(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7504983号
(P7504983)

(45)発行日　令和6年6月24日(2024.6.24)

(24)登録日　令和6年6月14日(2024.6.14)

(51)国際特許分類

Ｈ０１Ｌ　33/08　(2010.01)		ＦＩ Ｈ０１Ｌ	33/08
Ｈ０１Ｌ　33/22　(2010.01)		Ｈ０１Ｌ	33/22

請求項の数　20　（全16頁）

(21)出願番号　特願2022-503481(P2022-503481)
(86)(22)出願日　令和2年7月14日(2020.7.14)
(65)公表番号　特表2022-541557(P2022-541557A)
(43)公表日　令和4年9月26日(2022.9.26)
(86)国際出願番号　PCT/EP2020/069911
(87)国際公開番号　WO2021/013641
(87)国際公開日　令和3年1月28日(2021.1.28)
審査請求日　令和4年12月27日(2022.12.27)
(31)優先権主張番号　1910348.0
(32)優先日　令和1年7月19日(2019.7.19)
(33)優先権主張国・地域又は機関
英国(GB)

(73)特許権者　523259282
スナップ・インコーポレーテッド
アメリカ合衆国カリフォルニア州９０４０５，サンタ・モニカ，サーティーファースト・ストリート　３０００
(74)代理人　100118902
弁理士　山本 修
(74)代理人　100106208
弁理士　宮前 徹
(74)代理人　100196508
弁理士　松尾 淳一
(74)代理人　100173565
弁理士　末松 亮太
(74)代理人　100195408
弁理士　武藤 陽子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　ＬＥＤアレイ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

発光ダイオード（ＬＥＤ）アレイを製造する方法であって、ＩＩＩ族窒化物材料の半導体層を形成するステップと、前記半導体層を覆う誘電マスク層を形成するステップであって、前記誘電マスク層は、前記半導体層の区域を各々が露出させる、前記誘電マスク層を貫通する孔のアレイを有する、形成するステップと、前記孔の各々の中でＬＥＤ構造を成長させるステップと、を含み、孔の前記アレイは、第１の断面積を各々が有する第１のセットの孔と、前記第１の断面積とは異なる第２の断面積を各々が有する第２のセットの孔とを含み、

前記孔の各々の中で前記ＬＥＤ構造を前記成長させるステップは、前記半導体層が露出された前記区域の上方にｎ型層を成長させ、前記ｎ型層の上方に少なくとも１つの活性層を成長させ、および前記少なくとも１つの活性層の上方にｐ型層を成長させ、

前記少なくとも１つの活性層の上側の上面は、前記誘電マスク層の上面より下である、方法。

【請求項２】

前記第１の断面積は、前記第２の断面積より少なくとも１％大きい、請求項１に記載の方法。

【請求項３】

前記ＬＥＤ構造の各々は、前記ＬＥＤ構造が、第１の断面積を各々が有する第１のセットのＬＥＤ構造と、前記第１の断面積とは異なる第２の断面積を各々が有する第２のセッ

トのＬＥＤ構造とを含むように前記各々がその中で成長させられる前記孔を充塞する、請求項１または２に記載の方法。
【請求項４】
前記第１のセットのＬＥＤ構造は、第１のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成され、前記第２のセットのＬＥＤ構造は、前記第１のピーク波長とは異なる第２のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成される、請求項３に記載の方法。
【請求項５】
孔の前記アレイは、前記第１および第２の断面積とは異なる第３の断面積を各々が有する第３のセットの孔をさらに含む、請求項１から４のいずれか一項に記載の方法。
【請求項６】
ＬＥＤ構造の前記アレイは、前記第１および第２の断面積とは異なる第３の断面積を各々が有する第３のセットの孔をさらに含み、
前記第３のセットの孔の中で成長させられる第３のセットのＬＥＤ構造を含み、前記第３のセットのＬＥＤ構造は、前記第１および第２のピーク波長とは異なる第３のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成される、請求項４に記載の方法。
【請求項７】
前記ＬＥＤ構造は、複数の群をなして配置構成され、前記方法は、複数のコンタクトを形成するステップであって、前記コンタクトの各々は、ＬＥＤ構造の前記群のうちのそれぞれの１つに接続され、以て、ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の他の群から独立にアクティブ化され得る、形成するステップをさらに含む、請求項１から６のいずれか一項に記載の方法。
【請求項８】
前記ＬＥＤ構造は、複数の群をなして配置構成され、前記方法は、複数のコンタクトを形成するステップであって、前記コンタクトの各々は、ＬＥＤ構造の前記群のうちのそれぞれの１つに接続され、以て、ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の他の群から独立にアクティブ化され得る、形成するステップをさらに含み、
ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の前記セットの各々からの少なくとも１つのＬＥＤ構造を含む、請求項３または５に記載の方法。
【請求項９】
前記ＬＥＤ構造は、複数の群をなして配置構成され、前記方法は、複数のコンタクトを形成するステップであって、前記コンタクトの各々は、ＬＥＤ構造の前記群のうちのそれぞれの１つに接続され、以て、ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の他の群から独立にアクティブ化され得る、形成するステップをさらに含み、
ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の前記セットのうちの１つからのＬＥＤ構造のみを含む、請求項３または５に記載の方法。
【請求項１０】
孔の前記セットの各々は、規則的なアレイをなして配置構成される、請求項１から９のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１１】
半導体層と、誘電層であって、前記半導体層の上方に広がり、前記誘電層を貫通して延びるＬＥＤ構造のアレイを有する、誘電層と、を含むＬＥＤアレイであって、前記ＬＥＤ構造は、第１の断面積を各々が有する第１のセットのＬＥＤ構造と、前記第１の断面積とは異なる第２の断面積を各々が有する第２のセットのＬＥＤ構造とを含み、
前記ＬＥＤ構造の各々は、前記誘電層を貫通するそれぞれの孔の中で形成され、
前記ＬＥＤ構造の各々は、前記それぞれの孔の中において、前記半導体層の上方に形成されたｎ型層、前記ｎ型層の上方に形成された少なくとも１つの活性層、および前記少なくとも１つの活性層の上方に形成されたｐ型層を有し、
前記少なくとも１つの活性層の上側の上面は、前記誘電層の上面より下である、ＬＥＤアレイ。

