



(10) **DE 11 2016 003 443 T5** 2018.04.19

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/019472**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2016 003 443.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2016/043462**

(86) PCT-Anmeldetag: **22.07.2016**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **02.02.2017**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **19.04.2018**

(51) Int Cl.: **H01L 21/02 (2006.01)**
H01L 21/205 (2006.01)
H01L 21/687 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
14/814,153 30.07.2015 US

(71) Anmelder:
Veeco Instruments Inc., Plainview, N.Y., US

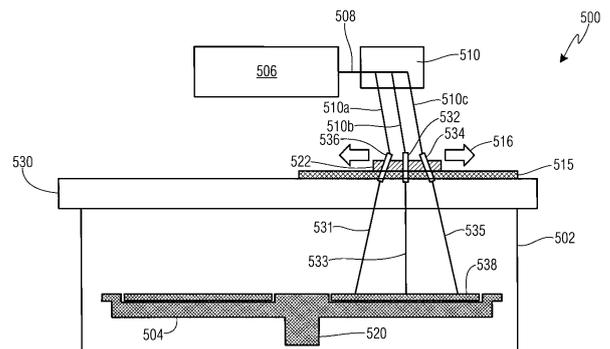
(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373
München, DE**

(72) Erfinder:
Armour, Eric, A., Plainview, N.Y., US;
**Papasouliotis, George, Plainview, N.Y., US; Kwon,
Daewon, Plainview, N.Y., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung für eine kontrollierte Einbringung und Aktivierung von Dotierstoffen in einem System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase**

(57) Zusammenfassung: Ausführungsbeispiele umfassen Systeme und Verfahren zum Erzeugen von Halbleiterwafern, die jeweils eine verringerte Anzahl von Punktdefekten aufweisen. Diese Systeme und Verfahren umfassen eine abstimmbare ultraviolette Lichtquelle (UV)-Lichtquelle, die dahin gehend gesteuert wird, während eines Epitaxialwachstums ein Raster eines UV-Lichtstrahls über eine Oberfläche eines Halbleiterwafers hinweg zu erzeugen, um Punktdefekte in dem Halbleiterwafer zu dissoziieren. Bei verschiedenen Ausführungsbeispielen ist die abstimmbare UV-Lichtquelle außerhalb einer Kammer einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase einer metallorganischen Verbindung (MOCVD-Kammer) konfiguriert und wird derart gesteuert, dass der UV-Lichtstrahl durch ein in einer Wand der MOCVD-Kammer definiertes Fenster hindurch gelenkt wird.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Ausführungsbeispiele beziehen sich auf Prozesse oder Vorrichtungen, die speziell für die Herstellung oder Behandlung von Halbleiter- oder Festkörperbauelementen oder Teilen derselben ausgelegt sind. Im Einzelnen beziehen sich Ausführungsbeispiele auf eine Verwendung einer Reduktion oder Zersetzung einer gasförmigen Verbindung, die ein Festkörperkondensat ergibt (d. h. eine chemische Abscheidung aus der Gasphase oder chemische Abscheidung aus der Gasphase einer metallorganischen Verbindung (MOCVD, Metal Organic Chemical Vapor Deposition)) und einer Bombardierung derartiger Strukturen mit optischer Strahlung während der Herstellung.

HINTERGRUND

[0002] Chemische Abscheidung aus der Gasphase beinhaltet ein Lenken eines oder mehrerer Gase, die chemische Spezies enthalten, auf eine Oberfläche eines Substrats, so dass die reaktiven Spezies reagieren und einen Niederschlag auf der Oberfläche bilden. Beispielsweise können Verbindungshalbleiter anhand eines Epitaxialwachstums eines Halbleitermaterials auf einem Substrat gebildet werden. Das Substrat ist üblicherweise ein kristallines Material in Form einer Scheibe, die üblicherweise als „Wafer“ bezeichnet wird. Verbindungshalbleiter wie beispielsweise III-V-Halbleiter werden üblicherweise gebildet, indem man Schichten des Verbindungshalbleiters unter Verwendung einer Quelle eines Metalls der Gruppe III und einer Quelle eines Elements der Gruppe V auf einen Wafer aufwächst. Bei einem Prozess, der manchmal als „Chlorid“-Prozess bezeichnet wird, wird das Metall der Gruppe III als flüchtiges Halogenid des Metalls bereitgestellt, das am häufigsten ein Chlorid wie beispielsweise GaCl_2 ist, wohingegen das Element der Gruppe V als Hydrid des Elements der Gruppe V bereitgestellt wird.

[0003] Bei einem MOCVD-Prozess umfassen die chemischen Spezies eine oder mehrere metallorganische Verbindungen wie beispielsweise Alkyle der Gruppe-III-Metalle Gallium, Indium und Aluminium und umfassen ferner eine Quelle eines Elements der Gruppe V wie beispielsweise eines oder mehrere der Hydride eines oder mehrerer der Elemente der Gruppe V, z. B. NH_3 , AsH_3 , PH_3 und Hydride von Antimon. Bei diesen Prozessen werden die Gase an der Oberfläche eines Wafers, beispielsweise eines Wafers aus Saphir, Si, GaAs, InP, InAs oder GaP, miteinander zur Reaktion gebracht, um eine III-V-Verbindung der allgemeinen Formel $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}_A\text{As}_B\text{P}_C\text{Sb}_D$ zu bilden, wobei $x+y+z$ =ungefähr 1 und $A+B+C+D$ =ungefähr 1 und jedes von x,y,z,A,B,C und D jeweils zwischen 0 und 1 liegen kann. In manchen Fäl-

len kann anstelle mancher oder aller anderen Metalle der Gruppe III Bismut verwendet werden. MOCVD wird herkömmlicherweise dazu verwendet, Halbleiterbauelemente mit pn-Übergängen oder mit einem unterschiedlichen Maß eines Dotierstoffs entweder vom n- oder vom p-Typ durch die Struktur hindurch zum Wachsen zu bringen, indem die Bedingungen in dem MOCVD-Reaktor variiert werden. Beispielsweise kann die Art, Menge oder können die Verhältnisse von in den Reaktor eingebrachten Gasen während des gesamten Abscheidungsprozesses während des Wachstums des Bauelements modifiziert werden.

[0004] MOCVD kann herkömmlicherweise dazu verwendet werden, eine Vielzahl an Halbleiterbauelementen zu erzeugen, einschließlich Halbleiterbauelementen aus Galliumnitrid (GaN). Derartige Beispiele von Halbleiterbauelementen, z. B. auf Elementen der Gruppe III-V beruhenden Verbindungshalbleitern, umfassen LEDs (light emitting diodes, Licht emittierende Dioden), FET (field electron transistor, Feldelektronentransistor), MISFET (metal-insulator-semiconductor field-effect transistor, Metall-Nichtleiter-Halbleiter-Feldeffekttransistor), HEMT (high-electron-mobility transistor, Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit), CMOS (complementary metal-oxide semiconductor, komplementärer Metalloxid-Halbleiter) und dergleichen.

[0005] GaN-Bauelemente sind üblicherweise aus undotierten Schichten oder absichtlich dotierten Schichten gebildet. Dotierte Schichten können mit z. B. Magnesium (Mg), Zink oder Beryllium dotiert sein, was zu einem Halbleiter vom p-Typ führt; oder sie können mit einem Material wie beispielsweise Germanium oder Silizium dotiert sein, was zu einem Halbleiter vom n-Typ führt. Unabsichtlich eingebrachte Verunreinigungen wie beispielsweise Kohlenstoff, Sauerstoff und viele Schwermetalle können den optischen, elektrischen spezifischen Widerstand und physikalische Charakteristika der Halbleiterfilme stark beeinträchtigen, und somit ist eine Eindämmung der Konzentration dieser Punktdefekte wünschenswert. Sogar bei einem Vorliegen dieser Verunreinigungen im Bereich von Teilen pro Million Teilen, wobei diese Verunreinigungen üblicherweise Energieniveaus aufweisen, die tief in der Bandlücke des Grundmaterials liegen, können beträchtliche Veränderungen des spezifischen Widerstands, der Raten der strahlungslosen Rekombination und manchmal der Fehlanpassung der Kristallgitter oder Oberflächenmorphologien beobachtet werden. Insbesondere hat eine Einbringung von Kohlenstoff eine starke Wirkung auf die elektrische Leitfähigkeit der Filme, wobei die Filme mit zunehmenden Kohlenstoffpegeln immer widerstandsbehaffter werden. Schwer mit Kohlenstoff dotiertes GaN wird oft als Stromsperrschicht bei FET-Bauelementen verwendet, und üblicherweise sind geringe Konzentrationen an Kohlen-

stoff notwendig, damit absichtlich dotierte Schichten ihre elektrische Leitfähigkeit erhöhen.

[0006] Für viele Bauelementstrukturen gibt es zusätzliche Arten von Punktdefekten, die erzeugt werden können, und außerdem ist es allgemein wünschenswert, ihre Dichte zu verringern oder einzudämmen; derartige Beispiele umfassen die Bildung von Wasserstoffkomplexen (H-Komplexen) von Mg-Dotierstoffen, Stickstoff-Leerstellen (V_N) oder V_N -Mg-Komplexen. Diese Punktdefekte können während des Wachstums in die Kristallstruktur des GaN-Halbleiters eingebracht werden, was zu einer Passivierung oder Kompensation von Mg-Akzeptor-Pegeln führt. Eine Passivierung oder Kompensation des Dotierstoffs verringert die Gesamtpegel an elektrisch aktivem Dotierstoff, was allgemein nicht wünschenswert ist.

[0007] Herkömmlicherweise werden derartige auf Mg bezogene Punktdefekte teilweise durch nach dem Wachstum stattfindende Ausheilungsprozesse eliminiert, die Mg-H-Komplexe dissoziieren können. Jedoch sind diese nach dem Wachstum erfolgenden Ausheilprozeduren sowohl bezüglich der Herstellungszeit als auch der Energiekosten ineffizient. Außerdem erhöhen sie die Wärmebilanz im Vergleich zu dem vorhandenen Wachstumsprozess der epitaxialen Struktur. Diese zusätzliche Wärmeeinwirkung kann zu einer Festkörperdiffusion von Dotierstoffen oder Legierungsbestandteilatomen führen, wodurch weniger eingedämmte, abrupte Zusammensetzungs- und Dotierungsübergänge entstehen.

[0008] Jüngere Studien zeigen, dass Punktdefekte eingedämmt werden können, indem der ganze Halbleiterwafer während des MOCVD-Wachstumsprozesses mit ultraviolettem Licht (UV-Licht) beaufschlagt wird, wobei das UV-Licht ein Energieniveau aufweist, das über der Bandlücke des Materials liegt, das gerade abgeschieden wird. Das UV-Licht erzeugt Minoritätsträger in den aufwachsenden Filmen, wodurch das elektrochemische Potenzial (die Quasi-Fermi-Niveaus des Materials) verändert werden. Dies kann wiederum zu reduziertem Hintergrundwasserstoff führen, der während des Mg-Dotierens eingebracht wird, kann die Einbringung einer Kohlenstoffverunreinigung potenziell verändern und wurde bereits als mögliche Ursache dafür angeführt, Stickstoff-Leerstellen in dem Film zu verringern. Marc Hoffman et al., Point Defect Management in GaN by Fermi-Level Control During Growth, Proceedings of SPIE 8986 (8. März 2014). Siehe auch Zachary Bryan et al., Fermi Level Control of Point Defects During Growth of Mg-Doped GaN, 42. Journal of Electronic Materials 5 bei 815 (2013).

[0009] Obwohl diese anfängliche Forschung einen möglichen Mechanismus zum Verringern der Anzahl von Mg-H-, V_N - oder V_N -Mg-Punktdefekten und -kom-

plexen identifiziert, ist die Implementierung aus zumindest drei Gründen nach wie vor eine Herausforderung. Erstens werden MOCVD-Prozesse einer Großserienproduktion üblicherweise in Kammern durchgeführt, die kein Eindringen von Licht begünstigen oder interne Lichtquellen aufweisen. Zweitens, falls ein geeigneter Mechanismus gefunden würde, um im Inneren des MOCVD-Reaktors Licht bereitzustellen, wäre eine Belichtung des ganzen Wafers mit UV-Licht während des Epitaxialwachstumsprozesses über eine derartige große Abscheidungsfläche hinweg energieintensiv. Drittens ist ein Betreiben der Lichtquelle auf einem niedrigen Energieniveau eventuell nicht ausreichend dafür, alle Punktdefektkomplexe zu dissoziieren, wohingegen ein Betreiben der Lichtquelle mit hoher Energie unerwünschte Reaktionen zwischen den MOCVD-Restgasen/-Dämpfen in der Kammer bewirken könnte, und die minimalen und maximalen akzeptablen Energieniveaus für das eingebrachte Licht können sich auf der Basis der bei dem MOCVD-Prozess verwendeten Vorläufer ändern.

KURZDARSTELLUNG

[0010] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der beanspruchten Erfindung umfasst ein System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase einen Reaktor einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase. Der Reaktor der chemischen Abscheidung aus der Gasphase umfasst eine Kammer, zumindest einen Wafer, der drehbar in der Kammer angebracht ist, ein Darstellungsfeld, das in einer Wand der Kammer definiert ist, und ein Gasinjektionssystem, das dazu konfiguriert ist, ein Gasgemisch in Richtung des zumindest einen Wafers zu befördern. Das System der chemischen Abscheidung aus der Gasphase umfasst ferner eine UV-Lichtquelle zum Erzeugen eines UV-Lichtstrahls, wobei die UV-Lichtquelle wirksam mit dem Darstellungsfeld gekoppelt ist. Der UV-Lichtstrahl kann eine abstimmbare Wellenlänge, eine abstimmbare Intensität und eine Richtung aufweisen. Ein Rasterungsteilsystem, das die UV-Lichtquelle steuert, ist außerhalb der Kammer angeordnet und ist dazu konfiguriert, die Richtung des UV-Lichtstrahls durch das Darstellungsfeld in Richtung der Abscheidungsoberfläche auf dem zumindest einen Wafer zu modifizieren, um ein Rastermuster auf einer Halbleiterschicht zu erzeugen, die auf dem zumindest einen in der Kammer angebrachten Wafer gebildet ist.

