

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4163004号
(P4163004)

(45) 発行日 平成20年10月8日 (2008. 10. 8)

(24) 登録日 平成20年8月1日 (2008. 8. 1)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 33/00 (2006. 01)	H O 1 L 33/00 A
G O 2 B 6/12 (2006. 01)	G O 2 B 6/12 Z

請求項の数 23 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2002-586411 (P2002-586411)	(73) 特許権者	500174661
(86) (22) 出願日	平成14年4月18日 (2002. 4. 18)		サントル・ナショナル・ドゥ・ラ・レシエ
(65) 公表番号	特表2004-521509 (P2004-521509A)		ルシュ・サイエンティフィック・セ・エン
(43) 公表日	平成16年7月15日 (2004. 7. 15)		・エール・エスー
(86) 国際出願番号	PCT/FR2002/001341		フランス・F-75794・パリ・セデッ
(87) 国際公開番号	W02002/089218		クス・16・リュ・ミシエルーアンジュ・
(87) 国際公開日	平成14年11月7日 (2002. 11. 7)		3
審査請求日	平成17年2月18日 (2005. 2. 18)	(73) 特許権者	503378028
(31) 優先権主張番号	01/05652		エコール・ポリテクニク (イーピー)
(32) 優先日	平成13年4月26日 (2001. 4. 26)		フランス共和国 91128 パレゾー
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		セデックス ルート ドゥ サクレイ
		(74) 代理人	100058479
			弁理士 鈴江 武彦
		(74) 代理人	100091351
			弁理士 河野 哲

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光取り出し手段を持つ電界発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、前記基板に支持された下部ミラーと、前記下部ミラー上に形成された電子生成層と、前記電子生成層上に形成された変換層と、前記変換層上に形成された正孔生成層と、前記正孔生成層上に形成された上部ミラーと

を有する電界発光素子であって、前記変換層は電子-正孔対を光子に変換し、前記下部ミラーおよび上部ミラーは、電界発光素子の発光スペクトルの主波長であって導波モードに関連する選択された波長を示す光子の閉じ込めを確実にし、

さらに前記生成層および変換層の少なくとも一部に通じて前記生成層および変換層から導波モードにある光子の少なくとも一部を取り出す光取り出し手段を有し、前記光取り出し手段は電子-正孔対の変換によって光子が生じる領域の周辺に形成された回折性の三次元フォトニック結晶または準結晶であり、前記フォトニック結晶または準結晶は導波モードにある光子の波長に実質的に等しい寸法を有する

ことを特徴とする電界発光素子。

【請求項 2】

前記光取り出し手段は前記変換層および正孔生成層の少なくとも一部に形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の素子。

【請求項 3】

前記光取り出し手段は前記電子生成層、変換層および正孔生成層の少なくとも一部に形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の素子。

【請求項 4】

前記光取り出し手段は前記電子生成層、変換層、正孔生成層および上部ミラーの少なくとも一部に形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の素子。

【請求項 5】

前記光取り出し手段は前記下部ミラー、電子生成層、変換層、正孔生成層および上部ミラーの少なくとも一部に形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の素子。

【請求項 6】

前記準結晶は、実質的につながった多角形で、それらの辺の各々を唯一の隣と共有している凸面のタイリングであることを特徴とする請求項 1 に記載の素子。

【請求項 7】

前記タイリングは、実質的に等しい割合の正方形と正三角形、または頂点における角度が異なり実質的に等しいサイズの辺を持つ第 1 および第 2 の菱形からなることを特徴とする請求項 6 に記載の素子。

【請求項 8】

前記タイリングは、選択された数の正三角形および正方形を含むパターンの周期化、または頂点における角度が異なり実質的に等しいサイズの辺を持つ第 1 および第 2 の菱形からなることを特徴とする請求項 6 に記載の素子。

【請求項 9】

前記タイリングは、選択された数の正三角形および正方形を含むパターンのスタンフリースタンプ(Stampfli)膨張、または頂点における角度が異なり実質的に等しいサイズの辺を持つ第 1 および第 2 の菱形からなることを特徴とする請求項 6 に記載の素子。

【請求項 10】

前記タイリングは、選択された割合の正三角形および正方形の実質的にランダムな分布、または頂点における角度が異なり実質的に等しいサイズの辺を持つ第 1 および第 2 の菱形からなることを特徴とする請求項 6 に記載の素子。

