(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2004-311973
(P2004-311973A)
(43)公開日　平成16年11月4日(2004.11.4)

(51)Int.Cl.[7]	F I		テーマコード（参考）
H01L 33/00	H01L 33/00	C	3K014
F21S 8/04	F21V 5/04	D	5F041
F21V 5/04	F21V 29/00	A	
F21V 7/00	F21S 1/02	G	
F21V 29/00	F21V 7/02		

審査請求 未請求　請求項の数 19　ＯＬ　（全 22 頁）　最終頁に続く

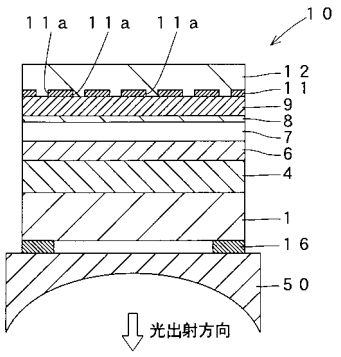
(21)出願番号　特願2004-76413(P2004-76413)
(22)出願日　平成16年3月17日(2004.3.17)
(31)優先権主張番号　特願2003-88487(P2003-88487)
(32)優先日　平成15年3月27日(2003.3.27)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(71)出願人　000001889
三洋電機株式会社
大阪府守口市京阪本通２丁目５番５号
(74)代理人　100104433
弁理士　宮園　博一
(72)発明者　庄野　昌幸
大阪府守口市京阪本通２丁目５番５号　三洋電機株式会社内
(72)発明者　畑　雅幸
大阪府守口市京阪本通２丁目５番５号　三洋電機株式会社内

Ｆターム(参考)　3K014 LA01 LB04
5F041 AA03 AA07 AA33 CA04 CA05 CA14 CA40 CA74 CA99 CB22 DB08 EE17 FF11

(54)【発明の名称】発光素子および照明装置

(57)【要約】
【課題】光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を得ることが可能な発光素子を提供する。
【解決手段】この発光素子１０は、多重量子井戸（MQW）発光層７を含む発光ダイオードと、発光ダイオードのｐ型クラッド層９上に形成され、６回対称に配列している円形の貫通孔１１ａを有するｐ型コンタクト層１１およびｐ型コンタクト層１１の貫通孔１１ａを埋め込むｐ側電極１２からなる面内方向に周期的に誘電率が変調されたフォトニック結晶と、ＧａＮ基板１の裏面上のｎ側電極１６を介して形成された発光ダイオードからの光を拡散する手段としての平凹レンズ５０とを備えている。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
発光ダイオードと、
前記発光ダイオードの光の出射面と実質的に平行な面上に形成され、前記光の出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分と、
前記発光ダイオードの光の出射面側に設けられ、前記発光ダイオードから出射される光を拡散する手段とを備えた、発光素子。
【請求項２】
前記周期的に誘電率が変調された部分は、誘電率の異なる材料を周期的に配置することにより構成されている、請求項１に記載の発光素子。
【請求項３】
前記周期的に誘電率が変調された部分は、フォトニック結晶からなる、請求項１または２に記載の発光素子。
【請求項４】
前記出射光を拡散する手段は、導電性を有する、請求項１～３のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項５】
前記出射光を拡散する手段は、レンズを含む、請求項１～４のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項６】
前記出射光を拡散する手段は、凹レンズを含む、請求項５に記載の発光素子。
【請求項７】
前記凹レンズは、平坦な第１の面と凹状の第２の面とを有する平凹レンズを含む、請求項６に記載の発光素子。
【請求項８】
前記光の出射面と前記出射光を拡散する手段との間に設けられた蛍光体をさらに備える、請求項１～７のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項９】
前記出射光を拡散する手段は、凸面鏡を含む、請求項１～４のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項１０】
前記出射光を拡散する手段は、実質的に透明な微粒子からなる光拡散剤が分散された透光性の部材を含む、請求項１～４のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項１１】
前記出射光を拡散する手段は、表面および裏面の少なくとも一方に微細な凹凸形状を有する透光性の部材を含む、請求項１～４のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項１２】
前記発光ダイオードは、発光層を含み、
前記発光層は、窒化物系半導体からなる、請求項１～１１のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項１３】
前記発光ダイオードは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されている、請求項１～１２のいずれか１項に記載の発光素子。
【請求項１４】
前記出射光を拡散する手段は、レンズを含み、
前記レンズは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されている、請求項１３に記載の発光素子。
【請求項１５】
発光ダイオードと、
前記発光ダイオードの光の出射面と実質的に平行な面上に形成され、前記光の出射面と

実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分と、
前記発光ダイオードの光の出射面側に設けられ、前記発光ダイオードから出射される光を拡散する手段と、を含む発光素子を備えた、照明装置。
【請求項１６】
前記発光素子から所定の間隔を隔てて配置され、前記発光素子から出射される光を白色の光に変換するための白色光用蛍光体をさらに備える、請求項１５に記載の照明装置。
【請求項１７】
前記白色光用蛍光体は、複数の色の蛍光体材料を混合することにより形成されている、請求項１６に記載の照明装置。
【請求項１８】
前記発光素子を構成する前記発光ダイオードは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されている、請求項１５～１７のいずれか１項に記載の照明装置。
【請求項１９】
前記出射光を拡散する手段は、レンズを含み、
前記レンズは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されている、請求項１８に記載の照明装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、発光素子および照明装置に関し、特に、発光ダイオードを含む発光素子およびその発光素子を用いた照明装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、発光ダイオードの出射面上にフォトニック結晶を取り付けることにより、発光ダイオードからの出射光の取り出し効率を向上させることが可能な発光ダイオードが知られている（例えば、非特許文献１、２参照）。
【０００３】
図１３は、従来のフォトニック結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオードの構造を説明するための断面図である。図１３を参照して、従来のフォトニック結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオードの構造について説明する。
【０００４】
従来のフォトニック結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオードでは、図１３に示すように、ｎ型ＧａＡｓ基板２０１上に、ｎ型ＡｌＧａＡｓからなるｎ型クラッド層２０２、ｐ型ＧａＡｓからなる発光層２０３、および、ｐ型ＡｌＧａＡｓからなるｐ型クラッド層２０４が順次積層されている。これにより、ダブルヘテロ構造を有する発光ダイオードが形成されている。また、ｐ型クラッド層２０４の上面には、所定の幅と深さとを有するとともに、周期的に配列するストライプ形状（細長形状）の凹凸形状が形成されている。さらに、上記凹凸形状を有するｐ型クラッド層２０４の上面上に、Ａｇからなる金属層２０５が形成されている。
【０００５】
従来の発光ダイオードでは、上記したように、ｐ型クラッド層２０４の上面を、所定の幅と深さとを有するとともに周期的に配列するストライプ形状の凹凸形状に形成するとともに、その凹凸形状の上面上に、金属層２０５を形成することにより、ｐ型クラッド層２０４および金属層２０５の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分が構成される。これにより、ｐ型クラッド層２０４を、フォトニック結晶としても機能させることができる。その結果、発光ダイオードからの出射光は、出射面に垂直な方向に出射されるとともに、出射光の取り出し効率を向上させることができる。
【非特許文献１】“Ｈｉｇｈｌｙ ｄｉｒｅｃｔｉｖｅ ｌｉｇｈｔ ｓｏｕｒｃｅｓ ｕｓｉｎｇ ｔｗｏ－ｄｉｍｅｎｓｉｏｎａｌ ｐｈｏｔｏｎｉｃ ｃｒｙｓｔａｌ ｓｌａｂｓ”，Ａｐｐｌｉｅｄ Ｐｈｙｓｉｃｓ Ｌｅｔｔｅｒｓ，２００１年１２月，第

７９巻，第２６号，ｐｐ．４２８０－４２８２
【非特許文献２】“Ｓｔｒｏｎｇｌｙ ｄｉｒｅｃｔｉｏｎａｌ ｅｍｉｓｓｉｏｎ ｆｒｏｍ ＡｌＧａＡｓ／ＧａＡｓ ｌｉｇｈｔ－ｅｍｉｔｔｉｎｇ ｄｉｏｄｅｓ”，Ａｐｐｌｉｅｄ Ｐｈｙｓｉｃｓ Ｌｅｔｔｅｒｓ，１９９０年１１月，第５７巻，第２２号，ｐｐ．２３２７－２３２９

