

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

G02B 27/48

H04N 5/74

G03B 21/00



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01820276.4

[45] 授权公告日 2005 年 7 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1211689C

[22] 申请日 2001.10.4 [21] 申请号 01820276.4

[30] 优先权

[32] 2000.10.11 [33] US [31] 09/687,465

[86] 国际申请 PCT/US2001/031418 2001.10.4

[87] 国际公布 WO2002/031575 英 2002.4.18

[85] 进入国家阶段日期 2003.6.9

[71] 专利权人 硅光机器公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 J·I·特里斯纳迪

审查员 郑 颖

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

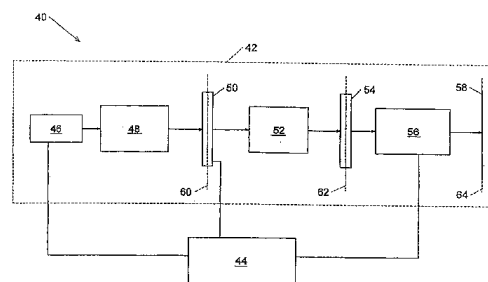
代理人 杨 凯 王忠忠

权利要求书 4 页 说明书 16 页 附图 8 页

[54] 发明名称 减少激光斑点的方法和装置

[57] 摘要

一种用于减少激光照明系统中的激光斑点的方法和装置，其中，在最好被包括在显示装置中的整个漫射表面上扫描由激光产生的线照明，并且在显示屏上产生二维图像。显示装置包括：光调制器；波前调制器；以及投影/扫描光学装置。光调制器调制激光照明，形成由像素的线阵列构成的线图像。波前调制器改变整个线图像宽度上的空间相位、从而形成相位调制的波前。投影/扫描光学装置将线图像投影到显示屏上并在显示屏上扫描线图像。相位调制的波前产生多个斑点图形，在扫描线图像时获得所述多个斑点图形的平均效果，因而减少了激光斑点。



1. 一种在显示屏上显示二维图像的显示装置，它包括：
  - a. 光调制器，它位于第一图像平面、由电子装置驱动并由激光
  - 5 器照明，所述光调制器形成像素的线性阵列，所述像素的线性阵列构成线图像；
  - b. 波前调制器，它位于第二图像平面，所述波前调制器改变所述线图像的整个宽度上的空间相位，从而形成相位调制的波前；以及
  - c. 投影/扫描光学装置，它由电子装置驱动、将所述线图像投影
  - 10 到所述显示屏上并在所述显示屏上扫描所述线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制波前减少激光斑点。
2. 如权利要求1所述的显示装置，其特征在于：所述光调制器包括衍射光阀阵列。
3. 如权利要求2所述的显示装置，其特征在于：所述衍射光阀阵列
- 15 包括光栅光阀。
4. 如权利要求3所述的显示装置，其特征在于：所述第二图像平面光学上位于所述第一图像平面和所述投影/扫描光学装置之间。
5. 如权利要求1所述的显示装置，其特征在于：所述光调制器包括反射光阀阵列。
- 20 6. 如权利要求1所述的显示装置，其特征在于：所述光调制器包括透射光阀阵列。
7. 如权利要求1所述的显示装置，其特征在于：所述波前调制器包括衍射元件。
8. 如权利要求1所述的显示装置，其特征在于：所述波前调制器
- 25 包括反射元件。
9. 如权利要求1所述的显示装置，其特征在于：所述波前调制器包括衍射光栅。
10. 如权利要求9所述的显示装置，其特征在于：所述衍射光栅

包括双间距衍射光栅。

11. 如权利要求 9 所述的显示装置, 其特征在于: 所述投影/扫描光学装置包括投影透镜和扫描镜, 并且所述投影透镜、所述扫描镜和所述衍射光栅配置成使光通过量最大。

5 12. 一种在显示屏上显示二维图像的显示装置, 它包括:

a. 激光源, 它由电子装置控制并提供激光输出;

b. 第一光学装置, 它柱面形地将所述激光输出聚焦成聚焦线, 所述聚焦线具有聚焦宽度并位于第一图像平面;

10 c. 光阀阵列, 它由所述电子装置调制、位于所述第一图像平面并且配置成产生像素的线性阵列, 所述像素的线性阵列形成线图像;

d. 第二光学装置, 用于柱面形地将所述具有聚焦宽度的聚焦线聚焦到第二图像平面;

15 e. 波前调制器, 它位于所述第二图像平面并且调制整个所述聚焦宽度上的空间相位、以便在整个线图像宽度上形成相位调制的波前; 以及

f. 第三光学装置, 它由所述电子装置驱动, 所述第三光学装置将所述线图像投影到所述显示屏上并且在所述显示屏上扫描所述线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制波前减少激光斑点。

20 13. 如权利要求 12 所述的显示装置, 其特征在于: 所述光阀阵列包括衍射光阀阵列。

14. 如权利要求 13 所述的显示装置, 其特征在于: 所述衍射光阀阵列包括光栅光阀并且所述第三光学装置包括将衍射部分从衍射光和反射光的组合中分离出来的装置, 所述衍射部分是所述衍射光的一部分。  
25

15. 如权利要求 14 所述的显示装置, 其特征在于: 所述衍射部分包括正 1 衍射级和负 1 衍射级。

16. 如权利要求 15 所述的显示装置, 其特征在于: 所述衍射光形

成线图像。

17. 如权利要求 12 所述的显示装置, 其特征在于: 所述光阀阵列是反射光阀阵列。

5 18. 如权利要求 12 所述的显示装置, 其特征在于: 所述光阀阵列是透射光阀阵列。

19. 一种在显示屏上显示二维图像的显示装置, 它包括:

a. 激光源, 它由电子装置控制并提供激光输出;

b. 第一光学装置, 它柱面形地将所述激光输出聚焦成聚焦线, 所述聚焦线具有聚焦宽度并位于第一图像平面内;

10 c. 光栅光阀, 它位于所述第一图像平面、由所述聚焦线照明并且所述电子装置调制, 所述光栅光阀产生排列成像素线性阵列的衍射光和反射光的组合, 所述像素线性阵列中的衍射部分形成线图像;

d. 第二光学装置, 它将所述衍射部分从所述衍射光和所述反射光的所述组合中分离出来, 所述第二光学装置将所述线图像成像在第二图像平面上;

