

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7248441号

(P7248441)

(45)発行日 令和5年3月29日(2023.3.29)

(24)登録日 令和5年3月20日(2023.3.20)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 33/50 (2010.01)

H 0 1 L 33/50

H 0 1 L 33/08 (2010.01)

H 0 1 L 33/08

H 0 1 L 33/10 (2010.01)

H 0 1 L 33/10

G 0 9 F 9/33 (2006.01)

G 0 9 F 9/33

請求項の数 26 (全31頁)

(21)出願番号 特願2019-15837(P2019-15837)  
(22)出願日 平成31年1月31日(2019.1.31)  
(65)公開番号 特開2019-153783(P2019-153783  
A)  
(43)公開日 令和1年9月12日(2019.9.12)  
審査請求日 令和3年8月31日(2021.8.31)  
(31)優先権主張番号 特願2018-38038(P2018-38038)  
(32)優先日 平成30年3月2日(2018.3.2)  
(33)優先権主張国・地域又は機関  
日本国(JP)

(73)特許権者 000005049  
シャープ株式会社  
大阪府堺市堺区匠町1番地  
(74)代理人 110000338  
弁理士法人 H A R A K E N Z O W O R  
L D P A T E N T & T R A D E M A  
R K  
(72)発明者 井口 勝次  
大阪府堺市堺区匠町1番地 シャープ株  
式会社内  
(72)発明者 高橋 幸司  
大阪府堺市堺区匠町1番地 シャープ株  
式会社内  
(72)発明者 河西 秀典  
大阪府堺市堺区匠町1番地 シャープ株  
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像表示素子

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

駆動回路基板上に、

マイクロLED素子と、

前記マイクロLED素子の発する励起光を波長変換して、前記駆動回路基板とは反対  
側に射出する波長変換層と、

を順に積層し、アレイ状に配列した画像表示素子であって、

前記マイクロLED素子は、前記波長変換層によって波長変換された長波長光を反射す  
る反射層を有しており、

前記反射層は誘電体多層膜より構成されており、

前記反射層の一部に貫通部を有し、前記貫通部は前記マイクロLED素子毎に設けられ  
ており、

前記貫通部を窒化物半導体が埋めている

ことを特徴とする画像表示素子。

## 【請求項2】

前記波長変換層の、前記長波長光の射出側の面に、前記長波長光を透過し、前記励起光  
を反射する透過膜を有することを特徴とする請求項1に記載の画像表示素子。

## 【請求項3】

前記反射層は前記マイクロLED素子毎に分割されていることを特徴とする請求項1ま  
たは2に記載の画像表示素子。

## 【請求項 4】

前記マイクロLED素子を構成する窒化物半導体層は、前記マイクロLED素子毎に分割されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の画像表示素子。

## 【請求項 5】

前記窒化物半導体層の側面には、透明絶縁層と高反射金属膜が配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の画像表示素子。

## 【請求項 6】

前記波長変換層は、前記マイクロLED素子の光射出面全体を覆うことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の画像表示素子。

## 【請求項 7】

前記反射層は、前記マイクロLED素子の発光層より前記駆動回路基板側に配置され、前記励起光を反射することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の画像表示素子。

## 【請求項 8】

前記貫通部を電極材が埋めていることを特徴とする請求項 1 に記載の画像表示素子。

## 【請求項 9】

前記反射層は、前記マイクロLED素子の、前記駆動回路基板と対面する面のみに配置されていることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の画像表示素子。

## 【請求項 10】

前記波長変換層の、前記長波長光の射出側の面に、前記長波長光を透過し、前記励起光を吸収するフィルター層を有することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の画像表示素子。

## 【請求項 11】

前記波長変換層の、前記長波長光の射出側の面に、前記励起光を吸収し、長波長光の一部を透過するカラーフィルター層を有することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の画像表示素子。

## 【請求項 12】

前記マイクロLED素子は青色光を発し、前記波長変換層は当該青色光を長波長光に変換することを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の画像表示素子。

## 【請求項 13】

前記反射層は、波長  $520 \pm 15 \text{ nm}$  と波長  $630 \pm 15 \text{ nm}$  で、反射率のピークを有し、

前記透過膜は、波長  $460 \pm 15 \text{ nm}$  で、反射率のピークを有することを特徴とする請求項 2 に記載の画像表示素子。

## 【請求項 14】

前記反射層は、波長  $460 \pm 15 \text{ nm}$  と波長  $520 \pm 15 \text{ nm}$  と波長  $630 \pm 15 \text{ nm}$  で、反射率のピークを有し、

前記透過膜は、波長  $460 \pm 15 \text{ nm}$  で、反射率のピークを有することを特徴とする請求項 2 に記載の画像表示素子。

## 【請求項 15】

駆動回路基板上に、  
マイクロLED素子と、  
前記マイクロLED素子の発する励起光を波長変換して、前記駆動回路基板と反対側に射出する波長変換層と、  
を順に積層し、アレイ状に配列した画像表示素子であって、  
前記波長変換層によって波長変換された長波長光を透過すると共に、前記励起光を反射する透過膜を、前記波長変換層の、前記長波長光の射出側の面に有しており、  
前記波長変換層と前記透過膜の間には、透明樹脂層が配置されていることを特徴とする

10

20

30

40

50

画像表示素子。

【請求項 16】

前記マイクロLED素子を構成する窒化物半導体層は、前記マイクロLED素子毎に分割されていることを特徴とする請求項15に記載の画像表示素子。

【請求項 17】

前記窒化物半導体層の側面には、透明絶縁層と高反射金属膜が配置されていることを特徴とする請求項16に記載の画像表示素子。

【請求項 18】

前記波長変換層は、前記マイクロLED素子の光射出面全体を覆うことを特徴とする請求項15～17のいずれか1項に記載の画像表示素子。

10

【請求項 19】

前記波長変換層は、前記励起光を吸収して前記長波長光を放出する波長変換粒子、前記長波長光を放出しない散乱粒子を含むことを特徴とする請求項15～18のいずれか1項に記載の画像表示素子。

【請求項 20】

前記波長変換層の、前記長波長光の射出側の面に、前記長波長光を透過し、前記励起光を吸収するフィルター層を有することを特徴とする請求項15～19のいずれか1項に記載の画像表示素子。

【請求項 21】

駆動回路基板上に、

20

マイクロLED素子と、

前記マイクロLED素子の発する励起光を波長変換して、前記駆動回路基板と反対側に射出する波長変換層と、

を順に積層し、アレイ状に配列した画像表示素子であって、

前記波長変換層は、赤色光を放出する赤色波長変換層と、緑色光を放出する緑色波長変換層とを含み、

前記励起光は青色光であって、青色光を直接放出するマイクロLED素子を更に含み、青色光を直接放出するマイクロLED素子上には、透明部が配置されており、

前記赤色波長変換層と前記緑色波長変換層の、前記赤色光と前記緑色光の射出側の面、前記赤色光と前記緑色光を透過すると共に、前記青色光を反射する透過膜を有しており、

30

前記赤色波長変換層、前記緑色波長変換層と前記透過膜の間には、透明樹脂層が配置されている

ことを特徴とする画像表示素子。

【請求項 22】

前記透過膜の、前記赤色光と前記緑色光の射出側の面には、パッシベーション膜が配置されていることを特徴とする請求項21に記載の画像表示素子。

【請求項 23】

前記マイクロLED素子を構成する窒化物半導体層は、前記マイクロLED素子毎に分割されていることを特徴とする請求項21に記載の画像表示素子。

【請求項 24】

40

前記マイクロLED素子の側面には、透明絶縁層と高反射金属膜が配置されていることを特徴とする請求項23に記載の画像表示素子。

【請求項 25】

前記赤色波長変換層、前記緑色波長変換層と前記透明樹脂層は、それぞれ対応する前記マイクロLED素子の光射出面全体を覆うことを特徴とする請求項21に記載の画像表示素子。

【請求項 26】

前記赤色波長変換層と前記緑色波長変換層は、前記励起光を吸収して前記赤色光と緑色光を放出する赤色波長変換粒子と緑色波長変換粒子をそれぞれ含み、更に波長変換しない散乱粒子を含むことを特徴とする請求項21に記載の画像表示素子。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、微細なＬＥＤ素子であるマイクロＬＥＤ素子を複数備えた画像表示素子に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

シリコン基板上に駆動回路を形成し、その上に微小な紫外線発光ダイオード（ＬＥＤ）アレイを配置し、紫外光を赤、緑、青色の可視光へ変換する波長変換層を設ける事で、カラー画像を表示する小型の表示素子が提案されている（特許文献１参照）。この様な表示素子は小型でありながら、輝度が高く、耐久性も高いという特性を有しており、ＡＲ（Augmented Reality）用メガネ型端末や、ヘッドアップディスプレイ（ＨＵＤ）用の表示素子として期待されている。

10

## 【0003】

画像表示素子において、光源側には光源光である青色光を透過するバンドパスフィルタが配置され、波長変換する蛍光体と、カラーフィルタを積層した構造が液晶表示素子に関して開示されている（特許文献２参照）。蛍光体とカラーフィルタの間はブラックマトリックスで埋められており、ブラックマトリックスは、側壁を覆う反射体と吸収体で構成された構造が開示されている。この技術は液晶表示素子をベースにしており、直視型の大きな表示素子が対象である。

20

## 【0004】

蛍光体による波長変換を効率的に行う方法として、波長変換層の励起光入射側に、励起光透過層を配置し、蛍光放射側に励起光反射層を設ける構成が開示されている（特許文献３参照）。この技術は照明用光源が対象となっており、画像表示素子を対象とした物では無い。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【文献】特開２００２－１４１４９２号公報（２００２年５月１７日公開）

国際公開第２０１０／１４３４６１号（２０１０年１２月１６日公開）

30

国際公開第２０１７／１３０６０７号（２０１７年８月３日公開）

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

ところが、上記従来技術では、励起光の大半を波長変換層に吸収させて、波長変換する為には、非常に厚い波長変換層が必要となり、波長変換層のパターン形成が非常に難しくなる。そこで、波長変換層を薄くする為に、波長変換層の励起光入射側に、励起光を透過し、波長変換された光を反射する反射層を配置し、波長変換層の放射側に、励起光を反射し、波長変換された光を透過する透過層を配置する事が考えられる。しかし、この様な反射層や透過層となる誘電体多層膜は構造が複雑であり、平坦度の高い堅固な基板以外に形成する事は難しい。このため、反射層を容易かつ安定して製造する、ひいてはこの反射層を備える画像表示素子を容易かつ安定して製造する技術が望まれている。

40

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る画像表示素子は、駆動回路基板上に、マイクロＬＥＤ素子と、前記マイクロＬＥＤ素子の発する励起光を波長変換して、前記駆動回路基板とは反対側に射出する波長変換層と、を順に積層し、アレイ状に配列した画像表示素子であって、前記マイクロＬＥＤ素子は、前記波長変換層によって波長変換された長波長光を反射する反射層を有しており、前記反射層は誘電体多層膜より構成されており、前記反射層の一部に貫通部を有し、前記貫通部は前記マイクロＬＥＤ素子毎に設け

50

られており、前記貫通部を窒化物半導体が埋めている。

【 0 0 0 8 】

また、上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る画像表示素子は、駆動回路基板上に、マイクロLED素子と、前記マイクロLED素子の発する励起光を波長変換して、前記駆動回路基板と反対側に射出する波長変換層と、を順に積層し、アレイ状に配列した画像表示素子であって、前記波長変換層によって波長変換された長波長光を透過すると共に、前記励起光を反射する透過膜を、前記波長変換層の、前記長波長光の射出側の面に有しており、前記波長変換層と前記透過膜の間には、透明樹脂層が配置されている。

【 0 0 0 9 】

また、上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る画像表示素子は、駆動回路基板上に、マイクロLED素子と、前記マイクロLED素子の発する励起光を波長変換して、前記駆動回路基板と反対側に射出する波長変換層と、を順に積層し、アレイ状に配列した画像表示素子であって、前記波長変換層は、赤色光を放出する赤色波長変換層と、緑色光を放出する緑色波長変換層とを含み、前記励起光は青色光であって、青色光を直接放出するマイクロLED素子を更に含み、青色光を直接放出するマイクロLED素子上には、透明部が配置されており、前記赤色波長変換層と前記緑色波長変換層の、前記赤色光と前記緑色光の射出側の面、前記赤色光と前記緑色光を透過すると共に、前記青色光を反射する透過膜を有しており、前記赤色波長変換層、前記緑色波長変換層と前記透過膜の間には、透明樹脂層が配置されている。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明の一態様によれば、容易かつ安定して製造することができる反射層を備える画像表示素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 2】図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係る表示素子の画素領域の上面図である。

【図 3】図 3 は、本発明の第 1 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 1）。

【図 4】図 4 は、本発明の第 1 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 2）。

【図 5】図 5 は、本発明の第 1 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 3）。

【図 6】図 6 は、本発明の第 1 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 4）。

【図 7】図 7 は、本発明の第 2 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 8】図 8 は、本発明の第 3 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 9】図 9 は、本発明の第 4 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 10】図 10 は、本発明の第 5 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 11】図 11 は、本発明の第 6 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 12】図 12 は、本発明の第 6 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 1）。

【図 13】図 13 は、本発明の第 6 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 2）。

【図 14】図 14 は、本発明の第 6 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 3）。

【図 15】図 15 は、本発明の第 7 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 16】図 16 は、本発明の第 7 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す。

【図 17】図 17 は、本発明の第 7 の実施形態に係る表示素子の変形例を示す断面図である。

【図 18】図 18 は、本発明の第 8 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 19】図 19 は、本発明の第 8 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 1）。

【図 20】図 20 は、本発明の第 8 の実施形態に係る表示素子の製造工程を示す（その 2）

）。

【図 2 1】図 2 1 は、本発明の第 9 の実施形態に係る表示素子の断面図である。

【図 2 2】図 2 2 は、反射層 1 0 を構成する窒化物半導体多層膜の構造を示す模式図である。

【図 2 3】図 2 3 は、反射層 1 0 i を構成する誘電体多層膜の構造を示す模式図である。

【図 2 4】図 2 4 は、透過膜 2 5 を構成する誘電体多層膜の構造を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 2】

