

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-288799

(P2004-288799A)

(43) 公開日 平成16年10月14日(2004.10.14)

(51) Int.Cl.⁷

H01L 33/00

H01L 21/28

// C23C 16/34

F I

H01L 33/00

H01L 21/28

C23C 16/34

テーマコード (参考)

4K030

4M104

5F041

審査請求 未請求 請求項の数 45 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2003-77703 (P2003-77703)

(22) 出願日 平成15年3月20日 (2003.3.20)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(74) 代理人 100082762

弁理士 杉浦 正知

(74) 代理人 100120640

弁理士 森 幸一

(72) 発明者 奥山 浩之

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ

ニー株式会社内

(72) 発明者 土居 正人

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ

ニー株式会社内

最終頁に続く

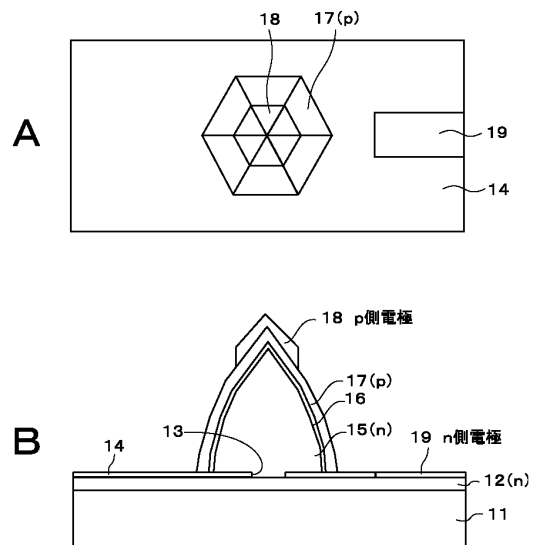
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子およびその製造方法、集積型半導体発光装置およびその製造方法、画像表示装置およびその製造方法ならびに照明装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 発光効率が十分に高く、素子1個当たりの占有面積も小さい半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 サファイア基板11上にn型Ga_{0.4}N層12を成長させ、その上にSi₃N₄膜などにより成長マスク14を形成する。成長マスク14の開口部13におけるn型Ga_{0.4}N層12上に、サファイア基板11の主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する六角錐状の尖塔形状のn型Ga_{0.4}N層15を選択成長させる。このn型Ga_{0.4}N層15上に活性層16およびp型Ga_{0.4}N層17を順次成長させ、発光素子構造を形成する。この後、p側電極18およびn側電極19を形成する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する
ことを特徴とする半導体発光素子。

10

【請求項 2】

上記結晶部はウルツ鉱型の結晶構造を有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】

上記結晶部は窒化物系 III - V 族化合物半導体からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

上記第 1 導電型の半導体層、上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層は窒化物系 III - V 族化合物半導体からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

20

【請求項 5】

上記傾斜結晶面を構成する上記複数の結晶面は S 面であることを特徴とする請求項 2 記載の半導体発光素子。

【請求項 6】

上記傾斜結晶面を構成する上記複数の結晶面の傾斜角は上記結晶部の底辺から頂点に向かって段階的に小さくなっていることを特徴とする請求項 2 記載の半導体発光素子。

【請求項 7】

上記傾斜結晶面を構成する上記複数の結晶面のうちの上記頂点を含む結晶面の傾斜角は 60 度以上 65 度以下であることを特徴とする請求項 6 記載の半導体発光素子。

【請求項 8】

上記結晶部は尖塔形状を有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

30

【請求項 9】

上記結晶部は六角錐状の尖塔形状を有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 10】

上記結晶部は上記主面に平行な一方向に細長い形状を有することを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 11】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する半導体発光素子の製造方法であって、
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、

40

50

上記第2の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項12】

上記成長マスクは窒化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化シリコンまたはそれらの積層膜からなることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項13】

上記成長マスクは少なくとも最表面が窒化シリコンからなることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項14】

上記成長マスクの上記開口部の大きさを $2\mu\text{m}$ 以上 $13\mu\text{m}$ 以下とすることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項15】

上記結晶部はウルツ鉱型の結晶構造を有することを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項16】

上記結晶部は窒化物系III-V族化合物半導体からなることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項17】

上記第1導電型の半導体層、上記第1の半導体層、上記第2の半導体層、上記活性層および上記第2導電型の半導体層は窒化物系III-V族化合物半導体からなることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項18】

上記傾斜結晶面を構成する上記複数の結晶面はS面であることを特徴とする請求項14記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項19】

上記傾斜結晶面を構成する上記複数の結晶面の傾斜角は上記結晶部の底辺から頂点に向かって段階的に小さくなっていることを特徴とする請求項15記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項20】

上記結晶部は尖塔形状を有することを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項21】

上記結晶部は六角錐状の尖塔形状を有することを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項22】

上記結晶部は上記主面に平行な一方向に細長い形状を有することを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項23】

上記選択成長の成長温度を 920°C 以上 960°C 以下とすることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項24】

上記選択成長の成長速度を $6\mu\text{m/h}$ 以上とすることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項25】

上記活性層および上記第2導電型の半導体層の成長温度を上記第2の半導体層の選択成長の成長温度より低くすることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項26】

上記第2の半導体層をその頂部に上記主面とほぼ平行な結晶面が形成されるように選択成長させた後、上記頂部の上にアンドープの半導体層を成長させるようにしたことを特徴と

10

20

30

40

50

する請求項 11 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 27】

上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層を順次成長させる工程との間に、上記成長マスクを除去する工程を有することを特徴とする請求項 11 記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 28】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、

10

少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、

上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、

上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置。

【請求項 29】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、

20

少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、

上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、

上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置の製造方法であって、

基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、

上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、

30

上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とする集積型半導体発光装置の製造方法。

【請求項 30】

上記成長マスクの上記開口部の大きさを上記半導体発光素子の大きさの 1 / 4 倍以上 1 倍以下とすることを特徴とする請求項 29 記載の集積型半導体発光装置の製造方法。

【請求項 31】

上記成長マスクの上記開口部の間隔を上記半導体発光素子の大きさの 2 倍以上とすることを特徴とする請求項 29 記載の集積型半導体発光装置の製造方法。

【請求項 32】

40

上記成長マスクの上記開口部の大きさを 2 μm 以上 13 μm 以下とすることを特徴とする請求項 29 記載の集積型半導体発光装置の製造方法。

【請求項 33】

上記成長マスクの上記開口部の間隔を 10 μm 以上とすることを特徴とする請求項 29 記載の集積型半導体発光装置の製造方法。

【請求項 34】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、

少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第

50

2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置
。

【請求項 35】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 10
2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置の製造方法であって、
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、
上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体 20
層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とする画像表示装置の製造方法。

【請求項 36】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電 30
氣的に接続された第 2 の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置。

【請求項 37】

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電 40
氣的に接続された第 2 の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置の製造方法であって、
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、
上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とする照明装置の製造方法。

【請求項 38】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する
ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 39】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する半導体発光素子の製造方法であって、
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、
上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 40】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置。

【請求項 41】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置の製造方法であって、
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、
上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とする集積型半導体発光装置の製造方法。

【請求項 42】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形

状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置。

【請求項 4 3】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置の製造方法であって、
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、
上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とする画像表示装置の製造方法。

10

20

【請求項 4 4】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置。

30

【請求項 4 5】

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第 1 導電型の半導体層と、
少なくとも上記結晶部の上記傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第 2 導電型の半導体層と、
上記第 1 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 1 の電極と、
上記結晶部上の上記第 2 導電型の半導体層上に設けられ、上記第 2 導電型の半導体層と電氣的に接続された第 2 の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置の製造方法であって、
基板上に第 1 導電型の第 1 の半導体層を成長させる工程と、
上記第 1 の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
上記成長マスクの上記開口部における上記第 1 の半導体層上に第 1 導電型の第 2 の半導体層を選択成長させる工程と、
上記第 2 の半導体層を覆うように、少なくとも上記活性層および上記第 2 導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とする照明装置の製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

50

【発明の属する技術分野】

この発明は、半導体発光素子およびその製造方法、集積型半導体発光装置およびその製造方法、画像表示装置およびその製造方法ならびに照明装置およびその製造方法に関し、特に、窒化物系ⅢⅢⅢ-V族化合物半導体を用いた発光ダイオードに適用して好適なものである。

【0002】**【従来の技術】**

従来、半導体発光素子として、サファイア基板上にn型GaN層を成長させ、その上に所定の開口部を有する成長マスクを形成し、この成長マスクの開口部におけるn型GaN層上に、基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面、具体的にはS面を有する六角錐形状のn型GaN層を選択成長し、その傾斜結晶面上に活性層やp型GaN層などを成長させた発光ダイオードが、本出願人により提案されている（例えば、特許文献1参照）。この発光ダイオードによれば、素子構造を形成する層への基板側からの貫通転位の伝播を抑制することができ、それらの層の結晶性を良好にすることができることにより、高い発光効率を得ることができる。