【請求項１２】
前記第２の断面積は、前記第１の断面積より少なくとも１％大きい、請求項１１に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項１３】
前記孔は、第１の断面積を各々が有する第１のセットの孔と、前記第１の断面積とは異なる第２の断面積を各々が有する第２のセットの孔とを含む、請求項１１または１２に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項１４】
前記第１のセットのＬＥＤ構造は、第１のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成され、前記第２のセットのＬＥＤ構造は、前記第１のピーク波長とは異なる第２のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成される、請求項１１から１３のいずれか一項に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項１５】
前記ＬＥＤ構造は、前記第１および第２の断面積とは異なる第３の断面積を各々が有する第３のセットのＬＥＤ構造をさらに含む、請求項１１から１４のいずれか一項に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項１６】
前記ＬＥＤ構造は、前記第１および第２の断面積とは異なる第３の断面積を各々が有する第３のセットのＬＥＤ構造をさらに含み、
前記第３のセットのＬＥＤ構造は、前記第１および第２のピーク波長とは異なる第３のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成される、請求項１４に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項１７】
前記ＬＥＤ構造は、複数の群をなして配置構成され、前記アレイは、複数のコンタクトをさらに含み、前記コンタクトの各々は、ＬＥＤ構造の前記群のうちのそれぞれの１つに接続され、以て、ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の他の群から独立にアクティブ化され得る、請求項１１から１６のいずれか一項に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項１８】
ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の前記セットの各々からの少なくとも１つのＬＥＤ構造を含む、請求項１７に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項１９】
ＬＥＤ構造の前記群の各々は、ＬＥＤ構造の前記セットのうちの１つからのＬＥＤ構造のみを含む、請求項１７に記載のＬＥＤアレイ。
【請求項２０】
ＬＥＤ構造の各々のセットは、規則的なアレイをなして配置構成される、請求項１１から１９のいずれか一項に記載のＬＥＤアレイ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、発光ダイオード（ＬＥＤ）アレイと、ＬＥＤアレイを製造する方法とに関係する。本発明は、特に、マイクロメートルスケールでのＬＥＤのアレイに関係する。
【背景技術】
【０００２】
スマートウォッチ、スマートフォン、テレビジョン、およびＡＲ／ＶＲデバイスに対する、より輝度が高く、解像度が高められ、より電力効率のよいディスプレイパネルに対する増大しつつある要望が、直径が＜１００μｍのスケールであるマイクロＬＥＤ（μＬＥＤ）が主たる構成要素となるマイクロディスプレイ技術の開発を推進させている。ＩＩＩ族窒化物μＬＥＤは、例えば、Ｚ．Ｙ．Ｆａｎ、Ｊ．Ｙ．Ｌｉｎ、およびＨ．Ｘ．Ｊｉａｎｇ、Ｊ．Ｐｈｙｓ．Ｄ：Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．４１、０９４００１（２００８）；Ｈ．Ｘ．ＪｉａｎｇおよびＪ．Ｙ．Ｌｉｎ、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｅｘｐｒｅｓｓ ２１、Ａ４７６

（２０１３）；ならびに、Ｊ．Ｄａｙ、Ｊ．Ｌｉ、Ｄ．Ｙ．Ｃ．Ｌｉｅ、Ｃ．Ｂｒａｄｆｏｒｄ、Ｊ．Ｙ．Ｌｉｎ、およびＨ．Ｘ．Ｊｉａｎｇ、Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．９９、０３１１１６（２０１１）において説明されるように、有機発光ダイオード（ＯＬＥＤ）および液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）と比較して、ディスプレイ用途に対するいくつかの特有の特徴を呈する。ＬＣＤとは違い、μＬＥＤが主要な構成要素であるＩＩＩ窒化物ベースのマイクロディスプレイは、自発光である。μＬＥＤを使用するディスプレイは、高解像度、高効率、および高コントラスト比を呈する。ＯＬＥＤは、典型的には、妥当な寿命を維持するために、半導体ＬＥＤより数桁低い電流密度において動作させられる。結果として、ＯＬＥＤのルミナンスは、相当に低く、フルカラーディスプレイの場合に典型的には３０００ｃｄ／ｍ^{2}であり、一方で、ＩＩＩ窒化物μＬＥＤは、１０^{5}ｃｄ／ｍ^{2}より上の高いルミナンスを呈する。当然ながら、ＩＩＩ窒化物ベースのμＬＥＤは、本質的に、ＯＬＥＤとの比較において、長い動作寿命、および化学的堅牢性を呈する。それゆえに、ＩＩＩ窒化物μＬＥＤは、潜在的可能性として、近い将来の広い範囲の用途における高解像度および高輝度ディスプレイに対して、ＬＣＤおよびＯＬＥＤに取って代わることができることが期待される。

【０００３】

２つの主要な手法が、マイクロディスプレイの製作に優位を占める。いわゆるピックアンドプレース技術が、マイクロディスプレイを製造するために提案された（Ｖｉｎｃｅｎｔ Ｗ．Ｌｅｅ、Ｎａｎｃｙ Ｔｗｕ、およびＩｏａｎｎｉｓ Ｋｙｍｉｓｓｉｓ、Ｄｉｓｐｌａｙ ６／１６（２０１６））。ピックアンドプレース技術の主な課題は、画素（すなわち、異なるウエハからの赤、青、緑マイクロＬＥＤ）の移送歩留に起因する。そのことはまた、マイクロディスプレイを構築するための基礎材料コストまたは製造時間を著しく増大させ、かくして、再現性およびスケーラビリティの見地において大きい課題を提起する。スマートウォッチ、スマートフォン、テレビジョン、およびＡＲ／ＶＲデバイスに対して特に重要である高解像度マイクロディスプレイは、＜１０μｍなどのより小さい直径とより小さいピッチの両方を伴うμＬＥＤを求め、ピックアンドプレース技術が困難になる傾向がある。その場合には、アクティブマトリクススイッチングを提供するトランジスタのアレイとのマイクロＬＥＤアレイの直接的集積化が用いられている（Ｈ．Ｘ．Ｚｈａｎｇ、Ｄ．Ｍａｓｓｏｕｂｒｅ、Ｊ．ＭｃＫｅｎｄｒｙ、Ｚ．Ｇｏｎｇ、Ｂ．Ｇｕｉｌｈａｂｅｒｔ、Ｃ．Ｇｒｉｆｆｉｎ、Ｅ．Ｇｕ、Ｐ．Ｅ．Ｊｅｓｓｏｐ、Ｊ．Ｍ．Ｇｉｒｋｉｎ、およびＭ．Ｄ．Ｄａｗｓｏｎ、Ｏｐｔｉｃｓ Ｅｘｐｒｅｓｓ １６、９９１８～９９２６（２００８）；Ｚ．Ｊ．Ｌｉｕ、Ｗ．Ｃ．Ｃｈｏｎｇ、Ｋ．Ｍ．Ｗｏｎｇ、およびＫ．Ｍ．Ｌａｕ、Ｊ．Ｄｉｓｐｌａｙ Ｔｅｃｈ．９、６７８～６８２（２０１３）；ならびに、Ｃ．Ｗ．Ｓｕｎ、Ｃ．Ｈ．Ｃｈａｏ、Ｈ．Ｙ．Ｃｈｅｎ、Ｙ．Ｈ．Ｃｈｉｕ、Ｗ．Ｙ．Ｙｅｈ、Ｍ．Ｈ．Ｗｕ、Ｈ．Ｈ．Ｙｅｎ、およびＣ．Ｃ．Ｌｉａｎｇ、ＳＩＤ Ｄｉｇｅｓｔ ｏｆ Ｔｅｃｈｎｉｃａｌ Ｐａｐｅｒｓ、１０４２～１０４５（２０１１））。しかしながら、この方法は、ＧＢ１８１６４５５．８において説明されるような、いくつかの重大な欠点の難点を抱える。さらにまた、単一多重色ウエハの製造における根本的な課題に起因して、そのようなマイクロＬＥＤベースのディスプレイは、単一色またはダウンコンバージョン材料の利用のいずれかに基づく。後者を使用すると、多重色発光は達成され得るが、そのことは、ダウンコンバージョンプロセスに起因するエネルギー損失、マイクロＬＥＤの直径より小さくなければならない直径を伴うダウンコンバージョン材料を正確に位置決めするための余分なコストおよび課題、ならびに、ダウンコンバージョン材料の信頼性問題点の難点を抱える。それゆえに、画像品質も光学効率も満足のいくものではなく、そのことは、実用的用途のためには非常に難しいものになる。