（従来技術及び予備的構成例）

本願発明の一形態について具体的な説明を行う前に、従来技術及び予備的構成例について、以下に纏める。

【0 0 1 3】

上記特許文献 1 に記載の従来技術の駆動回路を形成したシリコン基板上に、有機 E L（エレクトロルミネッセンス）を発光層として堆積した表示素子は、既に実用化されているが、輝度や耐久性の点で、改善の余地が有る。

【0 0 1 4】

また、上記特許文献 2 に記載の従来技術の液晶表示素子において、蛍光体とカラーフィルタの間はブラックマトリックスで埋められており、ブラックマトリックスは、側壁を覆う反射体と吸収体で構成された構造が開示されている。この技術は液晶表示素子をベースにしており、直視型の大きな表示素子が対象である。

【0 0 1 5】

また、上記特許文献 3 に記載の従来技術は照明用光源が対象となっており、画像表示素子(image display device)を対象とした物では無い。

【0 0 1 6】

なお、上述の A R 用眼鏡型端末等に用いる投影型の小型表示素子では、高精細化する為に画素サイズを数  $\mu\text{m}$  程度まで微細化する必要がある。一方で、励起光の大半を波長変換層(wavelength conversion layer)に吸収させて、波長変換する為には、波長変換層の厚さが数  $\mu\text{m}$  から 1 0  $\mu\text{m}$  超となり、波長変換層のアスペクト比（高さ／幅の比）が大きくなり（例えば 2 以上）、波長変換層のパターン形成が非常に難しい。

【0 0 1 7】

波長変換層のパターン形成を容易にするには、厚さを薄くすることが好ましい。その為に、発明者らは、波長変換層の励起光入射側に、励起光を透過し、波長変換された長波長光を反射する層（以下反射層と呼ぶ）を配置し、波長変換層の放射側には、励起光を反射し、波長変換された長波長光を透過する層（以下透過層と呼ぶ）を配置する事で、波長変換された長波長光を効率的に放射すると共に、励起光を波長変換層に閉じ込め、変換効率を向上する事を検討した。

【0 0 1 8】

しかし、反射層と透過層を形成する工程を新たに追加しなければならず、工程数が増加する。また、このような透過層や反射層は、通常、誘電体多層膜(Dielectric multilayer film)で形成されるが、誘電体多層膜は堆積後の吸湿等によって膜が劣化し易いと言う問題が有る。

【0 0 1 9】

特に、反射層の場合には、堆積後、波長変換層の形成工程を経る必要があり、ウエット工程を複数回経る事となり、製造工程での劣化が生じ易い。更に、反射層は赤色光と緑色光の両方を効率良く反射する必要があり、透過層より構造が複雑である。この様に複雑は反射層を、より簡便に、安定して製造する為の構造が必要となっている。特に耐久性の高い反射層を実現できる素子構造を実現する事が重要な課題である。

【0 0 2 0】

そこで、以下の各実施形態で説明するように画像表示素子を構成することによって、比較的少ない工程数で、製造の容易な画像表示素子を実現する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 1 】

以下に記載する実施形態の説明において、駆動回路基板(driving circuit substrate) 50に関する詳細な説明は省略している。駆動回路基板 50は、一例としては、L S I が形成されたシリコン基板(半導体基板)であり、公知の技術で製造できるからである。又、マイクロLED素子は矩形、多角形、円形、楕円形など様々な平面形状を取り得るが、最も大きな長さが、60 μm以下を想定している。画像表示素子200は画素領域1に、3千個以上のマイクロ発光素子を集積している事を想定している。

## 【 0 0 2 2 】

マイクロLED素子100は、紫外光から緑色までの波長帯で発光する窒化物半導体の場合を専ら説明するが、黄緑色から赤色までの波長帯で発光するAlInGaP系、赤色から赤外線

10

## 【 0 0 2 3 】

又、マイクロ発光素子100を構成する窒化物半導体14について、光放出側にN側層11を配置する構成について専ら説明するが、P側層13を光放出側に配置する構成も可能である。N側層11、発光層12、P側層13は、通常、単層では無く複数の層を含んで最適化されているが、本特許構成とは直接関係しないので、各層の詳細な構造は記載しない。通常、発光層はN型層(N-type layer)とP型層(P-type layer)に挟まれているが、N型層やP型層が、ノンドープ層や、場合によっては導電性が逆のドーパントを有する層を含む場合も在り得る為、以下ではN側層(N-side layer)、P側層(P-side layer)と記載する。

20

## 【 0 0 2 4 】

## &lt; 第1の実施形態 &gt;

以下に、本発明の第1の実施形態に係るマイクロLED素子(micro LED element)100を光源として搭載する画像表示素子200について、図1～図6を参照して説明する。図1は、マイクロLED素子100を複数備えた画像表示素子200の断面図である。図2は画像表示素子200の画素領域(pixel region)の上面図である。図3～図6は、マイクロLED素子100及び、画像表示素子200の製造工程を示す図ある。

## 【 0 0 2 5 】

## (全体構成)

図1に示すように、画像表示素子200は、画素領域(pixel region)1と、共通接続領域(common interconnection region)2と、ダミー領域(dummy region)3と、外周部(peripheral region)4を含む。画素領域1には図2に示す様に、画素5がアレイ状に配置され、各画素5は青サブ画素6、赤サブ画素7、緑サブ画素8を含む。それぞれ、青色光、赤色光、緑色光を発し、それぞれの強度を調整する事で、画素5として、様々な色の光を発する事ができる。図1は図2のA-A'線部分の断面図を表している。青、赤、緑サブ画素6、7、8はそれぞれマイクロLED100B, 100R、100Gを含む。マイクロLED100B, 100R、100Gは同一構造をしており、青色光(励起光)を発する。以下、マイクロLED100B, 100R、100G全体を指す場合には、マイクロLED100と記す。尚、図2では画素は正方形であり、各サブ画素は画素と同じ長さの辺を有する長方形の形状を有するが、画素形状やサブ画素の形状は他の形状でも良く、サブ画素は青、赤、緑の3種に限定されない。

30

40

## 【 0 0 2 6 】

マイクロLED素子100B, 100R、100Gは、窒化物半導体層14と、P電極19P(第1の電極)(P-electrode)と、共通N電極56(第2の電極)(common N-electrode)とを備えており、光出射面側に共通N電極56、駆動回路基板50側にP電極19Pを配置している。P電極19Pは駆動回路基板50上のP側電極51(P-drive electrode)に接続され、共通N電極56は共通接続領域2において、プラグ55を介して、駆動回路基板50上のN側電極52(N-drive electrode)に接続されており、マイクロLED素子100はそれぞれ対応するP側電極51から電流を供給され、発光する。光射出方向は駆動回路基板50と反対の方向であり、共通N電極56側である。マイクロLED素子

50

100B, 100R, 100Gは画素分離溝(pixel isolation trench)15によって、個別に分割されており、画素分離溝15は埋込材(filling material)20によって、埋められている。マイクロLED素子100を分離する事は、画素間の光クロストーク(light crosstalk)を防ぐ上で好ましい。隣接するマイクロLED素子100同士の窒化物半導体層14が接続していると、いずれかのマイクロLED素子100において発生した光が、窒化物半導体層14を介して、隣接画素から外部へ放出される。(光クロストーク)光クロストークは表示イメージのコントラストや色純度を低下させる為、好ましくない。埋込材20は光クロストークを防止すると共に、表面を平坦化し、共通N電極56やその上の波長変換部や収束部の形成を容易にする。

#### 【0027】

外周部4は画像表示素子200の外縁を規定し、画像表示素子200を個片に切り離す為の切断領域(scribe region)や、ワイヤーボンドパッド等の外部回路との接続部を含む。外周部4では、窒化物半導体層14は除去されている。ダミー領域3は、画像表示素子200の画素領域1、共通接続領域2、外周部4以外の領域であり、この領域には窒化物半導体層14が配置されているが、発光せず、表面の平坦性を確保する為に配置されている。

#### 【0028】

駆動回路基板50の画素領域1には、各画素の画素駆動回路(pixel driving circuit)が配置され、主にダミー領域3には、行選択回路(row selection circuit)、列信号出力回路(column signal output circuit)、画像処理回路(image processing circuit)、入出力回路(input-output circuit)、等が配置されている。駆動回路基板50上のダミー電極53は窒化物半導体層14を固定すると共に、これらの回路を遮光する為に配置されている。

#### 【0029】

(画素の構成)

青サブ画素6では、共通N電極56上に散乱粒子(scattering particle)を含む透明樹脂パターン(transparent resin pattern)からなる透明部21(transparent portion)を有しており、マイクロLED100Bが発する青色光を、散乱粒子によって、放射方向を広げるが、波長変換する事無く、そのまま外部へ放出する。尚、透明部21は散乱粒子を含まなくても良い。赤サブ画素7は、マイクロLED100Rが発する青色光を赤色光(長波長光)に波長変換する材料を含む樹脂パターンである赤色変換部(red wavelength conversion portion)22(以下赤波長変換部22とも呼ぶ)を有しており、赤色光を放出する。緑サブ画素8は、マイクロLED100Gが発する青色光を緑色光に波長変換する材料を含む樹脂パターンである緑色変換部(green wavelength conversion portion)23(以下緑波長変換部23とも呼ぶ)を有しており、緑色光(長波長光)を放出する。

#### 【0030】

マイクロLED100B, 100R, 100Gは、窒化物半導体層14を含み、窒化物半導体層14は、光射出面側から順に、N側層11と、発光層12とP側層13とを含み、N側層11の内部には、反射層10が含まれている。尚、反射層10はN側層11の端部にあっても良く、反射層10がN側層11の内部に含まれるとは、この様な場合も含む。本実施形態では、反射層10が窒化物半導体層14内部に含まれており、発光層12より波長変換層側に配置されている。

#### 【0031】

上記構成によれば、反射層10がN側層11の内部に含まれているため、反射層10を容易に製造することができる。その理由は次の通りである。例えば、駆動回路基板50上にて、反射層10を含まないマイクロLED100を形成した後に、マイクロLED100上に反射層10を形成しても、本実施形態と同様の効果を得る事が出来る。しかし、この場合には、反射層10の堆積工程と反射層10をマイクロLED100毎に分割する工程が追加で必要となる。また分割された反射層10の隙間を埋める工程も必要となる。反射層10をN側層11の内部に含ませれば、この様な工程は必要無い。従って、反射層10をN側層11の内部に含ませる事が好ましい。但し、前記工程数の増加が問題とな

10

20

30

40

50

らない様な少量生産等においては、マイクロLED100形成後に、反射層10を形成しても良い。

#### 【0032】

以上のように、画像表示素子200は、駆動回路基板50上に、マイクロLED素子100と、マイクロLED素子100の発する光を変換して、駆動回路基板50と反対側に射出する赤色変換部22、緑色変換部23（波長変換層）と、を順に積層した画像表示素子200であって、マイクロLED素子100は、前記波長変換層によって変換された光を反射する反射層（第1の多層膜(multilayer film)）10を有している。

#### 【0033】

上記構成によれば、反射層10は窒化物半導体によって構成される為、非常に安定しており、後工程における劣化が抑制される。また、反射層10を容易に構成することができる。したがって、反射層10を容易かつ安定して製造することができる。又、本構成は光クロストークを増加させないという利点も有する。マイクロLED100と波長変換部22、23の間に、反射層をマイクロLED100毎に分割する事無く配置した場合には、反射層を介して光クロストークが生じる。しかし、本構成では反射層10はマイクロLED100内部に形成されている為、新たな光クロストークは生じない。

#### 【0034】

また、上述のように、画像表示素子200においては、マイクロLED素子100は青色光を発し、赤色変換部22、緑色変換部23（波長変換層）は当該青色光を長波長光（赤色光、緑色光）に変換する。

#### 【0035】

上記構成によれば、画像表示素子200は例えば励起光の一例として青色光を出射し、さらに波長変換層により当該青色光を赤色光、緑色光のような長波長光に変換することができる。

#### 【0036】

反射層10（第1の多層膜）は窒化物半導体材料の多層構造よりなり、青色光（励起光）を透過し、青色光より長波長の光（長波長光）を反射する特性を有する。

#### 【0037】

上記構成によれば、反射層10は窒化物半導体材料によって構成される為、非常に安定しており、後工程において劣化する恐れが無い。

#### 【0038】

反射層10（第1の多層膜）は、少なくとも緑色領域（例えば波長 $520\text{nm} \pm 15\text{nm}$ ）と赤色領域（例えば波長 $630\text{nm} \pm 15\text{nm}$ ）では、高い反射特性を有する。赤サブ画素7では、赤色変換部22により発生した赤色光の一部がマイクロLED100Rに入射するが、反射層10によって反射され、再度赤色変換部22を透過して、外部に射出される。反射層10が無い場合には、マイクロLED100Rに入射した赤色光は、P電極19PとP側層13の界面や窒化物半導体14の側壁で反射を繰り返し、かなりの部分（25%以上）がマイクロLED100R内部で吸収される。窒化物半導体/金属電極界面での可視光の反射率は、一般には低い為に、ロスが大きい。唯一、金属電極が銀の場合のみ、可視光に対する反射率が90%以上となるが、P層とのオーミックコンタクトが取り難い上に、銀はマイグレーションによる不良を起こしやすく、図1の様な構造に適用する事は難しい。オーミックコンタクトが容易なパラジウムをP電極19Pとして用いた場合には、反射率は50%前後しか無い。P電極19PとしてNi/ITOの複合層を用いても、反射率は凡50%以下である。又、マイクロLED100同士を遮光する為に、吸光性の埋込材20を用いる場合には、窒化物半導体14の側壁での光吸収が強く、マイクロLED100R内部での赤色光吸収は更に増大する。従って、実際には、前記の様な多層膜による反射層10を用いて反射率を上げる事が必要である。これにより、赤色光の取出し効率を向上する事ができ、赤色光の発光効率を高める事ができる。緑サブ画素8に付いても同様である。

