

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 11 2009 002 311 T5** 2012.01.19

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2010/037274**
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2009 002 311.8**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/CN2009/001113**
 (86) PCT-Anmeldetag: **30.09.2009**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.04.2010**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **19.01.2012**

(51) Int Cl.: **H01L 33/00 (2010.01)**
H01L 21/304 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
61/102,760 03.10.2008 US

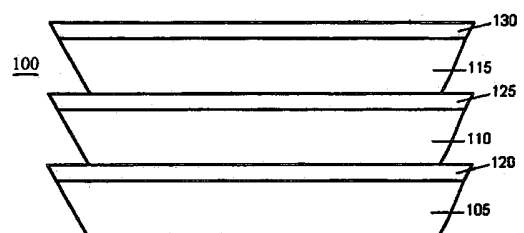
(72) Erfinder:
**Wang, Xianghua, Pokfield Road, CN; Hui, Kun
 Nam, New Territories, CN; Choi, Hoi Wai, Kennedy
 Town, CN**

(71) Anmelder:
Versitech Ltd., Hong Kong, CN

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster &
 Partner, 70174, Stuttgart, DE**

(54) Bezeichnung: **Farbabstimmbare Halbleiter-Breitbandlichtquellen und Vollfarbmikrodisplays**

(57) Zusammenfassung: Es werden Verfahren und Systeme zur Verfügung gestellt, die dazu verwendet werden können, eine Lichtquellenvorrichtung anzuwenden und herzustellen. Eine erste lichtemittierende Diode emittiert Licht einer ersten Wellenlänge, und eine zweite lichtemittierende Diode emittiert Licht einer zweiten Wellenlänge. Jede der ersten und zweiten lichtemittierenden Dioden kann gewinkelte Facetten umfassen, so dass sie einfallendes Licht in eine Richtung eines oberen Endes der ersten lichtemittierenden Diode reflektieren. Die zweite lichtemittierende Diode, die gewinkelte Facetten umfasst, kann einfallendes Licht in eine Richtung eines oberen Endes der zweiten lichtemittierenden Diode reflektieren. Ein erster verteilter Bragg-Reflektor ist zwischen dem oberen Ende der ersten lichtemittierenden Diode und einem unteren Ende der zweiten lichtemittierenden Diode angeordnet, um zu ermöglichen, dass Licht von der ersten lichtemittierenden Diode hindurchtritt und Licht von der zweiten lichtemittierenden Diode reflektiert wird.



Beschreibung**QUERVERWEIS ZU
VERWANDTEN ANMELDUNGEN**

[0001] Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Provisional Application in den USA mit dem Aktenzeichen 61/102,760 angemeldet am 3. Oktober 2008, die hiermit durch Bezugnahme insgesamt zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht wird.

TECHNISCHER BEREICH

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft Bauelemente mit lichtemittierenden Dioden (LED).

STAND DER TECHNIK

[0003] LEDs sind optoelektronische Bauelemente, die durch Strahlungsrekombination von injizierten Elektronen und Löchern Licht emittieren. In Abhängigkeit von der Bandlücke des aktiven Materials in einem speziellen optoelektronischen Bauelement können LEDs in einem weiten Wellenlängenbereich von ultraviolett bis infrarot emittieren. Die Wellenlängen des Lichts, die hauptsächlich von Interesse sind, liegen jedoch im sichtbaren Bereich. Im sichtbaren Spektrum (typischerweise von ~ 400 nm (violett) bis ~ 700 nm (rot)) emittierende LEDs sind für das menschliche Auge sichtbar und sind daher für Beleuchtungszwecke geeignet. Um Licht bei sichtbaren Wellenlängen zu emittieren, sind die Elemente der Gruppe III und V (d. h., Elemente in der dritten bzw. fünften Spalte des Periodensystems), die oft verwendet werden, Gallium (Ga), Indium (In) und Stickstoff (N). Diese Materialien werden oft mit Fremdstoffen aus anderen Spalten des Periodensystems dotiert, um eine elektrische Aktivität zu ermöglichen, was wiederum über die Rekombination eines Elektrons aus einem Leitungszustand in einen Valenzzustand Licht erzeugt.

[0004] Die obigen Bauelemente werden als Elemente der Indium-Gallium-Nitrid((In,Ga)N)-Materialgruppe bezeichnet. Aus diesem Materialsystem gefertigte LEDs wurden schon angewendet. LEDs umfassen typischerweise monochromatische Lichtquellen, die mit einem einzelnen Spektralpeak und einer schmalen Linienbreite (z. B. ~ 30 nm) emittieren. Unter Verwendung des (In,Ga)N-Materialsystems gefertigte LEDs können so ausgebildet werden, dass sie monochromatisches Licht im Bereich von ~ 380 nm (nahes ultraviolett (UV)) bis ~ 540 nm (d. h., grün) emittieren, indem die Indiumzusammensetzung im Materialsystem verändert wird. LEDs sind mit ihrer monochromatischen Eigenschaft für Anwendungen wie Lichtanzeiger geeignet, bei denen nur eine einzige Farbe erforderlich ist.

[0005] Weißes Licht ist hingegen ein breitbandiges, polychromatisches Licht, das mit einer einzigen LED nicht direkt erzeugt werden kann. Wenn jedoch eine LED so ausgebildet werden kann, dass sie Licht in einer Anzahl von diskreten oder kontinuierlichen Wellenlängen erzeugt, kann das resultierende Spektrum polychromatisch sein und die Emission aus einer solchen LED erscheint als weiß. Dies kann zweckmäßig sein, da weißes Licht für Beleuchtungszwecke oft ideal ist. LEDs als Beleuchtungslichtquellen können früheren Beleuchtungstechniken, wie Glühlampen oder Leuchtstoffröhren, bezüglich Lichtausbeute, Lebensdauer und Spektrenreinheit überlegen sein.

[0006] Es gibt hauptsächlich zwei herkömmliche Verfahren zur Ausbildung von LED-Breitbandlichtquellen. Das erste Verfahren verwendet Leuchtstoffe für eine Farbabwärtswandlung. Phosphoreszierende Materialien, die Licht emittieren, wenn sie mit bestimmten Strahlungswellenlängen bestrahlt werden, werden traditionell für eine Farbumwandlung in lichtemittierenden Dioden (LEDs) verwendet. Ein Bauelement kann ein energiereiches Photon emittieren und der Leuchtstoff kann es absorbieren und dann ein energieärmeres und dadurch einer anderen Farbe entsprechendes Photon emittieren.

[0007] Solche Leuchtstoffe absorbieren Photonen mit kürzeren Wellenlängen und emittieren danach Photonen mit längeren Wellenlängen. Für eine Emission von weißem Licht können grünes und rotes Licht emittierende Leuchtstoffe verwendet werden. Es ist zu beachten, dass jegliche Form von Farbumwandlung von Energieverlusten begleitet ist. Während grüne Leuchtstoffe Quantenausbeuten von bis zu 90% aufweisen können, sind die Quantenausbeuten von roten Leuchtstoffen typischerweise auf etwa 40% begrenzt. Dies wiederum führt zu einer geringen Strahlungsausbeute.

[0008] Bei solchen Farbabwärtswandlungen kann eine monochromatische LED mit kürzerer Wellenlänge, wie eine InGaN-LED, die bei 460 nm (blau) emittiert, als Anregungslichtquelle verwendet werden. Ein solches Licht kann verwendet werden, um in Leuchtstoffen, die bei längeren Wellenlängen, wie grün und rot, emittieren, eine Lumineszenz anzuregen. Ein resultierendes Licht beinhaltet Komponenten aus unterschiedlichen Teilen des sichtbaren Spektrums, und wird daher als Breitbandlicht betrachtet. Da die Leuchtstoffpartikel klein (z. B. im Nanometerbereich) und für das bloße Auge nicht erkennbar sind, erscheint das emittierte Licht als weiß, wenn die Anteile der unterschiedlichen Farben richtig sind. Diese Art der Erzeugung von weißem Licht ist ähnlich der, die bei Leuchtstoffröhren eingesetzt wird.

[0009] Es gibt jedoch viele Nachteile in Zusammenhang mit Leuchtstoffen, darunter ihre begrenzte

Lebensdauer, Stokes-Wellenenergieverlust, geringe Zuverlässigkeit und geringe Lichtausbeute.

[0010] Ein weiteres Verfahren zum Ausbilden einer LED-Breitbandlichtquelle ist das Anbringen einzelner LED-Chips auf einer einzigen Baugruppe. Diese werden oft als Multichip-LEDs bezeichnet, bei denen LEDs, die in den Grundfarben des Lichts (d. h. blau, grün und rot) emittieren, auf einer einzigen Baugruppe bzw. Packung angebracht sind. Es kann jedoch unter Anwendung dieser Technik keine Emission von weißem Licht erzielt werden. Jeder LED-Chip weist typischerweise Abmessungen von mehr als 100 Mikrometern auf, während der Abstand von LED-Chips in der gleichen Größenordnung liegt. Als Folge davon sind die Farben nicht homogenisiert und erscheinen deshalb für das bloße Auge als einzelne Farben, sofern sie nicht in sehr großen Abständen platziert sind, wodurch die Intensität einer LED immens abgefallen ist.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Um die Unzulänglichkeiten im Stand der Technik zu überwinden, stellt die vorliegende Erfindung farbabstimmbare Halbleiter-Breitbandlichtquellen und Vollfarbmikrodisplays sowie ein Verfahren zu ihrer Herstellung zur Verfügung.

[0012] Gemäß einem ersten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung eine Lichtquellenvorrichtung zur Verfügung, die umfasst: eine erste lichtemittierende Diode zum Emittieren von Licht einer ersten Wellenlänge, wobei die erste lichtemittierende Diode gewinkelte Facetten zum Reflektieren von einfallendem Licht in Richtung eines oberen Endes der ersten lichtemittierenden Diode aufweist, eine zweite lichtemittierende Diode zum Emittieren von Licht einer zweiten Wellenlänge, wobei die zweite lichtemittierende Diode über dem oberen Ende der ersten lichtemittierenden Diode angeordnet ist und gewinkelte Facetten zum Reflektieren von einfallendem Licht in Richtung eines oberen Endes der zweiten lichtemittierenden Diode aufweist, und einen ersten verteilten Bragg-Reflektor, der zwischen dem oberen Ende der ersten lichtemittierenden Diode und einem unteren Ende der zweiten lichtemittierenden Diode angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass Licht von der ersten lichtemittierenden Diode hindurchtritt und Licht von der zweiten lichtemittierenden Diode reflektiert wird.

[0013] Gemäß einem zweiten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein optoelektronisches Bauelement mit einem Stapel monochromatischer Mikrodisplays zur Verfügung, wobei der Stapel monochromatischer Mikrodisplays umfasst: ein erstes Mikrodisplay zum Emittieren von Licht einer ersten Wellenlänge, wenigstens ein zweites Mikrodisplay zum Emittieren von Licht einer zweiten Wellenlänge, wobei die erste Wellenlänge von der zweiten Wellenlänge

verschieden ist, und einen verteilten Bragg-Reflektor, der zwischen dem ersten Mikrodisplay und dem wenigstens einen zweiten Mikrodisplay angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass Licht vom ersten Mikrodisplay hindurchtritt und Licht vom wenigstens einen zweiten Mikrodisplay reflektiert wird.

[0014] Gemäß einem dritten Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Wafervereinzelnungsverfahren elektronischer und optoelektronischer Bauelemente basierend auf Lasermikrobearbeitung zur Bildung einzelner Chips mit gewinkelten Facetten zur Verfügung, wobei das Wafervereinzelnungsverfahren umfasst: Bereitstellen eines gefertigten Wafers mit mehreren gefertigten Bauelementen an einer Oberseite, Richten eines Laserstrahls auf die Waferoberfläche zur Wafervereinzelnung, Reflektieren des Laserstrahls vom Laserspiegel weg, so dass der Laserstrahl unter einem Schrägwinkel zu einer vertikalen Achse auf den gefertigten Wafer einfällt, wobei der einfallende Strahl einen Graben an einem Einfallspunkt durch Entfernen von Halbleiter-, Metall- oder Isolatormaterialien bildet, Verschieben des gefertigten Wafers derart, dass der Laserstrahl einen Graben um eine Peripherie von Bauelementen auf dem gefertigten Wafer erzeugt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] Mit Bezug zu den folgenden Figuren werden nicht einschränkende und nicht erschöpfende Aspekte beschrieben, wobei gleiche Bezugszeichen in den verschiedenen Figuren gleiche Teile bezeichnen, sofern nichts Anderes angegeben ist.