【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
しかしながら、上記した従来のフォトニック結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオードからの出射光は、出射面に垂直な方向に出射されるので、室内の照明などに適した拡散光を得ることが困難であるという不都合があった。このため、従来のフォトニック結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオードでは、照明用として用いるのが困難であるという問題点があった。
【０００７】
この発明の１つの目的は、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を得ることが可能な発光素子を提供することである。
【０００８】
この発明のもう１つの目的は、光取り出し効率が高い照明装置を提供することである。
【課題を解決するための手段および発明の効果】
【０００９】
上記目的を達成するために、この発明の第１の局面による発光素子は、発光ダイオードと、発光ダイオードの光の出射面と実質的に平行な面上に形成され、光の出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分と、発光ダイオードの光の出射面側に設けられ、発光ダイオードから出射される光を拡散する手段とを備えている。
【００１０】
この第１の局面による発光素子では、上記のように、発光ダイオードの光の出射面と実質的に平行な面上に、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分を形成することによって、発光素子からの発光を光の出射面に対して垂直な光に平行化することができるので、発光ダイオードからの光取り出し効率を向上させることができる。また、発光ダイオードの光の出射面側に発光ダイオードからの出射光を拡散する手段を設けることによって、発光素子から出射される平行光を種々の方向に拡散することができるので、拡散光を出射することができる。これにより、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することが可能な発光素子を得ることができる。
【００１１】
上記第１の局面による発光素子において、周期的に誘電率が変調された部分は、誘電率の異なる材料を周期的に配置することにより構成されていてもよく、周期的に誘電率が変調された部分は、フォトニック結晶からなっていてもよい。このように構成すれば、周期的に誘電率が変調された部分を容易に得ることができる。なお、周期的に誘電率が変調された部分は、誘電体と空気とを周期的に配置することや、誘電体と真空とを周期的に配置することにより構成されてもよい。
【００１２】
上記第１の局面による発光素子において、好ましくは、出射光を拡散する手段は、導電性を有する。このように構成すれば、発光ダイオードと出射光を拡散する手段とを密着して形成した場合に、発光ダイオードと出射光を拡散する手段との電気的な接続を行うことができる。これにより、出射光を拡散する手段に発光ダイオードへの電流導入部を形成することができるので、発光ダイオードに直接配線する必要がない。その結果、発光素子の組み立てが容易になる。また、光の出射面上に配線を行う必要がないので、配線が出射光を遮ることがない。その結果、発光素子からの出射光の強度を向上させることができる。
【００１３】

上記第１の局面による発光素子において、出射光を拡散する手段は、レンズにより構成されていてもよい。このように構成すれば、発光ダイオードから出射される平行光を、容易に、拡散光に変換することができる。この場合、出射光を拡散する手段は、凹レンズを含んでいてもよい。このように構成すれば、発光ダイオードから出射される平行光を凹レンズにより拡散することができるので、容易に、平行光を拡散光に変換することができる。さらにこの場合、凹レンズは、平坦な第１の面と凹状の第２の面とを有する平凹レンズを含んでいてもよい。

【００１４】

上記第１の局面による発光素子において、好ましくは、光の出射面と出射光を拡散する手段との間に設けられた蛍光体をさらに備える。このように構成すれば、蛍光体によって出射光が散乱されるため、より容易に、拡散光を得ることができる。また、発光ダイオードから出射される光の波長を異なる波長に変換することができるので、種々の蛍光体を組み合わせれば、照明用途に適した白色の発光を得ることができる。

【００１５】

上記第１の局面による発光素子において、出射光を拡散する手段は、凸面鏡を含んでいてもよい。このように構成すれば、発光ダイオードから出射される平行光を、凸面鏡により反射して拡散することができるので、容易に、平行光を拡散光に変換することができる。

【００１６】

上記第１の局面による発光素子において、出射光を拡散する手段は、実質的に透明な微粒子からなる光拡散剤が分散された透光性の部材を含んでいてもよい。このように構成すれば、発光ダイオードから出射される平行光を、光拡散剤が分散された透光性の部材により拡散することができるので、容易に、平行光を拡散光に変換することができる。

【００１７】

上記第１の局面による発光素子において、出射光を拡散する手段は、表面および裏面の少なくとも一方に微細な凹凸形状を有する透光性の部材を含んでいてもよい。このように構成すれば、発光ダイオードから出射される平行光を、微細な凹凸形状を有する透光性の部材により拡散することができるので、容易に、平行光を拡散光に変換することができる。

【００１８】

上記第１の局面による発光素子において、好ましくは、発光ダイオードは、発光層を含み、その発光層は、窒化物系半導体からなる。このように構成すれば、青色～紫外の範囲の短波長で、かつ、高エネルギーの発光を容易に得ることができるので、出射光の強度を向上させることができる。

【００１９】

上記第１の局面による発光素子において、好ましくは、発光ダイオードは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されている。このように構成すれば、光の出射する領域を大きくすることができるので、容易に、発光素子を照明などの光源として使用することができる。

【００２０】

この場合、出射光を拡散する手段は、レンズを含み、そのレンズは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されているのが好ましい。このように構成すれば、マトリクス状に配置された発光ダイオードから出射される光を容易に拡散させることができる。

【００２１】

この発明の第２の局面による照明装置は、発光ダイオードと、発光ダイオードの光の出射面と実質的に平行な面上に形成され、光の出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分と、発光ダイオードの光の出射面側に設けられ、発光ダイオードから出射される光を拡散する手段と、を含む発光素子を備えている。

【００２２】

この第２の局面による照明装置では、上記のように、発光ダイオードの光の出射面と実

質的に平行な面上に、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分を形成することによって、発光素子からの発光を光の出射面に対して垂直な光に平行化することができるので、発光ダイオードからの光取り出し効率を向上させることができる。また、発光ダイオードの光の出射面側に発光ダイオードからの出射光を拡散する手段を設けることによって、発光素子から出射してきた平行光を種々の方向に拡散することができるので、拡散光を出射することができる。これにより、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することが可能な発光素子を得ることができるので、この発光素子を光源として用いることにより、照明装置として十分な光量を得ることができる。

【００２３】

上記第２の局面による照明装置において、好ましくは、発光素子から所定の間隔を隔てて配置され、発光素子から出射される光を白色の光に変換するための白色光用蛍光体をさらに備える。このように構成すれば、容易に、照明装置に適した白色の発光を得ることができる。この場合、白色光用蛍光体は、異なる発光色の複数の蛍光体材料を混合することにより形成されていてもよい。

【００２４】

上記第２の局面による照明装置において、好ましくは、発光素子を構成する発光ダイオードは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されている。このように構成すれば、光の出射する領域を大きくすることができるので、容易に、発光素子を照明装置の光源として使用することができる。この場合、出射光を拡散する手段は、レンズを含み、そのレンズは、平面的に見て、マトリクス状に複数配置されるのが好ましい。このように構成すれば、マトリクス状に配置された発光ダイオードから出射される光を容易に拡散させることができる。

【００２５】

なお、上記の第１および第２の局面による発明において、以下のように構成してもよい。

【００２６】

すなわち、上記導電性を有する出射光を拡散する手段を含む発光素子において、好ましくは、導電性を有する出射光を拡散する手段は、発光ダイオードの光の出射側の部分に接触するように形成されている。このように構成すれば、容易に、発光ダイオードと出射光を拡散する手段との電気的な接続を行うことができる。

【００２７】

上記導電性を有する出射光を拡散する手段を含む発光素子において、好ましくは、導電性を有する出射光を拡散する手段は、ｎ型ＳｉＣ、ｎ型ＡｌＮおよびｐ型ダイヤモンドからなるグループより選択される少なくとも１つの材料からなる。上記のような材料により出射光を拡散する手段を形成すれば、導電性に加えて、良好な熱伝導性も得ることができるので、出射光を拡散する手段を介して発光ダイオードで発生した熱を、容易に、放熱することができる。その結果、より大きな電流で発光素子を動作させることができるので、出射光の強度を向上させることができる。

【００２８】

上記微細な凹凸形状を有する実質的に透明な手段を含む発光素子において、微細な凹凸形状における隣接する凸部間の間隔は、約２００ｎｍ以上約２０００ｎｍ以下であってもよい。隣接する凸部間の間隔をこのような間隔に設定すれば、その間隔が発光波長と同等または発光波長の数倍に相当するので、回折効果により光を拡散させることができる。

【００２９】

上記微細な凹凸形状を有する実質的に透明な手段を含む発光素子において、微細な凹凸形状における隣接する凸部間の間隔は、約２μｍ以上約１００μｍ以下であってもよい。隣接する凸部間の間隔をこのような間隔に設定すれば、凹凸形状部により光が屈折されるので、光を容易に拡散させることができる。

