

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7278421号
(P7278421)

(45)発行日 令和5年5月19日(2023.5.19)

(24)登録日 令和5年5月11日(2023.5.11)

(51)国際特許分類	F I
G 0 9 F 9/00 (2006.01)	G 0 9 F 9/00 3 3 8
H 0 1 L 33/50 (2010.01)	H 0 1 L 33/50
G 0 9 F 9/33 (2006.01)	G 0 9 F 9/33
G 0 9 F 9/30 (2006.01)	G 0 9 F 9/30 3 4 9 B

請求項の数 13 (全16頁)

(21)出願番号	特願2021-568121(P2021-568121)	(73)特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050 3050 Bowers Avenue Santa Clara CA 95054 U.S.A.
(86)(22)出願日	令和2年5月15日(2020.5.15)	(74)代理人	110002077 園田・小林弁理士法人
(65)公表番号	特表2022-532380(P2022-532380A)	(72)発明者	チャン, ダイファ アメリカ合衆国 カリフォルニア 940 最終頁に続く
(43)公表日	令和4年7月14日(2022.7.14)		
(86)国際出願番号	PCT/US2020/033054		
(87)国際公開番号	WO2020/236551		
(87)国際公開日	令和2年11月26日(2020.11.26)		
審査請求日	令和4年1月12日(2022.1.12)		
(31)優先権主張番号	16/416,098		
(32)優先日	令和1年5月17日(2019.5.17)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 凹部内の色変換層のインシトゥ硬化

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

多色ディスプレイを製造する方法であって、

複数の凹部を含む外面を有するカバー層の下方に配置された発光ダイオードのアレイを有するディスプレイ上に、第1の光硬化性流体を、当該第1の光硬化性流体が前記凹部を充填するように分配することであって、前記カバー層が前記発光ダイオードのアレイに渡って延在し、前記複数の凹部が前記カバー層を完全に貫通することなく部分的に延び、各発光ダイオードが、対応する凹部を有し、前記発光ダイオードがバックプレーンのバックプレーン回路と電気的に一体化されており、前記第1の光硬化性流体が第1の色変換剤を含む、第1の光硬化性流体を分配することと、

前記発光ダイオードのアレイ内の第1の複数の発光ダイオードを作動させて、前記第1の光硬化性流体を照射して硬化させ、前記第1の複数の発光ダイオードの上の第1の複数の凹部内に、前記第1の複数の発光ダイオードからの光を第1の色の光に変換する第1の色変換層を形成することと、

前記第1の光硬化性流体の未硬化残留物を除去することと、

その後、第2の光硬化性流体を、前記複数の凹部のうち前記第1の色変換層によって充填されていない凹部を当該第2の光硬化性流体が充填するように、前記ディスプレイ上に分配することであって、前記第2の光硬化性流体が第2の色変換剤を含み、前記第1の光硬化性流体及び前記第2の光硬化性流体の少なくとも一つが溶媒を含む、第2の光硬化性流体を分配することと、

前記発光ダイオードのアレイ内の第2の複数の発光ダイオードを作動させて、前記第2の光硬化性流体を照射して硬化させ、前記第2の複数の発光ダイオードの上の第2の複数の凹部内に、前記第2の複数の発光ダイオードからの光を第2の異なる色の光に変換する第2の色変換層を形成することと、

前記第2の光硬化性流体の未硬化残留物を除去することと、
前記第1の光硬化性流体及び前記第2の光硬化性流体の前記少なくとも一つを硬化した後に、前記溶媒を蒸発させることと、
 を含む、方法。

【請求項2】

第3の光硬化性流体を、前記複数の凹部のうち前記第1の色変換層及び前記第2の色変換層によって充填されていない凹部を当該第3の光硬化性流体が充填するように、前記ディスプレイ上に分配することであって、前記第3の光硬化性流体が第3の色変換剤を含む、第3の光硬化性流体を分配することと、

10

前記発光ダイオードのアレイ内の第3の複数の発光ダイオードを作動させて、前記第3の光硬化性流体を照射して硬化させ、前記第3の複数の発光ダイオードの上の第3の複数の凹部内に、前記第3の複数の発光ダイオードからの光を第3の異なる色の光に変換する第3の色変換層を形成することと、

前記第3の光硬化性流体の未硬化残留物を除去することと
 をさらに含む、請求項1記載の方法。

【請求項3】

20

前記第1の色、前記第2の色、及び前記第3の色が、青色、緑色及び赤色から選択される、請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記発光ダイオードのアレイの発光ダイオードが、紫外光を生成するよう構成される、請求項2に記載の方法。

【請求項5】

前記発光ダイオードのアレイが、第3の複数の発光ダイオードを含み、色変換層が、前記第3の複数の発光ダイオードの上に形成されない、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

前記発光ダイオードのそれぞれがダイオード構造を備え、前記ダイオード構造が、第1のドーピングを有する第1の半導体層と、第2の反対のドーピングを有する第2の半導体層と、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層との間の活性層と、を含む、請求項1に記載の方法。

30

【請求項7】

前記第2の半導体層が最上層を提供し、前記複数の凹部が、前記第2の半導体層の、前記活性層からより遠い表面に形成される、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

複数の光学的分離構造が、前記カバー層より下方の、前記発光ダイオードのアレイの隣り合う発光ダイオード間の前記バックプレーン上に形成される、請求項1に記載の方法。

【請求項9】

40

前記第1の複数の発光ダイオードの作動中に、前記光学的分離構造は、前記第1の複数の発光ダイオードからの照射が前記第2の複数の発光ダイオードに到達するのを阻止する、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

前記光学的分離構造が導電性である、請求項8に記載の方法。

【請求項11】

前記光学的分離構造が、前記発光ダイオードを前記バックプレーン回路に接続するための導電性パッドを含む、請求項10に記載の方法。

【請求項12】

多色ディスプレイであって、

50

バックプレーン回路を有するバックプレーンと、

前記バックプレーンのバックプレーン回路と電気的に一体化されたマイクロLEDのレイであって、前記レイの前記マイクロLEDが、同じ波長範囲の照射を生成するよう構成されたダイオード構造を含む、マイクロLEDのレイと、

