

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-536294  
(P2008-536294A)

(43) 公表日 平成20年9月4日(2008.9.4)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
H O 1 L 33/00 (2006.01) H O 1 L 33/00 C 5 F O 4 1

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-558124 (P2007-558124)  
(86) (22) 出願日 平成18年2月28日 (2006.2.28)  
(85) 翻訳文提出日 平成19年10月26日 (2007.10.26)  
(86) 国際出願番号 PCT/US2006/007029  
(87) 国際公開番号 W02006/093937  
(87) 国際公開日 平成18年9月8日 (2006.9.8)  
(31) 優先権主張番号 11/067, 910  
(32) 優先日 平成17年2月28日 (2005.2.28)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

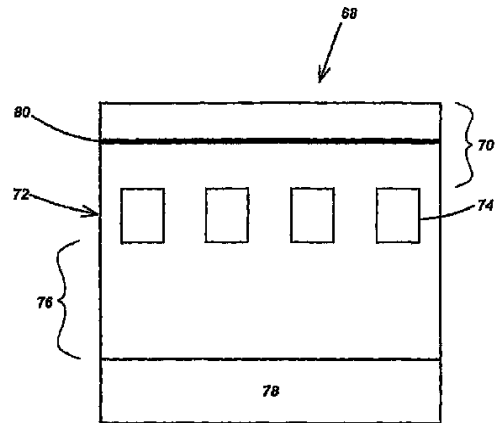
(71) 出願人 500025503  
ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシ  
ティ オブ カリフォルニア  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 946  
07-5200, オークランド, フラン  
クリン ストリート 1111, 12ティ  
ーエイチ フロア  
(74) 代理人 100078282  
弁理士 山本 秀策  
(74) 代理人 100062409  
弁理士 安村 高明  
(74) 代理人 100113413  
弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターニングされた基板上の成長による単色またはマルチカラーの高性能な発光ダイオード (LED)

(57) 【要約】

高い抽出効率を有する単色またはマルチカラーの発光ダイオード (LED) は、基板と、基板上に形成されたバッファ層と、バッファ層の上部に堆積された1つ以上のパターニングされた層と、パターニングされた層の上または層の間に形成された1つ以上のアクティブ層から構成される。上記発光ダイオードは、例えば、横方向エピタキシャル成長 (LEO) によるものであり、1つ以上の発光種 (例えば、量子井戸) を含む。パターニングされた層は、パターニングされ穿孔または貫通されたマスク (絶縁材料または半導性材料または金属材料から構成されている) と、マスク内のホールを充填する材料とを備えている。パターニングされた層は、アクティブ層との屈折率のコントラストに起因して光閉じ込め層として機能し、かつ/またはマスクと上記マスク内のホールを充填する材料との間の屈折率の変化に起因して埋め込み回折格子として機能する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

発光ダイオード（LED）であって、

（a）1つ以上のパターンングされた層であって、各パターンングされた層は、マスクおよび該マスク内のホールを充填する材料を含んでいる、パターンングされた層と、

（b）該パターンングされた層の上または該パターンングされた層の間に形成された1つ以上のアクティブ層であって、該アクティブ層は、1つ以上の発光種を含んでいる、アクティブ層と

を備えており、

（c）各パターンングされた層は、該アクティブ層の該発光種に対し、光閉じ込め層または埋め込み回折格子として機能する、LED。

10

## 【請求項 2】

基板および該基板上に成長されたバッファ層をさらに備えており、前記パターンングされた層は、該バッファ層の上部に堆積される、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 3】

前記バッファ層は、窒化ガリウム（GaN）ベースの材料である、請求項 2 に記載の LED。

## 【請求項 4】

前記パターンングされた層は、前記アクティブ層との屈折率のコントラストに起因して、光閉じ込め層として機能する、請求項 1 に記載の LED。

20

## 【請求項 5】

前記パターンングされた層は、前記マスクと該マスク内のホールを充填する材料との間の屈折率の変化に起因して、埋め込み回折格子として機能する、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 6】

前記アクティブ層は、窒化ガリウム（GaN）ベースの材料である、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 7】

前記アクティブ層は、横方向エピタキシャル成長（LEO）によって成長される、請求項 1 に記載の LED。

30

## 【請求項 8】

前記マスクは、絶縁性材料、半導性材料、または金属材料から構成される、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 9】

前記マスク内の前記ホールを充填する前記材料は、窒化ガリウム（GaN）ベースの材料を含んでいる、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 10】

前記マスク内の前記ホールを充填する前記材料は、横方向エピタキシャル成長（LEO）によって成長される、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 11】

前記パターンングされた層の上または下に配置されたミラーをさらに備えており、所望の方向の放出を向上または低減させる、請求項 1 に記載の LED。

40

## 【請求項 12】

前記パターンングされた層において、異なるパターンが用いられ、回折による異なる波長を抽出するか、あるいは該回折の方向を変化させる、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 13】

追加的なアクティブな光励起された領域が用いられ、導波モードを再利用することにより、別の周波数で該導波モードの一部を再放出する、請求項 1 に記載の LED。

## 【請求項 14】

前記 LED は、分離した放出および抽出ゾーンを有している、請求項 1 に記載の LED

50

。

【請求項 15】

前記 LED は、分離した放出および回折領域を有している、請求項 1 に記載の LED。

【請求項 16】

指向性 LED を製造するために、放出は主に、前記導波モードの構造の適切な調整により、特定の方向で発生する、請求項 1 に記載の LED。

【請求項 17】

発光ダイオード (LED) を製造する方法であって、

(a) 1 つ以上のパターンングされた層を堆積することであって、各パターンングされた層は、マスクおよび該マスク内のホールを充填する材料を含んでいる、ことと、

(b) 該パターンングされた層の上または該パターンングされた層の間に 1 つ以上のアクティブ層を形成することであって、該アクティブ層は、1 つ以上の発光種を含んでいる、ことと

を包含し、

(c) 該パターンングされた層は、該アクティブ層の該発光種に対し、光閉じ込め層または埋め込み回折格子として機能する、方法。

【請求項 18】

基板および該基板上に成長されたバッファ層をさらに備えており、前記パターンングされた層は、該バッファ層の上部に堆積される、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記バッファ層は、窒化ガリウム (GaN) ベースの材料である、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記パターンングされた層は、前記アクティブ層との屈折率のコントラストに起因して、光閉じ込め層として機能する、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 21】