【請求項 11】

前記タイリングは、前記電子生成層、変換層および正孔生成層を少なくとも部分的に囲んでいることを特徴とする請求項 6 ないし 10 のいずれか 1 項に記載の素子。

【請求項 12】

前記タイリングは湾曲し環状領域の少なくとも一部の上に広がっていることを特徴とする請求項 6 に記載の素子。

【請求項 13】

前記準結晶は回折要素の少なくとも 1 つが省略されているタイリングであることを特徴とする請求項 6 に記載の素子。

【請求項 14】

前記上部ミラーは半反射性タイプのものであり、正孔生成層と他の材料の層との間の界面によって形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の素子。

【請求項 15】

前記他の材料は、空気、エポキシおよび基板を形成する材料を含む群から選択されることを特徴とする請求項 14 に記載の素子。

【請求項 16】

前記下部ミラーは、基板上に設けられたブラッグミラータイプの反射ミラーであることを特徴とする請求項 1 に記載の素子。

【請求項 17】

前記電子生成層、変換層および正孔生成層の少なくとも一部は、半導体および有機電界発光材料を含む群より選択される材料からなることを特徴とする請求項 1 に記載の素子。

【請求項 18】

10

20

30

40

50

前記有機材料は、共役または非共役の有機ポリマー、および有機金属錯体を含む群より選択されることを特徴とする請求項 17 に記載の素子。

【請求項 19】

前記半導体は、シリコン、ガリウム、アルミニウム、インジウム、窒素、リン、ヒ素およびアンチモン系の化合物、ならびにこれらの合金を含む群より選択されることを特徴とする請求項 17 に記載の素子。

【請求項 20】

i) GaAs 基板と、前記下部ミラーを形成する GaAs と AlAs の交互層と、生成手段の一部を形成する n ドープト GaAs 層と、InGaAs 中の量子井戸を囲む 2 つの AlGaAs バリアからなり、前記変換層を形成する活性層と、生成手段の一部および外部の空気と前記上部ミラーを形成する n ドープト GaAs とをこの順に積層した積層体と、ii) p ドープト GaAs 層を正極性にさせる第 1 の電極コンタクト手段および n ドープト GaAs 層を負極性にさせるのに適した第 2 の電極コンタクト手段とからなることを特徴とする請求項 17 に記載の素子。

10

【請求項 21】

前記上部ミラーおよび下部ミラーは、非対称の共振キャビティ、特にファブリーペロ型のものを規定することを特徴とする請求項 1 に記載の素子。

【請求項 22】

前記上部ミラーおよび下部ミラーは、変換層によって発せられるフォトンの波長を持つ反共振キャビティを規定することを特徴とする請求項 1 に記載の素子。

20

【請求項 23】

請求項 1 ないし 22 のいずれか 1 項の素子を有することを特徴とする電界発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電界発光素子、たとえば電界発光ダイオードに関する。

【背景技術】

【0002】

電界発光ダイオード（すなわち LED）は発光素子であり、特に、それらの低コスト、全体の寸法が小さいこと、信頼性、頑強性および高出力により、ますます使用されている。これらの LED は、可視スペクトルにおいて発光する場合には、特に、ディスプレイ、照明および信号の分野で、また赤外において発光する場合にはリモートコントロールの分野で用いられる。これらは一般的に（特に III-V 族の）半導体材料からなり、基板上に堆積され、ベースに接合され、2 つの電極に接続され、このアセンブリーはエポキシ樹脂ドームに収容される。

30

【0003】

これらの LED の出力を改善するために、最近、これらを積層体の形態で実現することが示唆されており（特に特許文献 1 参照）、電子および正孔を生成する手段ならびに電子-正孔対をフォトンに変換する手段が、基板上に設けられた下部ミラー（反射性）と、下部ミラーに平行で外部に通じている上部ミラー（半反射性）との間に設けられている。しかし、上部ミラーの面に実質的に垂直な方向に上部ミラーへ向かって発せられるフォトンおよび下部ミラーの面に実質的に垂直な方向に下部ミラーへ向かって発せられた後に上部ミラーへ反射されたフォトンのみが素子の外部へ達することができる。したがって、生成したフォトンの無視できない部分は、素子の外部へ達しない。

40

【特許文献 1】 米国特許第 5405710 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の目的は、この種の電界発光素子のフォトン取り出し出力を改善することにある

50

。

【課題を解決するための手段】

【0005】

この目的のために、上記で示したタイプの素子を提案する。この素子においては、変換手段ならびに上部および下部ミラー（または第1および第2）が、少なくとも導波伝搬(guided propagation)モードに関連するある選択された波長を示すフォトンをミラー間での閉じ込めること確実にするように配置され、さらに変換手段および生成手段の周辺に配置され、ミラー間に含まれる変換手段および生成手段の少なくとも一部と通じ、少なくとも一部のフォトンを導波モードで取り出す光取り出し手段を含む。

