

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3672041号
(P3672041)

(45) 発行日 平成17年7月13日(2005.7.13)

(24) 登録日 平成17年4月28日(2005.4.28)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 J 29/10

H O 1 J 29/10

G O 2 B 5/08

G O 2 B 5/08

A

// H O 5 B 33/22

H O 5 B 33/22

請求項の数 59 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願平7-505344
 (86) (22) 出願日 平成6年7月20日(1994.7.20)
 (65) 公表番号 特表平9-501004
 (43) 公表日 平成9年1月28日(1997.1.28)
 (86) 国際出願番号 PCT/US1994/008306
 (87) 国際公開番号 W01995/003621
 (87) 国際公開日 平成7年2月2日(1995.2.2)
 審査請求日 平成13年7月17日(2001.7.17)
 (31) 優先権主張番号 08/094,767
 (32) 優先日 平成5年7月20日(1993.7.20)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者
 クウォンタム・ビジョン・インコーポレイ
 テッド
 アメリカ合衆国、94085 カリフォル
 ニア州、サニーベイル、ウエスト・モード
 ・アベニュー、686
 (74) 代理人
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人
 弁理士 仲村 義平
 (74) 代理人
 弁理士 堀井 豊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振マイクロキャビティディスプレイ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光を放出するために中に蛍光体が配置された活性領域を備える薄膜共振マイクロキャビティを含む発光ディスプレイ。

【請求項2】

前記マイクロキャビティは、蛍光体の自発的な放出プロセスおよび蛍光体の熱伝達プロセスよりなる群から選択されたプロセスを変形するための手段を含む、請求項1に記載の発光ディスプレイ。

【請求項3】

前記マイクロキャビティは蛍光体の自発的な放出プロセスを変形するための手段を含む、請求項1に記載の発光ディスプレイ。

【請求項4】

前記マイクロキャビティは蛍光体の熱伝達プロセスを変形するための手段を含む、請求項1に記載の発光ディスプレイ。

【請求項5】

共振マイクロキャビティは同調可能である、請求項1に記載のマイクロキャビティ。

【請求項6】

前記マイクロキャビティの共振振動数を同調させるための電気光学手段をさらに含む、請求項5に記載の発光ディスプレイ。

【請求項7】

前記マイクロキャビティの共振振動数を同調させるための圧電性手段をさらに含む、請求項 5 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 8】

マイクロキャビティは電磁界を前記蛍光体で発生するための手段を含み、前記電磁界は定常波電磁界である、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 9】

定常波電磁界は前記マイクロキャビティの内部に波腹を有し、前記蛍光体は前記波腹を含む領域に配置される、請求項 8 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 10】

定常波電磁界は前記マイクロキャビティの内部に複数の波腹を有し、前記蛍光体は前記複数の波腹を含む領域に配置される、請求項 8 に記載の発光ディスプレイ。 10

【請求項 11】

定常波電磁界は前記マイクロキャビティの内部に節を有し、前記蛍光体は前記節を含む領域に配置される、請求項 8 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 12】

定常波電磁界は前記マイクロキャビティの内部に複数の節を有し、前記蛍光体は前記複数の節を含む領域に配置される、請求項 8 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 13】

蛍光体はドーパントを含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 14】

前記マイクロキャビティは、進行電磁波を生成するような大きさとされる、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。 20

【請求項 15】

マイクロキャビティは、共面のマイクロキャビティ、3次元のマイクロキャビティ、およびその組合せよりなる群から選択された構造を含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 16】

マイクロキャビティは、共焦のマイクロキャビティ、半球のマイクロキャビティ、および環状のキャビティよりなる群から選択された構造を含む、請求項 15 に記載の発光ディスプレイ。 30

【請求項 17】

前記ディスプレイは電子により励起可能である、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 18】

前記活性層を励起させるための励起電子を発生する陰極線管をさらに含む、請求項 17 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 19】

電子を放出して前記活性層を励起させるために前記マイクロキャビティの後で真空内に配置されたフィラメント型陰極手段をさらに含む、請求項 17 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 20】

前記活性層を励起させるための高電圧電界放出デバイスをさらに含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。 40

【請求項 21】

前記マイクロキャビティ内に配置された電界放出可能な材料をさらに含み、放出された電子を前記放出可能材料から前記蛍光体に通過させ、前記蛍光体を励起させ、さらに、放出された電子を接地に伝導させるための、前記マイクロキャビティ内に配置された導電層を含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 22】

前記活性領域は電界により励起可能であり、電界で前記活性領域を励起させるための手段をさらに含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 23】

前記活性領域は電磁放射により励起可能であり、電磁放射で前記活性領域を励起させるための手段をさらに含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 2 4】

前記活性領域を励起させるための手段はレーザを含む、請求項 23 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 2 5】

前記活性領域を励起させる手段はプラズマ放電を発生するための手段を含む、請求項 23 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 2 6】

共振マイクロキャビティは薄膜を含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

10

【請求項 2 7】

マイクロキャビティは、活性領域および複数の反射領域を含む構造を含む、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 2 8】

発光ディスプレイは、各々が共振領域を内部に備える複数の前記マイクロキャビティを含み、前記マイクロキャビティは作動的に結合されてより大きな共振領域を形成する、請求項 1 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 2 9】

複数の反射領域は、

(a) 前記基板上に配置された前面反射領域と、

20

(b) 裏面反射領域とを含み、

活性領域は前面と裏面の反射領域の間に配置される、請求項 27 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 0】

前面の反射領域、活性領域、および裏面の反射領域は薄膜を含む、請求項 29 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 1】

活性領域および複数の反射領域は各々無機材料からなる、請求項 27 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 2】

30

活性領域は有機材料を含む、請求項 27 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 3】

複数の反射領域は有機材料を含む、請求項 27 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 4】

活性領域および複数の反射領域は各々有機材料を含む、請求項 27 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 5】

前記複数の反射領域の少なくとも 1 つは、狭い波長の帯域幅内で実質的に反射性があり、かつ前記狭い波長の帯域幅の外では実質的に透過性がある、波長に依存する反射体を含む、請求項 27 に記載の発光ディスプレイ。

40

【請求項 3 6】

前記反射領域は誘電反射体を含む、請求項 27 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 7】

前記誘電反射体はさらに交互に起こる並列の複数の層を含み、比較的屈折率の低い材料を含む層が比較的屈折率の高い材料を含む層と交互に起こる、請求項 36 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 8】

前記屈折率の比較的低い材料は、フッ化物および酸化物よりなる群から選択された材料を含む、請求項 37 に記載の発光ディスプレイ。

【請求項 3 9】

50

前記屈折率の比較的高い材料は、硫化物、セレン化物、窒化物、および酸化物よりなる群から選択された材料を含む、請求項37に記載の発光ディスプレイ。

【請求項40】

前記複数の反射領域の少なくとも1つは金属反射体を含む、請求項27に記載の発光ディスプレイ。

【請求項41】

前記活性領域は、硫化物、酸化物、シリケート、オキシ硫化物、およびアルミン酸塩よりなる群から選択された蛍光体を含む、請求項27に記載の発光ディスプレイ。

【請求項42】

前記蛍光体は、遷移金属、希土類、色中心を有する物質、およびそれらの組合せよりなる群から選択された材料を含む活性化剤を含む、請求項41に記載の発光ディスプレイ。

10

【請求項43】

前記共振マイクロキャビティはフォトリックバンドギャップ材料を含む、請求項1に記載の発光ディスプレイ。

【請求項44】

複数の反射領域の少なくとも1つはフォトリックバンドギャップ結晶を含む、請求項27に記載の発光ディスプレイ。

【請求項45】

活性領域はフォトリックバンドギャップ結晶を含む、請求項27に記載の発光ディスプレイ。

20

【請求項46】

前記活性領域から放出される光からの予め定められた光の角分布を発生するための手段をさらに含む、請求項27に記載の発光ディスプレイ。

【請求項47】

予め定められた光の角分布を発生するための前記手段は、レンズ、ディフューザ、ホログラフィ素子、勾配屈折率素子、およびそれらの組合せよりなる群から選択された構造を含む、請求項46に記載の発光ディスプレイ。

【請求項48】

予め定められた光の角分布を発生するための前記手段は、前記基板内に配置される、請求項46に記載の発光ディスプレイ。

30

【請求項49】

請求項1の発光ディスプレイを励起させて前記マイクロキャビティから光を放出させるステップを含む、色が制御された指向性の光ビームを発生する方法。

【請求項50】

変調された光源であって、

(a) 請求項1の発光ディスプレイと、

(b) 前記活性領域において前記蛍光体を励起させるための手段と、

(c) 前記マイクロキャビティから放出された光を変調するための、前記マイクロキャビティの前側にある光弁手段とを含む、変調された光源。

【請求項51】

40

前記共振マイクロキャビティは偏光を放出するための手段を含む、請求項50に記載の変調された光源。

【請求項52】

マイクロキャビティ内に活性領域を有する共振マイクロキャビティを成長させるステップを含む、発光ディスプレイを生成する方法であって、蛍光体が活性領域内で成長させられる、発光ディスプレイを生成する方法。

【請求項53】

蛍光体、活性層の厚み、キャビティの特性値、およびキャビティタイプを選択して蛍光体の崩壊時間を制御するさらなるステップをさらに含む、請求項52に記載の方法。

【請求項54】

50

蛍光体、活性層の厚み、キャビティの特性値、およびキャビティタイプを選択して、ディスプレイから放出される光の色度を制御するさらなるステップをさらに含む、請求項52に記載の方法。

【請求項55】

活性領域の成長は、活性領域の厚みが、選択された色度に対応する光の1/4波長の整数倍に等しくなるように制御される、請求項52に記載の方法。

【請求項56】

活性領域の厚みが、選択された色度に対応する光の1/2波長の整数倍に等しくなるように活性領域の幅は制御される、請求項52に記載の方法。

【請求項57】

蛍光体、活性層の厚み、キャビティの特性値、およびキャビティタイプを選択して、マイクロキャビティの共振振動数が活性領域における蛍光体の自然な色度内となるようにするさらなるステップを含む、請求項52に記載の方法。

【請求項58】

蛍光体、活性層の厚み、キャビティの特性値、およびキャビティタイプを選択して、ディスプレイから放出される光の指向性を制御するさらなるステップをさらに含む、請求項52に記載の方法。

【請求項59】

ホログラフィックフォトリソグラフィを用いてマイクロキャビティの内部に活性領域を備える共振マイクロキャビティを生成するステップを含む、発光ディスプレイを生成する方法。

【発明の詳細な説明】

発明の背景

1. 発明の分野

この発明は蛍光体活性領域を備える共振マイクロキャビティを含む発光スクリーンに関する。

2. 先行技術の説明

従来の陰極線管（CRT）ディスプレイは、電子銃から放出された電子を用い、加速電界を通し電子を加速し、蛍光体材料が粉末形式で塗布されたスクリーンにそれら電子を投影する。高エネルギーの電子は、全方向に均一的に可視光線を放出する蛍光体内の蛍光中心を励起する。CRTは先行技術では確立されており、通常はテレビの画像管、コンピュータのモニタおよびその他多くのデバイスにおいて見受けられる。

粉末の蛍光体を用いるディスプレイはいくつかの重大な制限を受け、その制限とは、消費される電力に対し指向性視感度（すなわち1方向における輝度）が低いこと、熱伝達および散逸特性に優れないこと、および蛍光体の色度（すなわち励起した蛍光体が発する光の色）の選択が制限されることを含む。

指向性という特性は、ディスプレイをその他のデバイス（たとえば投影CRTのためのレンズ）に効果的に結合する際の効率に影響を与えるため、指向性視感度はディスプレイの重要な特徴である。発光スクリーンから観察した通常的光フラックスパターンは、「ランバートの分布」に厳密に従う、すなわち光はすべての方向に均一的に放出される。画像をすべての観察角から見ることで、直接見るという目的に対してはこのことは望ましい。しかしながら、光のフラックスがランバートの分布をすることが非効率的となる応用もある。それら応用は、投影ディスプレイ、および後続の像処理のための検出器への像の転送を含む。