前記パターンングされた層は、前記マスクと該マスク内のホールを充填する材料との間の屈折率の変化に起因して、埋め込み回折格子として機能する、請求項 17 に記載の方法

。

【請求項 22】

前記アクティブ層は、窒化ガリウム (GaN) ベースの材料である、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 23】

前記アクティブ層は、横方向エピタキシャル成長 (LEO) によって成長される、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 24】

前記マスクは、絶縁性材料、半導性材料、または金属材料から構成される、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 25】

前記マスク内の前記ホールを充填する前記材料は、窒化ガリウム (GaN) ベースの材料を含んでいる、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 26】

前記マスク内の前記ホールを充填する前記材料は、横方向エピタキシャル成長 (LEO) によって成長される、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 27】

前記パターンングされた層の上または下にミラーを配置することをさらに包含し、所望の方向の放出を向上または低減させる、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 28】

前記パターンングされた層において、異なるパターンが用いられ、回折による異なる波長を抽出するか、あるいは該回折の方向を変化させる、請求項 17 に記載の方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 29】

追加的なアクティブな光励起された領域が用いられ、導波モードを再利用することにより、別の周波数で該導波モードの一部を再放出する、請求項 17 に記載の方法。

## 【請求項 30】

前記 LED は、分離した放出および抽出ゾーンを有している、請求項 17 に記載の方法。

## 【請求項 31】

前記 LED は、分離した放出および回折領域を有している、請求項 17 に記載の方法。

## 【請求項 32】

指向性の LED を製造するために、放出は主に、前記導波モードの構造の適切な調整により、特定の方向で発生する、請求項 17 に記載の方法。

10

## 【請求項 33】

請求項 17 に記載の方法を用いて製造されたデバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

(関連出願の引用)

本出願は、同一出願人による以下の同時継続出願の優先権を主張する：

米国特許出願第 11/067,910 号、2005 年 2 月 28 日出願、Claude C. A. Weisbuch、Aurelien J. F. David、James S. Speck、および Steven P. DenBaars、題名「SINGLE OR MULTI-COLOR HIGH EFFICIENCY LIGHT EMITTING DIODE (LED) BY GROWTH OVER A PATTERNED SUBSTRATE」、代理人管理番号第 30794.122-US-01(2004-145-1)号

20

上記出願は、参考のために本明細書に援用される。

## 【0002】

本出願はまた、同一出願人による以下の同時継続出願にも関連する：

米国特許出願第 10/938,704 号、2004 年 9 月 10 日出願、Carole Schwach、Claude C. A. Weisbuch、Steven P. DenBaars、Henri Benisty、および Shuji Nakamura、題名「WHITE, SINGLE OR MULTI-COLOR LIGHT EMITTING DIODES BY RECYCLING GUIDED MODES」、代理人管理番号第 30794.115-US-01(2004-064-1)号、

30

米国特許出願第 11/067,957 号、2005 年 2 月 28 日出願、Claude C. A. Weisbuch、Aurelien J. F. David、James S. Speck、および Steven P. DenBaars、題名「HORIZONTAL EMITTING, VERTICAL EMITTING, BEAM SHAPED, DISTRIBUTED FEEDBACK (DFB) LASERS BY GROWTH OVER A PATTERNED SUBSTRATE」、代理人管理番号第 30794.121-US-01(2005-144-1)号；ならびに

40

米国特許出願第 11/067,956 号、2005 年 2 月 28 日出願、Claude C. A. Weisbuch、Aurelien J. F. David、および Steven P. DenBaars、題名「HIGH EFFICIENCY LIGHT EMITTING DIODE (LED) WITH OPTIMIZED PHOTONIC CRYSTAL EXTRACTOR」、代理人管理番号第 30794.126-US-01(2005-198-1)号

上記出願は、参考のために本明細書に援用される。

## 【0003】

(委託研究開発に関する陳述)

50

本発明は、University of California、Santa Barbara Solid State Lighting and Display Centerのメンバーカンパニーからの支援のもとでなされたものであり、上記メンバーカンパニーは、Stanley Electric Co.、Ltd.、Mitsubishi Chemical Corp.、Rohm Co.、Ltd.、Cree、Inc.、Matsushita Electric Works、Matsushita Electric Industrial Co.、およびSeoul Semiconductor Co.、Ltdを含む。

【背景技術】

【0004】

(本発明の背景)

(1. 本発明の分野)

本発明は、発光ダイオード(LED)に関し、より詳細には、パターニングされた基板上の成長による単色またはマルチカラーのLEDに関する。

【0005】

(2. 関連技術の記載)

発光ダイオード(LED)は、順方向に電氣的にバイアスされたときに、誘導放出するように光を放出する半導体デバイスである。この効果は、エレクトロルミネセンスの一形態である。

【0006】

LEDは、不純物で含浸またはドーピングされた半導性材料のチップから構成され、pn接合と称される構造を形成する。順方向にバイアスされると、n領域から接合に電子が射出され、p領域からはホールが射出される。電子およびホールは、それらが再結合する際に、光子の形態で、エネルギーを解放する。光の波長、そしてその色は、pn接合を形成する材料のバンドギャップエネルギーに依存する。

【0007】

半導体材料が改良されるにつれて、半導体デバイスの効率もまた改良されてきており、新しい波長範囲もまた、用いられるようになった。窒化ガリウム(GaN)ベースの発光体は、おそらく、様々な用途に対して最も有望である。GaNは、例えば、可変濃度のインジウム(In)と混合されたときに、紫外線(UV)から黄色スペクトルまでの効率的な照射を提供する。

【0008】

不都合にも、半導体LED材料内で発光された光は、半導体-空気の界面における全内反射が原因で、ほとんどが損失する。典型的な半導体材料は、高い屈折率を有しているので、Snellの法則にしたがうと、光のほとんどは、材料内に捕獲され得、その結果、効率が低減される。LEDに対して適切な幾何学的配置を選択することにより、高い抽出効率が達成され得る。