[0011] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel umfasst ein Verfahren zum Aufwachsen zumindest einer Halbleiterschicht ein Positionieren eines Wafers in einer Kammer, die in einem Reaktor einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase definiert ist, ein Einbringen eines Gasgemischs in die Kammer, um zu bewirken, dass die zumindest eine Halbleiterschicht epitaxial auf dem Wafer wächst, und während das Gasgemisch eingebracht wird, Verwenden

eines Rasterungssystems, um einen UV-Lichtstrahl selektiv zu lenken, um auf der zumindest einen Halbleiterschicht ein Rastermuster zu erzeugen, der UV-Strahl kann auf eine Wellenlänge und eine Intensität abgestimmt werden, die auf der zumindest einen Halbleiterschicht und dem Gasgemischs beruhen, um Punktdefekte in der zumindest einen Halbleiterschicht zu dissoziieren.

[0012] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der beanspruchten Erfindung wird ein Halbleiterbauelement wie beispielsweise ein Verbindungshalbleiter, der auf Elementen der Gruppe III-V beruht, anhand des obigen Verfahrens hergestellt, so dass die Halbleiterschichten, die zum Bilden des Bauelements verwendet werden, eine verringerte Anzahl an Punktdefekten aufweisen.

[0013] Die obige Kurzdarstellung der Erfindung soll nicht jedes veranschaulichte Ausführungsbeispiel oder jede Implementierung der vorliegenden Erfindung beschreiben. Die ausführliche Beschreibung und die folgenden Patentansprüche veranschaulichen diese Ausführungsbeispiele in weiteren Einzelheiten.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht eines MOCVD-Systems gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 2 ist eine schematische Querschnittsansicht eines MOCVD-Systems gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 3 ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens einer UV-Belichtung einer Halbleiterschicht während eines Epitaxialwachstums gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 4 ist ein schematisches Diagramm eines Steuersystems für einen MOCVD-Reaktor gemäß einem Ausführungsbeispiel.

Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht eines MOCVD-Systems gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

Fig. 6A und **Fig. 6B** sind Querschnittsansichten von Teilen der **Fig. 5**

[0014] Obwohl sich Ausführungsbeispiele für verschiedene Modifikationen und alternative Formen anbieten, wurden Besonderheiten derselben in den Zeichnungen beispielhaft gezeigt und werden nachstehend ausführlich beschrieben. Jedoch versteht es sich, dass keine Absicht besteht, die Erfindung auf die beschriebenen bestimmten Ausführungsbeispiele zu beschränken. Im Gegenteil besteht die Absicht, alle Modifikationen, Äquivalente und Alternativen, die innerhalb der Wesensart und des Schutzzumfangs der

Erfindung liegen, wie sie durch die angehängten Patentansprüche definiert sind, abzudecken.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0015] Gemäß Ausführungsbeispielen umfasst ein System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase einer metallorganischen Verbindung (MOCVD) einen Reaktor einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase, der ein Fenster aufweist, durch das ultraviolettes Licht (UV-Licht) gelenkt werden kann. Das UV-Licht kann durch eine UV-Lichtquelle bereitgestellt werden, die sowohl auf verschiedene Wellenlängen abgestimmt werden kann als auch in der Lage ist, auf spezifische Teile des Inneren einer Kammer des MOCVD-Systems gerichtet zu werden. Beispielsweise könnte das UV-Licht eine Quecksilberbogenlampe, eine Quecksilber-Xenon-Bogenlampe oder eine UV-LED oder ein -LED-Array sein. Bei verschiedenen Ausführungsbeispielen sind die UV-Lichter dazu angepasst, auf eine gewünschte Wellenlänge in dem UV-Spektrum (üblicherweise etwa 180 nm bis etwa 400 nm) abgestimmt zu werden und dazu verwendet zu werden, einen Lichtstrahl zu erzeugen, der auf verschiedene Teile der Halbleiterschicht, die man in der MOCVD-Kammer in einem Rastermuster wachsen lässt, gerichtet zu werden. Die Rastergeschwindigkeit (die die Verweilzeit pro beleuchteter Fläche definiert), die UV-Lichtwellenlänge und die Lichtintensität können jeweils dahin gehend modifiziert werden, die Wachstumscharakteristika der Halbleiterschicht mit einer verringerten Passivierung, die auf Punktdefekte zurückzuführen ist, zu modulieren. Der Gesamtfluss pro Flächeneinheit der UV-Strahlung pro Rasterabtastung kann anhand der Belichtungszeit (oder Verweilzeit) und der Intensität (Leistung pro Flächeneinheit) des einfallenden optischen Strahls, der die abgeschiedene Halbleiterschicht beleuchtet, ermittelt werden. Das rasterabgetastete Muster kann dazu verwendet werden, die gesamte Abscheidungsfläche auf den Wachstumswafern zu beleuchten. Solange die UV-Belichtung über die gesamte Halbleiterschichtoberfläche mit einer Geschwindigkeit gerastert wird, durch die die Dicke der unbelichteten Abscheidung (die durch die Wachstumsrate definiert ist) nicht die Eindringtiefe des UV-Lichts, die üblicherweise mehrere Monoschichten beträgt, überschreitet, wird die Beleuchtung den gewünschten Effekt des Veränderns der Quasi-Fermi-Niveaus in dem Material hervorrufen.

[0016] **Fig. 1** ist eine schematische Querschnittsansicht eines MOCVD-Systems **100** gemäß einem Ausführungsbeispiel. Das MOCVD-System **100** umfasst einen Reaktor **130**, eine Kammer **102**, einen Waferträger **104**, einen Wafer **105**, ein (nicht gezeigtes) Gasinjektionssystem, eine UV-Lichtquelle **106** und ein UV-Lichtleitersystem **108**. Beispiele von Gasinjektionssystemen sind in den US-Patentschriften Nr.

8,303,713 und 8,287,646 und in der US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2010/0300359, deren Inhalt jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, beschrieben. Das zuvor erwähnte Gasinjektionssystem befördert das Gasgemisch nach unten in Richtung des zumindest einen Wafers. Ein weiteres Gasinjektionssystem, das bei manchen Ausführungsbeispielen verwendet werden kann, ist ein umgekehrtes Gasinjektionssystem. Bei diesem System wird der zumindest eine Wafer in einem Suszeptor bzw. Waferträger in einer Wachstumskammer gehalten, und die Oberfläche des zumindest einen Wafers, auf der Epitaxialschichten aufgewachsen werden sollen, wird mit der Oberseite nach unten (umgekehrt) in der Wachstumskammer platziert, und die Gasinjektoren werden unter dem Suszeptor bzw. Waferträger derart angebracht, dass das Gasgemisch nach oben in Richtung des zumindest einen Wafers strömt.

[0017] Beispiele derartiger umgekehrter Gasinjektionssysteme sind in der US-Patentanmeldung Nr. 8,133,322, der US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2004/0175939 und der US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2004/0060518, deren Inhalt jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, beschrieben. Eine andere Art von Gasinjektionssystem ist die für einen MOCVD-Reaktor vom Trommeltyp. Beispiele eines derartigen Reaktors sind in der US-Patentschrift Nr. 6,217,662 und der US-Patentschrift 6,231,933, deren Inhalt jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, beschrieben. Zusätzliche Gasinjektionssysteme umfassen diejenigen, die in den veröffentlichten US-Patentanmeldungen 20140287142, 20100273320, 20070173016, 20171401203, 20160100008, 198, deren Inhalt jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, beschrieben sind.

[0018] Bei dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst das UV-Lichtleitteilsystem **108** einen Spiegel **110**, eine Linse **112** und ein Darstellungsfeld **114**. Das Darstellungsfeld **114** stellt zusätzlich dazu, dass es ein Bestandteil des Lichtleitteilsystems **108** ist, auch einen Bestandteil einer Wand der Kammer **102** dar. Die Kammer **102** ist in der **Fig. 1** gezeigten Ansicht stark vereinfacht. Die Kammer **102** definiert den Raum, in dem der MOCVD-Prozess stattfindet. Die Kammer **102** ist im Wesentlichen hermetisch abgedichtet und umfasst Eintrittstore (nicht gezeigt) für verschiedene Gase sowie Zugangstore, um Waferträger einzuführen und zu entfernen (ebenfalls nicht gezeigt). Manche Beispiele von geeigneten MOCVD-Kammern, Reaktorgehäusen und Systemen sind in den US-Patentschriften Nrn. 8,895,107; 8,303,713; 8,287,646 und 6,902,623, deren Offenbarungen jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen sind, beschrieben. Im

Handel erhältliche MOCVD-Systeme umfassen diejenigen von Veeco Instruments Inc., beispielsweise die Systeme K465i^{Wz}, MaxBright[®], Propel^{Wz}, und/oder EPIK^{Wz700}.

[0019] Der Wafer **105** ist eine Oberfläche, auf der Halbleiterschichten in der Kammer **102** epitaxial aufgewachsen werden. Je nach der Kammer **102** liegen ein oder mehrere Wafer **105** vor. Der Wafer **105** wird durch den Waferträger **104** getragen, der abnehmbar an einer Drehspindel **120** befestigt ist. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann der Wafer **105** mittels eines Drehsystems, das die Spindel **120** nicht erfordert, gedreht werden. Die Drehung des Waferträgers **104** bzw. des Wafers **105**, der durch ein Drehsystem gedreht wird, das die Spindel **120** nicht erfordert, kann auch bezüglich eines Rasterns nützlich sein, wie nachstehend ausführlicher beschrieben wird. Beispiele derartiger Drehverfahren sind in der U.S.-Patentschrift Nr. 6726769, der U.S.-Patentanmeldungsveröffentlichung 20130252404 und der U.S.-Patentanmeldungsveröffentlichung 20150075431, deren Inhalt jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, beschrieben. Bei einem Ausführungsbeispiel sind die epitaxial gewachsenen Halbleiterschichten diverse Schichten, die Halbleiterstrukturen bilden können, z. B. eine LED oder ein HEMT (Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit), deren jeweilige Beschreibung in der Technik hinreichend bekannt ist.

[0020] Der Wafer **105** kann Silizium, Saphir, Siliziumcarbid, Galliumnitrid, Aluminiumnitrid oder sonstige kristalline Substrate sein, die eine erste Schicht eines epitaxial gewachsenen Halbleitermaterials tragen. Während das Halbleitermaterial epitaxial abgeschieden wird, erstrecken sich Schichten aus Halbleitermaterial bezüglich der in **Fig. 1** gezeigten Ausrichtung allgemein weg von dem Waferträger **104** nach oben.

[0021] Die UV-Lichtquelle **106** stellt UV-Licht oder -strahlung bereit, was in **Fig. 1** durch Pfeile angegeben ist, die den abgehenden Strahl veranschaulichen, der in die Kammer **102** und auf den Waferträger **104** und den Wafer **105** sowie die epitaxial gewachsenen Halbleiterschichten gelenkt werden kann. Die UV-Lichtquelle **106** kann beispielsweise eine Quecksilberbogenlampe, eine Quecksilber-Xenon-Bogenlampe oder eine UV-LED-Glühbirne oder ein LED-Array sein. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann die UV-Lichtquelle **106** in einer kollimierenden Struktur beherbergt sein oder ein UV-Laser sein, so dass Licht, das durch die UV-Lichtquelle **106** emittiert wird, in eine bestimmte Richtung ausstrahlt und leichter auf ein gewünschtes Ziel gelenkt werden kann.

[0022] Bei manchen Ausführungsbeispielen ist die UV-Lichtquelle **106** dazu angepasst, eine selektiv abstimmbare Wellenlänge aufzuweisen. Je nach der Art

von Material, das man in der Kammer **102** wachsen lässt, können unterschiedliche Energieniveaus für die Eliminierung von Punktdefekten förderlich sein. Beispielsweise kann es bei Materialien mit großer Bandlücke wie z. B. AlN, AlGa_{0,65}N, GaN, InGa_{0,35}N, SiC, SnGe, Diamant oder BN u.a. nützlich sein, eine kürzere Wellenlänge zu verwenden, um ausreichend Energie bereitzustellen, um die Quasi-Fermi-Niveaus so weit anzuheben, dass Punktdefekte dissoziiert werden und eliminiert werden können. Als solches kann es wünschenswert sein, eine UV-Lichtquelle **106** bereitzustellen, die auf eine niedrigere Wellenlänge abgestimmt werden kann. Beispielsweise weisen AlGa_{0,65}N-Halbleiterschichten, die man in einer MOCVD-Kammer bei 1100 °C mit einem Atomverhältnis von etwa 0,65 Al- zu 0,35 Ga-Atomen (Al_{0,65}Ga_{0,35}N) wachsen lässt, eine Bandlücke von ungefähr 4 eV auf. Deshalb wäre eine Wellenlänge von 309 nm oder kürzer wünschenswert. Bei anderen Ausführungsbeispielen mit anderen Materialien oder Verhältnissen können höhere oder niedrigere Wellenlängen erwünscht sein.

[0023] Umgekehrt kann dort, wo die Bandlücke des epitaxial gewachsenen Materials relativ geringer ist, eine Verwendung einer UV-Lichtquelle **106** mit höherer Wellenlänge ausreichend und weniger energieintensiv sein. In manchen Fällen könnte eine Verwendung einer zu kurzen Wellenlänge ein ordnungsgemäßes Kristallwachstum bei manchen Materialien behindern. Als solches kann es wünschenswert sein, eine UV-Lichtquelle **106** bereitzustellen, die auf eine höhere Wellenlänge abgestimmt werden kann.

[0024] Außerdem könnten manche Materialien in der Gasphase in der Kammer **102** durch die seitens der UV-Lichtquelle **106** bereitgestellte Strahlung beeinträchtigt werden. Falls die Strahlung beispielsweise bei einer Resonanzfrequenz von Bindungsenergien der Gasphasematerialien in der Kammer **102** läge und eine derartige Strahlung durch die Kammer **102** geleitet würde, könnten Reaktionen an ungeeigneten und/oder unerwünschten Stellen in der Kammer **102**, weit weg von dem Wafer **105**, stattfinden. Als solches kann es wünschenswert sein, eine UV-Lichtquelle **106** bereitzustellen, die derart abgestimmt werden kann, dass die Wellenlänge des UV-Lichts, das sie emittiert, entweder höher oder niedriger abgestimmt werden kann, um derartige Resonanzfrequenzen zu vermeiden, während sie trotzdem noch ausreichend Energie bereitstellt, um Punktdefekte in einer auf dem Wafer **105** vorhandenen Schicht aus einem epitaxial gewachsenen Material zu dissoziieren.

