf das Substrat (**1**) strukturiert aufgebracht werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Übergangsschicht (**30**) aus einem Halbleitermaterial direkt auf die säulenartigen Strukturen (**20**) aufgebracht wird, so dass die säulenartigen Strukturen (**20**) von der Übergangsschicht (**30**) vollständig bedeckt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Herstellung einer Mehrzahl von Bauelementen (**100**), bei dem

– die Schichtenfolge (**3**) vor dem Entfernen von dem Substrat (**1**) an einem Trägerverbund (**90**) befestigt wird, und

– der Trägerverbund (**90**) nach dem Entfernen des Substrats (**1**) zur Vereinzelung der Mehrzahl der Bauelemente vereinzelt wird, so dass die vereinzelt Bauelemente jeweils einen Träger (**9**) und eine zugehörige Schichtenfolge aufweisen.

7. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem

– zumindest ein Graben (**23**) durch die Schichtenfolge (**3**) hindurch ausgebildet wird, bevor die Schichtenfolge (**3**) an dem Trägerverbund (**90**) befestigt wird,

– das Substrat (**1**) von der Schichtenfolge (**3**) so entfernt wird, dass der Graben (**23**) freigelegt wird,

– der Trägerverbund (**90**) zur Vereinzelung der Mehrzahl der Bauelemente entlang des Grabens (**23**) vereinzelt wird.

8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem der zumindest eine Graben (**23**) so ausgebildet wird, dass sich dieser durch die Trennschicht (**2**) hindurch zum Substrat (**1**) erstreckt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem zur Abtrennung des Substrats (**1**) die säulen-

artigen Strukturen (**20**) durch seitliche mechanische Kräfteinwirkungen zerbrochen werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei dem zur Abtrennung des Substrats (**1**) ein Ätzmittel in den zumindest einen Graben (**23**) zugeführt wird, das die säulenartigen Strukturen (**20**) zumindest teilweise wegätzt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem das Substrat (**1**) ein Gallium-haltiges Substrat ist oder aus Saphir ausgebildet ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem das Substrat (**1**) GaAs aufweist und die säulenartigen Strukturen (**20**) zumindest teilweise aus AlAs ausgebildet sind.

13. Epitaxie-Wafer (**10**), der ein Substrat (**1**), eine Trennschicht (**2**) und eine Übergangsschicht (**30**) aufweist, wobei

- die Übergangsschicht (**30**) und die Trennschicht (**2**) Halbleiterschichten sind,
- die Trennschicht (**2**) zwischen dem Substrat (**1**) und der Übergangsschicht (**30**) angeordnet ist,
- die Trennschicht (**2**) eine Mehrzahl von säulenartigen Strukturen (**20**) aus einem Halbleitermaterial aufweist, wobei die säulenartigen Strukturen (**20**) zur Trennung des Substrats (**1**) von der Übergangsschicht (**30**) mittels eines mechanischen Trennverfahrens brechbar ausgebildet sind.

14. Epitaxie-Wafer nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem die säulenartigen Strukturen (**20**) so auf dem Substrat (**1**) ausgebildet sind, dass eine Verteilungsdichte der säulenartigen Strukturen (**20**) in Abhängigkeit von einem Abstand von einem Rand des Substrats (**1**) variiert.

15. Epitaxie-Wafer nach einem der Ansprüche 13 bis 14, bei dem Abstände benachbarter säulenartiger Strukturen (**20**) von einem ersten Rand des Substrats (**1**) zu einem dem ersten Rand gegenüberliegenden zweiten Rand oder zu einem zentralen Bereich des Substrats (**1**) hin zumindest bereichsweise stetig variieren.

16. Bauelement (**100**) umfassend einen Träger (**9**) und eine auf dem Träger (**9**) angeordnete Schichtenfolge (**3**) mit einer aktiven Schicht (**33**), wobei das Bauelement

- frei von einem Aufwachssubstrat ist, und
- eine dem Träger (**9**) abgewandte, freiliegende Oberfläche mit teilweise entfernten säulenartigen Strukturen (**20**) aus einem Halbleitermaterial aufweist.