[0016] Fig. 1 stellt einen LED-Stapel gemäß der vorliegenden Erfindung dar.

[0017] Fig. 2 stellt einige Beispiele von Licht unterschiedlicher Farben dar, das durch selektive Energiezufuhr zum roten LED-Element, grünen LED-Element und blauen LED-Element gemäß der vorliegenden Erfindung erzeugt werden kann.

[0018] Fig. 3 stellt verschiedene Winkel dar, in denen sich Lichtstrahlen innerhalb des roten LED-Elements, grünen LED-Elements und blauen LED-Elements gemäß der vorliegenden Erfindung ausbreiten können.

[0019] Fig. 4 stellt ein schematisches Bild eines Stapels von drei LEDs gemäß der vorliegenden Erfindung dar.

[0020] Fig. 5 zeigt eine Rasterelektronenmikroskop (REM)-Aufnahme eines zusammengesetzten Stapels von drei LEDs gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0021] Fig. 6 zeigt Reflexionsspektren von Schichten einer ersten verteilten Bragg-Reflektor(DBR)-Schicht und einer zweiten DBR-Schicht gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0022] Fig. 7 zeigt monochromatische Emission von blauem Licht aus einem LED-Stapel und das zugehörige Spektrum gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0023] Fig. 8 zeigt polychromatische Emission von rosa Licht aus einem LED-Stapel durch Mischen von blauer und roter Emission, zusammen mit dem zugehörigen Spektrum gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0024] Fig. 9 zeigt einen Bereich von unterschiedlichen Farben, die von einem LED-Stapel emittiert werden, zusammen mit den zugehörigen Spektren gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0025] Fig. 10 zeigt ein schematisches Bild von drei roten, grünen bzw. blauen Mikrodisplays gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0026] Fig. 11 zeigt eine Mikroskopaufnahme eines gefertigten blauen monochromatischen Mikrodisplays gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0027] Fig. 12 zeigt ein schematisches Bild in orthogonaler Ansicht eines zusammengesetzten gestapelten Mikrodisplays gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0028] Fig. 13 zeigt ein schematisches Bild in Draufsicht eines zusammengesetzten gestapelten Mikrodisplays gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0029] Fig. 14 stellt ein Laser-Mikrobearbeitungssystem dar, das mehrere Hauptkomponenten umfassen kann, darunter ein Ultraviolett(UV)-Laser hoher Leistung, einen Strahlaufweiter, einen Laserlinienspiegel, eine Fokussierlinse, einen Breitband-UV-Spiegel, einen Wafer und einen X-Y-Z-Linearverstärker gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0030] Fig. 15 stellt einen LED-Stapel gemäß der vorliegenden Erfindung dar.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0031] Hier werden einige beispielhafte Verfahren und Systeme beschrieben, die dazu verwendet werden können, eine Festkörper-Lichtquelle anzuwenden und herzustellen, die einen Stapel von lichtemittierenden Dioden (LED) umfasst. Ein Verfahren zu seiner Herstellung wird ebenfalls zur Verfügung gestellt. Eine solche Festkörper-Lichtquelle kann dazu ausgebildet sein, dass sie einzelne Grundfarben des Lichts (z. B. rot, blau und grün) oder Mischfarben, darunter die Farbe Weiß emittiert. Ein solcher LED-

Stapel kann gebildet sein aus einer blauen LED, die auf eine grüne LED gestapelt ist, die anschließend auf eine rote LED gestapelt ist. Eine solche Stapelstrategie kann eine optimale Farbmischung gewährleisten. Die drei LED-Elemente können einzeln steuerbar sein. Wenn alle drei leuchten, kann eine optisch gemischte Ausgabe zu einem weißen Licht führen. Monochromatisches Licht kann dadurch erhalten werden, dass nur ein einzelnes LED-Element eines LED-Stapels angeschaltet wird. Andere Farben können dadurch abgestimmt werden, dass zwei oder drei LED-Elemente gleichzeitig angeschaltet werden und indem geeignete Vorspannungen eingestellt werden.

[0032] Einzelne blaue, grüne, rote LEDs in einer Vorrichtung können einzeln betrieben werden und können die Intensitäten der verschiedenen Farbkomponenten verändern. Die Farben werden jedoch nicht gemischt und bilden daher keine farbabstimmbare Vorrichtung. Echt farbabstimmbare LEDs sind bisher auf dem Markt nicht verfügbar.

[0033] In den letzten Jahren wurden halbleiterbasierte Emissionsmikrodisplays unter Verwendung von LED-Materialien aufgezeigt. Aufgrund der monochromatischen Eigenschaft von LED-Wafern können diese Mikrodisplays jedoch nur eine einzige Farbe emittieren. Während es möglich ist, Vollfarbmikrodisplays unter Verwendung eines dreifarbigigen Pixels auszubilden, können mehrere Nachteile auftreten. Solche Nachteile können beinhalten (1) alle Nachteile, die mit Leuchtstoffen in Zusammenhang stehen, wie es oben diskutiert wurde, (2) die Komplexität bei der Beschichtung einzelner Pixel mit Leuchtstoffen im Mikrometermaßstab und (3) die Komplexität einer Treiberschaltung.

[0034] Eine stapelförmige LED-Konstruktion, wie sie hier diskutiert wird, verwendet keine Farbumwandlung, um weißes Licht zu erzeugen. Jedes LED-Element in einem Stapel kann ein transparentes Material enthalten, um einen Durchtritt von Licht zu ermöglichen. Durch Einsetzen der korrekten LED-Stapelabfolge (das heißt, ein blaues LED-Element über einem grünen LED-Element, gefolgt von einem roten LED-Element an der Unterseite) kann das emittierte Licht durch die obenauf liegenden transparenten Bauelemente mit minimalem Absorptionsverlust transmittiert werden. Aufgrund der Tatsache, dass die LED-Elemente übereinander gestapelt sind, werden die Photonen von den drei LED-Elementen alle aus dem gleichen Fenster emittiert (das heißt, durch das obere blaue LED-Element), so dass die ausgegebene Farbe optisch gut gemischt ist. Eine Integration eines verteilten Bragg-Reflektors (DBR) zwischen LED-Elementen kann gewährleisten, dass Licht in Richtung zu einem Emissionsfenster emittiert wird, was durch die Eigenschaft der wellenlängenselektiven Reflexion der dielektrischen Spiegel bedingt ist.

[0035] Jedes der LED-Elemente kann mikrobearbeitete gewinkelte Facetten mit beschichteten Metallspiegeln enthalten, um einen Streuverlust von monochromatischem Licht aus den LED-Facetten zu verhindern. Eine solche Ausführung kann auch Probleme in Zusammenhang mit einer Farbumwandlung bei Verwendung von Leuchtstoffen eliminieren, darunter begrenzte Lebensdauer, Stokes-Wellenenergieverlust, geringe Zuverlässigkeit und geringe Lichtausbeute. Durch Vermeidung dieser Nachteile von traditionellen Weißlicht-LED-Elementen, kann das volle Potential von LEDs abgegriffen werden, um eine hohe Quantenausbeute, lange Lebensdauer und hohe Zuverlässigkeit zu erreichen.

[0036] Eine Ausführung kann sich auch auf Vollfarbmikrodisplays unter Verwendung einer ähnlichen Stapelstrategie erstrecken. Zum Beispiel können drei monochromatische Mikrodisplays gut ausgerichtet übereinander gestapelt werden, so dass ein Vollfarbmikrodisplay erzielt wird. Ein blaues Mikrodisplay kann über ein grünes Mikrodisplay gestapelt werden, das wiederum anschließend auf ein rotes Mikrodisplay gestapelt werden kann. Die drei Mikrodisplays können identische Konstruktion und Abmessungen aufweisen, so dass, wenn sie zusammengestapelt sind, die einzelnen Pixel sich überlappen (dies kann z. B. als "Pixelstapel" bezeichnet werden). Deshalb kann jedes Pixel effektiv ein Bauelement umfassen, das aus drei LED-Elementen besteht, die übereinander gestapelt sind. Durch Steuern der Intensitäten der drei LED-Elemente kann die ausgegebene Farbe des Pixels gesteuert werden. Auf diese Weise kann ein Mikrodisplay mit beliebiger Pixelabmessung und -auflösung bei Vollfarbmission erreicht werden.

[0037] **Fig. 1** stellt einen LED-Stapel **100** gemäß der vorliegenden Erfindung dar. Ein solchen LED-Stapel kann aus einem roten LED-Element **105**, einem grünen LED-Element **110** und einem blauen LED-Element **115** gebildet sein. Das rote LED-Element **105** kann Licht mit einer Wellenlänge in einem Bereich von ungefähr 650 nm emittieren, das grüne LED-Element **110** kann Licht mit einer Wellenlänge in einem Bereich von ungefähr 510 nm emittieren und das blaue LED-Element **115** kann Licht mit einer Wellenlänge in einem Bereich von ungefähr 475 nm emittieren. Der LED-Stapel **100** kann einen ersten verteilten Bragg-Reflektor (DBR) **120** umfassen, der an einer Oberkante des roten LED-Elements **105** unter dem grünen LED-Element **110** angeordnet ist. Ein zweiter DBR **125** kann an einer Oberkante des grünen LED-Elements **110** unter dem blauen LED-Element **115** angeordnet sein. Der DBR kann ermöglichen, dass Licht von einer unteren LED hindurchtritt, und kann auch Licht von einer darüber angeordneten LED reflektieren. Zum Beispiel kann Licht vom grünen LED-Element **110** durch den DBR **125** hindurchtreten und ein Licht, das durch das blaue LED-Element **115** nach unten auf eine Oberseite des DBR

125 reflektiert wird, kann in eine Richtung zu einer Oberseite **130** des blauen LED-Elements **115** reflektiert werden.

[0038] **Fig. 2** stellt einige Beispiele von Licht unterschiedlicher Farben dar, das durch selektive Energiezufuhr zum roten LED-Element **105**, grünen LED-Element **110** und blauen LED-Element **115** gemäß der vorliegenden Erfindung erzeugt werden kann. In diesem Beispiel kann ein roter Lichtstrahl **200** durch die rote LED **105** emittiert werden und kann durch den DBR **120**, die grüne LED **110**, den DBR **125**, die blaue LED **115** und durch die Oberseite **130** des blauen LED-Elements **115** laufen. Das grüne LED-Element **110** kann einen grünen Lichtstrahl **205** emittieren, der nach oben durch den DBR **125**, die blaue LED **115** und durch die Oberseite **130** des blauen LED-Elements **115** läuft. Das grüne LED-Element kann auch einen zweiten grünen Lichtstrahl **210** erzeugen, der zunächst in eine Richtung zum DBR **120** wandert. Der DBR **120** kann jedoch den zweiten grünen Lichtstrahl **210** in eine Richtung durch den DBR **125**, die blaue LED **115** und durch die Oberseite **130** des blauen LED-Elements **115** reflektieren.

[0039] Das blaue LED-Element **115** kann einen blauen Lichtstrahl **215** emittieren, der nach oben durch die Oberseite **130** des blauen LED-Elements **115** läuft. Das blaue LED-Element **115** kann auch einen zweiten blauen Lichtstrahl **220** erzeugen, der zunächst in eine Richtung zum DBR **125** läuft. Der DBR **125** kann jedoch den zweiten blauen Lichtstrahl **220** in eine Richtung durch die Oberseite **130** des blauen LED-Elements **115** reflektieren.