[0025] Bei wieder anderen alternativen Ausführungsbeispielen kann eine zielorientierte Wellenlänge dazu verwendet werden, spezifische Bindungen in dem Material, das man gerade wachsen lässt, anzuregen. Beispielsweise könnte die Wellenlänge der UV-Lichtquelle **106** dahin gehend eingestellt werden, spezifische Bindungen anzuregen, die auf die

organischen Verbindungen der Gruppe III (z. B. TM-Ga, TMAI, TMIIn und deren zugeordnete Radikale) oder auf Zwischenaddukte, die zwischen organischen Verbindungen der Gruppe III und Verbindungen der Gruppe V gebildet sind, z. B. AsH₃, PH₃, und NH₃, bezogen sind. Das UV-Lichtleitsystem **108** ist ein System, das Licht auf ein gewünschtes Ziel richtet. Bei dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst das Lichtleitsystem **108** beispielsweise den Spiegel **110**, die Linse **112** und das Darstellungsfeld **114**. Bei alternativen Ausführungsbeispielen kann das Lichtleitsystem **108** mehr, weniger oder andere Elemente aufweisen, je nach der gewünschten Art der gewünschten Lichtleitung. Beispielsweise kann das Lichtleitsystem **108** bei alternativen Ausführungsbeispielen mehrere Spiegel, Linsen oder Darstellungsfelder umfassen. Bei Ausführungsbeispielen können Spiegel (z. B. der Spiegel **110**) ein Bestandteil eines Rasterungssystems sein, das die Position des Spiegels **110** in Abhängigkeit von der Zeit verändert.

[0026] Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, ist der Spiegel **110** ein ortsfester Spiegel, der dazu konfiguriert ist, eine durch die UV-Lichtquelle **106** erzeugte Strahlung in Richtung des Wafers **105** zu lenken. Bei dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel wird dies bewerkstelligt, indem eine ungefähr 90° betragende Kurve in der Richtung der durch die UV-Lichtquelle **106** emittierten Strahlung bereitgestellt wird. Der Spiegel **110** ist oft beträchtlich kleiner als die UV-Lichtquelle **106**. Da neben dem UV-Reaktorgehäuse **102** und vor allem neben dem Darstellungsfeld **114** vorhandener physischer Raum begrenzt sein kann, kann der Spiegel **110** bei der Positionierung und Ausrichtung der UV-Lichtquelle **106** eine vorteilhafte Flexibilität bereitstellen. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann der Spiegel **110** derart positioniert sein, dass er andere Abtastmerkmale wie beispielsweise Dokumenten-Abtasttechnologien (engl.: scanning DRT) oder ein Abtasten von Blue Pyros (engl.: scanning blue pyros), die z. B. in der U.S.-Patentschrift Nr. 7,570,368 und in der U.S.-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnr. 2013/0340677 und 2013/0343425, deren Inhalt jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, beschrieben sind, nicht beeinträchtigt. Eine entsprechende Positionierung des Spiegels **110** sowie der anderen Elemente des UV-Lichtleitsystems **108** kann dem System **100** zusätzliche Funktionalität verleihen, ohne zusätzliche Darstellungsfelder oder sonstige Zugangspunkte zu dem Inneren der Kammer **102** zu erfordern.

[0027] Die Linse **112** kann dazu verwendet werden, die durch die UV-Lichtquelle **106** bereitgestellte Strahlung auf einen gewünschten Punkt oder eine gewünschte Region zu fokussieren. Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, wird die Linse **112** beispielsweise zum Lenken der UV-Strahlung, wie durch Pfeile angegeben ist, dahin gehend verwendet, den gesamten Wafer **105** abzudecken. Jedoch ist es bei alterna-

tiven Ausführungsbeispielen oft nützlich, die Strahlung auf einen kleineren Teil des Wafers **105** zu fokussieren. Wie beispielsweise unter Bezugnahme auf **Fig. 2** ausführlicher beschrieben ist, kann bei manchen Ausführungsbeispielen die Strahlung auf einen dünnen Streifen des Wafers **105** entlang eines Radius eines epitaxial gewachsenen kreisförmigen Wafers gelenkt werden. Bei anderen Ausführungsbeispielen kann die Linse **112** in Abhängigkeit von der Form und der Materialzusammensetzung der Schicht, die gerade aufgewachsen wird, von der Drehgeschwindigkeit der Aufbauplattform **104** sowie der Wellenlänge und der Intensität der Strahlung dazu verwendet werden, die von der UV-Lichtquelle **106** ausgehende Strahlung auf verschiedene Weise zu fokussieren, wie nachstehend ausführlicher beschrieben wird.

[0028] Das Darstellungsfeld **114** ist ein Teil einer Wand der Kammer **102**, der das Eintreten von Strahlung ermöglicht. Bei dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel ermöglicht das Darstellungsfeld **114** beispielsweise das Eintreten von Strahlung, die durch die UV-Lichtquelle **106** erzeugt wird. Das Darstellungsfeld **114** kann ein optisch UV-durchlässiges Material wie z. B. ein Glasfenster, synthetischer Quarz, geschmolzener Quarz oder ein Saphirfenster sein. Synthetischer Quarz, geschmolzener Quarz oder Saphir können für das Darstellungsfeld **114** verwendet werden, um eine UV-Absorption der Strahlung mit kurzer Wellenlänge, die durch denselben hindurch transmittiert wird, zu verhindern. Allgemein kann jegliches Material zum Bilden des Darstellungsfeldes **114** verwendet werden, das innerhalb eines gewünschten Wellenlängenbereichs lichtdurchlässig ist, entsprechend der Bandlücke des Materials, das gerade aufgewachsen wird, und/oder der Energie, die zum Dissoziieren von passivierenden Punkteffekten erforderlich ist.

[0029] Bei manchen Ausführungsbeispielen kann das Darstellungsfeld **114** eine Vielzahl von Größen und Formen aufweisen. Beispielsweise kann es wünschenswert sein, einen optischen Zugang für eine Vielzahl von Werkzeugen bereitzustellen, und demgemäß werden für verschiedene Ausführungsbeispiele ein größeres Darstellungsfeld **114** oder sogar mehrere Darstellungsfelder **114** in Betracht gezogen.

[0030] Bei manchen Ausführungsbeispielen kann das System **100** dazu verwendet werden, ein GaN-basiertes Halbleiterbauelement aufzuwachsen. Während eines Wachstums einer Halbleiterstruktur unter Verwendung herkömmlicher Systeme ist ein Dotieren vom n-Typ und vom p-Typ üblicherweise ineffizient. Ein Grund für diese Ineffizienz liegt in dem hohen Maß sowohl an Durchstoßversetzungen (engl.: threading dislocations) als auch an Punktdefekten, die aufgrund des großen Gitters und der thermischen Fehl-anpassung, die zwischen den Nitridschichten und

dem Wafer vorliegen kann, auftreten. Dieses Materialsystem wird ferner durch die relative Ineffizienz einer Einbringung von N in das kristalline Gitter während standardmäßigen MOCVD-Wachstumsbedingungen (Trägergas, Wachstumstemperatur, Verhältnisse der Verbindungen der Gruppe III/der Gruppe V und in vielen Fällen Drehgeschwindigkeit des Wafers oder des Waferträgers) behindert, was zu einem hohen Maß an Stickstoff-Leerstellen führt. Wie zuvor beschrieben wurde, können derartige Defekte als Punktquellen-Kompensationszentren für die Dotierstoffe fungieren, wobei sie die Pegel der insgesamt elektrisch aktiven Dotierstoffe verringern. Das System **100** verringert das Auftreten derartiger Defekte, indem es die Abscheidungsoberfläche mit einer Geschwindigkeit rastert, die höher ist als die Wachstumsrate. Das System **100** kann dazu verwendet werden, eine Halbleiterstruktur oder ein sonstiges Festkörperbauelement wachsen zu lassen, die bzw. das weniger Punktdefekte aufweist als unter Verwendung eines herkömmlichen Systems erzeugt worden wären.

[0031] Die Drehrate des einen oder der mehreren Wafer, ob sie auf einen Waferträger geladen sind oder nicht, ist mit der Gesamtströmung der Prozessgase in dem Reaktor gekoppelt, um ein laminares Strömen der Gase über die Abscheidungsoberfläche des einen oder der mehreren Wafer hinweg bereitzustellen. Davon ausgehend kann die Rasterabtastrate anschließend so gewählt werden, dass jeder Punkt der Abscheidungsoberfläche während des Verlaufs des Epitaxialwachstums einer einzigen Monoschicht (oder mehrerer Monoschichten) von abgedecktem Material fokussiert wird. Die Intensität der UV-Lichtquelle kann dahin gehend abstimmbare sein, zwischen z. B. etwa 0,1 und 1000 W/cm² einer auf den Wafer **105** einfallenden Leistung zu liegen.

[0032] Ferner kann die Drehgeschwindigkeit des Waferträgers **104** auf dem Teil des Wafers **105** beruhen, der durch die Strahlung beleuchtet wird, die durch die UV-Lichtquelle **106** erzeugt wird. Beispielsweise kann das Lichtleitsystem **108** bei manchen Ausführungsbeispielen das durch die UV-Lichtquelle **106** erzeugte Licht auf einen Radius des Wafers **105** lenken. Bei anderen Ausführungsbeispielen, beispielsweise Ausführungsbeispielen, bei denen die UV-Lichtquelle **106** kollimiert wird, können die Elemente des Lichtleitsystems **108** dazu verwendet werden, das UV-Licht über die Oberfläche des Wafers **105** hinweg zu rastern. Das Rastern kann beispielsweise unter Verwendung eines beweglichen Spiegels **110** als Bestandteil des Lichtleitsystems **108** bewerkstelligt werden.

[0033] Eine von der UV-Quelle **106** ausgehende Strahlung, die optional durch den Spiegel **110** gerastert und/oder umgelenkt wird, kann durch die Linse **112** derart fokussiert werden, dass sie durch das Dar-

stellungsfeld **114** hindurch und in die Kammer **102** gelangt. Indem die Wellenlänge und die Intensität der UV-Lichtquelle **106** und die Positionen des Spiegels **110** und der Linse **112** relativ zu dem Darstellungsfeld **114** koordiniert werden, kann eine geeignete Beleuchtung und/oder ein geeignetes Rasterungsmuster etabliert werden, das während der Drehung des Waferträgers **104** im Wesentlichen den gesamten Wafer **105** abdeckt. Bei Ausführungsbeispielen können je nach der Einfallleistung und der Rasterabtastrate eines Oberflächenbildes entlang des Wafers **105** große Schwankungen der Intensität erzielt werden. Bei einem Ausführungsbeispiel der Offenbarung können die Wellenlänge und die Intensität der Strahlung in Abhängigkeit von der Wachstumszeit, der Filmdicke und anderen Faktoren variieren.

[0034] Durch Anlegen und/oder Rastern von Licht bei einer ausreichend geringen Wellenlänge, um Punktdefekte zu kompensieren, können während des MOCVD-Wachstumsprozesses niedrigere Abscheidungstemperaturen verwendet werden. Bei einem allgemeinen MOCVD-Prozess wird ein erstes reaktives Gas wie beispielsweise ein Gemisch aus Ammoniak oder eines anderen Hydrids der Gruppe V in Beimischung mit einem oder mehreren Trägergasen wie z. B. H_2 , N_2 oder beiden durch den ersten Gasdurchgang hindurch bereitgestellt, um eine Reihe von Strömen aus erstem reaktivem Gas zu bilden. Desgleichen wird ein zweites reaktives Gas, beispielsweise ein Metallalkyl in Beimischung mit einem Trägergas, durch den zweiten Gasdurchgang hindurch bereitgestellt, um eine Serie von Strömen eines zweiten reaktiven Gases zu bilden, die mit den Strömen aus erstem reaktivem Gas vermischt sind. Ein Trägergas wie z. B. H_2 , N_2 oder ein Gemisch derselben wird zwischen jedem Strom des ersten reaktiven Gases und die benachbarten Reihen von Strömen des zweiten reaktiven Gases angeordnet. Die Gasströme wandern in Richtung der Nähe des Waferträgers bzw. Suszeptors und des Wafers bzw. die Wafer, wo das erste und das zweite reaktive Gas an der Waferoberfläche miteinander reagieren, um einen Niederschlag wie z. B. einen III-V-Halbleiter zu bilden.

[0035] Die voraussichtlichen niedrigeren Wachstumstemperaturen, die während eines UVunterstützten Dotierens ermöglicht werden, und die Fähigkeit, Ausheilschritte bei hoher Temperatur nach dem Wachstum zu eliminieren (um beispielsweise eingebrachten Wasserstoff zu entfernen), können die Wärmebilanz für mittels MOCVD gewachsene Materialien stark verbessern. Somit können anhand einer MOCVD-Wachstumsmethodologie mit einer niedrigeren Wärmebilanz bei Ausführungsbeispielen atomar abruptere Multiquantenmulden-Regionen (MQW-Regionen), präziser gesteuerte Dotierungsprofile und sonstige Merkmale epitaxialer Strukturen, die durch Festkörperdiffusions- und -vermischungsprozesse beeinträchtigt werden, erhalten werden.

[0036] Gemäß verschiedenen Ausführungsbeispielen können manche Strukturen und Bauelementstrukturgestaltungen oder Wafer, die zuvor unter Verwendung von herkömmlichen MOCVD-Wachstumstechniken nicht erzielt werden konnten, unter Verwendung der hierin beschriebenen und/oder beanspruchten Systeme und Verfahren erzeugt werden. Derartige bisher nicht erzielbare Strukturen umfassen Strukturen, die relativ höhere Leitfähigkeitspiegel/einen geringen spezifischen Widerstand sowie damit einhergehende geringere Reihenwiderstandsheiz- und Bauelementlebensdauereinschränkungen aufweisen. Indem die Auswirkung von Punkteffekten in diesen Filmen verringert wird, können beispielsweise kommerzielle LEDs im sichtbaren und ultravioletten Bereich mit höherer Leistungsfähigkeit hergestellt werden.