前記マイクロLEDのレイを覆って延在するカバー層であって、前記カバー層の外表面の、前記ダイオード構造からより遠い前記カバー層の側に複数の凹部を有し、前記複数の凹部の各凹部が、複数の前記マイクロLEDのうち対応するマイクロLEDの上に配置される、カバー層と、

第1の複数の発光ダイオードの上の各凹部内の第1の色変換層であって、前記第1の複数の発光ダイオードからの前記照射を第1の色の光に変換する第1の色変換層と、

第2の複数の発光ダイオードの上の各凹部内の第2の色変換層であって、前記第2の複数の発光ダイオードからの前記照射を第2の異なる色の光に変換する第2の色変換層と、
前記カバー層より下方の、前記発光ダイオードのレイの隣り合う発光ダイオード間の前記バックプレーン上に形成された複数の光学的分離構造と、

を備えた、多色ディスプレイ。

【請求項13】

前記ダイオード構造のそれぞれが、第1のドーピングを有する第1の半導体層と、第2の反対のドーピングを有する第2の半導体層と、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層との間の活性層とを含み、第2の半導体層が前記カバー層を提供する、請求項12に記載のディスプレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、概して、マイクロLEDディスプレイの製造に関する。

【背景技術】

【0002】

発光ダイオード(LED: light emitting diode)パネルはLEDのレイを使用し、ここでは、個々のLEDが、個々に制御可能なピクセル要素を提供する。このようなLEDパネルは、コンピュータ、タッチパネルデバイス、PDA(Personal Digital Assistant)、携帯電話、テレビモニタ等に使用される。

【0003】

III-V族半導体技術に基づくミクロンスケールのLED(マイクロLEDとも称される)を使用するLEDパネルは、OLEDと比較して、例えば、より高いエネルギー効率、輝度、及び寿命、並びに、製造を簡素化するディスプレイ積層体中のより少ない材料層など、様々な利点を有するであろう。しかしながら、マイクロLEDパネルの製造には課題がある。様々な色の発光(例えば、赤色、緑色及び青色のピクセル)を有するマイクロLEDは、別々のプロセスを介して、異なる基板上に作製する必要がある。複数色のマイクロLEDデバイスを単一パネル上に統合するには、マイクロLEDデバイスをその元のドナー基板から指定の基板へと移送するためのピックアンドプレース(pick-and-place)ステップが必要である。このことには、LED構造又は加工プロセスの修正が含まれることが多く、例えば、ダイの解放を容易にするために犠牲層を導入することなどが含まれる。さらに、配置精度に対する厳しい要件(例えば、1µm未満)によって、スループット、最終歩留まり、又はその双方が制限される。

【0004】

ピックアンドプレースステップなしで行う代替的なアプローチは、モノクロLEDを用いて作製された基板上の特定のピクセル位置に、色変換剤(例えば、量子ドット、ナノ構造、蛍光材料又は有機物)を選択的に堆積させることである。モノクロLEDは、比較的短い波長の光、例えば紫色又は青色の光を生成することができ、色変換剤が、この短い波長の光をより長い波長の光へと変換することが可能であり、例えば、赤色のピクセルにつ

10

20

30

40

50

いての赤色光、又は緑色のピクセルについての緑色光へと変換することが可能である。色変換剤の選択的堆積が、高解像度シャドウマスク、又は制御可能なインクジェット若しくはエアロゾルジェット印刷を用いて行われうる。

【発明の概要】

【0005】

一態様において、多色ディスプレイを製造する方法は、複数の凹部を含む外面を有するカバー層の下方に配置された発光ダイオードのアレイを有するディスプレイ上に、第1の光硬化性流体を、当該第1の光硬化性流体が凹部を充填するように分配することを含む。各発光ダイオードが、対応する凹部を有し、発光ダイオードが、バックプレーンのバックプレーン回路と電氣的に一体化されており、第1の光硬化性流体が、第1の色変換剤を含む。発光ダイオードのアレイ内の第1の複数の発光ダイオードが作動させられて、第1の光硬化性流体が照射されて硬化させられ、第1の複数の発光ダイオードの上の第1の複数の凹部内に、第1の複数の発光ダイオードからの光を第1の色の光に変換する第1の色変換層が形成される。第1の光硬化性流体の未硬化残留物が除去される。その後、第2の光硬化性流体が、複数の凹部のうち、第1の色変換層によって充填されていない凹部を当該第2の光硬化性流体が充填するように、ディスプレイ上に分配される。第2の光硬化性流体が、第2の色変換剤を含む。発光ダイオードのアレイ内の第2の複数の発光ダイオードが作動させられて、第2の光硬化性流体が照射されて硬化させられ、第2の複数の発光ダイオードの上の第2の複数の凹部内に、第2の複数の発光ダイオードからの光を第2の異なる色の光に変換する第2の色変換層が形成される。第2の光硬化性流体の未硬化残留物が除去される。

10

20

【0006】

実施形態は、以下の特徴のうちの一つ以上を含みうる。

【0007】

第3の光硬化性流体が、複数の凹部のうち、第1の色変換層及び第2の色変換層によって充填されていない凹部を当該第3の光硬化性流体が充填するように、ディスプレイ上に分配されうる。第3の光硬化性流体が、第3の色変換剤を含みうる。発光ダイオードのアレイ内の第3の複数の発光ダイオードを作動させて、第3の光硬化性流体を照射して硬化させ、第3の複数の発光ダイオードの上の第3の複数の凹部内に、第3の複数の発光ダイオードからの光を第3の異なる色の光に変換する第3の色変換層を形成しうる。第3の光硬化性流体の未硬化残留物が除去されうる。

30

【0008】

第1の色、第2の色、及び第3の色が、青色、緑色及び赤色から選択されうる。発光ダイオードのアレイの発光ダイオードが、紫外光を生成するよう構成されうる。発光ダイオードのアレイが、第3の複数の発光ダイオードを含んでよく、色変換層が第3の複数の発光ダイオードの上に形成される必要がない。

【0009】

第1の複数の発光ダイオードを作動させることで、第1の光硬化性流体を硬化させて、第1の色変換層を形成することができ、ここで、第1の色変換層の上面は、層の外面より下方にある。第1の複数の発光ダイオードを作動させることで、第1の光硬化性流体を硬化させて、第1の色変換層を、当該第1の色変換層が凹部をオーバーフローするように形成することができる。