[0040] Das rote LED-Element **105**, das grüne LED-Element **110** und das blaue LED-Element **115** können eine gemeinsame Anode **230** nutzen und können selektiv über ihre eigenen Kathoden mit Energie versorgt werden. Zum Beispiel kann die blaue LED **115** eine erste Kathode **235** nutzen, das grüne LED-Element **110** kann eine zweite Kathode **240** nutzen und das rote LED-Element **105** kann eine dritte Kathode **245** nutzen.

[0041] **Fig. 3** stellt verschiedene Winkel dar, in denen sich Lichtstrahlen innerhalb des roten LED-Elements **105**, grünen LED-Elements **110** und blauen LED-Elements **115** gemäß der vorliegenden Erfindung ausbreiten können. In diesem Beispiel können gewinkelte Facetten oder Wände in jedem roten LED-Element **105**, grünen LED-Element **110** und blauen LED-Element **115** mit einem Spiegelmaterial beschichtet sein, um zu gewährleisten, dass Lichtstrahlen nicht an einer Seite eines LED-Elements austreten und stattdessen nach oben durch die Oberseite **130** des blauen LED-Elements **115** gerichtet werden. In diesem Beispiel beinhaltet das rote LED-Element **105** eine erste Spiegelfläche **300**, das grüne LED-Element **110** beinhaltet eine zweite Spiegelfläche **305**

und das blaue LED-Element **115** beinhaltet eine dritte Spiegelfläche **310**. Jede der Spiegelflächen kann mit einem Metall wie Aluminium oder Silber beschichtet sein.

[0042] Fig. 4 stellt ein schematisches Bild eines Stapels von drei LEDs gemäß der vorliegenden Erfindung dar. Wie gezeigt ist, ist ein erstes LED-Element **400** sowohl unter einem zweiten LED-Element **405** wie einem dritten LED-Element **410** angeordnet. Mit Bezug zu Fig. 1 kann das erste LED-Element **400** dem roten LED-Element **105** entsprechen, das zweite LED-Element **405** kann dem grünen LED-Element **110** entsprechen und das dritte LED-Element **410** kann dem blauen LED-Element **115** entsprechen.

[0043] Fig. 5 zeigt eine Rasterelektronenmikroskop (REM)-Aufnahme eines zusammengesetzten Stapels von drei LEDs gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt ist, kann der Stapel von drei LEDs ein erstes LED-Element **500** beinhalten, das sowohl unter einem zweiten LED-Element **505** wie einem dritten LED-Element **510** angeordnet ist.

[0044] Fig. 6 zeigt Reflexionsspektren von Schichten einer ersten DBR-Schicht (z. B. DBR **120** von Fig. 1) und einer zweiten DBR-Schicht (z. B. DBR **125** von Fig. 1) gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt ist, weist ein Reflexionsspektrum für DBR **120** einen Peak nahe 550 nm auf und ein Reflexionsspektrum für DBR **125** weist einen Peak nahe 470 nm auf.

[0045] Fig. 7 zeigt monochromatische Emission von blauem Licht **700** aus einem LED-Stapel und das zugehörige Spektrum **705** gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt ist, weist das Spektrum eine Peakstrahlungsverteilung um 475 nm auf.

[0046] Fig. 8 zeigt polychromatische Emission von rosa Licht **800** aus einem LED-Stapel durch Mischen von blauer und roter Emission, zusammen mit dem zugehörigen Spektrum **805** gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt ist, weist das Spektrum eine Peakstrahlungsverteilung um 475 nm und 850 nm auf.

[0047] Fig. 9 zeigt einen Bereich von unterschiedlichen Farben, die von einem LED-Stapel emittiert werden, zusammen mit den zugehörigen Spektren gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie gezeigt ist, können mehrere unterschiedliche Farben des Lichts emittiert werden, und die verschiedenen Farben können aus mehreren Peakstrahlungsverteilungen zusammengesetzt sein. Es werden mehrere Farben emittiert, darunter Türkis in Beispiel (a), Marineblau in Beispiel (b), Dunkelviolett in Beispiel (c), Hellviolett in Beispiel (d), Gelb in Beispiel (e), Rotbraun in Beispiel (f) und Schwarz in Beispiel (g).

[0048] Fig. 10 zeigt ein schematisches Bild von roten, grünen und blauen Mikrodisplays gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie dargestellt ist, kann ein rotes Mikrodisplay **1000** unter einem grünen Mikrodisplay **1005** angeordnet sein, das wiederum, unter einem blauen Mikrodisplay **1010** angeordnet sein kann.

[0049] Fig. 11 zeigt eine Mikroskopaufnahme **1100** eines gefertigten blauen monochromatischen Mikrodisplays gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0050] Fig. 12 zeigt ein schematisches Bild in orthogonaler Ansicht eines zusammengesetzten gestapelten Mikrodisplays gemäß der vorliegenden Erfindung. Wie dargestellt ist, kann ein rotes Mikrodisplay **1200** unter einem grünen Mikrodisplay **1205** angeordnet sein, das wiederum unter einem blauen Mikrodisplay **1210** angeordnet sein kann.

[0051] Fig. 13 zeigt ein schematisches Bild in Draufsicht eines zusammengesetzten gestapelten Mikrodisplays **1300** gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0052] Eine Ausführung einer Vorrichtung, die gestapelte LEDs enthält, wie sie hier diskutiert werden, kann Nachteile, die mit herkömmlichen mit Leuchtstoff beschichteten weißen LEDs in Zusammenhang stehen, eliminieren oder wesentlich reduzieren, wodurch das volle Potential von LEDs abgegriffen werden kann, um eine Festkörper-Beleuchtung auszubilden. Erstens führt eine Eliminierung der Notwendigkeit für Farbumwandlungsmittel, wie Leuchtstoffen, zu einer verlustlosen Weißlichterzeugung. Zweitens ist die Lebensdauer einer herkömmlichen Weißlicht-LED durch die Lebensdauer von Farbumwandlungsmitteln, wie Leuchtstoffen, begrenzt. Durch Vermeiden der Verwendung von Leuchten ist hingegen die Lebensdauer einer Weißlicht-LED einfach die Lebensdauer der einzelnen LEDs in dem LED-Stapel, von denen bekannt ist, dass sie verlängerte Lebensdauern aufweisen und äußerst zuverlässig sind.

[0053] Drittens können alle anderen Nachteile in Zusammenhang mit Farbumwandlungsmitteln, wie begrenzte Lebensdauer, Stokes-Wellenenergieverlust, geringe Zuverlässigkeit und geringe Lichtausbeute, eliminiert werden. Viertens wird das Problem der Lichtabsorption durch darunter liegende Bauelemente gelöst durch das Einsetzen eines verteilten Bragg-Reflektors (DBR) (z. B. DBR **120** und **125** von Fig. 1) zwischen zwei LEDs, der Licht von der oberen LED reflektiert, jedoch ermöglicht, dass Licht von der unteren LED transmittiert wird. Fünftens wird das Problem eines potentiellen Lichtaustritts aus Facetten der Bauelemente, was ansonsten die Emissionshomogenität beeinflussen könnte, durch das Einführen von spiegelbeschichteten gewinkelten Facetten gelöst, so dass sich seitlich ausbreitendes Licht reflektiert und zur Emission aus der Oberseite des Bauelements umgeleitet wird. Schließlich gewährleistet

die Stapeltopographie eine optische Farbmischung, was eine gleichmäßige polychromatische Lichtemission bietet.

[0054] Grüne, blaue und rote LEDs können unter Verwendung einer standardgemäßen LED-Verarbeitungssequenz gefertigt werden, die Photolithographie, Trockenätzen und Metallabscheidung beinhaltet. Grüne und blaue LEDs können unter Verwendung eines LED-Wafers gefertigt werden, wobei InGaN-Material epitaktisch durch MOCVD auf einem transparenten Saphirsubstrat aufgewachsen ist. Eine Reihe von Multi-Quantentöpfen sind in der LED-Struktur eingebettet, um die gewünschte Emissionswellenlänge (durch Maßschneiden der Bandlücke) zu erzielen. Eine rote LED kann unter Verwendung eines LED-Wafers gefertigt werden, wobei AlInGaP-Material epitaktisch durch MOCVD auf einem nicht transparenten GaAs-Substrat aufgewachsen wird.

[0055] Eine grüne oder blaue LED kann dadurch gefertigt werden, dass zunächst eine Mesa-Region einer LED unter Verwendung von Photolithographie definiert wird. Eine Schicht aus Photoresist wird durch Aufschleuderbeschichtung auf einen LED-Wafer aufgebracht und kann durch eine Photomaske hindurch mit dem vordefinierten Muster auf einer Maskenjustiereinheit mit Ultraviolettlicht bestrahlt werden. Die bestrahlte Probe kann in einem Photoresistentwickler entwickelt werden. Das erforderliche Muster wird auf die Probe übertragen. Anschließend kann eine Mesastruktur unter Verwendung von induktiv gekoppeltem Plasma(ICP)-Trockenätzen mit gasförmigem Cl_2 und BCl_3 gebildet werden. Anschließend wird GaN-Material bei einer typischen Rate von 500 nm/min weggeätzt.

[0056] Ein weiterer Photolithographieschritt kann eine aktive Region auf einer LED definieren. Ein Wafer kann unter Verwendung des gleichen ICP-Rezepts erneut geätzt werden, wobei ein Abschnitt der GaN-Region vom n-Typ für einen anschließenden n-Kontakt freigelegt wird. Die Stromverteilungsregion kann durch Photolithographie definiert werden. Eine Stromverteilungsschicht, die 5 nm Au und 5 nm Ni umfasst, wird durch Elektronenstrahlaufdampfen abgeschieden. Eine Metallschicht kann dann in Aceton abgehoben werden, so dass eine Metalldoppelschicht in einer Stromverteilungsregion verbleibt. Diese Schicht kann als Kontakt vom p-Typ in dem Bauelement dienen.

[0057] Die Kontaktanschlussregionen vom n-Typ und p-Typ können durch Photolithographie definiert werden. Eine Ti/Al-Metalldoppelschicht mit Dicken von 20 nm bzw. 200 nm können durch Elektronenstrahlverdampfen abgeschieden werden. Eine Metallschicht kann in Aceton abgelöst werden, so dass Metall nur in Kontaktanschlussregionen verbleibt, die als Kontaktanschlüsse vom n-Typ und p-Typ dienen.

Eine Saphirfläche des Wafers kann in seiner Dicke auf ungefähr 100 Mikrometer reduziert werden, so dass die Wärmeableitung verbessert wird, und poliert werden, um die Lichttransmission durch ein Saphirsubstrat zu verstärken.

[0058] Eine rote LED wird durch Abscheiden von Au-Kontakten vom p-Typ auf der oberen LED-Fläche und Au-Kontakten vom n-Typ auf der unteren GaAs-Fläche hergestellt. Im Gegensatz zu einer LED auf Basis von GaN ist eine vertikale Stromleitung möglich, da GaAs ein elektrischer Leiter ist.

[0059] Ein DBR kann gegebenenfalls oben auf LED-Wafern aufgewachsen sein. Ein DBR kann einen wellenlängenselektiven Spiegel umfassen, der Licht bestimmter Wellenlängen in einem Reflexionsband reflektieren kann und Licht anderer Wellenlängen im Transmissionsband transmittieren kann, wobei er Paare von gegenüberliegenden dielektrischen Materialien mit einem Unterschied im Brechungsindex umfasst. Die Charakteristiken des DBR hängen von den Designparametern ab, darunter die Wahl der dielektrischen Materialien und ihrer Dicke.

[0060] Im Falle eines Rot-Grün-Blau("RGB")-Stapels können CBR-Schichten oben auf einem grünen LED-Wafer und roten LED-Wafer aufwachsen. Ein DBR über der grünen LED kann blaues Licht von einer darüber liegenden blauen LED reflektieren, während er ermöglicht, dass grünes Licht und rotes Licht von einer grünen bzw. roten LED hindurchtritt. Ein DBR über der roten LED kann grünes Licht von der darüber liegenden grünen LED reflektieren, während er ermöglicht, dass rotes Licht von der roten LED hindurchtritt.