大きなスクリーンの投影に適した輝度の高いCRTを得る上での制限要素の1つは蛍光体スクリーンの発熱であるため、熱伝達および散逸特性は重要である。入射電子ビームの密度が増大するにつれて、蛍光体の温度が上昇する。蛍光体がある温度に達すると、その視感度は低下する。これは熱消光として知られている。従来の粉末蛍光体ディスプレイを用いると、蛍光体からスクリーンへの熱伝達特性が比較的悪いと、熱散逸が制限され、電子ビームの密度が比較的低い場合でも熱消光が発生する可能性がある。投影ディスプレイで

10

20

30

40

50

は、像を投影するのに必要な明るさを生み出すために電子ビームの密度が高くなければならないために、この非効率性により従来のCRTは投影ディスプレイには不向きなものとなる。

ディスプレイにおいて色を忠実に再現するには、3原色の蛍光体（赤、緑および青）が産業界の色度基準（たとえばヨーロッパ放送連合規定）に合致しなければならないため、色度は重要である。これらの規定に正確に整合する3原色各々に対する蛍光体を発見することが、蛍光体開発において最も困難な局面である。

活性化剤（すなわち蛍光体において光を放出するイオン）の崩壊時間がまた、蛍光体についての別の重要なパラメータである。輝度の高い応用に対する理想的な蛍光体では、各ディスプレイ応用に対して蛍光体の崩壊時間を直接制御することが望ましい。たとえばある応用では、崩壊時間が短いことにより、活性化剤の再励起が迅速に行なわれてそれに対応し最大光出力を増大することができる。崩壊時間は典型的に、活性化剤の自然で自発的な遷移速度により決定する。したがって蛍光体の性能を向上させるためには、この自発的な遷移速度を制御することが望ましい。

従来の蛍光体ディスプレイにおける別の問題は、蛍光体のホストマトリックスにおいてエネルギーが1つの活性化剤から近傍の別の活性化剤へと伝わり得ることである。これは、非放射性プロセスであり、蛍光体の効率が減じられる。エネルギーの伝達は活性化剤の濃度増加に伴い増大するため、ディスプレイに組入れることができる活性化剤の密度を制限し、したがって最大光出力を制限することになる。

CRTのためのフェースプレートとして単結晶の薄膜蛍光体を使用することが、M.W.バン
トル（Van Tol）らによる英国特許出願GB - 2000173A（1980）で最初に述べられた。この特許では、液相エピタキシ（LPE）により単結晶のイットリウムアルミニウムガーネット $Y_3Al_5O_{12}$ （YAG）基板の上で成長させたYAGを使用することを教示している。YAG膜は、電子により励起されると光を放出する希土類イオンでドーピングされる（ドーピングは、結晶成長の間に結晶格子におけるホストイオンをドーパントイオンで置換えるプロセスである）。このデバイスでは、薄膜の層の厚みは1ないし6ミクロンであり、ディスプレイが放出する光の波長とは関係がない。

このデバイスは、従来の粉末蛍光体ディスプレイに対しいくつかの利点を表わしている。その利点の1つは、蛍光体とスクリーンとが完全に接触しているため、かつYAG基板の熱伝導率が高いために、熱が蛍光体からより効率的に伝達されることである。熱消失を伴わずにこのスクリーンのビームの密度を高くすることができ、したがってより多くの光を発生することが可能である。

粉末が堆積された発光スクリーンに対する単結晶蛍光体発光スクリーンの別の利点は、ピクセル（すなわち光発生スポット）の解像度に関する。粉末蛍光体を用いる解像度の高いディスプレイについては、ピクセルの制限的なサイズ、したがってスクリーンの解像度が、蛍光体粉末の粒子サイズにより決定する。他方、単結晶蛍光体は離散粒子を含まないため、この影響を受けない。

粉末の表面から光が散乱するため、粉末蛍光体はさらに解像度を減少させる。薄膜ディスプレイでは離散蛍光体粒子がなく、光散乱が発生しないため、解像度が高く、この解像度は励起している電子ビームのスポットサイズによってのみ制限される。より解像度の高いディスプレイに対する要求が高まっているため、このことは特に魅力的な利点である。

さらに別の利点はCRTにおいて真空を生じさせることに関する。電子ビームが電子銃と蛍光体スクリーンとの間で進行できるようにするには、CRT内に真空を確保しなければならない。従来の粉末蛍光体では全表面領域が大きいので、一般には有機化合物がその堆積において用いられる。表面領域が大きく有機化合物が残留するため、CRT内で優れた真空を確保し維持する際に問題が発生する。管の外部表面領域全体は、薄膜の領域（粉末蛍光体ディスプレイの表面領域よりもはるかに小さい）により制御され、さらに、密封された管における真空を減少させる残留有機化合物が薄膜ディスプレイには存在しないため、薄膜蛍光体を使用することによりこれらの効果はどちらも克服される。

しかしながら、「ライトパイピング」という現象のために、バン トルらによる薄膜蛍光

10

20

30

40

50

体には1つの禁止的な不利な点がある。ライトパイピングとは、光を薄膜内に取込んでデバイスからの光の放出を不可能にすることである。これは薄膜内で発生する光線の全内部反射が原因である。大抵の蛍光体の屈折率(n)はおおよそ $n = 2$ であるため、入射角が臨界角 θ_c (サイン $\theta_c = 1/n$)を下回る光線のみが、薄膜の前から放出されるだろう。 $n = 2$ の材料に対する臨界角は約 30° である。したがって、薄膜の前から漏れる光の部分は、全光の約6.7%にすぎない。反射性の高いアルミニウムの層を膜の後ろに設けるという通常の設計でも、出力は倍加して光の約13%になるにすぎない。さらに、この光は「ランバートの分布」で拡がり、指向性がない。ライトパイピングの結果、外部効率(すなわちディスプレイにおいて生成される全フォトンに対する、ディスプレイから漏れるフォトンの割合)は粉末蛍光体ディスプレイの10分の1を下回る。したがって、熱特性、解像度および真空の維持という点においてもたらされる独自の利点にもかかわらず、薄膜に基づく商業用CRTデバイスの開発は、「ライトパイピング」が原因で効率性が悪化するため、遅れてしまう。

10

「ライトパイピング」問題を低減するためにいくつかの方策が考案されている。ボンジャー(Bongers)らによる米国特許第4,298,820号(1981)に述べられた1つの方策では、LPEにより堆積され、表面にV形状の溝が刻まれた薄膜を用い、薄膜から光を反射する。この方策により、外部効率はV形状の溝がない薄膜ディスプレイよりもおよそ1.5倍ないし2.5倍に向上する。前述の外部効率は13%であったが、これも全外部効率は約20%ないし30%になるにすぎない。

フオ(Huo)およびハウ(Hou)による、「網目状単結晶発光スクリーン(Reticulated Single-Crystal Luminescent Screen)」、133J.Electrochem.Soc.1492(1986)で述べられる別の方策は、LPEにより堆積された薄膜をエッチングして個々のメサ形状を設けることを含む。こうすることにより外部効率が3倍に向上する(それでもなお外部効率は約30%でしかない)。さらに、蛍光体の層はもはや滑らかではないため、内部で反射した光線はその光線が発生したポイントからはるか離れた領域に再び散乱し、ディスプレイの解像度を悪化させる。

20

この発明に組入れることのできるマイクロキャビティ共振器は、今までにも存在しており最近ではH.ヨコヤマ(Yokoyama)により、「光学マイクロキャビティの物理学およびデバイス応用(Physics and Device Applications of Optical Microcavities)」、256 Science 66(1992)において述べられている。マイクロキャビティは、内部にある蛍光中心の崩壊速度、指向性および振動数特性を制御するという独自の能力を備える一般的な構造の一例である。蛍光中心の光学的反応における変更は、自発および誘導放出の基本的なメカニズムの変形を含む。物理的には、マイクロキャビティのような構造は、大きさが光の1波長未満から波長の10倍にわたる範囲である光学共振キャビティである。これらは典型的に、薄膜技術を用いた1つの集積された構造として形成されている。平坦な、および半球状の反射体を含むマイクロキャビティがレーザ応用に対して形成されている。

30

たとえばシリコンまたはGaAsという半導体の活性層を備える共振マイクロキャビティが、半導体レーザとして、および発光ダイオード(LED)として開発されている。

E.F.シューベルト(Schubert)らによる、「Er-ドーパされたSi/SiO₂共振マイクロキャビティにおけるルミネセンス強度の大幅な増大(Giant Enhancement of Luminescence Intensity in Er-doped Si/SiO₂ Resonant Microcavities)」、61(12) Appl.Phys.Lett.1381(1992)では、ErでドーパされたSiO₂活性層を備える共振マイクロキャビティについて述べている。このデバイスは赤外領域において放射し、光ファイバ通信のためのレーザ増幅器を意図する。

40

シューベルトのデバイス、半導体レーザおよびLEDは、いくつかの理由により発光ディスプレイにおいて使用するには適さない。これらは活性領域においてSi、GaAsなどのルミネセンス材料を含み、これらはレーザ媒体としては適するが、可視光線の放出体としては典型的に非効率であり、電子の注入による励起が必要である。これらの設計では平坦な表面領域が小さいため、ディスプレイ目的としては不適切である。さらに、これらデバイスの設計および使用される活性材料のため、電子の衝撃、電界、または紫外線放射では典型

50

的には効率的に励起させることができない。こういった励起メカニズムは、現在のディスプレイ技術では重要な部分である。

さらに、レーザマイクロキャビティデバイスはレーザのしきい値を超えて働くため、その結果これらの応答はこのしきい値付近では本質的に非線形的であり、明るさは狭いダイナミックレンジに限定される。反対に、ディスプレイでは明るさのダイナミックレンジが広いことが必要である。マイクロキャビティレーザは誘導放出を利用し、自発的な放出は利用しない。その結果、こういったデバイスは非常にコヒーレントな光を生成し、これらのデバイスをディスプレイにおいて用いるには適さないものにする。非常にコヒーレントな光は、スペックルと呼ばれる現象を表わす。目で見ると、非常にコヒーレントな光は、さまざまな大きさの明るい領域と暗い領域とが交互に起こるパターンのように見える。明確な像を生成するためには、発光ディスプレイはインコヒーレントな光を発生しなければならない。

10

加えて、共振マイクロキャビティディスプレイとレーザCRTとを区別することが大切である。このディスプレイはCRTに類似し、電子ビームを走査して発光スクリーンに情報を書込む。しかしながら、光は蛍光体の自発放出ではなく、誘導放出により生成される。レーザCRTのフェースプレートは、電子ビームでポンピングされた半導体レーザである。活性媒体である半導体は、レーザキャビティを形成する2つのミラーの間に設置される。このキャビティ構造はフェースプレート内に含まれる。エネルギーが十分に高い電子ビームでポンピングされると、デバイスはレイジングし、非常に高エネルギーで指向性の高い光ビームを発生する。このようなディスプレイは、A.S.ナシボフ (Nasibov) らによる、「 A_2B_6 電子でポンピングされた半導体レーザに基づくフルカラーテレビ映写機 (Full Color TV projector based on A_2B_6 electron-pumped semiconductor lasers)」、J.Crystal Growth、117、1040 (1992) という論文において述べられている。

20

発明の概要

この発明の主題である共振マイクロキャビティディスプレイ (RMD) は、ライトパイピング問題を示さずに薄膜蛍光体の利点をもたらす発光ディスプレイである。その理由は、その形状の結果として非常に指向性の高い態様で光を放出することである。

共振マイクロキャビティディスプレイは、構造内に含まれる蛍光体の自発放出特性を変形する何らかの構造である。

自発放出の変形は、蛍光体が有利に比較的少ない光学モードで放出するような程度まで光学モードの振幅を変更することにより得られる。ある光学モードにおける放出を抑制することもまた可能である。こうしたモードの振幅の変形は、構造内の好ましいモード各々に対して定常波の電界を形成し、蛍光体をこれら定常波の波腹に設置することにより行なうことができる。キャビティなしで発生する電界の振幅に対し、定常波が実質的に変形された電界の振幅を有することは重要である。実質的に変形されたとは、電界の振幅における2以上のファクタによる変更を示す。