【０００４】

それゆえに、輝度の高い、および、高解像度のマイクロディスプレイを製造するための新しい手法に対する必要性が存する。他の電子構成要素をも伴う、アレイ内の個々の画素としての、赤、青、および緑マイクロＬＥＤなどの、異なる発光波長マイクロＬＥＤのモノリシック集積化を必然的に含む手法を有することが望ましい。ダウンコンバージョン材

料を要することなくフルカラーマイクロディスプレイを達成するために、エピタキシャルウエハは、好ましくは、制御構成を伴うモノリシック多重色ＬＥＤ構造を有するべきである。明らかに、単一のウエハからの多重色発光を達成することは、大きな課題である。単一のウエハからの多重色発光を達成することに対する、別の大きな障壁が存する。現在は、ＩＩＩ窒化物ベースのＬＥＤ（すなわち、発光領域としてのＩｎＧａＮ／ＧａＮ量子井戸を含む）は、ｃ面基板上で成長させられる。極性配向が、ＩｎＧａＮとＧａＮとの間の大きい格子不整合に起因して、結果的に歪み誘起圧電場を生じさせる。結果として、ＬＥＤは、低減された量子効率につながる、電子波動関数と正孔波動関数との間の低減された重なりの難点を抱える。このことは、緑ＬＥＤなどの増大する発光波長でより一層悪くなり、かくして、それがいわゆる「グリーン」ギャップを発生させ、そのことは、緑ＬＥＤの量子効率が青ＬＥＤの量子効率よりもはるかに低いことを意味する。ＩＩＩ窒化物ベースの赤ＬＥＤの効率は、緑ＬＥＤの効率よりも一層低い。さらにまた、この歪みは、さらには、ＧａＮへのインジウムの取り込みを制限し、そのことは、より長い波長発光を達成することにおける課題をさらに高める。それゆえに、現時点において、赤ＬＥＤは、基本的には専らＡｌＧａＩｎＰに基づく。このことは、単一のウエハ上で（個々の画素として、赤、青、および緑マイクロＬＥＤを伴う）異なる発光波長マイクロＬＥＤアレイをモノリシックに集積化することをほとんど不可能にする。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

それゆえに、すべての上記の問題点に対処するために、単一のウエハ内での、全面的にＩＩＩ窒化物に基づく、モノリシック多重色μＬＥＤアレイの成長および続く製作のための異なる手法を開発することが肝要である。産業界の要求を満たすためには、いかなる新しい手法も、スケーラブルな基礎を基に築かれなければならないことになる。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明は、発光ダイオード（ＬＥＤ）アレイを製造する方法であって、ＩＩＩ族窒化物材料の半導体層を形成するステップと、半導体層を覆う誘電マスク層を形成するステップであって、誘電マスク層は、半導体層の区域を各々が露出させる、その誘電マスク層を貫通する孔のアレイを有する、形成するステップと、孔の各々の中でＬＥＤ構造を成長させるステップと、を含む、方法を提供する。アレイは、第１の断面積を有する第１のセットの孔と、第１の断面積とは異なる第２の断面積を有する第２のセットの孔とを含み得る。

【０００７】

ＬＥＤ構造は、半導体層の露出された区域上で成長させられ得る。成長は全体的に上向き方向となり、なぜならば、孔の誘電側壁からの成長は起こらないからである。孔の中でのＬＥＤ構造の上向き成長は、それゆえに、層状ＬＥＤ構造を結果的に生じさせ得るものであり、層の各々は、全体的に平坦または平面的であり、実質的に一定の厚さである。

【０００８】

半導体層は、例えばＧａＮなどのＩＩＩ族窒化物の、または、サファイア、ケイ素（Ｓｉ）炭化ケイ素（ＳｉＣ）の、または、ガラスの基板上に形成され得る。

【０００９】

孔の各々の中でＬＥＤ構造を成長させるステップは、ｎ型層を成長させるステップを含み得る。孔の各々の中でＬＥＤ構造を成長させるステップは、孔の各々の中で予備層（ｐｒｅｌａｙｅｒ）を成長させるステップを含み得る。孔の各々の中でＬＥＤ構造を成長させるステップは、孔の各々の中で少なくとも１つの活性層を成長させるステップを含み得る。孔の各々の中でＬＥＤ構造を成長させるステップは、孔の各々の中でｐ型層を成長させるステップを含み得る。少なくとも１つの活性層は、ｎ型層とｐ型層との間にあり得る。少なくとも１つの活性層は、少なくとも１つの量子井戸層を含み得、多重量子井戸層を含み得る。これらは、例えば、ＩｎＧａＮ、または、別の適したＩＩＩ族窒化物材料から形成され得る。予備層は、例えば、低いインジウム含有量、および、＜１００ｎｍの典型

的な厚さを伴うＩｎＧａＮ層、または、低いインジウム含有量を伴うＩｎＧａＮ／ＧａＮ超格子（超格子の総合的な厚さは、典型的には３００ｎｍより下である）のいずれかであり得る。ｎ型層およびｐ型層は、さらには、ＧａＮ、ＩｎＧａＮ、またはＡｌＧａＮなどのＩＩＩ族窒化物材料からなり得る。

【００１０】

各々のＬＥＤ構造は、孔のうちのそれぞれの１つの中で成長させられるので、各々のＬＥＤ構造は、そのＬＥＤ構造がその中で成長させられる孔の断面積に等しい、同じ断面積をすべてが有する、複数の層から形成される。

【００１１】

少なくとも１つの活性層は、誘電層の上面より下である上側表面を有し得る。１つの量子井戸層のみが存する場合、上側表面は、その量子井戸層の上側表面である。複数の量子井戸層が存する場合、上側表面は、最も上側の量子井戸層の上側表面である。上向き方向は、半導体層の、および／または、ＬＥＤ構造の成長の方向と定義され得る。

【００１２】

誘電マスク層を形成するステップは、誘電材料の層を成長させるステップと、誘電材料の層内へと孔のアレイをエッチングするステップとを含み得る。代替的には、誘電層は、誘電層の成長の間に、例えばマスクを使用して、後で孔を形成する区域の周囲に成長させられ得る。

【００１３】

方法は、孔の各々の中でＬＥＤ構造を成長させるステップの前に、半導体層の露出された区域の各々をエッチングするステップをさらに含み得る。

半導体層は、ＬＥＤ構造のすべてに対する共通電気的コンタクトを与え得る。

【００１４】

半導体層は、ドープされ得る。例えば、その半導体層は、ｎ型またはｐ型ＩＩＩ族窒化物材料の単一層を含み得る。代替的には、半導体層は、第１のサブレイヤ（ｓｕｂ－ｌａｙｅｒ）と、第２のサブレイヤとを含み得、それらの第１のサブレイヤと第２のサブレイヤとの間のヘテロ界面が、ヘテロ界面において２次元電荷キャリアガスを形成するように配置構成される。サブレイヤは、バッファ層およびバリア層を形成し得る。２次元電荷キャリアガスは、例えば、２次元電子ガス（２ＤＥＧ）であり得る。２次元正孔ガス（２ＤＨＧ）が、さらには使用され得るが、典型的には、これらは、より低い電荷キャリア密度および／または移動度を有する。例えば、ＧａＮの層、および、ＡｌＧａＮもしくはＩｎＧａＮの層、または、より一般的には、異なるＡｌ含有量を伴うＡｌＧａＮの２つの層、もしくは、異なるＩｎ含有量を伴うＩｎＧａＮの２つの層を含むヘテロ構造が、２つの層の間の界面において２ＤＥＧを形成することができ、２ＤＥＧ内の電子密度は、ＡｌＧａＮ層のＡｌ含有量、または、ＩｎＧａＮ層のＩｎ含有量を含むいくつかの要因によって変動するということがよく知られている。他のＩＩＩ族窒化物ヘテロ界面が、同じ効果を伴って使用され得る。