[0061] Wafer können unter Verwendung eines maßgefertigten Lasermikrobearbeitungssystems vereinzelt werden. Es können einzelne LED-Chips mit gewinkelten Facetten in gewünschten Abmessungen erhalten werden.

[0062] Fig. 14 stellt ein Laser-Mikrobearbeitungssystem 1400 dar, das mehrere Hauptkomponenten umfassen kann, darunter einen Ultraviolett(UV)-Laser 1405 hoher Leistung, einen Strahlaufweiter 1410, einen Laserlinienspiegel 1415, eine fokussierende UV-Objektivlinse 1420, einen Breitband-UV-Kippspiegel 1425, einen Wafer 1430 und einen X-Y-Linearversteller 1435. Der Wafer 1430 kann vom X-Y-Linearversteller 1435 verschoben werden, während ein fokussierter Laserstrahl auf den Wafer 1430 eingestrahlt wird.

[0063] Bei einer herkömmlichen Lasermikrobearbeitung fokussiert eine Fokussierlinse einen Laserstrahl auf einen kleinen Fleck, der vertikal auf einen Wafer fällt, der mikrobearbeitet werden soll. Gemäß einer hier vorgestellten Ausführung ist jedoch ein Breit-

band-UV-Spiegel zwischen eine Fokussierlinse und einen Wafer eingesetzt. Der Spiegel ist in einem schrägen Winkel platziert, was den Zweck hat, den Strahl so vom Spiegel weg zu reflektieren, dass der fokussierte Strahl in einem beliebigen Schrägwinkel auf den Wafer einfallen kann. Der Winkel kann durch Drehen des Spiegels eingestellt werden. Als Folge davon können die vereinzelt Baulementchips gewinkelte Facetten mit beliebigen Schrägwinkeln aufweisen.

[0064] Ein Zusammenbau eine LED-Stapels kann mit einer Chipverbindung einer roten LED mit einem TO-Gehäuse unter Verwendung eines thermisch leitenden und elektrisch leitenden Silberepoxids beginnen. Eine grüne LED wird oben auf der roten LED angebracht, wobei eine Schicht UV-Klebstoff (z. B. Norland 63) aufgetragen wird, während die obere Bondkontaktstelle vom p-Typ der roten LED freigelegt ist. Sobald die Bauelemente ausgerichtet sind, kann die Anordnung unter UV-Bestrahlung ausgehärtet werden.

[0065] Eine blaue LED kann dann oben auf der Anordnung angebracht werden, wobei gewährleistet wird, dass die Bondkontaktstellen der darunter liegenden Bauelemente frei liegen. Wieder kann ein UV-Klebstoff zwischen den LED-Chips verwendet werden. Ein LED-Stapel kann durch Bestrahlung mit UV-Licht in der Position fixiert werden.

[0066] Ein LED-Stapel kann umgekehrt werden und ein Metallspiegel, typischerweise unter Verwendung von Aluminium oder Silber, wird durch Elektronenstrahlverdampfen oder Sputtern aufgetragen. Der Metallspiegel wird auf gewinkelte Facetten von Chips in einem Stapel aufgebracht.

[0067] Ein solcher Spiegel kann eine Lichtausbreitung durch die Facetten verhindern.

[0068] Eine Lichtemission aus allen drei Chips kann durch die obere blaue LED emittiert werden. Dies ist dadurch möglich, dass die obere blaue LED für grünes und rotes Licht transparent sein kann. Dies folgt den Regeln der Lichtabsorption. Lichtemission nach unten, das heißt Lichtausbreitung zu den unteren LEDs, kann aufgrund der vorhandenen DBR-Schichten verhindert werden. Als Folge davon wird der optische Verlust minimiert. Eine Lichtemission von den Seitenfacetten wird aufgrund der spiegelbeschichteten gewinkelten Facetten ebenso verhindert, die dazu dienen, sich seitlich ausbreitendes Licht nach oben zu reflektieren.

[0069] Es können fünf Drahtbondverbindungen erforderlich sein, um eine elektrische Verbindung zu den Chips auszubilden, darunter die p-Kontaktstelle der roten LED und die p- und n-Kontaktstellen der grünen und blauen LEDs. Die n-Kontaktstelle der ro-

ten LED kann unter Verwendung des elektrisch leitenden Silberklebstoffs verbunden werden. Solche n-Kontaktstellen können miteinander verbunden werden, so dass sie eine gemeinsame Anode ausbilden. Schließlich wird ein Bauelement mit vier Anschlussstellen erhalten, das eine gemeinsame Anode und drei Kathoden für die rote, grüne bzw. blaue LED umfasst.

[0070] Durch Anlegen einer Vorspannung an eine einzelne Kathode wird ein einzelnes Element angeschaltet und der gesamte Stapel emittiert monochromatisches Licht. Polychromatisches Licht kann dadurch emittiert werden, dass eine Vorspannung an mehr als eine Kathode angelegt wird. Die Emissionsfarbe kann durch Einstellen der zugehörigen Kathoden abgestimmt werden. Durch Einstellen der richtigen Komponenten (z. B. jeweilige Intensität und Menge) von roter, grüner und blauer Farbe kann eine Weißlichtemission erreicht werden.

[0071] Dies kann eine verlustfreie Methode zur Erzeugung von Weißlicht sein, die eine Addition (Summierung) von Spektralkomponenten aus überlappenden monochromatischen Elementen umfasst.

[0072] Zweidimensionale Felder von lichtemittierenden Mikrodioden mit monochromatischer Emission können gestapelt werden, um zweidimensionale Vollfarbmikrodisplays auszubilden. Monochromatische 2-D-Mikrodisplays können unter Verwendung von blauen, grünen und roten LED-Wafern gefertigt werden. Die LED-Felder können monolithische LED-Felder sein.

[0073] Die Auslegung einer x-mal-y-Anordnung kann auf einem Matrix-Adressierschema basieren. Die Anordnung kann x Spalten beinhalten, die die Basis der Anordnung bilden, mit einer Anzahl y von Mikro-LED-Elementen (mit Mikrometerabmessungen), die entlang jeder Spalte gleichmäßig verteilt sind.

[0074] Daher können sich Bauelemente auf einer Spalte eine gemeinsame Region vom n-Typ und dadurch eine gemeinsame Elektrode vom n-Typ teilen. Regionen vom p-Typ oben auf jeder Mikro-LED können durch Metallleitungen, die über die Spalten verlaufen, miteinander verbunden sein. Eine Gesamtanzahl von Kontaktanschlüssen beträgt damit $x + y$, viel weniger als wenn jedes Pixel mit seinen eigenen Elektroden ausgerüstet wäre ($x \cdot y$).

[0075] Spalten und Mikro-LED-Pixel werden durch induktiv gekoppeltes Plasma(ICP)-Ätzen gebildet. Die Bearbeitungsbedingungen sind so gewählt, dass Mesastrukturen mit Seitenwänden geätzt werden, die eine Neigung zur Vertikalen von 30° bis 45° aufweisen. Eine SiO_2 -Schicht von 40 nm kann durch Elektronenstrahlverdampfen abgeschieden werden, um die n-dotierten und p-dotierten Regionen zu isolieren.

[0076] Eine obere planare Fläche jedes einzelnen Pixels kann anschließend zur Kontaktausbildung unter Anwendung eines Ablöseprozesses freigelegt werden. Durch Ablösen unter Anwendung einer Elektronenstrahlverdampfung können Ti/Al (20/200 nm) und Ni/Au (30/30 nm) als Ohmsche Kontakte vom n-Typ und p-Typ abgeschieden werden. Kontakte können einem schnellen thermischen Tempern (RTA) bei 550°C für 5 min in einer Stickstoffumgebung unterzogen werden. Solche Metallzwischenverbindungen können die Seitenwände von Mikro-LED-Pixeln bedecken, um zu gewährleisten, dass Licht nur durch die Oberseite emittiert wird.

[0077] Ein Vollfarbmikrodisplay kann durch Stapeln eines blauen Mikrodisplays auf ein grünes Mikrodisplay, gefolgt vom Stapeln auf ein rotes LED-Display aufgebaut werden. Rote, grüne und blaue Mikrodisplays können so ausgelegt sein, dass ihre Pixel ausgerichtet werden können, aber ihre Bondkontaktstellen an unterschiedlichen Positionen liegen.

[0078] Ein rotes Mikrodisplay kann durch Chip-Bonden an eine geeignete Keramikbaugruppe angebracht werden. Ein grünes Mikrodisplay kann oben auf dem roten Mikrodisplay angebracht werden, indem eine Schicht von UV-Klebstoff (Norland 63) aufgetragen wird, während die Bondkontaktstellen des roten Mikrodisplays freigelegt sind. Sobald die einzelnen Pixel ausgerichtet sind, kann die Anordnung unter UV-Bestrahlung ausgehärtet werden.

[0079] Ein blaues Mikrodisplay kann oben auf der Anordnung angebracht werden, wodurch gewährleistet ist, dass die Bondkontaktstellen der darunter liegenden Bauelemente freigelegt werden können. Wieder kann zwischen den LED-Chips ein UV-Klebstoff verwendet werden.

[0080] Ein LED-Stapel kann durch Bestrahlung unter UV-Licht in seiner Position fixiert werden. Bondkontaktstellen können durch Drahtbonden mit der Baugruppe verbunden werden. Das gesamte Bauelement kann zum Betrieb mit einem geeigneten externen Matrixtreiber verbunden werden. Pixel können so angesteuert werden, dass sie eine beliebige Farbe im sichtbaren Spektrum emittieren.

[0081] [Fig. 15](#) stellt einen LED-Stapel gemäß einer anderen Ausführungsform dar. Mit Bezug zu [Fig. 15](#) wird Licht zum Zwecke der Gleichförmigkeit durch gestapelte Elemente emittiert. Ähnlich wie die Stapel von drei LEDs im oben diskutierten LED-Design ist eine rote LED **1505** auf der Unterseite und eine blaue LED **1510** auf der Oberseite gestapelt. Für die Ausführungsform wie sie in [Fig. 15](#) vorgestellt ist, ist das mittlere grüne LED-Element weggelassen. Stattdessen wird die Erzeugung von grünem Licht unter Verwendung von grün fluoreszierenden Mikrosphären **1515** erreicht, die auf der blauen LED

1510 angeordnet sind. In einer anderen Ausführungsform können Leuchtstoffe oder Quantendots verwendet werden, um die anregbaren grünen Wellenlängen bereitzustellen. Mit zwei gestapelten LEDs anstelle von drei gestapelten LEDs ist das Zusammensetzen einfacher und die Wärmeableitung kann verbessert werden. Außerdem kann die Anzahl von oberen Drahtbondverbindungen von fünf oberen Drahtverbindungen auf drei obere Drahtverbindungen verringert werden. Dementsprechend kann das Hybridbauelement leichter zusammengesetzt werden, weist eine bessere Wärmeableitungsfähigkeit auf und kann aufgrund der Verringerung der oberen Drahtverbindungen leichter gepackt werden. Es kann ein gewisser Energieverlust auftreten, aber die blaue LED unter den grün fluoreszierenden Mikrosphären kann eine grüne Fluoreszenz wirksam anregen, was den Energieverlust minimiert.

[0082] Eine Ausführung kann sich unter Verwendung einer ähnlichen Strategie auch auf Vollfarbmikrodisplays erstrecken. Zum Beispiel können zwei monochromatische Mikrodisplays gut ausgerichtet übereinander gestapelt sein, wobei gefärbte fluoreszierende Mikrosphären auf dem oberen Mikrodisplay angeordnet sind. Ein blaues Mikrodisplay kann oben auf ein rotes Mikrodisplay gestapelt sein, und grün fluoreszierende Mikrosphären können auf dem blauen Mikrodisplay vorgesehen sein. Die grün fluoreszierenden Mikrosphären können auf dem blauen Mikrodisplay vorgesehen werden, bevor das blaue Mikrodisplay oben auf das rote Mikrodisplay gestapelt wird. Die beiden Mikrodisplays können identische Konstruktion und Abmessungen aufweisen, so dass, wenn sie zusammengestapelt sind, die einzelnen Pixel einander überlappen.