15 e. 波前调制器, 它位于所述第二图像平面内并且调制整个线图像宽度上的空间相位从而形成相位调制的线图像;

f. 投影透镜, 它投影所述相位调制的线图像从而形成投影的线图像; 以及

20 g. 扫描镜组件, 它由所述电子装置驱动并且在所述显示屏上扫描所述投影的线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制的线图像减少激光斑点。

20. 一种减少激光照明的显示系统中的激光斑点的方法, 所述方法包括以下步骤:

25 a. 将激光输出聚焦成具有宽度的线;

b. 沿所述线调制所述激光输出以便产生像素的线性阵列, 所述像素的线性阵列形成具有线图像宽度的线图像;

c. 在整个所述线图像宽度上调制空间相位、以便产生相位调制

的波前;

d. 将所述线图像投影到所述显示屏上; 以及

e. 在所述显示屏上反复扫描所述线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制的线图像减少所述激光斑点。

5        21. 一种用于照明漫射表面上的区域的装置, 它包括:

a. 波前调制器, 它由激光照明并且位于第二图像平面, 所述激光照明在所述波前调制器处形成具有线照明宽度的线照明, 所述波前调制器改变整个所述线照明宽度的空间相位、从而形成相位调制的波前; 以及

10        b. 投影/扫描光学装置, 它由电子装置驱动、将所述线照明投影到所述漫射表面上并且在所述漫射表面上扫描所述线照明、以便照明所述区域并且使得所述相位调制的波前减少激光斑点。

22. 一种减少激光斑点的方法, 它包括以下步骤:

a. 将激光输出聚焦成具有线照明宽度的线照明;

15        b. 在整个所述线照明宽度上调制空间相位、以便产生相位调制波前;

c. 将所述线照明投影到漫射表面上; 以及

d. 在所述漫射表面上扫描所述线照明、使得区域被照明并且使得所述相位调制的波前减少激光斑点。

20

## 减少激光斑点的方法和装置

### 5 技术领域

本发明涉及激光照明系统领域。更具体地说，本发明涉及在漫射表面上对激光产生的线照明进行扫描的激光照明系统领域。

### 背景技术

10 对粗糙表面照明的相干光会产生斑点。从所述粗糙表面的反射称为漫反射。通过粗糙表面的透射称为漫透射。在漫反射或漫透射时，光向各个方向散射。通过漫反射或通过漫透射散射的相干光在远离粗糙表面的空间形成干涉图形。如果用人眼观看，眼睛会看见暗或亮的“粒状”图形。这种“粒状”图形称为斑点。如果光学系  
15 统观看用相干光照明的粗糙表面，所述光学系统的亮度检测器将检测到所述斑点。

图 1 示出先有技术的斑点演示装置。斑点演示装置 1 包括演示激光器 2、发散透镜 4 和显示屏 6，它们都位于第一光轴 8 上。演示激光器 2 发射激光束 10。发散透镜 4 将激光束 10 转变为发散激光束  
20 12。发散激光束 12 照亮显示屏 6 的大面积 14。显示屏 6 将发散激光束 12 漫反射，形成干涉图形。位于第二光轴 18 上的观察平面 16 捕获干涉图形。观察平面 16 是空间中眼睛或光学系统聚焦在其上的视场。如果眼睛或光学系统聚焦在观看屏 6，则观察平面 16 就位于显示屏 6。应当指出，发散透镜 4 有助于演示斑点，但并不需要产生斑点。  
25

图 2 是先有技术的典型斑点的照片，示出在观察平面 16 处观看到的斑点。从显示屏 6 漫反射的发散激光束 12 的相长干涉产生观察平面 16 上的亮斑。相消干涉产生亮斑之间的暗斑。显示屏 6 的漫反

射具有随机性，故亮斑和暗斑在整个观察平面 16 上变化。

斑点的量度是对比度(C)。以百分数表示的对比度以  $C=100 \cdot I_{\text{RMS}}/I$  表示，式中  $I$  为平均亮度， $I_{\text{RMS}}$  是围绕平均亮度的均方根亮度波动。

Goodman 在 “Some fundamental properties of speckle” J. Opt. Soc. A., Vol. 66, No. 11, Nov. 1976, pp 1145-1150 中提出用叠加  $N$  个不相关斑点图形的方法可以减少斑点。如果  $N$  个不相关斑点图形具有相等的平均亮度和亮度，那么，就会使对比度按照斑点减少系数  $\sqrt{N}$  下降。如果  $N$  个不相关斑点图形具有不相等的平均亮度和不相等的亮度，那么，斑点减少系数就会小于  $\sqrt{N}$ 。于是，斑点减少系数  $\sqrt{N}$  对  $N$  个不相关斑点图形来说是斑点减少的最佳情况。Goodman 还提出，所述不相关斑点图形可以用时间、空间、频率或偏振等方法来获得。

先有技术的一种斑点减少方法是通过使显示屏 6 以摆动 19 的方式运动来产生多个斑点图形，采用的是 Goodman 提出的时间方法。摆动 19 通常沿着围绕光轴 8 的小圆或椭圆进行。这使斑点图形相对于观看显示屏 6 的眼睛或光学系统位移，从而形成随时间而变的多个斑点图形。虽然在任何瞬间斑点的数量不变，但是，如果摆动的速度大于阈速度，那么，眼睛感觉到减少的斑点。如果曝光时间足够长、使斑点图形移动相当长的距离，则光学系统的亮度检测器也检测到减少的斑点。

在激光照明显示系统技术领域，众所周知可以把有源漫射体加到激光照明成像系统中来减少激光斑点。有源漫射体设置在中间图像平面上或所述中间图像平面附近。有源漫射体在中间图像平面上以围绕显示系统的光轴旋转或环形图形的方式移动以便在显示屏上产生移动相位。移动相位产生关于时间的不相关斑点图形，因此采用 Goodman 提出的时间方法。

Wang 等人在 “Speckle reduction in laser projection systems by diffractive optical elements”, Applied Physics, Vol. 37,

No.10, Apr. 1998, pp 1770-1775 中提出一种在诸如激光电视系统等激光投影系统中减少激光斑点的方法。在激光投影系统中激光点通过光栅扫描在显示屏上形成图像,和电子束在 CRT(阴极射线管)中形成图像相类似。Wang 等人提出的方法是这样实现的:先扩展激光束,在扩展的激光束中设置衍射光学元件,形成多个小激光束,然后聚焦小激光束,在显示屏上形成激光点。在显示屏上形成每个像素时,多个小激光束略有位移。这样就提供了随时间变化的斑点图形,结果斑点减少。Wang 等人还提出使衍射光学元件旋转可略微改善一些斑点的减少。