【0003】**【特許文献1】**

国際公開第02/07231号パンフレット（第47-50頁、第3図～第9図）

【0004】

図21に特許文献1に開示された半導体発光素子の典型的な例を示す。この半導体発光素子の製造方法は次のとおりである。すなわち、まず、主面がC+面であるサファイア基板101上にn型GaN層102を成長させる。次に、n型GaN層102の全面にSiO₂膜を形成した後、このSiO₂膜をリソグラフィおよびエッチングによりパターニングして、素子形成位置に所定の開口部103を有する成長マスク104を形成する。この開口部103の形状は、円形またはその一辺が11-20方向に平行な六角形とする。この開口部103の大きさは10μm程度である。次に、この成長マスク104を用い、その開口部103におけるn型GaN層102上にn型GaN層105を選択成長させる。この選択成長により、六角錐形状のn型GaN層105が得られる。この六角錐形状のn型GaN層105の6面は、サファイア基板101の主面に対して傾斜したS面からなる。次に、このn型GaN層105上に、例えばInGaN系の活性層106およびp型GaN層107を順次成長させる。このようにして、六角錐形状のn型GaN層105とその傾斜結晶面に成長した活性層106およびp型GaN層107とにより、ダブルヘテロ構造の発光ダイオード構造が形成される。詳細は省略するが、この後、p型GaN層107上にp側電極を形成するとともに、n型GaN層102にn側電極を形成する。

【0005】**【発明が解決しようとする課題】**

しかしながら、上述のように、S面からなる傾斜結晶面を有する六角錐形状のn型GaN層105を選択成長させ、そのS面上に活性層106およびp型GaN層107を成長させることにより発光素子構造を形成した従来の半導体発光素子は、発光効率の点では未だ十分とは言い難く、また、素子1個当たりの占有面積も大きくならざるを得なかった。

【0006】

したがって、この発明が解決しようとする課題は、発光効率が十分に高く、素子1個当たりの占有面積も小さい半導体発光素子およびその製造方法を提供することにある。この発明が解決しようとする他の課題は、発光効率が十分に高く、素子1個当たりの占有面積も小さい集積型半導体発光装置およびその製造方法ならびに画像表示装置およびその製造方法ならびに照明装置およびその製造方法を提供することにある。

【0007】**【課題を解決するための手段】**

上記課題を解決するために、この発明の第1の発明は、

10

20

30

40

50

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、
 少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、
 第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、
 結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する
 ことを特徴とする半導体発光素子である。

【0008】

ここで、第1導電型の半導体層、活性層および第2導電型の半導体層の材料としては、基本的には、どのような半導体を用いてもよいが、典型的には、ウルツ鉱型の結晶構造を有するものが用いられる。このようなウルツ鉱型の結晶構造を有する半導体としては、窒化物系III-V族化合物半導体のほか、BeMgZnCdS系化合物半導体やBeMgZnCdO系化合物半導体などのIII-V族化合物半導体などが挙げられる。窒化物系III-V族化合物半導体は、最も一般的には $Al_x B_y Ga_{1-x-y-z} In_z As_u N_{1-u-v} P_v$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $0 \leq u \leq 1$ 、 $0 \leq v \leq 1$ 、 $0 \leq x+y+z < 1$ 、 $0 \leq u+v < 1$ ）からなり、より具体的には $Al_x B_y Ga_{1-x-y-z} In_z N$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $0 \leq x+y+z < 1$ ）からなり、典型的には $Al_x Ga_{1-x-z} In_z N$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ ）からなる。窒化物系III-V族化合物半導体の具体例を挙げると、GaN、InN、AlN、AlGaN、InGaN、AlGaInNなどである。

【0009】

第1導電型の半導体層がウルツ鉱型結晶構造を有する場合、その凸形状の結晶部の傾斜結晶面を構成する複数の結晶面は典型的にはS面（実質的にS面とみなすことができる結晶面も含む）である。典型的には、傾斜結晶面を構成する複数の結晶面の傾斜角は、結晶部の底辺から頂点に向かって段階的に小さくなっている。この結晶部は、典型的には、尖塔形状、特に六角錐状の尖塔形状を有する。この場合、この結晶部の最上部の結晶面、言い換えれば、傾斜結晶面を構成する複数の結晶面のうちの結晶部の頂点を含む結晶面の傾斜角は、好適には60度以上65度以下、典型的には62度以上63度以下である。この結晶部の形状は尖塔形状に限られず、例えば、基板の主面に平行な一方向に細長い形状を有することもある。この結晶部の大きさ（第1導電型の半導体層の主面に平行な方向の最大寸法）は、一般的には3μm以上20μm以下、典型的には10μm以上15μm以下である。

【0010】

この発明の第2の発明は、
 一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、
 少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、
 第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、
 結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する半導体発光素子の製造方法であって、
 基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、
 第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
 成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、
 第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長

10

20

30

40

50

させる工程とを有する

ことを特徴とするものである。

ここで、第1導電型の第1の半導体層と第1導電型の第2の半導体層との全体が第1導電型の半導体層に対応する。

【0011】

基板としては、第1導電型の第1の半導体層、第1導電型の第2の半導体層、活性層、第2導電型の半導体層などを良好な結晶性で成長させることが可能である限り、基本的にはどのような材料のものを用いてもよい。具体的には、サファイア(Al_2O_3) (C面、A面、R面を含む)、SiC(6H、4H、3Cを含む)、窒化物系III-V族化合物半導体(GaN、InAlGaN、AlNなど)、Si、ZnS、ZnO、LiMgO、GaAs、 MgAl_2O_4 などからなる基板を用いることができ、好適には、これらの材料からなる六方晶基板または立方晶基板、特に好適には六方晶基板を用いる。例えば、第1導電型の第1の半導体層、第1導電型の第2の半導体層、活性層および第2導電型の半導体層が窒化物系III-V族化合物半導体からなる場合には、C面を主面としたサファイア基板を用いることができる。ただし、ここで言うC面には、これに対して5~6°程度まで傾いていて実質的にC面とみなすことができる結晶面も含むものとする。

10

【0012】

第1導電型の第1の半導体層、第1導電型の第2の半導体層、活性層および第2導電型の半導体層の成長方法としては、例えば、有機金属化学気相成長(MOCVD)、ハイドライド気相エピタキシャル成長またはハライド気相エピタキシャル成長(HVPE)などを用いることができる。これらの層のうち第1導電型の第2の半導体層の選択成長の成長温度は、凸形状の結晶部の傾斜結晶面を傾斜角の異なる複数の結晶面からなる良好な凸面とする観点より、好適には920以上960以下、より好適には920以上950以下、特に好適には約940とする。また、この選択成長の成長速度は、好適には6 $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上、より好適には6 $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上18 $\mu\text{m}/\text{h}$ 以下とする。典型的には、活性層および第2導電型の半導体層の成長温度は、第1導電型の第2の半導体層の選択成長の成長温度より、例えば20~40以上低くする。

20

【0013】

成長マスクは、第2の半導体層の成長時に、この成長マスク上の核生成が第1の半導体層上の核生成に比べて十分に少なく(言い換えれば、この成長マスク上の成長が阻害される)、選択成長が可能である限り、基本的にはどのような材料で形成してもよいが、典型的には、窒化シリコン(SiN(特に、 Si_3N_4))膜、酸化窒化シリコン(SiON)膜、酸化シリコン(SiO_2)膜またはそれらの積層膜からなる。ただし、成長マスクとしては、これらのほかに、酸化アルミニウム(Al_2O_3)膜やタンゲステン(W)膜や上記の膜との積層膜などを用いてもよい。第2の半導体層を良好な尖塔形状、特に六角錐状の尖塔形状とする観点からは、好適には、少なくとも最表面が窒化シリコンからなる成長マスク、具体的には例えば窒化シリコン膜単層からなる成長マスクや、酸化シリコン膜上に窒化シリコン膜を積層した成長マスクなどが用いられる。

30

【0014】

成長マスクの開口部は種々の形状とすることができるが、典型的には六角形や円形が用いられる。成長マスクの開口部の形状を六角形とする場合、この成長マスクを用いて成長される半導体層が六角形からずれて成長するのを防止する観点より、好適には、その六角形の一辺は1-100方向または11-20方向に垂直になるようにする。

40

【0015】

成長マスクの開口部の大きさ(基板の主面に平行な方向の最大寸法)は、素子の占有面積の低減を図る観点からは小さい方が好ましいが、小さ過ぎると第2の半導体層の選択成長の際に転位や積層欠陥などの結晶欠陥が発生しやすくなるので、これらを考慮すると一般的には、半導体発光素子の大きさの1/4倍以上1倍以下とし、具体的には、例えば、2 μm 以上13 μm 以下、小さめにする場合には典型的には2 μm 以上5 μm 以下、好適には2.5 μm 以上3.5 μm 以下とし、大きめにする場合には典型的には7 μm 以上13

50

μm 以下、好適には $9\mu\text{m}$ 以上 $11\mu\text{m}$ 以下とする。

【0016】

第2の半導体層は、典型的には、成長マスクの開口部よりも横方向に広がるように選択成長させるが、必ずしもそのようにする必要はなく、開口部に収まるようにしてもよい。また、第2の半導体層は、典型的には、尖塔形状が形成されるように選択成長させるが、第2の半導体層をその頂部に基板とほぼ平行な結晶面が形成されるように選択成長させた後、この頂部の上にアンドープの半導体層を成長させるようにしてもよい。このようにすれば、第2導電型の半導体層上に第2の電極を形成するとともに、第1の半導体層および第2の半導体層からなる第1導電型の半導体層に第1の電極を形成し、これらの第1の電極および第2の電極間に電流を流す場合、凸形状の結晶部の頂部に成長したこのアンドープの半導体層が電流阻止領域となり、この部分には電流が流れないようにすることができる。結晶部の頂部の結晶性は一般に他の部分に比べて劣るので、このように結晶部の頂部を避けて電流を流すことができることにより、良好な結晶性の部分のみを通して電流が流れ、ひいては発光効率の向上を図ることができる。