#### 【0039】

尚、反射層 10 は青色光より長波長領域全体において、高い反射率を有する必要は無く、前記緑色領域および前記赤色領域において、反射率のピークを有する方が良い場合がある。赤色変換部 22 や緑色変換部 23 の発光ピークが広い場合があり、このような場合には、前記緑色領域および前記赤色領域を強く反射する事で、各波長変換部から放射される長波長光のスペクトルをシャープに成形し、色純度を高める事ができる。反射率のピーク値は 70 % 以上である事が好ましい。

#### 【0040】

赤サブ画素 7 と緑サブ画素 8 では、赤色変換部 22 と緑色変換部 23 の上に、透過膜 25 が配置されている。透過膜 25 は青色光（励起光）を反射し、青色光より長波長側の光（長波長光）を透過する特性を有する。

10

#### 【0041】

透過膜 25 は例えば、酸化チタン薄膜と二酸化ケイ素薄膜よりなる誘電体多層膜で構成される。赤サブ画素 7 では、赤色変換部 22 により発生した赤色光は透過膜 25 を透過して、外部へ放出される。しかし、青色光は透過膜 25 によって反射され、赤色変換部 22 へ戻される為、再度赤色変換部 22 で吸収される。赤色変換部 22 で吸収されずに、マイクロ LED 100R 側へ進んだ光は、反射層 10 を透過し、P 電極 19P / P 側層 13 界面へ入射する。従って、青色光は透過膜 25 と、P 電極 19P / P 側層 13 界面の間に閉じ込められる為に、外部へは放射される量は極めて少なくなる。また、赤色変換部 22 を何度も通過する内に、波長変換が進み、変換効率は高くなる。この様に、透過膜 25 を設ける事で、青色光の外部放出を低減し、赤色変換部 22 での変換効率を高める事ができる。この効果を活用すれば、赤色変換部 22 をより薄くする事ができる。緑サブ画素 8 に付いても同様である。

20

#### 【0042】

換言すれば、透過膜 25 は青色光を反射し、青色光より長波長側の光を透過することができるため、赤サブ画素 7 や緑サブ画素 8 からの青色光の放出を防ぎ、青色光を効率よく波長変換できる。その結果、赤サブ画素 7 や緑サブ画素 8 の色純度が向上し、画像表示素子 200 の発光効率を向上させることができる。更に、波長変換層を薄くする事で製造が容易となる。

#### 【0043】

透過膜 25 を構成する誘電体多層膜は、吸湿性が高く、劣化し易い為、パッシベーション膜 26 で全体を覆う事が好ましい。パッシベーション膜 26 は窒化シリコン膜の様な CVD 膜でも良いし、シリコン樹脂の様な樹脂材料でも良い。

30

#### 【0044】

（製造方法）

次に、マイクロ LED 素子 100 の製造方法の一例について、図 3 を参照して説明する。

#### 【0045】

図 3 (a) に示すように、成長基板 (growth substrate) 9 上に N 側層 11、発光層 12、及び P 側層 13 をこの順番で堆積することによって窒化物半導体層 14 を形成する。N 側層 11 には、反射層 10 が含まれる。成長基板 9 としては、例えば、(111) 面シリコン基板を用いる事ができる。特に駆動回路基板 50 と同じ大きさである事が好ましい。サファイア ( $Al_2O_3$ ) や SiC 等であっても良い。また、窒化物半導体層 14 を構成する物質としては、例えば GaN 系の半導体等を用いることができる。また、窒化物半導体層 14 を成長基板 9 上に成長させる装置としては、例えば MOCVD 装置を用いることができる。なお、成長基板 9 は、表面に凹凸構造を有していても良い。表面に凹凸構造を有する場合には、エピ成長によって、一旦、表面を平坦化した後に、反射層 10 を成長する事が好ましい。N 側層 11 は、層厚方向に導通する必要が有る為、内部に高抵抗層を含まない事が好ましく、層厚方向全体を通して N 型の良導体である事が好ましい。本構成では反射層 10 は N 型層に含まれる為、N 型導電性を有している。また、成長基板 9 に窒化物半導体層 14 を形成し、室温に戻した段階で、成長基板 9 の反りが小さい事が好ましく、8 インチウエハの場合には、駆動回路基板 50 との貼り合せ（後述の図 3 (c) 工程）

40

50

を容易にする為に、反りは $35\text{ }\mu\text{m}$ 以下である事が好ましい。この様な反りの低減は、N側層11内に適切なバッファ層を設ける事で実現できる。

【0046】

発光層12は、InGa<sub>N</sub>層やGa<sub>N</sub>層からなる多重量子井戸層を含む。N側層11及びP側層13は、それぞれ種々の多層構造により構成される。本実施形態において、N側層11、発光層12、及びP側層13の具体的な構成は、特に限定されるものではなく、例えば、従来のLED素子が採用しているN側層、発光層、及びP側層の構成を適宜採用することができる。したがって、本実施形態では、N側層11、発光層12、及びP側層13の具体的な構成に関する説明を省略する。

【0047】

反射層10は、例えば、図22に示す様に、 $\text{Al}_x\text{Ga}(1-x)\text{N}$ 層とGa<sub>N</sub>層のペアを複数層重ねる事で形成できる。 $\text{Al}_x\text{Ga}(1-x)\text{N}$ 層は全部で36層あり、各層の厚さは57nmから122nm程度である。その間にGa<sub>N</sub>層が35層含まれ、各層の厚さは53nmから114nm程度である。反射層10の全体膜厚は大凡 $5.2\text{ }\mu\text{m}$ であった。これによって、波長520nmでの反射率は65%以上、波長630nmでは反射率80%以上を確保した。

【0048】

なお、N側層11の厚さ $t_n$ は、一般的に $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、 $5\text{ }\mu\text{m} \pm 2\text{ }\mu\text{m}$ 程度である場合が多い。発光層12の厚さ $t_{mqw}$ は、一般的に10nm以上200nm以下で有り、50nm以上100nm以下程度である場合が多い。P側層13の厚さ $t_p$ は、一般的に50nm以上1000nm以下であり、100nm以上300nm以下程度である場合が多い。

【0049】

図3(b)に示すように、P側層13上にP電極層19を全面に形成する。この段階では、P電極層19は成長基板9であるウエハ全面に形成され、パターンニングされていない。P電極層19としては、P側層とオーミックコンタクトが取り易いパラジウム等の金属薄膜、或いは5nm程度の厚さのパラジウムを界面に設けたアルミニウム薄膜等の多層金属膜、或いは透明電極であるITO(インジウム・錫・酸化物)とニッケルとアルミニウムを積層した多層膜をP側層側に配置し、表面側には、駆動回路基板50上のP側電極51との接続に適した金や銅を配置した多層膜が適している。

【0050】

図3(c)に示す様に、窒化物半導体層14上にP電極層(P-electrode layer)19を形成した成長基板9を、P電極層19側の面を駆動回路基板50に面して、互いに貼り合わせる。駆動回路基板50は画像表示素子200の駆動回路が形成されており、各マイクロLED素子100を駆動する画素駆動回路、2次元アレイに配置された画素のうち、特定の行を選択する行選択回路、特定の列の発光強度信号を出力する列信号出力回路、画像処理回路、等、を含んでいる。駆動回路基板50の表面には、画素領域1内では、各マイクロLED素子100に電流を供給するP側電極51、共通接続領域2には、N側電極52、ダミー領域3にはダミー電極(Dummy-drive electrode)53、外周部4には外部接続電極(I/O-electrode)54が露出している。図3は1個の画像表示素子200の断面模式図を示しているが、実際の工程は複数の画像表示素子200を配置した基板状態で行われる。例えば、駆動回路基板50は8インチシリコン基板であり、画像表示素子200の駆動回路が数百個配置されている。この貼り合せによって、駆動回路基板50上のP側電極51、N側電極52、ダミー電極53、外部接続電極54と、P電極層19が接続される。この際、貼り付けは金属電極(例えば銅)同士の直接接続でも良いし、金属ナノ粒子を接着層として介在させても良い。本貼付け工程では、精密なアライメントは必要無い。ウエハ同士の貼り合せの場合、ウエハ同士が重なり合えば良い。尚、貼り合せの際の加熱、冷却による膨張・収縮によるストレスを避ける為、成長基板9と駆動回路基板50は、同材料である事が好ましく、特にシリコンである事が好ましい。

【0051】

次に図3(d)の工程において、成長基板9を剥離する。シリコン基板の場合、研削、研磨、プラズマエッチング、ウェットエッチング等を組み合わせて、除去することができる。尚、図3に示す工程では、成長基板9が付いた状態で、窒化物半導体層14を駆動回路基板50と貼り合せたが、一旦、窒化物半導体層14を別の基板(転写基板)に転写した後に、駆動回路基板50に貼り合せ、転写基板を剥離しても良い。

#### 【0052】

次いで、図3(e)に示す様に、画素分離溝15を形成する。画素分離溝15は、少なくとも、窒化物半導体層14から、P電極層19までをエッチングして、分割する溝である。画素領域1では、各マイクロLED素子100が、画素分離溝15によって個別に分割される。画素分離溝15によって、反射層10もマイクロLED素子100毎に分割される。画素領域1でのP電極層19は、マイクロLED素子100のP側層13と接続するP電極19Pとなる。画素領域1と共通接続領域2の境界や、共通接続領域2とダミー領域3の境界には同時に境界溝15Bが形成される。共通接続領域2やダミー領域3を、更に境界溝15Bによって、細かく分割しても良い。共通接続領域2のP電極層19はN側電極52と接続するN電極19Nとなり、ダミー領域3のP電極層19はダミーP電極19Dとなる。外周部4では窒化物半導体層14やP電極層19が除去され(露出帯15O)、外部接続電極54が露出する。共通接続領域2には、N側電極52上に、共通電極コンタクトホール15Hが形成される。

#### 【0053】

画素分離溝15の断面形状は、図3(e)の断面視において、マイクロLED素子100の側壁が順テーパになる事が好ましい。後工程の埋込材20形成工程において、画素分離溝15を埋め易くする為である。逆テーパとなると、気泡が側壁に残り安く、光出力のバラツキを生じ易い。但し、テーパ角度が90度から大きくずれると、発光層12の面積が減少する為、テーパ角度は70度から110度の範囲が好ましい。

#### 【0054】

本工程以降の工程は駆動回路基板50に対して、処理が行われ、各パターンニングは駆動回路基板50に対して、精密にアライメントされる。尚、本工程は、画素分離溝15や境界溝15Bの形成工程と、露出帯15Oと共通電極コンタクトホール15Hの形成工程は、分けて行っても良い。

#### 【0055】

次いで、図4(a)に示す様に、画素分離溝15を埋込材20によって埋め込み、窒化物半導体層14は露出させる。同時に、境界溝15B、共通電極コンタクトホール15Hや露出帯15Oも埋込材20によって埋められる。埋込材20は、後工程で共通N電極を形成する為に、表面を平坦化する事を第1の目的とする層であり、樹脂材でもCVD膜でも良い。隣接画素への光の漏出を防ぐ為に、光を吸収する顔料やカーボンブラックなどを加えた樹脂でも良い。或いは反射を強化し、マイクロLED素子100の光出力を向上させる為に、反射材となる白色顔料や、散乱粒子を加えた樹脂であっても良い。或いは、画素分離溝15の側壁に、透明絶縁膜と反射率の高い金属膜の積層構造を設ける事で、隣接画素への光漏出を防いでも良い。

#### 【0056】

次いで、図4(b)に示す様に、共通電極コンタクトホール15H部の埋込材20を除去し、図4(c)に示す様に、共通電極コンタクトホール15Hをプラグ55で埋める。プラグ55はタングステン等の材料であっても良い。更に、図4(d)に示す様に、共通N電極56を形成する。共通N電極56はITO等の透明導電膜を採用してもよいし、窒化物半導体層14の大部分に開口部を有し、画素分離溝15上に金属薄膜パターンを配置した金属製のメッシュ状電極を採用してもよいし、両者を組み合わせてもよい。メッシュ状電極の場合、後述の平坦部24と兼用しても良い。共通N電極56はマイクロLED素子100のN側層11と接続し、共通接続領域において、プラグ55を介して、N側電極52へ接続する。

#### 【0057】

次に、図4(e)に示す様に、緑波長変換部23を緑サブ画素8上に形成する。この工程は、波長変換粒子を混合したネガ型レジストを用いて、フォトリソグラフィ技術を用いて形成できる。或いは、ポジ型レジストを用いて、鋳型を形成し、その上に波長変換粒子や散乱粒子を混合した樹脂を塗布する事で、凹部を埋め込み、平坦部に残った樹脂材を除去し、更にポジ型レジスト材を取り除く方法でも形成できる。波長変換粒子は蛍光体粒子でも良いし、量子ドットや量子ロッドでも良い。

#### 【0058】

同様に、図5(a)、(b)に示す様に、赤波長変換部22、透明部21を、それぞれ、赤サブ画素7上、青サブ画素6上に形成する。緑波長変換部23、赤波長変換部22、透明部21の厚さは、ほぼ同じとする事が好ましい。各サブ画素での波長変換部や透明部の厚さが異なると、サブ画素間の配光性の相違が大きくなり、見る方向によって色味が異なると言う問題が生じる為である。また、表面の平坦性を確保し、後工程での透過膜25やパッシベーション膜26の形成を容易にする効果も有る。

#### 【0059】

次いで、図5(c)に示す様に、平坦部(planarization portion)24を形成する。平坦部24は画素領域1では、緑波長変換部23、赤波長変換部22、透明部21の間を埋めて、表面を平坦化し、画素領域1以外も平坦化する事で、後工程での透過膜25やパッシベーション膜26の形成を容易にする事を目的としている。平坦部24は、樹脂材であり、隣接サブ画素への光の漏出を防ぐ為に、光を吸収する顔料やカーボンブラックなどを加えた樹脂でも良い。逆に反射を強化し、サブ画素の光出力を向上させる為に、反射材となる白色顔料や、散乱粒子を加えた樹脂であっても良い。即ち平坦部24は吸光又は反射によって、隣接サブ画素への光の漏出を防ぐ遮光材である。