[0083] Gemäß einer Ausführung können eine rote LED und eine blaue LED unter Verwendung eines beliebigen geeigneten Prozessablaufs gefertigt werden. Ein DBR kann ebenfalls auf der Oberseite der LED-Wafer aufgewachsen werden. In einer Ausführung ist der DBR **1520** auf der Oberseite der roten LED **1505** aufgewachsen, so dass er blaues Licht von der oberen blauen LED **1510** reflektiert, während er ermöglicht, dass rotes Licht von der roten LED **1505** hindurchtritt. In einer anderen Ausführung ist der DBR **1530** auch auf der Oberseite der blauen LED **1510** aufgewachsen, so dass er grünes Licht von den grün fluoreszierenden Mikrosphären reflektiert.

[0084] Ein Zusammenbau des Hybrid-LED-Stapels kann durch Anbringen einer blauen LED auf einer ausgewählten roten LED unter Verwendung beispielsweise einer Schicht von UV-Klebstoff beginnen, während eine obere Bondkontaktstelle vom p-Typ der roten LED freigelegt ist. Für Ausführungen, bei denen die LEDs gewinkelte Facetten umfassen, kann der Stapel von roter LED/blauer LED umgekehrt sein und ein Metallspiegel kann auf die gewinkelten Facetten

der Chips in dem Stapel aufgetragen sein. Die grün fluoreszierenden Mikrosphären können gleichmäßig auf die Oberseite der blauen LED aufgetragen sein.

[0085] Beispiele von fluoreszierenden Mikrosphären, die verwendet werden können, umfassen Mikrosphären wie sie von Duke Scientific Corporation und Merck Estapor erhältlich sind. Diese fluoreszierenden Mikrosphären sind typischerweise in deionisiertem (DI) Wasser suspendiert, und ihre Abmessungen liegen im Bereich von einigen zehn Nanometern bis einigen zehn Mikrometern im Durchmesser. Die Mikrosphären können in einer kugelförmigen Gestalt und gleichmäßigen Abmessungen bereitgestellt werden.

[0086] Um die Mikrosphären gleichförmig auf die Oberfläche der blauen LED aufzutragen, wird die Mikrosphärensuspension unter Verwendung eines Tropfenzählers, einer Spritze oder Pipette auf die blaue LED aufgebracht.

[0087] Die Mikrosphären können durch Aufschleuderbeschichtung gleichförmig über die blaue LED verteilt werden, wobei ein Aufschleudereinheit verwendet wird. Es können Rotationsgeschwindigkeiten von 1–5 Upm für diesen Prozess eingesetzt werden. Die Mikrosphären können auch durch Klappen verteilt werden. Zum Beispiel kann das Bauelement nach Auftragen der Mikrosphärensuspension auf den LED-Chip in einem Winkel von ungefähr 45 Grad zur Vertikalen gekippt werden.

[0088] Die Dicke der Mikrosphärenschicht kann auf einige Monoschichten gesteuert werden. Dies ist durch die größeren Abmessungen (einige hundert Nanometer bis Mikrometer Durchmesser) von fluoreszierenden Mikrosphären im Vergleich zu Leuchtstoffen bedingt. Durch Ausbilden eines dünnen Mikrosphärenüberzugs (z. B. nicht mehr als einige Monoschichten) organisieren sich die Mikrosphären selbst in eine hexagonale Anordnung. Dies wird eine selbstaufgebaute geordnete Anordnung von Nanopartikeln.

[0089] Die fluoreszierenden Mikrosphären können am Ort fixiert werden und durch Auftragen einer dielektrischen Schicht, wie SiO_2 , unter Verwendung von Elektronenstrahlverdampfen geschützt werden. Es kann weiter ein Verkapselungsmittel vom Epoxidtyp über den mit Mikrosphären überzogenen Chip aufgetragen werden, um den Hybrid-LED-Stapel vor der äußeren Umgebung zu schützen.

[0090] Ein weiteres Verfahren zum Mikrosphärenbeschichten ist ein Vormischen von Mikrosphären mit dem Verkapselungsmittel. Die Mikrosphärensuspension wird in ein Versuchsröhrchen eingebracht und erwärmt, um den Wassergehalt (DI-Wasser) zu entfernen. Das Verkapselungsmittel wird in das Ver-

suchsröhrchen zugegeben. Das Versuchsröhrchen wird zum gleichmäßigen Vermischen in einen Rüttler gesetzt. Die Mischung kann dann unter Verwendung eines Tropfenzählers, einer Spritze oder Pipette auf den LED-Stapel aufgetragen werden.

[0091] In einem Aspekt können unterschiedlich gefärbte Mikrosphären mit unterschiedlichen Emissionswellenlängen in variablen Anteilen gemischt werden, um weißes Licht mit unterschiedlichen "Weißgraden", das heißt unterschiedlichen Farbtemperaturen, zu erzielen.

[0092] Während hier gewisse beispielhafte Techniken beschrieben und aufgezeigt wurden, wobei verschiedene Verfahren und Systeme angewendet wurden, versteht es sich für den Fachmann, dass verschiedene andere Modifikationen vorgenommen und Äquivalente ersetzt werden können, ohne vom beanspruchten Gegenstand abzuweichen. Außerdem können viele Modifikationen vorgenommen werden, um eine spezielle Situation an die Lehre des beanspruchten Gegenstands anzupassen, ohne von dem hier beschriebenen Hauptkonzept abzuweichen. Deshalb ist vorgesehen, dass der beanspruchte Gegenstand nicht auf die speziellen offenbarten Beispiele beschränkt ist, sondern dass der beanspruchte Gegenstand ebenso alle Ausführungen, die in den Rahmen der beigefügten Ansprüche fallen, und Äquivalente davon beinhalten kann.

Patentansprüche

1. Lichtquellenvorrichtung mit
 - einer ersten lichtemittierenden Diode zum Emittieren von Licht einer ersten Wellenlänge, wobei die erste lichtemittierende Diode gewinkelte Facetten zum Reflektieren von einfallendem Licht in Richtung eines oberen Endes der ersten lichtemittierenden Diode aufweist,
 - einer zweiten lichtemittierenden Diode zum Emittieren von Licht einer zweiten Wellenlänge, wobei die zweite lichtemittierende Diode über dem oberen Ende der ersten lichtemittierenden Diode angeordnet ist und gewinkelte Facetten zum Reflektieren von einfallendem Licht in Richtung eines oberen Endes der zweiten lichtemittierenden Diode aufweist, und
 - einem ersten verteilten Bragg-Reflektor, der zwischen dem oberen Ende der ersten lichtemittierenden Diode und einem unteren Ende der zweiten lichtemittierenden Diode angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass Licht von der ersten lichtemittierenden Diode hindurchtritt und Licht von der zweiten lichtemittierenden Diode reflektiert wird.

2. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die erste lichtemittierende Diode und/oder die zweite lichtemittierende Diode im Wesentlichen monolithisch sind oder wobei die erste Wellenlänge länger als die zweite Wellenlänge ist oder wobei eine drit-

te lichtemittierende Diode zum Emittieren von Licht einer dritten Wellenlänge vorgesehen ist, die über einem oberen Ende der zweiten lichtemittierenden Diode angeordnet ist und gewinkelte Facetten zum Reflektieren von einfallendem Licht in Richtung eines oberen Endes der dritten lichtemittierenden Diode aufweist.

3. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 2, weiter umfassend einen zweiten verteilten Bragg-Reflektor, der zwischen dem oberen Ende der zweiten lichtemittierenden Diode und einem unteren Ende der dritten lichtemittierenden Diode angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass Licht von der zweiten lichtemittierenden Diode hindurchtritt und Licht von der dritten lichtemittierenden Diode reflektiert wird.

4. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 2, wobei – die erste, zweite und dritte lichtemittierende Diode in Design und Emissionsfläche im Wesentlichen identisch sind und auf unterschiedlichen Halbleitermaterialien mit verschiedenen Bandlücken gefertigt sind oder

– von der ersten lichtemittierenden Diode emittiertes Licht durch die zweite und die dritte lichtemittierende Diode aufgrund der jeweiligen Bandlücken im Wesentlichen verlustlos hindurchtritt oder

– die erste lichtemittierende Diode rotes Licht emittiert, die zweite lichtemittierende Diode grünes Licht emittiert und die dritte lichtemittierende Diode blaues Licht emittiert,

5. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 4, wobei – sie rotes Licht in Reaktion auf das Anschalten nur der ersten lichtemittierenden Diode, grünes Licht in Reaktion auf das Anschalten nur der zweiten lichtemittierenden Diode und blaues Licht in Reaktion auf das Anschalten nur der dritten lichtemittierenden Diode emittiert oder

– sie gleichzeitig rotes Licht von der ersten lichtemittierenden Diode, grünes Licht von der zweiten lichtemittierenden Diode und blaues Licht von der dritten lichtemittierenden Diode emittiert, um polychromatisches Licht zu erzeugen.

6. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 5, wobei das polychromatische Licht weißes Licht beinhaltet oder wobei eine optische Ausgabe der Lichtquellenvorrichtung durch Variieren der Intensität oder des Betrags an rotem Licht, blauem Licht und grünem Licht einstellbar ist.

7. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 6, wobei das weiße Licht ohne Farbwandlung erzeugt wird.

8. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 2, weiter umfassend eine Spiegelbeschichtung auf den gewinkelten Facetten der einzelnen lichtemittierenden Dioden, wobei die Spiegelbeschichtung eine Metallschicht umfasst und dafür eingerichtet ist, Licht zu re-

flektieren und Lichtverlust von den gewinkelten Facetten der ersten, zweiten und dritten lichtemittierenden Diode zu unterdrücken.

9. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 1, weiter umfassend eine Schicht fluoreszierender Mikrosphären auf der zweiten lichtemittierenden Diode, um Licht einer dritten Wellenlänge zu emittieren, wenn Licht von der ersten lichtemittierenden Diode oder der zweiten lichtemittierenden Diode angeregt wird.

10. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 9, wobei die erste lichtemittierende Diode rotes Licht, die zweite lichtemittierende Diode blaues Licht und die Schicht fluoreszierender Mikrosphären grünes Licht emittieren.

11. Lichtquellenvorrichtung nach Anspruch 10, wobei sie gleichzeitig rotes Licht von der ersten lichtemittierenden Diode und blaues Licht von der zweiten lichtemittierenden Diode emittiert, um durch die Schicht fluoreszierender Mikrosphären polychromatisches Licht zu erzeugen.

12. Optoelektronisches Bauelement mit einem Stapel monochromatischer Mikrodisplays, der umfasst:

– ein erstes Mikrodisplay zum Emittieren von Licht einer ersten Wellenlänge,

– wenigstens ein zweites Mikrodisplay zum Emittieren von Licht einer zweiten Wellenlänge verschieden von der ersten Wellenlänge und

– einen verteilten Bragg-Reflektor, der zwischen dem ersten Mikrodisplay und dem wenigstens einen zweiten Mikrodisplay angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass Licht vom ersten Mikrodisplay hindurchtritt und Licht vom wenigstens einen zweiten Mikrodisplay reflektiert wird.

13. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 12, wobei das erste Mikrodisplay und das wenigstens eine zweite Mikrodisplay ein grünes Mikrodisplay, das auf eine Oberseite eines roten Mikrodisplays gestapelt ist, und ein blaues Mikrodisplay umfassen, das auf das grüne Mikrodisplay gestapelt ist.

14. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 13, wobei das grüne, blaue und rote Mikrodisplay im Wesentlichen identisches Design und identische Abmessungen aufweisen.

15. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 14, wobei das grüne, blaue und rote Mikrodisplay auf unterschiedlichen Halbleitermaterialien mit Bandlücken hergestellt sind, die der zu emittierenden Farbe entsprechen.

16. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 13, wobei jedes einzelne monochromatische Mikrodisplay wenigstens ein Pixel enthält, das ein zweidimensionales Array von matrixadressierbaren

lichtemittierenden Dioden im Mikrometerskalenbereich beinhaltet.

17. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 16, wobei je ein einzelnes Pixel auf jedem von dem roten, grünen und blauen Mikrodisplay übereinandergestapelt sind, um einen Pixelstapel zu bilden.

18. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 17, wobei Komponenten im Pixelstapel individuell steuerbar sind, um verschiedene Emissionsintensitäten zu erzielen, oder wobei die Emission von lichtemittierenden Dioden in einem Pixelstapel optisch gemischt wird oder wobei der Pixelstapel als ein zweidimensionales Array lichtemittierender Diodenstapel angeordnet ist, von denen wenigstens einer in seiner Farbe einstellbar ist.

19. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 12, wobei das zweite Mikrodisplay auf das erste Mikrodisplay gestapelt ist und das optoelektronische Bauelement zudem wenigstens eine Schicht fluoreszierender Mikrosphären auf dem zweiten Mikrodisplay aufweist.

20. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 19, wobei das erste Mikrodisplay ein rotes Mikrodisplay ist, das zweite Mikrodisplay ein blaues Mikrodisplay ist und die wenigstens eine Schicht fluoreszierender Mikrosphären grün fluoreszierende Mikrosphären beinhaltet.

21. Wafervereinzelnungsverfahren elektronischer und optoelektronischer Bauelemente basierend auf Lasermikrobearbeitung zur Bildung einzelner Chips mit gewinkelten Facetten, wobei das Wafervereinzelnungsverfahren umfasst:

- Bereitstellen eines gefertigten Wafers mit mehreren gefertigten Bauelementen an einer Oberseite,
- Richten eines Laserstrahls auf die Waferoberfläche zur Wafervereinzelnung,
- Einfügen eines Laserspiegels zwischen eine fokussierende Linse und den gefertigten Wafer unter einem Schrägwinkel und Reflektieren des Laserstrahls vom Laserspiegel weg, so dass der Laserstrahl unter dem Schrägwinkel zu einer vertikalen Achse auf den gefertigten Wafer einfällt, wobei der einfallende Strahl einen Graben an einem Einfallspunkt durch Entfernen von Halbleiter-, Metall- oder Isolatormaterialien bildet,
- Verschieben des gefertigten Wafers derart, dass der Laserstrahl einen Graben um eine Peripherie von Bauelementen auf dem gefertigten Wafer erzeugt, um dadurch die vereinzelt Chips mit gewinkelten Facetten zu erhalten.

22. Wafervereinzelnungsverfahren nach Anspruch 21, wobei der Schrägwinkel im Bereich zwischen etwa 0° und etwa 89° zur vertikalen Achse liegt oder wobei der gefertigte Wafer fertig zum Spalten durch

Anwesenheit von durch Lasermikrobearbeitung hergestellten Trennlinien auf dem befertigten Wafer ist.

23. Wafervereinzelnungsprozess nach Anspruch 21, weiter umfassend ein Entfernen der Halbleiter-, Metall- oder Isolatormaterialien vom gefertigten Wafer mittels Ablation und/oder Absorption.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