【0006】

10

ここで、「選択された波長」とは電界発光素子の発光スペクトルのピーク波長または主波長と理解される。

【0007】

したがって、ミラー間に閉じ込められ、取り出し手段に達する多数のフォトン、素子の外部へ伝わるることができる。

【0008】

本発明の他の特徴によれば、取り出し手段は、第1および／または第2のミラーおよび／または生成装置および／または変換装置の少なくとも一部において、回折性の三次元構造の形態で実現され、その寸法は、少なくとも、波動光学の法則に従う導波モードでのフォトンの波長により選択される。

20

【0009】

好ましくは、この構造は、実質的に、回折要素を構成する孔またはカラム（これらの寸法は、典型的には、おおよそ導波モードにあるフォトンの波長である）からなるフォトリック結晶またはフォトリック準結晶を規定する。

【0010】

好ましくは、準結晶は、凸面で実質的に辺がつながった多角形で、それらの辺の各々を単一の隣のものとは共有しており、一方で辺のサイズは、実質的に平均の選択値に対しておおよそ $\pm 15\%$ である。

【0011】

このタイリングは多くの形態を持つことができ、特に：

30

それは同等の割合の正方形と正三角形を示すか、または異なる頂点で第1および第2の角度の菱形を示し、その辺はほぼ近似した大きさでありうる；

それは選択された数の正三角形および正方形を含むパターンによる周期化もしくはスタンフリースタンプ(Stampfli)膨張、または異なる頂点で第1および第2の角度の菱形によって形成することができる；

それは選択された割合の正三角形と正方形のほぼランダムな分布、または異なる頂点で第1および第2の角度の菱形によって形成することができる。

【0012】

さらに、タイリングの形状がどのようなものであろうと、それを少し曲げて、生成手段および変換手段を少なくとも部分的に囲んでもよい。

40

【0013】

さらに、準結晶のタイリングは、1つまたはいくつかのギャップ（これは構造における1つまたはいくつかの回折要素の不在によって表される）を含んで非晶質タイプの構造を形成してもよい。

【0014】

本発明のさらに他の特徴によれば、第1のミラーは半反射性であり、生成手段の層と他の材料（たとえば空気または外側のエポキシまたは基板を形成する材料〔たとえばガラス、GaP、サファイア、シリコンカーバイドまたはルチルなど〕の層との間の界面からなる。

【0015】

50

さらに、第2のミラーは、ブラッグ分布ミラーを形成する、その場で成長、堆積または形成された半導体層と酸化物層との積層体によって形成されていることが好ましい。このためには、半導体材料、たとえばシリコン、またはガリウム、ヒ素、アルミニウム、インジウム、窒素、リンおよびアンチモン系の化合物、ならびにこれらの合金（たとえばGaAs, AlAs, GaAlAs, InGaAsおよびAlGaInP）を用いることもできる。酸化物に関しては、特に、SiO₂, TiO₂, HfO₂, Ta₂O₅およびAl₂O₃を用いることができる。たとえば、非常に反射性のある分布ミラーを得るためには、積層体をGaAsとアルミニウム酸化物（Al₂O₃ [AlGaAs層の側面酸化によって得られる]に近い化学量論を持つ）の交互層で形成してもよい。これはJ. M. Dallesasse, N. Holonyak Jr, A. R. Stugg, T. A. Richard and N. Elzein, Appl. Phys. Lett., Vol. 57, pp. 2844-2846, 1990に記載されている。その代わりに、非常の反射性の高いミラーをたとえば金のような金属堆積物によって形成してもよい。

10

【0016】

好ましい実現化は、分布タイプの非常に反射性の高いミラー（たとえばGaAs/AlO_x）と、外部のGaAs/空気界面によって形成される半反射性のミラーとを組み合わせることにある。

【0017】

別の代替例では、両方のミラーが分布タイプのものでもよい。

【0018】

ミラーとこれらを含む材料の特性を分ける距離は、好ましくは、変換手段によって発せられる光子の波長に対して、共振マイクロキャビティ、特にファブリーペロ型のもの、または反共振キャビティを規定するように選択する。

20

【0019】

好ましい実施形態においては、変換手段および生成手段の少なくとも一部は、電界発光有機材料たとえば有機ポリマー（共役または非共役）および有機金属錯体、例えばAl₂O₃、半導体たとえば特にシリコン、ゲルマニウム、アルミニウム、インジウム、窒素、リン、砒素およびアンチモンならびにこれらの合金からなる群より選択される材料で形成される。