17. Bauelement nach dem vorhergehenden Anspruch, bei dem die aktive Schicht (**33**) im Betrieb des Bauelements (**100**) eine elektromagnetische Strahlung

emittiert, die freiliegende Oberfläche als eine Strahlungsausstrittsfläche (**101**) des Bauelements ausgebildet ist und die teilweise entfernten säulenartigen Strukturen (**20**) als Strahlungsausstrittsstrukturen ausgebildet sind.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

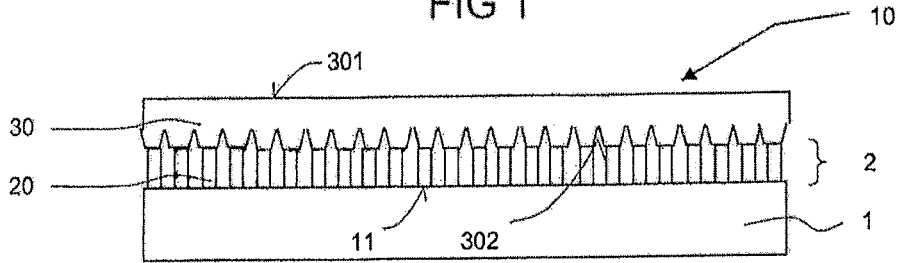


FIG 2A



FIG 2B



FIG 2C

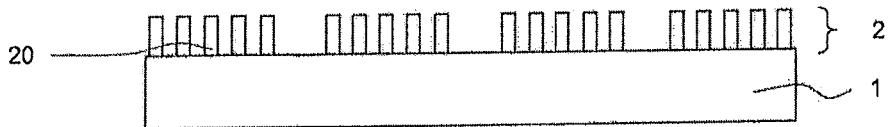


FIG 2D

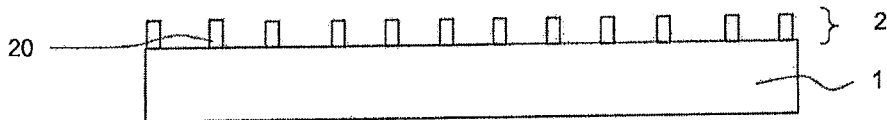


FIG 3

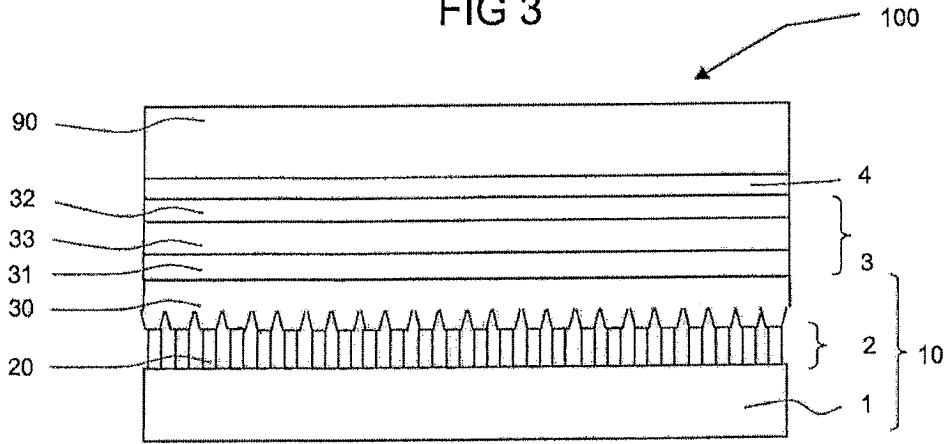


FIG 4

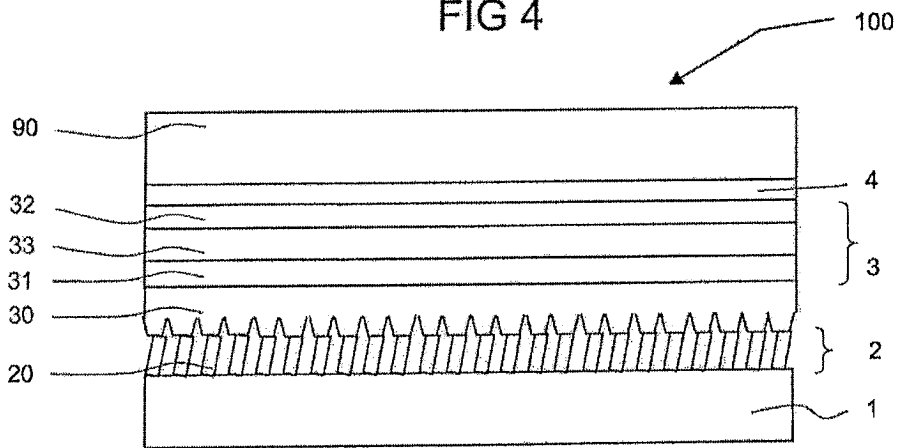


FIG 5

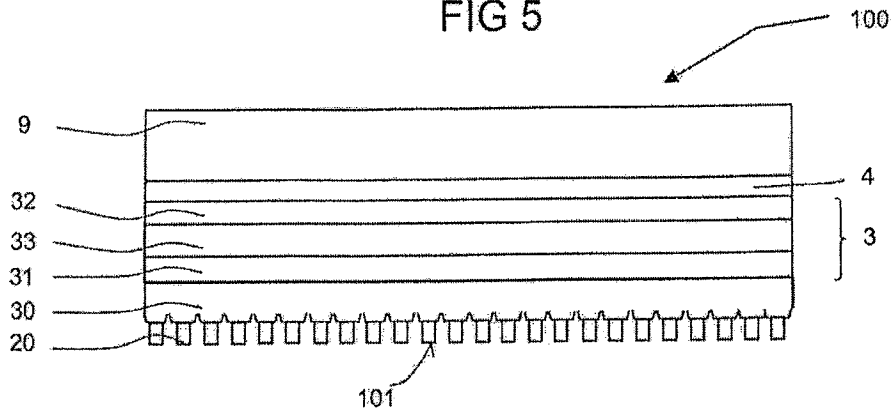


FIG 6

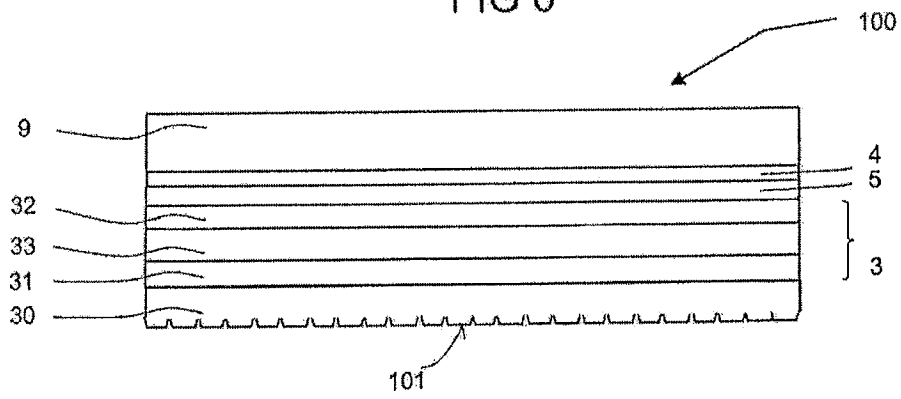


FIG 7

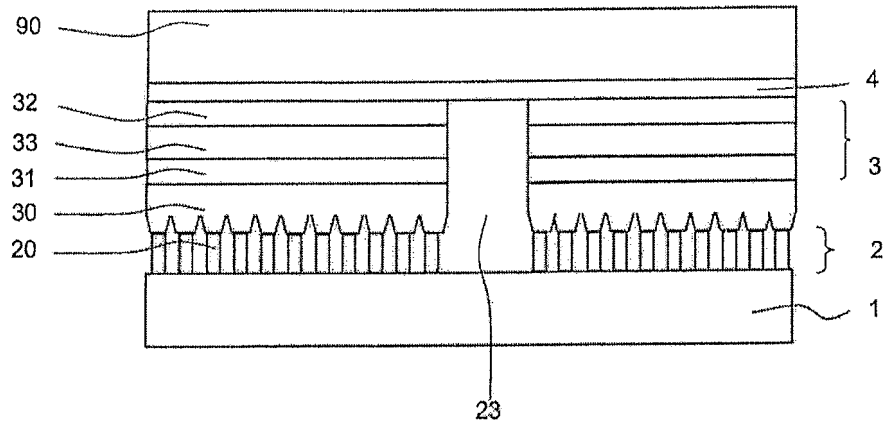


FIG 8