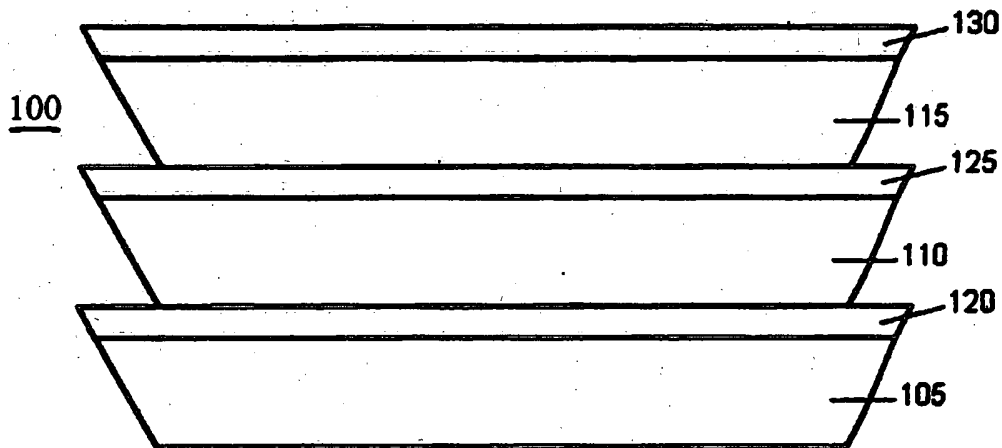


FIG. 1

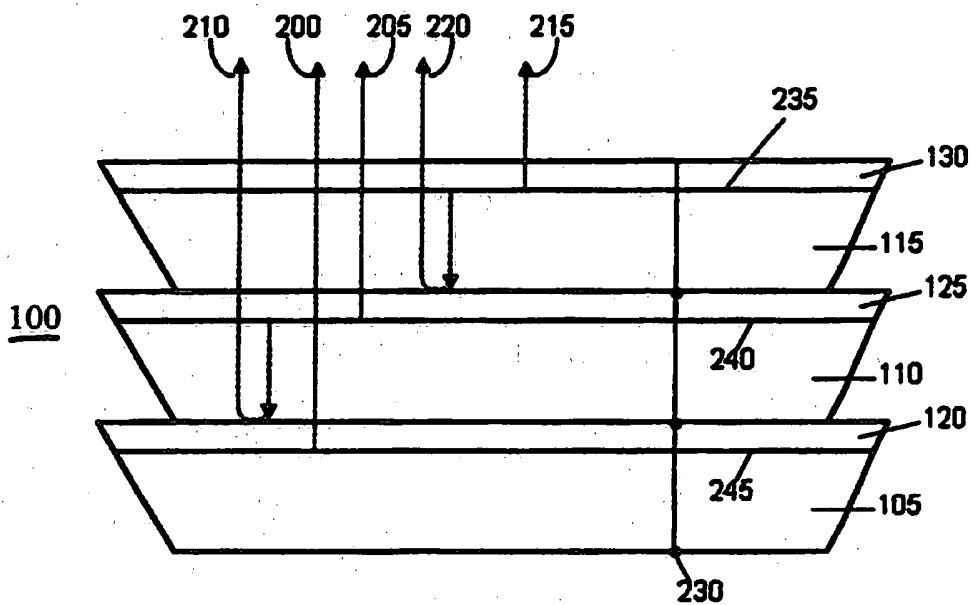


FIG. 2

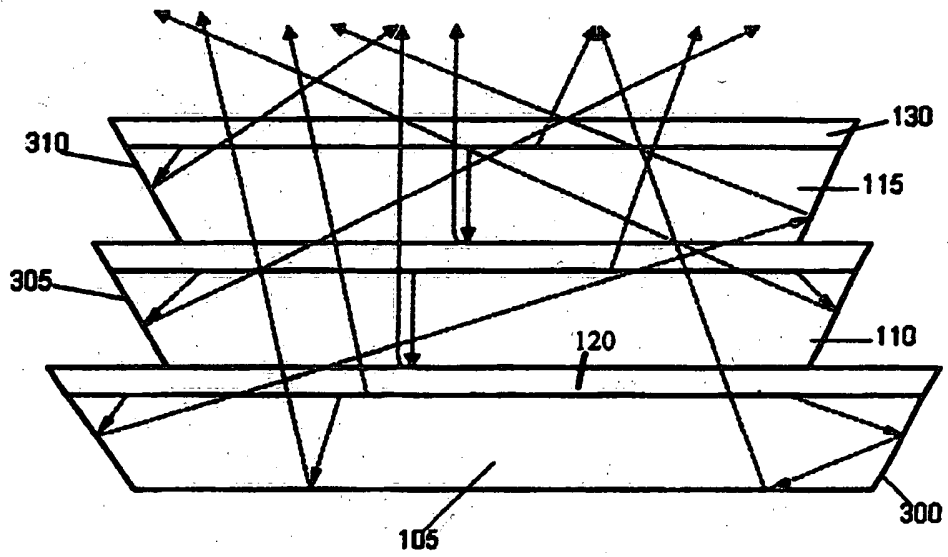


FIG. 3

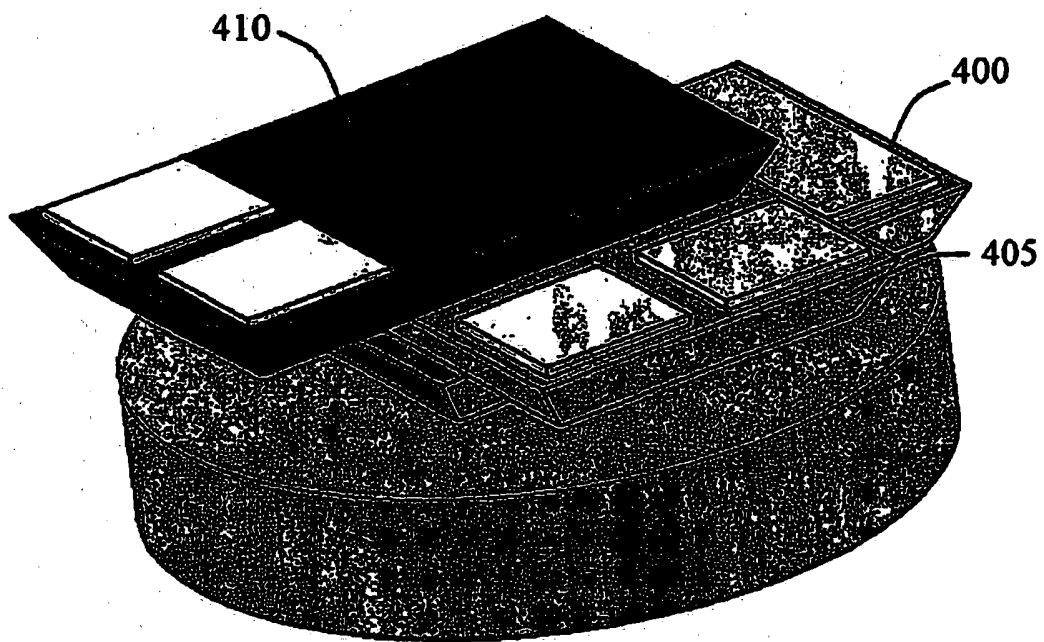


FIG. 4

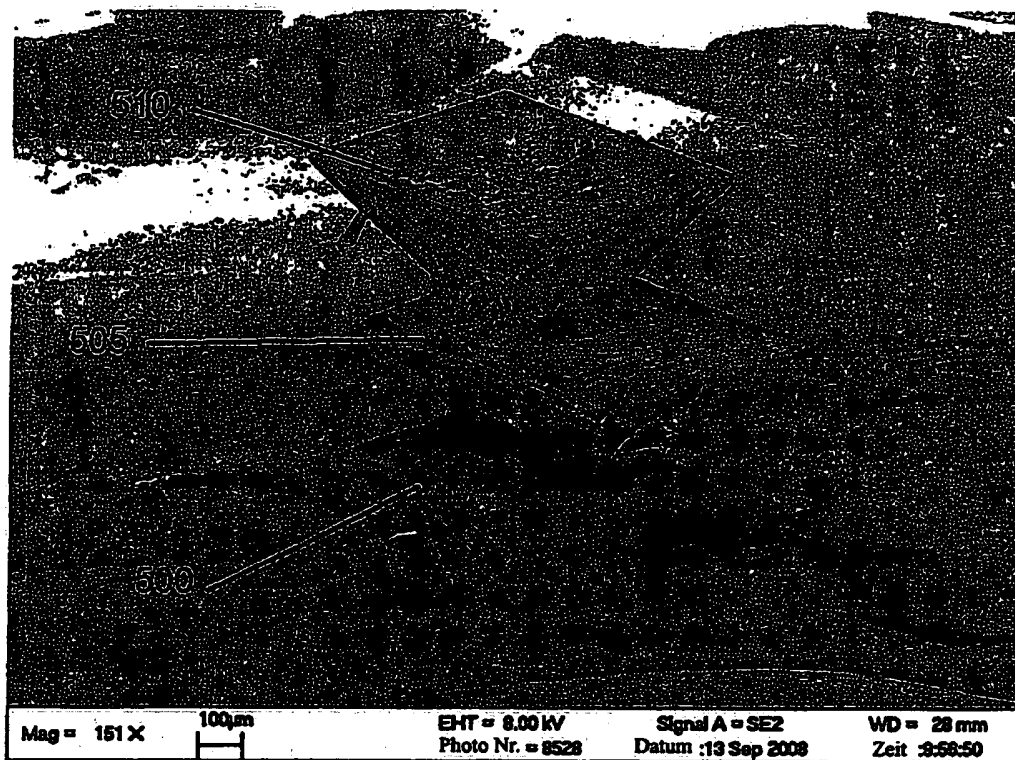


FIG. 5

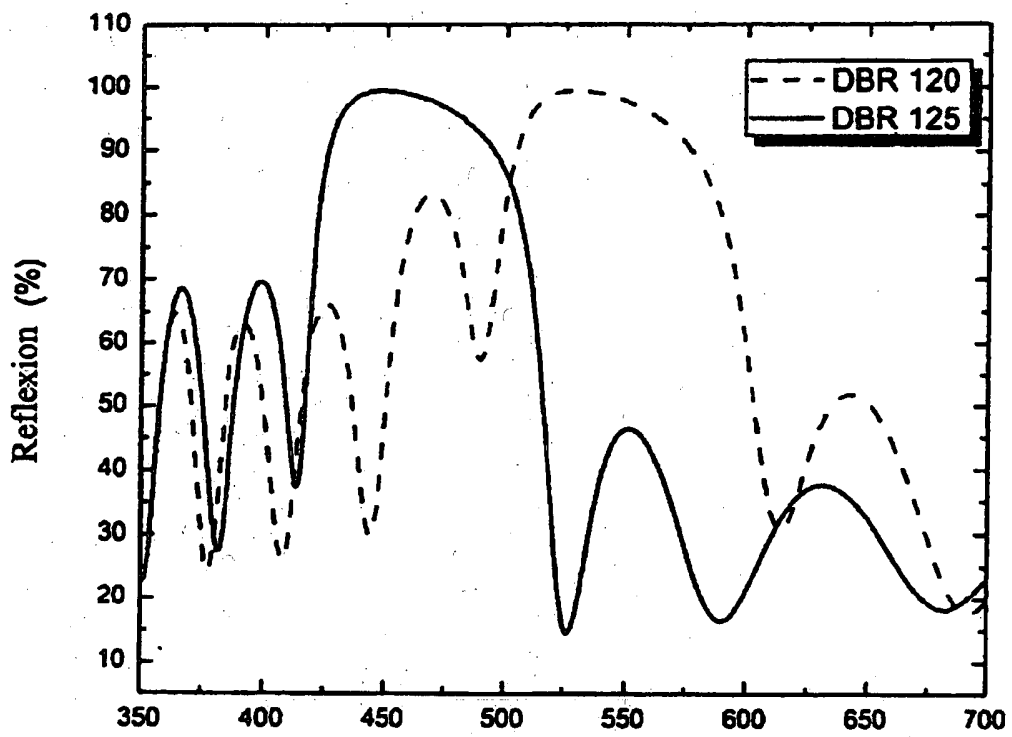


FIG. 6

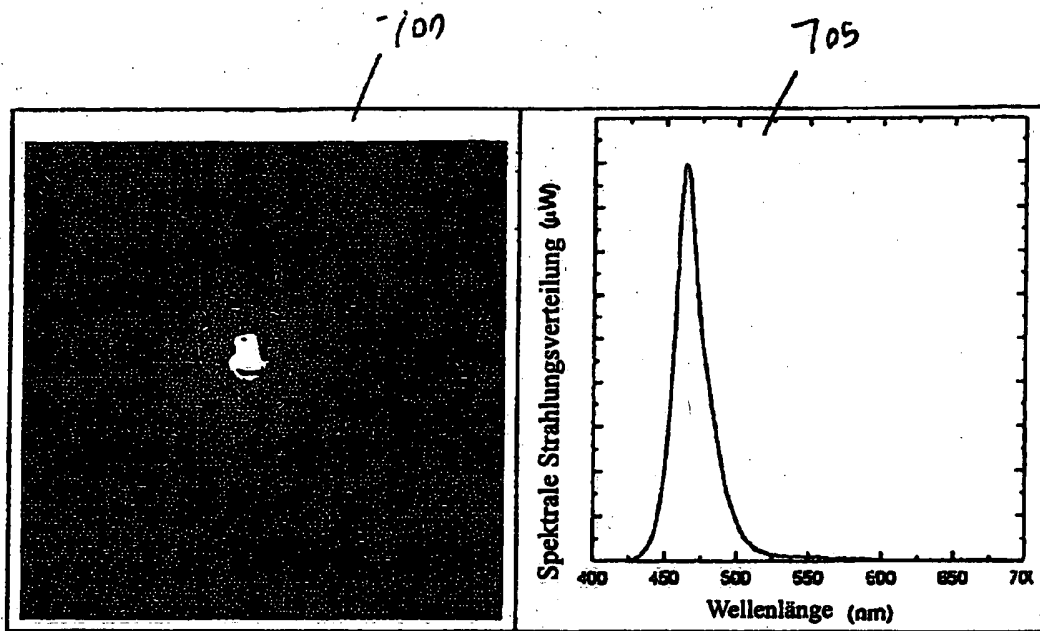


FIG. 7

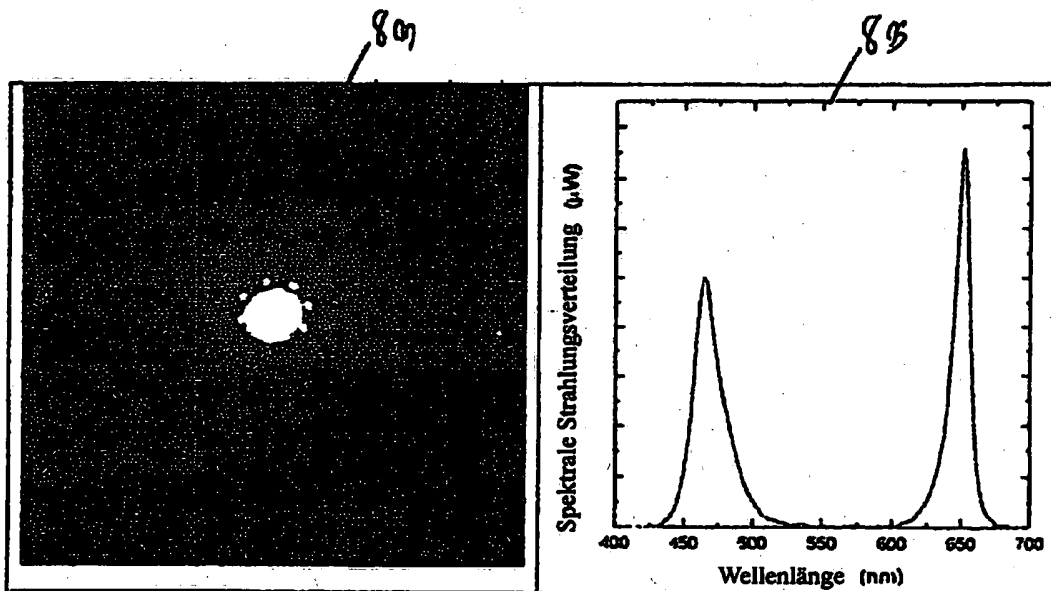