Bloom 等人在 1999 年 11 月 9 日授予的美国专利 No. 5982553(所述专利作为参考包括在本文中)中提出一种显示系统,它包括:光栅光阀(GLV);红、绿和蓝激光器;各种透镜装置;扫描镜;显示屏;以及电子线路部分。电子线路部分控制 GLV、激光器和扫描镜,在显示屏上形成二维图像。

在 Bloom 等人提出的显示系统中, GLV 在显示屏上形成由像素的线性阵列组成的线图像。在 GLV 调制像素的线性阵列的同时,扫描镜在与线图像垂直的方向上反复扫描显示屏上的线图像,从而形成二维图像。

由于 Bloom 等人提出的二维图像由激光照明形成,所以,此二维图像呈现激光斑点,所述激光斑点降低了图像质量。最好通过减少激光斑点来改进图像质量。

所需要的是在通过扫描线图像而形成二维图像的显示系统中减少激光斑点的方法。

所需要的是在漫射表面上对激光所产生的线照明进行扫描的光学系统中减少激光斑点的方法。

## 发明内容

根据本发明的一个方面,一种在显示屏上显示二维图像的显示

装置,它包括:

a. 光调制器,它位于第一图像平面、由电子装置驱动并由激光器照明,所述光调制器形成像素的线性阵列,所述像素的线性阵列构成线图像;

5        b. 波前调制器,它位于第二图像平面,所述波前调制器改变所述线图像的整个宽度上的空间相位,从而形成相位调制的波前;以及

10        c. 投影/扫描光学装置,它由电子装置驱动、将所述线图像投影到所述显示屏上并在所述显示屏上扫描所述线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制波前减少激光斑点。

根据本发明的另一个方面,一种在显示屏上显示二维图像的显示装置,它包括:

a. 激光源,它由电子装置控制并提供激光输出;

15        b. 第一光学装置,它柱面形地将所述激光输出聚焦成聚焦线,所述聚焦线具有聚焦宽度并位于第一图像平面;

c. 光阀阵列,它由所述电子装置调制、位于所述第一图像平面并且配置成产生像素的线性阵列,所述像素的线性阵列形成线图像;

d. 第二光学装置,用于柱面形地将所述具有聚焦宽度的聚焦线聚焦到第二图像平面;

20        e. 波前调制器,它位于所述第二图像平面并且调制整个所述聚焦宽度上的空间相位、以便在整个线图像宽度上形成相位调制的波前;以及

25        f. 第三光学装置,它由所述电子装置驱动,所述第三光学装置将所述线图像投影到所述显示屏上并且在所述显示屏上扫描所述线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制波前减少激光斑点。

根据本发明的又一个方面,一种在显示屏上显示二维图像的显示装置,它包括:

- a. 激光源，它由电子装置控制并提供激光输出；
- b. 第一光学装置，它柱面形地将所述激光输出聚焦成聚焦线，所述聚焦线具有聚焦宽度并位于第一图像平面内；
- c. 光栅光阀，它位于所述第一图像平面、由所述聚焦线照明并且所述电子装置调制，所述光栅光阀产生排列成像素线性阵列的衍射光和反射光的组合，所述像素线性阵列中的衍射部分形成线图像；
- d. 第二光学装置，它将所述衍射部分从所述衍射光和所述反射光的所述组合中分离出来，所述第二光学装置将所述线图像成像在第二图像平面上；
- e. 波前调制器，它位于所述第二图像平面内并且调制整个线图像宽度上的空间相位从而形成相位调制的线图像；
- f. 投影透镜，它投影所述相位调制的线图像从而形成投影的线图像；以及
- g. 扫描镜组件，它由所述电子装置驱动并且在所述显示屏上扫描所述投影的线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制的线图像减少激光斑点。

根据本发明的再一个方面，一种减少激光照明的显示系统中的激光斑点的方法，所述方法包括以下步骤：

- a. 将激光输出聚焦成具有宽度的线；
  - b. 沿所述线调制所述激光输出以便产生像素的线性阵列，所述像素的线性阵列形成具有线图像宽度的线图像；
  - c. 在整个所述线图像宽度上调制空间相位、以便产生相位调制的波前；
  - d. 将所述线图像投影到所述显示屏上；以及
  - e. 在所述显示屏上反复扫描所述线图像、以便在所述显示屏上形成二维图像并且使得所述相位调制的线图像减少所述激光斑点。
- 根据本发明的别的一个方面，一种用于照明漫射表面上的区域的装置，它包括：

- a. 波前调制器，它由激光照明并且位于第二图像平面，所述激光照明在所述波前调制器处形成具有线照明宽度的线照明，所述波前调制器改变整个所述线照明宽度的空间相位、从而形成相位调制的波前；以及
- 5        b. 投影/扫描光学装置，它由电子装置驱动、将所述线照明投影到所述漫射表面上并且在所述漫射表面上扫描所述线照明、以便照明所述区域并且使得所述相位调制的波前减少激光斑点。

根据本发明的还有一个方面，一种减少激光斑点的方法，它包括以下步骤：

- 10        a. 将激光输出聚焦成具有线照明宽度的线照明；
- b. 在整个所述线照明宽度上调制空间相位、以便产生相位调制波前；
- c. 将所述线照明投影到漫射表面上；以及
- d. 在所述漫射表面上扫描所述线照明、使得区域被照明并且使
- 15        得所述相位调制的波前减少激光斑点。

本发明是用于显示通过扫描显示屏上的线图像而形成的二维图像的方法和装置，显示屏上的二维图像呈现减少的激光斑点。显示装置包括：光调制器；波前调制器；以及投影/扫描光学装置。光调制器调制激光照明，形成由像素的线阵列组成的线图像。波前调制器在线图像的宽度范围内改变空间相位，从而形成相位调制的波前。

20        投影/扫描光学装置将线图像投影到显示屏上并横跨显示屏扫描所述线图像。当在显示屏上扫描所述线图像时，相位调制的波前产生多个斑点图形，这样，最终减少了激光斑点。

