[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
F21K 7/00
H01S 3/00

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96197959.3

[43] 授权公告日 2003 年 4 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1105851C

[22] 申请日 1996.10.2 [21] 申请号 96197959.3
[30] 优先权
[32] 1995.11.1 [33] US [31] 08/548,346
[86] 国际申请 PCT/US96/15822 1996.10.2
[87] 国际公布 WO97/16679 英 1997.5.9
[85] 进入国家阶段日期 1998.4.29
[71] 专利权人 艾加伦特技术公司
地址 美国加利福尼亚州
[72] 发明人 R·H·海茨
审查员 杜广元

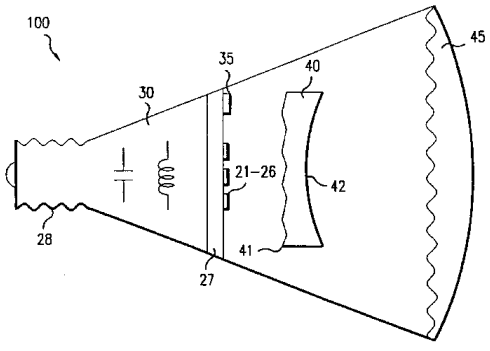
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 邹光新 王 岳

权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称 用于照明的垂直腔面发射激光器阵列

[57] 摘要

描述了一种用于在红外和可见光波段照明的光源包括垂直腔面发射激光器(VCSEL)列阵。通过使用几种不同的列阵(21—26)，每个列阵(21—26)产生一种不同波长的光，可获得普通光源的替换。本发明比已知发光技术提供了更低的功耗和更长的使用寿命。



ISSN1008-4274

1. 一种光源，包括

多个垂直腔面发射激光器芯片，每个芯片包括多个垂直腔面发射激光器单元，每个芯片上的单元产生预定波长的激光并被耦合在一起，因此它们至少可被并行驱动，芯片通过串联耦合和并联耦合的组合被耦合在一起；和

与芯片耦合以为各单元提供驱动电流的电源。

2. 根据权利要求 1 的光源，其中各芯片上的单元产生的光波长与其它芯片上的单元所产生的不同。

3. 根据权利要求 2 的光源，其中每个芯片上的单元产生的红外光波长在 700 和 1000nm 之间。

4. 根据权利要求 1 的光源，其中所述单元可以至少 10MHz 的频率调制。

5. 根据权利要求 2 的光源，其中破坏相位的光学系统位于芯片和被照明的目标之间，破坏相位的光学系统降低了单元的时间相干性。

6. 根据权利要求 5 的光源，其中光源用于提供保密用途的红外光。

7. 根据权利要求 1 的光源，其中每个单元具有阴极和阳极触点，芯片上全部单元的阴极触点是共用的而阳极触点被分成至少两个分离的阳极组，光源的亮度调节由降低各单元的驱动电流和关断耦合到至少一个阳极组的这些单元来完成。

8. 根据权利要求 1 的光源，其中所述每个芯片上的单元至少并行驱动，垂直腔面发射激光器单元的直径为至少 20 微米，每个单元具有多个激射部分，各部分之间独立地激射，没有时间相干性；

所述电源至少能为全部芯片上的全部单元并行地提供驱动电流；和

与电源耦接以控制芯片的光输出的控制器。

9. 根据权利要求 8 的光源，其中每个芯片中所含的单元发出相同波长的光，每个芯片发出的光波长与任一其它芯片都不同。

10. 根据权利要求 9 的光源，其中从每个芯片发出的光合并为白光。

11. 根据权利要求 10 的光源，其中，控制器可接受用户输入，用户确定在任意预定的时间哪个芯片应发光，然后光源能够提供各个芯片单元独产生的各个波长的光或各个波长任意组合而成的光。