【００１５】

本発明は、半導体層と、誘電層であって、半導体層を超えて広がり、その誘電層を貫通して延びるＬＥＤ構造のアレイを有する、誘電層とを含むＬＥＤアレイをさらに提供する。ＬＥＤ構造は、第１の断面積を各々が有する第１のセットのＬＥＤ構造と、第１の断面積とは異なる第２の断面積を各々が有する第２のセットのＬＥＤ構造とを含み得る。第１の断面積は、第２の断面積より、少なくとも１％大きい、または、少なくとも２％大きいものであり得る。

【００１６】

ＬＥＤ構造の各々は、各々のＬＥＤ構造が、そのＬＥＤ構造がその中で成長させられる孔の断面積と同じである断面積を有するように、各々がその中で成長させられる孔を充塞し得る。それゆえに、ＬＥＤ構造は、第１の断面積を各々が有する第１のセットのＬＥＤ構造と、第１の断面積とは異なる第２の断面積を各々が有する第２のセットのＬＥＤ構造とを含み得る。

【００１７】
第１のセットのＬＥＤ構造は、第１のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成され得、第２のセットのＬＥＤ構造は、第１のピーク波長とは異なる第２のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成され得る。
【００１８】
孔のアレイは、第１および第２の断面積とは異なる第３の断面積を各々が有する第３のセットの孔をさらに含み得る。
【００１９】
ＬＥＤ構造のアレイは、第３のセットの孔の中で成長させられる第３のセットのＬＥＤ構造を含み得、第３のセットのＬＥＤ構造は、第１および第２のピーク波長とは異なる第３のピーク波長を有する光を発光するように各々が配置構成され得る。
【００２０】
例えば、３つのセットは、ＬＥＤ構造の赤セットと、緑セットと、青セットとを含み得る。
【００２１】
ＬＥＤ構造は、複数の群をなして配置構成され得る。方法は、複数のコンタクトを形成するステップであって、コンタクトの各々は、ＬＥＤ構造の群のうちのそれぞれの１つに接続される、形成するステップをさらに含み得る。ＬＥＤ構造の群の各々は、ＬＥＤ構造の他の群から独立に、動作可能であり得、すなわち、オンおよびオフにスイッチングされ得る。このことは、ＬＥＤ構造の群のうちの１つから各々の画素が形成されて製造されることになる画素化ディスプレイ、または、可変色出力を伴う照明システムを可能にすることができる。
【００２２】
ＬＥＤ構造の群の各々は、ＬＥＤ構造のセットの各々からの少なくとも１つのＬＥＤ構造を含み得る。これは、例えば、モノクロームディスプレイまたは白色照明システムにおいて使用され得る。
【００２３】
ＬＥＤ構造の群の各々は、ＬＥＤ構造のセットのうちの１つからのＬＥＤ構造のみを含み得る。これは、例えば、カラーディスプレイデバイスにおいて使用され得る。
【００２４】
本発明は、半導体層と、誘電層であって、半導体層を超えて広がり、その誘電層を貫通する孔のアレイを有する、誘電層と、孔の各々の中に形成されるＬＥＤデバイスとを含むＬＥＤアレイをさらに提供する。アレイは、第１の断面積を有する第１のセットの孔と、第１の断面積とは異なる第２の断面積を有する第２のセットの孔とを含み得る。
【００２５】
方法またはＬＥＤアレイは、任意の作動可能な組み合わせで、付随する図面を参照して今から説明される本発明の好ましい実施形態の任意の１つまたは複数の特徴をさらに含み得る。
【図面の簡単な説明】
【００２６】
【図１ａ】図１ａは、本発明の第１の実施形態によるプロセスにおいて形成された、成長させられた状態の（ａｓ－ｇｒｏｗｎ）テンプレートを示す図である。
【図１ｂ】図１ｂは、図１ａのテンプレートであって、マスキングパターンがそのテンプレートのマスク層内に形成された、図１ａのテンプレートを示す図である。
【図１ｃ】図１ｃは、マイクロＬＥＤがマスク層内の孔内で成長させられた、図１ａのテンプレートを示す図である。
【図１ｄ】図１ｄは、図１ｃのテンプレートであって、電気的コンタクトがそのテンプレート上に形成された、図１ｃのテンプレートを示す図である。
【図２】図１ｄのテンプレートのＬＥＤ構造を通る断面の図である。
【図３】本発明のさらなる実施形態によるＬＥＤアレイの概略平面図である。

【図４】本発明のさらなる実施形態によるＬＥＤアレイの概略平面図である。
【図５ａ】図５ａは、図１ｃのアレイにおける個々のＬＥＤのエレクトロフォトルミネセンスのプロットである。
【図５ｂ】図５ｂは、図１ｃのアレイにおける個々のＬＥＤのエレクトロフォトルミネセンスのプロットである。
【図５ｃ】図５ｃは、図１ｃのアレイにおける個々のＬＥＤのエレクトロフォトルミネセンスのプロットである。
【発明を実施するための形態】
【００２７】
図１ａを参照すると、ＩＩＩ族窒化物、または、他の適した半導体層、例えば、標準的なｎ型ＧａＮ（ｎ－ＧａＮ）層１００が、初期に基板１０２上で成長させられる。基板１０２は、ＧａＮ基板であり得、または、サファイア、ケイ素（Ｓｉ）、炭化ケイ素（ＳｉＣ）、もしくはガラスまでもなどの、任意の異種基板であり得る。ＧａＮ層１００は、有機金属気相エピタキシャル（ＭＯＶＰＥ）もしくは分子ビームエピタキシャル（ＭＢＥ）のいずれか、または、任意の他の適した成長法を使用する、任意の標準的なＧａＮ成長方法の手段により成長させられ得る。結果的に生じる「成長させられた状態のｎ－ＧａＮテンプレート」は、１０μｍより上の厚さを有し得るが、典型的には、厚さは、５００ｎｍから１０μｍの範囲内である。引き続いて、二酸化ケイ素（SiO_2）もしくは窒化ケイ素（ＳｉＮ）、または、任意の他の適した誘電材料などの誘電層１０４が、ＰＥＣＶＤ、または、任意の他の適した堆積法を使用することにより、ｎ－ＧａＮ層１００上に堆積させられる。誘電層の厚さは、２０ｎｍから５００μｍの範囲内であり得る。
【００２８】
図１ｂを参照すると、孔１０６のアレイが、次いで、誘電層１０４内に形成される。孔１０６は、典型的には、マイクロメートルスケールであり、それゆえに、マイクロ孔と呼称される。このことは、手段、フォトリソグラフィ法、および次いで、エッチングプロセス（ドライエッチングまたはウェットエッチングであり得る）により行われ得る。マイクロ孔１０６を形成することにおいて、誘電層１０４は、ｎ－ＧａＮ層１００の上側表面に至るまで、その誘電層１０４の厚さ全体を貫通してエッチングされる。マイクロ孔断面積は異なる。ここでは、断面積は、孔のエッチングの全体的な方向と直角をなす、および、基板の上面表面の面に平行な面における断面を指す。孔は、少なくとも２つのセットの孔を含み、各々のセットの孔は、それぞれの異なる孔断面積を有する。孔１０６が丸みのあるものである場合、それらの孔は、１μｍから５００μｍの直径を有し得、ピッチ距離、すなわち、近接するマイクロ孔の中心の間の距離は、例えば、１μｍから５００μｍであり得る。マイクロ孔区域の中のみの、ｎ－ＧａＮ層１００のさらなるエッチングが、残った誘電層１０４をマスクとして使用して実行され得る。ｎ－ＧａＮエッチング深さは、ｎ－ＧａＮ層厚さに依存して、ゼロ（ＧａＮエッチングがないことを意味する）から１０μｍであり得る。典型的には、最適なエッチング方法または条件は、ｎ－ＧａＮ層１００に対しては、誘電層１０４に対してとは異なることになる。例えば、SF_6エッチングは、誘電層１０４をエッチングするために使用され得るが、ｎ－ＧａＮ層１００はエッチングしないことになる。それゆえに、誘電層１０４を貫通する進路のすべてをエッチングし、半導体層１００の上面表面において停止することが、達成するのに簡単である。このことは、さらには、孔１０６内で成長させられるＬＥＤ構造の品質に対する利点を有する。
【００２９】
孔１０６は、第１のセットの孔１０６ａと、第２のセットの孔１０６ｂとを含み、第３のセットの孔１０６ｃをさらに含み得る。孔１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃの各々のセットは、長方形アレイ、六角形アレイ、または、任意の他の形状アレイなどの、規則的なアレイをなして配置構成され得る。第１のセットの孔１０６ａの直径は、第２のセットの孔１０６ｂの直径より大きく、第２のセットの孔１０６ｂの直径は、ひいては第３のセットの孔１０６ｃの直径より大きい。孔１０６は、さらには、群１０７ａ、１０７ｂをなして配置構成される。各々の群は、１つまたは複数の孔１０６を含み得る。孔の各々の群１０