#### 【0060】

尚、本実施例では緑色波長変換部23、赤色波長変換部22、透明部21を形成後に、平坦部24を形成しているが、前述の鋳型を形成し、後から、緑色波長変換部23、赤色波長変換部22、透明部21を形成し、鋳型を残して平坦部24に当てても良い。この場合には、平坦部24を形成後には、緑色波長変換部23、赤色波長変換部22、透明部21を形成する領域に凹部が形成されており、後に、その凹部に緑色波長変換部23、赤色波長変換部22、透明部21が形成される。平坦部24は上記樹脂材に加えて、透明樹脂材表面を金属膜によって覆った物でも良いし、金属材であっても良い。この場合、金属膜や金属材は反射率の高い銀やアルミニウムが好ましい。

#### 【0061】

平坦部24は図1に示す様に、埋込材20の上部に配置されている事が好ましい。別の言い方をすれば、透明部21や波長変換部22、23がマイクロLED素子100の光出射面を完全に覆う事が好ましい。平坦部24の底面がマイクロLED素子100の光出射面と重なると、マイクロLED素子100から透明部21や波長変換部22、23への光取出し効率が低下するからである。また平坦部24の側面は、透明部21や波長変換部22、23からの光取出し効率を改善する為に、傾斜している事が好ましい。傾斜角度は90度より小さい程良いが、前記の様に、平坦部24の底面がマイクロLED素子100の光出射面と重ならない事が好ましい。

#### 【0062】

更に、図5(d)に示す様に、透過膜25を形成する。透過膜25は誘電体多層膜を堆積し、赤サブ画素7と緑サブ画素6上にのみ残し、それ以外の領域からは除去する。通常のフォトリソグラフィ技術によるパターンングによって加工できる。誘電体多層膜は、図24に示す様に、例えば、16nmから78nmの酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )を8層と、その間に、11nmから90nmの酸化ケイ素膜( $\text{SiO}_2$ )を7層、交互に堆積した膜であり、総膜厚は780nmである。青色光(460nm付近)に対して、入射角度20度以下では、90%以上の高い反射率を有する。一方、緑色光や赤色光に対しては、反射率は5%以下であり、高い透過率を有している。尚、透過膜25の形成前に、表面を平坦化する為に、透明な樹脂層を形成しても良い。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 3 】

図 6 ( a ) に示す様に、透過膜 2 5 上にパッシベーション膜 2 6 を堆積する。透過膜 2 5 は吸湿等によって、変質し易い為、保護膜としてパッシベーション膜 2 6 がある事が好ましい。パッシベーション膜は例えば、プラズマ C V D 法等で形成した窒化ケイ素膜や、シリコン樹脂なのである。

## 【 0 0 6 4 】

次いで、外周部 4 のパッシベーション膜 2 6、平坦部 2 4、埋込材 2 0 が除去され、外部接続電極 5 4 が表面に出す。駆動回路基板 5 0 上に形成された、画像表示素子 2 0 0 は、最終的に個別に切断され、パッケージに実装される。

## 【 0 0 6 5 】

共通電極 5 6 や、緑波長変換部 2 3、赤波長変換部 2 2、透明部 2 1 を形成する際には、画像表示素子 2 0 0 の表面は、図 4 ( c ) の様に、全面が平坦である事が好ましい。樹脂層を塗布する場合が多い為、平坦で無いと、塗布時にストリエーション等の不均一性が生じる、均一な波長変換層が形成できないと言う問題が生じる。ダミー領域 3 に窒化物半導体層 1 4 が無い場合には、窒化物半導体層 1 4 の厚さである数  $\mu\text{m}$  の高さの段差が生じる為、このような平坦性が確保されず、大きな問題となる。従って、ダミー領域 3 の窒化物半導体層 1 4 は必要であり、それを固定する為のダミー電極 5 3 も必要である。

## 【 0 0 6 6 】

更に、透過膜 2 5 を形成する際にも、同様に平坦性が必要であり、平坦部 2 4 がある事が好ましい。外部接続電極 5 4 を含む外周部を露出させる工程は、共通電極 5 6 や、緑波長変換部 2 3、赤波長変換部 2 2、透明部 2 1、透過膜 2 5 の形成後で有る事が好ましい。

## 【 0 0 6 7 】

( 反射層 1 0 及び透過膜 2 5 効果 )

緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 は、それぞれ量子ドットを波長変換粒子として用い、ネガレジスト中に分散し、フォトリソグラフィ技術でパターンニングする。パターンニング後のそれぞれの膜厚は  $8\mu\text{m}$  とした。いずれも励起光となる青色光 ( ピーク波長  $450\text{nm}$ 、ピーク半値幅  $17\text{nm}$  ) の透過強度は 1 % となる様に、量子ドットの分散量を調整した。緑波長変換部 2 3 の発光のピーク波長は  $530\text{nm}$ 、半値幅は  $30\text{nm}$  である。赤波長変換部 2 2 の発光のピーク波長は  $630\text{nm}$ 、半値幅は  $32\text{nm}$  である。

## 【 0 0 6 8 】

透過層 2 5 をなす誘電体多層膜は、 $\text{TiO}_2$  薄膜 ( 厚さ  $35.8\text{nm}$  ) と  $\text{SiO}_2$  薄膜 ( 厚さ  $76.8\text{nm}$  ) のペアを 7 層、イオンビーム蒸着法によって積層している。積層後、フォトリソグラフィ技術によって、赤サブ画素 7 と緑サブ画素 8 部分のみにレジストパターンを残し、ドライエッチング技術によって、赤サブ画素 7 と緑サブ画素 8 部分以外の誘電体多層膜を除去して、透過層 2 5 を形成した。パッシベーション膜 2 6 には、シリコン樹脂を用いた。赤サブ画素 7 と緑サブ画素 8 部分に透過層 2 5 が無い場合には、赤サブ画素 7 と緑サブ画素 8 での青色光の漏れ量 ( エネルギー量 ) を、それぞれ赤色光、青色光に対して  $1/100$  にする為には、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 の膜厚が  $8\mu\text{m}$  必要であったが、透過層 2 5 がある場合には、それぞれ  $4.2\mu\text{m}$  と  $4.0\mu\text{m}$  に低減できた。従って、透過層 2 5 によって、波長変換部の厚さを約半分に低減できた。これは、波長変換部のアスペクト比を大幅に低減できる為、画素の微細化を容易にする事ができる。

## 【 0 0 6 9 】

一方、窒化物半導体 1 4 中に反射層 1 0 を設けた事によって、赤サブ画素 7 からの赤色光の発光量は、反射層 1 0 が無い場合に比べて、約 8 % 向上した。反射層 1 0 が無い場合には、赤波長変換部 2 2 で発生した、赤色光の約半分はマイクロ LED 1 0 0 側へ進み、最終的にマイクロ LED 1 0 0 内部で反射されて、マイクロ LED 1 0 0 から赤波長変換部 2 2 へ戻るが、前記反射の反射率が低い為に、大きなロスが生じていた。これに対して反射層 1 0 によって、より多くの赤色光がマイクロ LED 1 0 0 から赤波長変換部 2 2 へ戻され、赤色光の取出し効率が良くなった為である。反射層 1 0 の反射率を更に改善する

10

20

30

40

50

事で、発光量を更に改善できると考えられる。

【 0 0 7 0 】

緑色光に関しては、反射層 1 0 が無い場合に比べて、約 1 0 % 向上した。改善のメカニズムは赤色の場合と同様であるが、改善の度合いが異なる要因は次の何れか、或いは両方であると考えられる。( 1 ) 赤色光に比べ、緑色光の P 側層 1 3 / P 電極 1 9 P 界面での反射率が低い為、より改善効果が大きく見える。( 2 ) 反射層 1 0 の特性が、赤色光に対して、緑色光に比べてより反射率が高くなった。

【 0 0 7 1 】

以上の様に、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 の上 ( 光放射側 ) に、透過膜 2 5 を設け、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 の下 ( 励起光源側 ) に、反射層 1 0 を設ける事で、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 の厚さを薄くすると共に、発光効率を改善する事ができる。微細化を容易にすると共に、高価は波長変換材の使用量を減らす事で、生産コストを下げる効果も有る。

10

【 0 0 7 2 】

< 第 2 の実施形態 >

本実施形態は第 1 の実施形態に対し、透過層 2 5 を有しない点が異なる。それ以外は、第 1 の実施形態と変わらない。

【 0 0 7 3 】

マイクロ LED 1 0 0 の大きさが比較的大きく、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 を青色光が漏れない様に、十分厚く出来る場合には、透過層 2 5 は省略する事ができる。それによって、工程数の増加を抑制し、誘電体多層膜の形成装置等の設備を削減できるからである。透過層 2 5 を省略しても、反射層 1 0 による光取出し改善効果は有用であり、且つ、一旦、窒化物半導体層 1 4 の形成工程に組み込んでしまえば、反射層 1 0 によるコストアップは僅かである。

20

【 0 0 7 4 】

図 7 ( a ) の画像表示素子 2 0 0 a は、図 5 ( c ) までの工程で製造できる。これにパッシベーション 2 6 を加えても良い。図 7 ( b ) の画像表示素子 2 0 0 b は、画像表示素子 2 0 0 a の赤サブ画素 7 と緑サブ画素 8 の上に、青色を吸収する青色光吸収フィルタ 2 9 ( 励起光を吸収するフィルタ層 ) を追加した構造である。マイクロ LED 1 0 0 の出力に余力がある場合には、所望の赤色光・緑色光を得る為に、マイクロ LED 1 0 0 の出力を上げる場合がある。この場合には、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 から漏れ出る励起光である青色光を青色光吸収フィルタ 2 9 によって吸収する事で、赤色光・緑色光の色純度の低下を防ぐ事ができる。本実施形態によれば、画像表示素子 2 0 0 a や画像表示素子 2 0 0 b において、コストアップを最小限に抑制しながら、光出力を向上する事ができる。

30

【 0 0 7 5 】

< 第 3 の実施形態 >

本実施形態は第 2 の実施形態に対し、緑波長変換部 2 3、赤波長変換部 2 2、透明部 2 1 を有せず、画素全体に黄色波長変換部 3 0 を有し、青、緑、赤の各カラーフィルタを有する点が異なる。それ以外は、第 2 の実施形態と変わらない。

40

【 0 0 7 6 】

図 8 の画像表示素子 2 0 0 c に示す様に、画素領域 1 全体に黄色波長変換部 3 0 が形成されている。黄色波長変換部 3 0 は青色光によって励起され、黄色光を発光し、全体として白色光を発する。青サブ画素 6、赤サブ画素 7、緑サブ画素 8 では、それぞれ、青カラーフィルタ 3 1、赤カラーフィルタ 3 2、緑カラーフィルタ 3 3 が配置されており、それぞれ、青色光、赤色光、緑色光を発する。即ち赤カラーフィルタ 3 2 は赤色光をだけを透過し、青色光 ( 励起光 ) や緑色光 ( 長波長光の一部 ) は透過しない。緑カラーフィルタ 3 3 は緑色光をだけを透過し、青色光 ( 励起光 ) や赤色光 ( 長波長光の一部 ) は透過しない。青カラーフィルタ 3 1 は青色光 ( 励起光 ) を透過し、赤色光や緑色光 ( 長波長光 ) は透過しない。尚、図 8 では青カラーフィルタ 3 1、赤カラーフィルタ 3 2、緑カラーフィル

50

タ 3 3 が互いに離れて配置されているが、互いに密着する様に配置しても良い。また、黄色波長変換部 3 0 は複数の画素に跨って配置されているが、図 1 の様にサブ画素毎とに平坦部 2 4 によって分割しても良い。

【 0 0 7 7 】

黄色波長変換部 3 0 には、Y A G 蛍光体微粒子を用いる事ができる。Y A G 蛍光体は量子ドットに比べ、安定性が高く、比較的高い温度でも使用できる。従って、画像表示素子 2 0 0 c は、量子ドットや他の蛍光体材料を用いた素子に比べ、よりハイパワーで動作させる事ができる。本構成は、この様に大きな光出力が必要な場合に有用な構成である。

【 0 0 7 8 】

本構成は、波長変換部として、黄色波長変換部 3 0 を形成するだけで済む為、製造工程が非常に簡単である。画素毎に波長変換部を加工する必要が無く、一般に用いられるカラーフィルタ技術が使用できる為、技術的にも容易である。一方で、反射層 1 0 による光取出し改善効果は有用であり、且つ、一旦、窒化物半導体層 1 4 の形成工程に組み込んでしまえば、反射層 1 0 によるコストアップは僅かである。

【 0 0 7 9 】

本実施形態によれば、画像表示素子 2 0 0 c において、コストアップを最小限に抑制しながら、光出力を向上する事ができる。

【 0 0 8 0 】

< 第 4 の実施形態 >

本実施形態は第 1 の実施形態に対し、透過層 2 5 の製造方法が異なる。それ以外は、第 1 の実施形態と変わらない。

【 0 0 8 1 】

第 1 の実施形態では、波長変換部を形成後、その上に透過層 2 5 を形成した。従って、透過層 2 5 を構成する誘電体多層膜は樹脂層の上に形成される為、形成温度には上限があり、誘電体多層膜の安定性には限界が有る。より安定した透過膜 2 5 を形成する為に、透明基板 3 4 上全面に誘電体多層膜を形成し、青サブ画素 6 部分の誘電体多層膜を除去する事で反射膜 2 5 f を得る。図 9 ( a ) に示す様に、この様にして得た透明基板 3 4 と透過膜 2 5 f を、図 5 ( c ) の工程を経た駆動回路基板 5 0 へ貼付けえる事で、図 9 ( b ) に示す画像表示素子 2 0 0 d が形成される。貼合わせ時に透明な接着剤を使用しても良い。透明基板としては、石英、サファイア、耐熱ガラス等を使用する事ができ、透過膜 2 5 f は高温で形成する事ができる為、より安定した部材となる。