[0037] Bei Ausführungsbeispielen kann ein Suszeptor einen Wafer tragen, auf dem eine Abscheidung stattfindet. Die Temperatur des Suszeptors und des Wafers können gesteuert werden, um Temperaturgradienten zu verhindern, die eine physische Verformung des Wafers bewirken würden. Bei alternativen Ausführungsbeispielen kann eine auf Temperaturgradienten zurückzuführende Verformung verhindert werden, indem der Wafer beispielsweise in einem ringförmigen Halter/Suszeptor positioniert wird, bei dem die Mitte des Wafers nicht neben anderen Komponenten angeordnet ist, die eine andere Temperatur aufweisen. Bei wieder anderen Ausführungsbeispielen kann der Wafer in dem Reaktorgehäuse positioniert werden, ohne dass überhaupt ein Suszeptor unter dem Wafer liegt. Dies kann beispielsweise dadurch bewerkstelligt werden, dass die Ränder des Wafers unter Verwendung von elektromagnetisch gesteuerten Einspannvorrichtungen gehalten werden.

[0038] **Fig. 2** ist eine schematische Querschnittsansicht eines MOCVD-Systems **200**, das dem System **100** ähnelt. Im Allgemeinen weisen gleiche Teile in jeder Figur Bezugszeichen auf, die sich in Bezug auf andere Ausführungsbeispiele, die in anderen Figuren beschrieben sind, in 100er-Stufen wiederholen. Beispielsweise ist die Kammer **202** im Wesentlichen ähnlich der Kammer **102** der **Fig. 1**. Desgleichen ist der Waferträger **204**, wie er in **Fig. 2** gezeigt ist, im Wesentlichen ähnlich dem Waferträger **104** der **Fig. 1**, der Wafer **205**, wie er in **Fig. 2** gezeigt ist, ist im Wesentlichen ähnlich dem Wafer **105** der **Fig. 1**, und das Darstellungsfeld **214** der **Fig. 2** ist im Wesentlichen ähnlich dem Darstellungsfeld **114** der **Fig. 1**.

[0039] Während des Betriebs trifft ein UV-Lichtstrahl **240** je nach der Drehrate des Waferträgers **204** auf einem anderen Teil der auf den Wafer **205** aufgewachsenen Halbleiterschicht auf.

[0040] Bei Ausführungsbeispielen kann die Drehrate des Waferträgers **204** erhöht oder abgesenkt werden, um ausreichend Strahlung bereitzustellen, um Punktdefekte in der oberen oder in den oberen Halbleiterschichten, die auf dem Wafer **205** gebildet ist bzw. sind, zu dissoziieren. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann UV-Licht, das durch das Darstellungsfeld **214** gelangt, eine ausreichend hohe Intensität und/oder niedrige Wellenlänge aufweisen, um Punktdefekte in den oberen 2-3 Schichten eines epitaxial gewachsenen Materials zu dissoziieren. Als solches kann die Drehrate des Waferträgers **204** derart eingestellt werden, dass sich der Waferträger **204** für alle 4-6 epitaxial gewachsenen Schichten etwa einmal dreht. Bei anderen Ausführungsbeispielen, die eine höhere Lichtundurchlässigkeit bezüglich der angelegten Strahlung aufweisen, kann es wünschenswerter sein, den Waferträger **204** schneller zu drehen, um Punktdefekte in weniger Schichten gewachsenen Materials zu dissoziieren.

[0041] Zusätzlich oder alternativ dazu können die Größe und Ausrichtung des Darstellungsfeldes **214** bei alternativen Ausführungsbeispielen modifiziert werden. Beispielsweise kann das Darstellungsfeld **214** bei manchen Ausführungsbeispielen über einem Radius des Wafers **205** angeordnet sein, statt des in **Fig. 2** gezeigten Darstellungsfeldes **214**, das eine Breite des vollen Durchmessers aufweist. Dort, wo sich das Darstellungsfeld **214** über den gesamten Durchmesser einer allgemein kreisförmigen Anordnung eines Waferträgers **204**/Wafers **205** erstreckt, kann dieses als „Darstellungsfeld des vollständigen Durchmessers“ oder als Darstellungsfeld vom Vollschlitzstil (engl.: full slit style viewport) bezeichnet werden. Desgleichen kann ein Darstellungsfeld, das sich lediglich entlang zumindest der Hälfte der Breite einer allgemein kreisförmigen Waferträger/Wafer-Anordnung erstreckt, als „radiales Darstellungsfeld“ bezeichnet werden. Bei wieder anderen Ausführungsbeispielen können andere Formen des Darstellungsfeldes **214** verwendet werden, die ein Rastern der Strahlung auf den Wafer **205** ermöglichen. Ein Beispiel einer anderen Art von Darstellungsfeld, das hierin betrachtet wird, ist ein oder sind mehrere sich radial erstreckende Darstellungsfelder (engl.: radially extensive viewports). Ein sich radial erstreckendes Darstellungsfeld ist ein Darstellungsfeld, das die Fähigkeit aufweist, die radiale Position der UV-Lichtquelle zu verändern, ohne die UV-Lichtquelle aus dem Darstellungsfeld zu entfernen. Ein derartiges sich radial erstreckendes Darstellungsfeld kann sich radial erstreckende Schienen umfassen, die ermöglichen, dass die UV-Lichtquelle von einer radialen Position zu einer anderen auf demselben gleitet, ohne aus dem Darstellungsfeld entnommen zu werden. Ein sich radial erstreckendes Darstellungsfeld dieses Typs ist in der U.S.-Patentschrift Nr. 8,888,360, deren Inhalt durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, näher beschrieben. Andere

Arten von Darstellungsfeldern sind für einen erfahrenen Fachmann ohne Weiteres erkennbar. Ungeachtet des Typs und/oder der Konfiguration(en) des verwendeten Darstellungsfeldes sieht die effektive Geometrie des Darstellungsfeldes bei diversen Ausführungsbeispielen vor, dass der UV-Lichtstrahl über die gesamte Halbleiterschichtoberfläche auftrifft, indem sie einen vollständigen optischen Zugang ermöglicht, um die gesamte Oberfläche der Halbleiterschicht, die auf dem zumindest einen Wafer oder der zumindest einen Abscheidungsoberfläche gebildet ist, abzubilden.

[0042] Das Gasinjektorsystem **218** bringt Reaktionsgase in die Kammer **202** ein. Üblicherweise bleibt das Gasinjektorsystem **218** feststehend, während sich der Waferträger **204** und somit der Wafer **205** dreht, und somit kann das Darstellungsfeld **214** ebenfalls feststehend gehalten werden, während sich der Wafer **205** dreht. Dies führt dazu, dass über die Zeit hinweg ein wechselnder Teil des Wafers **205** von der Außenseite des Darstellungsfeldes aus **214** sichtbar ist.

[0043] **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens **300** zur UV-Belichtung einer Halbleiterschicht während des Epitaxialwachstums. Das Verfahren **300** ist ein Beispiel eines Erzeugens einer Halbleiterschicht oder einer anderen epitaxial gewachsenen Struktur, die eine verringerte Anzahl von Punktdefekten im Vergleich zu herkömmlich erzeugten Wafers umfasst.

[0044] Bei Schritt **302** werden ein oder mehrere Wafer in einer Kammer angebracht. Der eine oder die mehreren Wafer können beispielsweise ein Saphir, Silizium oder eine sonstige kristalline Struktur sein, wie oben beschrieben wurde. Der eine oder die mehreren Wafer können beispielsweise auf einen drehbaren Waferträger in einer MOCVD-Kammer geladen werden, wie oben beschrieben wurde. Der eine oder die mehreren Wafer stellen ein geeignetes Substrat für das anschließende Epitaxialwachstum der gewünschten Halbleiterschicht bereit.

[0045] Bei Schritt **304** wird die Kammer mit einem Gasgemisch gereinigt. Beispielsweise kann gemäß dem in **Fig. 2** gezeigten System das Gasinjektorsystem **218** dazu verwendet werden, Gase in die Kammer einzubringen. Diese Gase können eine geeignete Mischung aus ultrareinen Vorläufern und anderen Gasen sein, die bei dem Epitaxialwachstum der gewünschten Halbleiterschicht verwendet werden. Der Schritt **304** kann auch ein Beseitigen von Gasen, die nicht erwünscht sind, umfassen. Beispielsweise könnte der Schritt **304** zunächst ein Erzeugen eines Vakuums in der Kammer und ein anschließendes Hinzufügen der gewünschten Gase umfassen. Bei Ausführungsbeispielen führt dies zu einem Druck in der Kammer, der ein geringes bis mittleres Vakuum ist (z. B. zwischen 1 kPa und 101 kPa).

[0046] Der Schritt **306** sieht die Einbringung von Prozessgasen in die Kammer vor. Sobald die Prozessgase in die Kammer eingebracht werden, werden der eine oder die mehreren Wafer wie bei Schritt **308** gedreht. Das Drehen des einen oder der mehreren Wafer in dieser Stufe sorgt für eine Laminarströmung der Prozessgase in der Kammer.

[0047] Bei Schritt **310** wird Wärme an den einen oder die mehreren Wafer angelegt. Heizvorrichtungen wie beispielsweise elektrische Widerstandsheizvorrichtungen, die in der Technik hinreichend bekannt sind, können verwendet werden. Beispiele derartiger Heizvorrichtungen sind in den U.S. Patentschriften Nrn. 5,759,281 und 7,666,323, deren Inhalt jeweils durch Bezugnahme in das vorliegende Dokument aufgenommen ist, beschrieben.

[0048] Wenn sich der eine oder die mehreren Wafer in der erwärmten Umgebung mit strömenden Prozessgasen drehen, beginnen sich bei Schritt **312** Halbleiterschichten zu bilden.

[0049] Bei Schritt **314** wird UV-Licht an die Halbleiterschicht angelegt. UV-Licht kann über das Darstellungsfeld in die Kammer eingebracht werden. Das angelegte UV-Licht beeinflusst die Halbleiterschicht während des Epitaxialwachstums. Das UV-Licht kann dazu verwendet werden, Punktdefekte wie beispielsweise Kohlenstoffverunreinigungen, Wasserstoffkomplexe oder Stickstoff-Leerstellen in der Halbleiterschicht während des Epitaxialwachstums zu dissoziieren. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann ein „Streifen“ von UV-Licht vorliegen, der entlang der gesamten Länge eines Darstellungsfeldes in die Kammer eingebracht ist. Bei anderen Ausführungsbeispielen kann das Licht ein Punkt sein, der über einen Streifen des Darstellungsfeldes hinweg in einem Muster, das jedem Teil der Halbleiterschicht, die entlang des Streifens unter dem Darstellungsfeld auf dem Wafer gebildet ist, ein gewünschtes Maß an Licht bereitstellt, hin und her gerastert werden kann.

[0050] Bei manchen Ausführungsbeispielen kann die Intensität des UV-Lichts dahin gehend modifiziert werden, Defekte nicht nur in einer oberen Halbleiterschicht, sondern in mehreren oberen Halbleiterschichten zu dissoziieren. Die Tiefe, bis zu der eine derartige UV-Behandlung eine gewünschte Verringerung von Punktdefekten bereitzustellen vermag, ist von der Art des Halbleitermaterials, das aufgewachsen wird, der Wellenlänge des Lichts, der Intensität des Lichts und der Zeitdauer, während der das Licht auf jedem Teil der Halbleiterschicht ruht, abhängig.

[0051] Da auf den Wafern viele Halbleiterschichten aufgewachsen werden können, wird einleuchten, dass bei vielen Ausführungsbeispielen die Schritte **306** bis **314** oftmals vorgenommen werden. Außer-

dem können die Schritte **312** und **314** je nach der Halbleiterschicht, die epitaxial aufgewachsen wird, und den gewünschten Charakteristika der Halbleiterschicht hintereinander oder gleichzeitig durchgeführt werden. Falls die Schritte **312** und **314** beispielsweise hintereinander durchgeführt würden, (i) würde bei Schritt **312** eine Schicht bis zu einer bestimmten Dicke aufgewachsen werden; (ii) würde das Wachstum der Schicht angehalten werden; (iii) würde UV-Licht bei Schritt **314** über eine bestimmte Zeitdauer hinweg und in einer bestimmten Intensität an die gewachsene Schicht angelegt werden; (iv) würde das Wachstum der Schicht erneut beginnen, wie bei Schritt **312**; und ein anschließendes Wiederholen der Schritte (ii) bis (iv), bis die gewünschten Halbleiterschichten und/oder das gewünschte Halbleiterbauelement gewachsen ist. Falls die Schritte **312** und **314** gleichzeitig vorgenommen werden, wird das UV-Licht, sobald eine Schicht bei dem Schritt **312** abgeschlossen zu werden beginnt, an die Schicht angelegt, während jede nachfolgende Schicht unter der Prämisse aufgewachsen wird, dass die Intensität des UV-Lichts je nach der Art der Schicht(en), die gerade aufgewachsen wird/werden, angepasst werden kann.

[0052] Die jedem der Schritte **306**, **308**, **310** und **314** zugeordneten Parameter sind von voneinander abhängig. Die Drehgeschwindigkeit, die Intensität des Lichts, die Wellenlänge des Lichts, das Rasterungsmuster und die Menge und die Mischung von Prozessgasen können alle während des gesamten Prozesses dahin gehend angepasst werden, einander zu ergänzen und/oder entgegenzuwirken.

[0053] Bei Schritt **316** wird bzw. werden der eine oder die mehreren Wafer, nachdem die gewünschten Halbleiterschichten aufgewachsen wurden, aus der Kammer entnommen und zur Weiterverarbeitung gesendet.

[0054] Fig. 4 ist ein schematisches Diagramm eines Steuersystems **400**, das dazu verwendet werden kann, diese Parameter zu modifizieren, auszugleichen und/oder anzupassen, um eine gewünschte epitaxial gewachsene Struktur zu erzeugen. Bei Fig. 4 empfängt eine Steuerung **402** Anweisungen zum Bilden eines Halbleiterbauelements **404**. Bei verschiedenen Ausführungsbeispielen können diese Anweisungen erzeugt werden, bevor das Strukturwachstum beginnt, oder sie können während des Wachstums angepasst werden.