【００３０】

また、上記平凹レンズを有する構成において、平坦な第１の面に接して、発光素子を配

置してもよい。このように構成すれば、発光素子とレンズとを容易に接合することができる。加えて、発光素子とレンズが離れて配置される場合と比較して、発光素子の出射面とレンズの平坦な第１の面とでの反射を低減することができる。

【００３１】

また、凹レンズは、複数の発光ダイオード毎に１つずつの割合で配置されてもよい。この場合、複数の凹レンズと発光ダイオードはアレイ状に配置されてもよい。このように構成すれば、光の出射する領域を大きくできるので、容易に、照明などの光源として使用することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３２】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【００３３】

（第１実施形態）

図１は、本発明の第１実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。また、図２は、本発明の第１実施形態によるｐ型コンタクト層の平面構造を説明するための上面図である。まず、図１および図２を参照して、本発明の第１実施形態による発光素子１０の構造について説明する。この第１実施形態の発光素子１０は、発光ダイオードと、平凹レンズ５０とを含んでいる。

【００３４】

第１実施形態の発光ダイオードでは、酸素やＳｉがドープされた約２ｍｍ角で約２００～４００μｍの厚みを有するｎ型ＧａＮ基板１の（０００１）Ｇａ面上に、Ｓｉをドープした約５μｍの膜厚を有する単結晶のｎ型ＧａＮ層４が形成されている。ｎ型ＧａＮ層４上には、Ｓｉをドープした約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｎ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$からなるｎ型クラッド層６が形成されている。また、ｎ型クラッド層６上には、約５ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープＧａＮからなる６層の障壁層と約５ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープ$Ga_{0.9}In_{0.1}N$からなる５層の井戸層とが交互に積層された多重量子井戸（ＭＱＷ：Ｍｕｌｔｉｐｌｅ Ｑｕａｎｔｕｍ Ｗｅｌｌ）構造を有する活性層７が形成されている。活性層７上には、約１０ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープＧａＮからなる保護層８、および、Ｍｇがドープされた約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$からなるｐ型クラッド層９がこの順に形成されている。

【００３５】

ｐ型クラッド層９の上面上には、約３０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Ga_{0.95}In_{0.05}N$からなるｐ型コンタクト層１１が形成されている。ｐ型コンタクト層１１には、図２に示すように、約２５０ｎｍの直径を有し、ｐ型クラッド層９中の発光波長λの約$4/3^{1/2}$倍にほぼ等しい約３８０ｎｍの間隔（Ｄ）で６回対称に配列している複数の円形の貫通孔１１ａが形成されている。このような貫通孔１１ａを有するｐ型コンタクト層１１は、本発明の「出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分」の一例である。

【００３６】

なお、この第１実施形態では、発光層（活性層７）からの主発光波長λを約３８０ｎｍ、窒化物系半導体の屈折率を２．３として、間隔（Ｄ）の値を設計した。この間隔（Ｄ）は、ｐ型クラッド層９中の発光波長λの約$2/3^{1/2}$倍に設計するのが好ましいが、その場合には、微細な加工が必要になる。このため、第１実施形態では、加工がより容易になるように、間隔（Ｄ）を、ｐ型クラッド層９中の発光波長の約$4/3^{1/2}$倍に相当するように設計した。

【００３７】

また、ｐ型コンタクト層１１の貫通孔１１ａを埋め込むように、ｐ型コンタクト層１１の上面上に、ｐ側電極１２が形成されている。このｐ側電極１２は、下層から上層に向かって、Ｎｉ層、Ｐｄ層またはＰｔ層からなる約２ｎｍの膜厚を有するオーミック電極層と

、約２００ｎｍの膜厚を有するＩＴＯ膜からなる酸化物透明電極層と、Ａｌ層、Ａｇ層またはＲｈ層からなる約１μｍの膜厚を有する金属反射層と、Ｐｔ層またはＴｉ層からなるバリア電極と、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極とから構成されている。

【００３８】

また、ｎ型ＧａＮ基板１の裏面の外周辺部に沿った約５０μｍの幅の領域上に、ｎ側電極１６が形成されている。このｎ側電極１６は、ｎ型ＧａＮ基板１の裏面に近い側から順に、Ａｌ層からなるオーミック電極層と、Ｐｔ層またはＴｉ層からなるバリア電極と、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極とから構成されている。第１実施形態の発光ダイオードは上記のような構造を有する。

【００３９】

また、上記した発光ダイオードのｎ側電極１６の裏面上には、ｎ型ＳｉＣ、ｎ型ＡｌＮ、または、ｐ型ダイヤモンドなどの良好な熱伝導性と導電性とを有する材料からなる平凹レンズ５０が融着されている。この平凹レンズ５０は、平面側がｎ型ＧａＮ基板１に向かうように、ｎ側電極１６に融着されている。ここで、平凹レンズ５０は、本発明の「発光ダイオードからの出射光を拡散する手段」の一例である。上記した発光ダイオードと平凹レンズ５０とによって、図１に示した第１実施形態の発光素子１０が構成されている。

【００４０】

なお、第１実施形態による発光素子１０を用いて照明装置を形成する場合には、上記発光ダイオードのｐ側電極１２の上面をダイヤモンド、ＡｌＮまたはＳｉＣからなるサブマウント（放熱台）（図示せず）に融着する。この場合、ｎ側電極１６が形成されているｎ型ＧａＮ基板１の裏面が出射面となり、図１の矢印で示す方向に光が出射される。

【００４１】

次に、図１を参照して、第１実施形態による発光素子１０の製造プロセスについて説明する。まず、酸素やＳｉがドープされた約２ｍｍ角で約２００～４００μｍの厚みを有するｎ型ＧａＮ基板１を準備する。そして、約１０００℃～約１２００℃に保持した状態で、H_2を約５０％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3およびトリメチルガリウム（ＴＭＧａ）からなる原料ガスと、SiH_4からなるドーパントガスとを用いることにより、ｎ型ＧａＮ基板１の（０００１）Ｇａ面上に、ＭＯＶＰＥ法（Ｍｅｔａｌ Ｏｒｇａｎｉｃ Ｖａｐｏｒ Ｐｈａｓｅ Ｅｐｉｔａｘｙ：有機金属気相成長法）を用いて、Ｓｉをドープした約５μｍの膜厚を有する単結晶のｎ型ＧａＮ層４を約３μｍ／ｈの成長速度で成長させる。

【００４２】

次に、ｎ型ＧａＮ基板１の温度を約１０００℃～約１２００℃、好ましくは、約１１５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約３％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、ＴＭＧａおよびトリメチルアルミニウム（ＴＭＡｌ）からなる原料ガスと、SiH_4からなるドーパントガスとを用いることにより、ｎ型ＧａＮ層４上に、Ｓｉをドープした約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｎ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$からなるｎ型クラッド層６を約３μｍ／ｈの成長速度で成長させる。

【００４３】

次に、ｎ型ＧａＮ基板１の温度を約７００℃～約１０００℃、好ましくは、約８５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約５％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、トリエチルガリウム（ＴＥＧａ）およびトリメチルインジウム（ＴＭＩｎ）からなる原料ガスとを用いることにより、ｎ型クラッド層６上に、約５ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープＧａＮからなる６層の障壁層と、約５ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープ$Ga_{0.9}In_{0.1}N$からなる５層の井戸層とが交互に積層されたＭＱＷ構造を有する活性層７を約０．４ｎｍ／ｓの成長速度で形成する。さらに連続して、約１０ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープＧａＮからなる保護層８を約０．４ｎｍ／ｓの成長速度で成長させる。

【００４４】

次に、ＧａＮ基板１の温度を約１０００℃～約１２００℃、好ましくは、約１１５０℃

に保持した状態で、H_2を約１％～約３％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、ＮＨ$_3$、ＴＭＧａおよびＴＭＡｌからなる原料ガスと、ビスシクロペンタディエニルマグネシウム（Cp_2Mg）からなるドーパントガスとを用いることにより、保護層８上に、Ｍｇがドープされた約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$からなるｐ型クラッド層９を約３μｍ／ｈの成長速度で成長させる。