30

定常波キャビティでは、電界の節ではエンハンスメントが発生する可能性はない。しかしながら、上から見た図である図1に示されるような環状のキャビティ設計320は、キャビティ全体を通して電界の振幅が実質的に変形された進行波322をサポートする。その結果、キャビティを通してモードのエンハンスメントまたは抑制が生じ得る。定常波キャビティと比較し、同じ体積のキャビティに対し、光の放出が変形されたより活性な媒体324を利用することができる。

40

共振マイクロキャビティディスプレイの1つの例は、マイクロキャビティ共振器であり、2つの反射体の間に挟まれた蛍光体を含み、これらすべてが透過性で剛体の基板上で成長させられたものである。活性領域の幅は、放出される波長の共振定常波が、2つの反射体の間で生成されるように選択される。最も簡単な形式、単一の共面のマイクロキャビティでは、2つの反射体が互いに並列しており、活性領域の面は反射体に並列する。平坦なマイクロキャビティ、3次元のマイクロキャビティ、共焦のマイクロキャビティ、半球のマイクロキャビティ、または環状のキャビティの組合せといった、電界の振幅の増大を伴ない定常波または進行波を発生するその他の形状もまた可能である。これらその他の形状は

50

キャビティ設計の技術では周知である。

自発放出特性を好都合に変える別の構造では、フォトリソバンドギャップ結晶を用いる。フォトリソバンドギャップ結晶は、単分散コロイドサスペンションから形成することができる。この構造は、構造内で光が伝搬することができないエネルギーのバンドギャップを生成する周期的誘導媒体を含む。しかしながら、バンドギャップ内における共振を有する材料でそのような構造をドーピングすることにより、Qの高いキャビティが生じる。このようなキャビティは、1次元、2次元または3次元になる可能性がある。このキャビティはドーパントの領域において、電界の振幅が高められた定常波を発生する。ディスプレイを形成するためには、フォトリソバンドギャップ結晶は蛍光体でなければならない。ヘンリー O.エベリット (Henry O.Everitt) は、「フォトリソバンドギャップ構造の応用 (Applications of Photonic Band Gap Structures)」、Optics & Photonics News、20、(1992)において、フォトリソバンドギャップ結晶について説明している。図2は、キャビティ構造全体としてフォトリソバンドギャップ結晶354を用いる基板352上の共振マイクロキャビティディスプレイ350の側面図である。

10

RMDの製造には、層の厚みまたは屈折率の空間的解像度を数ナノメートルの精度まで制御することができる成長技術を用いることが必要である。そのような技術はたとえば、制限的なものではないが、化学蒸着 (CVD)、分子線エピタキシ (MBE)、原子層エピタキシ (ALE)、電子ビーム蒸着、またはスパッタリングを含む。RMDの製造においてホログラフィックフォトリソグラフィ技術を用いてもよい。この場合、適切な材料をホログラフィックパターンに露出させ、その材料内に屈折率の高い領域と低い領域が交互になる層を生成することにより、ブラッグの反射体が形成される。このような技術は、ホログラフィック回折格子を製造する技術において周知である。

20

基板は結晶質でも、ポリマでも、または無定形の固体でもよい。その他の領域がその上で成長できる材料からなるものとすることができる。適切な基板材料は、酸化物、フッ化物、アルミン酸塩、およびシリケートといった広範囲の材料から選択され得る。基板材料はまた有機材料を用いて製造することができる。基板材料の選択における基準は、その熱伝達性、およびRMDを形成するその他の材料との互換性 (物理的および化学的) を含む。

蛍光体は、外部で発生した電子による衝撃 (陰極ルミネセンス)、活性層を通して設置される電極による励起により電界を生成すること (エレクトロルミネセンス)、またはフォトンを用いる励起 (フォトルミネセンス) を含む、いくつかの手段を通して励起され得る。

30

この発明がその他のマイクロキャビティデバイスと異なるのはある程度、共振マイクロキャビティに蛍光体を設置することによるものである。蛍光体は優れた可視発光効率を表わす材料である (本明細書中で用いる発光効率とは、ワットでの電力入力に対するワットでの光出力の比率として規定される)。典型的に、蛍光体の発光効率の範囲は1%と20%の間である。こうした効率の高い材料は、材料が電子、電界、または光により励起されたときに効率的にルミネセンスを発生するならば、蛍光体として分類される。

活性領域は、ごく一般的には遷移金属、希土類または色中心で活性化される、広範囲の無機蛍光体 (たとえば硫化物、酸化物、シリケート、オキシ硫化物、およびアルミン酸塩) を含む。無機蛍光体に加え、活性領域は、トリス (8-ヒドロキシキノリン) アルミニウム化合物といった有機材料を採用し得る。活性領域は、典型的には単結晶膜、多結晶膜、無定形膜、薄い粉末層、液体、またはそれらの何らかの組合せの形式で蛍光体を含む。商業的な応用が可能な蛍光体の選択で、およびそこからこの発明において使用するために典型的に選択できる応用次第の蛍光体が、「陰極線管スクリーンの光学特性 (Optical Characteristics of Cathode Ray Tube Screens)」、Electronic Industries Association Publication TEP 116において立証されている。

40

共振キャビティを形成する反射体は、金属層またはブラッグの反射体のいずれかから構成される。ブラッグ反射体は、屈折率の異なる材料の層が交互になった誘電反射体である。誘電反射体に対する最も簡単な形状は、フッ化物または何らかの酸化物といった屈折率の低い厚みが波長の4分の1である層が、硫化物、セレン化物、窒化物、または何らかの酸

50

化物といった屈折率の高い厚みが波長の4分の1である層と交互になったものからなる。誘電反射体はまた、有機材料を用いて製造することが可能である。ミラーもまたフォトリソグラフィバンドギャップ結晶を用いて形成可能である。バンドギャップ内のエネルギーを有する入射光が、この構造により反射されるだろう。図3は、活性層346が、フォトリソグラフィバンドギャップ結晶を含む2つのミラー344、348の間に挟まれている、基板342の上の共振マイクロキャビティディスプレイ340の実施例の側面図である。

現在のディスプレイ応用では、見るのはスクリーンの片側のみである。マイクロキャビティの場合、ほとんどの光が見る人に向かって投影されるようにするためには、異なる反射体を用いる設計が必要である。簡単な共面のマイクロキャビティの場合、2つの反射体のうち一方が実質的に全面的に反射性のあるものとする、すなわちその反射体に当たるほとんどの光を反射するようにすることにより、この非対称性が得られる。他方の反射体（実質的に全面的に反射性のある反射体の反対側にある）は、部分的に反射性がある、すなわち衝突する光を全面的に反射性のある反射体ほど高率で反射せず、いくらかの光を通過させるものである。2つの反射体の反射性が異なるため、実質的には活性領域において生成された光すべては、デバイスの面に垂直な軸に沿って部分的に反射性のある反射体を通して漏れる。

10

マイクロキャビティ構造の場合、この大きさはキャビティの外側から観察した場合の使用される蛍光体の自然で自発的な放出スペクトル次第である。そのスペクトルが広範囲の可視波長をカバーするならば、スペクトルの適切な部分（すなわち産業標準色度に整合するもの）を選択し、整合した共振でマイクロキャビティを構成することができる。RMDの最終的な色度は、キャビティの共振に対応し、マイクロキャビティの外の蛍光体の自然な色度とは異なるだろう。逆に、蛍光体の自然で自発的な放出スペクトルが、狭い範囲の可視波長しかカバーしないならば、その大きさはキャビティの共振が蛍光体の放出帯の1つに整合するように選択されるだろう。

20

RMDは、プロジェクトまたは閃光と同様の指向性の高い光出力を有し、その結果、RMDはライトパイピングを回避するように構成可能である。このことによりその他のデバイスに効率性高く結合することができる。RMDはまた、100%に近い外部効率を有する。RMDは膜を組入れるため、活性層内で発生する熱の効率的な伝導が行なわれる設計が可能である。この特徴が蛍光体の崩壊時間を短縮する能力と組み合わせると、RMDが強い励起を利用することを可能とする。上記の結果として、RMDは投影ディスプレイにおいて使用するのに特に適する。

30

したがってこの発明の目的は、ライトパイピングの問題を示さない発光ディスプレイを提供することである。

この発明のさらなる目的は、非常に効率的な熱伝達特性を有する発光ディスプレイを提供することである。

この発明のさらなる目的は、外部効率の高い発光ディスプレイを提供することである。

この発明のさらなる目的は、解像度の高い発光ディスプレイを提供することである。

この発明のさらなる目的は、指向性の高い出力を発生する発光ディスプレイを提供することである。

この発明のさらなる目的は、使用する蛍光体の性質にかかわらず、放出される光の色度を正確に制御できる、発光ディスプレイを提供することである。

40

この発明のさらなる目的は、色度以外の特性に関しディスプレイを最適化するために、使用する蛍光体を選択することのできる発光ディスプレイを提供することである。

この発明のさらなる目的は、特定のディスプレイ応用に対し、活性化剤の崩壊時間を調節することができる発光ディスプレイを提供することである。

この発明のさらなる目的は、過熱のために蛍光体を飽和させることなく、励起源を多く含ませることができる発光ディスプレイを提供することである。

この発明のその他の目的および利点は、添付の図面に照らして以下の実施例の詳細な説明を読むと、当業者には明らかになるであろう。

発表された論文はこの明細書を通じ背景説明のために引用している。これらの論文はこの

50

明細書中に引用により援用される。

【図面の簡単な説明】

図1は、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの1つの例示的实施例における定常波キャビティの上面断面図である。

図2は、フォトリックバンドギャップ結晶を共振マイクロキャビティディスプレイとして用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図3は、フォトリックバンドギャップ結晶をミラーとして用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図4は、平面ミラー共振器を用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の斜視図である。 10

図5は、共焦共振器を用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図6は、複数のキャビティ構造を用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図7は、一体化した光学素子を組込む、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図8は、陰極線ルミネセンス励起を用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの1例示的实施例の斜視図である。

図9は、陰極線管内で用いられる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。 20

図10は、530ナノメートルの波長でその前面反射体を通して光を発するように設計される、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的な実験的实施例の側面断面図である。

図11は、入射光の波長の関数としての、図10の共振マイクロキャビティディスプレイの反射率に関連するグラフである。

図12は、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイを用いる直視式カラーテレビジョンの側面断面図である。

図13aは、この発明に従うカラーテレビジョンに用いられるピクセルサイズのマイクロキャビティのアレイの斜視図である。 30

図13bは、この発明に従うカラーテレビジョンに用いられるピクセルサイズのマイクロキャビティのアレイの前面図である。図13bに示される前面図は図13aの上面からの図に対応する。

図14は、真空蛍光ディスプレイに組込まれる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図15は、活性層の励起のために高電圧電界放出装置のアレイを用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図16は、活性層の励起のために低電圧電界放出装置のアレイを用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図17は、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの1例示的实施例における定常波電界の概略図である。 40

図18は、電界により励起される、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の斜視図である。

図19は、紫外線により励起される、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の斜視図である。

図20は、この発明に従う透過性共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の側面断面図である。

図21は、励起のためにレーザを用いる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の概略図である。

図22は、この発明に従う同調可能な共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例 50

の概略図である。

図23は、液晶ディスプレイ光弁適用例のための光源として用いられる、この発明に従う共振マイクロキャビティディスプレイの例示的实施例の概略図である。

発明の詳細な説明

この発明は、蛍光体ベースのルミネセンスディスプレイから発される光の特性を強化するために、量子電磁力学 (QED) 理論を用いる。所与のディスプレイ適用例の性能は、色度、方向、およびフラックスのような、発された光の特性に依存する。これらの特性は、各特定のディスプレイ適用例に対して蛍光体活性化剤の自然放出特性を制御するよう、マイクロキャビティの設計においてQED理論の原理を用いることによって最適化され得る。

図4に見られるように、この発明の一例は、基板25上に成長させられる共振マイクロキャビティ20に埋込まれる蛍光体を含む。マイクロキャビティ20は、前面反射体30と、蛍光体ベースの活性領域50と、裏面反射体60とをさらに含む。活性領域50は2つの反射体30と60との間に配置される。この構造は、さまざまな材料を含んでもよく、さまざまな共振器設計を用いてもよい。図4は平面ミラー設計を示し、図5は共焦ミラー設計で構成されるこの発明を示す。共焦設計は、本質的に高いキャビティ・クオリティ・ファクタ (Q) を有するという利点を有する。