[0055] Um die gewünschte Struktur aufzubauen, kann die Steuerung **402** Informationen an andere und von anderen Steuerungs- oder Mikroprozessorsystemen senden und empfangen, die betriebsfähigen Systemen zugeordnet sind, beispielsweise Systemen **100** oder **200**, wie sie zuvor unter Bezugnahme auf Fig. 1 und Fig. 2 beschrieben wurden. Beispielsweise sendet die Steuerung **402** Anweisungen

in Form eines Rastermusters **406** an eine UV-Lichtquelle/ein UV-Lichtleitsystem. Beispielsweise könnten die Anweisungen des Rastermusters **406** an einen Spiegel gesendet werden, der den Strahlenweg von einer UV-Lichtquelle zu einem Darstellungsfeld und dann auf die Halbleiterschicht modifiziert. Das Rastermuster ist abhängig von der Drehgeschwindigkeit des Wafers bzw. der Wafer [oder des Waferträgers] und/oder der Wachstumsrate der abgeschiedenen (oder gebildeten) Halbleiterschichten und/oder dem Waferlayout bzw. der geometrischen Konfiguration eines oder mehrerer Wafer auf dem Waferträger. Außerdem deckt das Rastermuster allgemein die gesamte Waferoberfläche innerhalb von etwa 1 bis etwa 10 Monoschichten des abgeschiedenen Materials ab.

[0056] Die Steuerung **402** kann auch Anweisungen bezüglich einer gewünschten UV-Lichtwellenlänge und/oder Intensitätspegeln während des Wachstums an eine UV-Lichtquelle und ein Lichtleitsystem senden. Die Steuerung **402** kann eine Anweisung senden, eine UV-Lichtquelle auf eine gewünschte Wellenlänge **408** abzustimmen, die neben anderen Faktoren in Abhängigkeit von der Art des Materials, das gerade aufgewachsen wird, oder in Abhängigkeit von der Temperatur der Kammer, während des Verarbeitens verändert werden kann. Die Steuerung **402** kann desgleichen Informationen bezüglich der UV-Lichtintensität **410** senden. Diese Intensitätsanweisung **410** kann beispielsweise in Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit oder dem Rastermuster oder dem Material, das gerade aufgewachsen wird, modifiziert werden.

[0057] Die Steuerung **402** kann auch Anweisungen bezüglich der Drehgeschwindigkeitsanweisung **412** an den Waferträger senden, um zu steuern, wie schnell sich der Waferträger unter dem angelegten Licht dreht. Die Drehgeschwindigkeit kann nach Wunsch erhöht werden, um zu gewährleisten, dass jeder Teil einer Struktur, der auf einen Wafer aufgebaut wird, der auf dem Waferträger angebracht ist, bestrahlt wird, bevor zu viele Schichten von epitaxial aufgewachsenen Strukturen abgeschieden werden, was zu Punktdefekten auf Ebenen führt, die zu tief liegen, um durch die UV-Bestrahlung beeinflusst zu werden. Desgleichen kann während Perioden eines langsameren Epitaxialwachstums die Drehgeschwindigkeit nach Wunsch verringert (oder die Rastergeschwindigkeit erhöht) werden.

[0058] Anweisungen bezüglich des Gasgemisches **414** können an das Gasinjektorsystem und/oder an Ventile gesendet werden, die jedem der Gase, die zum Erzeugen des Wafers verwendet werden, zugeordnet sind. Diese Anweisungen **414** können bei Ausführungsbeispielen während des Wachstums des Wafers gemäß den Halbleiterbauelement-Gestaltungsanweisungen **404** modifiziert werden. Ferner können diese Anweisungen eine Zunahme oder

Abnahme der Wachstumsrate des Halbleitermaterials bewirken, was eine Auswirkung auf die Drehgeschwindigkeitsanweisungen **412** und das Rastermuster **406** haben kann. Ferner können manche Gase Resonanzfrequenzen aufweisen, die seitens des UV-Lichts vermieden werden sollten. Demgemäß kann es bei bestimmten Ausführungsbeispielen wünschenswert sein, die Wellenlängenanweisungen **408** auf der Basis der Gasgemischanweisungen **414** zu modifizieren.

[0059] Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht eines MOCVD-Systems gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel. Ein System **500**, das dem oben erörterten System **100** ähnelt, umfasst einen Reaktor **530** und eine Kammer **502**. Ein Wafer **538**, der dem oben erörterten Wafer **105** ähnelt, ist eine Oberfläche, auf der epitaxial abgeschiedene Halbleiterschichten in der Kammer **502** gewachsen werden. Je nach der Gestaltung und Größe **502** der Kammer liegen ein oder mehrere Wafer **538** vor. Der Wafer **538** wird durch einen Waferträger **504** getragen, der abnehmbar an einer Drehspindel **520** befestigt ist. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann der Wafer **538** durch ein Drehsystem gedreht werden, das die Spindel **520** nicht erfordert.

[0060] Ähnlich der oben beschriebenen UV-Lichtquelle **106** stellt eine UV-Lichtquelle **506** einer Mehrkanal-Strahlenquelle **510** durch eine Leitung **508** hindurch UV-Licht oder -Strahlung bereit. Die Mehrkanal-Strahlenquelle **510** teilt das von der UV-Lichtquelle **506** stammende UV-Licht oder die von der UV-Lichtquelle **506** stammende UV-Strahlung in mehr als einen Strahl auf. Als ein in Fig. 5 gezeigtes Beispiel wird der von der UV-Lichtquelle **506** stammende Strahl in drei Strahlen aufgeteilt, die durch die Fasern **510a**, **510b** und **510c** hindurch wandern. Die Fasern **510a**, **510b** und **510c** sind Glasfaserkabel, die als Wellenleiter zum Transportieren des Lichts (nahezu verlustfreie Transmission) fungieren. Die Strahlgröße der Strahlen **531**, **533** und **535** kann angepasst werden, indem der Durchmesser ihrer jeweiligen Fasern und die Brennweite der jeweiligen Linsensätze verändert werden. Die Fasern **510a**, **510b** und **510c** sind jeweils mit Strahlenanbringungen **532**, **534** und **536** verbunden, die in einer linearen Schiebervorrichtung **522** angebracht sind, die in dem Darstellungsfeld **515** angebracht ist. Die lineare Schiebervorrichtung **522** kann sich hin- und herbewegen, wodurch sie es den Strahlen **531**, **533** und **535** ermöglicht, über die Oberfläche des Wafers **538** hinweg entlang des Darstellungsfeldes **515** in Richtung der Pfeile **516** gerastert zu werden.

[0061] Fig. 6A zeigt weitere Einzelheiten der Mehrkanal-Strahlenquelle **510**. Wenn die UV-Lichtquelle **506** einen Strahl **507** (der sich in der Leitung **508** befindet) in die Mehrkanal-Strahlenquelle **510** sendet, wird der Strahl **507** anschließend durch einen-

Linsensatz 540 fokussiert und gelangt anschließend durch Strahlenteiler 542 hindurch und wird von einem Spiegel 544 reflektiert, um drei Strahlen 562, 564 und 566 zu bilden. Fachleuten wird einleuchten, dass die Mehrkanal-Strahlenquelle 510 mehr oder weniger geteilte Strahlen sowie unterschiedliche Größen, Winkel und Formen, die jedem Strahl zugeordnet sind, aufweisen könnte, je nach beispielsweise der Größe der Oberfläche, die gerastert werden soll, oder der Art der zu rasternden Oberfläche.

[0062] Die Strahlen 562, 564 und 566 gelangen anschließend durch die Linsensätze 550, 552 bzw. 554 und werden in die Fasern 510a, 510b bzw. 510c fokussiert. Diese Fasern 510a, 510b und 510c gelangen anschließend durch einen Linsensatz und treffen dann auf den Wafer 538 auf. Wie in Fig. 6B gezeigt ist, transmittiert beispielsweise die Faser 510a den Strahl 562 (siehe Fig. 6A), der durch den Linsensatz 550 gelangt ist, durch den Linsensatz 570, wodurch ein Strahl 531 gebildet wird, der dann an dem Punkt 580 auf die Oberfläche des Wafers 538 auftrifft.

[0063] Die Anzahl von Strahlen kann auf der Basis der gewünschten Beleuchtungsabdeckung und Abtastzeit angepasst werden. Wenn eine Mehrkanal-Strahlenquelle verwendet wird, werden die Positionen der Strahlenteiler und des Spiegels in einem Winkel festgelegt, um den interessierten Beleuchtungsbereich auf dem Wafer abzudecken. Üblicherweise kann die Beleuchtungspunktgröße (580) bei einer typischen Tiefenschärfe von etwa 20 mm zwischen etwa 4 und etwa 7 mm betragen. Indem man mehrere Strahlen hat, die nicht senkrecht zu der Abtastachse verlaufen, kann ein breiterer Radiusbereich unter dem Darstellungsfeld abgedeckt werden (wie in Fig. 5 gezeigt ist). Die Strahlen können dazu konfiguriert sein, einen Wafertträger sogar dann vollständig zu belichten, wenn sich das Darstellungsfeld nicht über den gesamten Radius hinweg erstreckt. Das UV-Licht kann bezüglich seiner Intensität gleichmäßig unter den verschiedenen Fasern verteilt sein oder kann schräg (engl.: skewed) sein, um entweder die mittlere Faser oder die zwei äußersten Fasern dahin gehend zu begünstigen, gewünschte Erfordernisse zu erfüllen. Bei schrägen Ausführungsbeispielen kann das UV-Licht sich krümmen, indem unterschiedliche Strahlenteiler-Reflektanz-/Transmittanzverhältnisse ausgewählt werden. Der Linearabtastpositionszyklus kann derart entwickelt werden, dass an den äußeren Enden der Abtastposition und/oder der Überlappung in Abtastbereichen, die durch den mittleren Faserpfad im Vergleich zu den äußeren Pfaden umschrieben werden, was für eine einheitlichere Belichtung über den gesamten Träger hinweg sorgt.

[0064] Ein weiteres Ausführungsbeispiel umfasst ein Halbleiterverarbeitungssystem, das eine Mehrzahl von Verarbeitungskammern aufweist, die sich in einer einzelnen Vakuumkammer befinden, wobei je-

de Verarbeitungskammer in sich geschlossen ist und einen anderen oder selben Prozessstyp bereitstellen kann, beispielsweise die in der U.S.-Patentschrift Nr. 8,715,418 beschriebenen Systeme. In jeder Verarbeitungskammer kann auf ähnliche Weise, wie sie oben beschrieben wurde, zumindest ein Wafer drehbar angebracht sein. Manche der Verarbeitungskammern können für entsprechende Hardware und Systeme ausgelegt und damit ausgestattet sein, um MOCVD, ALD (atomic layer deposition, Atomlagenabscheidung), ALE (atomic layer etching, Atomlagenätzen), PVD (physical vapor deposition, physikalische Gasphasenabscheidung, CPVD (chemical plasma vapor deposition, chemische Plasmadampfphasenabscheidung) und andere Arten von Abscheidungsverfahren bereitzustellen, während andere der Verarbeitungskammern für entsprechende Hardware und Systeme für das UV-Lichtquellen-/Rasterungsteilsystem, Metrologie, Wärmebehandlung und andere, keine Abscheidung umfassende Behandlungs- und Testverfahren ausgelegt und damit ausgestattet sein können. Die einzelne Vakuumkammer, die die Mehrzahl von Verarbeitungskammern beherbergt, kann mit geeigneten Gasinjektionssystemen, Abzugs- und Erwärmungshardware und -systemen ausgestattet sein. Die Verarbeitungskammern weisen einen oberen Abschnitt und einen unteren Abschnitt auf. Der obere Abschnitt ist in eine Abdeckung der einzelnen Vakuumkammer hineingebaut. Der obere Abschnitt kann Gasinjektionssysteme und andere Verarbeitungssysteme enthalten, die üblicherweise bei Halbverarbeitungssystemen anzutreffen sind, oder kann verschiedene Metrologieinstrumente, thermische und sonstige, keine Abscheidung umfassende Behandlungssysteme, Testsysteme sowie das UV-Lichtquellen-/Rasterungsteilsystem enthalten. Der obere Abschnitt kann modular sein, so dass verschiedene Verarbeitungssysteme oder -instrumente je nach Bedarf eingefügt oder entnommen werden können, je nach der jeweiligen Art der Schichten, des Testens und/oder der durchzuführenden Behandlung. Der untere Abschnitt der Verarbeitungskammern ist in einem Karussell angebracht, das in einer horizontalen Ebene auf einer Mittelachse innerhalb einer Basis der einzelnen Vakuumkammer mittels eines geeigneten Drehmechanismus und -systems, der bzw. das unter dem Karussell in der einzelnen Vakuumkammer angebracht ist, gedreht wird. Der untere Abschnitt jeder Verarbeitungskammer enthält Hardware, wie oben beschrieben wurde, zum Anbringen und Drehen zumindest eines Wafers in einer horizontalen Ebene auf einer Mittelachse in jeder Verarbeitungskammer, Abzugsöffnungen, Heizsysteme und sonstige Hardware und Systeme, die für entweder eine Halbschichtwachstumsverarbeitung nützlich wären, oder verschiedene Metrologieinstrumente, thermische und andere, keine Abscheidung umfassenden Behandlungssysteme, Testsysteme sowie das UV-Lichtquellen-/Rasterungsteilsystem, je nach dem

Prozess, der in einer bestimmten Verarbeitungskammer durchzuführen ist. Die einzelne Vakuumkammer kann auch mit Verschlüssen, Ladeschleusen, Transferkammern, Roboterarmen und anderen Systemen ausgestattet sein, die bezüglich eines Anbringens oder Abnehmens zumindest eines Wafers in jeder Verarbeitungskammer in der einzelnen Vakuumkammer nützlich sind.

[0065] Wenn der obere Abschnitt und der untere Abschnitt jeder Verarbeitungskammer zusammenkommen oder in Eingriff gelangen, indem die Abdeckung der einzelnen Vakuumkammer auf der Basis der einzelnen Vakuumkammer geschlossen wird, wird jede Verarbeitungskammer bezüglich der anderen abgedichtet, um zu verhindern, dass Prozessgase oder Abgase von einer Verarbeitungskammer in eine andere Verarbeitungskammer eintreten oder diese verunreinigen. Das Abdichten der Verarbeitungskammer kann bei Ausführungsbeispielen anhand von physischer Barrieren, Vakuuman schlüssen und/oder inerten Gasvorhängen erfolgen.