12. 根据权利要求 8 的光源，其中芯片可同时被调制以传输信息和产生照明。

13. 根据权利要求 8 的光源，其中破坏相位的光学系统位于光源和被照明的目标之间，破坏相位的光学系统降低了各激射单元的时间相干性。

14. 根据权利要求 8 的光源，其中，电源可由控制器调节以对每个激射单元同时提供可变的驱动电流，因而允许对光源进行亮度调节。

15. 根据权利要求 14 的光源，其中，光源可进一步地进行亮度调节，即，为芯片上的全部单元形成一个阴极触点和多个阳极触点组，每个单元与一个阳极触点组耦合，每个芯片上至少有两个阳极触点组，所述亮度调节通过选择性地去激活至少一个阳极组而完成。

16. 一种提供光源的方法，它以多个光波长提供面照明，该方法包括以下步骤：

制作多个垂直腔面发射激光器列阵，每个列阵发出不同波长的光；

将列阵与能够至少同时并行驱动列阵中所有垂直腔激光器的电源耦接；

将光散射系统放在列阵和被照明的目标之间，光散射系统可防止可能由激光器产生的相干光造成的危害。

17. 根据权利要求 16 的方法，其中全部列阵产生相同波长的光以提供单色面光源。

18. 根据权利要求 16 的方法，其中列阵和电源还耦接到控制器，控制器能够调节由电源送到每个列阵的电流。

19. 根据权利要求 1 的光源，其中所述每个芯片上的单元至少并行驱动，垂直腔面发射激光器单元彼此间距为 20μm 到 50μm；

所述电源至少能为全部芯片上的全部单元并行地提供驱动电流；和

与电源耦接以控制芯片的光输出的控制器。

20. 根据权利要求 19 的光源，其中每个芯片中所含的单元发出相同波长的光，每个芯片发出的光波长与任一其它芯片都不同。

21. 根据权利要求 19 的光源，其中芯片可同时被调制以传输信息和产生照明。

22. 根据权利要求 19 的光源，其中破坏相位的光学系统位于光源和被照明的目标之间，它降低了各激射单元的时间相干性。

23. 根据权利要求 22 的光源，其中，电源可由控制器调节以对每个激射单元同时提供可变的驱动电流，因而可以调节光源的亮度。

24. 根据权利要求23的光源，其中，光源可进一步地进行亮度调节，即，为芯片上的全部单元形成一个阴极触点和多个阳极触点组，每个单元与一个阳极触点组耦合，每个芯片上至少有两个阳极触点组，通过选择性地去激活至少一个阳极组而完成所述亮度调节。

用于照明的垂直腔面发射激光器阵列

本发明涉及半导体发光器件领域。更具体地讲，本发明涉及发光二极管（“LED”）和垂直腔面发射激光器（“VCSEL”）。

当今世界上电力的最大应用之一是居民的、商业的和公共的照明。据估计，大约全部用电量的 30%-40%是用于发光。对发光效率的任何明显的改进都将带来巨大的经济效益。

不幸的是，尽管在二十世纪前半页发光效率有了迅猛的提高，对于当前已知的发光技术例如白炽灯或荧光灯而言，其发光效率在最近 25 年只取得了较小的改进。在最近二十年中只有 LED 的发光效率显著地得到改善，但是，在每 LED 约 1lm 的情况下，它们对发光领域不是一种经济的替换。

非常希望有一种能以合理的成本提供高转换效率的新型发光技术。

根据本发明提供了一种光源，包括

多个垂直腔面发射激光器芯片，每个芯片包括多个垂直腔面发射激光器单元，每个芯片上的单元产生预定波长的激光并被耦合在一起，因此它们至少可被并行驱动，芯片通过串联耦合和并联耦合的组合被耦合在一起；和与芯片耦合以为各单元提供驱动电流的电源。