40

【0010】

前記発光ダイオードのそれぞれがダイオード構造を含むことができ、ダイオード構造が、第1のドーピングを有する第1の半導体層と、第2の反対のドーピングを有する第2の半導体層と、第1の半導体層と第2の半導体層との間の活性層と、を含む。発光ダイオードが、マイクロLEDでありうる。第1半導体層がn型GaN層であってよく、第2半導体層がp型GaN層であってよい。第2の半導体層が、最上層を提供することができる。複数の凹部が、第2半導体層の、活性層からより遠い表面に形成されうる。

【0011】

50

複数の光学的分離構造が、カバー層の下方の、発光ダイオードのアレイの隣り合う発光ダイオード間のバックプレーン上に形成されうる。第1の複数の発光ダイオードの作動中に、光学的分離構造は、第1の複数の発光ダイオードからの照射が第2の複数の発光ダイオードに到達するのを阻止しうる。光学的分離構造が導電性でありうる。光学的分離構造が、発光ダイオードをバックプレーン回路に接続するための導電性パッドでありうる。

【0012】

第1の光硬化性流体及び第2の光硬化性流体の少なくとも一方が溶媒を含みうる。溶媒が蒸発させられうる。

【0013】

紫外線遮断層が、発光ダイオードのアレイの上に形成されうる。

10

【0014】

他の態様において、多色ディスプレイが、バックプレーン回路を有するバックプレーンと、バックプレーンのバックプレーン回路と電気的に一体化されたマイクロLEDのアレイと、

マイクロLEDのアレイを覆って延在するカバー層と、

カバー層のダイオード構造からより遠い側の、カバー層の外面上における複数の凹部であって、複数の凹部の各凹部が、複数のマイクロLEDのうち対応するマイクロLEDの上に配置される、複数の凹部と、

第1の複数の発光ダイオードの上の各凹部内の第1の色変換層であって、第1の複数の発光ダイオードからの照射を第1の色の光に変換する第1の色変換層と、

20

第2の複数の発光ダイオードの上の各凹部内の第2の色変換層であって、第2の複数の発光ダイオードからの照射を第2の異なる色の光に変換する第2の色変換層と、を含む。

アレイのマイクロLEDが、同じ波長範囲の照射を生成するよう構成されたダイオード構造を含む。

【0015】

実施形態は、以下の特徴のうちの1つ以上を含みうる。

【0016】

ダイオード構造のそれぞれが、第1のドーピングを有する第1の半導体層と、第2の反対のドーピングを有する第2の半導体層と、第1の半導体層と第2の半導体層との間の活性層と、を含みうる。第2の半導体層が、カバー層を提供しうる。

30

【0017】

複数の光学的分離構造が、カバー層より下方の、発光ダイオードのアレイの隣り合う発光ダイオード間のバックプレーン上に形成されうる。第1の色変換層が、カバー層の外面上より下方の上面を有しうる。第1の色変換層が、凹部をオーバーフローしうる。紫外線遮断層が、カバー層の上に配置されうる。

【0018】

実施形態は、任意選択的に、以下の利点のうちの1つ以上を提供することが可能である(以下の利点のうちの1つ以上には限定されない)。

40

【0019】

処理ステップ(コーティング、インシトゥ(in-situ)硬化、及びリンス)が、大規模なフォーマット及び高スループット動作を支援する。したがって、色変換剤が、より高い歩留まり及びスループットで、マイクロLEDのアレイの上に選択的に形成されうる。このことにより、多色マイクロLEDディスプレイを商業的に実行可能なやり方で製造することが可能となる。可撓性の及び/又は伸縮自在なディスプレイが、より容易に製造されうる。インシトゥ硬化により、アライメント精度が自動的に保証されうる。凹部内にカラー変換層を設けることにより、当該層をダイオード構造と自動的に位置合わせすることが可能である。

【0020】

50

ホストポリマーが、ダイの保護のためのパッシベーション層として機能しうる。ホストポリマーは、機能性成分と適切に混合された場合には、他の機能、例えば、光学的性能を提供することも可能である。

【0021】

他の態様、特徴、及び利点が、明細書の記載及び図面、並びに特許請求の範囲から明らかとなる。

【0022】

以下では、様々な実施態様について説明する。1つの実行形態の要素及び特徴は、異なる記載がなくとも他の実施形態に有益に組み込まれうると想定される。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】すでにバックプレーンと一体化されているマイクロLEDアレイの概略的な上面図である。

【図2A】マイクロLEDアレイの一部分の概略的な上面図である。

【図2B】図2AからのマイクロLEDアレイの一部分の概略的な断面図である。

【図3A-D】マイクロLEDアレイの上に選択的に色変換剤(CCA)層を形成する方法を示す。

【図3E-H】マイクロLEDアレイの上に選択的に色変換剤(CCA)層を形成する方法を示す。

【図4A-C】光硬化性流体の配合を示す。

【図5A-E】バックプレーン上にマイクロLEDアレイ及び分離壁を作製する方法を示す。

【図6】マイクロLEDアレイの一部の概略的な底面図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

様々な図面における同じ参照記号は、同じ要素を示す。

【0025】

上述のように、色変換剤の選択的堆積は、高解像度シャドウマスク、又は制御可能なインクジェット若しくはエアロゾルジェット印刷を使用して行われうる。残念ながら、シャドウマスクは、位置合わせ精度及びスケラビリティに関する問題を生じやすく、インクジェット及びエアロゾルジェット技術は、解像度(インクジェット)、精度(インクジェット)及びスループット(エアロゾルジェット)の問題を被る。マイクロLEDディスプレイを製造するために、新しい技術が、様々な色のための色変換剤を、大面積基板又はフレキシブル基板といった基板上的様々なピクセル上に、正確かつコスト効率良く供給するために必要とされている。

【0026】

これらの問題に対処しうる技術は、第1の色のための色変換剤(CCA: color conversion agent)を含有する光硬化性流体の層を、モノクロ光源のアレイの上に配置された、凹部を有する層の上にコーティングすることである。選択されたピクセルをオンにして、インシトゥ重合を誘発して、選択されたピクセルの近傍でCCAを固定する。選択されていないピクセル上の未硬化流体は除去することが可能であり、その後、同じプロセスが、ピクセルに対応する全ての凹部が所望の色のCCAで覆われるまで、様々な色のためのCCAを用いて繰り返されうる。この技術は、アライメント精度、スループット、及びスケラビリティにおける課題を克服することができる。