10

【0017】

また、成長マスクは、選択成長終了後もそのまま残しておくのが一般的であるが、選択成長終了後に除去してもよい。この場合、成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程との間に、成長マスクを除去する工程を有する。

20

上記のほか、この第2の発明においては、その性質に反しない限り、第1の発明に関連して説明したことが成立する。

【0018】

この発明の第3の発明は、
一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、
結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置である。

30

【0019】

凸形状の結晶部の傾斜結晶面を互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなる良好な凸面とする観点より、好適には、成長マスクの開口部の大きさは、一般的には半導体発光素子の大きさの $1/4$ 倍以上1倍以下とし、具体的には、例えば、 $2\mu\text{m}$ 以上 $13\mu\text{m}$ 以下、小さめにする場合には典型的には $2\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下、好適には $2.5\mu\text{m}$ 以上 $3.5\mu\text{m}$ 以下とし、大きめにする場合には典型的には $7\mu\text{m}$ 以上 $13\mu\text{m}$ 以下、好適には $9\mu\text{m}$ 以上 $11\mu\text{m}$ 以下とする。成長マスクの開口部の間隔は、一般的には半導体発光素子の大きさの2倍以上、具体的には、例えば $10\mu\text{m}$ 以上、好適には $13\mu\text{m}$ 以上、典型的には $13\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下とする。

40

【0020】

ここで、集積型半導体発光装置はその用途を問わないが、典型的な用途を挙げると、画像表示装置や照明装置などである。また、この集積型半導体発光装置には、同一基板上に複数の半導体発光素子をモノリシックに形成したもののほか、同一基板上にモノリシックに形成された複数の半導体発光素子を個々に分離し、これらの半導体発光素子を他の基台上にマウントしたものも含まれる。

【0021】

この発明の第4の発明は、

50

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、
少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、
第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、
結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置の製造方法であって、
基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、
第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、
第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とするものである。

10

【0022】

この発明の第5の発明は、
一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、
少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、
第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、
結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置である。

20

【0023】

この発明の第6の発明は、
一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、
少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、
第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、
結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置の製造方法であって、

30

基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、
第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、
成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、
第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する
ことを特徴とするものである。

40

【0024】

この発明の第7の発明は、
一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、
少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型

50

の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置である。

【0025】

この発明の第8の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と

10

、
少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置の製造方法であって、

基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、

第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、

20

第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とするものである。

この発明の第3～第8の発明においては、その性質に反しない限り、第1および第2の発明に関連して説明したことが成立する。

【0026】

この発明の第9の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

30

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する

ことを特徴とする半導体発光素子である。

【0027】

この発明の第10の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

40

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する半導体発光素子の製造方法であって、

基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、

第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、

第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する

50

ことを特徴とするものである。

【0028】

この発明の第11の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置である。

10

【0029】

この発明の第12の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された集積型半導体発光装置の製造方法であって、

20

基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、

第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、

第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とするものである。

【0030】

この発明の第13の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置である。

30

【0031】

この発明の第14の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する複数の半導体発光素子が集積された画像表示装置の製造方法であって、

40

基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、

第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長

50

させる工程と、

第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する

ことを特徴とするものである。

【0032】

この発明の第15の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

10

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置である。

【0033】

この発明の第16の発明は、

一主面に、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層と、

少なくとも結晶部の傾斜結晶面上に順次積層された、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層と、

20

第1導電型の半導体層と電氣的に接続された第1の電極と、

結晶部上の第2導電型の半導体層上に設けられ、第2導電型の半導体層と電氣的に接続された第2の電極とを有する一つの半導体発光素子または集積された複数の半導体発光素子を有する照明装置の製造方法であって、

基板上に第1導電型の第1の半導体層を成長させる工程と、

第1の半導体層上に、所定部分に開口部を有する成長マスクを形成する工程と、

成長マスクの開口部における第1の半導体層上に第1導電型の第2の半導体層を選択成長させる工程と、

第2の半導体層を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させる工程とを有する

30

ことを特徴とするものである。

この発明の第9～第16の発明において、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面には、部分的に平面が含まれることもある。

この発明の第9～第16の発明においては、その性質に反しない限り、第1および第2の発明に関連して説明したことが成立する。

【0034】

上述のように構成されたこの発明によれば、所定部分に開口部を有する成長マスクを用いて第1導電型の半導体層を選択成長させることにより、互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として良好な凸面をなす傾斜結晶面、あるいは、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を形成することができる。そして、この結晶部を覆うように、少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させることにより、発光素子構造を形成することができる。この場合、第2導電型の半導体層も、互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として良好な凸面をなす傾斜結晶面、あるいは、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する。このため、素子の駆動時には、この第2導電型の半導体層の凸面あるいはほぼ凸面をなす傾斜結晶面での反射により、活性層から生じる光を効率よく外部に取り出すことができる。また、S面からなる傾斜結晶面を有する結晶部を形成する場合に比べて結晶部の大きさを小さくすることができ、したがってこの結晶部上に活性層および第2導電型の半導体層を順次成長させることにより形成される発光素子構造も小さくすることができる。さらに、光の取り出し方向を主面に垂直に近づけることができるため、発光部分以外の部分にブラックマスクなどを設けても光が遮ら

40

50

れにくくなる。

【0035】

【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、実施形態の全図において、同一または対応する部分には同一の符号を付す。

図1～図4はこの発明の第1の実施形態によるGaN系発光ダイオードの製造方法を工程順に示し、各図のAは平面図、Bは断面図である。

【0036】

この第1の実施形態においては、図1に示すように、まず、例えば主面がC+面であるサファイア基板11を用意し、サーマルクリーニングなどによりその表面を清浄化した後、このサファイア基板11上に、例えば有機金属化学気相成長(MOCVD)法により、n型不純物として例えばSiがドーパされたn型GaN層12を成長させる。このn型GaN層12は、可能な限り結晶欠陥、特に貫通転位が少ないものが望ましく、その厚さは例えば2μm程度以上あれば通常は足りる。低欠陥のn型GaN層12の形成方法としては種々の方法があるが、一般的な方法として、サファイア基板11上に、まず例えば500程度の低温でGaNバッファ層やAlNバッファ層(図示せず)を成長させ、その後1000程度まで昇温して結晶化してから、その上にn型GaN層12を成長させる方法がある。この場合、GaNバッファ層やAlNバッファ層を成長させた後、まずアンドープGaN層を成長させ、その後にn型GaN層12を成長させるようにしてもよい。

【0037】

次に、n型GaN層12の全面に例えばCVD法、真空蒸着法、スパッタリング法などにより、好適にはプラズマCVD法により、例えば厚さが200nm程度のSiO₂膜および例えば厚さが10nm程度のSiN膜(特に、Si₃N₄膜)を順次形成した後、その上にリソグラフィにより所定形状のレジストパターン(図示せず)を形成し、このレジストパターンをマスクとして、例えばフッ素系のエッチング液を用いたウエットエッチング、または、CF₄やCHF₃などのフッ素を含むエッチングガスを用いたRIE法によりSiN膜およびSiO₂膜をエッチングし、パターンニングして、素子形成位置に所定の開口部13を有する成長マスク14を形成する。この開口部13の形状は、その一辺が1-100方向または11-20方向に垂直な六角形とする。この開口部13の大きさDは必要に応じて決められるが、一般的には2~13μm、ここでは例えば3μmである。図1においては開口部13は1個だけ図示されているが、実際にはアレイ状に複数個形成されている。開口部13の配列の一例を図5に示す。図5において、Pは開口部13のピッチである。ピッチPは一般的には10μm以上、ここでは例えば14μmである。

【0038】

次に、図2に示すように、この成長マスク14を用い、その開口部13におけるn型GaN層12上にn型不純物として例えばSiがドーパされたn型GaN層15を選択成長させる。この時の成長温度は例えば940とし、成長速度はプレーナ成長換算で、好適には6~18μm/h、例えば11.0~11.3μm/hという非常に速い成長速度にする。この選択成長の際には、n型GaN層12との界面近傍における成長を穏やかにするため、成長温度を940よりも低くし、成長速度を低くして成長させるようにしてもよいが、n型GaN層12との界面近傍の部分を除く大部分の成長は成長温度を940とし、成長速度をプレーナ成長換算で11.0~11.3μm/hという非常に速い成長速度に設定して行う。この選択成長により、六角錐状の尖塔形状のn型GaN層15が得られる。この尖塔形状のn型GaN層15の6面は、サファイア基板11の主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の(一般的には、多くの、あるいは無数の)結晶面からなるが、この例では簡単にするため、四つの結晶面F₁、F₂、F₃、F₄からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面となっているものとする。この場合、これらの結晶面F₁、F₂、F₃、F₄の傾斜角はn型GaN層15の底辺から頂点に向かって段階的に小さくなっており、頂点を含む最上部の結晶面F₄の傾斜角は例えば6

2 ~ 63 度、底辺を含む最下部の結晶面 F_1 の傾斜角は例えば 74 ~ 82 度である。ここで、全体として凸面をなすこの傾斜結晶面を構成する各結晶面はいずれも S 面または実質的に S 面とみなすことができるものであり、これに対応して、n 型 GaN 層 15 は結晶方位が互いに微小角異なる複数の単結晶の集合体となっている。この n 型 GaN 層 15 の大きさは必要に応じて決められるが、この場合には開口部 13 の大きさより大きく選ばれ、具体的には開口部 13 の大きさの 3 倍程度に選ばれる。