【 0 0 8 2 】

本構成によっても、第 1 実施形態と同様の効果を奏する。更に、透過膜 2 5 f は高温で形成される為、耐久性が有り、画像表示素子 2 0 0 d の画素領域 1 は透明基板 3 4 によって封止される為、耐久性を向上する事ができる。

【 0 0 8 3 】

< 第 5 の実施形態 >

本実施形態は第 1 の実施形態に対し、反射層 1 0 の構成が異なる。それ以外は、第 1 の実施形態と変わらない。

【 0 0 8 4 】

第 1 の実施形態では、反射層 1 0 を N 側層 1 1 中に設けたが、図 1 0 に示すマイクロ L E D 素子 1 0 0 e ( マイクロ L E D 素子 B 1 0 0 B e 、マイクロ L E D 素子 R 1 0 0 R e 、マイクロ L E D 素子 G 1 0 0 G e を総称 ) では P 側層 1 3 中に設けている点が異なる。緑波長変換部 2 3 、赤波長変換部 2 2 によって発生した緑色光や赤色光に対する反射特性は、反射層 1 0 e を P 側層 1 3 中に設けても、大きくは変わらない。発光層 1 2 は緑色光や赤色光を殆ど吸収しない為である。反射層 1 0 e は P 側層 1 3 中に設けている為、P 型導電性を有する。本実施形態では、反射層 1 0 e が窒化物半導体層 1 4 e 内部に含まれており、発光層 1 2 より駆動回路基板 5 0 側に配置されている。

【 0 0 8 5 】

更に、反射層 1 0 e において、赤色光・緑色光 ( 長波長光 ) に加え、青色光 ( 励起光 )

10

20

30

40

50

に対しても、高い反射率を加える事で、光出力を向上する事ができる。

【0086】

以上のように、画像表示素子200eにおいては、反射層10eは、マイクロLED素子100eを構成する窒化物半導体層14e内の発光層12より、駆動回路基板50側に配置されており、且つ、青色光（励起光）も反射する。

【0087】

反射層10eは少なくとも緑色領域（例えば波長 $520\text{nm} \pm 15\text{nm}$ ）、赤色領域（例えば波長 $630\text{nm} \pm 15\text{nm}$ ）、青色領域（例えば波長 $460\text{nm} \pm 15\text{nm}$ ）では、高い反射特性を有する。励起光である青色光に対しても、P電極13P側において高い反射率を実現できる為、マイクロLED素子B100Be、マイクロLED素子R100Re、マイクロLED素子G100Geの光出力を向上できるからである。従って、青サブ画素6の光出力が向上し、赤サブ画素7、緑サブ画素8の光出力も向上し、画像表示素子200e全体の発光効率を改善する事ができる。

【0088】

本実施形態によれば、画像表示素子200eにおいて、光出力を向上する事ができる。

【0089】

<第6の実施形態>

本実施形態は第1の実施形態に対し、マイクロLED素子100fが異なる。それ以外は、第1の実施形態と変わらない。第1の実施形態のマイクロLED素子100は駆動回路基板50側にP電極19Pを有し、光射出側に共通N電極56を有する、所謂、上下電極型であるが、本実施形態のマイクロLED素子100fは片側にP、N両電極を有する構成である。

【0090】

図11に示す様に、マイクロLED素子100f（マイクロLED素子B100Bf、マイクロLED素子R100Rf、マイクロLED素子G100Gfを総称）は駆動回路基板50f側にP電極19fPとN電極19fNを有している。駆動回路基板50fは、サブ画素毎にP側電極51fとN側電極52fを配置し、それぞれ、P電極19fPとN電極19fNと接続され、マイクロLED素子100fに所定の電流を流し、発光を制御する。このような構成は、画像表示素子200fの製造工程に於いて、共通N電極56の製造工程を省略でき、製造が容易であると言う利点がある。一方で、マイクロLED素子100fの片面にP、N両電極を配置する必要がある為、素子の微細化はより難しく、高パワーが必要なヘッドアップディスプレイやプロジェクタ用途に適している。本実施形態では、反射層10が窒化物半導体層14内部に含まれており、発光層12より波長変換層側に配置されている。反射層10は窒化物半導体で構成されているが、第1の実施形態の様に上下方向に電流を流す必要が無く、反射層10は、反射層10を除く他の部分のN側層11（比抵抗： $1.0 \sim 10\text{m}\Omega/\text{cm}$ ）に比べて高抵抗であっても良い。高抵抗にする事で、窒化物半導体層14の結晶性を改善し、マイクロLED素子100fの光出力を改善する事が出来る。尚、図11ではサブ画素毎にN電極19fNを設けているが、N電極19fNはマイクロLED素子100f毎に設ける必要は無く、複数のマイクロLED素子100fが1個のN電極19fNを共有しても良い。

【0091】

画像表示素子200fとしてみれば、マイクロLED素子100fの電極配置が異なるものの、反射層10と透過層25による効果は、第1の実施形態と同じであり、緑波長変換部23と赤波長変換部22の上（光放射側）に、透過膜25を設け、緑波長変換部23と赤波長変換部22の下（励起光源側）に、反射層10を設ける事で、緑波長変換部23と赤波長変換部22の厚さを薄くすると共に、発光効率を改善する事ができる。微細化を容易にすると共に、高価な波長変換材の使用量を減らす事で、生産コストを下げる効果もある。

【0092】

（製造方法）

10

20

30

40

50

次に、マイクロLED素子100fの製造方法の一例について、図12を参照して説明する。図3と同じ工程に関する説明は省略する。図3との大きな相違点は、電極の配置以外に、マイクロLED素子100fを成長基板9f上で形成し、画像表示素子200f単位で個片化した後、個片単位で駆動回路基板50f上に貼り付ける、と言う製造方法の相違がある。

【0093】

図12(a)に示すように、成長基板9f上に反射層10を含む窒化物半導体層14を形成する点は第1の実施形態と同じであるが、本形態では成長基板9fとして、例えば、(0001)面サファイア基板を用いる事ができる。

【0094】

図12(b)に示すように、P側層13、発光層12とN側層11の一部をエッチングしてメサ16を形成した後、図12(c)に示す様に、保護膜17で覆う。保護膜17は例えば、二酸化ケイ素( $\text{SiO}_2$ )である。次いで、図12(d)に示す様に、メサ16頂上部のP側層13上にはP側コンタクトホール18Pを、メサ16底部のN側層11露出部にはN側コンタクトホール18Nを開口し、図12(e)に示す様に、それぞれにP電極19fP、N電極19fNを形成する。次いで、図13(a)に示す様に、保護膜17と窒化物半導体層14をエッチングし、画素分離溝15fを形成し、各マイクロLED素子100fを分離する。画素分離溝15fによって、反射層10もマイクロLED素子100f毎に分割される。

【0095】

本構成では、発光層12側からドライエッチング技術によって加工して行く為、図12(c)や図13(a)に示す様に、メサ16の傾斜した側面が発光層12を覆い、マイクロ発光素子100fのN側層11の側面を傾斜させる事が容易である。いずれの側面も光出射方向に対して、開く様に傾斜しており、マイクロ発光素子100fの光取出し効率を高める事が出来る。更に、画素分離溝15の側壁を高反射性の金属膜で覆う事で、マイクロ発光素子100fの側面からの光漏出を防止し、光出射方向への光取出し効率を高める事が出来る。N側層11の側面と前記金属膜の間に、透明絶縁膜を配置する事で、一層、マイクロ発光素子100fの光取出し効率を高める事が出来る。

【0096】

図示していないが、マイクロLED素子100fが形成された成長基板9fは研磨され、画像表示素子200f単位で切断され、個片化される。個片化された状態で、図13(b)に示す様に、駆動回路基板50f上に貼り合せられる。駆動回路基板50fはウエハ状態でも良いし、画像表示素子200f単位に分割されたチップ状態でも良いが、以下ではウエハ状態として説明する。

【0097】

次いで図13(c)に示す様に、成長基板9fを剥離する。図13(b)の貼り合せ状態は仮接着に留め、図13(c)の成長基板9f剥離後に、本接続する事が望ましい。成長基板9fが存在する状態では、成長基板9fと駆動回路基板50fの熱膨張が異なる場合には、大きな温度上昇を伴う処理は難しい為、成長基板9f剥離後に、温度上昇を伴う本接続を行う事が好ましいからである。本構成では仮接着状態又は本接続状態において、各マイクロLED素子100fを駆動回路基板50fの制御によって、発光させる事ができる。従って、各マイクロLED素子100fの特性をテスト出来る。従って、不良のマイクロLED素子100fが見出された場合には、問題のマイクロLED素子100fを除去し、正常品を貼り付ける事で、修復する事ができる。本実施形態では、マイクロLED素子100fの電氣的接続が駆動回路基板50f側にしか無い為、この様な修復が容易にできると言う点も利点である。

【0098】

以降の工程は図13(d)~図14(c)に示すが、図13(d)は図4(a)と同様の埋込材20形成工程であり、図14(a)~図14(c)は図4(e)~図6(b)と同じ工程である為、説明は省略する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 9 】

## &lt; 第 7 の実施形態 &gt;

本実施形態は第 6 の実施形態に対し、マイクロ LED 素子 1 0 0 g が異なる。それ以外は、第 6 の実施形態と変わらない。第 6 の実施形態のマイクロ LED 素子 1 0 0 f では、反射層 1 0 を窒化物半導体層で構成していたが、本実施形態のマイクロ LED 素子 1 0 0 g では、誘電体多層膜を反射層 1 0 g として用いる。その為、窒化物半導体層 1 4 g の成長方法が変わるが、反射層 1 0 g 以外の点は、第 6 の実施形態と同じである。

## 【 0 1 0 0 】

本実施形態の画像表示素子 2 0 0 g の断面模式図を図 1 5 に示す。マイクロ LED 素子 1 0 0 g が誘電体多層膜で構成された反射層 1 0 g を有し、反射層 1 0 g が一部に貫通部 4 2 を有している点が、画像表示素子 2 0 0 f と異なる。本実施形態では、反射層 1 0 g が窒化物半導体層 1 4 g 内部に含まれており、発光層 1 2 より波長変換層側に配置されている。

10

## 【 0 1 0 1 】

図 1 5 に示す様に、画像表示素子 2 0 0 g においては、反射層 1 0 g は、誘電体多層膜であり、マイクロ LED 素子 1 0 0 g を構成する窒化物半導体層 1 4 g は、反射層 1 0 g の一部に貫通部 4 2 を有し、貫通部 4 2 はマイクロ LED 素子 1 0 0 g 毎に設けられている。貫通部 4 2 は GaN 等の窒化物半導体によって、埋め込まれている。本構成では、貫通部 4 2 に電流を流す必要が無い為、貫通部 4 2 の窒化物半導体は、N 側層 1 1 g の他の部分に比べて高抵抗であっても良い。

20

## 【 0 1 0 2 】

上記構成によれば、貫通部 4 2 がマイクロ LED 素子 1 0 0 g 毎に設けられている為、マイクロ LED 素子 1 0 0 g 間の特性バラツキを低減すると共に、誘電体多層膜を使って、反射層 1 0 g の反射率を向上し、光出力を向上できる。

## 【 0 1 0 3 】

マイクロ LED 素子 1 0 0 g を構成する窒化物半導体 1 4 g の形成工程を図 1 6 に示す。図 1 6 ( a ) に示す様に、成長基板 9 g 上にシード層 4 0 を形成し、その上に誘電体多層膜を形成する。シード層 4 0 は例えば、GaN 層である。尚、シード層 4 0 は成長基板 9 i の種類によっては、省略できる場合がある。

## 【 0 1 0 4 】

誘電体多層膜は高温で安定な膜でなければならず、例えば CVD 法で形成する二酸化ケイ素 (  $\text{SiO}_2$  ) と窒化ケイ素膜 (  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ) の組合せ等が好ましい。 $\text{SiO}_2$  層と  $\text{Si}_3\text{N}_4$  層のペアを複数層重ねる事で形成できる。例えば、 $\text{SiO}_2$  層厚 89 nm、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  層 65 nm、計 154 nm 厚のペアを 6 層堆積した上に、 $\text{SiO}_2$  層厚 108 nm、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  層 79 nm、計 187 nm 厚のペアを 6 層形成し、計 12 ペア、反射層 1 0 i の全体膜厚は大凡 2  $\mu\text{m}$  である。これによって、波長 520 nm と波長 630 nm では反射率 80 % を確保できる。

30

## 【 0 1 0 5 】

次に図 1 6 ( b ) に示す様に、反射層 1 0 g に開口部 4 1 を形成し、その底部にシード層 4 0 を露出させる。開口部の形成は通常のリソグラフィ技術とドライエッチング技術によって遂行できる。開口部 4 1 の配置周期は、少なくとも画素の配置周期と同じか、その整数分の 1 である事が好ましい。これは各マイクロ LED 素子 1 0 0 g に同数の開口部 4 1 が配置される為に必要な条件である。開口部 4 1 の面積は、全体の面積に比べれば小さく、光学的な影響は大きく無いにしても、開口部 4 1 が多い程、反射層 1 0 g の効果は弱まる。従って、各マイクロ LED 素子 1 0 0 g に対して、同様に開口部が配置される事が好ましい。

40

## 【 0 1 0 6 】

次いで図 1 6 ( c ) に示す様に、N 型層 1 1 g を成長させる。その成長初期は、GaN 膜の選択成長技術を用いて、まず開口部 4 1 を GaN 膜によって埋め込む。その後、横方向成長する事で、反射膜 1 0 g 上に GaN 層を広げ、表面を平坦化し、膜厚を増して、N

50

側層 1 1 g を形成する。

【 0 1 0 7 】

更に図 1 6 ( d ) に示す様に、N 型層 1 1 g の上に、発光層 1 2 及び P 側層 1 3 を成長させ、窒化物半導体層 1 4 g を形成する。発光層 1 2 及び P 側層 1 3 の成長工程は実施形態 6 と変わらない。

【 0 1 0 8 】

窒化物半導体層 1 4 g 形成後の、マイクロ LED 素子 1 0 0 g の形成工程、及び画像表示素子 2 0 0 g の製造工程は、第 6 の実施形態と変わらない。