优选地根据本发明的光源中，各芯片上的单元产生的光波长与其它芯片上的单元所产生的不同。

优选地，其中每个芯片上的单元产生的红外光波长在 700 和 1000nm 之间。

优选地，其中所述单元可以至少 10MHz 的频率调制。

优选地，其中破坏相位的光学系统位于芯片和被照明的目标之间，破坏相位的光学系统降低了单元的时间相干性。

优选地，其中光源用于提供保密用途的红外光。

优选地，其中每个单元具有阴极和阳极触点，芯片上全部单元的阴极触点是共用的而阳极触点被分成至少两个分离的阳极组，光源的亮度调节由降低各单元的驱动电流和关断耦合到至少一个阳极组的这些单元来完

成。

优选地，其中所述每个芯片上的单元至少并行驱动，垂直腔面发射激光器单元的直径为至少 20 微米，每个单元具有多个激射部分，各部分之间独立地激射，没有时间相干性；所述电源至少能为全部芯片上的全部单元并行地提供驱动电流；和与电源耦接以控制芯片的光输出的控制器。

优选地，其中每个芯片中所含的单元发出相同波长的光，每个芯片发出的光波长与任一其它芯片都不同。

优选地，其中从每个芯片发出的光合并为白光。

优选地，其中，控制器可接受用户输入，用户确定在任意预定的时间哪个芯片应发光，然后光源能够提供各个芯片单元独产生的各个波长的光或各个波长任意组合而成的光。

优选地，其中芯片可同时被调制以传输信息和产生照明。

优选地，其中破坏相位的光学系统位于光源和被照明的目标之间，破坏相位的光学系统降低了各激射单元的时间相干性。

优选地，其中，电源可由控制器调节以对每个激射单元同时提供可变的驱动电流，因而允许对光源进行亮度调节。

优选地，其中，光源可进一步地进行亮度调节，即，为芯片上的全部单元形成一个阴极触点和多个阳极触点组，每个单元与一个阳极触点组耦合，每个芯片上至少有两个阳极触点组，所述亮度调节通过选择性地去激活至少一个阳极组而完成。

优选地，其中所述每个芯片上的单元至少并行驱动，垂直腔面发射激光器单元彼此间距为 20μm 到 50μm；所述电源至少能为全部芯片上的全部单元并行地提供驱动电流；和与电源耦接以控制芯片的光输出的控制器。

优选地，其中每个芯片中所含的单元发出相同波长的光，每个芯片发出的光波长与任一其它芯片都不同。

优选地，其中芯片可同时被调制以传输信息和产生照明。

优选地，其中破坏相位的光学系统位于光源和被照明的目标之间，它降低了各激射单元的时间相干性。

优选地，其中，电源可由控制器调节以对每个激射单元同时提供可变的驱动电流，因而可以调节光源的亮度。

优选地，其中，光源可进一步地进行亮度调节，即，为芯片上的全部单元形成一个阴极触点和多个阳极触点组，每个单元与一个阳极触点组耦合，每个芯片上至少有两个阳极触点组，通过选择性地去激活至少一个阳极组而完成所述亮度调节。

根据本发明的另一方面，保密法涉及一种提供光源的方法，它以多个光波长提供面照明，该方法包括以下步骤:

制作多个垂直腔面发射激光器列阵，每个列阵发出不同波长的光;

将列阵与能够至少同时并行驱动列阵中所有垂直腔激光器的电源耦接;

将光散射系统放在列阵和被照明的目标之间，光散射系统可防止可能由激光器产生的相干光造成的危害。

优选地在根据本发明的方法中，全部列阵产生相同波长的光以提供单色面光源。

优选地，其中列阵和电源还耦接到控制器，控制器能够调节由电源送到每个列阵的电流。

在第一实施例中，本发明包括由 30 至 100 个 GaAIAs 或 GaInAs VCSEL 组成的二维列阵，其发光波长分别为 850nm 和 980nm。各 VCSEL 并行地由单个电流源驱动。为防止损伤眼睛，每个激光器产生的光能量较低，在这里是 3mW。该列阵可用于红外(IR)无线通讯，例如 IrDA 标准，其速度比使用 LED 所能获得的速度快。IR 局域网（LAN）或交互式 TV 也可使用本发明的这一实施例。