【0039】

上述のようにして n 型 GaN 層 15 を成長させた後、引き続いて、図 3 に示すように、サファイア基板 11 上に、例えば InGaIn 系の活性層 16 および p 型不純物として例えば Mg がドーパされた p 型 GaN 層 17 を順次成長させる。このようにして、六角錐状の尖塔形状の n 型 GaN 層 15 とその傾斜結晶面に成長した活性層 16 および p 型 GaN 層 17 とにより、ダブルヘテロ構造の発光ダイオード構造が形成される。この後、例えば、窒素雰囲気中において 850 程度の温度でアニールすることにより、p 型 GaN 層 17 中の Mg の活性化を行う。活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の厚さは必要に応じて決められるが、活性層 16 の厚さは例えば 3 nm (成長後の活性層 16 の厚さは通常、上から下にかけて幾分、分布を持っている)、p 型 GaN 層 17 の厚さは、動作電圧低減の観点からは発光特性を損ねない限りできるだけ薄くする方が望ましく、例えば 0.2 μm であるが、例えば 0.05 μm にすると動作電圧を 3 V 以下にすることができる。これらの GaN 系半導体層の成長温度は、例えば、活性層 16 は 650 ~ 800、具体的には例えば 740、p 型 GaN 層 17 は活性層 16 の特性を損なわない範囲で高めの温度、例えば 880 ~ 940、具体的には例えば 900 とする。活性層 16 は、例えば、単一の InGaIn 層からなるものであっても、例えば In 組成が互いに異なる二つの InGaIn 層を交互に積層した多重量子井戸構造であってもよく、それらの In 組成は、発光波長をどの波長に設定するかに応じて決められる。また、p 型 GaN 層 17 においては、好適には、その最上層の Mg 濃度を、後述の p 側電極と良好なオーミック接触を取ることができるように上昇させる。ただし、p 型 GaN 層 17 上に、オーミック接触をより取り易い、p 型不純物として例えば Mg がドーパされた p 型 InGaIn 層を p 型コンタクト層として成長させ、その上に p 側電極を形成してもよい。

発光素子構造の大きさ W は例えば 10 μm 程度である (図 3 参照)。

【0040】

上記の GaN 系半導体層の成長原料は、例えば、Ga の原料としてはトリメチルガリウム ($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ 、TMG)、Al の原料としてはトリメチルアルミニウム ($(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ 、TMA)、In の原料としてはトリメチルインジウム ($(\text{CH}_3)_3\text{In}$ 、TMI) を、N の原料としては NH_3 を用いる。ドーパントについては、n 型ドーパントとしては例えばシラン (SiH_4) を、p 型ドーパントとしては例えばビス = メチルシクロペンタジエニルマグネシウム ($(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$) あるいはビス = シクロペンタジエニルマグネシウム ($(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg}$) を用いる。

【0041】

また、上記の GaN 系半導体層の成長時のキャリアガス雰囲気としては、n 型 GaN 層 12 および n 型 GaN 層 15 は N_2 と H_2 との混合ガス、活性層 16 は N_2 ガス雰囲気、p 型 GaN 層 17 は N_2 と H_2 との混合ガスを用いる。この場合、活性層 16 の成長ではキャリアガス雰囲気を N_2 雰囲気としており、キャリアガス雰囲気に H_2 が含まれないので、In が脱離するのを抑えることができ、活性層 16 の劣化を防止することができる。また、p 型 GaN 層 17 の成長時にはキャリアガス雰囲気を N_2 と H_2 との混合ガス雰囲気としているので、これらの p 型層を良好な結晶性で成長させることができる。

【0042】

次に、上述のようにして GaN 系半導体層を成長させたサファイア基板 11 を MOCVD 装置から取り出す。

10

20

30

40

50

次に、基板全面に例えば真空蒸着法によりNi膜、Ag膜（またはPt膜）およびAu膜を順次形成した後、その上にリソグラフィーにより所定形状のレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとしてNi膜、Ag膜およびAu膜をエッチングする。これによって、図4に示すように、六角錐状の尖塔形状のn型GaN層15の上に成長した活性層16およびp型GaN層17の頂点を含む領域に、Ni/Ag（またはPt）/Au構造のp側電極18が形成される。このp側電極18の大きさは、後述のように駆動電流がn型GaN層15などの欠陥領域をなるべく流れないように決められ、具体的には例えば4 μm程度とする。

【0043】

次に、成長マスク14の所定部分をエッチング除去してこの部分にn型GaN層12を露出させる。次に、基板全面に例えば真空蒸着法によりTi膜、Pt膜およびAu膜を順次形成した後、その上にリソグラフィーにより所定形状のレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとしてTi膜、Pt膜およびAu膜をエッチングする。これによって、n型GaN層12にコンタクトしたTi/Pt/Au構造のn側電極19が形成される。

この後、上述のようにして発光ダイオード構造がアレイ状に形成された基板をRIEによるエッチングやダイサーやエキシマレーザによる剥離などによりチップ化し、目的とするGaN系発光ダイオードを得る。必要に応じて、発光ダイオード構造がアレイ状に形成された基板をチップ化する前に、基板表面を平坦に近く加工するようにしてもよい。

【0044】

このようにして製造されたGaN系発光ダイオードのp側電極18とn側電極19との間に電流を流して駆動したところ、活性層16のIn組成に応じて発光波長380～620 nmの範囲、例えば発光波長450 nmで、サファイア基板11を通した発光を確認することができた。また、発光効率が高く、発光出力は例えば駆動電流が200 μAの時に40 μWであった。

【0045】

ここで、六角錐状の尖塔形状を有するn型GaN層15の凸面をなす傾斜結晶面を構成する複数の結晶面のうちの結晶面F₁の傾斜角と発光効率との関係について説明する。すでに述べたように、結晶面F₁の傾斜角は例えば74～82度であるが、この傾斜角が大きい方が発光効率が高くなる傾向がある。例えば、この傾斜角が74度の場合には、n型GaN層15の成長厚がプレーナ成長換算で2 μmの時、開口部13の大きさD = 10 μm、ピッチP = 29 μmに対し、発光効率は100 mW/Aであったのに対し、76度の場合には、n型GaN層15の成長厚がプレーナ成長換算で2 μmの時、開口部13の大きさD = 3 μm、ピッチP = 17 μmに対し、発光効率は200 mW/A、82度の場合には、n型GaN層15の成長厚がプレーナ成長換算で4 μmの時、開口部13の大きさD = 3 μm、ピッチP = 17 μmに対し、発光効率は210 mW/Aであった。

【0046】

次に、図5に示す成長マスク14の開口部13の大きさDおよびピッチPと発光効率との関係について説明する。D、P（単位はともにμm）の組み合わせを（D，P）と表し、Dを3～10 μm、Pを11～28 μmの範囲で変えた試料を多数作製し、それぞれに対してn型GaN層15の選択成長を行った。その結果、ピッチPが大きい方が、n型GaN層15が良好な傾斜結晶面を有する尖塔形状となり、発光効率が高くなる傾向があり、大きさDは小さい方が発光効率が高くなる傾向にあった。また、この時の光の取り出しの様子を観察した所、素子の中心部だけでなく側面も含めた全体から多くの発光が生じているように見られた。

【0047】

図6に六角錐状の尖塔形状のn型GaN層15の走査型電子顕微鏡（SEM）写真を示す。ここで、成長マスク14の開口部13の大きさD = 3 μm、ピッチP = 10 μmである。比較のために、従来のS面からなる傾斜結晶面を有する六角錐状のn型GaN層のSEM写真を図7に示す。ここで、成長マスク14の開口部13の大きさD = 10 μm、ピッ

10

20

30

40

50

チ $P = 29 \mu m$ である。

【0048】

また、図8に成長マスク14の開口部13の大きさ $D = 3 \mu m$ 、ピッチ $P = 17 \mu m$ の場合の n 型 GaN 層15のSEM写真を示す。さらに、図9に成長マスク14の開口部13の大きさ $D = 3 \mu m$ 、ピッチ $P = 28 \mu m$ の場合の n 型 GaN 層15のSEM写真（倍率は図8の1/2であることに注意）を示す。図8および図9より、ピッチ P が約 $17 \mu m$ の場合よりも約 $28 \mu m$ の場合の方が成長マスク14に近い部分の六角錐状の尖塔形状の n 型 GaN 層15の傾斜角がより大きくなっていることが分かる。

【0049】

この第1の実施形態によれば、次のような多くの利点を得ることができる。

10

図10に示すように、 n 型 GaN 層15の成長時にはその内部に転位20や積層欠陥21が発生し、それらが活性層16を横切る所もあるが、少なくとも n 型 GaN 層15の頂点に近い部分では転位20や積層欠陥21が消滅している。そこで、この第1の実施形態においては、 p 側電極18と n 側電極19との間に駆動電流を流した時、駆動電流が n 型 GaN 層15などの欠陥領域を流れないように p 側電極12の大きさを決めている。このため、発光効率が極めて高く、信頼性にも優れた GaN 系発光ダイオードを得ることができる。