【 0 1 0 9 】

本構成では屈折差の大きい 2 種類の誘電体膜を積層する事で反射層 1 0 g を形成する為、反射層 1 0 g の反射率を向上できる。従って、赤色光や青色光の放射効率を更に向上する事ができる。

【 0 1 1 0 】

本実施形態では、図 1 5 に示す様に、マイクロ LED 素子 1 0 0 g の上面とほぼ同じ大きさで透明部 2 1 や波長変換部 2 2、2 3 が配置されているが、第 1 の実施形態の様に、マイクロ LED 素子 1 0 0 g の上面より大きな透明部 2 1 や波長変換部 2 2、2 3 を配置しても良い。

【 0 1 1 1 】

< 変形例 >

第 7 の実施形態の変形例を図 1 7 に示す。本変形例は第 7 の実施形態で示した窒化物半導体層 1 4 g を第 1 の実施形態のマイクロ LED 素子 1 0 0 へ適用した物である。

【 0 1 1 2 】

図 1 7 に示す様に、マイクロ LED 1 0 0 h ( マイクロ LED 素子 B 1 0 0 B h、マイクロ LED 素子 R 1 0 0 R h、マイクロ LED 素子 G 1 0 0 G h を総称 ) は、反射層 1 0 g と貫通部 4 2 を有している。それ以外の構造は、第 1 の実施形態のマイクロ LED 1 0 0 と同じである。本構成では、貫通部 4 2 を通して電流を流す必要があり、シード層 4 0 と貫通部 4 2 を構成する GaN 層は N 型にドーピングされて、電導性を有する。即ち、貫通部 4 2 は導電性の窒化物半導体によって埋められている。

【 0 1 1 3 】

以上の様に、上下電極タイプのマイクロ LED 素子 1 0 0 h に対しても、窒化物半導体層 1 4 g の中に誘電体多層膜による反射膜を配置し、画像表示素子 2 0 0 h の光出力を向上する事ができる。

【 0 1 1 4 】

尚、本変形例では、第 1 の実施形態のマイクロ LED 素子 1 0 0 ( 上下電極型 ) に対して、第 7 の実施形態の窒化物半導体層 1 4 g を組合せたが、第 7 の実施形態において示した製造工程によって、上下電極型マイクロ LED 素子を形成する事も可能である。この場合には、第 6 の実施形態や第 7 の実施形態の様に、傾斜した側面によって発光層 1 2 を囲い、マイクロ発光素子の N 側層 1 1 の側面を傾斜させる事が容易となる。いずれの側面も光出射方向に対して、開く様に傾斜させる事で、マイクロ発光素子の光取出し効率を高める事が出来る。更に、画素分離溝 1 5 の側壁を高反射性の金属膜で覆う事で、マイクロ発光素子の側面からの光漏出を防止し、光出射方向への光取出し効率を高める事が出来る。N 側層 1 1 の側面と前記金属膜の間に、透明絶縁膜を配置する事で、一層、マイクロ発光素子の光取出し効率を高める事が出来る。

【 0 1 1 5 】

< 第 8 の実施形態 >

本実施形態は第 1 の実施形態に対し、マイクロ LED 素子 1 0 0 i が異なる。それ以外は、第 1 の実施形態と変わらない。第 1 の実施形態のマイクロ LED 素子 1 0 0 は窒化物半導体 1 4 内部に、窒化物半導体によって構成された反射層 1 0 を有していたが、本構成の反射膜 1 0 i は、誘電体多層膜によって構成され、P 側層 1 3 の外側に配置されている。即ち、発光層 1 2 より駆動回路基板 5 0 側に反射膜 1 0 i が配置されている。

10

20

30

40

50

## 【0116】

図18に示す様に、マイクロLED100i（マイクロLED素子B100Bi、マイクロLED素子R100Ri、マイクロLED素子G100Giを総称）はP側層13の駆動回路基板50側に透明電極層44と反射膜10iを有しており、透明電極層44はP電極19iPを介して、P側電極51と接続している。マイクロLED100iを構成する窒化物半導体層14iはN側層11iと発光層12、P側層13よりなり、反射層を含んでいなくても良い。その他の構成は、第1の実施形態と変わらない。

## 【0117】

本構成では反射膜10iとして、誘電体多層膜を用いる。また、反射膜10iは赤色光、緑色光（長波長光）ばかりでなく、青色光（励起光）に対しても高い反射率を有する事が好ましい。そうする事で、第5の実施形態と同様の効果を生じる事ができる。即ち、反射層10iにおいて、赤色光・緑色光に加え、青色光に対しても、高い反射率を加える事で、光出力を向上する事ができる。励起光である青色光に対しても、P側層13側において高い反射率を実現できる為、マイクロLED素子B100Bi、マイクロLED素子R100Ri、マイクロLED素子G100Giの光出力を向上できるからである。従って、青サブ画素6の光出力が向上し、赤サブ画素7、緑サブ画素8の光出力も向上し、画像表示素子200i全体の発光効率を改善する事ができる。

## 【0118】

更に、本実施形態では、反射膜10iとして、比較的高温で形成する、安定で、屈折率差の大きな誘電体膜ペアを用いた多層膜を用いる事が容易となり、青色光、赤色光、緑色光に対して、高い反射率を有する反射膜10iを、比較的薄い層で形成する事が可能となる。それによって、光出力特性の向上に伴うコストアップを最小限に留める事ができる。

## 【0119】

図18に示す様に、反射層10iは、誘電体多層膜であり、マイクロLED素子100iを構成する窒化物半導体層14iに対して、駆動回路基板50側に設けられており、駆動回路基板50と窒化物半導体層14iは、反射層10iを貫通して設けられた電極によって接続している。上記構成によれば、画像表示素子200iにおいて、反射層10iを貫通して設けられた電極によって駆動回路基板50と窒化物半導体層14iとを接続することができる。

## 【0120】

（製造方法）

図19に示す様に、成長基板9上にN側層11i、発光層12、P側層13よりなる、窒化物半導体層14iを成長させた後、透明電極層44と反射層10iを堆積する。反射層10iの堆積温度は、透明電極層44が劣化しない温度範囲であれば良い為、600以下であれば良く、比較的高温で堆積が可能となり、安定した良好な膜を得る事ができる。透明電極層44は、ITO（インジウム・錫・酸化物）等有り、厚さは50nmから600nm程度である。反射層10iは、図23に示す様に、TiO<sub>2</sub>薄膜とSiO<sub>2</sub>薄膜のペアを17層積層した。TiO<sub>2</sub>薄膜の厚さは8nmから75nm、SiO<sub>2</sub>薄膜の膜厚は8nmから171nmの範囲であり、層毎に膜厚を最適化し、波長440nmから650nmの範囲内で、入射角25度以下では、反射率が平均的に80%以上となる様に最適化した。300の基板温度で、オンビーム蒸着法によって積層している。全体厚は2.85μmであった。

## 【0121】

図19（b）に示す様に、反射層10i積層後、フォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術によって、開口部45を形成する。開口部45の底部には透明電極層44が現れる。次いで、図19（c）に示す様に、P電極層19iを形成する。P電極層19iは開口部45を埋めるプラグ部分を有する事が好ましい。平面部を覆う平坦な膜の部分は有る事が好ましいが、省略する事も出来る。次いで、図19（d）に示す様に、成長基板9を駆動回路基板50に貼り合せ、図19（e）に示す様に、成長基板9を剥離する工程は、第1の実施形態と同じである。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 2 2 】

図 2 0 ( a ) に示す画素分離溝 1 5 i の形成に於いては、窒化物半導体層 1 4 i と透明電極層 4 4 と、反射膜 1 0 i と P 電極 1 9 i を順にエッチングする。それ以外は第 1 の実施形態と同じである。以降の工程は第 1 の実施形態と同じであり、図 1 8 の画像表示素子 2 0 0 i が形成される。

## 【 0 1 2 3 】

## &lt; 第 9 の実施形態 &gt;

本実施形態は第 1 の実施形態に対し、マイクロ L E D 素子 1 0 0 j の発光波長が近紫外線である青紫光（ピーク波長  $410\text{ nm} \pm 15\text{ nm}$ ）となり、透明部 2 1 が青波長変換部 2 1 j に置き換えられる点が大きく異なる。これに付随して、反射層 1 0 j は、赤色、緑色に加えて、青色光（ピーク波長  $460 \pm 15\text{ nm}$ ）も反射する様に層構成が変更される。また、透過層 2 5 j は青サブ画素 6 を含めて、画素領域 1 全体を覆い、青色から赤色までの可視域全域を透過し、青紫光だけを反射する。それ以外は、第 1 の実施形態と変わらない。

## 【 0 1 2 4 】

図 2 1 に示す様に、本構成の画像表示素子 2 0 0 j の構成は、第 1 の実施形態より大きく変わらない。マイクロ L E D 素子 1 0 0 j が青紫光を発する様に、発光層 1 2 j の量子井戸層が変わる。主に量子井戸層のインジウム ( I n ) 濃度を下げられる。反射層 1 0 j は赤色、緑色に加えて、青色光も反射する様に層構成が変更される。これらが窒化物半導体層 1 4 j に関する変更点である。

## 【 0 1 2 5 】

青サブ画素 6 上には、第 1 の実施形態では透明部 2 1 が配置されていたが、本構成では青波長変換部 2 1 j が配置される。青波長変換部 2 1 j は赤色変換部や緑色変換部と同様に、蛍光体や量子ドット、量子ロッド等の波長変換粒子を樹脂中に分散させる事で形成できる。透過層 2 5 j は赤サブ画素 7 と緑サブ画素 8 だけでなく、青サブ画素 6 上にも配置される。透過層 2 5 j の構成も、赤色と緑色に加えて青色光も透過し、青紫光を反射する様に膜構成が変更される。

## 【 0 1 2 6 】

以上の様に、本構成によれば、マイクロ L E D 素子の励起光の発光波長は青色に限らず、近紫外線や紫外線、他の波長であっても良い。近紫外線や紫外線を励起光として用いる場合には、青波長変換部 2 1 j 、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 の下（励起光源側）に、反射層 1 0 j を設ける事で、青波長変換部 2 1 j 、緑波長変換部 2 3 と赤波長変換部 2 2 の厚さを薄くすると共に、発光効率を改善する事ができる。微細化を容易にすると共に、高価な波長変換材の使用量を減らす事で、生産コストを下げる効果も有る。

## 【 0 1 2 7 】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。さらに、各実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を組み合わせることにより、新しい技術的特徴を形成することができる。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 1 2 8 】

- 1 画素領域
- 2 共通接続領域
- 3 ダミー領域
- 4 外周部
- 5 画素
- 6 青サブ画素
- 7 赤サブ画素
- 8 緑サブ画素

10

20

30

40

50

9、9 g	成長基板	
10、10 e、10 g、10 i、10 j	反射層	
11、11 e、11 g、11 i	N側層	
12、12 j	発光層	
13、13 e	P側層	
14、14 e、14 g、14 i、14 j	窒化物半導体層	
15、15 f、15 g	画素分離溝	
15 B、15 i B	境界溝	
15 H、15 i H	共通電極コンタクトホール	
15 O、15 i O	露出帯	10
16	メサ	
17	保護膜	
18 P	P側コンタクトホール	
18 N	N側コンタクトホール	
19、19 h、19 i	P電極層	
19 P、19 f P、19 i P	P電極	
19 N、19 f N、19 i N	N電極	
19 D、19 f D、19 i D	ダミー電極	
20	埋込材	
21	透明部	20
21 j	青色変換部（青波長変換部）	
22	赤色変換部（赤波長変換部）（波長変換層）	
23	緑色変換部（緑波長変換部）（波長変換層）	
24	平坦部	
25、25 c、25 f、25 j	透過膜	
26	パッシベーション	
28	光吸収層	
29	青色光吸収フィルタ	
30	黄色蛍光体	
31	青カラーフィルタ	30
32	緑カラーフィルタ	
33	赤カラーフィルタ	
34	透明基板	
40	シード層	
41	開口部	
42	貫通部	
43		
44	透明電極層	
45	開口部	
50、50 f	駆動回路基板	40
51、51 f	P側電極	
52、52 f	N側電極	
53	ダミー電極	
54	外部接続電極	
55	プラグ	
56	共通N電極	
100、100 e、100 f、100 g、100 h、100 i、100 j	マイクロLED素子	
100 B、100 B e、100 B f、100 B g、100 B h、100 B i、100 B j	マイクロLED素子B（青サブ画素）	50

100R、100Re、100Rf、100Rg、100Rh、100Ri、100Rj マイクロLED素子R（赤サブ画素）

100G、100Ge、100Gf、100Gg、100Gh、100Gi、100Gj  
マイクロLED素子G（緑サブ画素）

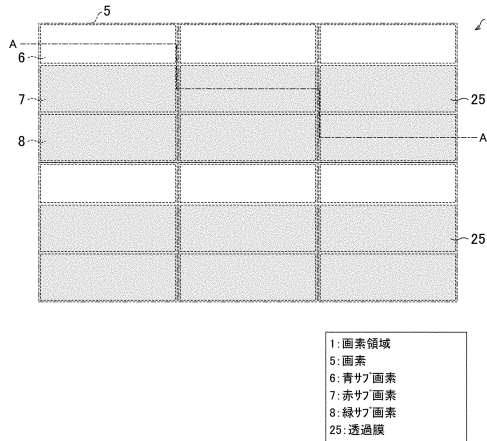
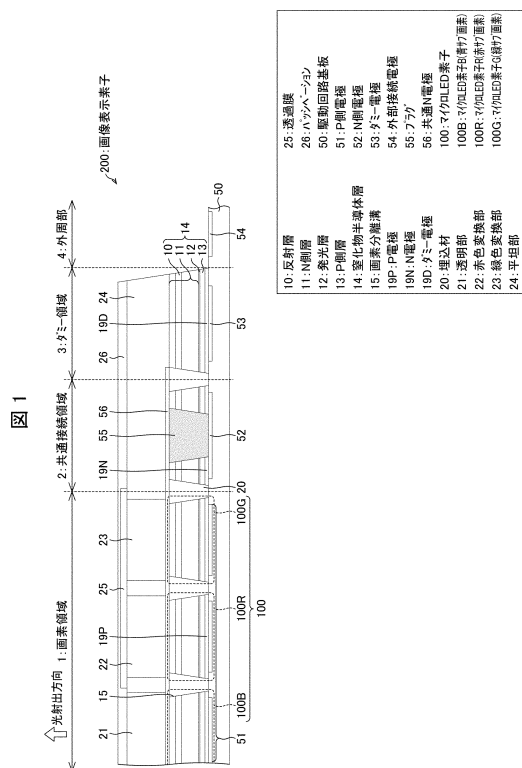
200、200 a、200 b、200 c、200 d、200 e、200 f、200 g、  
200 h、200 i、200 j 画像表示素子