さらに複雑なキャビティ設計は、積み重なる複数のマイクロキャビティを伴う。この設計は、各キャビティが結合層によって分離される2つ以上の積み重なったキャビティから典型的にはなる干渉装置を形成するための標準的な方法に類似する。このような構造は、たとえば、バンドパス光学フィルタ、狭帯域光学反射体、および長波長または短波長カットオフフィルタの製造に用いられる。

この発明は、キャビティに適用される量子電磁力学 (QED) 理論を用いることによってのみ完全に理解され得る。キャビティQED計算によって、活性化剤励起および活性化剤濃度の所与の度合のための以下のパラメータ、つまりマイクロキャビティから発された光の量と、発された光の角の広がり、と、発された光の色とを決定できる。

この計算は、キャビティの内側および外側の電磁場の性質を決定することから始まる。この電磁場計算は、マイクロキャビティによって課される境界条件でマクスウェルの方程式を用いる。フーリエ解析を適用して、正味の電磁場はその基本成分、つまり光学モードに分割される。

光学モードは、特性周波数、方向、および分極を有する電磁場である。電磁場の強さの2乗は光の実際の量に対応する。この電磁場の分布から、有効な光に対応する光学モードを選択しなければならない。ディスプレイの場合、有効な光は、一定の所定の角に関する空間的分布および所定の周波数の広がり内における、キャビティから発される任意の光として規定される。

次のステップは、各活性化剤により発された光の量を計算することである。この計算は、各可能な光学モードに対する各活性化剤の放射性崩壊速度を決定することから始まる。放射性崩壊は、自然放出速度と誘導放出速度とからなる。しかしながら、共振マイクロキャビティディスプレイは、誘導放出が全くないときにのみディスプレイとして十分に作動する (つまり、マイクロキャビティをレーザとして作動するように構成することは、それをディスプレイとして用いることを除外することになる)。励起の度合、活性化剤のタイプおよび濃度、ならびに共振器設計が、誘導放出が問題であるときを決定する。

自然放出速度は、単一の励起された活性化剤が特定の光学モードに崩壊する確率を計算するために、QED理論を用いて決定される。この計算は、キャビティにある活性化剤の位置に対して適当な電磁場の強さを用いなければならない。キャビティ内の定常波または進行波の大きさは、蛍光体層を通して異なる値を有するかもしれない。加えて、各励起された活性化剤が光を発することなく崩壊するという一定の確率も存在する。この非放射性速度を計算するために、キャビティQED効果を考慮しなければならない、というのもそれらは非放射性崩壊を担う物理的メカニズムに適用されるからである。

所与の励起レベルに対し、各活性化剤に対する自然発光量がここで計算され得る。放射性速度と非放射性速度との和に対する自然速度の比は、光を生ずる励起のパーセンテージを

10

20

30

40

50

明らかにする。次いで、所望の光学モードにおいて自然放出の量を計算することにより、有効な光の量が決定される。この計算は各活性化剤に対して行なわれる。最後に、すべての活性化剤の寄与の和が、RMDのディスプレイ強度を明らかにする。

制御可能な、RMDの特性には、色度、ディスプレイの指向性、比視感度、およびディスプレイの最大光出力が含まれる。これらの特性は、特定の発光スクリーン適用例の要件に従って整調される。最適化のために考慮されなければならないパラメータは、マイクロキャビティQ、マイクロキャビティ共鳴振動数、反射体の非対称、共振器設計（つまり、平面、共焦、複数キャビティ、等）、蛍光体、蛍光体層の厚み、マイクロキャビティの表面積、および励起源である。これらのパラメータは別々の最適化されることはできず、各々がディスプレイの他の調整可能な特性に影響する。

共振マイクロキャビティの性能はキャビティのQによって表わされ得る。キャビティのQは、マイクロキャビティ共鳴の線幅で除算されるマイクロキャビティ中心振動数によって与えられ、

$$Q = \frac{\nu}{\Delta \nu}$$

ここで、 ν はマイクロキャビティ共鳴振動数であり、 $\Delta \nu$ はキャビティ共鳴の線幅である。キャビティQは、主に、反射体の反射率、共振器設計、反射率の非対称およびキャビティにおける欠陥によって決定される。これらの欠陥は、典型的には、非有効的な態様でキャビティから光を散乱する、共振マイクロキャビティの構造における欠陥から生ずる。Qは光スペクトロメータを用いて経験的に測定可能である。

キャビティQが増大するにつれ、ディスプレイの明るさおよび効率は増大する。加えて、光の角の広がり減少し、線幅は縮んで、色度を変化させる。光の空間的分布が狭くなるにつれ、ある領域における光の量は減少することに注目されたい。ディスプレイ適用例に依っては、この効果は望ましいかもしれないし、またはそうでないかもしれない。現在のディスプレイ適用例の範囲の場合、設計されるキャビティQは典型的には10~10,000の間で変わる。上述の効果は、光強度を、異なるQ値を有する共振マイクロキャビティに対する立体角の関数として測定することによって、経験的に決定され得る。このデータを用いて、所与の適用例に対して必要とされるQを予測することができる。

大抵の現在の適用例の場合、発光スクリーンの一方の側のみが観察される。これらの適用例においては、ディスプレイが光をキャビティから観察者のほうへ優先的に押出すよう、異なる反射率を有する反射体を選択するべきである。

共振器設計は、Qおよびモード体積に直接影響する。後者の語は、有効な光を生ずるのに関与する活性化剤層の実際の体積を表わす。この体積は活性化剤層内における電磁場の空間的分布に関係する。共振器の設計は有効な光の空間的分布をさらに決定する。比較的簡単な構成のため、最も単純な設計は平面共振器である。しかしながら、蛍光体材料において強化された電界強度で定常波または進行波を生ずる他の共振器構造が有効であるかもしれない。特定的には、より大きな活性領域を準備するために、または許された放出に対する、単一のキャビティで達成可能なよりも大きな制御を達成するために、複数の平面マイクロキャビティが組合されてもよい。

図6は、3キャビティ共振マイクロキャビティ200のための1つの例示的設計である。この例では、各キャビティ201A、201B、201Cは、誘電反射体202、206を含む。誘電反射体202、206はキャビティ201Aおよび201Bにおいては半波長結合層204によって分離れ、隣接するキャビティは半波長スペーサ208によって互いに分離される。蛍光体材料209も半波長の厚みであり、キャビティ201Cにおいて半波長結合層に代わって最も下のキャビティ内に位置される。特定される距離は光学的厚さ、つまり層の物理的厚みで乗算される屈折率である。

平面的外形の例において既に論じたように、個々のミラーの反射率および個々のキャビティQを含む、考慮すべきパラメータの完全な組が存在する。加えて、キャビティ間隔、結合層、および蛍光体材料の位置も決定しなければならない。仕様そのものは、特定のディ

10

20

30

40

50

スプレイ要件に依存する。

RMDの主な設計仕様は、発される光の色度である。キャビティの中心振動数および線幅は、RMDが光のこの色を表示するように設計されなければならない。

これらのパラメータが選択されると、蛍光体を選択しなくてはならない。蛍光体は、キャビティ共振と重なる固有ルミネセンス共振を有する必要がある。共振が狭くなり、重なりが増大するにつれ、ディスプレイ効率および明るさは増大する。特定の適用例のためのディスプレイを最適化するためには、色度と他のパラメータとの間における妥協が必要とされるかもしれない。

蛍光体により発される光の強度は活性化剤濃度に関連し、濃度が増大するにつれ、発される光の強度は増大する。活性化剤濃度はしかしながら、ルミネセンスをケンチングする、活性化剤間の非放射的エネルギー伝達によってしばしば制限される。これらのケンチング効果は濃度に依存する。ケンチング濃度は、活性化剤間のさまざまなエネルギー伝達パラメータの大きさに依存して、蛍光体ごとにばらつきがある。これらのパラメータは自然放出特性に関連するため、それらに影響があることを、キャビティQED理論は予測する。したがって、RMDの別の考えられ得る利点は、効率性を失うことなく、活性化剤間のエネルギー伝達が抑制され、蛍光体が以前において可能であったよりも高い活性化剤濃度を含み得るかもしれないということである。加えて、蛍光体は、材料内における異なる光学遷移に対応するいくつかの波長を同時に発することができる。しかしながら、これらの遷移のうちのたった1つだけが、ディスプレイの有効な光を典型的には生ずる。マイクロキャビティは、この有効な遷移を強化する一方で非有効な遷移を抑えるよう設計され得る。この抑制はディスプレイの効率を増す。自然放出およびエネルギー伝達プロセスを抑えるための構造の能力は、ジー・クリツキー (G.Kurizki) およびエイ・ズィー・ゲナック (A.Z.Genack) によって、「周期的誘電体構造における分子相互作用の抑制 ("Suppression of Molecular Interactions in Periodic Dielectric Structures")」、Phy.Rev.Let.61、2269 (1988) に記載されている。

ディスプレイ特性は活性領域の厚みにさらに依存する。キャビティ設計に依っては、所定の振動数を生ずる、いくつかの活性領域厚みがあるだろう。厚みの範囲はミラー構造に依存する。厚みが増大するにつれ、可能性として励起される活性化剤の数は増大する、十分な励起エネルギーがあれば、活性領域が広くなるにつれ、総ルミネセンスは増大し得る。しかしながら、活性領域の厚みは空間的分布を非常に複雑な態様で変えるかも知れない。単純な共面マイクロキャビティの例では、大きな強度のさらなる領域が、マイクロキャビティの面に垂直でない角度で現れる状態で、光の角の広がりが増大する。より複雑な複数キャビティ設計は、ディスプレイの指向性に対する、より大きな割合の制御を可能にする。

共振マイクロキャビティ設計における別の主要パラメータは、放出面の面積である。単色光の発生のために1つの大面積の面を要する適用例もあれば、赤色光と緑色光と青色光を生ずることができるピクセルサイズのキャビティを必要とする設計もある。ピクセルのサイズは、ディスプレイの解像度要件によって決定される。

1つの他の重要なパラメータは、励起源および強度である。ディスプレイ適用例は励起源を指令する。蛍光体を選択することにおける判断プロセスは、励起エネルギーの、有効ルミネセンスへの変換の効率性をさらに考慮しなければならない。この効率は、登録されている蛍光体に対しては十分に文書化されているが、実験に基づいて容易に決定され得る。励起源の強度は主に明るさを変化させる。

上述の設計パラメータを考慮することにおいて、ディスプレイの光特性はレーザに関連するコヒーレンス度に達してはいけなことが注目されるべきである。この問題を避けるために、キャビティQ、活性化剤濃度、および励起強度に特に注意が払われなければならない。

RMD設計は、図7に示されるように、共振マイクロキャビティ386の基板384内またはその上に作製される、レンズまたはディフューザ等の光学素子382の組込みに用いられる。たとえば、レンズは、構造により発生される光出力の角分布を修正して、それにより、必要

10

20

30

40

50

な分布を発生させるのに有用であろう。レンズは、小型半導体レーザの技術において周知であるフォトリソ法を用いて形成されてもよい。局所的な屈折率を変化させるために、別の方法は、制御された、不純物の配置を利用する。この方法は、光ファイバにおいて広く用いられる勾配屈折率レンズを構成するのに用いられる。

このようなレンズを使用することにより、ディスプレイの最適化において考慮されなければならない別のパラメータが加わる。しかしながら、このようなレンズにより、必要とされる光分布を考慮することなく共振マイクロキャビティの出力を最大にすることができる。たとえば、このようなレンズは、投写形CRTディスプレイ適用例において現在必要とされる複雑なレンズ設計に対する要求を取除くかまたは低減するであろう。