【００４５】

次に、電子線描画などによるリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いて、約２５０ｎｍの直径の円柱状を有するとともに、ｐ型クラッド層９中の発光波長λの約$4／3^{1／2}$倍にほぼ等しい約３８０ｎｍの間隔で６回対称に配列しているＳｉＮ層（図示せず）を形成する。すなわち、図２に示した貫通孔１１ａが形成される位置に、円柱状のＳｉＮ層を形成する。このＳｉＮ層をマスクとして、ＭＯＶＰＥ法を用いて、ｐ型クラッド層９上に約３０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Ga_{0.95}In_{0.05}N$からなるｐ型コンタクト層１１を成長させる。このとき、ＧａＮ基板１の温度を約７００℃～約１０００℃、好ましくは、約８５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約５％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、ＮＨ$_3$、ＴＥＧａおよびＴＭＩｎからなる原料ガスと、Cp_2Mgからなるドーパントガスとを用いることにより、約０．４ｎｍ／ｓの成長速度でｐ型コンタクト層１１を形成する。

【００４６】

ここで、ｐ型クラッド層９およびｐ型コンタクト層１１をキャリアガスの水素濃度が低い条件（H_2：約１％～約５％）で形成することにより、N_2雰囲気中で熱処理することなく、Ｍｇドーパントが活性化される。これにより、ｐ型クラッド層９およびｐ型コンタクト層１１を高キャリア濃度のｐ型半導体層とすることができる。その後、ｐ型クラッド層９上のＳｉＮ層（図示せず）を除去することにより、図２に示すような貫通孔１１ａを有するｐ型コンタクト層１１が形成される。

【００４７】

この後、真空蒸着法などを用いて、ｐ型コンタクト層１１の貫通孔を埋め込むように、ｐ型コンタクト層１１の上面上に、Ｎｉ層、Ｐｄ層またはＰｔ層からなる約２ｎｍの膜厚を有するオーミック電極層と、約２００ｎｍの膜厚を有するＩＴＯ膜からなる酸化物透明電極層と、Ａｌ層、Ａｇ層またはＲｈ層からなる約１μｍの膜厚を有する金属反射層と、Ｐｔ層またはＴｉ層からなるバリア電極と、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極とを順次形成することによって、ｐ側電極１２を形成する。また、ｎ型ＧａＮ基板１の裏面の外周辺部に沿った約５０μｍの幅の領域上に、真空蒸着法などを用いて、Ａｌ層からなるオーミック電極層、Ｐｔ層またはＴｉ層からなるバリア電極と、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極とを順次形成することによって、ｎ側電極１６を形成する。このようにして、第１実施形態の発光ダイオードが形成される。

【００４８】

最後に、ｎ型ＧａＮ基板１の裏面上に、ｎ側電極１６を介して、ｎ型ＳｉＣ、ｎ型ＡｌＮまたはｐ型ダイヤモンドなどの良好な熱伝導性と導電性とを有する材料からなる平凹レンズ５０を、平凹レンズ５０のｎ型ＧａＮ基板１に向かうように融着する。このようにして、本発明の第１実施形態による発光素子１０が形成される。

【００４９】

第１実施形態では、上記のように、ｐ型コンタクト層１１の貫通孔１１ａの間隔Ｄ（図２参照）を、ｐ型クラッド層９中の発光波長λの約$4／3^{1／2}$倍にするとともに、上記貫通孔１１ａに、ｐ側電極１２を構成するオーミック電極層および酸化物透明電極層を埋め込むことによって、ｐ型コンタクト層１１を、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された２次元フォトニック結晶として機能させることができる。また、上記構造を有するｐ型コンタクト層１１を、発光ダイオードの出射面であるＧａＮ基板１の裏面と平行な面上に形成することにより、発光ダイオードからの発光は出射面に対して垂直な光に平行化されるので、光取り出し効率を高くすることができる。また、上記出射面上に平凹レンズ５０を設けることによって、平凹レンズ５０の凹面により上記出射面に対して垂直な方向

に平行化された出射光を、容易に、種々の方向に拡散することができる。その結果、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することが可能な発光ダイオードを得ることができる。

【００５０】

また、第１実施形態では、平凹レンズ５０を、ｎ型ＳｉＣ、ｎ型ＡｌＮまたはｐ型ダイヤモンドなどの熱伝導率の良好な材料から構成することによって、容易に、発光ダイオードに発生する熱を放熱することができる。その結果、より大きな電流で発光素子を動作させることができるので、出射光の強度を向上させることができる。また、平凹レンズ５０に放熱フィンなどの放熱部を取り付けるようにすれば、より容易に、放熱することができる。

【００５１】

また、第１実施形態では、平凹レンズ５０を、ｎ型ＳｉＣなどの導電性を有する材料により形成するとともに、発光ダイオードのｎ側電極１６と平凹レンズ５０とを密着して形成することにより、発光ダイオードと平凹レンズ５０との電気的な接続を行うことができる。これにより、平凹レンズ５０に発光ダイオードの電極を形成することができるので、発光ダイオードに直接配線する必要がない。このため、発光ダイオードの組み立てが容易になるので、発光ダイオードの信頼性を向上させることができる。また、出射面上に配線を行う必要がないので、配線が出射光を遮ることがない。その結果、発光ダイオードからの出射光の強度を向上させることができる。

【００５２】

また、第１実施形態において、ｐ側電極１２を構成するオーミック電極層の膜厚を小さく形成すれば、光の吸収を小さくすることができる。また、ｐ側電極１２を構成する酸化物透明電極層により、ｐ側電極１２を構成するオーミック電極層と金属反射層とが反応することを抑制することができる。また、ｐ側電極１２を構成するバリア電極によって、ｐ側電極１２を構成する金属反射層とパッド電極との反応を抑制することができる。また、ｎ側電極１６を構成するバリア電極によって、ｎ側電極１６を構成するオーミック電極層とパッド電極との反応を抑制することができる。

【００５３】

（第２実施形態）

図３は、本発明の第２実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。また、図４は、本発明の第２実施形態による金属層の平面構造を説明するための上面図である。まず、図３および図４を参照して、この第２実施形態では、上記第１実施形態と異なり、裏面（光の出射面）側に誘電率が周期的に変調された部分（２次元フォトニック結晶）を形成した発光素子２０の構造について説明する。この第２実施形態による発光素子２０は、発光ダイオードと、平凹レンズ５０とを含んでいる。

【００５４】

第２実施形態による発光ダイオードでは、Ｓｉをドープした単結晶のｎ型ＧａＮ層２４の上面上に、Ｓｉをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｎ型$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$層とＳｉをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｎ型ＧａＮ層とが交互に１０層ずつ積層されたｎ型多層反射層２５が形成されている。ｎ型多層反射層２５上には、Ｓｉをドープした約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｎ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$層からなるｎ型クラッド層２６が形成されている。ｎ型クラッド層２６上には、約５ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープ$Ga_{0.8}In_{0.2}N$井戸層からなる単一量子井戸（ＳＱＷ）構造を有するＳＱＷ活性層２７が形成されている。

【００５５】

ＳＱＷ活性層２７上には、約１０ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープＧａＮからなる保護層２８、および、Ｍｇをドープした約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$からなるｐ型クラッド層２９が、この順に形成されている。ｐ型クラッド層２９上には、Ｍｇをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$層とＭｇをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｐ型ＧａＮ層と

が交互に１０層ずつ積層したｐ型多層反射層３０が形成されている。ｐ型多層反射層３０上には、Ｍｇがドープされた約３０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Ga_{0.95}In_{0.05}N$からなるｐ型コンタクト層３１が形成されている。

【００５６】

また、ｐ型コンタクト層３１の上面上には、ｐ側電極３２が形成されている。このｐ側電極３２は、下層から上層に向かって、Ｎｉ層、Ｐｄ層またはＰｔ層からなる約２ｎｍの膜厚を有するオーミック電極層と、約２００ｎｍの膜厚を有するＩＴＯ膜からなる酸化物透明電極層と、Ａｌ層、Ａｇ層またはＲｈ層からなる約１μｍの膜厚を有する金属反射層と、Ｐｔ層またはＴｉ層からなるバリア電極と、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極とから構成されている。

【００５７】

また、ｐ側電極３２の上面上には、約２００μｍ～約１ｍｍの厚みを有する支持基板３３が形成されている。この支持基板３３は、ｐ型ダイヤモンド基板、ｎ型ＳｉＣ基板、および、多結晶ＡｌＮ基板などからなる。支持基板３３の表面および裏面には、それぞれ、支持基板３３側からＡｌ層、Ｐｔ層、Ａｕ層の順に積層された、Ａｌ／Ｐｔ／Ａｕ層からなる電極３７および３８が形成されている。そして、この支持基板３３は、電極３７を介して、ｐ側電極３２に貼り合わされている。