【図面】

【圖 1】

【圖 2】

图 2



10

20

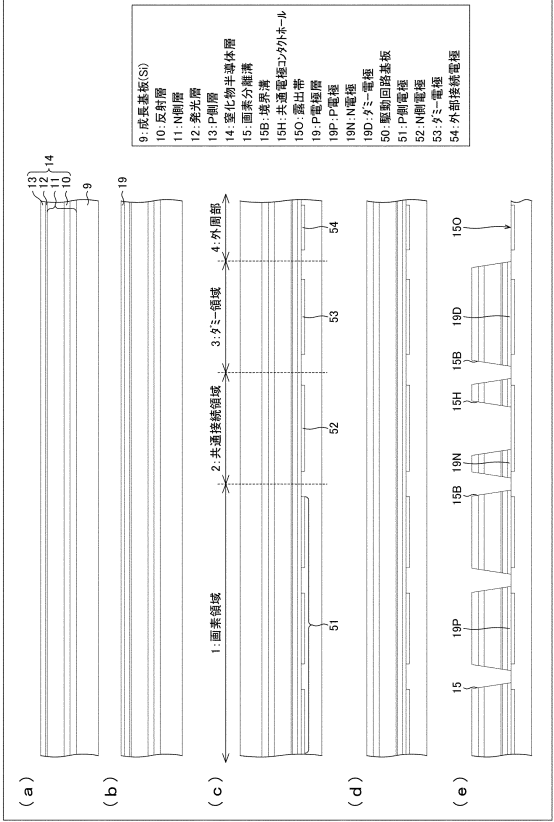
30

40

50

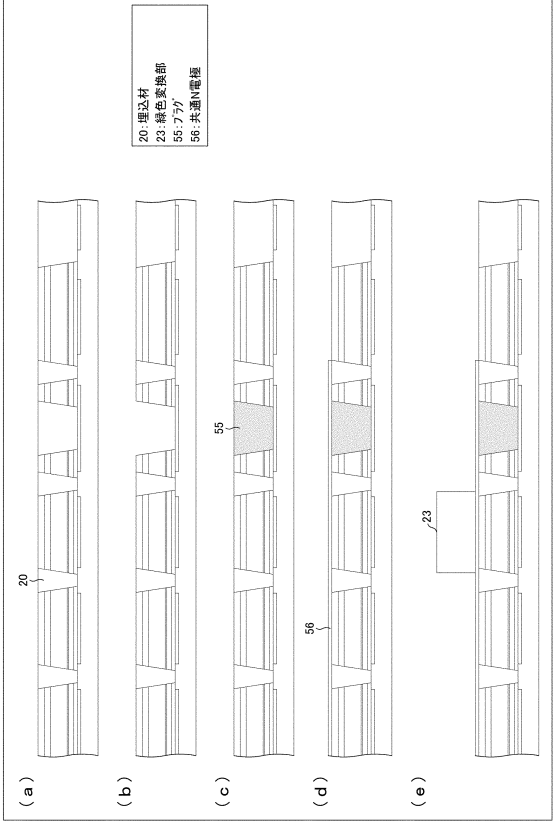
【図 3】

図 3



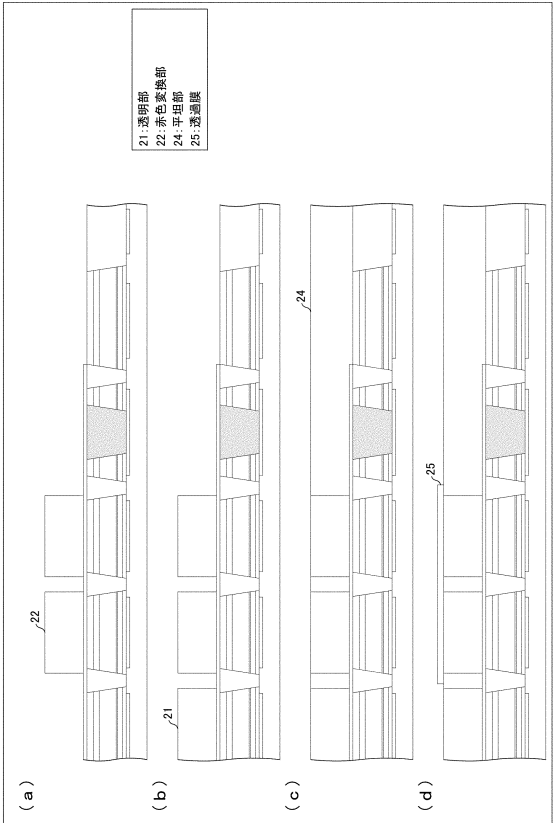
【図 4】

図 4



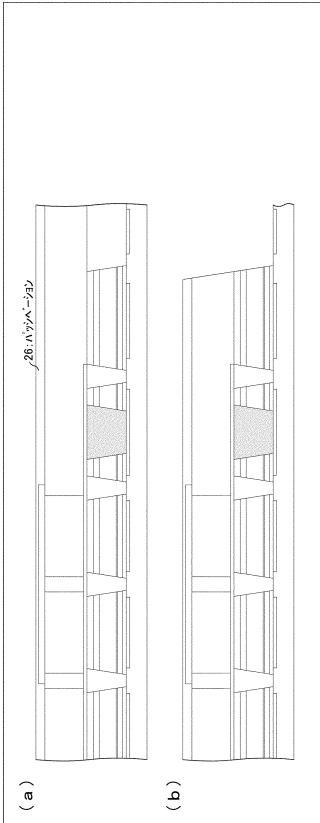
【図 5】

図 5

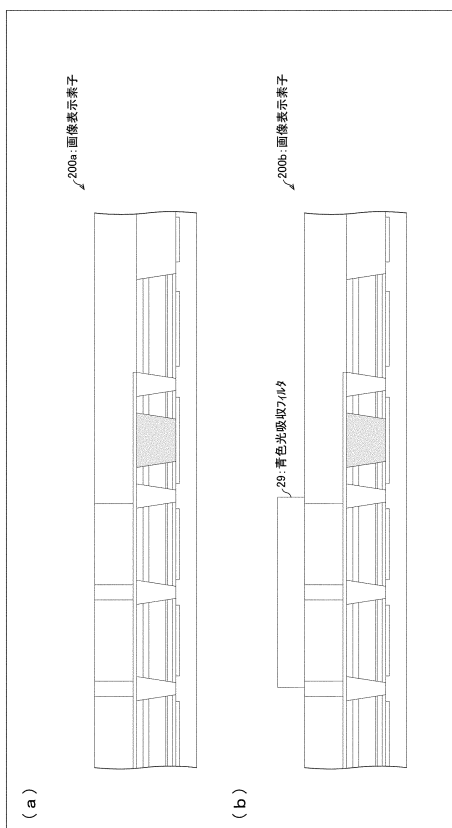


【図 6】

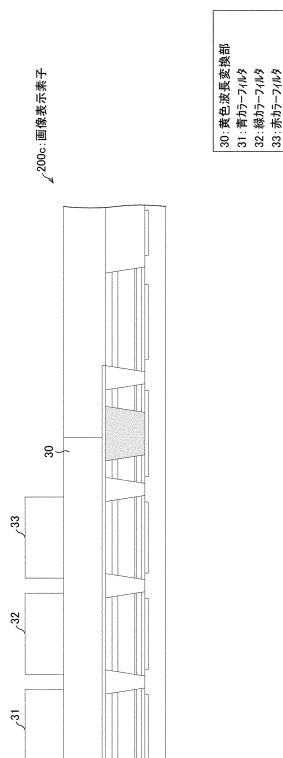
図 6



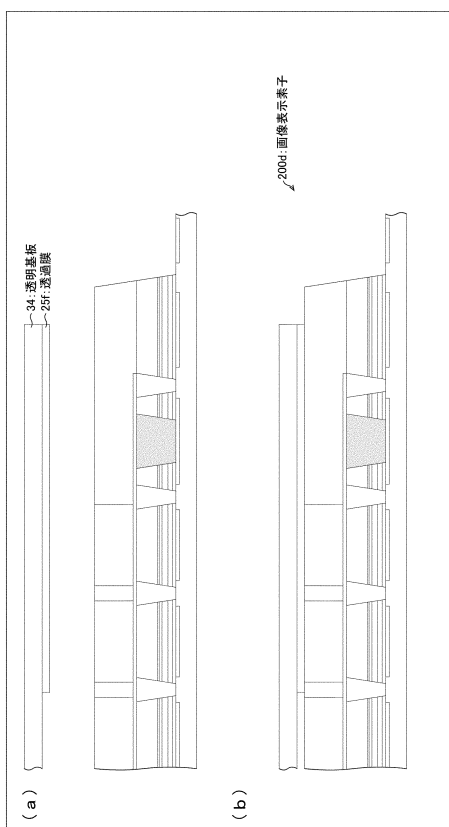
【圖 7】



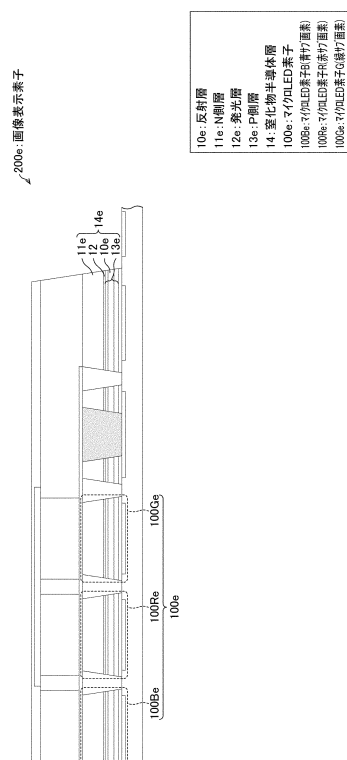
【圖 8】



【 図 9 】

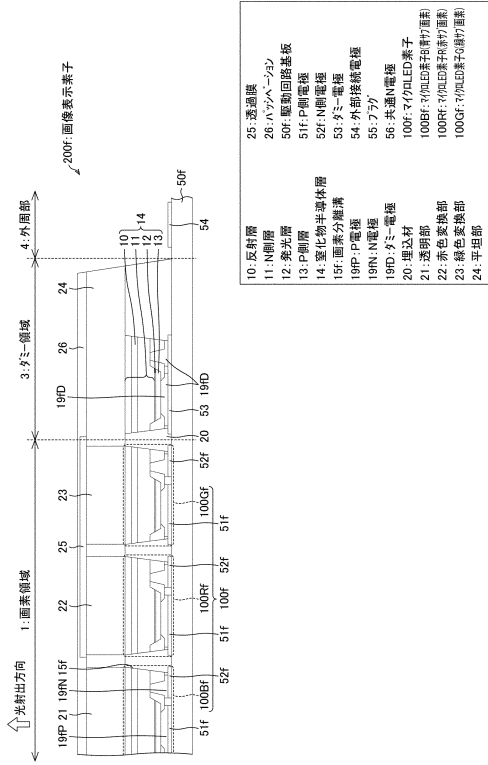


【 図 1 0 】



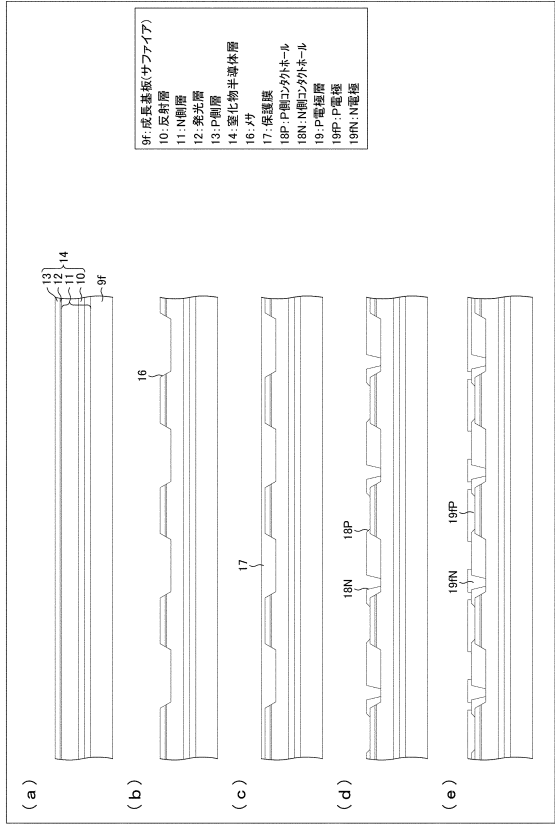
【図 1 1】

図 11



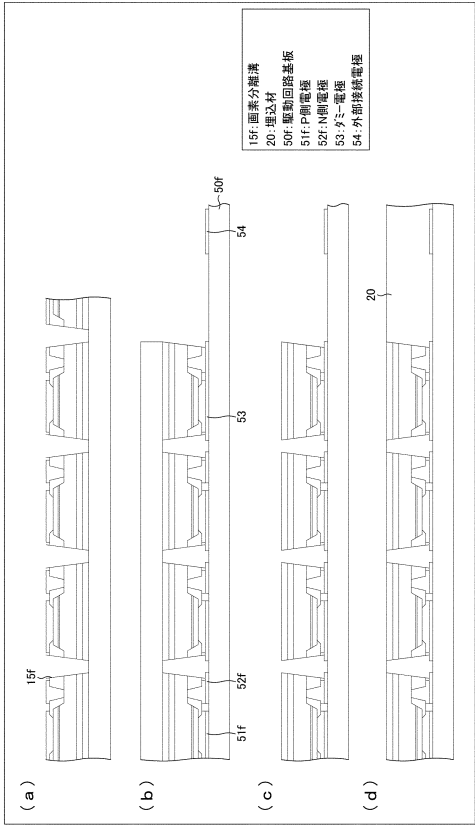
【図 1 2】

図 12



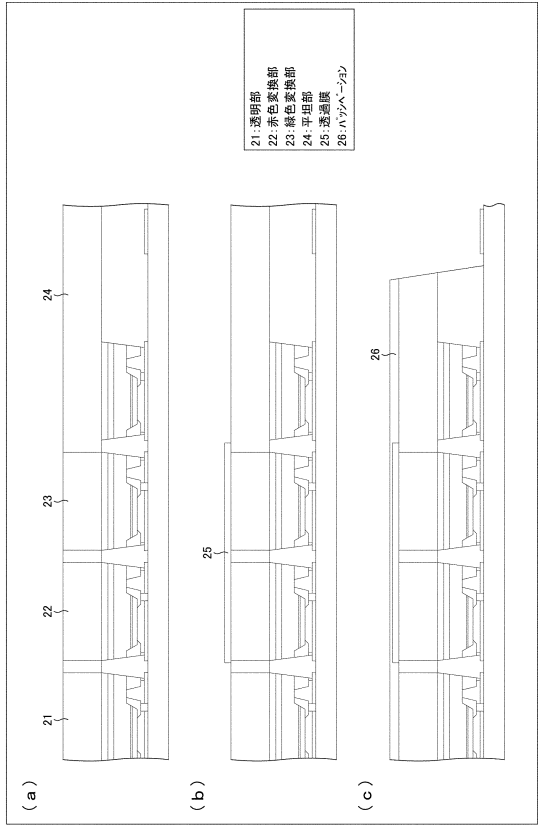
【図 1 3】

図 13



【図 1 4】

図 14



10

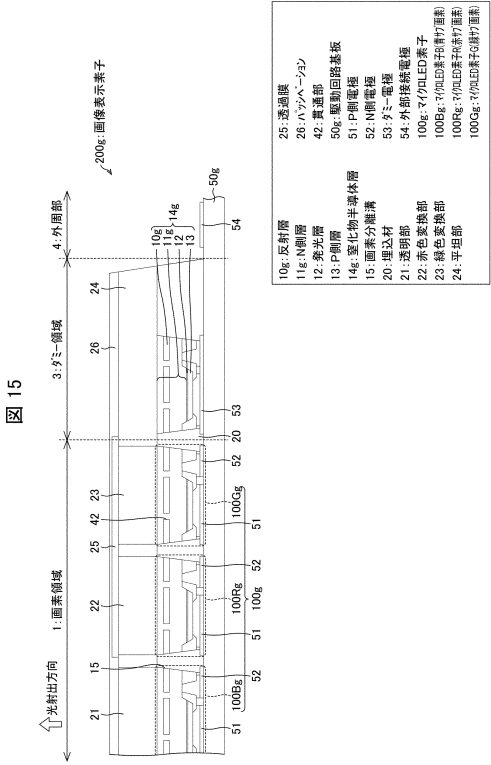
20

30

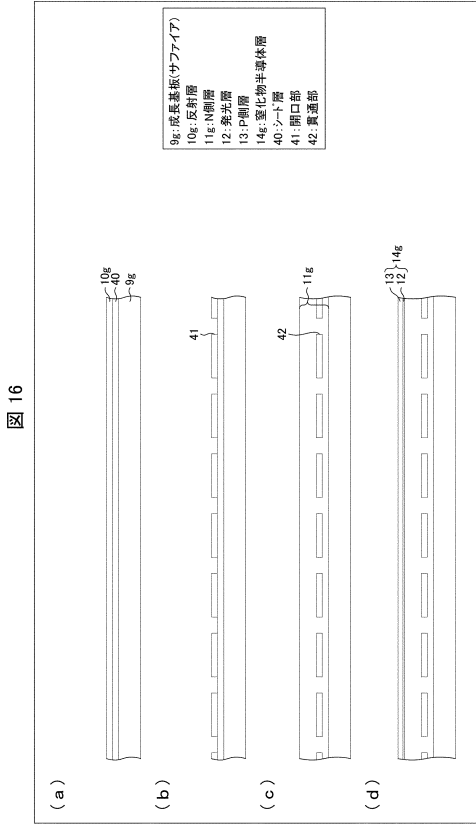
40

50

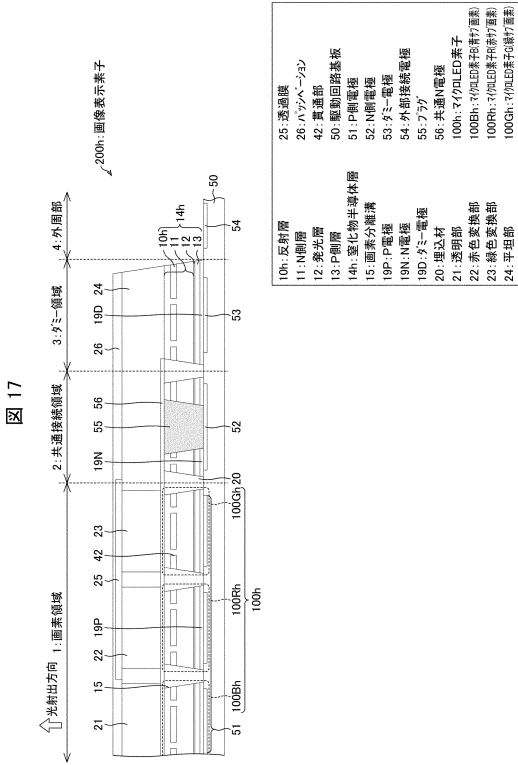
【図 15】



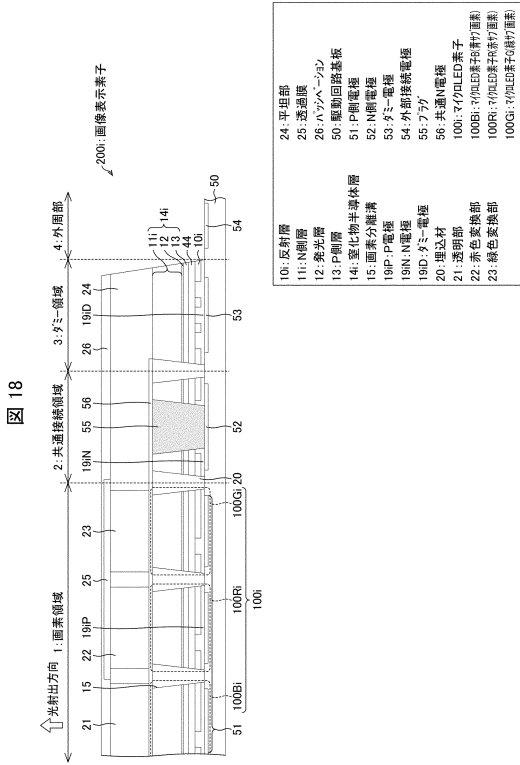
【図 16】



【図 17】



【図 18】



10

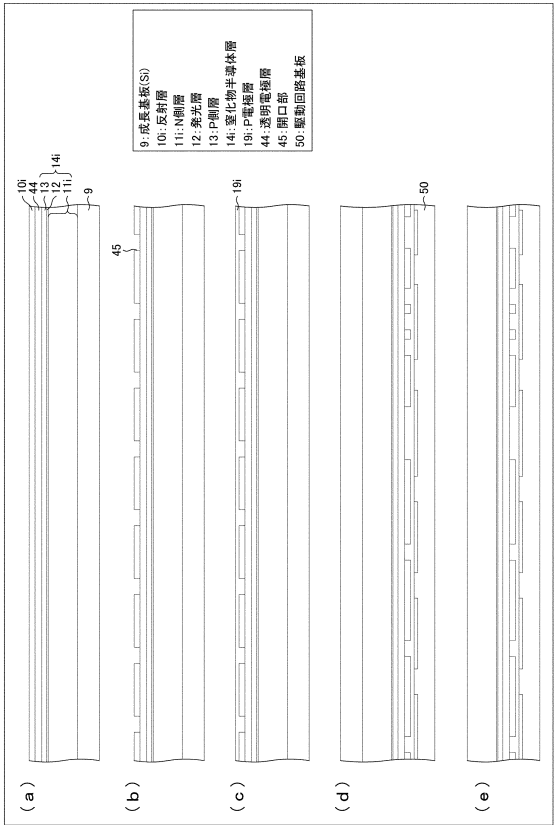
20

30

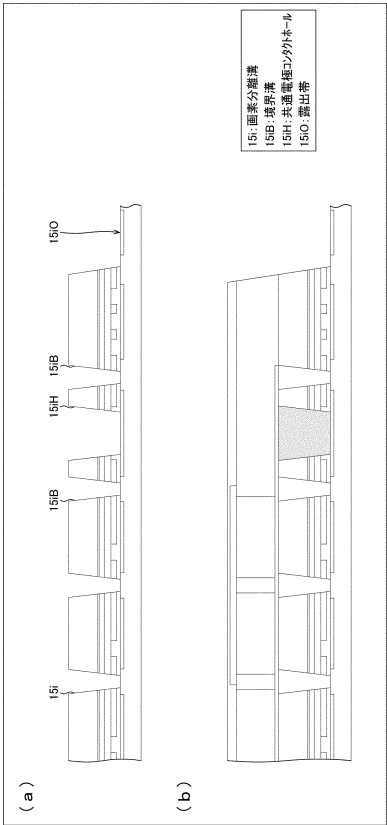
40

50