【0027】

図1は、バックプレーン16上に配置された個々のマイクロLED14(図2A及び図2B参照)のアレイ12を含むマイクロLEDディスプレイ10を示す。マイクロLED14は、各マイクロLED14を個別にアドレス指定できるように、バックプレーン回路18と既に一体化されている。例えば、バックプレーン回路18は、TFTアクティブマトリクスアレイを含むことができ、TFTアクティブマトリクスアレイには、各マイクロ

10

20

30

40

50

LEDのための薄膜トランジスタ及び蓄積キャパシタ（図示せず）、列アドレス及び行アドレス線18a、マイクロLED14を駆動するための列及び行ドライバ18bなどが含まれる。バックプレーン16は、従来のCMOSプロセスを用いて作製されうる。

【0028】

図2A及び図2Bは、マイクロLEDアレイ12の一部分12aを示す。マイクロLEDアレイ12は、複数のマイクロLED14にわたって延在する最上層20を有する。例えば、最上層20は、マイクロLEDアレイ12全体にわたって延在しうる。

【0029】

最上層20は上面22を有する。各マイクロLED14は、上面22の下方に形成されたダイオード構造26を含む。幾つかの実施形態において、最上層22が、各ダイオード構造26の一部を形成する。例えば、最上層22は、ダイオード構造26におけるドーパされた半導体層、例えばn型ドーパされた半導体層（例えば、n型ドーパされた窒化ガリウム（n-GaN）層）でありうる。

10

【0030】

上面22には複数の凹部24が形成されており、各マイクロLED14は、凹部24のうちの対応する凹部24の下方に配置されている。凹部24は、全体ではなく部分的に最上層20を貫通して延在する。図2Aに示されるように、凹部24は矩形であってよく、矩形のアレイで配置されうる。しかしながら、凹部のための他の形状、例えば、円形又は六角形が可能であり、他のアレイ形状、例えば、六角形格子が可能である。

【0031】

ダイオード構造26は、約4~100 μm 、例えば4~50 μm 、例えば4~10 μm の幅W2を有しうる。ダイオード構造は、ピッチが約6~200 μm 、例えば6~100 μm 、例えば6~20 μm でありうる。

20

【0032】

凹部24は、ダイオード構造26の幅W2の75%~150%である横方向幅W1を有しうる。幾つかの実装形態において、凹部24は、例えば図5A~5F及び図6に示されるように、ダイオード構造26よりも幅が広い。例えば、凹部24は、ダイオード構造より約1~50 μm 幅広でありうる。より幅広の凹部24は、マイクロLED14によって放射される全ての光が色変換層40によって変換されることを保証するのに役立つ。凹部24は、約3~20 μm の深さD1を有しうる。

30

【0033】

全てのマイクロLED14、例えばダイオード構造26が、同じ波長範囲を生成するように、同じ構造で作製されている（これは、「モノクロ（monochrome）」マイクロLEDと呼ぶことができる）。例えば、マイクロLED14は、紫外線（UV）、例えば近紫外線の範囲の光を生成することが可能である。例えば、マイクロLED14は、365~405nmの範囲内の光を生成することが可能である。他の例として、マイクロLED14は、紫色又は青色範囲の光を生成することが可能である。マイクロLEDは、20~60nmのスペクトル帯域幅を有する光を生成することが可能である。

【0034】

図2Bは、1ピクセルを提供することが可能なマイクロLEDアレイの一部分を示す図である。マイクロLEDディスプレイが3色ディスプレイであると仮定すると、各ピクセルが3つのサブピクセルを含み、即ち、各ピクセルが各色について1つのサブピクセルを含み、例えば、青色、緑色、及び赤色のチャンネルのためにそれぞれ1つのサブピクセルを含む。このように、ピクセルは、3つのマイクロLED14a、14b、14cを含むことができる。例えば、第1のマイクロLED14aが、青色のサブピクセルに対応することができる、第2のマイクロLED14bが、緑色のサブピクセルに対応することができる、第3のマイクロLED14cが、赤色のサブピクセルに対応することができる。しかしながら、後述する技術は、より多数の色、例えば4色以上の色を使用するマイクロLEDディスプレイに適用可能である。この場合、各ピクセルは、4つ以上のマイクロLEDを含むことができ、各マイクロLEDが、それぞれの色に対応している。さらに、後述する技

40

50

術は、たった2色を使用するマイクロLEDディスプレイに適用可能である。

【0035】

一般に、モノクロマイクロLED14は、ピークを有する或る波長範囲内の光であって、その波長が、ディスプレイのために意図された最高周波数の色の波長以下である光、例えば、紫色光又は青色光を生成することが可能である。色変換剤は、この短い波長の光をより長い波長光へと、例えば、赤色のサブピクセルについての赤色光、又は緑色のサブピクセルについての緑色光へと変換することが可能である。マイクロLEDがUV光を生成する場合には、色変換剤は、UV光を青色サブピクセルに対する青色光に変換するために使用されうる。

【0036】

分離構造28が、隣り合うマイクロLED14間の、最上層22の下方に形成されうる。分離構造28は、以下でさらに説明するように、マイクロLED14の一部分、例えば電気コンタクトによって提供されうる。分離構造28は光学的隔離をもたらして、以下で論じるインシトゥ重合の間に、重合を局所化し光学的クロストークを低減することを助ける。バックプレーン集積及び分離構造の形成のための可能なプロセスが、以下でより詳細に説明される。分離構造28は、最上層20内へと部分的に延在しうる。

【0037】

図3A~図3Gは、マイクロLEDアレイの上に色変換剤(CCA)層を選択的に形成する方法を示している。最初に、図3Aに示されるように、第1の光硬化性流体30aが、バックプレーン回路と既に一体化されているマイクロLED14のアレイの上に堆積される。第1の光硬化性流体30aは、凹部24を完全に充填するのに十分な深さを有することができ、アレイ12の上面22を完全に覆うことができる。

【0038】

図4Aを参照すると、第1の光硬化性流体30aは少なくとも、架橋性基32と、マイクロLED14の発光に対応する波長の照射下で重合を誘発する光開始剤34と、色変換剤36aと、を含む。