[0066] Jede Verarbeitungskammer führt einen spezifischen Halbwachstumsprozess, ein Testen, eine Wärmebehandlung, eine UV-Lichtquellen/Rasterungsteilsystem-Behandlung oder eine sonstige Behandlung an dem zumindest einen Wafer durch, je nach der Art von Halbleiterschichten, die für ein bestimmtes Halbleiterbauelement aufgewachsen werden sollen. Beispielsweise könnte eine einzelne Vakuumkammer vier Verarbeitungskammern enthalten - zwei für ein MOCVD-Halbschichtwachstum und zwei für ein UV-Lichtquellen-/Rasterungsteilsystem. Die Kammern könnten derart an dem Karussell angeordnet sein, dass die MOCVD-Halbleiterschichtwachstumskammern nicht angrenzen. Zumindest ein Wafer kann in jeder Prozesskammer platziert werden, und für diesen zumindest einen Wafer, der in einer MOCVD-Halbleiterschichtwachstumskammer platziert ist, kann bzw. können (eine) bestimmte Schicht(en) aufgewachsen werden, je nach dem täglichen Bedarf des Halbleiterherstellers. Sensoren in den Nicht-MOCVD-Halbleiterschichtwachstumskammern können erfassen, ob Halbleiterschichten auf dem zumindest einen Wafer aufgewachsen wurden, so dass in dem Fall, dass keine Schichten aufgewachsen werden (das heißt, ein unbeschichteter Wafer in der Kammer vorliegt), lediglich diejenigen Behandlungen angewendet werden, die auf unbeschichtete Wafer anwendbar sind. Nachdem die bestimmte(n) Schicht(en) in den MOCVD-Halbleiterschichtwachstumskammern gewachsen wurde(n), wird das Karussell gedreht, so dass sich der zumindest eine Wafer, auf dem eine Halbleiterschicht aufgewachsen wurde, nun in der Verarbeitungskammer für das UV-Lichtquellen/Rasterungsteilsystem befindet. Während auf den unbeschichteten Wafers, die in den MOCVD-Halbleiterschichtwachstumskammern platziert sind, eine Halbleiter-

schicht aufgewachsen wird, kann bzw. können derjenige Wafer bzw. diejenigen Wafer, auf dem bzw. denen eine Halbleiterschicht aufgewachsen wurde, mit dem UV-Lichtquellen/Rasterungsteilsystem behandelt werden. Wenn die gewünschten Schichten und Behandlungen abgeschlossen sind, wird das Karussell gedreht, so dass sich die mit dem UV-Lichtquellen/Rasterungsteilsystem verarbeiteten beschichteten Wafer in den MOCVD-Halbleiterschichtwachstumskammern befinden, und die kürzlich beschichteten Wafer aus den MOCVD-Halbleiterschichtwachstumskammern befinden sich in der Verarbeitungskammer, in der das UV-Lichtquellen/Rasterungsteilsystem angewendet werden kann. Diese Abfolge kann wiederholt werden, bis die gewünschte Dicke einer gegebenen Halbleiterschicht aufgewachsen und behandelt wurde. Der zumindest eine vollständig gewachsene und behandelte Wafer kann zur Weiterverarbeitung aus der einzelnen Vakuumkammer entnommen werden.

[0067] Gewöhnliche Fachleute auf den relevanten Gebieten werden erkennen, dass die Erfindung weniger Merkmale aufweisen kann als bei jeglichem oben beschriebenen einzelnen Ausführungsbeispiel veranschaulicht sind. Die hierin beschriebenen Ausführungsbeispiele sollen keine erschöpfende Darstellung der Art und Weise sein, wie die verschiedenen Merkmale der Erfindung kombiniert werden können. Demgemäß sind die Ausführungsbeispiele nicht sich gegenseitig ausschließende Kombinationen von Merkmalen; vielmehr kann die Erfindung eine Kombination verschiedener einzelner Merkmale aufweisen, die aus verschiedenen einzelnen Ausführungsbeispielen ausgewählt sind, wie gewöhnlichen Fachleuten einleuchten dürfte. Ferner können Elemente, die bezüglich eines Ausführungsbeispiels beschrieben sind, sogar dann bei anderen Ausführungsbeispielen implementiert werden, wenn sie bei diesen Ausführungsbeispielen nicht beschrieben sind, es sei denn, es ist etwas anderes angegeben. Obwohl sich ein unabhängiger Patentanspruch in den Patentansprüchen auf eine spezifische Kombination mit einem oder mehreren anderen Patentansprüchen beziehen kann, können andere Ausführungsbeispiele auch eine Kombination des abhängigen Patentanspruchs mit dem Gegenstand jedes anderen abhängigen Patentanspruchs oder eine Kombination eines oder mehrerer Merkmale mit anderen abhängigen oder unabhängigen Patentansprüchen umfassen. Derartige Kombinationen sind hierin vorgeschlagen, es sei denn, es ist angegeben, dass eine spezifische Kombination nicht beabsichtigt ist. Ferner ist beabsichtigt, auch Merkmale eines Patentanspruchs in jeglichem anderen unabhängigen Patentanspruch zu umfassen, auch wenn dieser Patentanspruch nicht direkt von dem unabhängigen Patentanspruch abhängig gemacht wird.

[0068] Jegliche Aufnahme von obigen Dokumenten in das vorliegende Dokument durch Bezugnahme ist dahin gehend eingeschränkt, dass kein Gegenstand aufgenommen wird, der der hierin erfolgten expliziten Offenbarung entgegensteht. Jegliche Aufnahme von obigen Dokumenten in das vorliegende Dokument durch Bezugnahme ist dahin gehend eingeschränkt, dass keine in den Dokumenten enthaltenen Patentansprüche durch Bezugnahme in das vorliegende Dokumente aufgenommen sind. Jegliche Aufnahme von obigen Dokumenten in das vorliegende Dokument durch Bezugnahme ist ferner dahin gehend eingeschränkt, dass jegliche in den Dokumenten angegebenen Definitionen nicht durch Bezugnahme in das vorliegende Dokumente aufgenommen sind, es sei denn, sie sind ausdrücklich in dem vorliegenden Dokument enthalten.

[0069] Für die Zwecke der Interpretation der Patentansprüche wird ausdrücklich beabsichtigt, dass die Bestimmungen von Paragraph **112**, sechster Abschnitt, gemäß 35 U.S.C. nicht herangezogen werden sollen, es sei denn, die spezifischen Begriffe „Einrichtung für“ oder „Schritt für“ sind in einem Patentanspruch angeführt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 8303713 [0016, 0018]
- US 8287646 [0016, 0018]
- US 8133322 [0017]
- US 2004/0175939 [0017]
- US 2004/0060518 [0017]
- US 6217662 [0017]
- US 6231933 [0017]
- US 20140287142 [0017]
- US 20100273320 [0017]
- US 20150007771 [0017]
- US 20130167771 [0017]
- US 20140014039 [0017]
- US 20120160170 [0017]
- US 20120048198 [0017]
- US 8895107 [0018]
- US 6902623 [0018]
- US 6726769 [0019]
- US 20130252404 [0019]
- US 20150075431 [0019]
- US 7570368 [0026]
- US 2013/0340677 [0026]
- US 2013/0343425 [0026]
- US 8888360 [0041]
- US 8715418 [0064]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Marc Hoffman et al., Point Defect Management in GaN by Fermi-Level Control During Growth, Proceedings of SPIE 8986 (8. März 2014). [0008]
- Siehe auch Zachary Bryan et al., Fermi Level Control of Point Defects During Growth of Mg-Doped GaN, 42. Journal of Electronic Materials 5 bei 815 (2013) [0008]

Patentansprüche

1. Ein System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase, das folgende Merkmale aufweist: einen Reaktor einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase, der folgende Merkmale umfasst: eine Kammer; einen drehbaren Waferträger, der dazu angepasst ist, zumindest einen Wafer aufzunehmen; zumindest einen Wafer, der an dem drehbaren Waferträger in der Kammer angebracht ist; ein in einer Wand der Kammer definiertes Darstellungsfeld; und ein Gasinjektionssystem, das dazu konfiguriert ist, ein Gasgemisch in Richtung des zumindest einen Wafers zu befördern; eine UV-Lichtquelle, die dazu konfiguriert ist, einen UV-Lichtstrahl zu erzeugen, wobei die UV-Lichtquelle wirksam mit dem Darstellungsfeld gekoppelt ist; ein Rasterungsteilsystem, das in Kommunikation mit der UV-Lichtquelle steht und dazu angepasst ist, den UV-Lichtstrahl durch das Darstellungsfeld hindurch in Richtung des zumindest einen Wafers zu steuern, um ein Rastermuster auf einer Halbleiterschicht zu erzeugen, die auf dem zumindest einen in der Kammer angebrachten Wafer gebildet ist.
2. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem die UV-Lichtquelle selektiv darauf abgestimmt ist, ein Quasi-Fermi-Niveau der Halbleiterschicht anzuheben und dadurch Punktdefekte in der Halbleiterschicht ohne ein Ausheilen der Halbleiterschicht bei hoher Temperatur nach dem Wachstum zu dissoziieren.
3. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem die Halbleiterschicht eine undotierte oder dotierte Schicht aufweist, die aus einem Material mit einer großen Bandlücke gebildet ist, und bei dem die UV-Lichtquelle selektiv darauf abgestimmt ist, einen spezifischen Widerstand der undotierten oder dotierten Schicht über eine Modulation der Punktdefektdichte zu verändern.
4. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem die UV-Lichtquelle darauf abgestimmt ist, ein Energieniveau zu erzeugen, das sich von einem Energieniveau unterscheidet, das entweder Gasphasenreaktionen oder chemische Oberflächenatomreaktionen eines Materials, das auf die Halbleiterschicht aufgewachsen wird, beeinflusst.
5. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem der UV-Lichtstrahl auf eine Wellenlänge abgestimmt ist, die dafür geeignet ist, spezifische Bindungen anzuregen, die auf organische Verbindungen der Gruppe III oder auf Zwischenaddukte, die zwischen den organischen

Verbindungen der Gruppe III und Verbindungen der Gruppe V gebildet sind, bezogen sind.

6. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem der drehbare Waferträger während des Epitaxialwachstums mit einer vorbestimmten Drehgeschwindigkeit gedreht wird und bei dem das Rasterungssystem das UV-Licht ansprechend auf die vorbestimmte Drehgeschwindigkeit derart steuert, dass das UV-Licht derart auf eine Mehrzahl von Regionen der Halbleiterschicht auftrifft, dass Punktdefekte in diesen Regionen dissoziiert werden.

7. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 6, bei dem das Rastermuster von entweder der Drehgeschwindigkeit des einen oder der mehreren Wafer und/oder der Wachstumsrate der abgeschiedenen Halbleiterschichten und/oder der Gestaltung des zumindest einen Wafers abhängig ist.

8. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 6, bei dem das Rasterungssystem den UV-Lichtstrom ansprechend auf die Charakteristika der abgeschiedenen Schicht(en) steuert.

9. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem die UV-Lichtquelle ein Array aus UV-LED-Quellen umfasst, von denen zumindest einige unterschiedliche Wellenlängen emittieren.

10. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem das Darstellungsfeld in einer Geometrie konfiguriert ist, die einen vollständigen optischen Zugang ermöglicht, um die gesamte Oberfläche der Halbleiterschicht abzubilden.

11. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem das Fenster aus optisch UV-durchlässigem Material hergestellt ist.

12. Das System einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase gemäß Anspruch 1, bei dem der zumindest eine Wafer zumindest eine epitaxial aufgewachsene Halbleiterschicht aufweist.

13. Ein Halbleiterverarbeitungssystem, das dazu konfiguriert ist, eine oder mehrere Bauelementschichten auf zumindest einem Wafer wachsen zu lassen, wobei das System folgende Merkmale aufweist: eine einzelne Vakuumkammer, die eine Mehrzahl von Verarbeitungskammern aufweist, wobei jede der Mehrzahl von Verarbeitungskammern einen oberen Abschnitt und einen unteren Abschnitt aufweist, wo-

bei die einzelne Vakuumkammer folgende Merkmale aufweist:

eine Abdeckung, die den oberen Abschnitt jeder der Mehrzahl von Verarbeitungskammern enthält, wobei jeder obere Abschnitt zumindest ein Gasinjektionssystem und zumindest entweder Metrologieinstrumente und/oder thermische und andere, keine Abscheidung umfassenden Behandlungssysteme und/oder Testsysteme und/oder eine UV-Lichtquelle mit einem Rasterungsteilsystem, die in Kommunikation mit der UV-Lichtquelle stehen, aufweist; und eine Basis, die ein Karussell aufweist, das drehbar in der Basis angebracht ist, wobei das Karussell den unteren Abschnitt jeder der Mehrzahl von Verarbeitungskammern enthält, wobei jeder untere Abschnitt dazu angepasst ist, zumindest einen drehbar darin angebrachten Wafer aufzunehmen, wobei dann, wenn der obere Abschnitt und der untere Abschnitt jeder der Mehrzahl von Verarbeitungskammern durch Schließen der Abdeckung auf der Basis in Eingriff genommen sind, jede der Mehrzahl von Verarbeitungskammern bezüglich jeder anderen Verarbeitungskammer abgedichtet ist.

14. Ein Verfahren zum Aufwachsen zumindest einer Halbleiterschicht, das folgende Schritte aufweist: Positionieren zumindest eines Wafers in einer Kammer, die in einem Reaktor einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase definiert ist; Einbringen eines Gasgemischs in die Kammer, um zu bewirken, dass die zumindest eine Halbleiterschicht epitaxial auf dem zumindest einen Wafer wächst; und selektives Lenken eines US-Lichtstrahls durch ein Rasterungssystem hindurch, um ein Rastermuster auf der zumindest einen Halbleiterschicht zu erzeugen, wobei der UV-Lichtstrahl selektiv auf die zumindest eine Halbleiterschicht und das Gasgemisch abgestimmt ist, um Punktdefekte in der zumindest einen Halbleiterschicht zu dissoziieren.

15. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, das ferner ein Abstimmen des UV-Strahls dahin gehend aufweist, ein Quasi-Fermi-Niveau der zumindest einen Halbleiterschicht anzuheben und dadurch Punktdefekte in der zumindest einen Halbleiterschicht ohne ein Ausheilen der zumindest einen Halbleiterschicht bei hoher Temperatur nach dem Wachstum zu dissoziieren.

16. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem die zumindest eine Halbleiterschicht eine undotierte oder dotierte Schicht aufweist, die aus einem Material mit einer großen Bandlücke gebildet ist, und bei dem der UV-Lichtstrahl selektiv darauf abgestimmt ist, einen spezifischen Widerstand der un-dotierten oder dotierten Schicht über eine Modulation der Punktdefektdichte zu verändern.

17. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem der UV-Lichtstrahl darauf abgestimmt ist, ein Ener-

gieniveau zu erzeugen, das sich von einem Energieniveau unterscheidet, das entweder Gasphasenreaktionen oder chemische Oberflächenatomreaktionen des Materials, das auf die zumindest eine Halbleiterschicht aufgewachsen wird, beeinflusst.

18. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, das ferner ein Abstimmen des UV-Lichtstrahls auf eine Wellenlänge aufweist, die dafür geeignet ist, spezifische Bindungen anzuregen, die auf organische Verbindungen der Gruppe III oder auf Zwischenaddukte, die zwischen den organischen Verbindungen der Gruppe III und Verbindungen der Gruppe V gebildet sind, bezogen sind.

19. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, das ferner ein Drehen des zumindest einen Wafers mit einer vorbestimmten Drehgeschwindigkeit während des Epitaxialwachstums derart aufweist, dass der UV-Lichtstrahl derart auf eine Mehrzahl von Regionen der zumindest einen Halbleiterschicht auftrifft, dass Punktdefekte in diesen Regionen dissoziiert werden.

20. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, das ferner ein Auswählen eines Rastermusters auf der Basis entweder der Drehgeschwindigkeit des einen oder der mehreren Wafer und/oder der Wachstumsrate der abgeschiedenen Halbleiterschichten und/oder der Gestaltung des einen oder der mehreren Wafer aufweist.

21. Das Verfahren gemäß Anspruch 19, das ferner ein Variieren der vorbestimmten Drehgeschwindigkeit während des Epitaxialwachstums während des Einbringens des Gasgemischs aufweist.

22. Das Verfahren gemäß Anspruch 19, bei dem die Drehgeschwindigkeit derart ausgewählt wird, dass eine vorbestimmte Anzahl von Halbleiterschichten pro Drehung aufgewachsen werden.

23. Das Verfahren gemäß Anspruch 18, bei dem das UV-Licht auf eine Intensität abgestimmt wird, die auf der Zusammensetzung der Halbleiterschicht beruht.

24. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem das Gasgemisch und der UV-Lichtstrahl auf sequenzielle Weise eingebracht bzw. angelegt werden.

25. Das Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem das Gasgemisch und der UV-Lichtstrahl gleichzeitig eingebracht bzw. angelegt werden.

26. Das Verfahren gemäß Anspruch 18, bei dem das UV-Licht auf eine Wellenlänge abgestimmt wird, die auf der Zusammensetzung der abgeschiedenen Halbleiterschicht beruht.

27. Ein Halbleiterbauelement, das anhand des folgenden Prozesses hergestellt ist:

Positionieren zumindest eines Wafers in einer Kammer, die in einem Reaktor einer chemischen Abscheidung aus der Gasphase definiert ist;

Einbringen eines Gasgemisches in die Kammer, wobei das Einbringen des Gasgemisches bewirkt, dass eine oder mehrere Halbleiterschichten epitaxial auf dem Wafer wachsen; und

während des Einbringens des Gasgemisches, Verwenden eines Rasterungssystems, um einen UV-Lichtstrahl selektiv zu lenken, um auf der einen oder den mehreren Halbleiterschichten ein Rastermuster zu erzeugen, wobei der UV-Strahl selektiv auf die eine oder die mehreren Halbleiterschichten und das Gasgemisch abgestimmt wird, um Punktdefekte in der einen oder den mehreren Halbleiterschichten zu dissoziieren.

28. Das Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 27, das ferner ein Abstimmen des UV-Lichtstrahls dahin gehend aufweist, ein Quasi-Fermi-Niveau der einen oder der mehreren Halbleiterschichten anzuheben und dadurch Punktdefekte in der einen oder den mehreren Halbleiterschichten ohne ein Ausheilen der einen oder der mehreren Halbleiterschichten bei hoher Temperatur nach dem Wachstum zu dissoziieren.

29. Das Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 27, bei dem die eine oder die mehreren Halbleiterschichten eine undotierte oder dotierte Schicht aufweisen, die aus einem Material mit einer großen Bandlücke gebildet ist, und bei dem der UV-Lichtstrahl selektiv darauf abgestimmt ist, einen spezifischen Widerstand der undotierten oder dotierten Schicht über eine Modulation der Punktdefektdichte zu verändern.

30. Das Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 27, bei dem der Prozess ferner ein Abstimmen des UV-Lichtstrahls auf eine Wellenlänge aufweist, um spezifische Bindungen anzuregen, die auf organische Verbindungen der Gruppe III oder auf Zwischenaddukte, die zwischen organischen Verbindungen der Gruppe III und Verbindungen der Gruppe V gebildet sind, bezogen sind.

31. Das Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 27, bei dem der Prozess ferner ein Drehen des zumindest einen Wafers mit einer vorbestimmten Drehgeschwindigkeit während des Epitaxialwachstums derart aufweist, dass der UV-Lichtstrahl derart auf eine Mehrzahl von Regionen der Halbleiterschicht auftrifft, dass Punktdefekte in diesen Regionen dissoziiert werden.

32. Das Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 27, bei dem der Prozess ferner ein Drehen des zumindest einen Wafers mit einer derartigen Drehgeschwindigkeit aufweist, dass pro Drehung eine vor-

bestimmte Anzahl von Schichten der einen oder der mehreren Halbleiterschichten gewachsen werden.

33. Das Halbleiterbauelement gemäß Anspruch 32, bei dem die vorbestimmte Anzahl einer oder mehrerer Halbleiterschichten auf der Basis der Intensität des UV-Lichts und einer Zusammensetzung der einen oder mehreren Halbleiterschichten ausgewählt ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