同様に、光の角の広がりおよびそれによりディスプレイの視野を精密に制御するために、ディフューザが用いられ得る。マイクロキャビティとは無関係に光分布を制御する能力があれば、必要とされる光分布を考慮する必要なく、蛍光体の自然放出特性を最大にすることができる。ディフューザは、ホログラフィ技術、回折格子刻線技術、内部散乱中心の導入、または精密に制御される表面粗さを用いて作製され得る。

RMDは、蛍光体の電子ビーム衝突から生ずる陰極線ルミネセンスを用いて実施され得る。陰極線ルミネセンスを利用する装置の一例は投写形テレビジョンである。この適用例は、幅広い観察面積を要し、光分散スクリーンを用いるため、可能な限り最も大きい強度を要する。この適用例では、共振マイクロキャビティディスプレイはCRTに組込まれる。

フルカラー投写形テレビジョンは、各原色に1つが対応する3つの別個のCRTを必要とする。この適用例では、RMDは、蛍光体の強い励起負荷、高指向性出力、制御された色度、および高い外部効率を可能にするため、従来の方法よりも優れている。ゆえに、RMDは、比較的小型のCRTの利用を可能にする一方で、高いルミネセンスを維持する。

CRTに組込まれる共振マイクロキャビティディスプレイの例において、蛍光体は、電子銃から発される、その大部分が蛍光体の深さにまで共振マイクロキャビティを貫通するような速度に加速される電子によって励起される。高エネルギー電子は、蛍光体にある電子を、価電子帯から伝導帯に励起する。このさらなるエネルギーは不純物で捕えられる。不純物は次いで、可視光線を発することによって緩和する。

単純な共面マイクロキャビティの例において、反射体は誘電体または金属性のいずれかであり得る。蛍光体から発せられた光は前面反射体を通して薄膜装置の面に垂直にキャビティを出るように、裏面反射体は前面反射体よりも高い反射率を有する。マイクロキャビティQおよび反射率における非対称は、全面反射体を通して共振器を出る光のパーセンテージを決定する。

単純な共面マイクロキャビティの例において、活性領域の幅は、光の指向性に影響し、その光路長、つまり裏面反射体と前面反射体との間の距離と、蛍光体材料の屈折率との積が、近接する層の屈折率に依っては、2または4で除算される所望の波長の整数倍と等しくなるように選択される。これらの寸法により、定常波が裏面反射体と前面反射体との間に作られることが保証される。発される光の波長は、マイクロキャビティの共振波長によって決定される。

誘電体またはブラッグ反射体は、高い屈折率および低い屈折率を有する材料の、交互する層からなる。層の数は反射体の反射率を決定する。反射体の反射率(R)は以下の等式を用いて計算することができ、

$$R = \frac{1 - \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2N} \times \frac{n_H^2}{n_S^2}}{1 + \left(\frac{n_H}{n_L}\right)^{2N} \times \frac{n_H^2}{n_S^2}}$$

ここで、 n_H および n_L はそれぞれ高い屈折率材料および低い屈折率材料の屈折率であり、 n_S は基板の屈折率であり、Nは積重ねにおける層の総数である。この等式は法線入射に対して有効である。各層の幅は、発される光の所望の波長の奇数の整数倍を、層において用いられる材料の屈折率の4倍の量で除算したものに等しい。代替的設計は、ホログラフィ技

10

20

30

40

50

術を用いて反射体を形成する。この例では、ミラーは、絶えず変化する屈折率を有する 1 つの材料から形成される。ミラーを作製するためにフォトリソグラフィが用いられるだろう。

反射体に対して反射率が決定されると、キャビティの Q を計算することができる。単純な共面マイクロキャビティの例では、Q を反射率に関連づける等式は、

$$Q = \frac{2\pi n v}{\alpha \left(1 - \frac{1}{l} (\ln \sqrt{R_1 R_2})\right)}$$

によって与えられ、ここで、 v はマイクロキャビティの共面振動数であり、 n は蛍光体の屈折率であり、 α は平均分布損失定数であり、 l は活性化剤層の幅であり、 R_1 は前面ミラーの反射率であり、 R_2 は裏面ミラーの反射率である。定数 α は、欠陥およびスプリアス吸収から生ずるキャビティの非理想的振る舞いを説明するのに必要とされる。

このディスプレイを最適化するために選択されるパラメータは、ディスプレイの必要とされる明るさと、光出力の必要とされる指向性とに依存する。典型的な投写形テレビジョン適用例では、ディスプレイは非常に指向性がありかつ明るくあるべきである。各色に対し、キャビティ Q は、有効な方向に発される全体の強度を電子ビーム電流の関数として測定することによって経験的に最適化され得る。この効率測定はテレビジョン設計技術において広く見られるものである。

図 8 は、陰極線ルミネセンスのために設計される 1 つの例示的实施例である単純な平面共振マイクロキャビティを示す。本発明 10 は、剛体の透過性基板 25 上に成長させられる共振マイクロキャビティ 20 を含む。アルミニウム 80 の層は、電子ビームによって置かれる電子の流れを変え、さらなる反射面を設けるために、マイクロキャビティ 20 の隣に配置される。共振マイクロキャビティ 20 は、分子線エピタキシ (MBE) または固体製造の任意の好適な方法を用いて、基板 25 上に成長させられる。当該技術分野において公知の成長の方法のいくつか (たとえば、現在の開発レベルでの LPE) は、正確にサイズをとられたマイクロキャビティを成長させるのに必要な精度で制御することができないため好適ではない。活性領域 50 は、アルミニウム層 80 および裏面反射体 60 を通って入る電子ビーム 54 からの電子により励起される。活性領域で作られた光 58 は、前面リフレクタ 30 および基板 25 を通って出る。

図 9 に見られるように、この実施例は、電子銃 110 の遠位にある平坦な観察面 115 に向けられる電子銃 110 (電子ビームを発生する手段である) を封じ込めるガラス真空管 105 と、平坦な観察面 115 に平行して真空管 105 の内側に配置される蛍光体ベースの共振マイクロキャビティ 20 とを含む陰極線管 (CRT) 100 において実施され得る。この実施例は、単色光を生ずるために構成される。

図 10 に示されるように、530 ナノメートルの波長を有する前面反射体を通して光を発するために設計される実験的实施例、活性領域 50 において用いられる材料は、2 % のドーパント濃度でマンガ (Mn) をドーパされた硫化亜鉛 (ZnS) である。活性領域 50 の厚みは 110 ナノメートルであり、蛍光体は $n = 2.4$ の屈折率を有する。

前面反射体 30 において、比較的高い屈折率を有する層において用いられる材料 32、36、40 および 44 は ZnS であり、比較的低い屈折率を有する層において用いられる材料 34、38、42 および 46 はフッ化カルシウム (CaF_2) である。裏面反射体 60 において、比較的低い屈折率を有する層において用いられる材料 62、66、70、74、77 および 79 は CaF_2 であり、比較的高い屈折率を有する層において用いられる材料 64、68、72、76 および 78 は ZnS である。すべての高屈折率 ZnS 層は、 $n = 2.4$ の屈折率を有する、55 ナノメートルの厚みである。すべての低屈折率 CaF_2 層は、 $n = 1.4$ の屈折率を有する、95 ナノメートルの厚みである。

基板 25 は CaF_2 で作られる。それは、2 ミリメートルの厚みであり、 $n = 1.4$ の屈折率を有する。アルミニウム層 80 は 50 ナノメートルの厚みである。

マイクロキャビティ 20 は MBE を用いて基板 25 上に成長させられ、アルミニウム層 80 は気相溶着を用いて堆積される。

前面反射体は 8 つの層で $R = 97.5\%$ の反射率を有し、裏面反射体はアルミニウム層を含む

10

20

30

40

50

12の層で $R = 99.9\%$ の反射率を有する。裏面反射体は前面ミラーよりも反射力があるため、キャビティにおいて生じた光のほとんどすべては前面反射体を通して出る。

図11に示されるように、RMDの反射率は入射光の波長の関数である。530nmの共振波長で、反射率はおおよそ86%に下がり、RMDがこの波長を伝えることを示す。他のすべての波長では反射率は100%に近く、RMDは非共振波長では光を透過しないことを示す。この反射率行動は、キャビティはその共振波長に等しい波長の定常波しか維持しないという事実によるものである。

別の実施例では、RMDはCRTにおいて直視式テレビジョンとして用いられ得る。図12は直視式カラーテレビジョンを示す。CRT120は、各原色に1つが対応する3つの電子銃122、124および126を有するという点を除き、投写形テレビジョン実施例において記載されるものと同様である。電子銃の各々は、各色の所望強度に対応する別個の電子ビーム130、132および134を生ずる。電子ビームは、CRTの観察面上のスクリーン140を励起させる。

図13aに見られるように、スクリーン140はピクセルサイズのマイクロキャビティ20のアレイを含む。アレイは赤色光142、緑色光144および青色光146を生ずるよう設計されるマイクロキャビティを含む。赤色光ピクセルは「赤」電子ビーム130より励起され、緑色光ピクセルは「緑」電子ビーム132により励起され、青色光ピクセルは「青」電子ビーム134により励起される。図13bは、ピクセルのアレイおよび色の配列の正面図を示す。別々の色ピクセルを伴うカラーディスプレイの設計は当該技術において周知である。

この実施例において、ピクセルから放出する光は必要とされる角分布を生ずる。さらに、共振マイクロキャビティによって生ずる最大効率を考慮に入れるこのディスプレイ要件を達成するためにレンズを用いる実施例を構想することもできる。必要な角分布は、ホログラフィ光学素子のようなディフューザを用いて得ることもできる。

ピクセルの構成は、投写形テレビジョンのための実施例において記載されたそれと基本的には同じである。主要な違いは、表面積のサイズおよび必要な光の角の広がりである。この例において、表面積は、明るさによってではなく、適用例が必要とする解像度によって決定される。高精細度テレビジョン、医療用および軍用適用例は、典型的には、ピクセルサイズが25ミクロンよりも小さくあることを要求する。この要件は現在の技術を用いて達成するのは困難であるが、RMDを用いれば容易に達成され得る。

解像度および角分布が特定化されると、共振マイクロキャビティディスプレイは各色に対して最適化されなければならない。この最適化は、ビーム電流に対する生じたすべての光は測定するという上述の経験的方法を用いる。仕様による設計の制約は、最大光出力を得ることは主には蛍光体活性化剤の機能であることを意味する。レンズがキャビティの外側に置かれる実施例では、はるかに自由にキャビティを設計することができる。角分布上の制約がない場合には、キャビティQは容易に調整することができる。

活性層を励起する電子を用いる別の実施例において、共振マイクロキャビティ217は図14に示されるように真空蛍光ディスプレイ210に組込まれ得る。ディスプレイ210は、低解像度小型情報ディスプレイおよび超大型ディスプレイを形成するのに典型的には組合わされる個々のピクセルを含む。

真空蛍光ディスプレイは、一般的には、陰極226のアレイと、制御格子224と、図14に示される陽極214のような陽極に対応する、蛍光体で被覆される陽極とを含む。(図14に示される陽極214は、以下に記載される従来の陽極とは異なる。)陰極アレイ226を形成する熱フィラメントによって電子がまず発生される。正の電圧が陰極アレイ226と陽極214との間に印加される。制御格子電圧がオンのとき、電子は、従来の真空蛍光ディスプレイにおいては、陽極の上に堆積される蛍光体層に向かって、正の電位により加速される。ディスプレイの残りの部分は、従来的には、ガラスフェイスプレート212と、ガラスバックプレート228と、制御ワイヤ格子224およびフィラメント陰極226のための真空を含むガラスフリットシール222とを含む。

共振マイクロキャビティ構造は、このタイプのディスプレイの性能を向上させるために用いられてもよい。1つの可能な例示的实施例が図14に示される。制御ワイヤ格子224と陽極214との間に配置される1対の誘電体ミラー216、220間に挟まれる活性層218を含む共振

10

20

30

40

50

マイクロキャビティ構造217は、従来的には陽極214のような陽極上に堆積される粉末蛍光体に置換わる。

小規模単色ディスプレイの場合、1つの共振マイクロキャビティ217が用いられ、ピクセルは制御格子224および陰極226の配列によって決定されるだろう。フルカラーが要求される場合、各原色に対して共振マイクロキャビティ217が要求されるだろう。効率的なレイアウトは、各色のための別個の縞を伴うマイクロキャビティ217の交互する縞を含む。大型スクリーン適用例では、各ピクセルは特定色に対して設計される1つの共振マイクロキャビティを組込むだろう。アレイは、したがって、赤、緑、および青ピクセルの3つ組を含む。