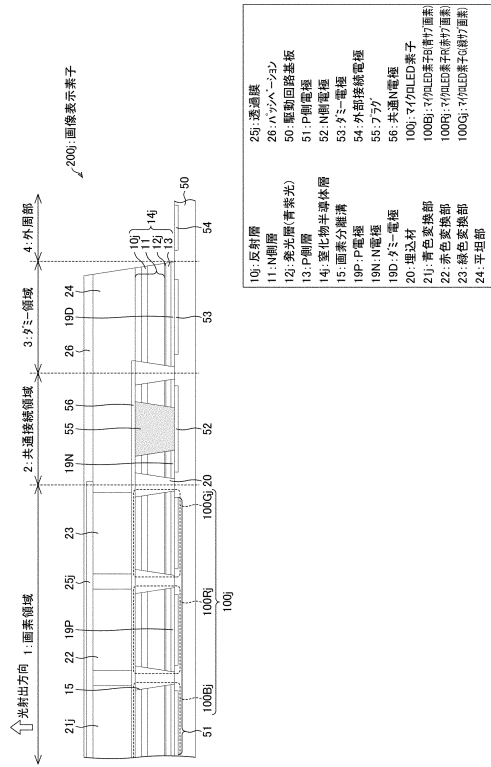
【図 19】



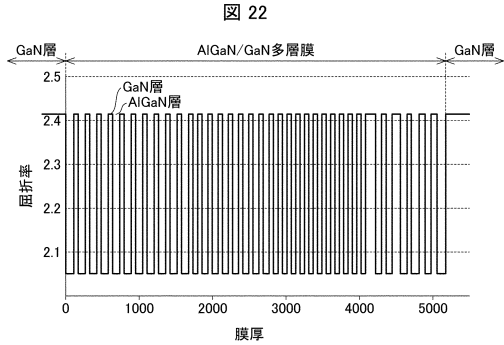
【図 20】



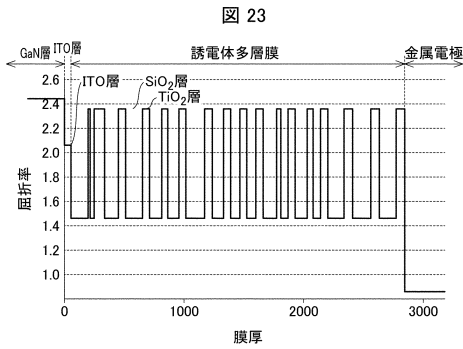
【図 21】



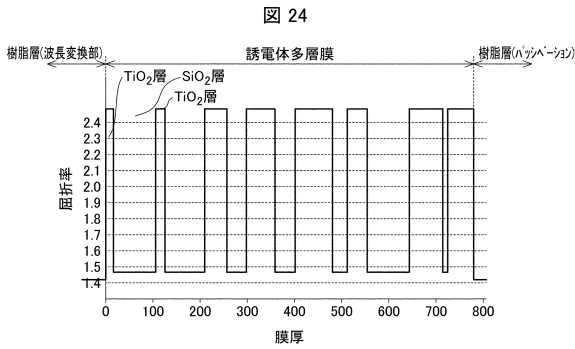
【図 22】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

式会社内

(72)発明者 ジョン ロバーツ

イギリス オーエックス4 4ジービー, オックスフォードシャー, オックスフォード, オックスフォード サイエンス パーク, エドモンド ハリー ロード (番地なし) シャープ ラボラトリーズ オブ ヨーロッパ リミテッド内

(72)発明者 ネイサン コール

イギリス オーエックス4 4ジービー, オックスフォードシャー, オックスフォード, オックスフォード サイエンス パーク, エドモンド ハリー ロード (番地なし) シャープ ラボラトリーズ オブ ヨーロッパ リミテッド内

審査官 浅見 一喜

(56)参考文献 米国特許出願公開第2015/0362165 (US, A1)

特表2002-528890 (JP, A)

特開2017-163123 (JP, A)

特開平11-145519 (JP, A)

特表2000-515689 (JP, A)

特開2015-211058 (JP, A)

特開2007-123311 (JP, A)

米国特許出願公開第2017/0092820 (US, A1)

国際公開第2003/065464 (WO, A1)

Guan-Syuu Chen, et al., Monolithic Red/Green/Blue Micro-LEDs with HBR and DBR structures, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE, 2018年02月01日, vol.30 No.3, 262-265

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64

G09F 9/33

IEEE Explore