【0039】

架橋性基32は、重合に供された場合には流体30aの粘度を上げ、例えば、流体30aは凝固しうるか又はゲル状ネットワーク構造を形成しうる。架橋性基32は、硬化時にポリマーを形成するモノマー、例えばアクリレート、メタクリレート及びアクリルアミドによって提供されうる。架橋性基32は、ネガ型フォトレジスト、例えばSU-8フォトレジストによって提供されうる。

【0040】

光開始剤34の例としては、インガキュア(Irgacure)184、インガキュア819、ダロキュア(Darocur)1173、ダロキュア4265、ダロキュアTPO、オムニキャット(Omnicat)250及びオムニキャット550が挙げられる。

【0041】

色変換剤36aは、マイクロLED14からのより短い波長の光を、3色のいずれかに対応するより長い波長の光に変換することが可能な材料である。図3A~図3Gに示す例では、色変換剤36は、マイクロLED14からのUV光を青色光に変換する。色変換剤36は、量子ドット、ナノ構造、有機又は無機蛍光分子、又は他の適切な材料を含みうる。

【0042】

任意選択的に、第1の光硬化性流体30aは、溶媒37、例えば、水、エタノール、トルエン、又はメチルエチルケトン、又はこれらの組合せを含むことができる。溶媒は、有機又は無機でありうる。溶媒は、第1の光硬化性流体30aに所望の表面張力及び/又は粘度を与えるように選択することができる。溶媒はまた、他の成分の化学的安定性を改善することができる。

【0043】

任意選択的に、第1の光硬化性流体30aは、1つ以上の他の機能性成分38を含むことができる。一例として、機能性成分は、色変換層の光学特性に影響を与えることが可能

10

20

30

40

50

である。例えば機能性成分は、機能性成分は、ナノ粒子であって、色変換層が出力光の光路を調節する光学層として機能し例えばマイクロレンズを提供するのに十分に高い屈折率を有するナノ粒子を含みうる。代替的に又は付加的に、ナノ粒子は、全反射損失を低減しこれにより光抽出を改善する光学層として色変換層が機能するように選択された屈折率を有しうる。他の例として、機能性成分は、流体 30 a の表面張力を調節するための界面活性剤でありうる。

【0044】

図 3 A に戻ると、第 1 の光硬化性流体 30 a が、スピノン (spin-on)、浸漬 (dipping)、スプレーオン (spray-on)、又はインクジェットプロセスによって、マイクロ LED アレイの上のディスプレイ上に堆積されうる。インクジェットプロセスが、第 1 の光硬化性流体 30 a の消費においては、より効率的でありうる。

10

【0045】

次に、図 3 B に示すように、バックプレーン 16 の回路が、第 1 の複数のマイクロ LED 14 a を選択的に作動させるために使用される。この第 1 の複数のマイクロ LED 14 a は、第 1 の色のサブピクセルに対応している。特に、第 1 の複数のマイクロ LED 14 a は、光硬化性流体 30 a 中の色変換成分によって生成される色の光のためのサブピクセルに対応している。例えば、流体 30 a 中の色変換成分がマイクロ LED 14 からの光を青色光に変換すると仮定すると、青色サブピクセルに対応するマイクロ LED 14 a のみがオンになる。マイクロ LED アレイは、バックプレーン回路 18 と既に一体化されているため、電力をマイクロ LED ディスプレイ 10 に供給することが可能であり、マイクロ LED 14 a を選択的にオンにするために、制御信号がマイクロプロセッサによって印加されうる。

20

【0046】

図 3 B 及び図 3 C を参照すると、第 1 の複数のマイクロ LED 14 a の作動によって照射 A (図 3 B 参照) が生じ、これにより、第 1 の光硬化性流体 30 a のインシトゥ硬化が引き起こされ、各作動されたマイクロ LED 14 a の上に第 1 の凝固色変換層 40 a (図 3 C 参照) が形成される。要するに、流体 30 a が硬化して色変換層 40 a を形成するが、色変換層 40 a は、選択されたマイクロ LED 14 a の上にのみ形成される。例えば、青色光に変換するための色変換層 40 a が、各マイクロ LED 14 a の上に形成されうる。

【0047】

特に、第 1 の凝固色変換層 40 a は、各作動させられたマイクロ LED 14 a のための凹部 24 内に形成される。図 3 C は、第 1 色変換層 40 a の上面を、最上層 20 の上面 22 と同一平面上にあるものとして示しているが、このことは必須ではない。例えば、第 1 色変換層 40 a の表面の最上部が、上面 22 より下方にありうる。代替的に、第 1 色変換層 40 a が、凹部 24 よりも厚くてよい。このような場合には、第 1 色変換層 40 a の一部分が、凹部に隣接する上面 22 の部分上に「オーバーフロー (overflow)」しうる。

30

【0048】

幾つかの実施形態において、硬化は自己制限プロセスである。例えば、マイクロ LED 14 a からの照射、例えば UV 照射は、光硬化性流体 30 a への制限された浸透深さを有しうる。したがって、図 3 B は、照射 A が光硬化性流体 30 a の表面に達しているのを示しているが、このことは必須ではない。幾つかの実施形態において、選択されたマイクロ LED 14 a からの照射が、他のマイクロ LED 14 b、14 c には到達しない。この状況においては、分離構造 28 が必須ではないかもしれない。

40

【0049】

しかしながら、マイクロ LED 14 間の間隔が十分に小さい場合には、分離構造 28 は、選択されたマイクロ LED 14 a からの照射 A が、他のマイクロ LED の上の領域であって、当該他のマイクロ LED からの照射の浸透深さの範囲内にあるであろう領域に到達することを積極的に阻止しうる。要するに、分離構造 28 は、色変換層が隣りのマイクロ LED の上の凹部 24 内に形成されるのを防止することが可能である。分離構造 28 は、

50

例えば、単に、他のマイクロLEDの上方の領域に照射が達することに対する保険として含めることも可能である。

【0050】

第1の複数のマイクロLED 14 aの駆動電流及び駆動時間は、光硬化性流体 30 aの光子線量を最適化するように選択することが可能である。流体 30 aを硬化させるためのサブピクセル当たりのパワーは、マイクロLEDディスプレイ 10の表示モードにおけるサブピクセル当たりのパワーと必ずしも同じではない。例えば、硬化モードのためのサブピクセル当たりのパワーは、表示モードのサブピクセル当たりのパワーよりも高くすることができる。