【0009】

図1は、同質な発光材料10の断面図を示しており、これは、材料14内部で発光された光の一部12が、エスケープコーン16内に存在し、材料10から逃げ得る一方で、発光された光の大部分18が、材料10内に捕獲され、反射されることを示している。この状況において、反射された光18は、導波光モード(guided light mode)または導波モード(guided mode)と称される。なぜならば、この光18は、デバイス10内に閉じ込められ、材料10内において横方向にガイドされるからである。

【0010】

全内反射の影響を低減させるための1つの方法は、デバイスの表面のランダムなテクスチャを介して光の散乱または再分配を形成することであり、これは、デバイスの半導体-空気の界面における、複数の可変角度の入射を引き起こす。このアプローチは、高い内部効率と低い内部損失の結果として、発光効率を9~30%向上させることが示されており

10

20

30

40

50

、これは、光がデバイスから逃げる前に多数の光の経路を与える。

【0011】

図2は、このコンセプトを示す半導体LED20の断面図であり、LED20の上面22は、テクスチャ加工されており、LED20の底面24は、反射体を備えており、空気は、屈折率 $n = 1$ を有しており、LED20の半導体材料は、屈折率 $n = 3.5$ を有している。LED20のテクスチャ加工された上面22は、幾何光学的アプローチで光の軌道をランダム化するために用いられる。

【0012】

捕獲される光の割合を低減させるための別の方法は、共振キャビティLED(RCLE D)またはマイクロキャビティLED(MCLE D)を用いることである。MCLE Dは、「伝統的な」LEDを用いる既存のシステムよりも高い効率を有する固体発光システムを形成する機会を提供する。共振キャビティ内に利得媒体を組み込む結果として、MCLE Dは、非常にコンパクトで指向性の光線を発光する。これらのデバイスの比較的高い抽出効率と比較的強い明るさは、従来のLEDに対するこれらの技術の主要な利点である。

10

【0013】

抽出効率とは、特定のシステムによって生成された光子が「有用」な照射としてシステムから実際に出る能力を意味する。しかしながら、マイクロキャビティ構造はまた、導波モードおよび漏れモードへの非常に有効な放出にもつながるので、この比較的高い抽出率は、40%の範囲に制限される。したがって、これらの導波モードが抽出され得るならば、有用であり得る。

20

【0014】

上述のように、導波モードは、構造層の間の屈折率の違いに起因してデバイス平面内に導かれるモードである。漏れモードは、層を介して、空気または基板へと放射される。漏れモードは、それらのエネルギーが様々な損失機構(例えば、金属ミラー損失、自由キャリア吸収、アクティブ層による再吸収等)によって消散されるまでに、通常、界面において複数の全内反射を経て、デバイス内であちらこちらに動く際に、損失する。

【0015】

図3は、放射モード、導波モード、漏れモードを示す半導体LED26の断面図であり、LED26は、基板28、バッファ層30、およびアクティブ層32を含んでおり、上記アクティブ層は、量子井戸(QW)34を含んでいる。放出された光の一部は、空気に向けて抽出36され、放射モード36を形成し、放出された光の一部は、デバイス26の様々な層を介することにより、基板28に漏れ38、漏れモード38を形成し、放出された光の一部は、アクティブ層32(またはアクティブ層32およびバッファ層30の両方)において反射され40、導波モード40を形成する。

30

【0016】

高性能なLEDを得るためには、構造の外への光の放射36を最適化し、漏れモード38および導波モード40の放出を最小化し、そして出来る限り、導波モードの放出40を再放出し、さらには漏れモード38の放出の一部を再放出することが必要である。本発明は、容易に製造可能な構造により、この目的を満たすことを目標としている。

【0017】

図4A~図4Bおよび図5A~図5Bは、マイクロキャビティ放出の構造(図4Aおよび図5A)およびシミュレーション(図4Bおよび図5B)を、窒化ガリウム(GaN)材料システムにおける、底部の金属または分布型ブラッグ反射体(DBR)ミラーと、上部における空気との単一の界面とによって、示している。図4Bおよび図5Bは、半導体内部の対数目盛りの角放出図(angular emission diagram)であり、図4Bは、図4Aの構造の放出を示しており、図5Bは、図5Aの構造の放出を示している。図4Bおよび図5Bの両方に対し、図の左半分は、TM(transverse magnetic)放出を示しており、右半分は、TE(transverse electric)偏向放出を示している。平面内のモノクロのダイポールのみが仮定されている。

40

50

## 【 0 0 1 8 】

図 4 A において、構造は、金属ミラー 4 2 およびアクティブ層 4 4 を含んでおり、上記アクティブ層は、量子井戸 4 6 を含んでおり、上記構造は、3 / 4 のキャビティであり、量子井戸 4 6 は、金属ミラー 4 2 の / 4 ( 4 8 ) に配置されている。図 4 B において、矢印 5 0 は、空気に向けての放出を示しており、その一方で、矢印 5 2 は、基板に向けての放出を示している。また、図 4 B において、ブレース 3 6 は、抽出された光を示しており、ブレース 4 0 は、導波モードを示している。

## 【 0 0 1 9 】

図 5 A において、構造は、パuffァ 5 4、7 周期 DBR ミラー 5 6、およびアクティブ層 5 8 を含んでおり、上記アクティブ層は、量子井戸 6 0 を含んでいる。ここで、構造は、のキャビティであり、量子井戸 6 0 は、7 周期 DBR ミラー 5 6 の / 2 ( 6 2 ) に配置されている。図 5 B において、矢印 6 4 は、空気に向けての放出を示しており、その一方で、矢印 6 6 は、基板に向けての放出を示している。また、図 5 B において、ブレース 3 6 は、抽出された光を示しており、ブレース 3 8 は、漏れモードを示しており、ブレース 4 0 は、導波モードを示している。

10

## 【 0 0 2 0 】

これらの構造からの抽出効率は、それぞれ、図 4 A において、空中で 3 1 % および 2 4 % であり、図 5 A において、エポキシ内で 4 4 % および 2 7 % である。