【0050】

また、この第1の実施形態においては、サファイア基板11の主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面（結晶面 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 ）からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する六角錐状の尖塔形状の n 型 GaN 層15を成長させ、その上に活性層16および p 型 GaN 層17を成長させていることにより、 p 型 GaN 層17も n 型 GaN 層15と同様の傾斜結晶面を有する。このため、 p 側電極18と n 側電極19との間に駆動電流を流した時に活性層16から生じる光のうち p 型 GaN 層17側に進む光は、この p 型 GaN 層17の外表面で反射されてサファイア基板11側に進む。一方、活性層16から生じる光のうち n 型 GaN 層15の内部に進む光はそのままサファイア基板11側に進む。この結果、活性層16から生じる光をサファイア基板11を通して効率良く外部に取り出すことができ、高い発光効率を得ることができる。

20

【0051】

さらに、この第1の実施形態による GaN 系発光ダイオードは、図21に示す従来の GaN 系発光ダイオードに比べて、素子1個当たりの占有面積を極めて小さくすることができる。例えば、従来の GaN 系発光ダイオードの六角錐状の発光素子構造の大きさは $20 \mu m$ 程度であるのに対し、この第1の実施形態による GaN 系発光ダイオードの六角錐状の尖塔形状の発光素子構造の大きさは $10 \mu m$ 程度と極めて小さい。

30

【0052】

また、 p 側電極18として、反射率の高い Ag 膜を含む $Ni/Ag/Au$ 構造のものをを用いているため、この p 側電極18が形成された、六角錐状の尖塔形状の p 型 GaN 層17の上部での反射率を高くすることができ、それによって光の取り出し効率をさらに高くすることができ、発光効率をさらに高くすることができる。

【0053】

さらに、この第1の実施形態によれば、光の取り出し方向を基板面に対して垂直に近くすることができる。すなわち通常、面上の発光素子からの発光の分布はランバertian（Lambertian）といい、完全拡散面ともいう。このような時、発光はどの方向から見ても等方的であるが、ブラックマスクなどを設けるとその方向にも光が行くので、前方に光を取り出したい時はレンズを必要とするが、この第1の実施形態によれば、成長のみで光の取り出し方向を調整することができる。

40

【0054】

次に、この発明の第2の実施形態による GaN 系発光ダイオードについて説明する。

この第2の実施形態においては、第1の実施形態と同様に工程を進めて p 型 GaN 層17まで成長させた後、この p 型 GaN 層17上に p 側電極18を形成する。次に、サファイ

50

ア基板 11 の裏面側から例えばエキシマーレーザなどによるレーザビームを照射することにより、サファイア基板 11 から、 n 型 GaN 層 12 から上の部分を剥離する。次に、このようにして剥離された n 型 GaN 層 12 の裏面をエッチングなどにより平坦化した後、図 12 に示すように、 n 型 GaN 層 12 の裏面に n 側電極 19 を形成する。この n 側電極 19 は例えば ITO などからなる透明電極としてもよく、この場合は六角錐状の尖塔形状の部分に対応する部分を含む n 型 GaN 層 12 の裏面の広い面積にわたって n 側電極 19 を形成することができる。また、この n 側電極 19 を $Ti/Pt/Au$ 構造の金属積層膜により形成する場合には、 n 型 GaN 層 12 を通して外部に光が放射されるようにするため、図 13 に示すように、六角錐状の尖塔形状の n 型 GaN 層 15 に対応する部分における n 側電極 19 に開口部 19a を設ける。

10

この第 2 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0055】

次に、この発明の第 3 の実施形態による画像表示装置について説明する。この画像表示装置を図 14 に示す。

図 14 に示すように、この画像表示装置においては、サファイア基板 11 の面内の互いに直交する x 方向および y 方向に GaN 系発光ダイオードが規則的に配列され、 GaN 系発光ダイオードの二次元アレイが形成されている。各 GaN 系発光ダイオードの構造は、例えば第 1 の実施形態と同様である。

y 方向には、赤色 (R) 発光用の GaN 系発光ダイオード、緑色 (G) 発光用の GaN 系発光ダイオードおよび青色 (B) 発光用の GaN 系発光ダイオードが隣接して配列され、これらの 3 つの GaN 系発光ダイオードにより 1 画素が形成されている。 x 方向に配列された赤色発光用の GaN 系発光ダイオードの p 側電極 18 同士は配線 22 により互いに接続され、同様に、 x 方向に配列された緑色発光用の GaN 系発光ダイオードの p 側電極 18 同士は配線 23 により互いに接続され、 x 方向に配列された青色発光用の GaN 系発光ダイオードの p 側電極 18 同士は配線 24 により互いに接続されている。一方、 n 側電極 19 は y 方向に延在しており、 y 方向に配列された GaN 系発光ダイオードの共通電極となっている。

20

【0056】

このように構成された単純マトリクス方式の画像表示装置においては、表示すべき画像の信号に応じて配線 22 ~ 24 と n 側電極 19 とを選択し、選択された画素の選択された GaN 系発光ダイオードに電流を流して駆動し、発光を起こさせることにより、画像を表示することができる。

30

この第 3 の実施形態によれば、各 GaN 系発光ダイオードが第 1 の実施形態による GaN 系発光ダイオードと同様な構成を有することにより発光効率が高いため、高輝度のフルカラー画像表示装置を実現することができる。

【0057】

次に、この発明の第 4 の実施形態による照明装置について説明する。この照明装置は図 14 に示す画像表示装置と同様な構成を有する。

この照明装置においては、照明光の色に応じて配線 22 ~ 24 と n 側電極 19 とを選択し、選択された画素の選択された GaN 系発光ダイオードに電流を流して駆動し、発光を起こさせることにより、照明光を発生させることができる。

40

この第 4 の実施形態によれば、各 GaN 系発光ダイオードが第 1 の実施形態による GaN 系発光ダイオードと同様な構成を有することにより発光効率が高いため、高輝度の照明装置を実現することができる。

【0058】

次に、この発明の第 5 の実施形態による GaN 系発光ダイオードについて説明する。この GaN 系発光ダイオードを図 15 に示す。

この第 5 の実施形態においては、第 1 の実施形態と同様にして GaN 系発光ダイオードを製造するが、成長マスク 14 の開口部 13 の大きさ $D = 10 \mu m$ 、ピッチ $P = 28 \mu m$ とすることが第 1 の実施形態と異なる。この場合、発光素子構造の大きさ $W = 13 \mu m$ であ

50

る。

【0059】

この第5の実施形態によれば、成長マスク14の開口部13の大きさDが $10\mu\text{m}$ と比較的大きいことにより、n型GaN層15の選択成長時に転位20や積層欠陥21が発生する領域が小さくなり、これらの結晶欠陥が発光に及ぼす影響を小さくすることができる。これにより、発光効率が高く、信頼性にも優れたGaN系発光ダイオードを得ることができる。発光出力としては、例えば、駆動電流 $200\mu\text{A}$ の時に $25\mu\text{W}$ を得ることができる。これに加えて、第1の実施形態と同様な他の利点を得ることもできる。

【0060】

次に、この発明の第6の実施形態によるGaN系発光ダイオードについて説明する。このGaN系発光ダイオードを図16に示す。 10

この第6の実施形態においては、第1の実施形態と同様にして開口部13を有する成長マスク14を形成するが、第1の実施形態と異なり、開口部13の大きさ $D = 10\mu\text{m}$ 、ピッチ $P = 28\mu\text{m}$ とする。次に、この成長マスク14を用いてn型GaN層15を選択成長させる。この時の成長温度は例えば 1020 とし、成長速度をプレーナ成長換算で $4\mu\text{m/h}$ にする。この選択成長の際には、n型GaN層12との界面近傍における成長を穏やかにするため、成長温度を 1020 よりも低くし、成長速度を低くして成長させるようにしてもよいが、n型GaN層12との界面近傍の部分を除く大部分の成長は成長温度を 1020 とし、成長速度をプレーナ成長換算で $4\mu\text{m/h}$ に設定して行う。この後、成長速度を $0.5\mu\text{m/h}$ 程度に落として成長を行う。これによって、図16に示すように、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する尖塔形状のn型GaN層15が成長する。この場合、この傾斜結晶面は、このn型GaN層15の下部の側面に形成される、M面またはそれより傾斜角が少し小さい結晶面と、このn型GaN層15の上部の側面に形成されるS面とからなる。 20

この後、第1の実施形態と同様にして工程を進め、図16に示すGaN系発光ダイオードを製造する。この場合、発光素子構造の大きさ $W = 13\mu\text{m}$ である。

この第6の実施形態によれば、第1の実施形態および第2の実施形態と同様な利点を得ることができる。発光出力としては、例えば、駆動電流 $200\mu\text{A}$ の時に $25\mu\text{W}$ を得ることができる。

【0061】

次に、この発明の第7の実施形態によるGaN系発光ダイオードについて説明する。このGaN系発光ダイオードを図17に示す。 30

この第7の実施形態においては、第1の実施形態と同様にして開口部13を有する成長マスク14を形成するが、開口部13の大きさ $D = 10\mu\text{m}$ 、ピッチ $P = 28\mu\text{m}$ とする。次に、第1の実施形態と同様にして、この成長マスク14を用いてn型GaN層15を選択成長させ、さらにその上に活性層16およびp型GaN層17を成長させるが、ここではこの活性層16を障壁層16a、井戸層16b、障壁層16c、井戸層16dおよび障壁層16eからなるMQW構造とする。これらの障壁層16a、井戸層16b、障壁層16c、井戸層16dおよび障壁層16eは、例えばInGaN層により構成する。この場合、発光素子構造の大きさ $W = 13\mu\text{m}$ である。 40