【0051】

図3 Dを参照すると、硬化が完了し第1の凝固色変換層 40 aが形成されると、残留した未硬化の第1の光硬化性流体がディスプレイ 10から除去される。これにより、他のマイクロLED 14 b、14 cの上の凹部 24は、次の堆積ステップのために露出した状態で残される。幾つかの実施形態において、未硬化の第1の光硬化性流体 30 aが、溶媒を用いて、例えば、水、エタノール、トルエン、又はメチルエチルケトン、又はこれらの組合せを用いて、ディスプレイから単にリンスされる。光硬化性流体 30 aがネガ型フォトリジストを含む場合には、リンス流体が、フォトリジスト用のフォトリジスト現像液を含みうる。

【0052】

図3 E及び図4 Bを参照すると、図3 A～図3 Dに関して上述した処理が繰り返されるが、第2の光硬化性流体 30 bが用いられ、第2の複数のマイクロLED 14 bが作動させられる。リンスの後で、第2の色変換層 40 bが、第2の複数のマイクロLED 14 bのそれぞれの上の凹部 24内に形成される。第2の色変換層 40 bの上面は、最上層 24の上面 22より下方にあってよく、又は、第2の色変換層 40 bの一部が、凹部 24に隣接する上面 22の部分の上に「オーバーフロー」しうる。

【0053】

第2の光硬化性流体 30 bは、第1の光硬化性流体 30 aと同様であるが、マイクロLED 14からのより短い波長の光を、第2の異なる色のより長い波長の光に変換するための色変換剤 36 bを含む。第2の色は、例えば緑色でありうる。

【0054】

第2の複数のマイクロLED 14 bは、第2の色のサブピクセルに対応している。特に、第2の複数のマイクロLED 14 bは、第2の光硬化性流体 30 b中の色変換成分によって生成される色の光のためのサブピクセルに対応している。例えば、流体 30 a中の色変換成分が、マイクロLED 14からの光を緑色光に変換すると仮定すると、緑色のサブピクセルに対応するマイクロLED 14 bのみがオンになる。

【0055】

図3 F及び図4 Cを参照すると、任意選択的に、図3 A～図3 Dに関して上述した処理がさらに再度繰り返されるが、第3の光硬化性流体 30 cが用いられ、第3の複数のマイクロLED 14 cが作動させられる。リンスの後で、第3の色変換層 40 cが、第3の複数のマイクロLED 14 cのそれぞれの上の凹部 24内に形成される。第3の色変換層 40 cの上面は、最上層 24の上面 22より下方にあってよく、又は、第3の色変換層 40 cの一部が、凹部 24に隣接する上面 22の部分の上に「オーバーフロー」しうる。

【0056】

第3の光硬化性流体 30 cは、第1の光硬化性流体 30 aと同様であるが、マイクロLED 14からのより短い波長の光を、第3の異なる色のより長い波長の光に変換するための色変換剤 36 cを含む。第3の色は、例えば赤色でありうる。

【0057】

第3の複数のマイクロLED 14 bは、第3の色のサブピクセルに対応している。特に、第3の複数のマイクロLED 14 bは、第3の光硬化性流体 30 b中の色変換成分によって生成される色の光のためのサブピクセルに対応している。例えば、流体 30 a中の色

10

20

30

40

50

変換成分が、マイクロLED 14からの光を赤色光に変換すると仮定すると、赤色サブピクセルに対応するマイクロLED 14 bのみがオンになる。

【0058】

図3A～図3Fに示したこの特定の例では、色変換層40a、40b、40cが、カラーサブピクセルごとに堆積させられる。このことは、例えば、マイクロLEDが紫外光を生成する場合には必要となる。

【0059】

しかしながら、マイクロLED 14は、UV光の代わりに、青色光を生成することもあるであろう。この場合には、青色変換剤を含有する光硬化性流体によるディスプレイ10のコーティングを省くことができ、プロセスが、緑色及び赤色サブピクセルのための光硬化性流体を使用して実施されうる。例えば図3Eに示すように、色変換層が設けられていない複数のマイクロLEDが1つ残される。図3Fに示すプロセスは実行されない。例えば、第1の光硬化性流体30aは緑色CCAを含むことができ、第1の複数のマイクロLED 14aは緑色サブピクセルに対応することができ、第2の光硬化性流体30bは赤色CCAを含むことができ、第2の複数のマイクロLED 14bは赤色サブピクセルに対応することができる。

10

【0060】

流体30a、30b、30cが溶媒を含んでいたと仮定すると、いくつかの溶媒が色変換層40a、40b、40c内に溜まっていることがある。図3Gを参照すると、この溶媒は、例えばIRランプなどによって、マイクロLEDアレイを熱に曝すことによって蒸発させることが可能である。色変換層40a、40b、40cからの溶媒の蒸発は、結果的に、最終層がより薄くなるように層の収縮をもたらしうる。

20

【0061】

溶媒を除去し、色変換層40a、40b、40cを収縮させることによって、色変換剤、例えば量子ドットの濃度を上げることができ、従って、より高い色変換効率をもたらされる。その一方で、溶媒を含むことは、光硬化性流体の他の成分の化学配合における、例えば色変換剤又は架橋性成分におけるより大きなフレキシビリティを可能にする。

【0062】

任意選択的に、図3Hに示すように、UV遮断層50が、マイクロLED 14のすべてを覆うように、最上層20の上に堆積させられうる。UV遮断層50は、色変換層40によって吸収されないUV光を遮断することが可能である。UV遮断層50は、ブラッグ反射器であってよく、又は単に、UV光を選択的に吸収する材料であってよい。ブラッグ反射器は、UV光をマイクロLED 14に向けて反射させることができ、したがってエネルギー効率が上がる。