【0020】

以上で示した本発明に係る素子は、電界発光ダイオードの一部として適用される場合に特に利点がある。

30

【0021】

本発明の他の特徴および長所は、以下の詳細な説明および添付の図面を健闘することによって明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

添付の図面は本質的に確実な性質のものである。したがって、これらは本発明を完成するために用いられるだけでなく、場合によっては、これらはその定義のためにも寄与することができる。

【0023】

以下の説明においては、図1に示したタイプの電界発光ダイオード（すなわちLED）の一部としての電界発光素子を参照する。

40

【0024】

より正確には、図1のダイオードは電界発光素子1を有する従来技術のダイオードであり、この電界発光素子1はカップ状のレフレクター2内に配置され、2つの電力供給ピン3-1および3-2に接続されている。当業者に知られているように、一方のピン3-2は正電位に置かれ他方のピンは負電位になっているか、または逆になっている。

【0025】

前に示したように、半導体材料によって実現される電界発光素子中において生成される光子の取り出し出力は比較的弱い。半導体材料内で発した光子のおおよそ5%が

50

上面から外部へ回収されるであろう。最近（特に米国特許第5405710号明細書を参照のこと）、ルーセントLUCENT社は従来の電界発光素子に対する理想を提唱している。これは、電子－正孔対のフォトンへの変換手段を、ファブリーペロ型の共振マイクロキャビティを平らにした2つのミラーの間に配置することにある。上部ミラーに向かって発し、この上部ミラーに対して実質的に垂直な方向に〔「臨界角」（当業者に周知である）まで〕外部の空気に通じるフォトン、素子の外部に達し、発光に寄与する。同様に、下部ミラーに向かい、この下部ミラーに対して実質的に垂直な方向に（数度の範囲で）発したフォトン、上部ミラーの方向へ反射され、外部に達し、発光に寄与する。このことは特に、H. Benisty, H. De Neve and C. Weisbuch, IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 34, pp. 1612-1631, 1998に記載されている。Lausan Federal Polytechnic Schoolも、変換手段とキャリア生成手段との特殊な光学スタッキングに基づく、この種のキャビティの改良を提案しており、これも本発明に対する基本的な構造として役立つであろう。このようなダイオードにより、約30%の出力に到達することが可能である。

10

【0026】

換言すれば、電界発光素子の変換手段によって生じたフォトンの約70%は構造の内部で失われる。これらの70%のうち、約20%は下部ミラーが設けられている基板へ向かい、これに吸収される。一方、残りの50%は2つのミラーの間に閉じ込められる。これは、半反射性ミラーが単純な界面からなる場合には上面のちょうど下であり、それ自身がキャリア生成手段の層と素子の外の材料からなり、大部分が導波モードの形態で伝搬し構造のエッジに達し、そこで基板に回折され、吸収される。

20

【0027】

したがって、本発明の範囲は、フォトン取り出し手段を備えた電界発光素子を提供することによりこの状況を改善することにより、ここで図2および図3を参照して説明する。

【0028】

図2に示した例において、本発明に係る素子は、第1に、下部反射ミラーが接合された基板4を有する。このミラー5の上側は、キャリアたとえば電子を生成するように構成された層6に接合されている。

【0029】

この層6の上側は電子／正孔対のフォトンへの変換手段に接合されている。これらの変換手段7の上側は、層6のキャリアと別の種類のキャリアたとえば正孔を生成するように構成された第2の層8に接合されている。

30

【0030】

キャリア生成層6および8は金属コンタクト9および10に接合され、これらはそれぞれダイオードの負端子3-2および正端子3-1に接続される。代替例は、基板4およびミラー5がキャリアを生成する性質をもっている場合には、コンタクト9をミラー5または基板4（可能であれば基板4の下面から）に接合することからなる。当業者によく知られているように、コンタクト9および10が選択された反対の極性を示す場合には、キャリア生成層6および8はそれぞれ電子および正孔を生成し、これらは変換手段7で再結合してフォトンを生成する。

【0031】

好ましくは、変換手段7は、量子井戸構造の形態にあり、その特性はダイオードによって発せられるフォトンが有すべき波長に応じて選択される。

40

【0032】

ブラッグミラーGaAlAs層の側面酸化を可能にするように、素子を規定する積層体は、部分的または全体的に、層8から下に基板4にまで延びる1つまたはいくつかの深いトレンチ11によって囲まれている。