或者，本发明适合于在横跨漫射表面扫描由激光产生的线照明的任何激光照明系统中减少激光斑点。

25

## **附图说明**

图 1 示出先有技术的演示激光斑点的装置。

图 2 是先有技术的典型激光斑点图形的照片。

图 3 是本发明的显示装置的示意图。

图 4 是本发明的显示光学系统的平面图。

图 5 是本发明的显示光学系统沿光轴展开的正视图。

5 图 6A, 6B 和 6C 示出本发明的优选的波前调制器。

图 7A 和 7B 图解说明在横跨本发明的显示屏扫描线图像时波前的渐进。

图 8 示出本发明的另一种波前调制器。

## 10 具体实施方式

本发明的显示系统示意地示于图 3 中。显示系统 40 包括显示光学系统 42 和显示器电子线路 44。显示光学系统 42 包括：激光器 46；照明光学部件（第一光学装置）48；光栅光阀 (GLV) 50；纹影光学部件（第二光学装置）52；波前调制器 54；投影和扫描光学部件（第三光学装置）56；以及显示屏 58。显示器电子线路 44 连接到激光源 46、GLV 50 和投影和扫描光学部件 56。

显示器电子线路 44 为激光器 46 供电。激光器 46 发射激光照明。照明光学部件 48 将激光照明聚焦到 GLV 50 上。GLV 50 位于第一图像平面 60 上。显示器电子线路 44 控制 GLV 50。GLV 50 调制激光照明，形成像素阵列的反射光或衍射光。纹影光学部件 52 将反射光与衍射光分离，至少允许正 1 和负 1 衍射级通过纹影光学部件 52。

纹影光学部件在波前调制器 54 处形成具有线图像宽度的线图像。波前调制器 54 位于第二图像平面 62。波前调制器 54 整个线图像宽度地调制相位。显示器电子线路 44 驱动投影和扫描光学部件 56 的扫描镜。投影和扫描光学部件 56 将线图像投影到显示屏 58 上并在显示屏 58 上扫描线图像，在显示屏 58 上形成二维图像。显示屏 58 位于第三图像平面 64。

波前调制器 54 在显示屏 58 上整个线图像宽度地改变相位。当

所述线图像宽度从显示屏 58 的这头扫描到那头时, 相位变化, 于是, 随时间产生多个斑点图形。观看多个斑点图形的人眼或光学系统的亮度检测器就检测到减少的斑点。

图 4 和图 5 中进一步图解说本发明的显示光学系统 42。图 4 示出显示光学系统 42 的平面图。图 5 是显示器光学的主视图, 其显示光学系统沿光轴 70 展开。激光器 46 发射激光照明 72。照明光学部件包括发散透镜 74、准直透镜 76 和柱面透镜 78。照明光学部件 48 将激光照明 72 在 GLV 50 上聚焦成具有聚焦宽度的聚焦线。应当指出, 图 4 示出照明 GLV 50 的具有  $45^\circ$  的入射角的激光照明 72。最理想的是, 入射角是允许激光照明 72 可照明 GLV 50 同时允许反射和衍射光到达纹影光学部件 52 的最小入射角。对于本专业技术人员来说, 容易明白的是其它照明装置也可用来照明 GLV 50。对于本专业技术人员来说, 同样容易明白的是对本发明透镜的叙述不限于单元件的透镜, 任何给定的透镜都可由组合透镜或反射光学元件替代。

GLV 50 把激光照明 72 调制成沿聚焦线的像素线性阵列, 形成反射光 R 或衍射光, 包括每个像素的正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$ 。GLV 50 最好产生 1080 个像素的线性阵列。或者, GLV 50 产生多于或少于 1080 个像素。应当指出, 为了便于说明, 图 5 示出反射光 R 和两个像素的正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$ 。如果给定的像素被调制成反射光线, 则反射光 R 存在, 而正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$  不存在。或者, 如果给定的像素被调制成衍射光线, 则正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$  存在, 而反射光 R 不存在。在某些实例中, 希望将给定的像素调制成产生反射光 R 和正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$ , 以降低结果图像中给定的像素的亮度, 从而在结果图像中提供灰度效应。

纹影光学部件 52 包括位于第一和第二中继透镜 82 和 84 之间的纹影光阑 80。纹影光阑 80 制止反射光 R 而允许正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$  通过光阑 80。纹影光阑 80 最好位于第一变换平面 85 上。或者, 光阑 80 靠近第一变换平面 85。

第一和第二中继透镜 82 和 84 将像素的线性阵列成像为第二图像平面 62 内的线图像，第二图像平面 62 最好在波前调制器 54 内。或者，第二图像平面 62 靠近波前调制器 54。暗和亮的像素组成线图像。暗像素对应于在 GLV 50 处被调制成提供反射光 R 的像素。亮像素对应于在 GLV 50 处被调制成提供包括正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$  的衍射光的像素。

波前调制器 54 形成在波前调制器 54 的整个线图像宽度的波前空间相位变化。对于激光照明 72 的波长，空间相位变化最好在 0 到  $2\pi$  弧度之间。所述空间相位变化周期最好小于波前调制器 54 的线图像宽度但等于或大于投影和扫描光学部件的最小尺寸分辨率。波前调制器 54 最好包括透射衍射光栅，所述透射衍射光栅的光栅分布至少部分地与线图像正交。或者，波前调制器 54 包括反射衍射光栅，所述反射衍射光栅的光栅分布至少部分地与线图像正交。对于本专业技术人员来说，很明显的是使用反射衍射光栅需要重新安排显示光学系统 42，以便将反射衍射光栅考虑在内。对于本专业技术人员来说，同样明显的是可以使用具有变化的高度的随机分布来代替所述光栅分布，产生所述波前的整个线图像宽度的空间相位变化。

投影和扫描光学部件 56 包括投影透镜 86 和扫描镜 88。投影透镜 86 通过扫描镜 88 将线图像 90 投影到显示屏 58 上。投影透镜 86 还在显示屏 58 上重新形成具有整个线图像宽度的空间相位变化的波前。扫描镜 88 最好位于第二变换平面 94 附近。

扫描镜 88 以第一扫描运动 A 移动，这样以第二扫描运动 B 在整个显示屏 58 上扫描线图像 90。第一扫描运动最好是锯齿扫描运动，其中扫描周期的第一部分照亮显示屏 58，扫描周期的第二部分使扫描镜回到扫描周期的起点。反复扫描显示屏 58 的线图像 90，在显示屏 58 上就形成二维图像。对于本专业技术人员来说，很容易明白，可以使用其他扫描运动在显示屏 58 上扫描线图像 90。对于本专业技术人员来说，也容易明白的是，诸如具有零屈光度 (zero optical power)