【0062】

この後、第1の実施形態と同様にして工程を進め、図17に示すGaN系発光ダイオードを製造する。

この第7の実施形態によれば、第1の実施形態および第2の実施形態と同様な利点を得ることができる。発光出力としては、例えば、駆動電流 $200\mu\text{A}$ の時に $80\mu\text{W}$ を得ることができる。

【0063】

次に、この発明の第8の実施形態によるGaN系発光ダイオードについて説明する。このGaN系発光ダイオードを図18に示す。

この第8の実施形態においては、第1の実施形態と同様にして開口部13を有する成長マ 50

スク 14 を形成するが、第 1 の実施形態と異なり、開口部 13 の大きさ $D = 10 \mu\text{m}$ 、ピッチ $P = 28 \mu\text{m}$ とする。次に、この成長マスク 14 を用いて n 型 GaN 層 15 を選択成長させる。この時の成長温度は例えば 940°C とし、成長速度をプレーナ成長換算で $11.0 \sim 11.3 \mu\text{m/h}$ という非常に速い成長速度にする。この選択成長の際には、n 型 GaN 層 12 との界面近傍における成長を穏やかにするため、成長温度を 940°C よりも低くし、成長速度を低くして成長させるようにしてもよいが、n 型 GaN 層 12 との界面近傍の部分を除く大部分の成長は成長温度を 940°C とし、成長速度をプレーナ成長換算で $11.0 \sim 11.3 \mu\text{m/h}$ という非常に速い成長速度に設定して行う。この後、成長速度を $0.5 \mu\text{m/h}$ 程度に落として成長を行う。これによって、図 18 に示すように、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有し、頂点部分の上面が C 面または C 面類似の結晶面からなる六角錐台状の尖塔形状の n 型 GaN 層 15 が成長する。次に、この n 型 GaN 層 15 の頂点部分に例えば 940°C の成長温度でアンドープ GaN 層 22 を例えば $11.0 \sim 11.3 \mu\text{m/h}$ の成長速度で六角錐が閉じるように例えば厚さ 100 nm 程度成長させる。このアンドープ GaN 層 22 は電流素子領域となる。

10

【0064】

この後、第 1 の実施形態と同様にして工程を進め、図 18 に示す GaN 系発光ダイオードを製造する。この場合、発光素子構造の大きさ $W = 13 \mu\text{m}$ である。この第 1 の実施形態によれば、第 1 の実施形態および第 2 の実施形態と同様な利点を得ることができる。この場合特に、アンドープ GaN 層 22 が電流素子領域となることにより、駆動電流が結晶性の悪い部分を通るのを避けることができるため、発光効率のより一層の向上を図ることができる。発光出力としては、例えば、駆動電流 $200 \mu\text{A}$ の時に $80 \mu\text{W}$ を得ることができる。

20

【0065】

次に、この発明の第 9 の実施形態による GaN 系発光ダイオードについて説明する。この GaN 系発光ダイオードを図 19 に示す。

この第 9 の実施形態においては、第 1 の実施形態と同様にして開口部 13 を有する成長マスク 14 を形成するが、第 1 の実施形態と異なり、開口部 13 の形状を一つの最大寸法方向に延びた細長い六角形とし、その最大寸法を例えば $30 \mu\text{m}$ 、この最大寸法方向に垂直な方向の最小寸法を例えば $10 \mu\text{m}$ とする。開口部 13 のピッチ P は例えば $28 \mu\text{m}$ とする。次に、この成長マスク 14 を用いて n 型 GaN 層 15 を選択成長させる。この時の成長温度は例えば 940°C とし、成長速度をプレーナ成長換算で $11.0 \sim 11.3 \mu\text{m/h}$ という非常に速い成長速度にする。この選択成長の際には、n 型 GaN 層 12 との界面近傍における成長を穏やかにするため、成長温度を 940°C よりも低くし、成長速度を低くして成長させるようにしてもよいが、n 型 GaN 層 12 との界面近傍の部分を除く大部分の成長は成長温度を 940°C とし、成長速度をプレーナ成長換算で $11.0 \sim 11.3 \mu\text{m/h}$ という非常に速い成長速度に設定して行う。これによって、図 19 に示すように、成長マスク 14 の開口部 13 の最小寸法方向に沿った断面で見たとき、この断面に垂直な方向に広がり、全体として凸面をなす傾斜結晶面を有する尖塔形状の n 型 GaN 層 15 が成長する。

30

【0066】

この後、第 1 の実施形態と同様にして工程を進め、図 19 に示す GaN 系発光ダイオードを製造する。この場合、発光素子構造の大きさ $W = 13 \mu\text{m}$ である。この第 9 の実施形態によれば、第 1 の実施形態および第 2 の実施形態と同様な利点を得ることができる。発光出力としては、例えば、駆動電流 $200 \mu\text{A}$ の時に $25 \mu\text{W}$ を得ることができる。

40

【0067】

次に、この発明の第 10 の実施形態による GaN 系発光ダイオードについて説明する。この GaN 系発光ダイオードを図 20 に示す。

この第 10 の実施形態においては、第 1 の実施形態と同様にして開口部 13 を有する成長マスク 14 を形成するが、第 1 の実施形態と異なり、開口部 13 の大きさ $D = 10 \mu\text{m}$ 、ピッチ $P = 28 \mu\text{m}$ とする。次に、この成長マスク 14 を用いて n 型 GaN 層 15 を選択

50

成長させる。この時の成長温度は例えば 940 とし、成長速度をプレーナ成長換算で $11.0 \sim 11.3 \mu\text{m/h}$ という非常に速い成長速度にする。この選択成長の際には、n 型 GaN 層 12 との界面近傍における成長を穏やかにするため、成長温度を 940 よりも低くし、成長速度を低くして成長させるようにしてもよいが、n 型 GaN 層 12 との界面近傍の部分を除く大部分の成長は成長温度を 940 とし、成長速度をプレーナ成長換算で $11.0 \sim 11.3 \mu\text{m/h}$ という非常に速い成長速度に設定して行う。

【0068】

次に、成長マスク 14 を例えばフッ酸系のエッチング液を用いたウエットエッチング、または、 CF_4 や CHF_3 などのフッ素を含むエッチングガスを用いた RIE 法によりエッチング除去する。

10

次に、n 型 GaN 層 15 上に例えば 960 の成長温度で例えば $1 \mu\text{m}$ 程度の厚さに n 型 GaN 層 (図示せず) を成長させた後、引き続いてその清浄な表面上に活性層 16 および p 型 GaN 層 17 を成長させる。この場合、発光素子構造の大きさ $W = 13 \mu\text{m}$ である。次に、第 1 の実施形態と同様にして工程を進め、p 側電極 18 まで形成する。

【0069】

次に、リソグラフィーにより、n 側電極形成領域を除いた領域の p 型 GaN 層 17 の表面を覆うレジストパターン (図示せず) を形成した後、このレジストパターンをマスクとして例えば RIE 法により p 型 GaN 層 17 および活性層 16 をエッチングして開口部を形成し、この開口部に n 型 GaN 層 12 を露出させる。この後、レジストパターンを除去する。次に、基板全面に例えば真空蒸着法により Ti 膜、Pt 膜および Au 膜を順次形成した後、その上にリソグラフィーにより所定形状のレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとして Ti 膜、Pt 膜および Au 膜をエッチングする。これによって、p 型 GaN 層 17 および活性層 16 に形成された開口部を通じて n 型 GaN 層 12 にコンタクトした Ti / Pt / Au 構造の n 側電極 19 が形成される。

20

【0070】

この第 10 の実施形態によれば、第 1 の実施形態および第 2 の実施形態と同様な利点を得ることができる。発光出力としては、例えば、駆動電流 $200 \mu\text{A}$ の時に $25 \mu\text{W}$ を得ることができる。

【0071】

これに加えて、この第 10 の実施形態によれば、次のような利点を得ることもできる。すなわち、すでに述べた従来の GaN 系発光ダイオードでは、酸化シリコン (SiO_2) や窒化シリコン (SiN) からなる成長マスクの開口部における n 型 GaN 層上に基板の主面に対して傾斜した傾斜結晶面を有する六角錐形状の n 型 GaN 層を選択成長し、成長マスクを残したままその傾斜結晶面上に活性層や p 型 GaN 層などを成長させるところ、n 型 GaN 層の選択成長やその後の p 型 GaN 層の成長は 900 以上の高温で行われるため、この成長時に成長マスクの表面からシリコン (Si) や酸素 (O) が脱離し、これがその付近の成長層に取り込まれるという現象が起こる。この現象が及ぼす影響は p 型 GaN 層の成長時に特に顕著であり、GaN に対して n 型不純物として働く Si が、p 型 GaN 層の成長時に成長層に取り込まれると、p 型になりにくく、p 型になったとしても、正孔濃度、移動度ともに激減することが明らかとなり、これが発光ダイオードの発光効率の向上を阻害する原因であることが判明した。さらに、この成長マスクの開口部を形成する際にはフォトリソグラフィー工程を必要とするが、その際にはレジストをマスク面に密着させて部分的に除去する工程が必要である。ところが、この除去時には、レジストが成長マスクの微小な間隙に残りやすく、その除去は極めて難しい。このため、後の高温成長時に、この残存レジストが不純物源となって p 型 GaN 層などの特性を悪化させることもある。これに対し、この第 10 の実施形態においては、活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の成長前に成長マスク 14 をエッチング除去しているため、活性層 16 および p 型 GaN 層 17 の成長時に成長マスク 14 は存在せず、p 型 GaN 層 17 の成長時に成長マスク 14 から Si が脱離して成長層に取り込まれる問題が本質的に存在しない。また、レジストによる汚染の問題も本質的に存在しない。このため、十分に Mg がドーブされた低比抵抗