## 【 0 0 2 1 】

LED のマイクロキャビティ抽出に関し、大幅な改善を得ようと試みる時に、ほとんどの材料システムでは、困難に直面する。図 4 B および図 5 B は、放出図を示しており、最適化された GaN マイクロキャビティ LED の期待される効率がこれらから抽出されるが、以下の問題点を示している：

20

( i ) エピタキシャルに成長された材料に対する屈折率コントラストは、特に、非常に重要な窒化物材料に対し、かなり制限されている。これは、図 5 A の DBR ミラー 5 6 の構造において多数の漏れモードへの放出が見られるからであり、これは、図 5 A の DBR ミラー 5 6 の構造の効率を、図 4 A の金属ミラー 4 2 の効率よりも低くする。

( i i ) 表示された効率は、非常に薄い構造が考えられ、下位キャビティ ( 以下では、参照番号 1 0 で記載されている ) をもたらすからこそ可能である。そのような薄いアクティブ層を得ることは、困難である。例えば、通常は、アクティブ層のための良い品質の材料を成長させる前に、窒化物の薄い ( 数ミクロンの ) パuffァ層を基板上に成長させる必要がある。窒化物材料 ( パuffァ層およびアクティブ層 ) を基板からリフトオフすることは、既にデリケートな操作であるが、それに加え、図 4 A に示されている薄い金属ミラー構造の優れた性能をもたらす良好な金属ミラーによって囲まれた薄い層を得ることが ( すなわちパuffァ層の一部または全部をさらに除去することが )、極めて困難だからである。

30

## 【 発明の開示 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 2 2 】

したがって、当該技術においては、増大された光抽出効率を提供する改良された LED 構造を提供することに対する必要性が存在する。加えて、当該技術においては、構造の外への直接または放射モードの放出を最適化し、漏れモード放出を最小化し、導波モード放出を再放出する、改良された LED 構造に対する必要性が存在する。さらに、そのような改良された LED を提供する一方で、そのような構造を容易に製造できるようにするために、平面状の構造を維持することに対する必要性が存在する。本発明は、これらの必要性を満たす。

40

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 2 3 】

( 本発明の概要 )

本発明は、高い抽出効率を有する単色またはマルチカラーの発光ダイオード ( LED )

50

を開示し、上記発光ダイオードは、基板、基板上に成長されたバッファ層、バッファ層の上部に堆積されたパターンされた層、パターンされた層の上に形成されたアクティブ層から構成され、例えば、横方向エピタキシャル成長 (LEO; Lateral Epitaxial Overgrowth) によるものであり、1つ以上の発光種を含む。パターンされた層は、パターンされ穿孔または貫通されたマスク (絶縁材料または半導性材料または金属材料から構成されている) と、マスク内のホールを充填する材料とを備えている。パターンされた層は、アクティブ層との屈折率の差、および/またはマスクとマスク内のホールを充填する材料との間の屈折率の変化に起因して、光閉じ込め層としてと、埋め込み回折格子としてとの両方で機能する。このようにして、放出モードおよび導波モードへのアクティブ層の放出を制御し、その後これらは、抽出される。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

(本発明の詳細な説明)

好適な実施形態に関する以下の記載では、本明細書の一部を形成する添付の図面に対する参照がなされる。図中では、例示のために、本発明が実施され得る特定の実施形態が示されている。その他の実施形態もまた用いられ得、本発明の範囲から逸れることなしに、構造の変更がなされ得ることが、理解されるべきである。

【0025】

(概説)

本発明は、新しいLED構造を記載し、上記新しいLED構造は、平面状の構造を維持しながらも、増加された光抽出効率を提供する。平面状の構造は、新しいLEDが低コストで製造されることを可能にする。

20

【0026】

好適には、上記構造は、基板、上記基板上に成長されたバッファ層、バッファ層上に堆積されたパターンされた層、パターンされた層の上に形成された1つ以上の発光種 (そのうちの一部は電流注入される) を含んでいるアクティブ層を備えており、例えば、横方向エピタキシャル成長 (LEO) によるものである。パターンされた層は、パターンされたマスク (絶縁性材料、半導性材料、または金属材料から構成される) と、マスク内のホールを充填する材料とを備えている。構造の上部には、単一の界面、または幾何学的構造 (例えばエポキシドーム)、またはDBRミラー、または金属ミラーのいずれかが存在する。

30

【0027】

アクティブ層とパターンされた層との間の屈折率の差が大きいことに起因して、アクティブ層における種の放出パターンは、変化され得、例えば、導光モード、放射モード、または漏れモードにおいて放出される光の相対的な量を増加または減少させる。マスクと上記マスク内のホールを充填する材料との間の屈折率の変化に起因して、パターンされた層は、回折格子として機能し得、それにより、導波光がLEDの外で放出されることを可能にする。

【0028】

(技術的記載)

図6Aは、デバイス68の断面側面図であり、図6Bは、デバイス68の水平断面図である。上記デバイスは、GaNから構成された300nmのアクティブ層70を有しており、上記アクティブ層は、SiO<sub>2</sub>から構成されたパターンまたは貫通または穿孔されたマスク74を含む300nmのパターンされた層72の上に形成されている。上記マスクは、GaNから構成された5ミクロンのバッファ層76の上に堆積されており、上記バッファ層は、サファイアから構成された基板78の上に成長されている。パターンされた層72は、主要なコンポーネントとしてSiO<sub>2</sub>のマスク74を用いており、放射モードおよび導波モードへのアクティブ層70の放出を制御する。このようにして、デバイス68は、パターンされた層72の特定の設計を要求し、正確に成長された例えば量子井戸(QW)のような発光種80を含む薄いアクティブ層70を要求する。最大

40

50

の効率が必要とされる場合、これらの発光種 80 は、アクティブ層 70 内に最適に配置され得る。

#### 【0029】

そのような構造の直接的な利点は、成長マスクとしてパターンングされた層を用いることにより、アクティブ層が L E O によって成長される場合に、成長材料が、優れた光電性能を有するものになり得るということである ( L E O 成長に関する従来の研究から公知である)。図 7 は、G a N 材料から構成された L E O 成長されたマイクロキャビティ L E D の放出特性の簡略化されたシミュレーションを示している。300 nm の薄いパターンングされた層は、表面の 50 % をカバーするパターンングされた S i O<sub>2</sub> のマスクと、マスク内のホールを充填する G a N とから構成されている。そして、公知な指標を用いることにより、空中に放出される光の一部、導光モードまたは漏れモードは、アクティブ層の厚さと、アクティブ層に配置された発光体 (すなわち、Q W) との関数として、計算され得る。簡略化されたシミュレーションは、そのような構造の上手く制御された放出特性を示している：光の 15 ~ 20 % のみが漏れモードで放出されるが、このことは光の少なくとも 80 % が回収され得ることを意味している。