７ａ、１０７ｂは、図１ｂにおいて破線により示されるような、誘電層１０４のそれぞれの区域内に配置され得る。例えば、図１ｂにおいて示されるように、群１０７ａ、１０７ｂの各々は、セット１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃの各々からの１つの孔を含む。異なる断面積の孔は、下記でより詳細に説明されるように、異なる用途に対して異なる手立てで一体に群分けされ得る。孔の各々の群１０７ａ、１０７ｂは、同じ相対的な位置に配置構成される、同じ断面積を伴う同じ数の孔を含んで、同一であり得、または、他の用途において、群は異なり得る。

【００３０】

孔１０６は、示される実施形態において、丸みのある断面であるが、他の断面、例えば卵形または正方形が使用され得る。

【００３１】

次に、図１ｃを参照すると、標準的なＩＩＩ窒化物ＬＥＤ構造が、ＧａＮ層１００の露出された区域上で成長させられる。しかしながら、ＧａＮ層１００の離散的な区域のみが、誘電層またはマスク内のマイクロ孔１０６により露出されるので、ＬＥＤ構造は、マイクロ孔１０６の間の誘電層１０４の残っている部分により分離される、離散的なＬＥＤ１０８のアレイとして形成される。ＬＥＤ構造１０８は、ＭＯＶＰＥもしくはＭＢＥ法のいずれか、または、任意の他の適した成長法により成長させられる。成長は、ＧａＮ（または他の半導体）層の露出された区域から上向きに起こり、孔１０６の側壁からは起こらない。それゆえに、層状ＬＥＤ構造が、孔１０６の各々の内側で築き上げられ得、層の各々は、実質的に平坦または平面的である。ＬＥＤ構造は、ｎ－ＧａＮ層１１０と、ＩｎＧａＮ予備層と、活性領域１１２と、ブロッキング層としての薄いｐ型ＡｌＧａＮ層（示されない）と、次いで、最終的なｐドープされたＧａＮ層１１４とを含み得る。活性領域１１２は、ＩｎＧａＮベースの多重量子井戸（ＭＱＷ）を含み得る。ＬＥＤ構造の例が、図２を参照して下記でより詳細に説明される。上記で述べられたように、誘電マスク１０４に起因して、ＬＥＤ構造は、μＬＥＤアレイを形成して、図１ｃにおいて示されるように、マイクロ孔１０６の中でのみ成長させられ得る。各々のＬＥＤ構造１０８は、その各々のＬＥＤ構造がその中で成長させられる孔１０６を実質的に充塞することになる。それゆえに、ＬＥＤは、異なる断面積、およびゆえに、異なる発光特性の、いくつかの、示される例においては３つのセットのＬＥＤを含む。ここでは、断面積は、ＬＥＤ構造の成長の全体的な方向と直角をなす面における面積を指す。この断面積は、典型的には、ＬＥＤ構造１０８の高さにわたって実質的に一定であることになる。例えば、最も大きい断面積を有する第１のセットのＬＥＤ構造１０８ａと、第１のセットより小さい断面積を有する第２のセットのＬＥＤ構造１０８ｂと、なおもより小さい断面積を有する第３のセットのＬＥＤ構造１０８ｃとが存し得る。ＬＥＤの各々のセットは、誘電層１０４内に規則的なアレイをなして配置構成される。例えば、ＬＥＤの各々のセットは、長方形アレイ、または、任意の他の形状アレイをなして配置構成され得る。長方形アレイ、または、任意の他の形状アレイは、１つのセットからの各々のＬＥＤが、他のセットの各々からの１つのＬＥＤと群を形成するように、図１ｃにおいて示されるように、同じ間隔を各々が有し得るが、互いからずらされ得る。ＬＥＤの異なる群分けが必要とされる、他の配置構成において、ＬＥＤの異なるセットは、異なるタイプのアレイをなして各々が配置構成され得る。ＬＥＤの各々の群は、同じ相対的な位置において配置構成される、同じ断面積を伴う同じ数のＬＥＤを含んで、同一であり得、または、他の用途において、群は異なり得る。

【００３２】

ＩｎＧａＮ　ＭＱＷ１１２の最も上側の層は、誘電層１０４の上側表面より上で広がるべきでないことが重要である。さもなければ、この広がることは、テンプレートが最終的なμＬＥＤアレイとして製作された後に短絡効果を生じさせることがある。また、マイクロ孔区域の各々の中の過成長させられた状態の（ｏｖｅｒｇｒｏｗｎ）ｎ－ＧａＮ１１０は、すべての個々のμＬＥＤが、誘電マスク１０４の下方のエッチングされない部分のｎ－ＧａＮ層１００によって互いに電気的に接続されるように、誘電マスク１０４の下方のテンプレートのエッチングされない部分の中のｎ－ＧａＮ層１００に直接的に接触するこ

とも、重要である。

【００３３】

図１ｄを参照すると、ＬＥＤアレイ構造が完成させられると、アレイに対する電気的コンタクトの形成を含む、さらなるデバイス製作が遂行される。例えば、上側コンタクト層１１６が、誘電マスク層１０４の上方に、および、個々のマイクロＬＥＤデバイス１０８の上側ｐ－ＧａＮ層の上方に形成され得る。上側コンタクト層１１６は、それゆえに、ＬＥＤデバイス１０８のすべてに対する共通ｐコンタクトを形成する。上側コンタクト層１１６は、ＩＴＯまたはＮｉ／Ａｕ合金から形成され得る。アノード１１８が、次いで、ｐコンタクト層１１６上に形成され得る。例えば、誘電層１０４の一部分が、エッチングで除かれ得、次いで、エッチングされた誘電層セクション上のＬＥＤ構造の一部分が、さらには、ｎ－ＧａＮに至るまでエッチングされ得、そのことが、ｎ－ＧａＮ１００の区域１２０を露出させ、カソード１２２が、ｎ－ＧａＮのその露出された区域１２０上に形成され得る。