【００５８】

ここで、第２実施形態では、ｎ型ＧａＮ層２４の裏面上に、約５０ｎｍの膜厚を有するＡｌ層からなる金属層３４が形成されている。この金属層３４には、図４に示すように、約１２０ｎｍの直径を有し、ｐ型クラッド層２９中の発光波長λにほぼ等しい約１９０ｎｍの間隔（Ｄ）で４回対称に配列している円形の複数の貫通孔３４ａが形成されている。このような貫通孔３４ａを有する金属層３４は、本発明の「出射面と実質的に平行な面の面内方向に対して周期的に誘電率が変調された部分」の一例である。なお、発光層（ＳＱＷ活性層２７）からの主発光波長λを約４４０ｎｍ、窒化物系半導体の屈折率を２．３として、間隔（Ｄ）の値を設計した。また、金属層３４の裏面上には、金属層３４の貫通孔３４ａを埋め込むように、ＩＴＯなどの酸化物透明導電膜からなるｎ側電極３５が形成されている。また、ｎ側電極３５の裏面の外周辺部に沿った約５０μｍの幅の領域上に、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極３６が形成されている。第２実施形態の発光ダイオードは上記のような構造を有する。

【００５９】

また、第２実施形態では、発光ダイオードのパッド電極３６の裏面上に、ｎ型ＳｉＣ、ｎ型ＡｌＮまたはｐ型ダイヤモンドなどの良好な熱伝導性と導電性とを有する材料からなる平凹レンズ５０が、その平面側がｎ側電極３５に向かうように融着されている。なお、平凹レンズ５０は、本発明の「発光ダイオードからの出射光を拡散する手段」の一例である。上記した発光ダイオードと平凹レンズとによって、図３に示した第２実施形態による発光素子２０が構成されている。

【００６０】

なお、上記第２実施形態による発光素子２０においては、ｎ側電極３５の裏面が光の出射面となり、図３の矢印で示す方向に光が出射される。

【００６１】

図５は、図３に示した第２実施形態による発光素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図３～図５を参照して、第２実施形態による発光素子２０の製造プロセスについて説明する。

【００６２】

まず、図５に示すように、ＧａＰ、ＧａＡｓまたはＳｉなどの（１１１）面（またはＧａ面）からなる表面を有する半導体基板２１を準備する。そして、半導体基板２１の上面上に、ストライプ状の開口部や六角形または円形の開口部が点在するSiO_2やSiN_xなどからなる選択成長マスク２２を形成する。この後、半導体基板２１の温度を約４００℃～約７００℃に保持した状態で、NH_3、ＴＭＧａ、および、ＴＭＡｌからなる原料ガ

スと、SiH_4からなるドーパントガスとを用いることにより、選択成長マスク２２間に露出した半導体基板２１の表面上に、ＭＯＶＰＥ法を用いて、Ｓｉをドープした約１０ｎｍ～約５０ｎｍの膜厚を有する非単結晶のｎ型ＧａＮ、ＡｌＧａＮまたはＡｌＮからなるｎ型低温バッファ層２３を形成する。

【００６３】

次に、半導体基板２１を約１０００℃～約１２００℃、好ましくは、約１１５０℃に保持した状態で、H_2を約５０％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3およびＴＭＧａからなる原料ガスと、SiH_4からなるドーパントガスとを用いることにより、ｎ型低温バッファ層２３上に、ｎ型ＧａＮ層２４を約３μｍ／ｈの成長速度で成長させる。

【００６４】

次に、半導体基板２１の温度を約１０００℃～約１２００℃、好ましくは、約１１５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約３％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、ＴＭＧａおよびＴＭＡｌからなる原料ガスと、SiH_4からなるドーパントガスとを用いることにより、ｎ型ＧａＮ層２４上に、Ｓｉをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｎ型$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$層とＳｉをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｎ型ＧａＮ層とが交互に１０層ずつ積層したｎ型多層反射層２５を約３μｍ／ｈの成長速度で成長させる。

【００６５】

次に、半導体基板２１の温度を約１０００℃～約１２００℃、好ましくは、約１１５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約３％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、ＴＭＧａおよびＴＭＡｌからなる原料ガスと、SiH_4からなるドーパントガスとを用いることにより、ｎ型多層反射層２５上に、Ｓｉをドープした約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｎ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$層からなるｎ型クラッド層２６を約３μｍ／ｈの成長速度で成長させる。

【００６６】

次に、半導体基板２１の温度を約７００℃～約１０００℃、好ましくは、約８５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約５％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、ＴＥＧａおよびＴＭＩｎからなる原料ガスとを用いることにより、ｎ型クラッド層２６上に、約５ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープ$Ga_{0.8}In_{0.2}N$井戸層からなるＳＱＷ活性層２７を約０．４ｎｍ／ｓの成長速度で成長させる。さらに連続して、約１０ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープＧａＮからなる保護層２８を約０．４ｎｍ／ｓの成長速度で成長させる。

【００６７】

次に、半導体基板２１の温度を約１０００℃～約１２００℃、好ましくは、約１１５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約３％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、ＴＭＧａおよびＴＭＡｌからなる原料ガスと、Cp_2Mgからなるドーパントガスとを用いることにより、保護層２８上に、Ｍｇをドープした約０．１５μｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$からなるｐ型クラッド層２９を約３μｍ／ｈの成長速度で形成する。

【００６８】

次に、半導体基板２１の温度を約１０００℃～約１２００℃、好ましくは、約１１５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約３％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、ＴＭＧａおよびＴＭＡｌからなる原料ガスと、Cp_2Mgからなるドーパントガスとを用いることにより、ｐ型クラッド層２９上に、Ｍｇをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｐ型$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$層とＭｇをドープした約４０ｎｍの膜厚を有する単結晶のｐ型ＧａＮ層とが交互に１０層ずつ積層したｐ型多層反射層３０を約３μｍ／ｈの成長速度で成長させる。

【００６９】

ここで、ｐ型クラッド層２９およびｐ型多層反射層３０を、キャリアガスの水素濃度が

低い条件（H_2：約１％～約３％）で形成することにより、N_2雰囲気中で熱処理することなく、Ｍｇドーパントが活性化される。これにより、ｐ型クラッド層２９およびｐ型多層反射層３０を高キャリア濃度のｐ型半導体層とすることができる。

【００７０】

次に、半導体基板２１の温度を約７００℃～約１０００℃、好ましくは、約８５０℃に保持した状態で、H_2を約１％～約５％含有するH_2／N_2混合ガスからなるキャリアガスと、NH_3、ＴＥＧａおよびＴＭＩｎからなる原料ガスとを用いることにより、ｐ型多層反射層３０上に、約３０ｎｍの膜厚を有する単結晶のアンドープ$Ga_{0.95}In_{0.05}N$からなるコンタクト層３１を約０．４ｎｍ／ｓの成長速度で成長させる。

【００７１】

次に、半導体基板２１の温度を約４００℃～約９００℃、好ましくは、約８００℃に保持した状態で、N_2雰囲気中でアニールすることにより、コンタクト層３１から水素を脱離させる。これにより、コンタクト層３１中の水素濃度を約5×10^{18} cm^{-3}以下にする。その後、コンタクト層３１にＭｇを約1×10^{18} cm^{-3}～約1×10^{19} cm^{-3}の注入量でイオン注入した後、約８００℃でN_2雰囲気中でアニールすることにより、コンタクト層３１をｐ型化する。

【００７２】

この後、真空蒸着法などを用いて、コンタクト層３１の上面上に、下層から上層に向かって、Ｎｉ層、Ｐｄ層またはＰｔ層からなる約２ｎｍの膜厚を有するオーミック電極層と、約２００ｎｍの膜厚を有するＩＴＯ膜からなる酸化物透明電極層と、Ａｌ層、Ａｇ層またはＲｈ層からなる約１μｍの膜厚を有する金属反射層と、Ｐｔ層またはＴｉ層からなるバリア電極と、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極とから構成されるｐ側電極３２を形成する。

【００７３】

また、表面および裏面にそれぞれＡｌ／Ｐｔ／Ａｕからなる電極３７および３８が形成され、ｐ型ダイヤモンド基板、ｎ型ＳｉＣ基板および多結晶ＡｌＮ基板からなる約２００μｍ～約１ｍｍの厚みを有する支持基板３３を準備する。そして、ｐ側電極３２の上面上に、支持基板３３を、電極３７を介して貼り合わせる。

【００７４】

次に、半導体基板２１をウエットエッチングなどにより除去した後、研磨などにより、選択成長マスク２２およびｎ型低温バッファ層２３を除去することにより、ｎ型ＧａＮ層２４の裏面を露出させる。