的物镜扫描器等透射扫描装置可以代替扫描镜 88。

随着线图像 90 在整个显示屏 58 上扫描, GLV 50 调制像素的线性阵列, 从而产生由像素的矩形阵列组成的二维图像。对于高清晰度电视 (HDTV) 格式, 当线图像 90 在显示屏 58 上展开时, GLV 50 调制 1920 次。于是, GLV 50 最好产生形成 HDTV 格式的二维图像的 1920 乘 1080 矩形阵列。对于其他图像格式, 当线图像 90 在显示屏 58 上展开时, GLV 50 的调制次数可大于或小于 1920 次, 取决于显示的是哪一种其他的图像格式。

随着线图像 90 在整个显示屏 58 上扫描, 具有空间相位变化的波前随时间产生多个斑点图形。多个斑点图形减少了由眼睛或光学系统的亮度检测器检测到的斑点。

图 3、4 和 5 所示的显示光学系统 42 产生单色图像。彩色显示光学系统包括: 显示光学系统 42; 两个附加的激光器; 两个附加的照明光学部件; 两个附加的 GLV; 以及选色镜组。在彩色显示光学系统中, 红、绿和蓝激光器照亮 GLV, 产生像素的红、绿和蓝线性阵列。选色镜组组合来自 GLV 的反射和衍射光, 将反射和衍射光导向纹影光学部件 52。波前调制器 54 改变波前调制器 54 处、因而改变显示屏 58 上红、绿和蓝波前的整个线图像宽度 92 的相位。对于彩色显示光学系统, 整个线图像宽度的相位变化对于红、绿和蓝激光照明之一 (例如绿色激光照明)、或者对于所有参与波长的特定平均波长最好具有最佳幅度。随着线图像 90 在整个显示屏 58 上被扫描, 红、绿和蓝波前随时间产生多个斑点图形, 于是减少了彩色显示光学系统的斑点。或者, 在彩色显示光学系统中, 选色镜组将红、绿和蓝激光照明组合, 顺序地照明单个 GLV。

优选的波前调制器 54A 示于图 6A 和 6B 中。优选的波前调制器 54A 包括具有宽度、高度和厚度分别为 106, 108 和 109 而光栅分布为 110 的透射衍射光栅。最好, 宽度 106 为大约 4 mm, 高度为大约 35 mm, 厚度为大约 1 mm, 以便在优选的波前调制器 54A 中为线图像宽度为

25.5 μm 的 27.5mm 线图像提供方便的处理尺寸和冗余。或者，选择高度 108 和宽度 106 为至少是优选的波前调制器 54A 的线图像尺寸和线图像宽度，而选择厚度 109 为至少能提供足够的处理结构的厚度。应当指出，为了说明的目的，图 6A 和 6B 所示的光栅分布 110 比实际的大得多。

光栅分布 110 相对于高度 108 形成角度 C，与 27.5mm 线图像平行。光栅分布 110 在优选的波前调制器 54A 处至少部分与与 27.5mm 线图像正交，所以角度 C 不是 90°。为了优化显示光学系统 42(图 4 和图 5)中的投影透镜 86 和扫描镜 88 的光通过量，角度 C 最好大约为 45°。45°角在显示屏 58 上提供整个线图像宽度 92 的空间相位变化，同时可减小大约位于第二变换平面 94(图 4 和图 5)的扫描镜 88 的光学印痕(footprint)。光栅分布 110、角度 C、投影透镜 86 和扫描镜 88 构成显示光学系统 42(图 4, 5, 6A 和 6B)的相互联系的子系统。对于本专业技术人员来说，很容易明白的是，可以使用不同的光栅分布、不是 45°的角度 C、不同的投影透镜和不同的扫描镜来优化所述相互联系的子系统。

图 6C 进一步图解说明光栅分布 110。光栅分布 110 包括双间距光栅分布。对于熔融石英(对于 532nm 的光其折射率为 1.46)的光栅材料、对于在优选的波前调制器 54A 处的 25.5 μm 的线图像和对于其中投影透镜 86 具有 f/2.5 感光速度的相互联系的子系统，最佳的优选光栅分布如下所述:

| 图 6C 参考符号 |   | 尺寸    |
|-----------|---|-------|
|           | D | 4 μm  |
|           | E | 3.5   |
| 25        | F | 2     |
|           | G | 8.5   |
|           | H | 578nm |

尺寸 H 由  $H = \lambda / [2(n-1)]$  确定，式中 λ 是波长，n 是光栅材

料的折射率。优选的光栅分布优化了相互联系的子系统的光学印痕，在所述子系统中扫描镜 88 包括大约位于显示光学系统 42（图 4 和图 5）的第二变换平面的矩形镜。

5 最好通过把光刻图形刻蚀到熔融石英中来制造优选的波前调制器 54A。优选的波前调制器 54A 最好包括抗反射涂层。优选的抗反射涂层是 400-700 nm BBAR（宽带抗反射）涂层。

如上所述，当线图像宽度 92 在整个显示屏 58 扫描时，具有空间相位变化的波前随时间产生多个斑点图形。用眼睛检测时，多个斑点图形可按本发明的斑点减少系数将斑点减少。

10 本发明的斑点减少系数由下式给出：

$$\text{斑点减少系数} = (1 + \theta_{\text{proj2}} / \theta_{\text{eye}})^{1/2} / (1 + \theta_{\text{proj1}} / \theta_{\text{eye}})^{1/2}$$

15 式中： $\theta_{\text{proj1}}$  = 在扫描方向上投影光所对的第一投影平面角，第一投影平面角用于没有波前调制器 54 的显示光学系统 42

$\theta_{\text{proj2}}$  = 在扫描方向上投影光所对的第二投影平面角，第一投影平面角用于有波前调制器 54 的显示光学系统 42

$\theta_{\text{eye}}$  = 眼睛所对的观看平面角

20 通过将波前调制器 54 包括在显示光学系统 42 中，将第一投影平面角  $\theta_{\text{proj1}}$  增加到第二投影平面角  $\theta_{\text{proj2}}$ 。通过将波前调制器 54 设计成使投影和扫描光学部件的投影出射光瞳达到最大，使本发明的斑点减少系数达到最大。

25 虽然斑点减少系数可以估计本发明的斑点整体减少，但是，了解一下当线图像宽度 92 在整个显示屏 58 上扫描时斑点相对于线图像宽度是如何减少的也是很有帮助的。