【0033】

図2に示された例においては、コンタクト10（正）は正孔生成層8の上面にあり、一方でコンタクト9（負）は電子生成層6の上面にある。このコンタクト9を形成するには、当業者に公知の蝕刻技術（および／または選択エッチング）の1つにより、変換手段7

50

および正孔生成層 8 に上部メサ 1 2 を規定することによって電子生成層 6 の一部を露出させる。好ましくは、これらのコンタクトは、金属電極の形態で実現される。また、コンタクト 9 はメサの全体を囲むことが好ましい。

【0034】

図 2 に（例示としてのみ）示すように、メサ 1 2 は円形でありうる。この場合、好ましくは、コンタクト 9 はメサ 1 2 を囲むリングの形状に実現される。

【0035】

もちろん、メサはたとえば三角形、正方形または長方形のように、多くの他の形状を持つことができる。

【0036】

次に、本発明に係る電界発光素子を実現するように組み合わせる材料例を説明する。

【0037】

第 1 に、この素子はガリウム砒素（GaAs）の基板を有し、その上にたとえば電子線エピタキシーにより下部ミラー 5 が成長している。この例では、ミラーは、初めは交互積層された GaAs および AlGaAs の半導体層の積層体の形状で実現される。その後、トレンチ 1 1 からなされる側面酸化により、GaAlAs を AlO_x に変え、高反射率のブラッグ分布ミラーを規定する。

【0038】

電子生成層 6 は好ましくは n ドープト GaAs 型の半導体材料で形成される。電子／正孔対の変換手段 7（または活性層）は、たとえば InGaAs 量子井戸を 2 つの AlGaAs バリア層で囲んだ形態で実現される。最後に、正孔生成層 8 は、たとえば p ドープト GaAs のような半導体材料で実現される。

【0039】

この例においては、上部ミラー 1 4 は正孔生成層 8（p ドープト GaAs）と外部の空気との間の上部界面からなる

下部ミラー 5 および上部ミラー 1 4 は、この非限定的な例では、ファブリーペロ型の共振電磁波マイクロキャビティを規定し、量子井戸において上部および下部ミラーにほぼ垂直な方向に生成した光子は外部へ透過し、他の残りはミラーの間、特に変換手段 7 の量子井戸を構成する層において導波モードの形態で閉じ込められる。

【0040】

この変形例においては、上部ミラーおよび下部ミラーは反共振キャビティを規定することができ、変換手段 7 において生成した光子はミラーの間に強制的に残る（実際上、ミラー面に実質的に垂直な方向には全く光が出ない）。

【0041】

本発明の範囲は、ミラーの間の変換手段 7 とキャリア生成手段 6 および 8 において閉じ込められた光子の全てまたは一部を、変換手段およびミラーの特性によって規定される導波モードの形態で回収することにある。この目的のために、本発明は、これから説明する取り出し手段 1 3 を提案する。

【0042】

本発明の光取り出し手段 1 3 は、変換手段 7 およびキャリア生成手段 8（好ましくは 6 も）に通じている。図 2 に示すように、取り出し手段 1 3 は好ましくはキャリア生成手段（層 6 および 8）の少なくとも一部と変換手段 7 の回折性の三次元構造の形態で実現される。三次元構造 1 3 は生成層 8 の上側でオープンになっていることが製造には便利である。さらに、生成層 8 に形成される構造の一部は、全体的にまたは少なくとも一部が、コンタクト 1 0 と接合する生成層 8 の残りから分離され、特に光子生成ペアの変換に反対に作用しないようにすることが好ましい。このために、構造領域 1 3 の直前に、8 の生成層全膜厚に（またはこの膜厚の一部のみに）トレンチ 1 5 を形成してもよい。

【0043】

この構造 1 3 は回折要素を規定する。したがって、構造の寸法は、波動光学の法則を実証するように選択される。換言すれば、三次元構造 1 3 の特徴的な寸法は、典型的には「

10

20

30

40

50

導波」フォトンの波長のオーダーである。

【0044】

特に有利な仕方、構造は近似的に孔または物質カラムからなるフォトニック結晶または準結晶を規定する。これらの孔またはカラムは回折要素を構成し、回折により、導波フォトンの取り出しを可能にする。これらは一般的に、マイクロエレクトロニクスに由来し、当業者によく知られた平面的なリソグラフィック法により形成される。この素子は、まず感光性樹脂で被覆され、局所的に（ポジ型樹脂の場合には、蝕刻する孔の位置で）電子ビームまたは紫外線を受ける。劣化した樹脂は露出した表面から除去され、孔を形成するように、湿式または乾式化学エッチングを受ける。最終結果を得るためには種々の方法があり、それらのいくつかは蝕刻深さを増加させるシリコン型の中間層を必要とするか、または紫外線の局所変調を得るためのホログラフィックネットワークの使用を必要とする。これらの方法は、素子の他の部分、たとえば深いトレンチ11または電極10を実現するために使用することができる。回折構造を形成する他の方法は、特に有機材料に適用され、エンボス、スタンプまたはパンチを必要とする。