在第二实施例中，封装在单个壳体内的多个 VCSEL 列阵被并行地驱动，每个列阵工作在不同的可见光波长，每个单个的 VCSEL 单元消耗的功率较低。由于各 VCSEL 列阵的不同波长覆盖了色度图，产生了效率极高的白区光源（White area）。

现在详细描述这些实施例，参照下面列出和描述的附图。

图 1 表示用于 IR 通讯的本发明的第一实施例;

图 2 表示用作二维照明器件的本发明的第二实施例;

图 3 表示本发明的第二实施例如何安装到与已知发光系统兼容的封装中。

VCSEL 及其制作方法是已知的。例如，参见美国专利 No. 5, 359, 618

和 5,164,949。用 VCSEL 形成二维列阵以用于数据显示也是已知的。参见美国专利 No.5,325,386 和 5,073,041。

近来，桑地亚国家实验室提出了一种 VCSEL，其电能到光通量的转换效率高达 50 %（5mA 电流和 2V 电压产生 5mW 的光能）。桑地亚的 VCSEL 使用 GaInAs 材料系，产生的光束波长在 980nm，直径约 8 ~ 10μm。

工作在 850nm 的 GaAlAs VCSEL 列阵（1×8）也已制出了。本发明人利用这些列阵作实验，将 VCSEL 并联于单个电源。尽管与桑地亚的 50 % 相比，这些列阵的转换效率只有 15 % ~ 25 %，但它们证实了并行操作大 VCSEL 列阵而不会产生热击穿的可行性。在早期的功率晶体管中，当在单个功率晶体管中使用的发射极指列阵中有一个发射极指上流过的电流“份额变大（hog）”时，这增加了它的工作温度，进而使得流过的电流更多，以起来越快的循环使得晶体管损坏，就会发生热击穿。本发明人相信每个 VCSEL 的布喇格反射器的串联电阻，尽管不可预期，是能够稳定器件并阻止电流份额变大（hogging）的。

并行驱动这些 VCSEL，就获得了光源。在图 1 所示的第一实施例中，在 20×20mil 的芯片 13 上制作了直径约 10μm、中心间距 40μm 的 VCSEL 列阵 11。在芯片上很容易容纳 12×12 的激光器列阵。总共 128 个激光器，键合区 15 的面积为 5×5mil。如果每个激光器工作于 2mA 和 2V，发出的光通量为 2mW，则列阵的总输入功率为 0.5W，且光输出功率约 0.25W。其余的 0.25W 肯定作为热能消耗掉了。

移去热能是一个直接的目标。如果激光器制作在 GaAs 衬底上，热阻包括从 10μm 的圆到衬底的扩展项和在激光器与芯片背面之间的热阻的线性项。由于热流为 0.25w，扩展热阻使温度上升 1.4 ℃，衬底又使温度上升 2.9 ℃，所以整个芯片温升为 4.3 ℃。将芯片安装到热扩展衬底上，如化学汽相淀积（CVD）生长的金刚石、ALN 或平的铜上，可控制热通量而不会有明显的温升。

VCSEL 也可以面向下安装在热扩展衬底上，这可进一步降低芯片中的温升。这时，光将透过衬底发出。在 980nm，GaAs 衬底是透明的。在更短的波长，衬底应由将结构键合到 GaP 衬底上的晶片替换。

发光波长为 850nm、由 GaAlAs 制作的 LED 的内量子效率为 100 %。类似于图 1 所示的、适当优化设计的 VCSEL 列阵会使能量转换效

率大于 50 %。这种光源能使 IR 通信的速度比 IRLED 所允许的速度更高。它们可以实现 IR LAN 和交互式 TV。另一种可能的应用是将列阵用于保密通信。