当线图像宽度 92 在显示屏 58 上扫描每个像素时，由于光波函数  $\psi_{\text{total}}(x, t)$  随时间而变，所以产生多个斑点图形：

$$\psi_{\text{total}}(x, t) = \psi_{\text{screen}} + \psi_{\text{beam}}(x - vt)$$

式中  $\psi_{\text{screen}}$  = 对于静止显示屏的光波函数

5  $\psi_{\text{beam}}$  = 构成移动光束的变化的光波函数

$x$  = 显示屏 58 上沿扫描方向的位置

$v$  = 线图像宽度 92 的扫描速度

由于扫描运动很快、不到  $10 \mu s$  就移过一个像素，所以眼睛看到的是多个斑点图形的平均效果。

10 图 7A 和 7B 示出说明性实例，显示如何通过第一、第二、第三和第四散射区和两级波前分布来形成多个斑点图形。从图 7A 开始，图 7A 示出在起始时间  $t_1$ ，显示屏 58 上的第一、第二、第三和第四散射区 150、152、154 和 156，两级波前分布 158 照明第一、第二、第三和第四散射区 150、152、154 和 156，且由观察者的眼睛来观看  
15 所述两级波前分布 158。

第一光波函数  $\psi(t_1)$  描述观察者的眼睛观看的光，由下式给出：

$$\psi(t_1) = A_1 e^{i\phi'} + A_2 e^{i\phi''} + A_3 e^{i\phi'''}$$

20 式中  $A_1$  = 从第一散射区 150 漫反射的光的第一振幅

$A_2$  = 从第二散射区 152 漫反射的光的第二振幅

$A_3$  = 从第三散射区 154 漫反射的光的第三振幅

$\phi'$  = 从第一散射区 150 漫反射的光的第一相位

$\phi''$  = 从第二散射区 152 漫反射的光的第二相位

25  $\phi'''$  = 从第三散射区 154 漫反射的光的第三相位

对于所示实例，假定  $\phi' = \pi$  弧度， $\phi'' = \phi''' = 0$ 。则光波函数  $\psi(t_1)$  由下式给出：

$$\psi(t_1) = -A_1 + A_2 + A_3$$

这导出对第一光波函数  $\psi(t_1)$  的第一亮度  $I(t_1)$ ，如下：

$$I(t_1) = \psi(t_1)^2 = A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 - 2A_1A_2 - 2A_1A_3 + 2A_2A_3$$

图 7B 示出在稍后时间  $t_2$  显示屏 58 上的两级波前分布 158，其中两级波前分布 158 照明第二、第三和第四散射区 152、154 和 156。

第二光波函数  $\psi(t_2)$  描述观察者的眼睛观看的光，由下式给出：

10

$$\psi(t_2) = A_2 e^{i\phi''} + A_3 e^{i\phi'''} + A_4 e^{i\phi''''}$$

式中  $A_4$  = 从第三散射区 156 漫反射的光的第三振幅

$\phi''''$  = 从第四散射区 156 漫反射的光的第四相位

15 对于所述说明性实例，假定  $\phi'' = \pi$  弧度，而  $\phi''' = \phi'''' = 0$ 。因此，光波函数  $\psi(t_2)$  由下式给出：

$$\psi(t_2) = -A_2 + A_3 + A_4$$

20 这导出如下的关于第二光波函数  $\psi(t_2)$  的第二亮度  $I(t_2)$ ：

$$I(t_2) = \psi(t_2)^2 = A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 - 2A_2A_3 - 2A_2A_4 + 2A_3A_4$$

25 由于起始时间  $t_1$  和稍后时间  $t_2$  之间的时间差比观察者眼睛的综合时间小得多，观察者的眼睛获得第一和第二亮度  $I(t_1)$  和  $I(t_2)$  的平均效果。具体地说，比较第一和第二亮度  $I(t_1)$  和  $I(t_2)$  表明，第一亮度  $I(t_1)$  中的第一截项  $(+2A_2A_3)$  被第二亮度  $I(t_1)$  中的第二截项  $(-2A_2A_3)$  消掉。正是这种截项的消除减少了观察者眼睛观看到的斑点。

本发明的第一种显示光学系统使用反射光阀的线性阵列。参阅图 4 和图 5, 这种系统用反射光阀的线性阵列代替 GLV 50, 且不使用纹影光阑 80。在第一种显示光学系统中, 特定的反射光阀通过反射激光照明使其远离第一中继透镜 82 来产生暗像素。在此第一种显示光学系统中, 所述特定的反射光阀通过将激光照明反射到第一中继透镜 82 来产生亮像素。

本发明的第二种显示光学系统使用透射光阀的线性阵列。参阅图 4 和图 5, 这种系统用透射光阀的线性阵列代替 GLV 50, 且不使用纹影光阑 80。在这第二种显示光学系统中, 特定的透射光阀通过不将激光照明透射到第一中继透镜 82 来产生暗像素。在这第二种显示光学系统中, 所述特定的透射光阀通过将激光照明透射到第一中继透镜 82 来产生亮像素。

本发明的第三种显示光学系统用反射纹影光学部件代替纹影光学部件。反射纹影光学部件最好使用 Offner 转像系统(relay)。Offner 转像系统包括凹面镜和凸面镜。凸面镜包括矩形狭缝。反射光 R 和包括正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$  的衍射光从凹面镜反射到凸面镜。反射光 R 穿过矩形狭缝。正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$  从凸面镜反射回凹面镜。然后, 凹面镜将正 1 和负 1 衍射级  $D_{+1}$  和  $D_{-1}$  反射到波前调制器 54。

另一种波前调制器示于图 8。所述波前调制器 54B 包括第一和第二光栅表面 136 和 138 以及调谐表面 139。第二光栅表面 138 是横过线 140 映射的第一光栅表面。调谐表面 139 包括用于显示光学系统 42 的初步对准的平表面(图 4, 5, 和 8)。在显示光学系统 42 的初步对准中, 线图像 90 被聚焦到调谐表面 139 上或其附近, 以便根据波前调制器 54B 的光学厚度来调谐显示光学系统。在初步对准之后, 或者选择第一光栅表面 136 或者选择第二光栅表面 138 来产生横过波前的空间相位变化。这样, 可以通过选择第一或第二光栅表面 136 或 138 来减少随后的光学部件中的光学瑕疵, 无论哪一个都能提供更好的