2つのCRT実施例に対して上で論じたように、指向性、明るさ、色およびマイクロキャビティ構造等のパラメータは真空蛍光ディスプレイに当てはまる。ディスプレイを最適化するために要する設計上の考慮および設計方法も同じである。たとえば、このディスプレイは直視型であり、発光は観察者に向かって矢印Aで示される方向に向けられる状態であるため、発される光の発散は観察者の距離および必要とされる観察角に対して調整されるだろう。レンズおよびディフューザの組込みが考慮されなければならない。特定の適用例に対する真空蛍光ディスプレイの設計は当該技術分野において周知である。

電子による励起を用いる別の実施例では、共振マイクロキャビティは、投写形および直視式適用例の両方のための電界放出ディスプレイに組込まれ得る。このディスプレイは、低い仕事関数材料の微視的末端部または微視的領域からの電子のトンネル効果の原理に基づいて作動する。電子は次いで、正の電位を通して加速され、隣接する蛍光体層を貫通する。典型的には末端部と蛍光体との間に真空化された領域があるが、いくつかの適用例では蛍光体は放出面の上に直接成長させられるだろう。

これらのディスプレイは高電圧モードおよび低電圧モードの両方で作動してもよい。典型的には500ボルトより高い高電圧適用例では、エミッタアレイは各マイクロキャビティの後ろに組込まれる。ディスプレイは、単色光を生じさせるために、ディスプレイ全体のサイズである1つのマイクロキャビティからなってもよく、またはディスプレイはカラー画像を生じさせるのに好適なピクセルサイズのマイクロキャビティからなってもよい。これらの構造では、電圧は、電子がRMDの底部ミラーを通過し活性領域に入って蛍光体を刺激するほど十分高いものでなければならない。

図15は、ミラー234と238との間の活性層236を含む共振マイクロキャビティ239を組込む単色電界放出ディスプレイ230の一例示的实施例を示す。陽極240と陰極246との間に正の高電圧が印加されると、シール248によって真空化領域242内に密封された電界放出材料244によって電子が発生される。電子は次いで、真空化領域242を通過して加速され、共振マイクロキャビティ239を貫通し、活性層236を励起する。アルミニウム層240は、約50ナノメートルの厚みであり、電子を接地に導通する。

低電圧適用例では、低エネルギー電子の、限定される貫通深さのため、電界放出材料はRMDの内側に位置されなければならない。材料に印加される低電圧が発されるべき十分な数の電子を誘起するよう、好適な放出材料は低い仕事関数を有さなければならない。この適用例では、低電圧は、共振マイクロキャビティにかけられ、電子を誘起して電子放出材料から蛍光体へトンネリングさせて、活性化剤を励起させる。与えられる界の影響下で、電子は蛍光体中を進行し、次いで、電子を接地に導通させる別の材料に入る。

図16に示される低電圧電界放出ディスプレイ250の一例示的实施例において、共振マイクロキャビティ253(基板252上に堆積される)は、蛍光体層258の一方の側の上に堆積される配向付けられたダイヤモンド膜層256を含む。放出された電子を接地に導通させるために、ダイヤモンド膜層256と同様の別の導電膜層260が蛍光体層258の対向する側の上に堆積される。導電層260と256との間に低電圧電位が印加される。反射体254、262は、導電層256、260および蛍光体層258によって形成されるサンドイッチ状の構造の外側に配置される。この実施例は図16に示される。

単純な共面マイクロキャビティの例では、すべてのディスプレイ適用例において主要な設計仕様は、キャビティの内側の電界の腹に、またはその付近に活性層を位置させることで

10

20

30

40

50

ある。低電圧電界放出ディスプレイでは、活性層の厚みを仮定すると、この仕様は重要である。蛍光体材料が腹にまたはその付近に位置されれば、蛍光体層が2つの放出層間に挟まれる基本構造を繰返すことができる。共振マイクロキャビティディスプレイ300の一例示的实施例における定常波電界の図が図17に示される。マイクロキャビティディスプレイ300は、基板302、1対のミラー304、および活性層306を含む。活性層306における電界振幅310が概略的に示される。節311および腹312が図示される。

考慮しなければならない設計上の問題は、他のディスプレイ適用例において既に論じられたものと基本的には同じである。しかしながら、電子放出材料の指数は、ここで、キャビティの設計において大きな要素でなければならない。さらに考慮すべきことは、特定の印加電圧範囲に対する材料の選択である。

10

さらに、RMDはエレクトロルミネセンスディスプレイに埋込まれ得る。このディスプレイ適用例においては、RMDは2つの導体間に挟まれる。電圧信号は導体に与えられ、それによって、薄膜エレクトロルミネセンス(TFEL)と呼ばれるものを誘起する。ピクセルサイズの素子のアレイは、TFELの平坦なパネルディスプレイを作る発光スクリーンを形成するように構成される。

この実施例はピクセルのアレイを含み、各ピクセルは電氣的に活性化されるマイクロキャビティである。図18はアレイにおける1つのピクセル160を示す。ピクセルは、肉眼で透明な基板162と、接地として働く、インジウムをドーブされた酸化錫(ITO)の層164(透過性金属)と、共振マイクロキャビティ166とを含む。共振マイクロキャビティ166は、前面反射体168、蛍光体ベースの活性領域170、および裏面反射体172を含む。裏面反射体172の隣に配置されるのはアルミニウム層174であり、これは各キャビティが電氣的に絶縁されるような態様で各マイクロキャビティ上に堆積される。

20

このディスプレイは、ピクセルマイクロキャビティ166のアルミニウム層174に電圧を印加することによって励起される。ピクセルのアドレッシングは、平坦なパネルディスプレイ設計の技術分野においては広く見られるものである。

このディスプレイは、電界強度に対する、放出される有効な光の量を測定することによって最適化されるだろう。(この実施例においては)エレクトロルミネセンス効率が重要であるため、選択される蛍光体に対して特に注意が払われなければならない。

さらに、RMDは、蛍光体を励起するのに紫外線を用いる平坦なパネルディスプレイにおけるピクセルのアレイとして実施されてもよい。図19に見られるように、各ピクセル180は、裏面反射体184を通過して活性領域186(つまり蛍光体)を励起する紫外線を生ずるプラズマ放電ランプ182を含む。放出された光は次いで前面反射体188および基板190を通過してディスプレイから出る。

30

RMDの概念は、透過性の直視式の平坦なパネルディスプレイを作製するのにさらに用いられ得る。このディスプレイは、ディスプレイにおいて用いられるマイクロキャビティの特定の共振波長における場合を除き、肉眼で見て透明である。単色ディスプレイおよびフルカラーディスプレイの両方が可能である。たとえば、フルカラーディスプレイを作るためには、赤、緑および青に対して国際CIE色標準(the international CIE color standard)により指定される3つの完全な飽和色に対応する3つの波長を選んでよい。

透過特性は、狭い波長帯域幅、典型的には1ナノメートル以下内で高効率ミラーとしてのみ機能する反射体を用いる共振マイクロキャビティを作製することによって作られる。この領域の外側では、反射体は100%近く透過し、したがって、RMDは目には透明に見える。このような狭帯域反射体は、誘電体ミラーを利用する複数キャビティ構造を用いて、最も良いものが作製され得る。

40

図20に示される一例示的实施例では、平坦なパネルディスプレイは、電界により励起されるピクセルサイズのRMD500のアレイからなる。2つの透過性電極504、514は、各マイクロキャビティ506の両側に接続されなければならない、インジウムがドーブされた酸化錫(ITO)を用いると最も良く作製され得るだろう。マイクロキャビティ506自体は、ミラー508、512の間に活性層510を含む。

透過性ディスプレイを作ることに加えて、高コントラストディスプレイを作るために、同

50

じ反射体構造を利用することができる。この実施例では、裏面は、別の不透過層（図示せず）によって、またはITO層514を不透過導体と置換えることによって、不透過性にされる。外部周辺光はディスプレイを通して透過され、次いで裏の層によって吸収される。共振波長外における反射体の高い透過特性のため、前面からの反射は最小にされるだろう。このようなディスプレイは、100以上の大きさでの非常に高いコントラスト比を有するように作られ得る。これらの直視式ディスプレイは、3つの励起源のいずれをも利用することができる。

有機材料の使用は、プラスチック等の可撓性材料からRMDを構成することを可能にする。共振マイクロキャビティディスプレイはレーザ光を用いて励起されることも可能である。レーザ光は、誘導放出プロセスから生じ、高い度合いの空間的および/または時間的位相コヒーレンスによって自然放出光とは区別される。レーザ光は、蛍光体により吸収される波長を有するように選択される。キャビティ構造はレーザ波長を通すように設計されなければならない。図21に示される一実施例では、レーザ412は、陰極線管における電子ビームと同様の態様で、発光スクリーン401中を縦横に走査するだろう。ビーム410の向きの制御は、典型的には、回転するミラーおよび音響光学変調器によって達成される。レーザでシーケンシャルな情報を書く能力は、当該技術分野においては周知である。発光スクリーン401自体は、基板402と、ミラー404、408および活性層406を含むマイクロキャビティ403とを含む。

RMDは、光を吸収して電気信号を発生させるために、逆の構成で用いられることもできる。上述のディスプレイにおいて示された光の強化された放出を生み出す物理的特性は、強化される吸収も生じさせる。光エネルギーは電気エネルギーに変換されなければならない。強化された吸収というその特性を利用する共振マイクロキャビティの別の適用例は、写真術の分野にある。この適用例では、フィルムは、活性層が感光性材料を含む共振マイクロキャビティを含むだろう。この結果、このフィルムは、3原色に対応する一定の波長でのみ吸収を行なう。吸収の量は精密に制御され得るため、フィルムは極めて正確な色の再生が可能である。情報は、マイクロキャビティ内の感光性材料から電気信号を引き出すことによってさらに記録され得る。一般的な設計は、電荷結合検出器を用いるデジタルカメラと同様である。

放出特性に影響するRMDの独自の能力は、メモリ記憶素子においてさらに用いられてもよい。前に説明されたように、共振マイクロキャビティにおける光学材料の封じ込めは崩壊速度に影響する。キャビティが光学材料の遷移エネルギーと共鳴するか否かによって、寿命は減少または増大する。ゆえに、材料の寿命を大きく延ばし、情報を記憶するのにこの効果を用いることが可能である。

共振マイクロキャビティで情報を記憶する別の可能な方法は、ホールバーニングに基づく。このプロセス、および情報の記憶のためのその適用は、周知である。共振マイクロキャビティに材料を置くことによって、強化された吸収を利用できるのみならず、ホールバーニングプロセスをより効率的にするために、前に記載した増大した寿命の効果をも利用することができる。

RMDは、光弁の設計においてさらに用いられ得る。これは2つのRMDを必要とする。蛍光体を有さない1つのRMDを、蛍光体を有するRMDの上に成長させる。第1のRMDは、第2のRMDから放出する光の強度を変調する。変調器は、第1のRMDをその共鳴振動数に同調させるかまたは同調させないことによって働く。第1のRMDの整調プロセス（電気光学効果または圧電効果を用いる）は、第1のRMDに電圧を印加することによって達成されるだろう。この変調器は、光を完全にオンおよび完全にオフにすることによって、スイッチとしてさらに利用され得る。基板422上に成長させられる、変調されるRMD421が図22に示される。この図では、活性層426を間に有するミラー424、428を含むRMD421は、ミラー層424および428に電圧Vを印加することによって変調される。この変調は、電気光学効果または圧電効果のいずれを用いても達成され得る。

たとえば電気光学効果または圧電効果を用いてキャビティ共振を整調する能力は、RMDがさまざまな通信モードにおいて用いられることを可能にする。共振マイクロキャビティは