【００３４】

この手立てで製造されるマイクロＬＥＤ構造は、現在のマイクロＬＥＤが有することができないいくつかの特有の特徴を呈する。同一の成長条件のもとで、異なる直径を伴うマイクロＬＥＤは、異なる発光波長を呈することができる。このことは、いくつかの機構の組み合わせに起因する。第１に、マイクロ孔の中で成長させられるマイクロＬＥＤにおける発光領域としてのＩｎＧａＮ／ＧａＮ多重量子井戸（ＭＱＷ）の成長率が、マイクロ孔直径に依存する。ＩｎＧａＮ　ＭＱＷの異なる厚さは、異なる発光波長を示す。第２に、ＩｎＧａＮ／ＧａＮ　ＭＱＷのインジウム取り込み率が、さらにはマイクロ孔直径に依存する。異なるインジウム含有量は、ＩｎＧａＮ／ＧａＮ　ＭＱＷの発光波長における差につながる。第３に、横方向に沿ったＩｎＧａＮ／ＧａＮ　ＭＱＷの歪み緩和が、マイクロ孔直径に依存し、さらには、ＩｎＧａＮ／ＧａＮ　ＭＱＷの発光波長における差を結果的に生じさせる。それゆえに、例えば、最適化された成長条件のもとで、各々の群内の３つの異なる直径を伴う３つのセットのマイクロＬＥＤは、赤、青、および緑発光を発光することができる。各々の群内に異なる直径を伴う２つのマイクロＬＥＤが存する場合、それらのマイクロＬＥＤは、青および黄を発光することができる。各々の群内に異なる直径を伴う４つのマイクロＬＥＤが存する場合、それらのマイクロＬＥＤは、赤、青、緑、および黄を発光することができる。これら、事例の各々において、白色光が、ＬＥＤの各々の群から生み出され得る。演色評価数および色温度が、追加余分マイクロＬＥＤにより調節され得る。例えば、色温度を増大するために、緑または黄または赤などの、長い発光のための、同一の直径を伴う２つのマイクロ孔が、各々の群内に、異なる直径を伴う２つの他のマイクロ孔とともに含まれ得る。色温度を減少するために、青などの短い発光波長のための、同一の直径を伴う２つのマイクロ孔が、各々の群内に、異なる直径を伴う２つの他のマイクロ孔とともに含まれ得る。

【００３５】

例として、図５ａから図５ｃを参照して下記で論考されるように、１０μｍの直径を各々が伴うμＬＥＤのアレイにおいて青光が発光され、２０μｍの直径を各々が伴うμＬＥＤのアレイにおいて緑光が発光され、３０μｍの直径を各々が伴うμＬＥＤのアレイにおいて赤光が発光されることを実験が示している。これらのマイクロＬＥＤは、同じ成長進行における、同一の条件のもとでの、対応する異なる直径を伴うマイクロ孔の中での成長により得られた。

【００３６】

異なるセットのＬＥＤの、光の波長、およびゆえに断面積は、任意の特定の用途の要求に依存して選択され得る。典型的には、異なるセットのＬＥＤの、波長、およびゆえに断面積の間にかなり大きい差が存することになる一方で、孔１０６を形成するフォトリソグラフィプロセスは、非常に正確であり、そのため、ミクロンスケールでのＬＥＤに対して、例えば２％に、または１％にまでも至る、断面積の差が、制御される様式で生み出され得る。

【００３７】
上記で説明された実施形態に対する様々な変形が可能であるということが認識されよう。例えば、１つの変形例においては、構造が反対にされ、ｐ－ＧａＮ層が基板上で成長させられ、誘電層により覆われ、次いで、ＬＥＤデバイス１０８のｐ－ＧａＮ層が最初に形成され、多重量子井戸層、および次いで、ｎ－ＧａＮ層が後に続く。ｎコンタクト層が、次いで、ｐコンタクト層に代わって誘電層の上面の上方に形成され、アノードおよびカソードの位置が逆にされる。
【００３８】
図１ａから図１ｄの構成において、マイクロ孔１０６の中の過成長させられた状態のｎ－ＧａＮ１１０は、すべての個々のμＬＥＤ１０８がｎ－ＧａＮ層１００によって互いに電気的に接続されるように、誘電マスク１０４の下方のｎ－ＧａＮ層１００のエッチングされない部分のｎ－ＧａＮと一致しなければならない。誘電マスク１０４の下方のエッチングされないｎ－ＧａＮ部分のｎ－ＧａＮ１００を、電気的に接続されるチャネルとして使用する代わりに、さらなる実施形態において、ヘテロ接合において２次元電子ガス（２ＤＥＧ）を伴うＩＩＩ族窒化物ヘテロ構造が、ｎ－ＧａＮ層の代わりに、半導体層として使用される。この実施形態において、標準的なＡｌＧａＮ／ＧａＮ　ＨＥＭＴ構造が使用される。高電子移動度トランジスタ（ＨＥＭＴ）構造のＡｌＧａＮバリアとＧａＮバッファとの間の界面において形成される、高いシートキャリード密度（ｓｈｅｅｔ　ｃａｒｒｉｅｄ　ｄｅｎｓｉｔｙ）、および、高い電子移動度を伴う電子ガス（２ＤＥＧ）が、電気的に接続されるチャネルとして使用される。
【００３９】
そのようなデバイスを製造するために、標準的なＡｌＧａＮ／ＧａＮ　ＨＥＭＴ構造が、最初に、ＭＯＶＰＥもしくはＭＢＥ法のいずれかまたは任意の他のエピタキシャル法を使用する、任意の標準的なＧａＮ成長手法の手段により、ＧａＮ、基板、または、サファイア、Ｓｉ、ＳｉＣ、もしくはガラスまでもなどの、任意の異種基板上で成長させられる。例えば、バッファ層を形成するＧａＮ層が、基板上で成長させられ得、次いで、バリア層を形成するＡｌＧａＮ層が、ＧａＮ層上で成長させられる。この構造は、本明細書において「成長させられた状態のＨＥＭＴテンプレート」と呼称される。引き続いて、例えば２ｎｍから５００μｍの範囲内の厚さを伴う、SiO_2もしくはＳｉＮ、または、任意の他の誘電材料などの誘電層が、ＰＥＣＶＤ、または、任意の他の適した堆積法を使用することにより、成長させられた状態のＨＥＭＴテンプレート上に堆積させられる。結果的に生じる構造は、図１ａにおいて示される構造と同じであることになるが、ｎ－ＧａＮ層１００に代わってＨＥＭＴ構造を伴う。そのことの後に、フォトリソグラフィ法、および次いで、エッチングプロセス（ドライエッチングまたはウェットエッチングであり得る）の手段により、誘電層は、誘電層内にマイクロ孔アレイを形成するために、ＨＥＭＴ構造の表面に至るまでエッチングされ、その場合、マイクロ孔直径は、１μｍから５００μｍであり得、近接する孔中心の間のピッチ距離は、１０μｍから５００μｍの範囲内であり得る。マイクロ孔区域の中で、成長させられた状態のＨＥＭＴをさらにエッチングすることが、誘電層の残った領域をマスクとして使用して実行され得る。成長させられた状態のＨＥＭＴエッチング深さは、成長させられた状態のＨＥＭＴテンプレートのＡｌＧａＮバリア位置に依存して、ゼロ（エッチングが全くないことを意味する）から１０μｍであり得る。しかしながら、一般的には、エッチングは、ＬＥＤ構造の各々と２ＤＥＧとの間の良好な電気的接触を与えるように、少なくとも、成長させられた状態のＨＥＭＴ構造の２つの層の間のヘテロ界面と同じほど遠方に、下向きに延びることになる。
【００４０】
次に、標準的なＩＩＩ窒化物ＬＥＤ構造が、例えば図１ｃを参照して上記で説明されたように、ＭＯＶＰＥもしくはＭＢＥ法のいずれか、または、任意の他のエピタキシャル技法により、マイクロ孔によって特徴付けられる、誘電マスクをパターニングされたＨＥＭＴテンプレート上で成長させられ、コンタクトが、例えば図１ｄを参照して上記で説明されたように与えられる。図１ａから図１ｄの実施形態と同様に、重要な点は、ＩｎＧａＮ