30

40

50

抗のp型Ga_{0.9}N層17を得ることができ、ひいてはGa_{0.9}N系発光ダイオードの発光効率のさらなる向上を図ることができる。

【0072】

以上、この発明の実施形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

例えば、上述の第1～第10の実施形態において挙げた数値、材料、構造、形状、基板、原料、プロセスなどはあくまでも例に過ぎず、必要に応じて、これらと異なる数値、材料、構造、形状、基板、原料、プロセスなどを用いてもよい。

【0073】

具体的には、例えば、上述の第1～第10の実施形態において、活性層16の特性を向上させるために、その近傍に光閉じ込め特性に優れたAlGa_{0.3}N層を設けたり、In組成の小さいInGa_{0.5}N層などを設けてもよい。また、必要に応じて、いわゆるボウイング(bowling)によるバンドギャップの縮小効果を得るために、InGa_{0.5}NにAlを加えてAlGaInNとしてもよい。さらに、必要に応じて、活性層16とn型Ga_{0.9}N層12との間や活性層16とp型Ga_{0.9}N層17との間に光導波層を設けてもよい。

10

【0074】

また、上述の第1～第10の実施形態においては、サファイア基板を用いているが、必要に応じて、すでに述べたSiC基板、Si基板などの他の基板を用いてもよい。更に、ELO(Epitaxial Lateral Overgrowth)やペンデオなどの横方向結晶成長技術を利用して得られる低転位密度のGa_{0.9}N基板を用いてもよい。

20

【0075】

さらに、上述の第1～第10の実施形態において、p型Ga_{0.9}N層17とp側電極18との間に、活性層16で発生した光の侵入長以下の厚さを有し、Ni、Pd、Co、Sbなどからなるコンタクト金属層を形成してもよい。このようにすることにより、コンタクト金属層による反射増強効果で、Ga_{0.9}N系発光ダイオードの発光効率のより一層の向上を図ることができる。

【0076】

また、上述の第3および第4の実施形態においては、サファイア基板11上に複数のGa_{0.9}N系発光ダイオードがモノリシックに形成されているが、サファイア基板11上に複数のGa_{0.9}N系発光ダイオードをモノリシックに形成した後、これらのGa_{0.9}N系発光ダイオードを個々に分離し、これらを上述の第3および第4の実施形態と同じ配置で他の基台上にマウントし、さらにこれらの間を上述と同様に配線するようにしてもよい。

30

【0077】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、一主面に、この主面に対して傾斜しかつ互いに傾斜角が異なる複数の結晶面からなり、全体として凸面をなす傾斜結晶面、あるいは、この主面に対して傾斜し、全体としてほぼ凸面をなす傾斜結晶面を有する凸形状の結晶部を有する第1導電型の半導体層の少なくともその傾斜結晶面上に少なくとも活性層および第2導電型の半導体層を順次積層して発光素子構造を形成することから、発光効率が極めて高く、素子1個当たりの占有面積も小さい半導体発光素子、集積型半導体発光装置、画像表示装置および照明装置を得ることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施形態によるGa_{0.9}N系発光ダイオードの製造方法を説明するための平面図および断面図である。

【図2】この発明の第1の実施形態によるGa_{0.9}N系発光ダイオードの製造方法を説明するための平面図および断面図である。

【図3】この発明の第1の実施形態によるGa_{0.9}N系発光ダイオードの製造方法を説明するための平面図および断面図である。

【図4】この発明の第1の実施形態によるGa_{0.9}N系発光ダイオードの製造方法を説明するための平面図および断面図である。

50

【図 5】この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法において成長マスクにアレイ状に形成する開口部を示す平面図である。

【図 6】この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法において発光素子構造を形成した直後の G a N 加工基板の表面の状態を示す図面代用写真である。

【図 7】この発明の第 1 の実施形態との比較例による G a N 系発光ダイオードの製造方法において発光素子構造を形成した直後の G a N 加工基板の表面の状態を示す図面代用写真である。

【図 8】この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法において発光素子構造を形成した直後の G a N 加工基板の表面の状態を示す図面代用写真である。

【図 9】この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法において発光素子構造を形成した直後の G a N 加工基板の表面の状態を示す図面代用写真である。 10

【図 10】この発明の第 1 の実施形態による G a N 系発光ダイオードの製造方法において発光素子構造を形成する G a N 系半導体層の成長時に導入される結晶欠陥の分布を示す断面図である。

【図 11】この発明の第 1 の実施形態により製造された G a N 系発光ダイオードからの発光の様子を示す断面図である。

【図 12】この発明の第 2 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す断面図である。

【図 13】この発明の第 2 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを n 側電極から見た斜視図である。 20

【図 14】この発明の第 3 の実施形態による画像表示装置を示す斜視図である。

【図 15】この発明の第 5 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す平面図および断面図である。

【図 16】この発明の第 6 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す平面図および断面図である。

【図 17】この発明の第 7 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す平面図および断面図である。

【図 18】この発明の第 8 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す平面図および断面図である。

【図 19】この発明の第 9 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す平面図および断面図である。 30

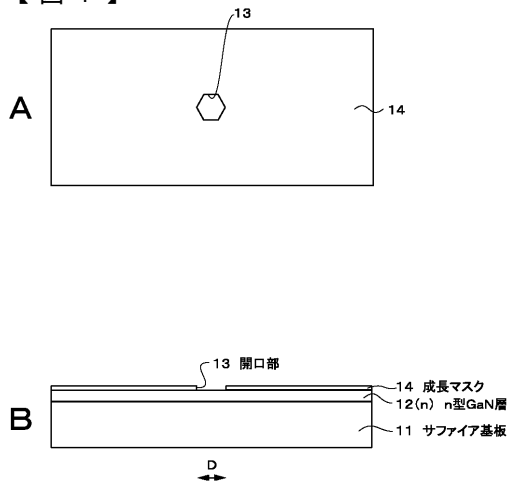
【図 20】この発明の第 10 の実施形態による G a N 系発光ダイオードを示す平面図および断面図である。

【図 21】従来の G a N 系発光ダイオードを示す平面図および断面図である。

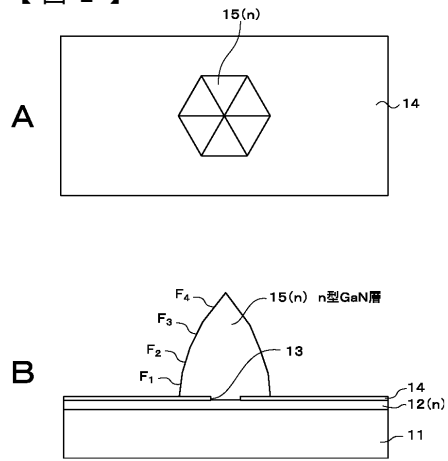
【符号の説明】

1 1 ... サファイア基板、1 2 ... n 型 G a N 層、1 3 ... 開口部、1 4 ... 成長マスク、1 5 ... 活性層、1 5 ... n 型 G a N 層、1 6 ... p 型 G a N 層、1 7 ... 開口部、1 8 ... p 側電極、1 9 ... n 側電極、2 0 ... 転位、2 1 ... 積層欠陥、2 2、2 3、2 4 ... 配線