图像质量(图 4, 5, 和 8)。

对于具有优选光栅分布的优选的波前调制器 54A 进行了两项测试以评估其性能。在第一项测试中, 没有用波前调制器。在第一项测试中, 对比度为 44%。在第二项测试中, 有波前调制器。在第二项测试中, 对比度为 20%。所以, 优选的波前调制器 54A 产生了 2.2 斑点减少系数( $\sqrt{N}$ )。

虽然已经针对本发明的显示系统 40 描述了本发明, 但是, 本发明适用于在任何激光照明系统中减少激光斑点, 在所述系统中、在整个漫射表面上扫描激光产生的线照明。

对本专业技术人员来说, 很明显的是可以对优选实施例进行各种其他的变动而不背离在所附权利要求书中定义的本发明的精神和范围。

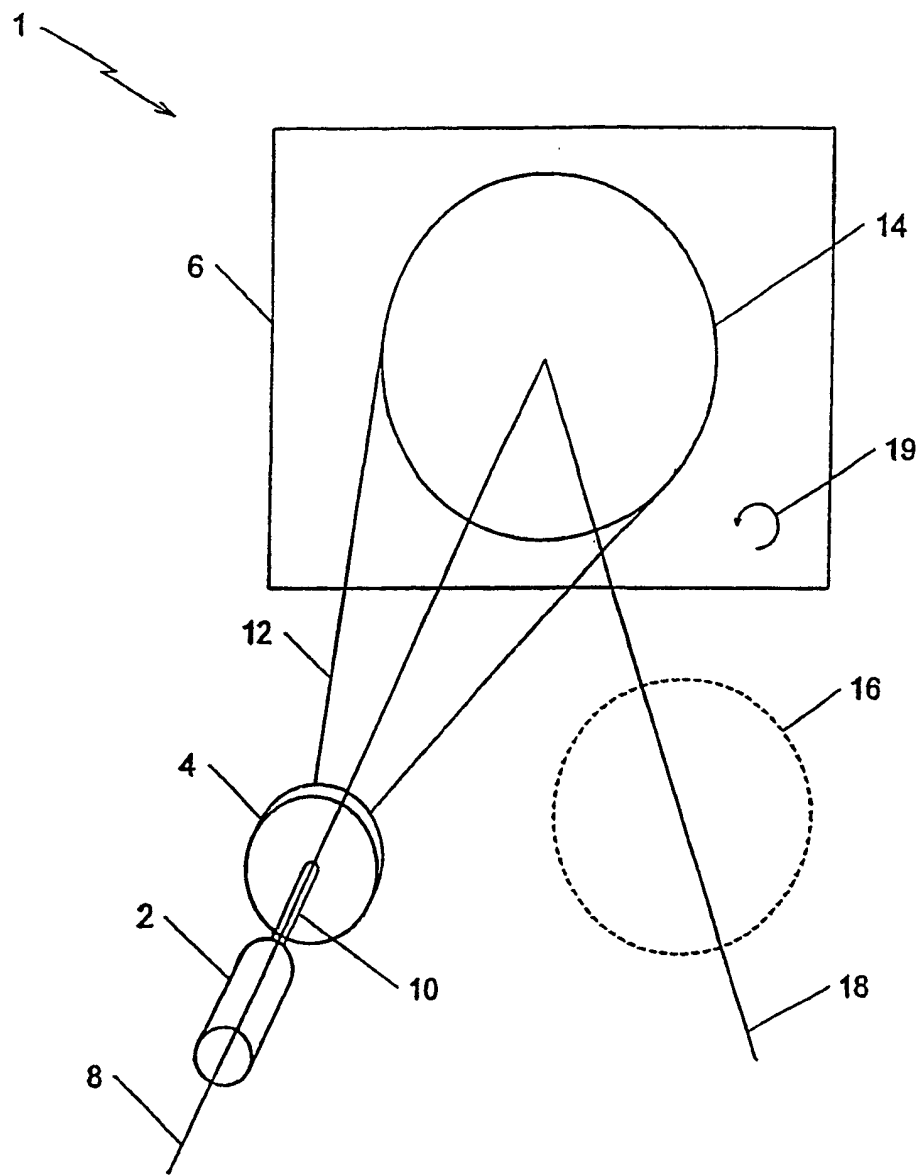


图 1  
(先有技术)