ＭＱＷ２１２の上側表面は、最終的なμＬＥＤアレイとして製作された後に、短絡効果を回避するように、誘電層２０４の上側表面より下であるべきであるということである。

【００４１】

図２を参照すると、図１ａから図１ｄのＬＥＤアレイ内のＬＥＤ構造は、任意の適した構造を有し得、典型的には、複数の層を含むことになる。１つの例において、それらのＬＥＤ構造は、ｎ－ＧａＮ層２１０と、ｎ－ＧａＮ層２１０の上方に形成されるＩｎＧａＮ予備層２１６と、予備層２１６の上方に形成されるいくつかのＩｎＧａＮ量子井戸層２１２と、例えばｐ－ＡｌＧａＮの、ｐドープされたブロッキング層２１８と、次いで、ｐ－ＧａＮ層２１４とを含み得る。この構造は、いくつかの手立てで変動させられ得るということが認識されよう。上記で指摘されたように、量子井戸層２１２のうちの最も上側のものの上面は、誘電層の上面より下であることが好ましい。ブロッキング層２１８の上面は、さらに誘電層の上面より下であることが、さらには好ましい。

【００４２】

図１ａから図１ｄに戻って参照すると、これらの図において示される実施形態において、ＬＥＤの小さい群１０７ａ、１０７ｂのうちの数個が、単一のコンタクト層１１６により覆われる、３つのセットの孔１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃの各々からのＬＥＤを含む、ＬＥＤの大きい群として扱われる。このことは、白色光源を生み出すために、コンタクト１１８を使用してターンオンおよびオフされ得る、単一の区域を結果的に生じさせる。しかしながら、異なるサイズのＬＥＤ、および、それらのＬＥＤのスイッチングコンタクトが、用途に依存する様々な異なる手立てで配置構成され得るということが認識されよう。

【００４３】

図３を参照すると、ＬＥＤ構造が、図１ａから図１ｄのＬＥＤ構造と同様の様式で配置設計される、すなわち、ＬＥＤの群３０７ａ、３０７ｂを伴い、各々の群は、その群内に３つのＬＥＤ３０６ａ、３０６ｂ、３０６ｃを有し、３つのＬＥＤの各々は、異なる断面積、ならびにゆえに、異なる発光スペクトルおよびピーク波長のものである、配置構成において、各々の群３０７ａ、３０７ｂは、別個のコンタクトがＬＥＤの各々の群に対して与えられ得るように、その各々の群の上方に広がるそれぞれのコンタクト層区域３１６ａ、３１６ｂを有し得る。このことは、ＬＥＤの群の各々が、他のものから独立にオンおよびオフにスイッチングされることを可能とする。このことは、例えば、モノクロームディスプレイ、例えば白色ディスプレイにおいて有用であり得る。

【００４４】

図４を参照すると、ＬＥＤの各々は、ＬＥＤの各々が、他のものから独立にアクティブ化され得るように、その各々の上方に広がる別個のコンタクト層４１６ａ、４１６ｂ、４１６ｃを有し得る。この配置構成は、例えば、各々の画素が赤、緑、または青として照らされ得る、カラーディスプレイにおいて使用され得る。

【００４５】

図５ａ、図５ｂ、および図５ｃを参照すると、マイクロＬＥＤのアレイが、図１ａから図１ｄを参照して上記で説明されたように製造されたが、各々の事例において、各々のアレイ内のＬＥＤのすべては、同じ直径を有し、１つのアレイは１０μｍ直径ＬＥＤを伴い、１つは２０μｍ直径ＬＥＤを伴い、１つは３０μｍ直径ＬＥＤを伴った。ＬＥＤのアレイの各々のエレクトロフォトルミネセンスが測定され、結果は、示されるようなものであった。分かるように、１０μｍ直径ＬＥＤは、約５００ｎｍにおいてピーク波長を有し、それらのＬＥＤが発光する光は青に見受けられ、２０μｍ直径ＬＥＤは、約５２０ｎｍにおいてピーク波長を有し、それらのＬＥＤが発光する光は緑に見受けられ、３０μｍ直径ＬＥＤは、約６１０ｎｍにおいてピーク波長を有し、それらのＬＥＤが発光する光は赤に見受けられる。図１ｃのものなどの、多色アレイ内の異なるＬＥＤの直径は、色の異なる組み合わせを達成するように調整され得るということが認識されよう。