10

20

30

40

50

、振動数および立体角の範囲にわたって光を発し、光を放出するよう設計されてもよい。これらの振動数および立体角は電気信号を与えることによって変更されてもよい。こうして、RMDは情報を送り、受けるために利用され得る。軍用設備において用いられる友軍または敵軍識別は、1つの可能な利用例であろう。

プラズマディスプレイパネルにおけるRMDの使用は、蛍光灯を作製するのにさらに用いられてもよい。広く用いられる蛍光灯と比較して、RMDランプは、より大きな効率をもたらす、強力に増強された蛍光性という利点を有する。単一のRMDランプは一定の波長の光を発する。これは、ステージランプ等の適用例に対して有用である。広く用いられるステージランプは、UV領域、可視領域、および赤外線領域にわたって発光し、一定の波長(色)を選択するためにフィルタを用いる。光の大部分はランプから出されないため、このフィルタプロセスはランプを非常に非効率的なものにする。対照的に、RMDランプは、一定波長の光のみを作り、ゆえにフィルタを必要としない。効率はゆえに、はるかに高い。R、GおよびB素子の組合せは白色光源をもたらす。

一般的に、どんな光源も、原則として、共振マイクロキャビティディスプレイによって置換えられ得る。たとえば、白熱光は、自動車のテールランプおよび交通信号灯のために色のついた光を生じさせるのに、典型的にはフィルタリングされる。共振マイクロキャビティは、これらの現在の光源を、非常に効率的な単色の、かつ指向性のある光源に置換えることができる。励起は、既に論じた手段のいずれを用いてもよい。

非発光ディスプレイにおいて、光源と、像を生ずる面とは分離している。像は、典型的には、光源により生ずる光を変調する光弁を用いて形成される。広く用いられる光弁ディスプレイは、1つ以上の液晶と偏光子との組合せを用い、液晶ディスプレイ(LCD)と呼ばれるものを形成する。光弁は、反射および透過の両方において用いられ、投写形および直視型適用例の両方に使用を見出す。ピクセルのサイズは、光変調器によってのみ決定される。

各適用例において、十分に明るい光源が必要とされる。しばしば、ディスプレイはフルカラー能力をさらに必要とする。現在、平坦なパネル適用例の場合、蛍光灯は、バックライトとして用いられ、LCDパネルによって後に変調される白色光を作り出す。フルカラーの平坦なパネルディスプレイを作るために、色フィルタが各ピクセルにおいて挿入されて白色光をフィルタリングし、3原色を生じさせる。

RMDは、このような平坦なパネルディスプレイ適用例に組込まれて光源を形成することができる。単色ディスプレイの場合、変調器は1つの大面積共振マイクロキャビティに取付けられる。マイクロキャビティは、3つの励起手段のいずれによってでも励起されることができる。フルカラーは、1つの色を生じるよう設計された1つの連続的共振マイクロキャビティを形成するように各縞状領域が構成される、交互する縞からなるマイクロキャビティのアレイによって、最も良く生じるだろう。

投写形デバイスの場合、白色光源を生じさせるのにアーク灯が用いられ、色は、白色光の3原色成分を分離するためにダイクロイックフィルタを用いることによって典型的には生じさせられる。この代わりに、3色は、3つの独立した共振マイクロキャビティによって、またはマイクロキャビティのアレイを作り出すことによって生じさせられ得る。

加えて、LCD変調器は、入力光が最初に偏光されることを必要とし、入力に位置される偏光子を用いる。偏光された光を生ずるように共振マイクロキャビティを設計することによって、この偏光子を除去することが可能である。これは多くの方法で達成され得る。たとえば、ミラー間の領域は、複屈折材料を用いて、光の偏光に依ってキャビティが異なる振動数で共振するような態様で作製され得る。キャビティは、たった1つの偏光された光の成分が所望の振動数で共振するように設計され得る。

光変調器のために用いられる光を発生するために共振マイクロキャビティを利用することの主な利点は、増大された光出力効率である。RMD光源は、高い明るさレベルを生じ、かつ指向性が高い。後者はLCD適用例に対して特に有用であり、というのもそれは光出力が立体角の一定の範囲内に含まれなければならないからである。加えて、色フィルタおよびダイクロイックビーム分割器の除去によって全体的なスループットが増大する。他の設計

10

20

30

40

50

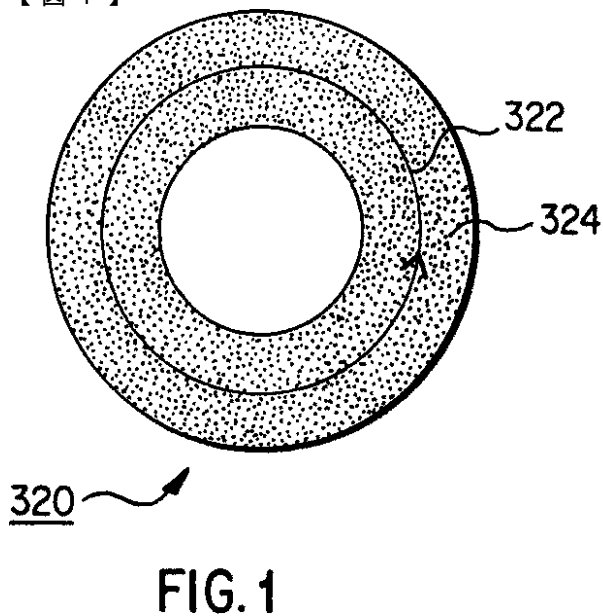
上の利点は、平坦なパネル適用例にとって特に有用である、RMDのコンパクトな性質である。

図23に示される一例示的实施例において、単色の平坦なパネルディスプレイ270が示される。この例では、共振マイクロキャビティ275は、AC電源284により励起されるプラズマ放電282によって生じるUV光により励起される。マイクロキャビティ275を通過して漏れ出るいかなる有害なUVも基板274によって吸収され、別のUV遮蔽基板286はプラズマ放電282の他方の側でさらに用いられるだろう。光弁は光を変調するためにLCD272を用いる。LCD272は多数のモードにおいてアドレス可能であり、この仕様は共振マイクロキャビティを用いることによって影響されない。マイクロキャビティに対する主要な設計上の考慮すべき点には、光の発散、光の偏光、明るさ、および共振波長が含まれる。

上述の実施例は、例示的な例として与えられ得るものであり、本発明にいかなる限定を課すことも意図されない。

10

【図1】



【図2】

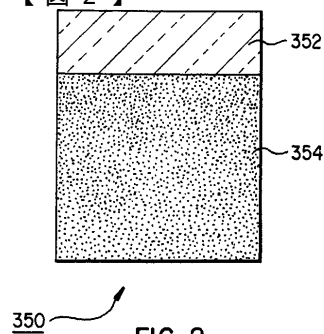


FIG. 2

【図3】

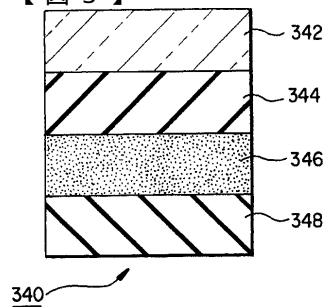


FIG. 3

【図 4】

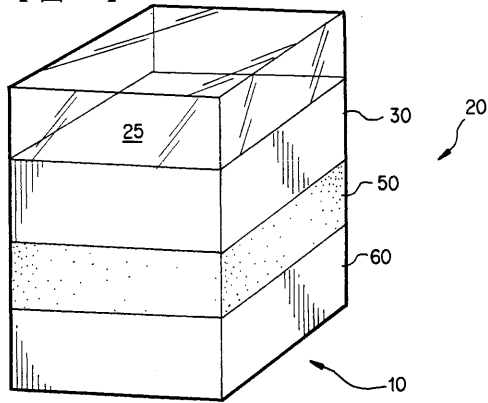


FIG. 4

【図 13b】

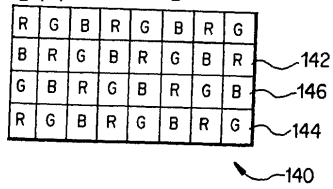


FIG. 13b

【図 5】

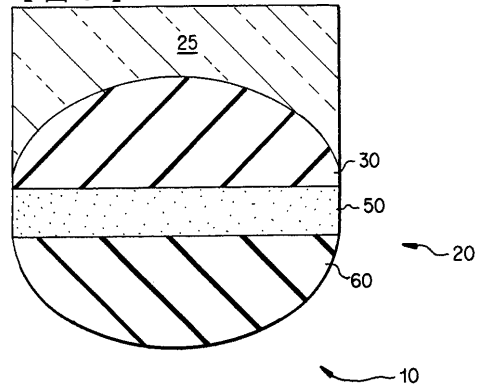


FIG. 5

【図 6】

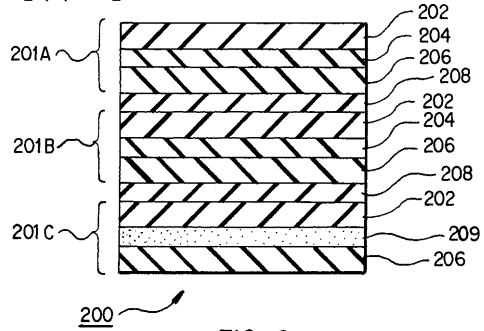


FIG. 6

【図 7】

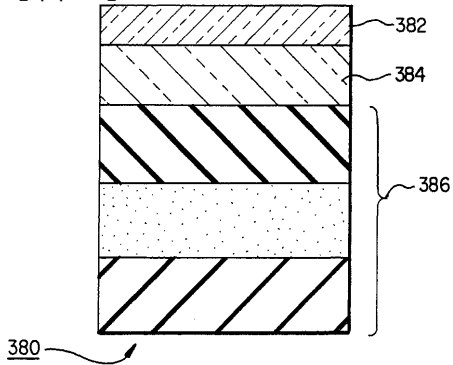


FIG. 7

【図 13a】

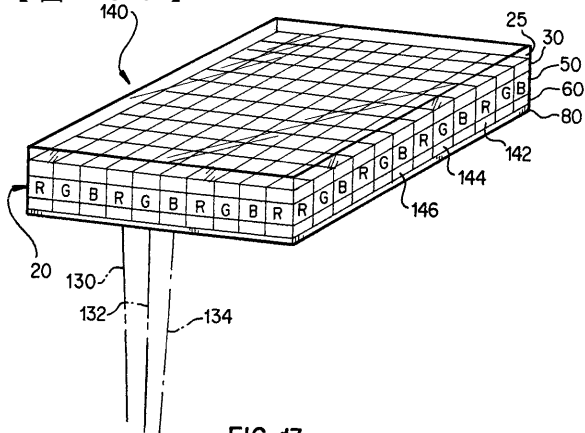


FIG. 13a

【図 8】

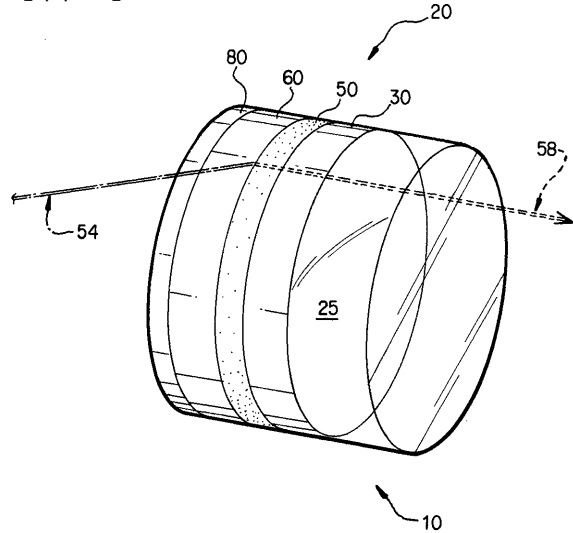
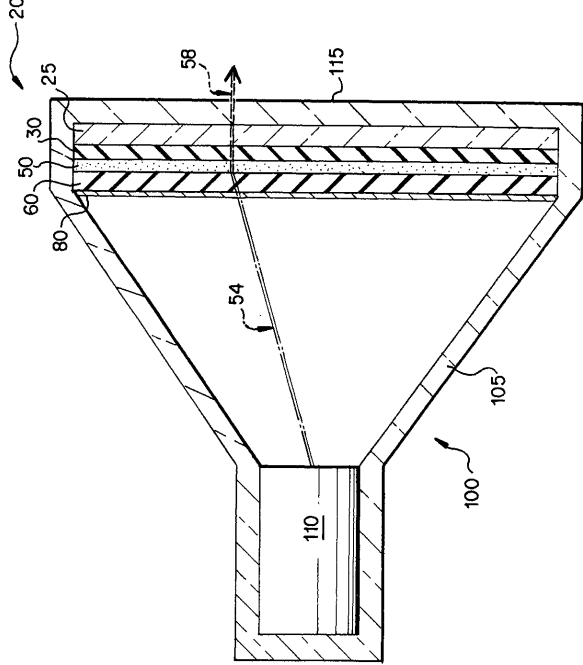