【００７５】

次に、図３に示したように、真空蒸着法などを用いて、露出されたｎ型ＧａＮ層２４の裏面上に、約５０ｎｍの膜厚を有するＡｌ層からなる金属層３４を形成する。その後、上記第１実施形態のｐ型コンタクト層１１の貫通孔１１ａの形成プロセスと同様のプロセスを用いて、金属層３４に、図４に示したような約１２０ｎｍの直径を有するとともに、ｐ型クラッド層２９中の発光波長λにほぼ等しい約１９０ｎｍの間隔（Ｄ）で４回対称に配列している円形の貫通孔３４ａを形成する。

【００７６】

次に、金属層３４の貫通孔３４ａを埋め込むように、金属層３４の裏面上に、ＩＴＯ膜などの酸化物透明導電膜からなるｎ側電極３５を形成する。さらに、ｎ側電極３５の裏面の外周辺部に沿った約５０μｍの幅の領域上に、Ａｕ層またはＡｕ－Ｓｎ層からなるパッド電極３６を形成する。このようにして、第２実施形態の発光ダイオードが形成される。

【００７７】

次に、パッド電極３６を介して、ｎ側電極３５の裏面上に、ｎ型ＳｉＣ、ｎ型ＡｌＮまたはｐ型ダイヤモンドなどの良好な熱伝導性と導電性とを有する材料からなる平凹レンズ５０を、平面側がｎ側電極３５に向かうように融着する。このようにして、図３に示した発光ダイオードと平凹レンズ５０とからなる第２実施形態の発光素子２０が形成される。

【００７８】

第２実施形態では、上記のように、金属層３４の貫通孔３４ａの間隔Ｄ（図４参照）を、ｐ型クラッド層２９中の発光波長λにほぼ等しくなるように設定するとともに、上記貫通孔３４ａに、ｎ側電極３５を構成する酸化物透明導電膜を埋め込むことによって、金属層３４を、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された２次元フォトニック結晶として機能させることができる。このような構造を有する金属層３４を、発光ダイオードの出射面であるｎ側電極３５の裏面と平行な面上に形成することによって、発光ダイオードからの発光は出射面に対して垂直な光に平行化されるので、光取り出し効率を高くすることができる。また、上記出射面上に平凹レンズ５０を設けることによって、上記出射面に対して垂直な方向に平行化された出射光を、容易に、種々の方向に拡散させることができる。その結果、光取り出し効率が高く、かつ、拡散光を出射することが可能な発光素子２０を得ることができる。

【００７９】

（第３実施形態）

図６は、本発明の第３実施形態による発光素子を用いた照明装置の構造を説明するための断面図である。図６を参照して、この第３実施形態では、第１実施形態の発光素子１０を構成する発光ダイオード４１を含む照明装置４０について説明する。

【００８０】

この第３実施形態による照明装置４０では、図１に示した第１実施形態の発光素子１０から平凹レンズ５０を除いた構造を有する発光ダイオード４１を用いている。この発光ダイオード４１は、出射面を上方に向けて、Ｃｕなどの高熱伝導性材料からなる発光素子パッケージ４２の内側底面に、Ａｕ‐Ｓｎ半田などの融着材によりボンディングされている。また、発光ダイオード４１のｎ側電極（図示せず）およびｐ側電極（図示せず）は、ワイヤーボンディングにより、発光素子パッケージ４２の端子４３と電気的に接続されている。

【００８１】

発光素子パッケージ４２の上部の開口面には、蛍光体４４が配置されている。また、蛍光体４４の上面上には、ガラス、石英または樹脂などからなる絶縁性の平凹レンズ５５が配置されている。

【００８２】

第３実施形態では、上記のように、出射面と平凹レンズ５５との間に蛍光体４４を設置することによって、発光ダイオード４１から出射面に対して垂直方向に平行化された出射光が散乱されるため、容易に、拡散光を得ることができる。また、平凹レンズ５５によっても、出射光は拡散されるので、より容易に、拡散光を得ることができる。また、発光ダイオード４１を、窒化物系半導体により構成することによって、発光ダイオード４１からは青色～紫外の範囲の短波長で高エネルギーの発光が出射されて蛍光体４４に照射される。これにより、蛍光体４４を用いて出射光の波長を、効率よく、出射光と異なる波長に変換することができるので、種々の蛍光体を組み合わせれば、照明用途に適した白色の発光を得ることができる。

【００８３】

（第４実施形態）

図７は、本発明の第４実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。図７を参照して、この第４実施形態では、上記第２実施形態の平凹レンズに変えて、凸面鏡を用いる場合の例について説明する。なお、第４実施形態のその他の構造は、上記第２実施形態と同様である。

【００８４】

この第４実施形態による発光素子６０は、図３に示した第２実施形態の発光素子２０から平凹レンズ５０を除いた構造を有する。すなわち、この第４実施形態の発光ダイオードは、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された２次元フォトニック結晶として機能する金属層３４を含んでいる。この発光ダイオードの光出射面に対向するように、光出射面から所定の間隔を隔てて、凸面鏡６５が配置されている。この凸面鏡６５は、樹脂または

ガラスからなる凸状部の表面にＡｌまたはＡｇからなる反射膜がコーティングされることにより形成されている。なお、この凸面鏡６５は、本発明の「発光ダイオードからの出射光を拡散する手段」の一例である。

【００８５】

第４実施形態による発光素子６０では、上記第２実施形態と同様、金属層３４を、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された２次元フォトニック結晶として機能させることができるので、発光ダイオードからの発光を出射面に対して垂直な光に平行化することができる。これにより、光取り出し効率を向上させることができる。

【００８６】

また、第４実施形態による発光素子６０では、上記のように、凸面鏡６５を発光ダイオードの光出射面に対向するように配置することによって、発光ダイオードから出射される光を凸面鏡６５により反射して拡散させることができる。

【００８７】

（第５実施形態）

図８は、本発明の第５実施形態による発光素子の構造を説明するための平面図である。図９は、本発明の第５実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。図８および図９を参照して、この第５実施形態による発光素子７０では、平凹レンズ７２ａおよび発光ダイオード７１をアレイ状（マトリクス状）に２次元的（平面的）に配置した例について説明する。

【００８８】

この第５実施形態による発光素子７０では、図８に示すように、例えばポリカーボネイトからなるレンズ部材７２上に、複数の発光ダイオード７１が、平面的に見てマトリクス状（アレイ状）に配置されている。具体的には、３２４個の発光ダイオードが、１８個×１８個のマトリクス状に配置されている。なお、発光ダイオード７１は、図１に示した第１実施形態による発光ダイオードから平凹レンズ５０を除いた構造、または、図３に示した第２実施形態の発光ダイオードから平凹レンズ５０を除いた構造を有する。すなわち、この第５実施形態の発光ダイオード７１は、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された２次元フォトニック結晶として機能するｐ型コンタクト層１１（図１参照）または金属層３４（図３参照）を含んでいる。

【００８９】

また、レンズ部材７２は、平面的に見てマトリクス状（アレイ状）に配置された複数の平凹レンズ７２ａにより構成されている。この平凹レンズ７２ａは、図８に示すように、３個×３個（合計９個）のマトリクス状に配置されている。また、各々の平凹レンズ７２ａは、複数（３６個）の発光ダイオード７１毎に、１つずつの割合で配置されている。ここで、平凹レンズ７２ａの平面側の表面には、ＩＴＯ等の透明電極が形成されている。その透明電極から、金属からなるオーミック電極層を介して、発光ダイオード７１に通電される。なお、平凹レンズ７２ａは、本発明の「発光ダイオードからの出射光を拡散する手段」の一例である。

【００９０】

第５実施形態では、上記のように、平凹レンズ７２ａおよび発光ダイオード７１をアレイ状（マトリクス状）に２次元的（平面的）に配置することによって、光の出射する領域を大きくすることができる。これにより、容易に、照明などの光源として使用することができる。

【００９１】

また、第５実施形態では、第１または第２実施形態同様、２次元フォトニック結晶として機能するｐ型コンタクト層１１または金属層３４により、出射面に対して垂直方向に平行化された光を得ることができるので、光取り出し効率を向上することができるとともに、平凹レンズ７２ａにより、平行光された光を拡散させることができる。