10

【0045】

フォトニック結晶または準結晶は当業者によく知られたものである、それらの機能の仕方は本明細書においては詳細に説明しない。

【0046】

フォトニック結晶または準結晶は、数々の形状をとりうるタイリングによって規定される。それは6またはそれ以下の対称のレベルを持つ通常のネットワークを規定するタイリングでありうる。ネットワークのパターンは、たとえば正三角形、正方形または六角形である。より一般的には、タイリングはあらゆるタイプの凸面でほぼ結合した多角形からなり、それらの辺の各々を唯一の隣のものとは共有し、それらの辺は±15%の範囲内でほぼ同じ大きさである。

20

【0047】

しかし、取り出し率をさらに増加させるためには、より複雑なタイリング、すなわち6より高い対称のレベルを持つものを用いることが好ましい。事実、当業者に知られているように、回折はネットワークの法則に支配される。この法則によれば、入射波動ベクトル K_i を持つフォトン、最終的な波動ベクトル K_f が下記の関係に従うならば、波数ベクトル空間のベクトル G によって規定されるネットワークによって回折される。

30

$$K_f = K_i + G.$$

【0048】

さらに、スネルーデカルト(Snell-Descartes)の法則によれば、フォトンの最終波動ベクトル K_f は垂直成分 $K_{f\perp}$ と水平成分 $K_{f\parallel}$ に分けることができる。したがって、入射フォトンを実質的に垂直方向へ出射するので、この最終波動ベクトルの水平成分 $K_{f\parallel}$ は非常に小さいことが必要である（さもなければ換言すれば次の関係 $K_i + G \sim 0$ が得られる）。この場合、フォトンは、回折により、それらが導波される平面に実質的に垂直に出射するであろう。

【0049】

最大の可能なフォトン数を収集することを可能にするように、波数ベクトルネットワークは、したがって、異なるベクトル G で可能な最大数によって、しかし全て実質的に K_i のそれに等しい標準によって（非周期的な場合に対応する、その数が無限になろうとすることなく）規定されるべきである。

40

【0050】

このような「ネットワーク」は6より高い対称のレベルを示す。以下において提案している一群の実現化においては、これらのネットワークは典型的にはマイクロメーターの、例えば $2\ \mu\text{m}$ の超周期を持っている。取り出し機能を満足するためには、それらは、幅において、少数の超周期、例えば3～4の超周期にわたって広がる必要があるだけである。

【0051】

多くのタイリングがこれらの特性に対応する。例えば、（図3A～図3Cに示すように

50

）その辺が全て同じサイズである正三角形および正方形から形成されるアルキメデスのタイリングである。他の例は、図 3 D に示すように、2 種（第 1 および第 2）の菱形（頂点における角度は異なるが、同じサイズの辺を有する）からなるペンローズ (Penrose) のタイリングである。

【0052】

このようなタイリングは、実質的に等しい（または同等の）割合の正方形と正三角形（図 3 A を参照のこと。前記「正方形」のネットワークは単位セルあたり 4 つの原子をもつ）、または第 1 および第 2 の菱形からなる。しかし、それらは選択された数の正三角形と正方形を含むパターンの繰り返し（図 3 C および図 3 D に示すように、前記「正三角形」のネットワークは、単位セルあたりそれぞれ 7 つおよび 8 つの原子を含む；これらは、特に、S. David, A. Chelnokov and J. -M. Lourtioz, 「アルキメデス様タイリングを持つ二次元フォトリック結晶により得られる広いバンドギャップ」, Optics letters, vol 25, Issue 14, pp. 1001-1003, July 2000 に記載されている）、または第 1 および第 2 の菱形で構成してもよい。それらは選択された数の正三角形と正方形を含むパターンからのスタンフリースタンプ (Stampfli) 膨張（図 3 E に示す。また、M. Oxborrow and C. L. Henley, 「ランダム正方形-三角形タイリング：12 回対称準結晶のモデル」, Phys. Rev. B, val 48, Issue 10, pp. 6966-6998, 1993 に記載されている）、または第 1 および第 2 の菱形で構成してもよい。それらは実質的にランダム分布の選択された割合の正三角形と正方形（図 3 F に示す）、または第 1 および第 2 の菱形で構成してもよい。