VCSEL 最重要的应用是照明，使用一系列发光波长分别位于可见光谱的不同部分的列阵。桑地亚国家实验已用 GaAlInP 材料系制作了红光 VCSEL。这些 VCSEL 的发光波长为 635 ~ 680nm，单个 VCSEL 的功率高达 8mW。最好的转换效率为约 15 %。在可见光谱的绿光和蓝光部分，GaInN 器件利用光泵浦实现了激射，用 ZnSe 材料系实现了绿/蓝法布里－珀罗激光器。在不远的将来，GaInN 将会用在法布里－珀罗激光器和 VCSEL 中。

假定在从红到蓝的任何可见光波长上均可实现在工作波长为 980nm 的 VCSEL 上已实现的相同转换效率。则上述的 IR VCSEL 芯片可以放大到 1×1mm 并具有相同的激光器面密度，以提供单色可见光照明 VCSEL 列阵芯片。该芯片含有约 500 个激光器，当每个激光器工作于 2mA 时，在 50 % 转换效率的情况下将具有 1W 的光通量。在 560nm，该芯片将产生 680lm 的流明通量。在输入电流 1A 且供电电压为 2V 时，芯片的流明效率为 340lm/W。

可用 6 个 VCSEL 芯片形成白光源，每个芯片具有 1W 的光通量并且发光波长等间距地分布在 475nm（蓝光）和 625nm（红光）之间。

表 1

波长（nm）	通量（lm）
475	77
505	343
535	622
565	665
595	473
625	218
白光	2398

表 1 表示具有 6 个 VCSEL 列阵且输入为 12W 的 VCSEL 照明源的波长/通量关系。具有 12W 输入的该光源将产生约 2400lm 的光通量。其效率约 200lm/W。表 2 所示为与具有可比通量水平的普通白光源的比较。2400lm 的光通量相当于 170W 白炽灯泡发出的光通量。

图 2 是包括 VCSEL 列阵 21 至 26 的这种白光照明源 20 的示意图。VCSEL 各产生不同波长的可见光。在第一优选实施例中，这些列阵将发出表 1 所列波长的光。VCSEL 列阵依次通过控制器 35，耦合到电源 30。至少，电源 30 必须能以激射所需的最小电流并行驱动全部 VCSEL 列阵中的每个激光器。控制器 35 通过允许使用者控制从单个列阵和同时从全部列阵得到或多或少的光输出而可以有额外的操作灵活性。通过这样做，使用者可以控制光源 20 的色温以及其最后的光输出。

上述 VCSEL 列阵白光照明源与已知光源相比具有许多优点。表 2 概括了 VCSEL 照明系统与已知发光技术相比在效率上所具有的优点。

表 2

类型	效率（ lm/W ）	VCSEL 优点
白炽灯	14	15x
卤灯	20	10x
荧光灯	80	2.5x
金属卤化物灯	80	2.5x
汞灯	40	5x

基于 VCSEL 的光源与已知照明光源相比还提供了其它额外的优点。

最近对桑地亚制作的 980nm VCSEL 列阵的测试表明这些列阵能以相当恒定的效率工作在 0.5 到 5.0mW 的功率范围内。控制器 35 可用于通过等量地且并行地降低每个 VCSEL 列阵的驱动电流来进行亮度调节。如果每个列阵的 VCSEL 单元具有一个公用阴极但具有多个独立的阳极，调节范围还可进一步扩展。这可使 VCSEL 列阵的各部分独立地导通或关断。假定一个列阵制作了 10 个独立的阳极，结合降低驱动电流，该列阵的调节范围可通过附加因子 10 来扩展。这样扩展调节范围的成本很低，只包括 VCSEL 制造工艺和控制器设计的很小的改动。普通光源或者不能进行亮度调节，或者如果它们可进行亮度调节，那么它们的效率将要有很大的损失，且在卤灯的情况下，进行亮度调节还会降低其使用寿命。

通过使用控制器 35 改变图 2 的白光源中的各个彩色 VCSEL 列阵的驱动电流，光的色温可从淡蓝的冷白色到更黄更暖的白色或其间的任何色彩变化或组合。因此光源 30 可工作于整个色度图上。单个白光源也