FIG. 8

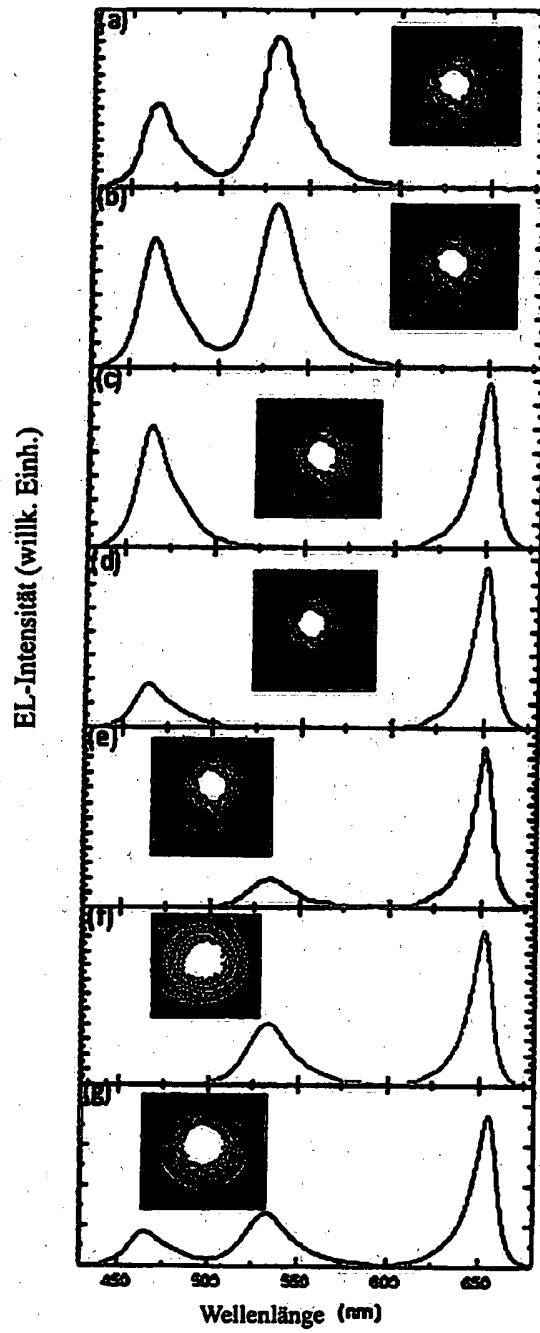


FIG. 9

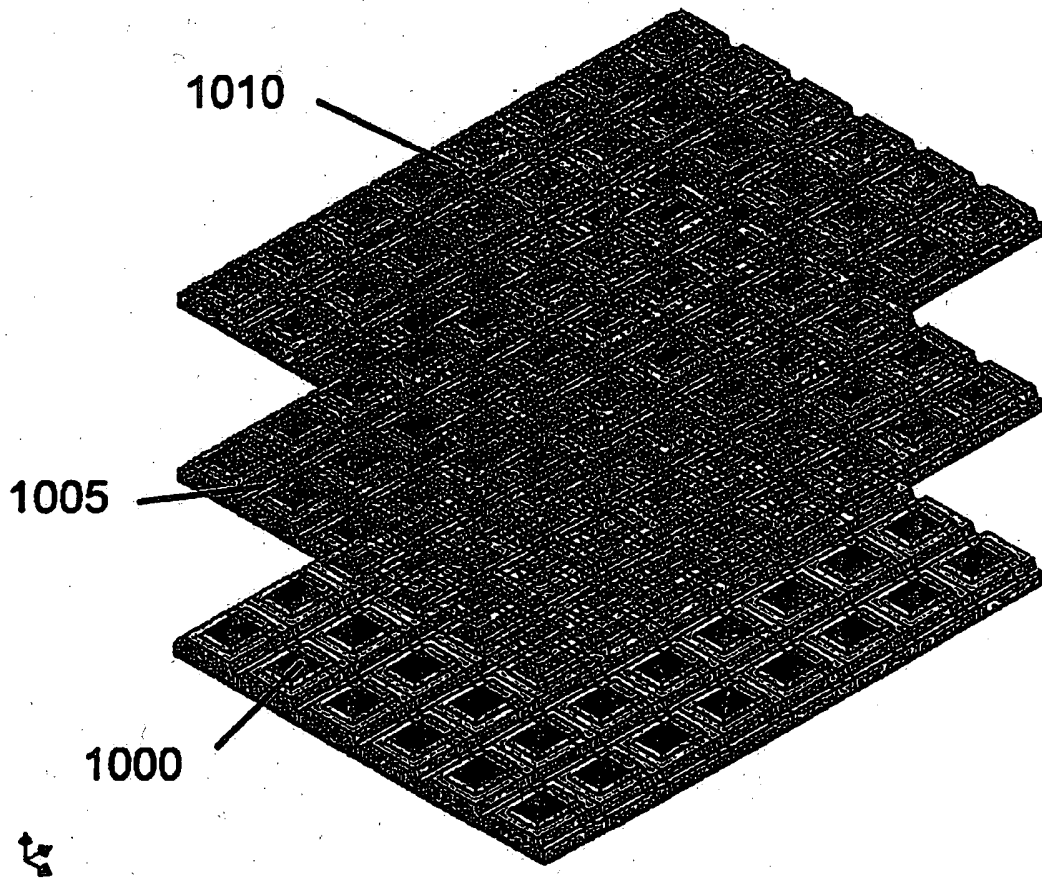


FIG. 10

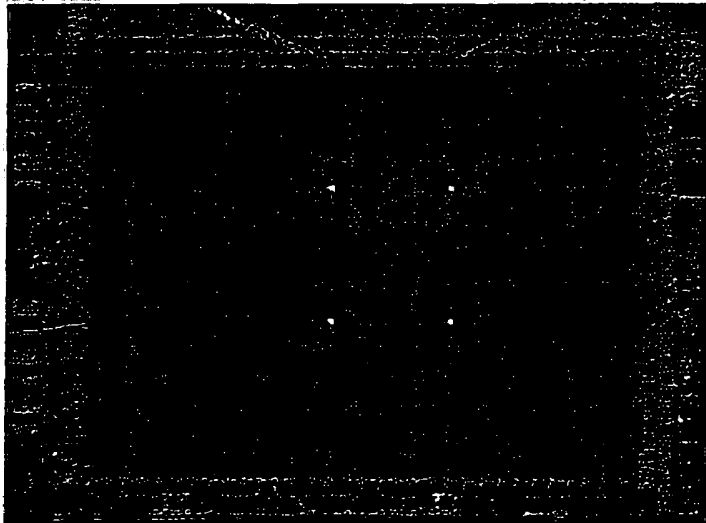


FIG. 11

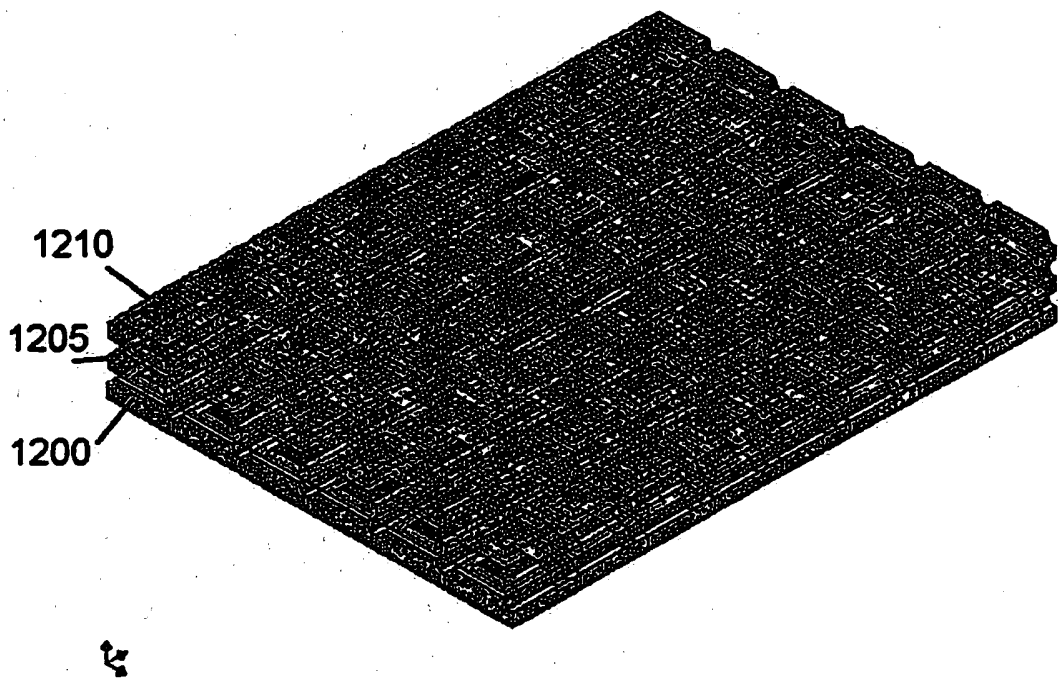


FIG. 12

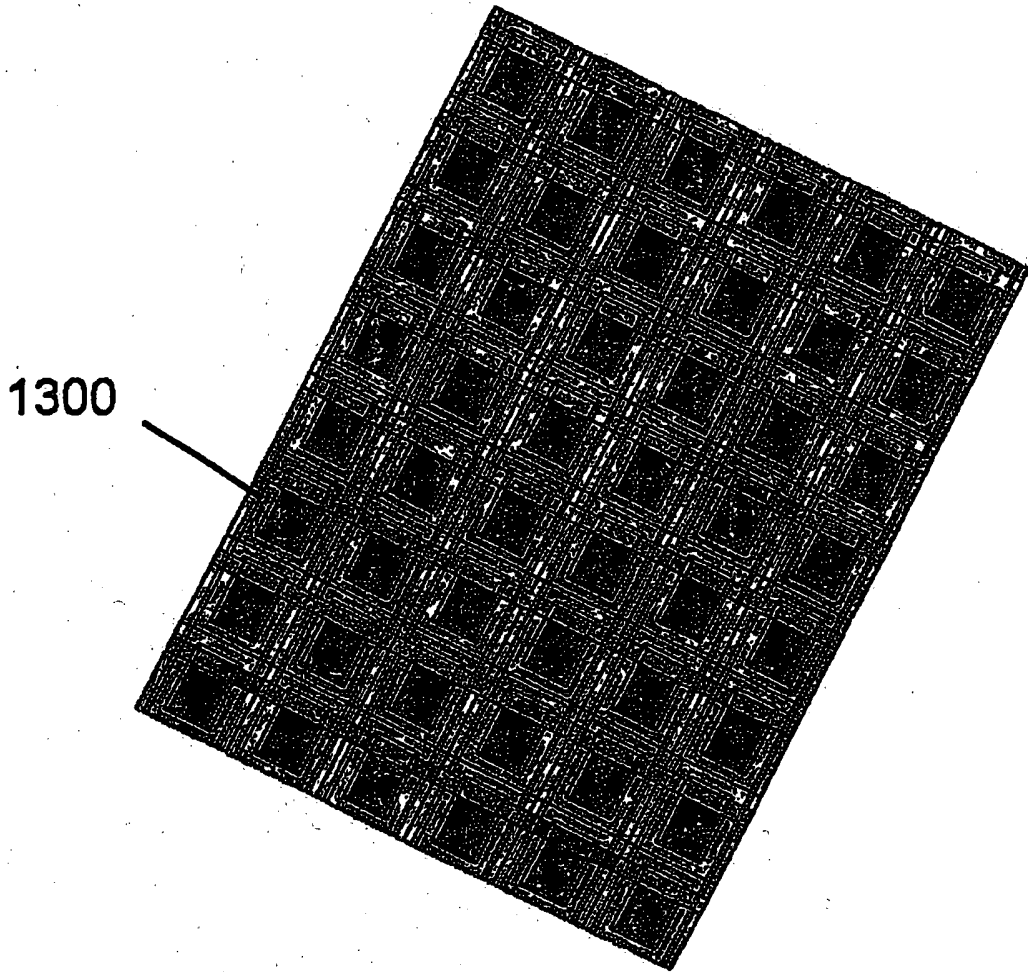


FIG. 13

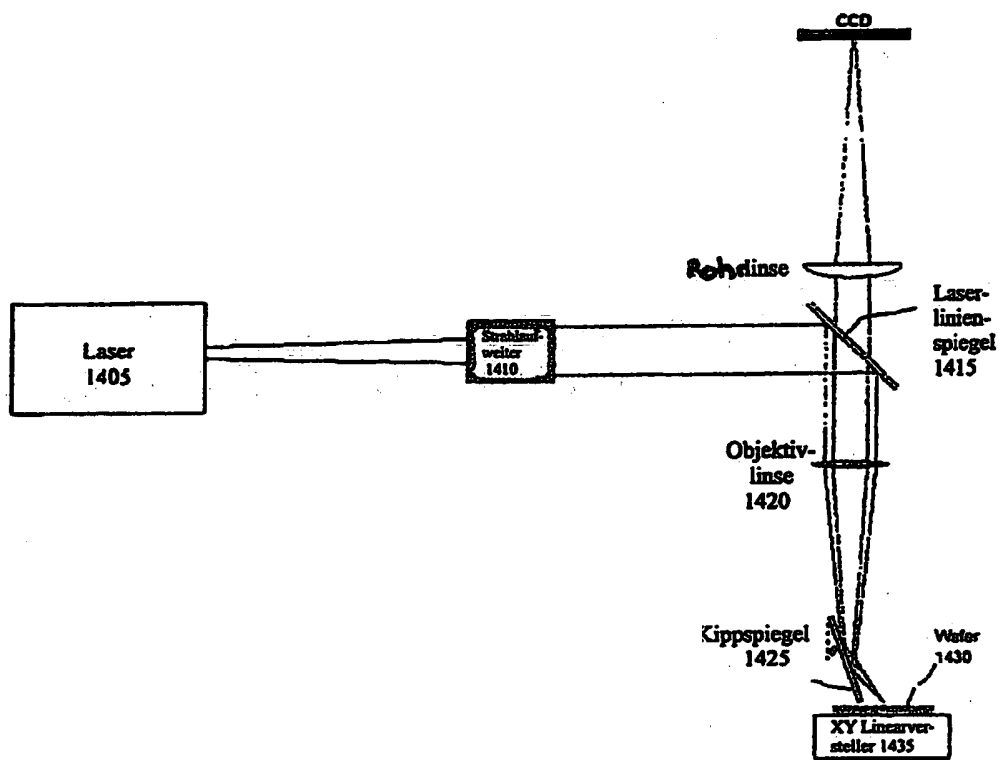


FIG. 14

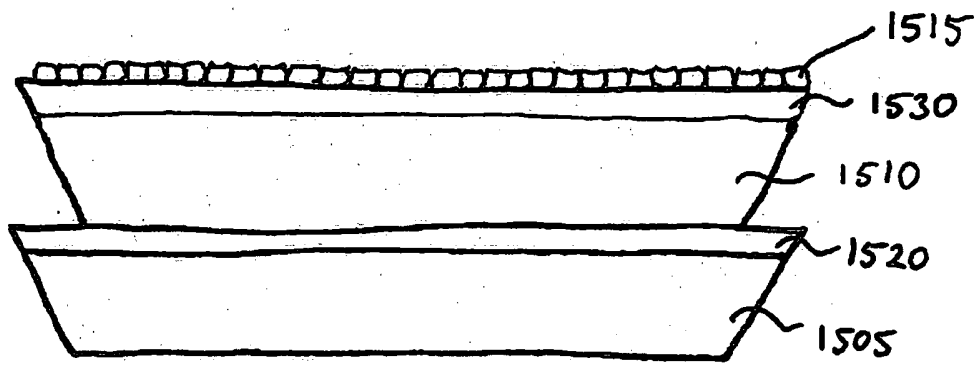


FIG. 15