【図面】

【図１ａ】

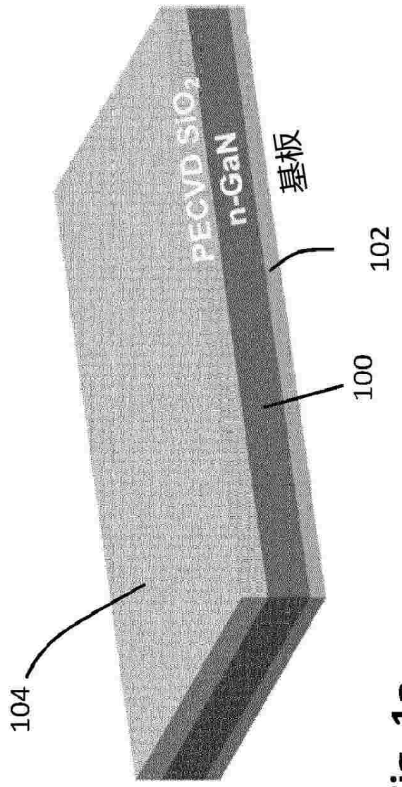


Fig. 1a

【図１ｂ】

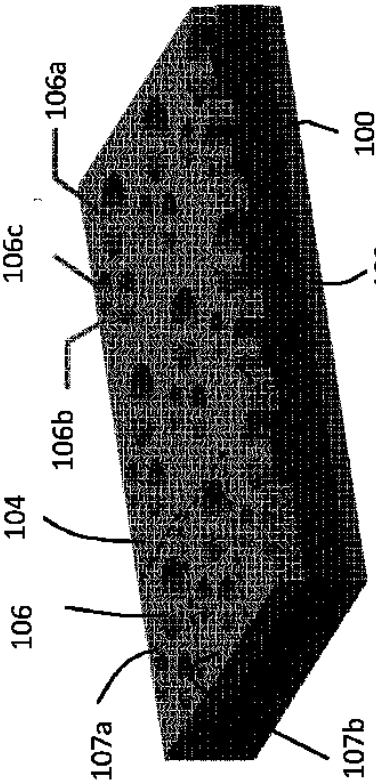


Fig. 1b

【図１ｃ】

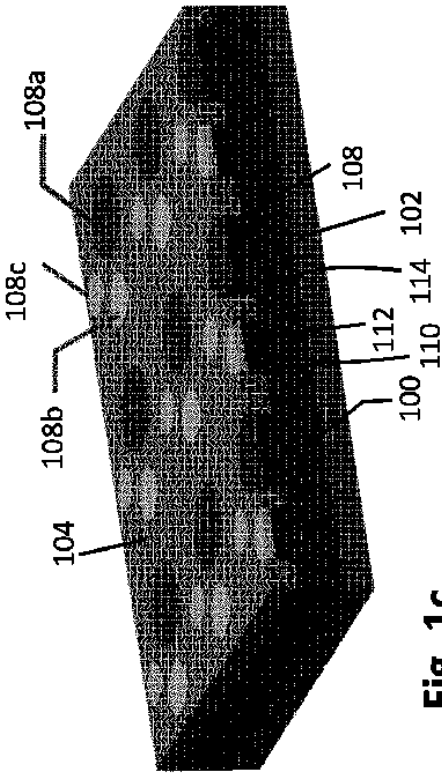


Fig. 1c

【図１ｄ】

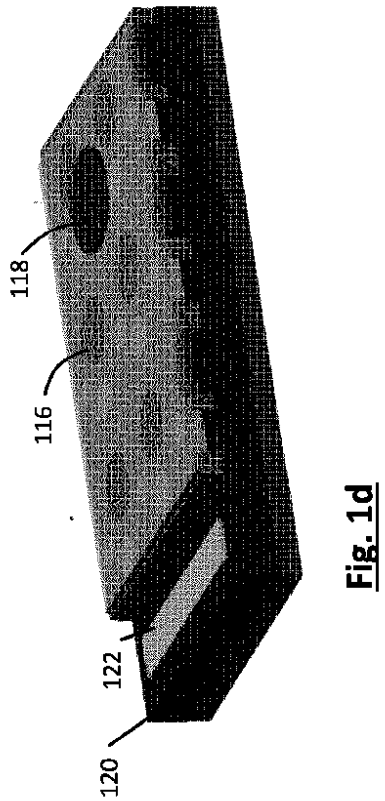
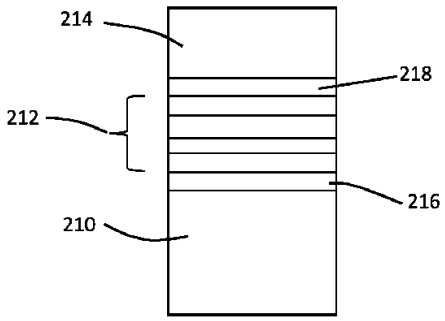


Fig. 1d

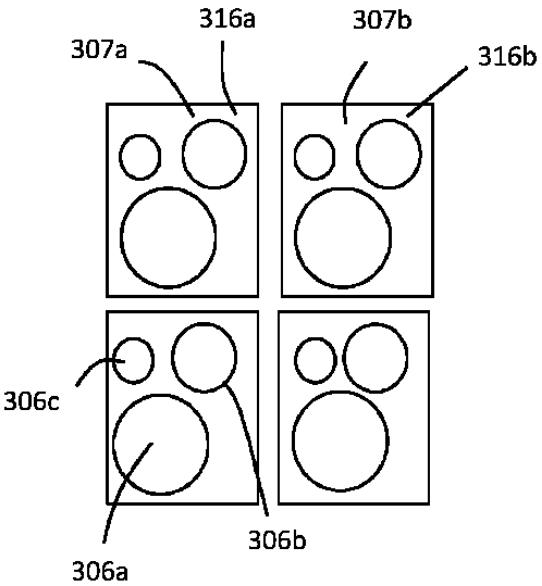
【図２】

Fig. 2



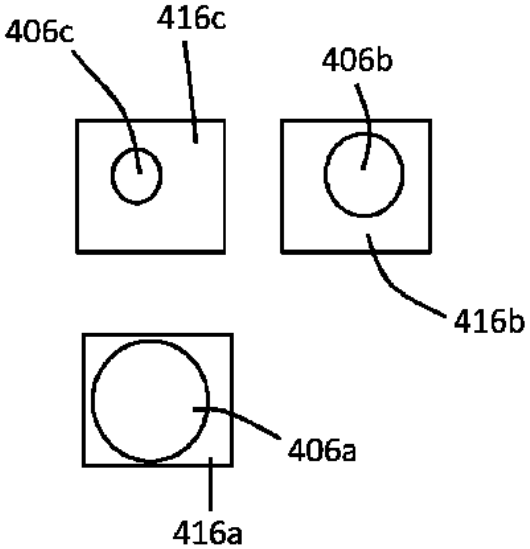
【図３】

Fig. 3



【図４】

Fig. 4



【図５ａ】

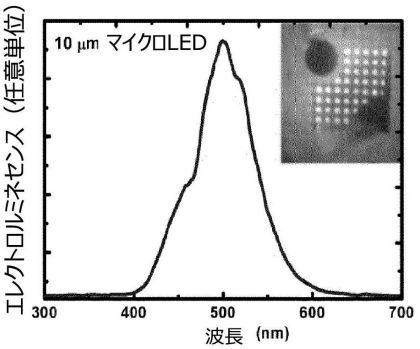


Fig. 5a

【図５ｂ】

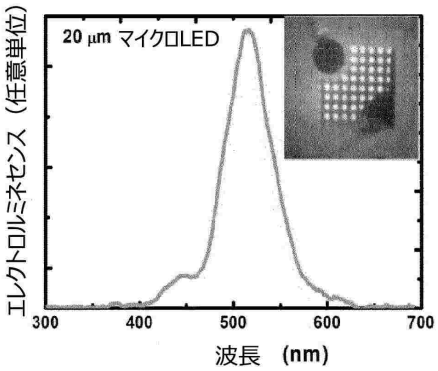


Fig. 5b

【図５ｃ】

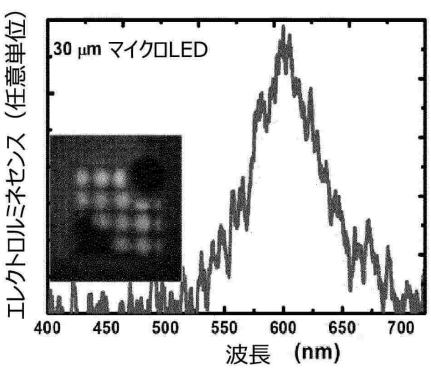


Fig. 5c

フロントページの続き

(72)発明者　ワーン，タオ
イギリス国シェフィールド エス１ ３ジェイディー，マッピン・ストリート，ザ・ユニバーシティ・オブ・シェフィールド，デパートメント・オブ・エレクトロニック・アンド・エレクトリカル・エンジニアリング

審査官　佐藤 美紗子

(56)参考文献　特表２０１６－５２７７０６（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　３３／００－３３／４６