可用作至少6个不同颜色的单色光源而只需极小的额外花费。结合前述的亮度调节能力，具有改变颜色和/或色温的能力使本发明成为一个可用于装饰或剧场照明的通用光源。

荧光灯通过用UV光激励磷光层产生白光。磷光层是主要产生三种近单色光（红、绿、蓝）的磷光体的混和物。VCSEL光源将使用可以改善照明源发光颜色的6种单色光源。最终它将可能用12个0.5W的芯片建立步长15nm的照明源，而不是前述6个功率为1W、步长为30nm的芯片。这种器件的颜色再现性能将大大优于任何现有的光源。

上述白光源具有VCSEL所固有的调制速度，它可以GHz频率关断和导通。这使得照明源能够以每秒千兆比特的速率发送信号。使用本发明可以很容易地，构造低成本、高度非对称的局域网，其中诸如视频的高速信号经由光源传送，低速信号用普通电话线传送。在杂货店中使用的单向信号发送系统，其中VCSEL白光照明源用于照明和信号传输，可使电池供能的电子货架标签通过发光系统刷新而不需安装IR或RF广播系统。通常光接收器比RF接收器简单，当使用本发明时，照明功率水平很高，使得可以制作比IR接收器更简单的可见光接收器。

根据本发明构造的光源没有“导通”延迟，不象荧光源通常都有的导通延迟。它们的寿命据测量为几万小时，可能有几十年长。

从各VCSEL输出的光是发散角约为10°的准直光束。该光束可以与低成本光学表面相交叉以有效地再分布光通量到希望照明的地方。在不需要或不希望有光泄漏的情况下，与普通各向同性高色温光源相比，这一特性可使效率再提高2至5倍。

由于VCSEL大致工作在室温下，光学表面可以安全地定位在很近的近端。这使得可以设计和构造非常紧凑的、平坦的发光固定物，它与商业或居民建筑物中的通风顶（flush ceiling）相一致。

使用照明用VCSEL提出了视觉安全问题。具有时间相干性波前的光能容易地被眼睛聚焦成视网膜上的衍射极限点。如果该点的功率量级超过约200μW，将会导致视网膜的永久伤害。

VCSEL列阵具有解决视觉安全问题的独特特性。如果VCSEL中各单元的直径增加到20至25μm，则VCSEL不再作为具有时间相干性的单元激射。发射面积分成多个不再属于单一相干模式的部分（filament）。如果相邻VCSEL间的间隔大约20－50μm，则列阵的

行为如同大量独立的激光器。时间相干性局限于单个单元的通量，它在第一实施例中工作在大约 2mW 。各个激光器单元的时间相干性也可通过全息状的相移表面交叉光束而破坏。需要破坏的是多个独立的 2mW 激光器的相干性，而不是破坏 1W 激光器的相位相干性。因此，相位相干性必须降低一阶幅值，而不是降低约 4 阶幅值。

如图 3 所示，图 2 的光源 20 可被封装以装入已知的光源封装，这里，是标准的旋入式白炽灯泡，产生能易于被改型的光源 100 。使用图 2 中相同的标号，VCSEL 列阵 21 至 26 安装在陶瓷基片 27 上，由控制器 35 控制。分立的供能单元 30 位于基片 27 的后面，通过插座 28 从电源接收能量。初级光束整形光学系统 40 具有破坏 VCSEL21 至 26 的相位相干性以防伤害眼睛的后光学表面 41 和在光的相位相干性被破坏以后整形光束的前表面 42 。次级光束整形光学系统 45 用于准直和聚焦光束以适应具体的光学应用。通过改变次级光束整形光学系统 45，一个光源可用于许多不同的应用。