10

#### 【0030】

図 7 にはまた、相対的な全放出率 ( r e l a t i v e t o t a l e m i s s i o n r a t e ; パーセル効果) が示されている。効率およびパーセル効果は、S i O<sub>2</sub> の上部の上の G a N 層の厚さ (横軸) と、S i O<sub>2</sub> 層の上部に対するその層における放出量子井戸の相対的な位置 (縦軸) とを対照して、グレースケールとしてプロットされている。

20

#### 【0031】

光のほとんどが直接的または導波モードで放出される (すなわち、漏れモードが 15 % 未満である) 場所に、領域が見出され得 (すなわち、層の厚さが 270 nm、Q W がその値の 70 % に位置する)、直接抽出効率は、導波モードにおける発光の 30 % から 55 % の範囲にある。

#### 【0032】

図 8 は、回折による導波モードの抽出を示しており、回折格子としてパターンングされた層 72 を用いている。シミュレーションは、80 % 範囲の抽出効率が可能であるということを示している。パターンングされたマスク内のホールのパターンおよびサイズに依存して、さらにはデバイス構造の上部または底部に配置される金属ミラーの使用にもまた依存して、デバイスの上部または底部に、放出が発生し得る。

30

#### 【0033】

パターンングされた層 72 のマスク 74 におけるパターン、穿孔、または貫通に関し、様々な幾何学的形状が用いられ得る。最も単純な幾何学的形状は、正方形または長方形の配列 (例えば、いわゆる周期的なフォトリソグラフィッククリスタル) であり、それぞれは、図 9 において、82 および 84 として示されている。図 9 において 86 として示されているアルキメデスタイリングのような、より複雑な幾何学的形状もまた、より効率的な光抽出をもたらし得る。最後に、波長に近い特性相関長 ( c h a r a c t e r i s t i c c o r r e l a t i o n l e n g t h ) を有し得るいくぶんランダムなパターンもまた、効率的な光散乱体として機能し得る。

40

#### 【0034】

薄膜マイクロキャビティの幾何学的形状でパターンングされた層 72 の上での成長に関するコンセプトについて、多くの可能なインプリメンテーションが存在する。例えば、図 10 に示されているように、2つのパターンングされた層 72、2つのマスク 74、および 2つの L E O 成長が、アクティブ層 70 の材料品質を向上させるために用いられ得る。パターンングされた層 72 の回折によってマイクロキャビティ効果および抽出特性を保持するために、薄い成長 (典型的には、200 ~ 1000 nm の厚さ) において、出来る限り良い材料を取得することに対する挑戦が存在する。

#### 【0035】

金属または誘電性のミラーが、パターンングされた層 72 の上または下に (例えば、構

50

造の上部、パターンングされた層 7 2 の下、または基板 7 8 の下に) 配置され得、所望の方向の放出を向上または低減させ、漏れモードに放出された光の一部を基板 7 8 に向けて抽出する。

【0036】

パターンングされた層 7 2 のマスク 7 4 は、絶縁性材料、半導性材料、または金属材料から構成され得る。パターンングされた層 7 2 のマスク 7 4 の屈折率が、アクティブ層 7 0 の屈折率、および/またはマスク 7 4 内のホールを充填する材料の屈折率から、十分に異なっていることが、要求される。

【0037】

図 1 1 は、デバイスの断面側面図であり、アクティブ層 7 0 における 2 つの発光種 8 0 A、8 0 B (すなわち、量子井戸) は、異なる波長で放出しており、パターンングされた層 7 2 におけるマスク 7 4 の 2 つのパターン 8 8 A および 8 8 B は、導波を放射モード 9 0 A および 9 0 B に変換している。ここで、9 0 A は 8 0 A に関連しており、9 0 B は 8 0 B に関連している。このようにして、異なる周期を有する、パターンングされた層 7 2 のマスク 7 4 における異なるパターン 8 8 A、8 8 B は、回折によって様々な波長で 9 0 A、9 0 B を抽出するために、用いられ得る。パターンングされた層 7 2 におけるマスク 7 4 のその他のパラメータは、空間的に変化され得 (例えば、ホールの形状、マスク 7 4 および/またはパターンングされた層 7 2 のサイズまたは深さまたは厚さ)、結果として、構造の異なる領域におけるパターンングされた層 7 2 のマスク 7 4 に関し、異なる性質を有することができる。

10

20

【0038】

さらに、追加的なアクティブな光励起された領域が用いられ得、導波モードを再利用することにより、別の周波数で導波モードの一部を再放出する。例えば、そのような構造は、第 1 の量子井戸 8 0 の層が青色の波長で放出し、第 2 の量子井戸 8 0 の層が黄色の波長で放出する場合に、白色光を生成するために用いられ得る。追加的なアクティブ領域は、任意の種類量子井戸のうちいずれかであり得、InGa<sub>N</sub>(Zn:Si)、複数の量子ドット、複数の蛍光体、色素、重合体、または微粒子を含む。発光種の一部または全部は、電流注入され得る。

【0039】

別のアーキテクチャは、LED 構造の周辺で分離した放出ゾーンと抽出ゾーンとを有している LED を提供する。図 1 2 は、LED 9 2 の断面側面図であり、分離した放出領域 9 4 と回折領域 9 6、9 8 とを有している。

30

【0040】

本発明の変形は、上部における金属ミラーを含み得、上記ミラーは、放出が発生する基板を保持する。あるいは、基板のリフトオフ技術を用いるときには、基板を用いない。図 1 3 は、LED 1 0 0 の断面側面図であり、分離した放出領域 1 0 4 と回折領域 1 0 4、1 0 6 とを有している。ここで、LED 1 0 0 は、基板を含んでいないが、金属の裏面接触 1 0 8 を有している。