【0053】

この種の構造において、第 1 および第 2 の隣接する孔またはカラムは非常に変化できるが、それらの間の「原子間」距離はほぼ等しいままである。

【0054】

もちろん、孔またはカラムは、選択によっては、タイリングの辺またはそのノードの上に生成してもよい。

【0055】

そのほか、タイリングの辺のサイズは選択された平均値に実質的に等しいことが好ましい。しかし、このサイズは選択された平均値の近くで約 +15% と -15% との間を含む範囲内で可変であってもよい。したがって、図 2 に示すように、（たとえば）実質的に直角のバンド上に広がるタイリングから始めて、このタイリングを曲げて、特にこれを湾曲させて、環状領域の少なくとも一部または環状領域の全部の上に広がるようにすることができる。

【0056】

さらに、フォトリック結晶または準結晶は上記で示したタイプのタイリングの形態で実現できるが、回折要素（孔またはカラム）の少なくとも一部を省略して非晶質タイプの構造を形成することもできる（図 3 G に示す）。

【0057】

さらに、キャリア生成層 6 を通して蝕刻を行い、ミラー 5 が絶縁性である場合、フォトリック結晶または準結晶を形成する導電性材料は電流のために接続されていなければならないが、したがって電流は孔の間またはカラムの下を流れることができる。

【0058】

図 2 に示すように、導波フォトンを取り出すためのフォトリック結晶または準結晶は、電子-正孔対の変換によってフォトンが生成する領域の周辺で実現されていることが好ましい。

【0059】

説明のための例として、ほぼ 3 に等しい屈折率を持つ材料中で導波される、約 $1\ \mu\text{m}$ の波長 λ を持つフォトンを取り出すためには、タイリングの原子間距離 (λ/n) は約 300 ナノメートルと 400 ナノメートルとの間に含まれていなければならない。例えば、径が約 150 ナノメートルで互いに約 350 ナノメートルだけ離れた孔を実現することができる。さらに、孔の深さ（またはカラムの高さ）は、変換手段およびキャリア生成手段を

形成するのに用いられた層の厚さによって変わり得る。典型的には、これらの回折要素の厚さまたは高さは約数百ナノメートル、たとえば200または300ナノメートルである。

【0060】

本発明は以上で説明した素子の実施形態（これらは例にすぎない）に限定されず、当業者が請求項の範囲内で考えることができる全ての変形を含む。

【0061】

事実、素子の構成は少し逆にして、光が生成層を通して出射するようにできる（たとえば転送の場合）。しかし、この場合、取り出し手段は上の層から、必要ならば上部ミラーを通して、蝕刻されるであろう。たとえば、選択された波長で非吸収性の基板を用い、その上に下部半反射性ミラーを持ち、一方で上部ミラーは高度に反射性であってもよい。この素子は、透明基板に移すこともできる。そのほか、ミラーは半導体よりもむしろ金属材料で実現することもできる。したがって、以上で示したもの以外のタイプの半導体材料を異なる波長を得るために用いることができる。たとえば、赤色光を得るためには、AlGaAs合金またはAlGaInP合金、およびGaAs基板上に設けたAlO_x分布ミラーを用いることができる。この場合、タイリングの辺は約200～300nmの長さを持つであろう。しかし、半導体以外の種々の材料、たとえば有機材料たとえば有機ポリマー（共役または非共役）、および有機金属錯体を用いることもできる。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】電界発光ダイオードの非常に模式的な断面図。

【図2】電界発光ダイオードにおける発光を確実にする、本発明に係る素子の非常に模式的な断面図。

【図3A】フォトン取り出しを確実にするために、本発明に係る素子において用いることができるフォトリック準結晶のタイリングを示す模式図。

【図3B】フォトン取り出しを確実にするために、本発明に係る素子において用いることができるフォトリック準結晶のタイリングを示す模式図。

【図3C】フォトン取り出しを確実にするために、本発明に係る素子において用いることができるフォトリック準結晶のタイリングを示す模式図。

【図3D】フォトン取り出しを確実にするために、本発明に係る素子において用いることができるフォトリック準結晶のタイリングを示す模式図。

【図3E】フォトン取り出しを確実にするために、本発明に係る素子において用いることができるフォトリック準結晶のタイリングを示す模式図。

【図3F】フォトン取り出しを確実にするために、本発明に係る素子において用いることができるフォトリック準結晶のタイリングを示す模式図。

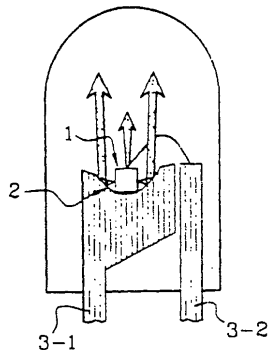
【図3G】フォトン取り出しを確実にするために、本発明に係る素子において用いることができるフォトリック準結晶のタイリングを示す模式図。