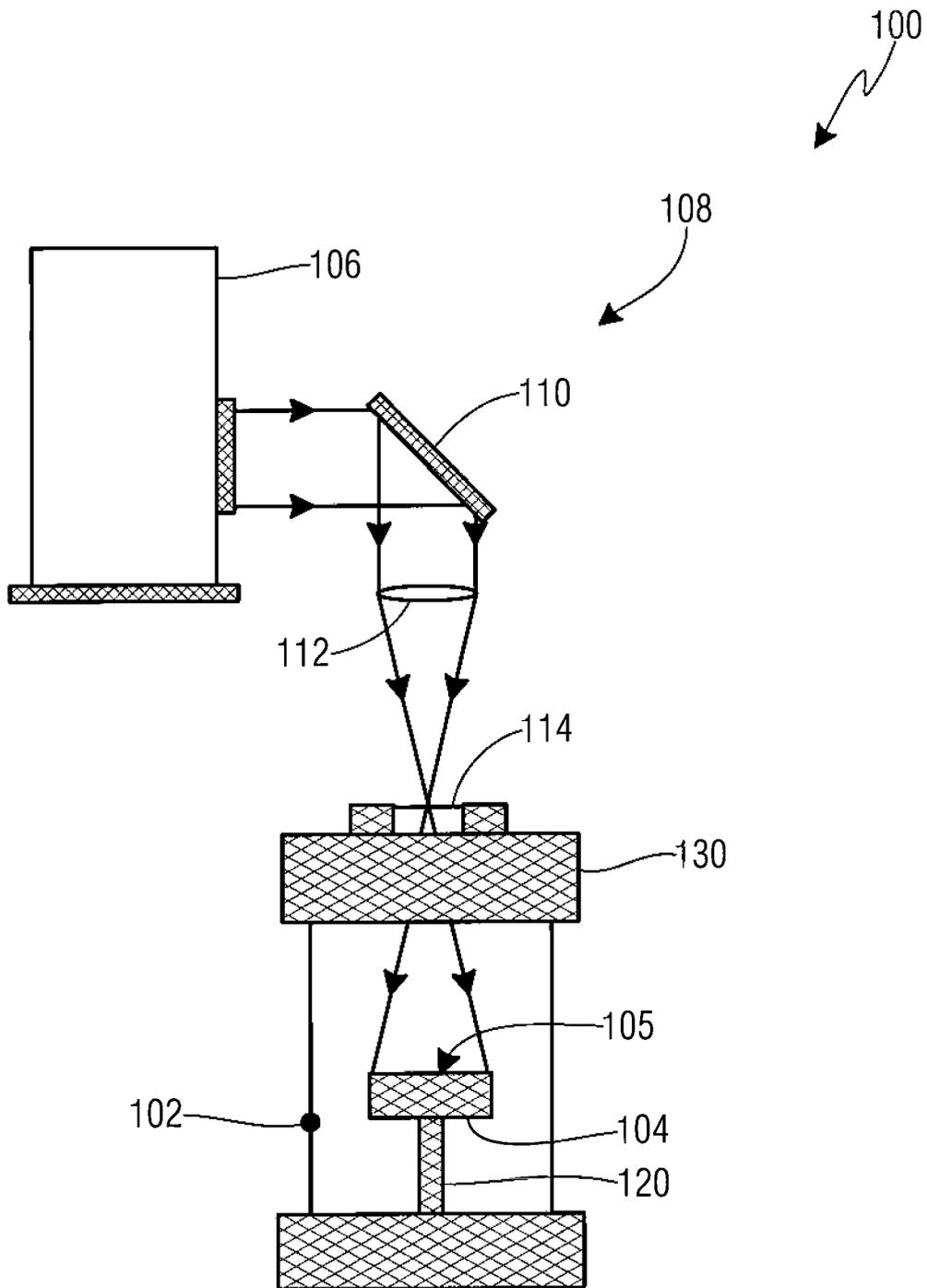


Fig. 1

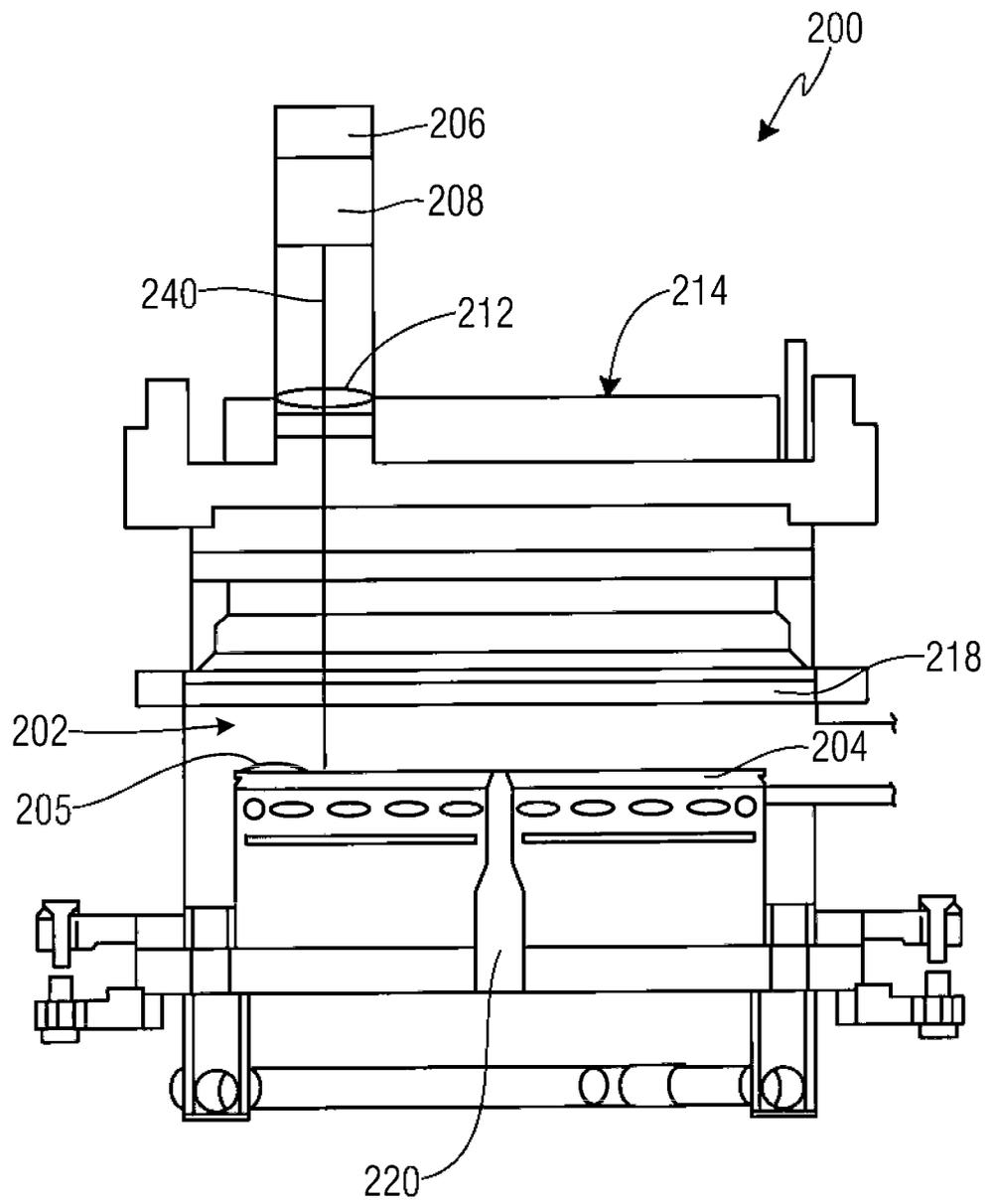


Fig. 2

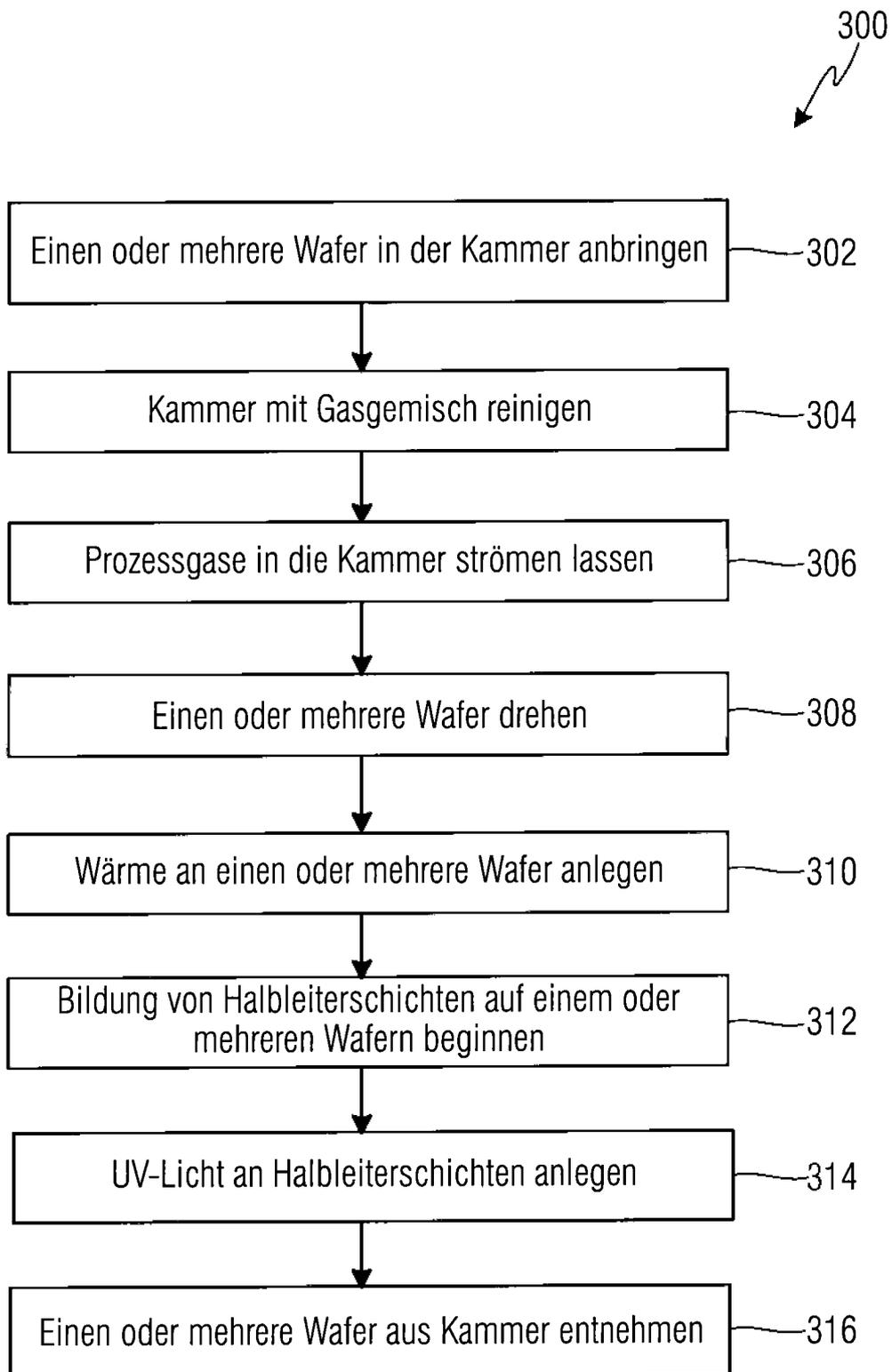


Fig. 3

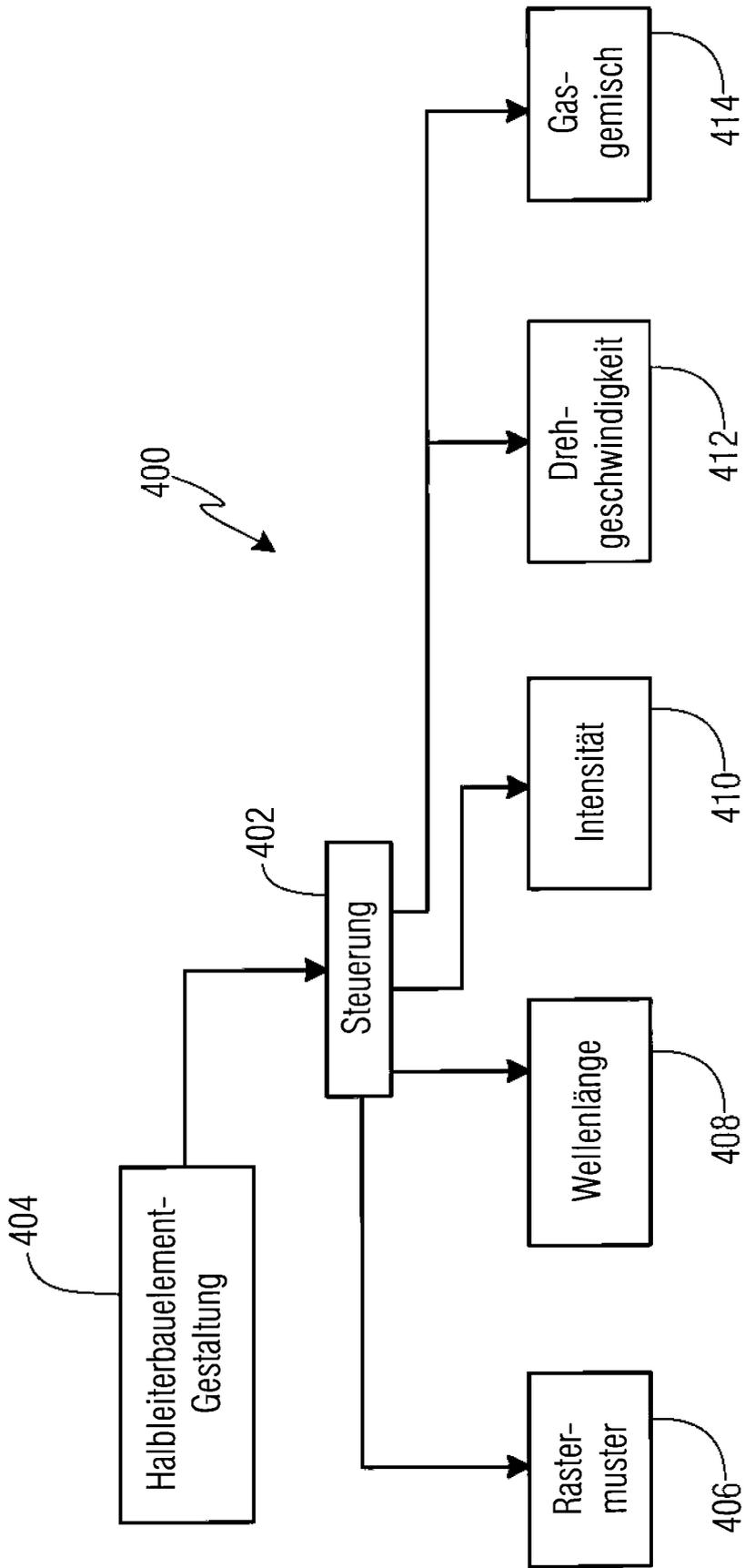


Fig. 4

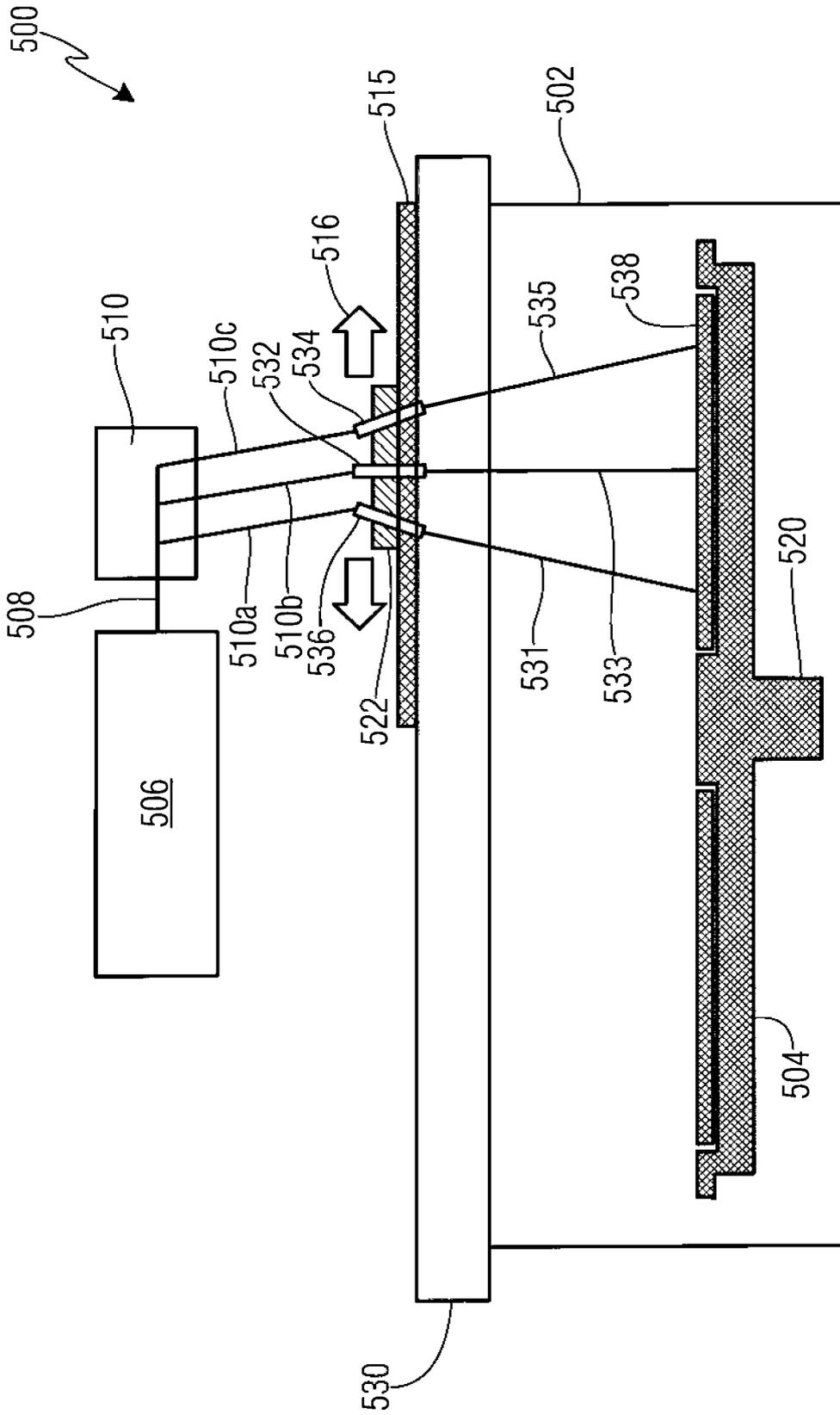


Fig. 5

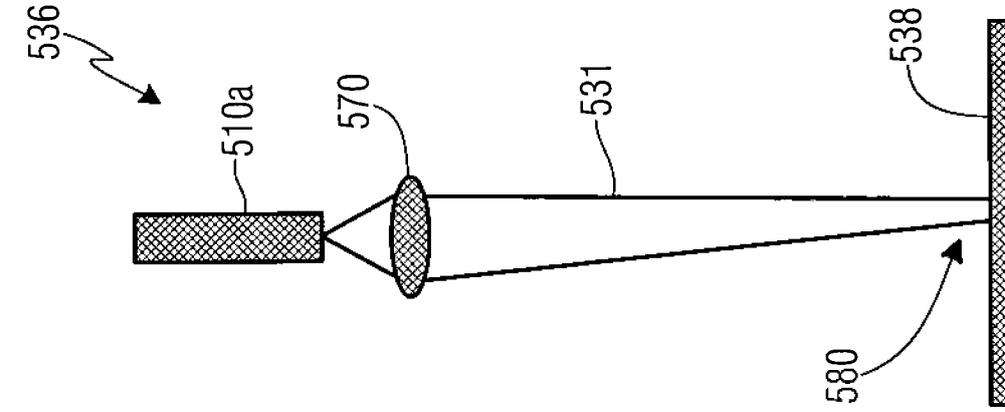


Fig. 6A

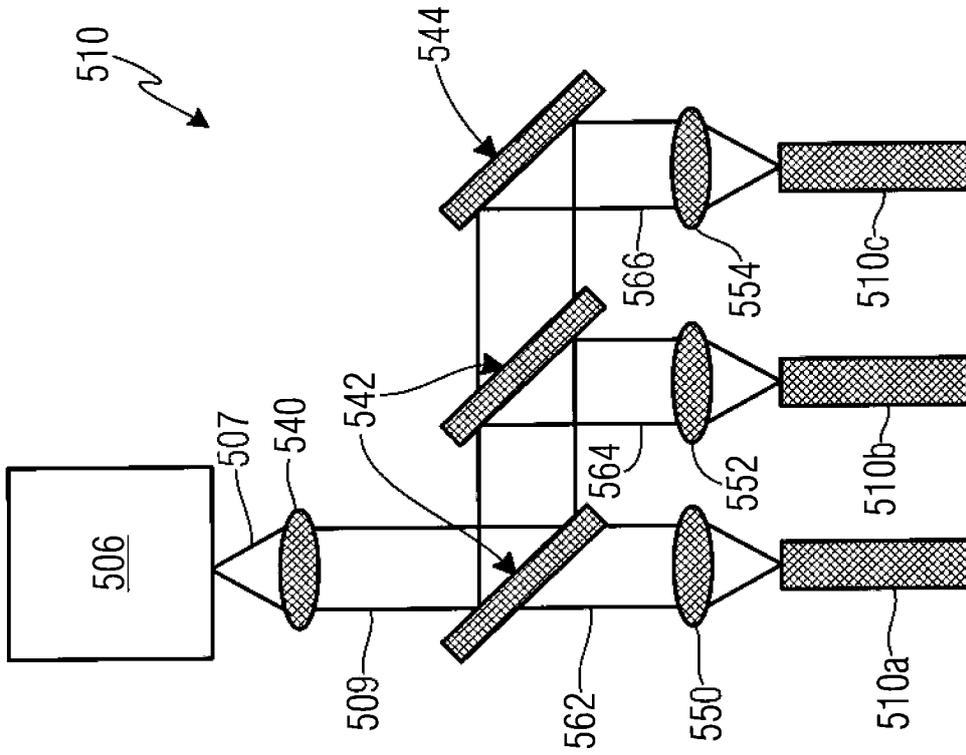


Fig. 6B