【００９２】

なお、第５実施形態のその他の効果は、上記第１または第２実施形態と同様である。

【００９３】
（第６実施形態）
図１０は、本発明の第６実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。図１０を参照して、この第６実施形態による発光素子８０では、発光ダイオード８１からの出射光を拡散する手段として、透明な微粒子からなる拡散剤８２ａを拡散させた透光性のフィルムからなる拡散シート８２を用いる例について説明する。
【００９４】
すなわち、この第６実施形態では、ガラスまたは透明なプラスチックからなる拡散シート８２の表面に、ＩＴＯからなる透明電極が形成されている。そして、その拡散シート８２の表面の透明電極に、金属からなるオーミック電極層を介して、複数の発光ダイオード８１が、平面的に見てマトリクス状（アレイ状）に配置されている。この場合、発光ダイオード８１の出射面側を拡散シート８２の表面に貼り付ける。なお、発光ダイオード８１は、図１に示した第１実施形態による発光ダイオードから平凹レンズ５０を除いた構造、または、図３に示した第２実施形態の発光ダイオードから平凹レンズ５０を除いた構造を有する。すなわち、この第６実施形態の発光ダイオード８１は、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された２次元フォトニック結晶として機能するｐ型コンタクト層１１（図１参照）または金属層３４（図３参照）を含んでいる。これにより、発光ダイオード８１からは出射面に対して垂直方向に平行化された光が出射されるので、光取り出し効率が向上される。
【００９５】
ここで、第６実施形態では、拡散シート８２内に、約１μｍ～約２０μｍの粒子径を有するほぼ球形状の粒子からなる光拡散剤８２ａが添加されている。この光拡散剤８２ａは、ＳｉＮｘ、TiO_2、Al_2O_3などの無機材料、または、ポリメチルメタアクリレート、ポリアクリルニトリル、ポリエステル、シリコーン、ポリエチレン、エポキシ、メラミン・ホルムアルデヒド縮合物、ベンゾグアナミン・ホルムアルデヒド縮合物、メラミン・ベンゾグアナミン・ホルムアルデヒド縮合物などの有機材料からなる。また、たとえば、拡散シート８２を透明なプラスチックフィルムにより構成するとともに、光拡散剤８２ａをメラミン・ベンゾグアナミン・ホルムアルデヒド縮合物により構成する場合のプラスチックフィルムとメラミン・ベンゾグアナミン・ホルムアルデヒド縮合物との重量比は、約３０：約７０である。
【００９６】
第６実施形態による発光素子８０では、上記のように、発光ダイオード８１をアレイ状（マトリクス状）に２次元的（平面的）に配置することによって、光の出射する領域を大きくすることができる。これにより、容易に、照明などの光源として使用することができる。
【００９７】
また、第６実施形態では、光拡散剤８２ａが添加された拡散シート８２の表面に発光ダイオード８１の出射面側を貼り付けることによって、容易に、マトリクス状に配置された発光ダイオード８１から出射される光を拡散することができる。
【００９８】
なお、第６実施形態のその他の効果は、上記第１または第２実施形態と同様である。
【００９９】
（第７実施形態）
図１１は、本発明の第７実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。図１１を参照して、この第７実施形態による発光素子９０では、上記第６実施形態と異なり、発光ダイオード９１からの出射光を拡散する手段として、表面および裏面に微細な凹凸形状９３ａおよび９３ｂが形成された拡散シート９３を用いる例について説明する。
【０１００】
すなわち、この第７実施形態では、図１１に示すように、ガラスシートまたは透明なプラスチックフィルムからなる透光性の拡散シート９３の表面および裏面に、微細な凹凸形

状部９３ａおよび９３ｂが形成されている。この微細な凹凸形状部９３ａおよび９３ｂでは、隣接する凹部間のピッチ（間隔）が、約２００ｎｍ～約２０００ｎｍ、または、約２μｍ～約１００μｍに設定されている。隣接する凹部間のピッチ（間隔）が、約２００～約２０００ｎｍである場合には、その間隔が発光波長と同等または発光波長の数倍に相当するので、回折効果により光が拡散される。また、隣接する凹部間のピッチ（間隔）が、約２μｍ～約１００μｍである場合には、凹凸形状部９３ａおよび９３ｂにより光が屈折されることによって、光が拡散される。

【０１０１】

また、Ａｌなどの反射率が高くかつ放熱性の良好な材料からなる支持板９２の表面に、複数の発光ダイオード９１が、平面的に見てマトリクス状（アレイ状）に配置されている。この場合、発光ダイオード９１の出射面と反対側を支持板９２の表面に貼り付ける。拡散シート９３は、支持板９２の表面に貼り付けられた発光ダイオード９１の光出射面に対向するように、発光ダイオード９１から所定の間隔を隔てて配置されている。

【０１０２】

なお、発光ダイオード９１は、図１に示した第１実施形態による発光ダイオードから平凹レンズ５０を除いた構造、または、図３に示した第２実施形態の発光ダイオードから平凹レンズ５０を除いた構造を有する。すなわち、この第７実施形態の発光ダイオード９１は、面内方向に対して周期的に誘電率が変調された２次元フォトニック結晶として機能するｐ型コンタクト層１１（図１参照）または金属層３４（図３参照）を含んでいる。これにより、発光ダイオード９１からは、出射面に対して垂直方向に平行化された光が出射されるので、光取り出し効率が向上される。

【０１０３】

第７実施形態による発光素子９０では、上記のように、発光ダイオード９１をアレイ状（マトリクス状）に２次元的（平面的）に配置することによって、光の出射する領域を大きくすることができる。これにより、容易に、照明などの光源として使用することができる。

【０１０４】

また、第７実施形態では、表面および裏面に微細な凹凸形状９３ａおよび９３ｂを有する拡散シート９３を設けることによって、容易に、マトリクス状に配置された発光ダイオード９１から出射される光を拡散することができる。

【０１０５】

なお、第７実施形態のその他の効果は、上記第１または第２実施形態と同様である。

【０１０６】

（第８実施形態）

図１２は、本発明の第８実施形態による発光素子を用いた照明装置の構造を説明するための断面図である。図１２を参照して、この第８実施形態では、上記第５実施形態による発光素子７０を用いた照明装置１００について説明する。

【０１０７】

この第８実施形態による照明装置１００では、図１２に示すように、放熱板を兼用するＡｌからなる反射板１０１の表面に、上記第５実施形態の平凹レンズ７２ａおよび発光ダイオード７１がアレイ状（マトリクス状）に２次元的（平面的）に配置された発光素子７０が取り付けられている。具体的には、発光素子７０の発光ダイオード７１の光出射面と反対側の面が反射板１０１に取り付けられている。発光素子７０を取り囲むように、凹状のガラス板１０２が装着されている。凹状のガラス板１０２の内側には、白色照明用の白色光用蛍光体層１０３が形成されている。

【０１０８】

白色照明用の白色光用蛍光体層１０３は、たとえば、青色、緑色、赤色および黄色の４色の蛍光体材料を混合することにより形成されている。この場合、青色の蛍光体材料としては、$BaMgAl_{10}O_{17}$：Euまたは$(Sr, Ca, Ba, Mg)_{10}(PO_4)_6Cl_2$：Euを用い、緑色の蛍光体材料としては、ＺｎＳ：Ｃｕ，Ａｌを用いる。また

、赤色の蛍光体材料としては、Y_2O_2S：Ｅｕを用い、黄色の蛍光体材料としては、$(Y,Gd)_3Al_5O_{12}$：Ｃｅを用いる。なお、反射板１０１には、発光素子７０に通電するための端子（図示せず）が設置されている。

【０１０９】

第８実施形態による照明装置１００では、上記のように、２次元フォトニック結晶として機能するｐ型コンタクト層１１または金属層３４を含む発光ダイオード７１を用いることにより、出射面に対して垂直方向に平行化された光を得ることができるので、発光ダイオード７１の光取り出し効率を向上させることができる。また、平凹レンズ７２ａにより、発光ダイオード７１から出射される平行光を拡散することができるので、照明用として適した拡散光を得ることができる。さらに、平凹レンズ７２ａおよび発光ダイオード７１がアレイ状（マトリクス状）に２次元的（平面的）に配置された発光素子７０を用いることによって、光の出射する領域を大きくすることができるので、容易に、照明装置として必要な明るさを得ることができる。

【０１１０】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【０１１１】

たとえば、上記実施形態では、本発明の発光ダイオードからの出射光を拡散する手段として、平凹レンズ、凸面鏡、拡散剤を含む拡散シート、および、微細な凹凸形状を有する拡散シートを用いたが、本発明はこれに限らず、出射光を拡散する手段として、他の形状を有するレンズ、鏡または回折格子などを用いてもよい。

【０１１２】

また、上記実施形態では、本発明の周期的に誘電率が変調された部分として、フォトニック結晶を用いる例を示したが、本発明はこれに限らず、周期的に誘電率が変調された部分として、フォトニック結晶以外の構造を用いてもよい。