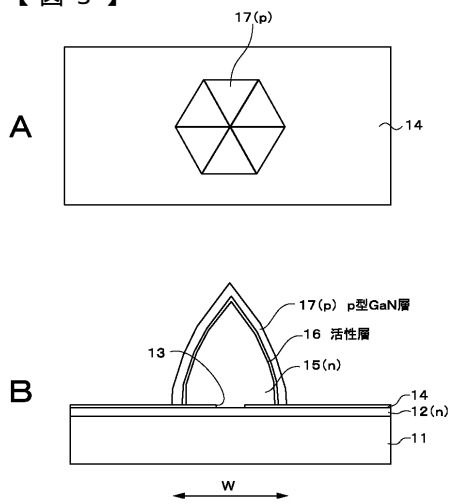
【図 1】



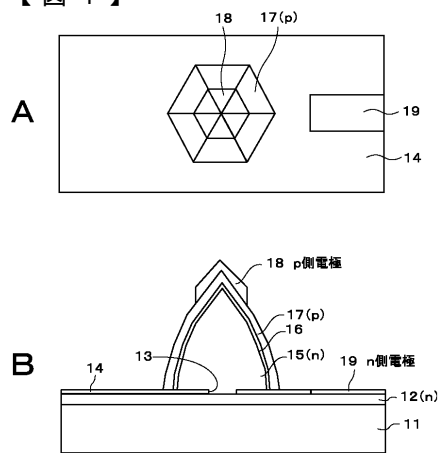
【図 2】



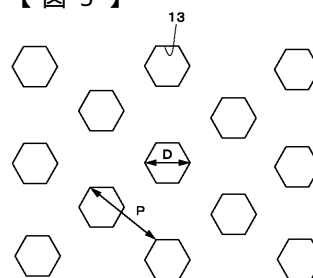
【図 3】



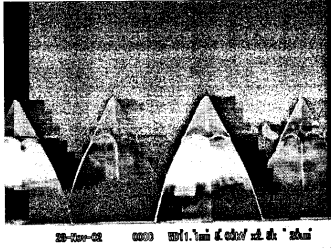
【図 4】



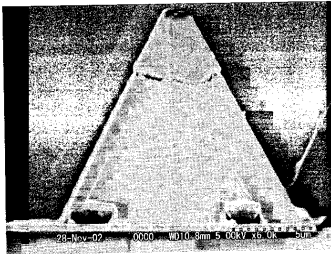
【図 5】



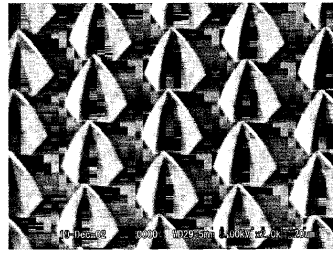
【図 6】



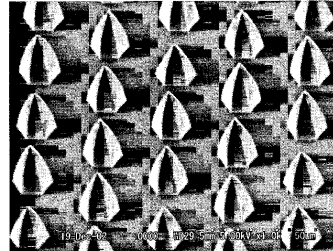
【図 7】



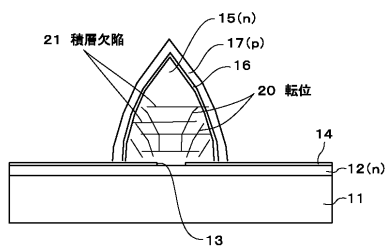
【図 8】



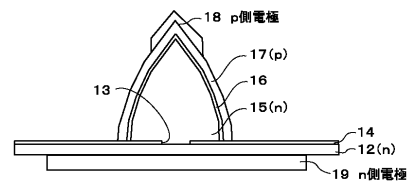
【図 9】



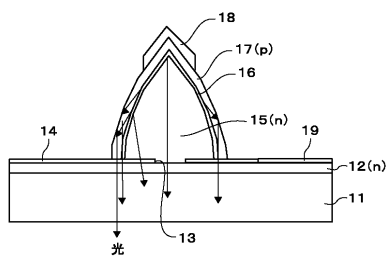
【図 10】



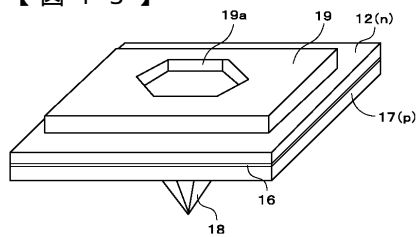
【図 12】



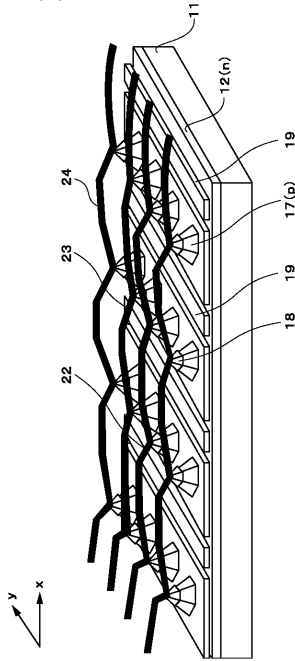
【図 11】



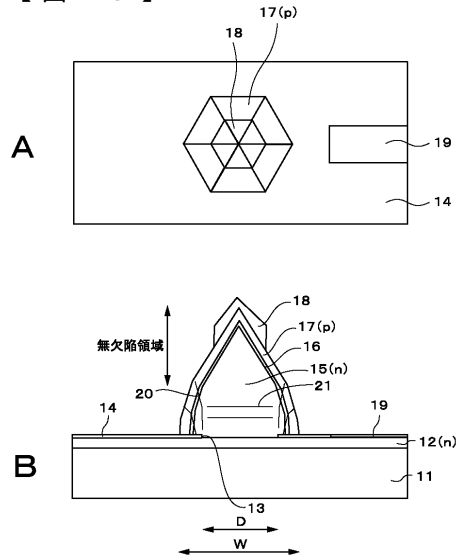
【図 13】



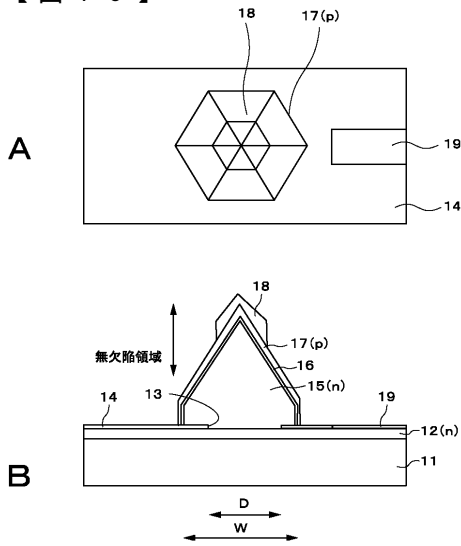
【図 14】



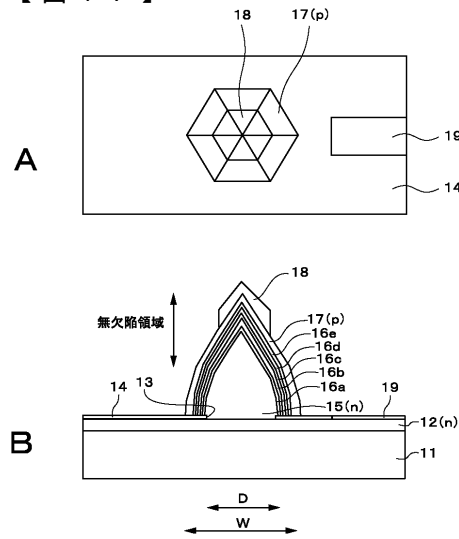
【図 15】



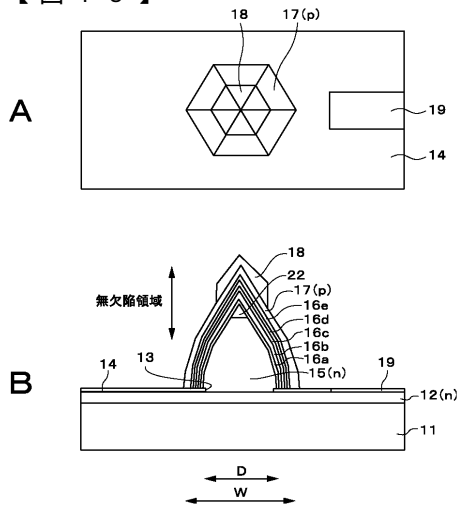
【図 16】



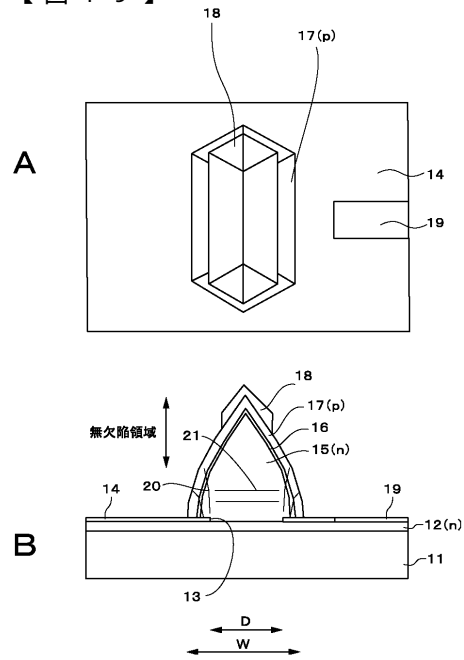
【図 17】



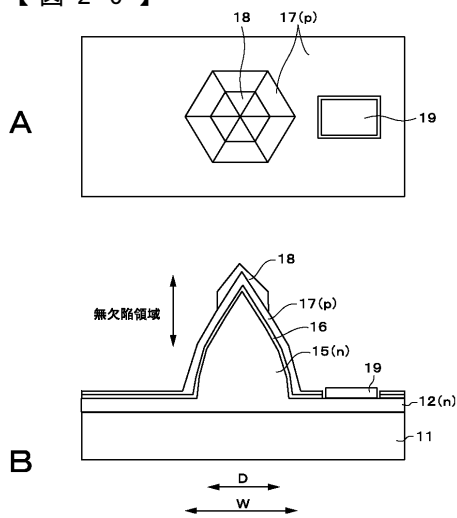
【図 18】



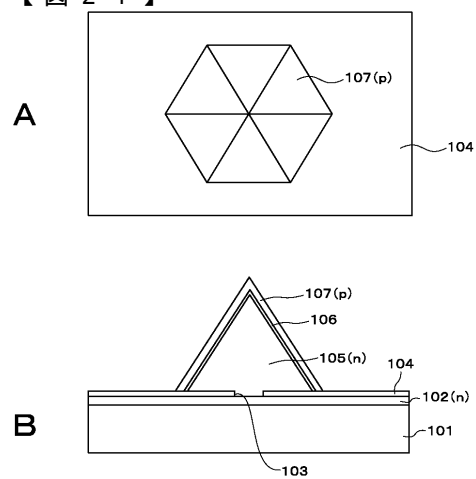
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(72)発明者 琵琶 剛志
東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社内

(72)発明者 鈴木 淳
東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社内

(72)発明者 大畑 豊治
東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社内

F ターム(参考) 4K030 BA55 BA56 BB02 BB12 LA11 LA14
4M104 AA04 BB05 BB15 CC01 DD16 DD17 DD63 EE12 FF01 FF02
FF13 FF17 FF26 GG04 HH20
5F041 CA23 CA34 CA40 CA46 CA65 CA74 CB22 FF06 FF11