【0041】

本発明はまた、非常に指向性が高い光源としても機能し得、放出は主に、導波モードの構造の適切な調整により、特定の方向で発生し、その結果、指向性 LED を生成する。上記構造の設計が正しい場合、わずかに数個の (理想的には 1 つの) 導波モードが励起され、その後、回折格子によって抽出される。この場合では、各導波モードは正しく定義された角度 (これは、回折格子のパラメータを調整することによって選択される) で回折されるので、狭い範囲の方向で発光が発生する。

40

【0042】

図 1 4 は、LED 1 1 0 の断面側面図を示しており、分離した放出領域 1 1 2 と回折領域 1 1 4、1 1 6 とを有している。ここで、LED 1 1 0 は、上部の金属ミラー 1 1 8 と、底部の粗くされた表面 1 2 0 とを含んでおり、不規則的に補助された抽出を提供する。漏れモードを抽出するために、デバイス 1 1 0 の裏面の粗くされた表面 1 2 0 が用いられ

50

得る。粗くされた表面 120 は、裏面全体または裏面の一部を（例えば、その周辺において）含んでいる。

【0043】

窒化物LEDに関連して記載されてきたが、この高性能のLEDの枠組みは、そのような製造技術を受け入れる任意の材料に適用され得る：それは、半導体であり得るが、重合体または有機分子でもあり得る。後者の場合、幅広い発光種が使用されると仮定すると、適切な回折周期を有する特定の回折領域を用いることにより、高性能の白色発光を予見することができ、所与の色の光を放出することができる（さらに、その他の色に対し、キャピティを反共振にすることにより、それらの色での直接放出を抑制することもできる）。あるいは、単色の放出格子を局所アドレス指定に関連付けることにより、単一の重合体を混合したフルカラーディスプレイを得ることができる。

10

【0044】

図15は、本発明の好適な実施形態にしたがう、LEDの断面側面図であり、2つのアクティブ領域122および124が、パターニングされた層126, 128および130の間に配置されている。これらの場合、分離した導波モード132および134が、各アクティブ領域122および124内に存在し、その結果、パターニングされた層126, 128および130は、モード132および134の一部で優先的に機能し得る。これは、例えば、2つのアクティブ領域122および124の発光種が異なる波長を放出する（例えば、この場合では格子が各波長に対して最適化される）場合に、有用であり得る。

20

【0045】

最後に、図16は、本発明の好適な実施形態にしたがって実行される、製造ステップを示すフローチャートである。

【0046】

ブロック136は、基板上にバッファ層を成長させるステップを示しており、上記バッファ層は、GaNベースの材料である。

【0047】

ブロック138は、LEOを用いてバッファ層の上部に1つ以上のパターニングされた層を成長させるステップを示しており、各パターニングされた層は、マスクと該マスク内のホールを充填する材料とを含んでいる。好適には、上記マスクは、絶縁性材料、半導性材料、または金属材料から構成され、マスク内のホールを充填する材料は、LEOによって成長されたGaNベースの材料を含んでいる。パターニングされた層は、アクティブ層との屈折率のコントラストに起因して、光閉じ込め層として機能するか、あるいはマスクと上記マスク内のホールを充填する材料との間の屈折率の変化に起因して、埋め込み回折格子として機能する。パターニングされた層において、異なるパターンが用いられ、回折によって異なる波長を抽出するか、あるいは回折の方向を変化させる。

30

【0048】

ブロック140は、パターニングされた層の上またはパターニングされた層の間に、1つ以上のアクティブ層を形成するステップを示しており、上記アクティブ層は、GaNベースの材料であり、1つ以上の発光種を含んでいる。好適には、アクティブ層は、LEOによって成長される。

40

【0049】

これらのステップの最終結果は、LED（アクティブ層との屈折率のコントラストに起因して、光閉じ込め層として機能し、かつ/またはマスクと上記マスク内のホールを充填する材料との間の屈折率の変化に起因して、埋め込み回折格子として機能する）である。

【0050】

（文献）

以下の文献は、参考のために本明細書に援用される。

【0051】

1. 米国特許第6,538,371号、2003年3月25日公布、Duggal他、題名「White light illumination system with

50

improved color output」

2. 米国特許第6,525,464号、2003年2月25日公布、Chin、題名「Stacked light-mixing LED」

3. 米国特許第6,504,180号、2003年1月7日公布、Heremans他、題名「Method of manufacturing surface textured high-efficiency radiating devices and devices obtained therefrom」

4. 米国特許第6,163,038号、2000年12月19日公布、Chen他、題名「White light-emitting diode and method of manufacturing the same」

5. 米国特許第5,779,924号、1998年7月14日公布、Krames他、題名「Ordered interface texturing for a light emitting device」

6. 米国特許第5,362,977号、1994年11月8日公布、Hunt他、題名「Single mirror light-emitting diodes with enhanced intensity」

7. 米国特許第5,226,053号、1993年7月6日公布、Cho他、題名「Light emitting diode」

8. Shnitzer他、「30% External Quantum Efficiency From Surface Textured, Thin Film Light Emitting Diode」、Applied Physics Letters 63、pp.2174-2176、1993

9. M. Boroditsky、E. Yablonoitch、「Light extraction efficiency from light-emitting diodes」、Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering、SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.、3002、pp.119-122、1997

10. H. Bensity、H. D. Neve、およびC. Weisbuch、「Impact of planar microcavity effects on light extraction/Basic concepts and analytical trends」、IEEE J. Quantum Electron、vol.34、p.1612(1998)

11. D. Delbeke、R. Bockstaele、P. Bienstman、R. Baets、およびH. Benisty、「High-efficiency Semiconductor Resonant-Cavity Light-Emitting diodes: A Review」、IEEE J. on selected topics in Quantum Electron、vol.8、no.2、p.189、2002

12. M. Rattier、H. Benisty、E. Schwoob、C. Weisbuch、T. Krauss、C. J. M. Smith、R. Houdre、およびU. Oesterle、「Omnidirectional and compact light extraction from Archimedean photonic lattices」、Appl. Phys. Lett. 83、1283、2003