全球的电力消费额约为 1.2 万亿美元。约 33 - 40 % 用于发光。将发光能耗成本降低 5 到 10 倍能每年节约 3000 - 4000 亿美元。

用 30 年的时间将 90 % 的发光设备转换为基于 VCSEL 的光源能降低对发电量的需求，使得电力的其它非发光应用能够以每年 1.0% 的速度增长 30 年而不需增加在全球范围内安装新的发电设施。在暖带，这些节约可能更高，因为 VCSEL 产生的、需要用空调系统移出的热较少。

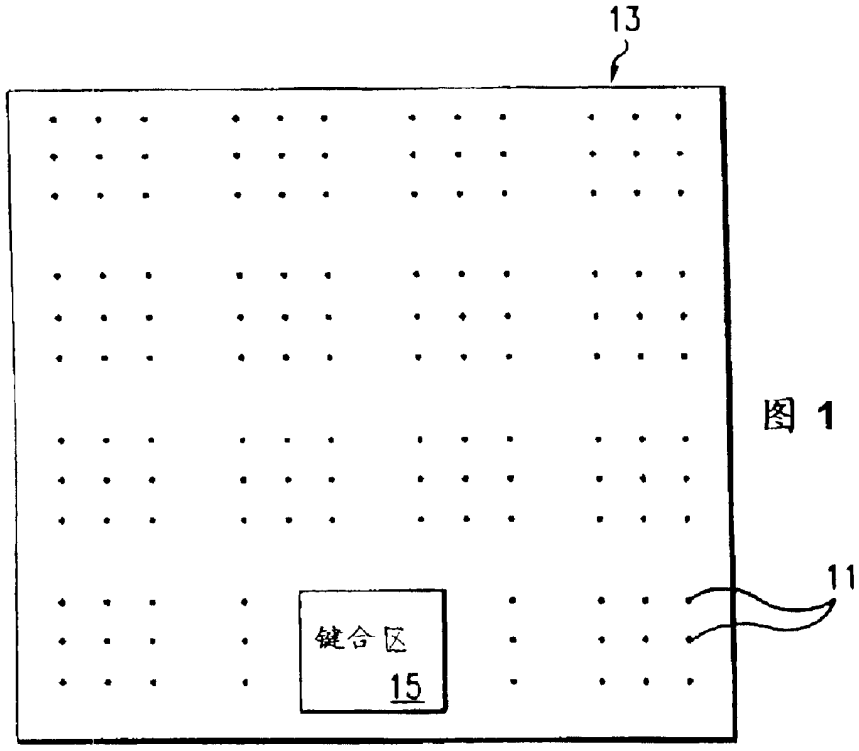

13
11
键合区
15

图 1

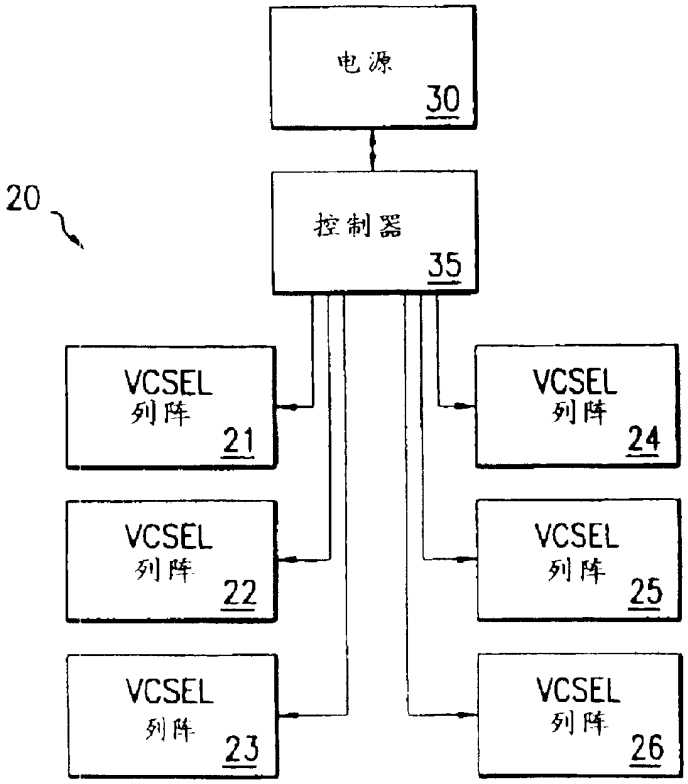

电源
30
20
控制器
35
VCSEL
列阵
21
VCSEL
列阵
22
VCSEL
列阵
23
VCSEL
列阵
24
VCSEL
列阵
25
VCSEL
列阵
26