30

【0063】

図5A～図5Eは、最上層内に凹部を有するマイクロLEDアレイを作製する方法を示す。図5Aを参照すると、プロセスが、マイクロLEDアレイを提供することになるウエハ100から開始される。ウエハ100は、基板102、例えば、ケイ素又はサファイアのウエハを含み、その上に、第1のドーピングを有する第1の半導体層104と、活性層106と、第2の反対のドーピングを有する第2の半導体層108と、が配置されている。例えば、第1の半導体層104は、n型ドーピングされた窒化ガリウム(n-GaN)層とすることができ、活性層106は、多重量子井戸(MQW: multiple quantum well)層106とすることができ、第2の半導体層107は、p型ドーピングされた窒化ガリウム(p-GaN)層108とすることができる。

40

【0064】

図5B及び図6を参照すると、ウエハ100がエッチングされて、第1の半導体層104及び活性層106、108が、ダイオード構造26へと分割され、このダイオード構造26が、第1の色、第2の色、及び第3の色に対応する第1の複数のマイクロLED 14a、第2の複数のマイクロLED 14b、第3の複数のマイクロLED 14cを含むマイクロLED 14を提供することになる。各ダイオード構造26は、第1半導体層104の少なくとも一

50

部分、活性層 106、及び第 2 半導体層 108 の少なくとも一部分を含む。

【0065】

エッチングは、第 2 の半導体層 108 及び活性層 106 を完全に通っている。しかしながら、エッチングは、第 1 の半導体層 104 を、完全にではなく部分的に通っている。このことにより、活性層 106 により近い第 1 の半導体層 104 の表面上の各ダイオード構造 26 の周囲に、1 つ以上の凹み領域 112 が設けられる。さらに、ダイオード構造 26 同士は、第 1 の半導体層 104 の格子間領域 114 によって、物理的に接続されたままである。

【0066】

さらに、導電性コンタクト 110 を堆積させることができる。例えば、第 1 のコンタクト 110 a を第 2 の半導体層 108 上に堆積させることができ、第 2 のコンタクト 110 b を第 1 の半導体層 104 上に堆積させることができる。例えば、第 2 のコンタクト 110 b は、第 1 の半導体層 104 の格子間領域 114 の凹部 112 内に堆積させられうる。例えば、第 1 のコンタクト 110 a は、p 型 GaN 層の上に堆積された p 型コンタクトとすることができ、第 2 のコンタクト 110 b は、n 型 GaN 層の上に堆積された n 型コンタクトとすることができる。

10

【0067】

凹部 112 のために、第 2 のコンタクト 110 b は、ダイオード構造 26 の深さ全体に沿って延在しうる。さらに、第 2 のコンタクト 110 b は、矩形のグリッドを形成することができ、ここで、各第 1 のコンタクト 110 a は、第 2 のコンタクト 110 b の壁間の

20

【0068】

バックプレーン 16 は、回路 18、及び電気コンタクト 120 を含むよう作製されている。電気コンタクト 120 は、第 1 のコンタクト 120 a、例えば駆動コンタクト、及び第 2 のコンタクト 120 b、例えば接地コンタクトを含みうる。

【0069】

図 5 C を参照すると、マイクロ LED ウエハ 100 が、バックプレーン 16 と接触して位置合わせされて、配置される。例えば、第 1 のコンタクト 110 a は第 1 のコンタクト 120 a に接触させることができ、第 2 のコンタクト 110 b は第 2 のコンタクト 120 b に接触させることができる。マイクロ LED ウエハ 100 を、バックプレーンと接触するように下げることができ、又はその逆もできる。

30

【0070】

次に、図 5 D を参照すると、基板 102 が除去される。例えば、ケイ素基板は、当該基板 102 を研磨することによって、例えば化学機械研磨によって除去されうる。他の例として、サファイア基板が、レーザーリフトオフプロセスによって除去されうる。

【0071】

最後に、図 5 E 及び図 6 を参照すると、第 1 の半導体層 104 の表面 22 の、活性層 106 からより遠い当該層 104 の側に凹部 24 が形成され、例えばエッチングされる。したがって、第 1 の半導体層 104 は、アセンブリの最上層 20 を提供することができる。各凹部 24 は、マイクロ LED 14 のうちの対応するマイクロ LED 14 の上方、例えば、ダイオード構造 26 の上方に配置される。

40

【0072】

凹部 24 は、従来のプロセスによって形成され、例えば、最上層 20 上へのフォトレジストの堆積、フォトリソグラフィによるフォトレジストのパターニング、フォトレジストの一部を現像してその下の最上層 20 の表面 22 の部分を露出させること、最上層の露出部分をエッチングして凹部を形成すること、フォトレジストを剥がすことによって形成されうる。結果的に得られた構造は、その後、図 3 A ~ 図 3 G について記載された処理のためのディスプレイ 10 として使用されうる。

【0073】

垂直方向及び横方向といった位置決め用語を使用してきた。しかしながら、このよう

50

な用語は、重力に対する絶対的な位置決めではなく、相対的な位置決めを指すことと理解されたい。例えば、横方向は、基板表面に対して平行な方向であり、垂直方向は、基板表面に対して垂直な方向である。

【 0 0 7 4 】

当業者には、前述の例が例示的なものであって限定的なものではないことが分かるであろう。例えば、

・ 上記の説明はマイクロLEDに焦点を当てているが、本技術は、他の種類の発光ダイオード、特に、他のマイクロスケールの発光ダイオードを備えたディスプレイにも適用することが可能である。

・ 上記の説明では、色変換層が形成される順序は青色、その後緑色、その後赤色であると仮定したが、他の順序も可能である。例えば、青色、赤色、緑色の順である。さらに、他の色が可能であり、例えば、橙色及び黄色も可能である。

10

・ 凹部を含む最上層を提供する第1の半導体層の代わりに、1つ以上の他の層を、第1の半導体層の上に配置することができ、これらの他の層の最も上の層が、凹部を含む最上層を提供する。