13. M. Rattier、H. Benisty、R. Stanley、J. F. Carlin、R. Houdre、U. Oesterle、C. J. M. Smith、C. Weisbuch、およびT. Krauss、「Toward ultrahigh-efficiency aluminum oxide microcavity light-emitting diodes: Guided mode extraction by photonic crystals」、IEEE Sel. Top. Quan

10

20

30

40

50

tum Electr. 8、238、2002

(結論)

本発明の好適な実施形態の記載を終了する。本発明の1つ以上の実施形態に関する上述の記載は、例示および記載を目的として、示されてきた。網羅的であること、あるいは本発明を開示された形に限定することは、意図されていない。上述の教示を踏まえると、多くの改変およびバリエーションが可能である。本発明の範囲は、この詳細な説明によってではなくむしろ、本明細書に添付された請求の範囲によって限定されることが、意図されている。

【図面の簡単な説明】

【0052】

ここで図面を参照すると、図中では、複数の図面を通して、同様の参照番号は、対応する部分を表している。

【図1】図1は、半導体発光ダイオード(LED)の断面図である。

【図2】図2は、半導体LEDの断面図である。

【図3】図3は、半導体LEDの断面図である。

【図4】図4A~図4Bは、窒化ガリウム(GaN)材料システムにおける、底部の金属または分布型ブラッグ反射体(DBR)ミラーと、上部における空気との単一の界面とによって、マイクロキャビティLED放出の構造(図4A)およびシミュレーション(図4B)を示している。

【図5】図5A~図5Bは、窒化ガリウム(GaN)材料システムにおける、底部の金属または分布型ブラッグ反射体(DBR)ミラーと、上部における空気との単一の界面とによって、マイクロキャビティLED放出の構造(図5A)およびシミュレーション(図5B)を示している。

【図6】図6Aは、本発明の好適な実施形態にしたがう、LEDの断面側面図であり、図6Bは、LEDの水平断面図である。

【図7】図7は、横方向エピタキシャル成長(LEO)で成長されたマイクロキャビティLEDの放出特性の簡略化されたシミュレーションを示している。パターンニングされた層は、表面の50%をカバーするマスクを備えている。

【図8】図8は、本発明の好適な実施形態にしたがう、回折による導波モードの抽出を示しており、パターンニングされた層を回折格子として用いている。

【図9】図9は、本発明の好適な実施形態にしたがう、パターン、ならびにパターンニングされた層における穿孔または貫通に用いられ得る、様々な幾何学的形状を示している。

【図10】図10は、本発明の好適な実施形態にしたがう、デバイスのアクティブ領域の断面側面図であり、2つのパターンニングされた層を有している。

【図11】図11は、本発明の好適な実施形態にしたがう、デバイスのアクティブ層の断面側面図であり、2つの種が、異なる波長で放出しており、パターンニングされた層における2つのパターンが、導波を放射モードに変換している。