【０１１３】

また、上記第４実施形態の発光素子では、１個の凸面鏡が、１個の発光ダイオードに対して配置されているが、本発明はこれに限らず、凸面鏡は、複数の発光ダイオード毎に、１つずつの割合で配置されてもよく、複数の凸面鏡および発光ダイオードをアレイ状（マトリクス状）に配置してもよい。

【０１１４】

また、上記第８実施形態の照明装置では、第５実施形態の発光素子を組み込む例を示したが、本発明はこれに限らず、上記第８実施形態の照明装置に、第６または第７実施形態の発光素子を組み込むようにしてもよい。

【０１１５】

第１および第２実施形態において、ガラスなどの絶縁体からなる平凹レンズの平面側に透明電極を形成し、この平面側に発光ダイオードを融着してもよい。

【図面の簡単な説明】

【０１１６】

【図１】本発明の第１実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。

【図２】本発明の第１実施形態によるｐ型コンタクト層の平面構造を説明するための上面図である。

【図３】本発明の第２実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。

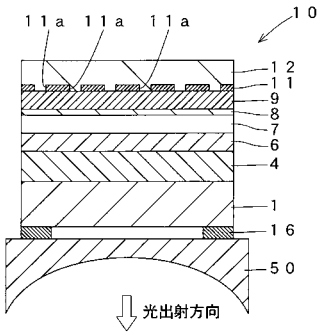
【図４】本発明の第２実施形態による金属層の平面構造を説明するための上面図である。

【図５】図３に示した第２実施形態による発光素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

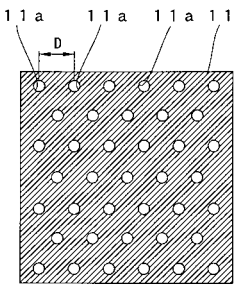
【図６】本発明の第３実施形態による発光素子を用いた照明装置の構造を説明するための断面図である。

【図７】本発明の第４実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。
【図８】本発明の第５実施形態による発光素子の構造を説明するための平面図である。
【図９】本発明の第５実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。
【図１０】本発明の第６実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。
【図１１】本発明の第７実施形態による発光素子の構造を説明するための断面図である。
【図１２】本発明の第８実施形態による発光素子を用いた照明装置の構造を説明するための断面図である。
【図１３】従来のフォトニック結晶を出射面上に取り付けた発光ダイオード（発光素子）の構造を説明するための断面図である。
【符号の説明】
【０１１７】
１　ｎ型ＧａＮ基板
４、２４　ｎ型ＧａＮ層
６、２６　ｎ型クラッド層
７　活性層
８、２８　保護層
９、２９　ｐ型クラッド層
１０　発光素子
１１、３１　ｐ型コンタクト層
１１ａ、３４ａ　貫通孔
１２、３２　ｐ型電極
１６、３５　ｎ側電極
５０、７２　平凹レンズ（発光ダイオードからの出射光を拡散する手段）
６５　凸面鏡（発光ダイオードからの出射光を拡散する手段）
８２、９３　拡散シート（発光ダイオードからの出射光を拡散する手段）

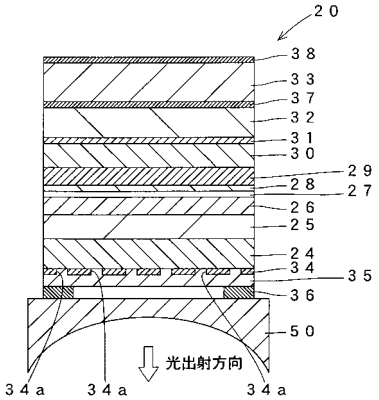
【図１】



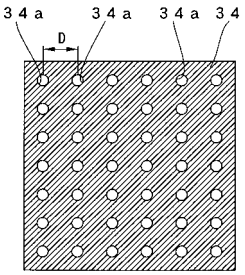
【図２】



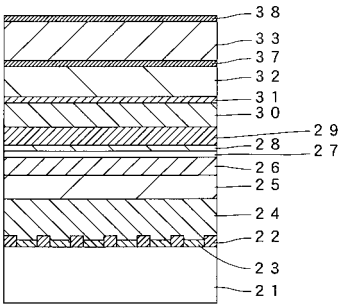
【図３】



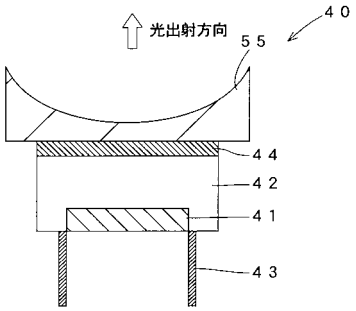
【図４】



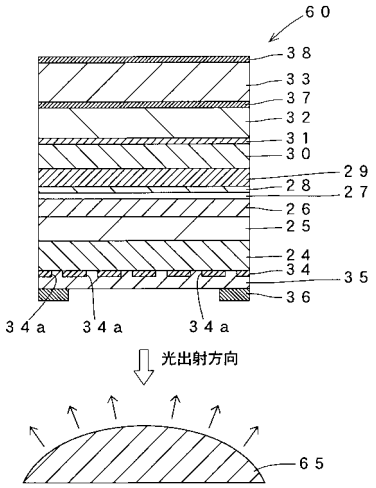
【図５】



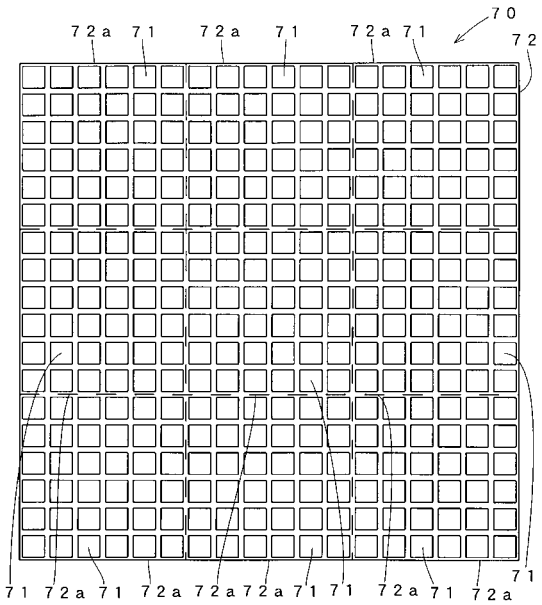
【図６】



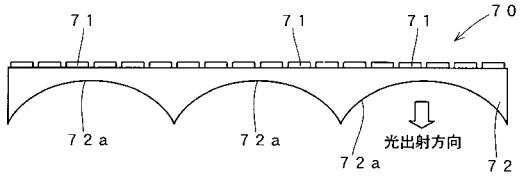
【図７】



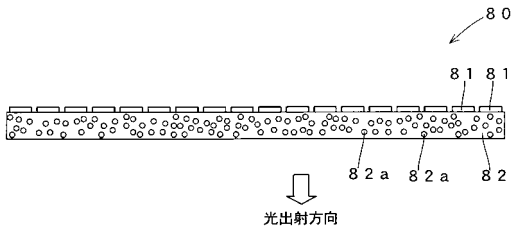
【図８】



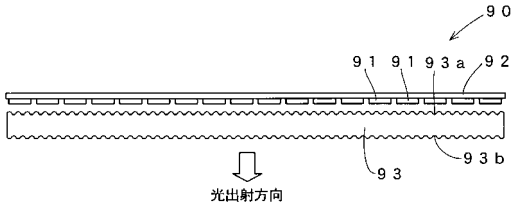
【図９】



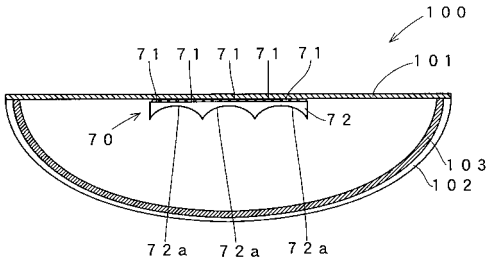
【図１０】



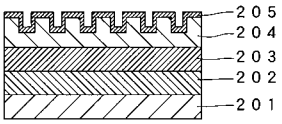
【図１１】



【図１２】


１００
７１ ７１ ７１ ７１ ７１
１０１
７０
７２
１０３
１０２
７２ａ ７２ａ ７２ａ

【図１３】


２０５
２０４
２０３
２０２
２０１

フロントページの続き

(51)Int.Cl.[7]	FI	テーマコード（参考）
// Ｆ２１Ｙ 101:02	Ｆ２１Ｙ 101:02	