【 0 0 7 5 】

本開示の思想及び範囲から逸脱することなく、様々な変更を行えることが分かるであろう。

20

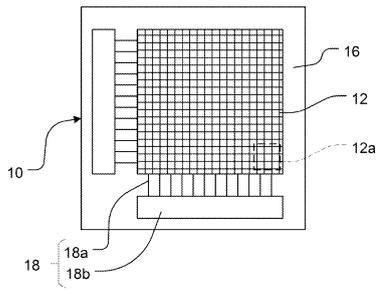
30

40

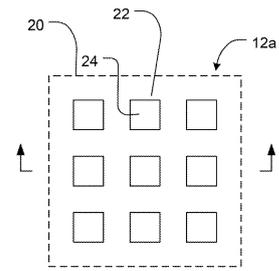
50

【図面】

【図 1】

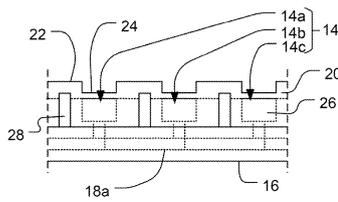


【図 2 A】

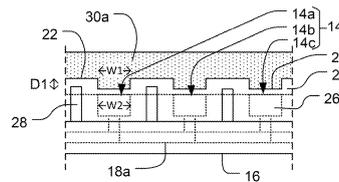


10

【図 2 B】

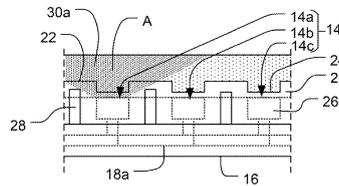


【図 3 A - D】

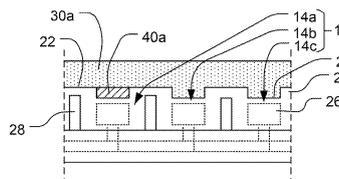


A

20

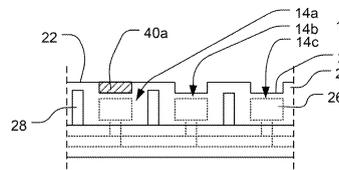


B



C

30

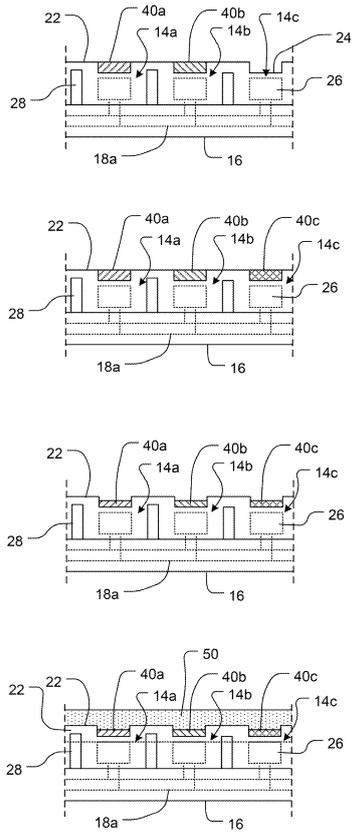


D

40

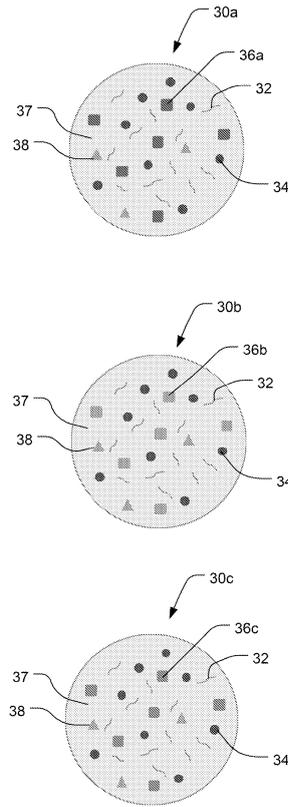
50

【図3 E - H】



【図4 A - C】

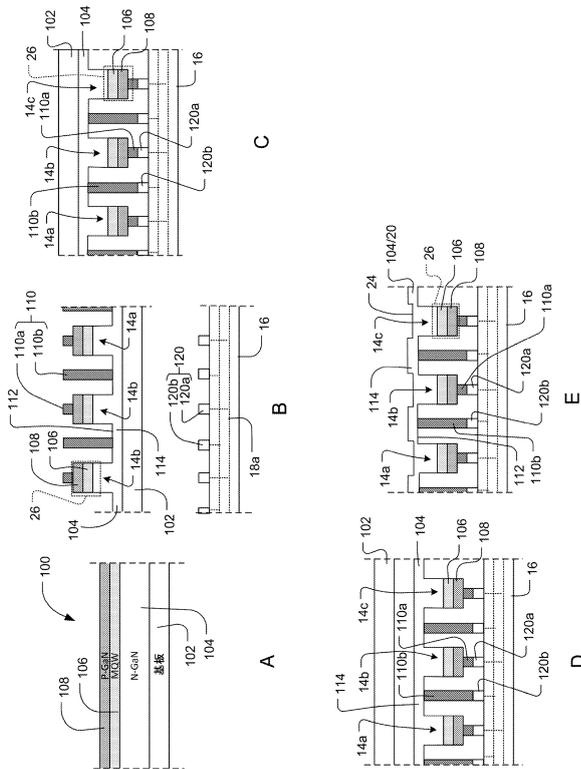
E
F
G
H



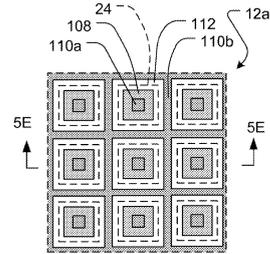
A
B
C

10
20

【図5 A - E】



【図6】



30
40

50

フロントページの続き

- 24, ロス アルトス, レオネロ アヴェニュー 905
(72)発明者 ルオ, インドン
アメリカ合衆国 カリフォルニア 94560, ニューアーク, アイリス コート 38097
- (72)発明者 チュー, ミンウェイ
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95132, サン ノゼ, ホステッター ロード 3185
- (72)発明者 ウン, ホウ ティ - .
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95008, キャンベル, キース ドライブ 4068
- (72)発明者 ガナパティアッパン, シヴァパキア
アメリカ合衆国 カリフォルニア 94022, ロス アルトス, イースト ポートラ アヴェニュー
- 161
- (72)発明者 パティバンドラ, ナグ ビー .
アメリカ合衆国 カリフォルニア 94566, プレザントン, ヴィエラ ストリート 3951
- 審査官 新井 重雄
- (56)参考文献 米国特許出願公開第2015/0255505(US, A1)
米国特許出願公開第2008/0278068(US, A1)
米国特許出願公開第2018/0308420(US, A1)
米国特許出願公開第2019/0107755(US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G09F 9/00
H01L 33/50
G09F 9/33
G09F 9/30