图 2

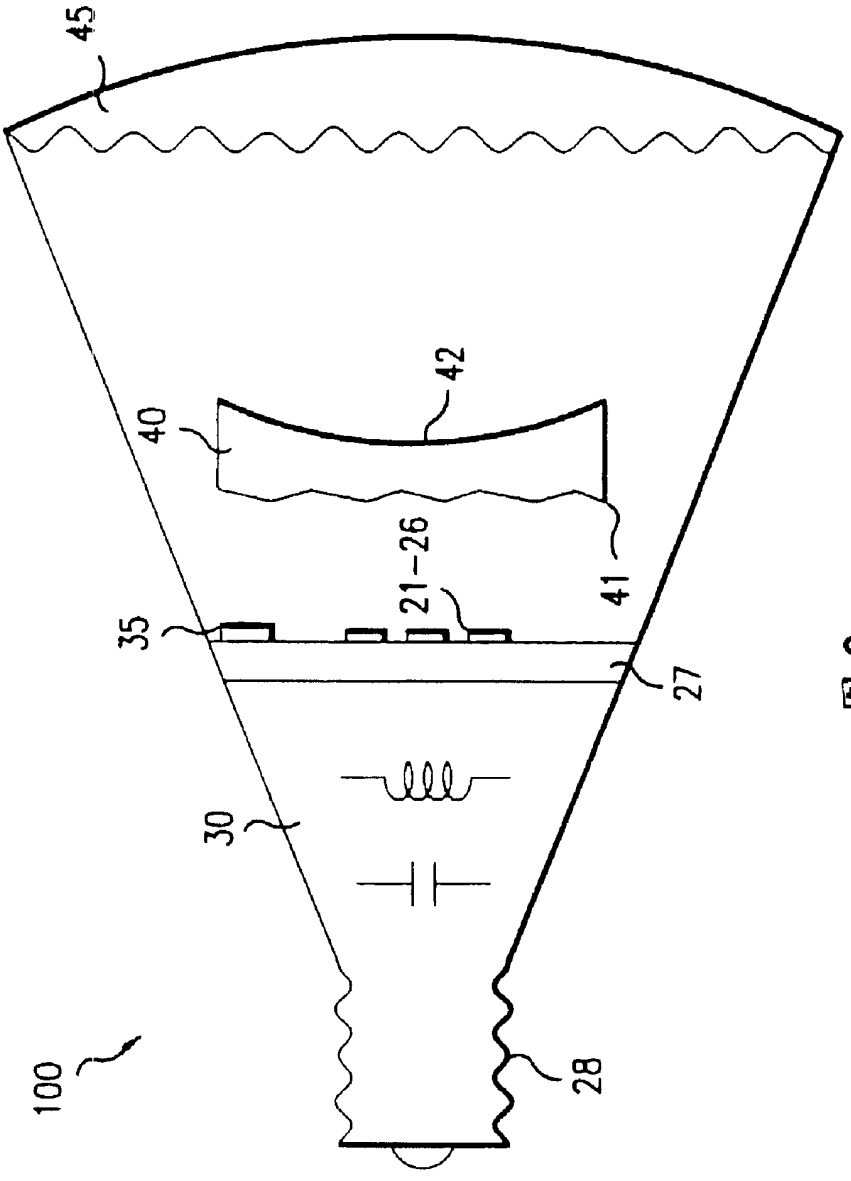


图 3