FIG. 8

【図 9】



【図 10】

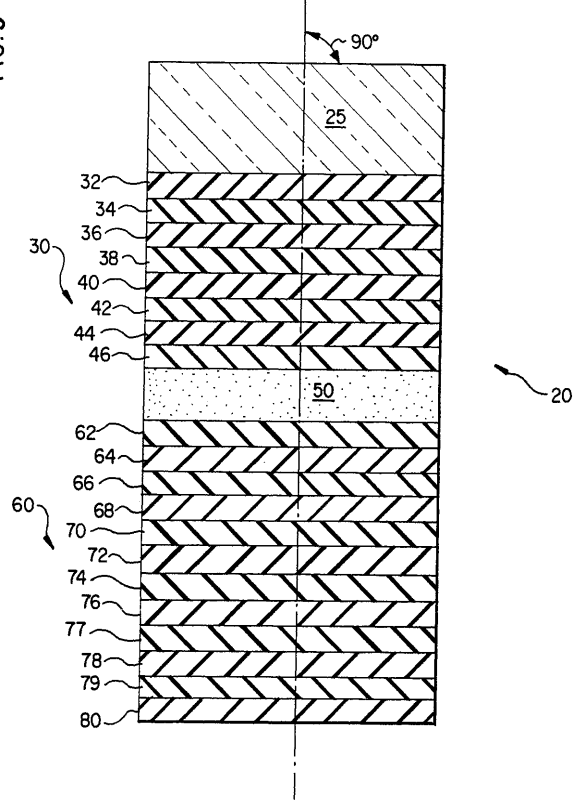
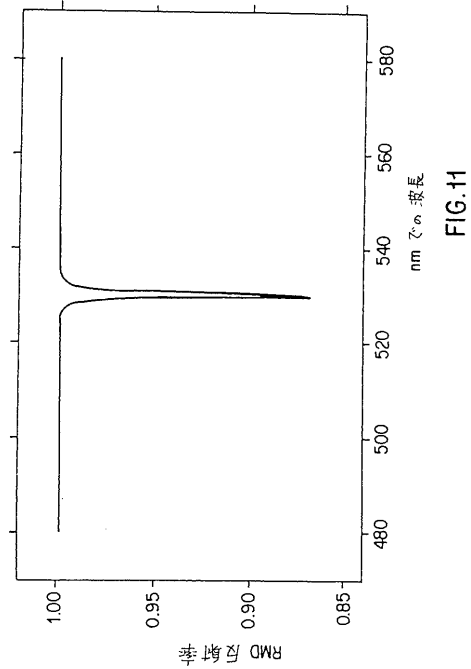


FIG.10

【図 11】



【図 12】

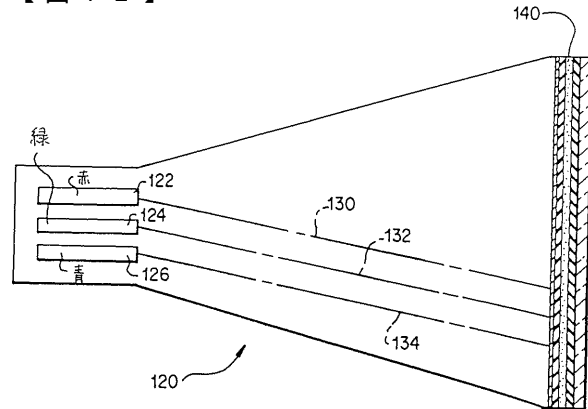


FIG. 12

【図 14】

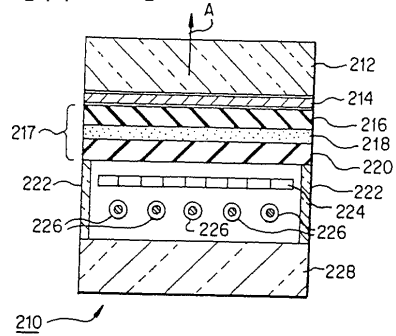


FIG.14

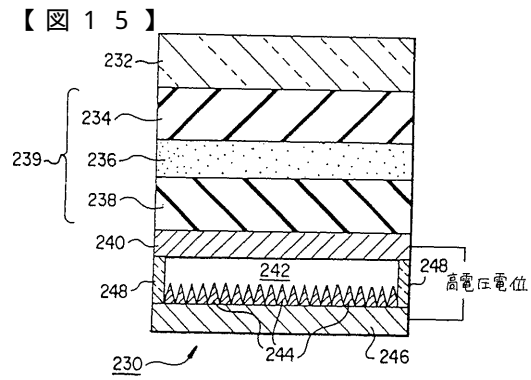


FIG. 15

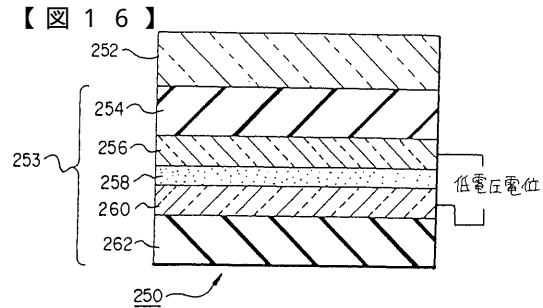


FIG. 16

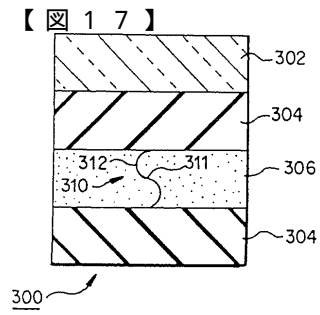


FIG. 17

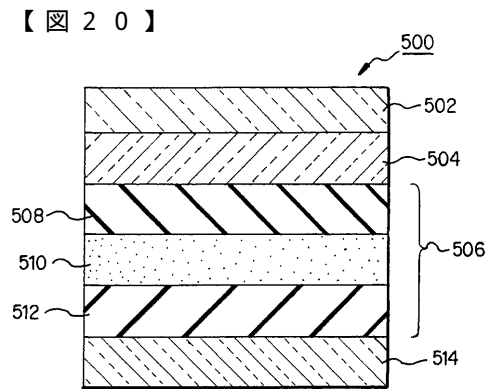


FIG. 20

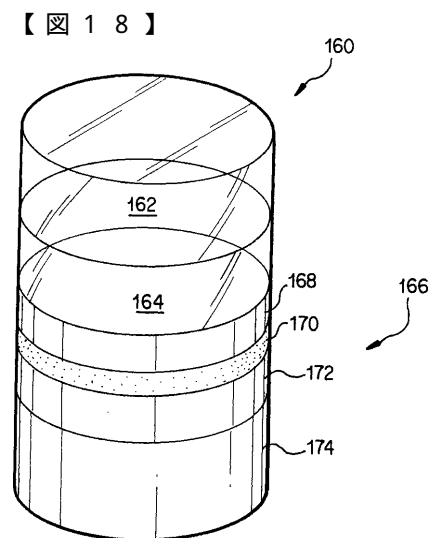


FIG. 18

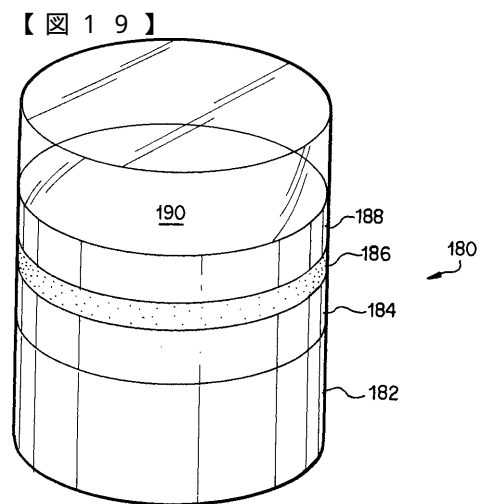
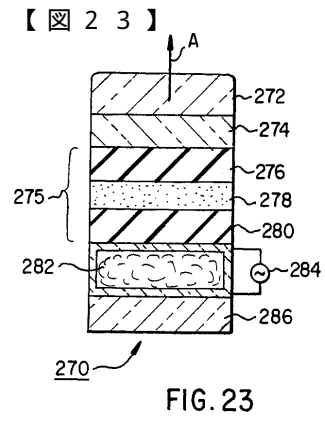
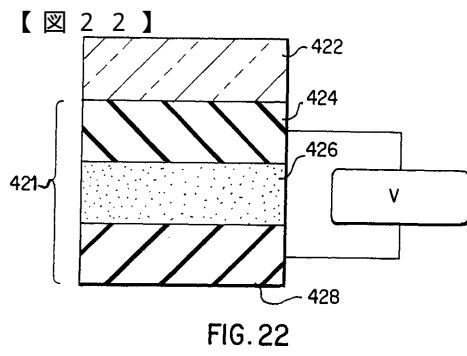
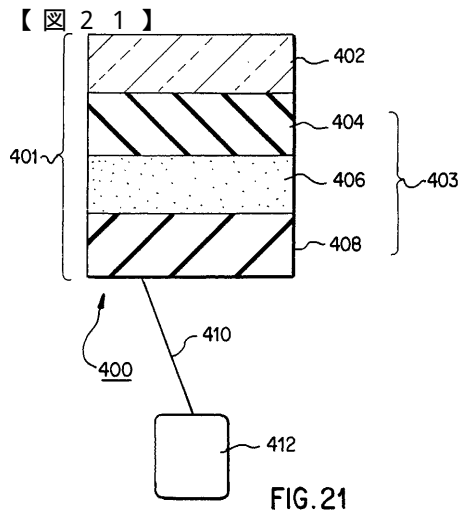


FIG. 19



フロントページの続き

(74)代理人

弁理士 野田 久登

(74)代理人

弁理士 酒井 将行

(72)発明者 ジェイコブセン, ステュワート・エム

アメリカ合衆国、3 0 0 7 3 ジョージア州、パウダー・スプリングズ、ブログドン・ドライブ、
1 1 3 4

(72)発明者 ジャッフェ, スティーブン・エム

アメリカ合衆国、3 0 6 0 5 ジョージア州、アセズ、ノースビュー・ドライブ、1 4 5、アパ
ートメント・ナンバー・1

(72)発明者 アイラーズ, ハージェン

アメリカ合衆国、2 4 0 6 0 バージニア州、ブラックスバーグ、ワシントン・ストリート・エス
・イー、6 1 7、アパートメント・1

(72)発明者 ジョーンズ, マイケル・エル

アメリカ合衆国、3 0 6 0 5 ジョージア州、アセズ、ゲインズ・スクール・ロード、7 8 0、
ナンバー・1 1

(72)発明者 ジャッフェ, アーピング

アメリカ合衆国、2 2 1 8 1 バージニア州、ビエナ、カーゾン・コート、2 7 0 1

審査官 加藤 隆夫

(56)参考文献 特開平06-224472(JP, A)

特開平05-061080(JP, A)

特開平04-212489(JP, A)

特開平05-097598(JP, A)

特開平03-229480(JP, A)

特開平04-280693(JP, A)

特開平05-013749(JP, A)

特開平03-283239(JP, A)

特開平04-096389(JP, A)

特開平02-078139(JP, A)

米国特許第03982151(US, A)

特許第2650458(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G09F 9/00 - 9/46

H01L 33/00

H01L 27/00

H01J 1/30

H01J 29/00

H01S 3/00

G02F 1/00