【図12】図12は、本発明の好適な実施形態にしたがう、分離した放出および回折領域を有しているLEDの断面側面図である。

【図13】図13は、本発明の好適な実施形態にしたがう、分離した放出および回折領域を有しているLEDの断面側面図である。

【図14】図14は、本発明の好適な実施形態にしたがう、分離した放出および回折領域を有しているLEDの断面側面図である。

【図15】図15は、本発明の好適な実施形態にしたがう、LEDの断面側面図であり、2つのアクティブ領域が、パターンニングされた層の間に配置されている。

【図16】図16は、本発明の好適な実施形態にしたがって実行される、製造ステップを示すフローチャートである。

10

20

30

40

【 図 1 】

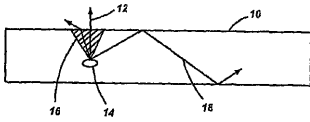


FIG. 1

【 図 2 】

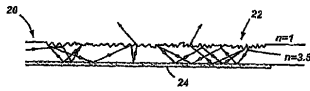


FIG. 2

【 図 3 】

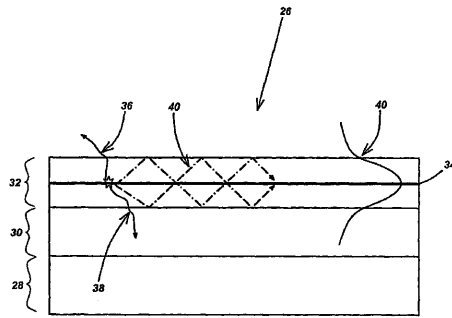


FIG. 3

【 図 4 A 】



FIG. 4A

【 図 4 B 】

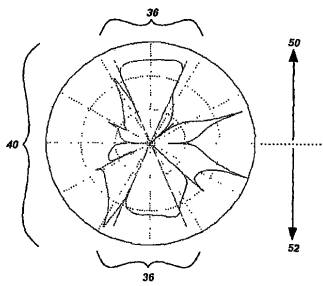


FIG. 4B

【 図 5 B 】

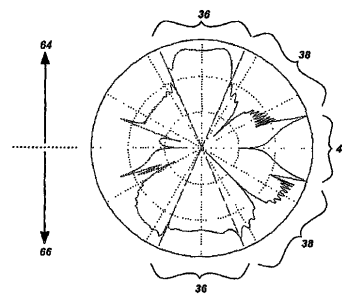


FIG. 5B

【 図 5 A 】

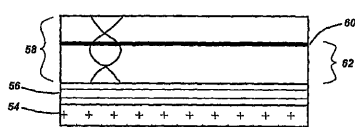


FIG. 5A

【 図 6 A 】

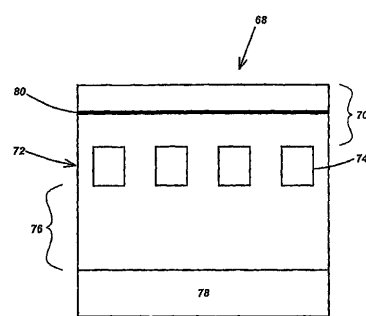


FIG. 6A

【 図 6 B 】

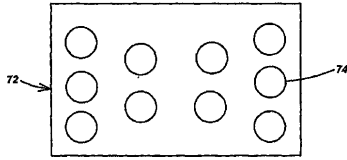


FIG. 6B

【 図 8 】

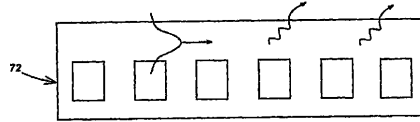


FIG. 8

【 図 7 】

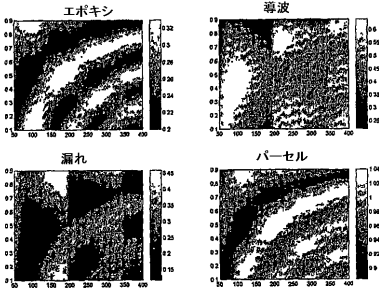


FIG. 7

【 図 9 】

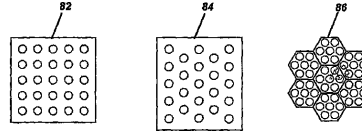


FIG. 9

【 図 1 0 】

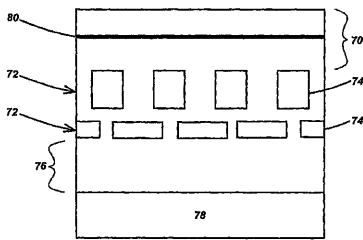


FIG. 10

【 図 1 1 】

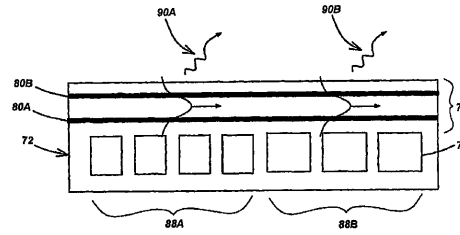


FIG. 11

【 図 1 2 】

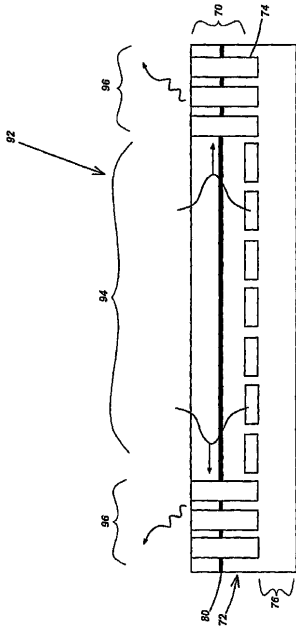


FIG. 12

【 図 1 3 】

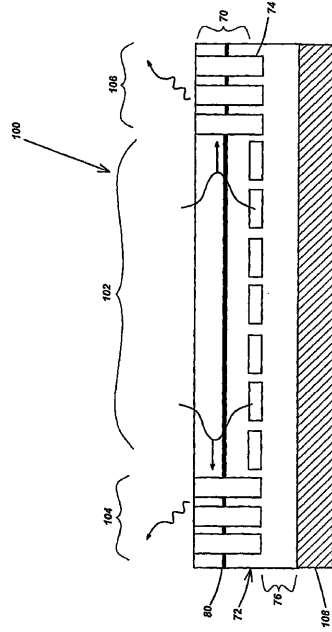


FIG. 13

【 図 1 4 】

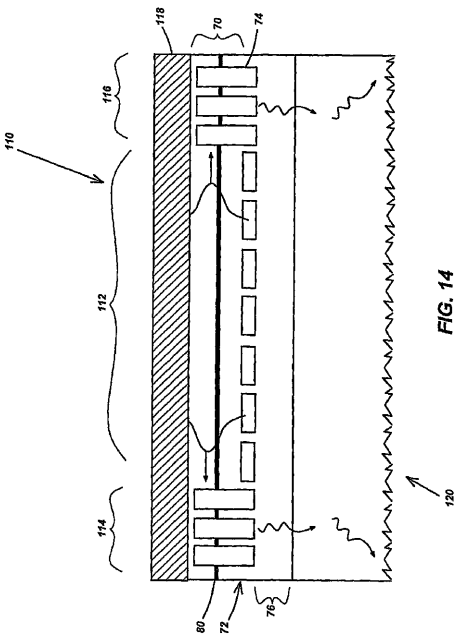


FIG. 14

【 図 1 5 】

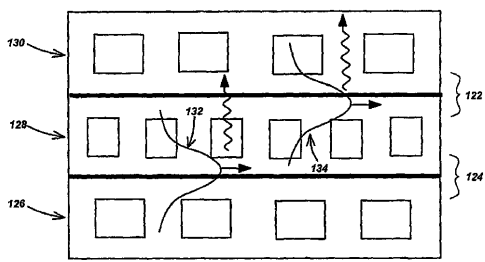
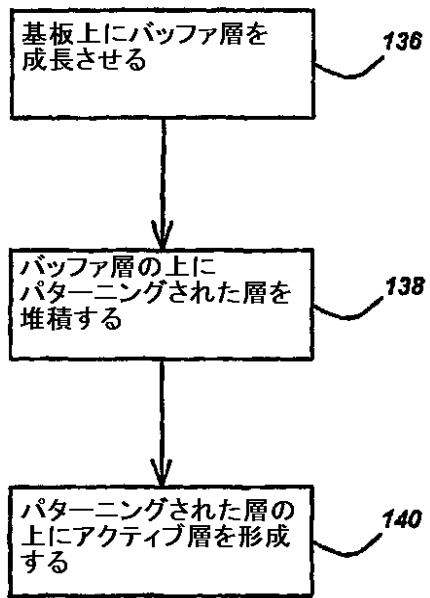


FIG. 15

【図 16】



**FIG. 16**

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ワイズバツハ, クロード シー. エー.

フランス国 エフ-75013 パリ, スクエア ド ポール ロイヤル, 13

(72)発明者 デイビッド, オールリエン ジェイ. エフ.

フランス国 エフ-75005 パリ, リュ ロモン, 7

(72)発明者 スペック, ジェームス エス.

アメリカ合衆国 カリフォルニア, ゴレタ, ウエスト キャンパス レーン 947

(72)発明者 デンバース, スティーブン ピー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, キング ダニエル レーン 287

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA11 CA05 CA40 CA64 CA74 CA77 CB36