10

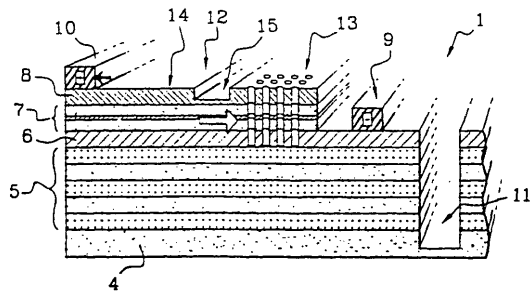
20

30

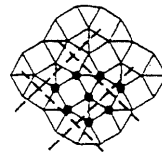
【図 1】



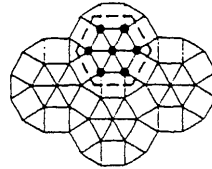
【図 2】



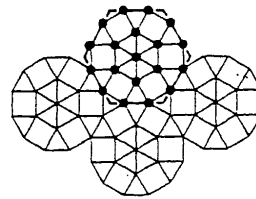
【図 3 A】



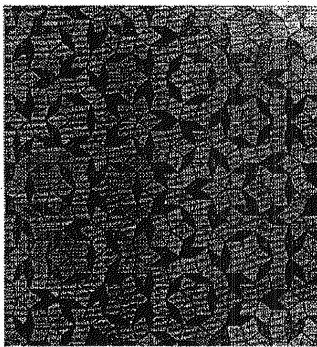
【図 3 B】



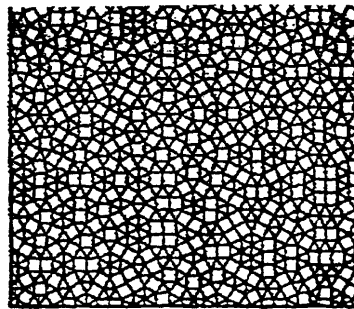
【図 3 C】



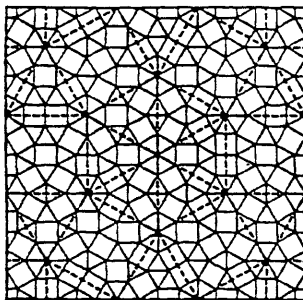
【図 3 D】



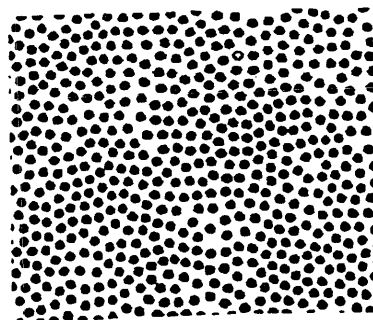
【図 3 F】



【図 3 E】



【図 3 G】



フロントページの続き

- (74)代理人 100088683
弁理士 中村 誠
- (74)代理人 100108855
弁理士 蔵田 昌俊
- (74)代理人 100075672
弁理士 峰 隆司
- (74)代理人 100109830
弁理士 福原 淑弘
- (74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100092196
弁理士 橋本 良郎
- (72)発明者 ラッティエル、マクスィム
フランス国、エフー75014 パリ、リュ・デ・アルティストス 35
- (72)発明者 ベニスティ、アンリ
フランス国、エフー75013 パリ、リュ・デュノワ 69
- (72)発明者 ベイスビュシュ、クロード
フランス国、エフー75013 パリ、スクワール・ドゥ・ポルトーロワイヤル 13

審査官 小林 和幸

- (56)参考文献 特開2000-106454 (JP, A)
特開平10-004209 (JP, A)
特開2000-332353 (JP, A)
特開2000-332351 (JP, A)
特開平10-321941 (JP, A)
特開昭60-186083 (JP, A)
S.David et al., Wide angularly isotropic photonic bandgaps obtained from two-dimensional photonic crystals with Archimedean-like tilings, Optics Letters, 米国, Optical Society of America, 2000年 7月15日, Vol. 25, No.14, p.1001-1003

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00

H01S 5/00-5/50