17

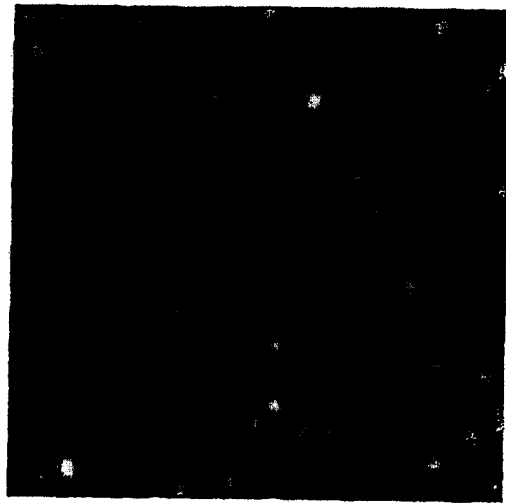
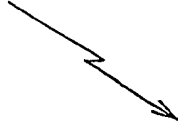
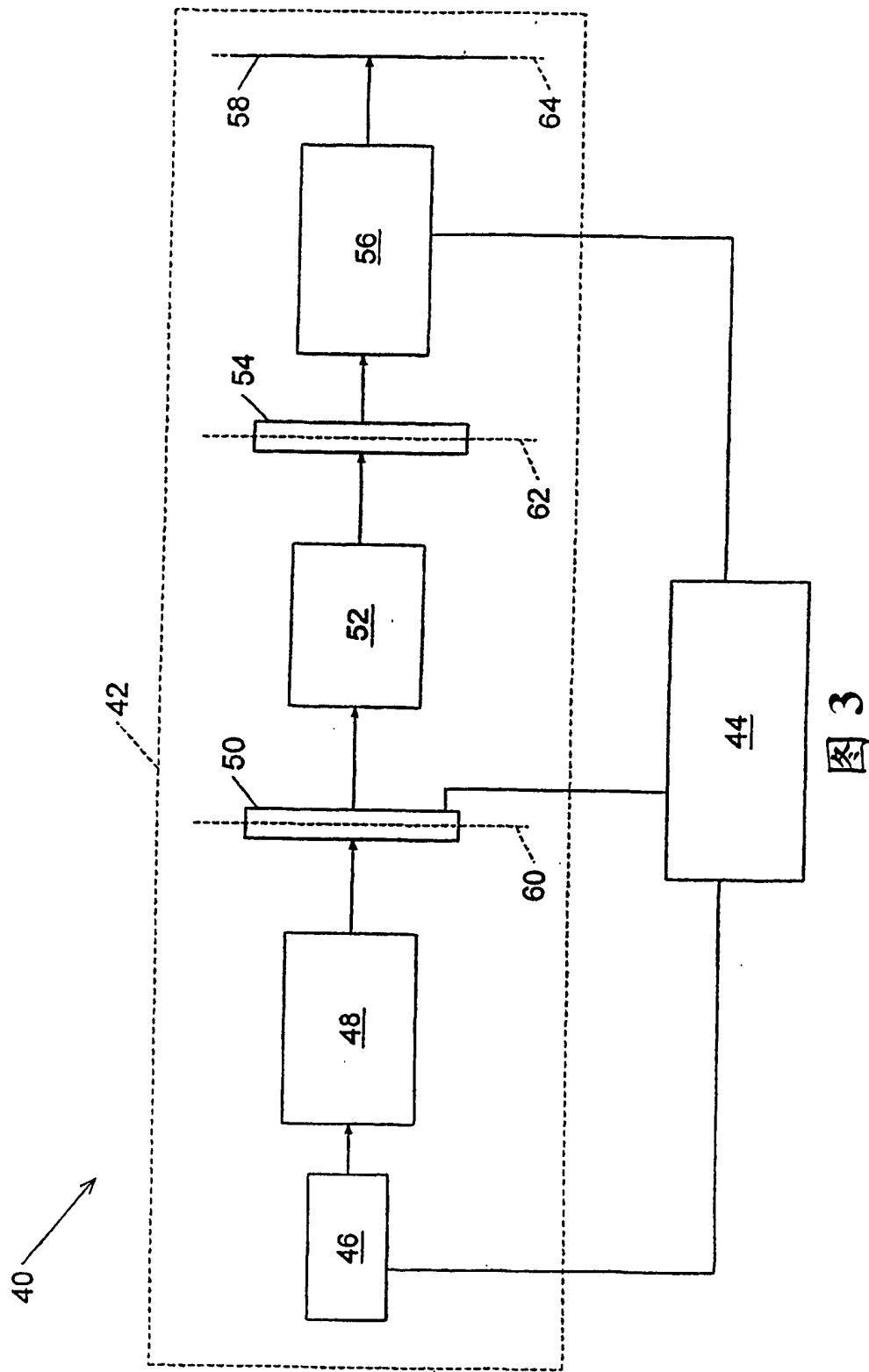


图 2  
(现有技术)



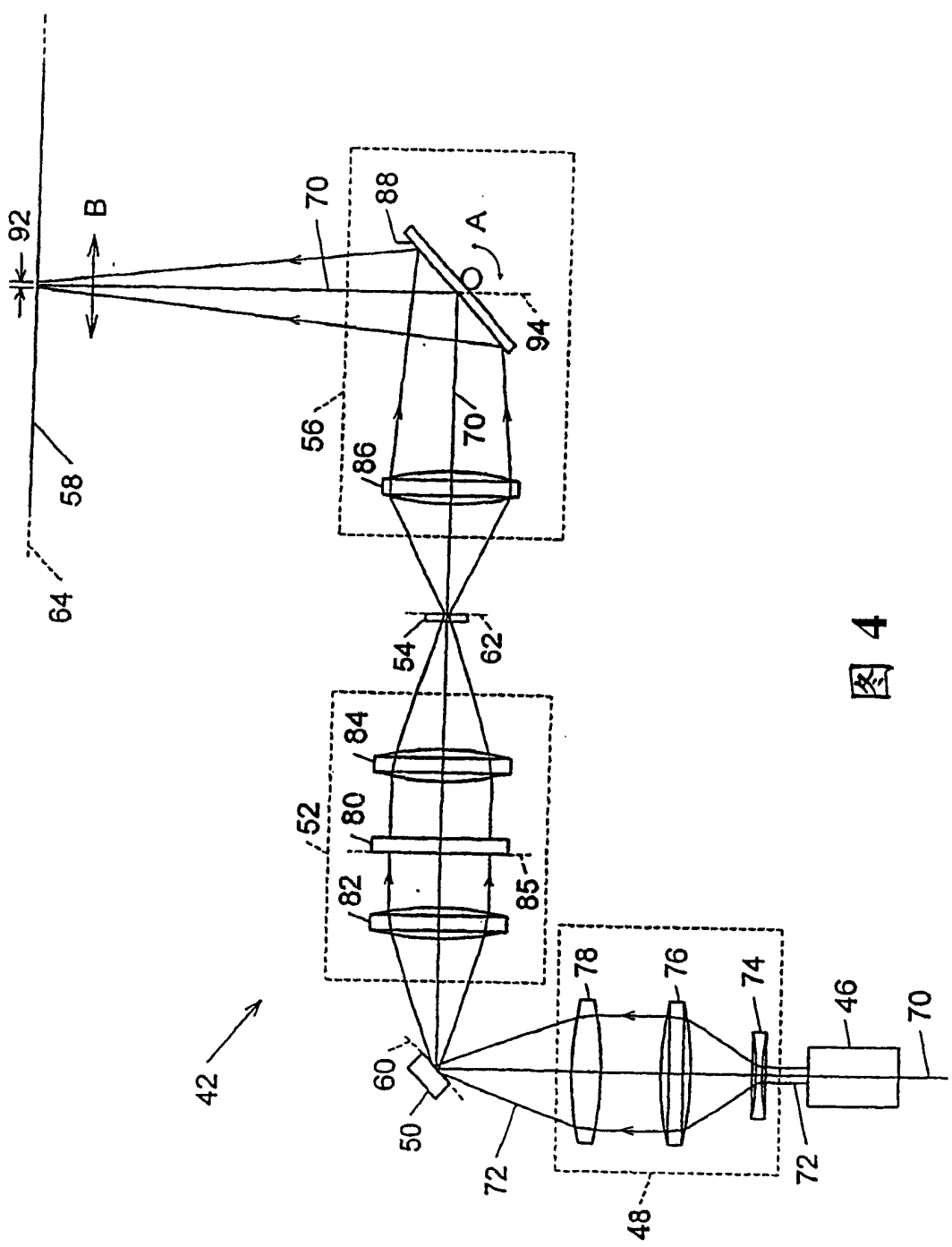


图 4

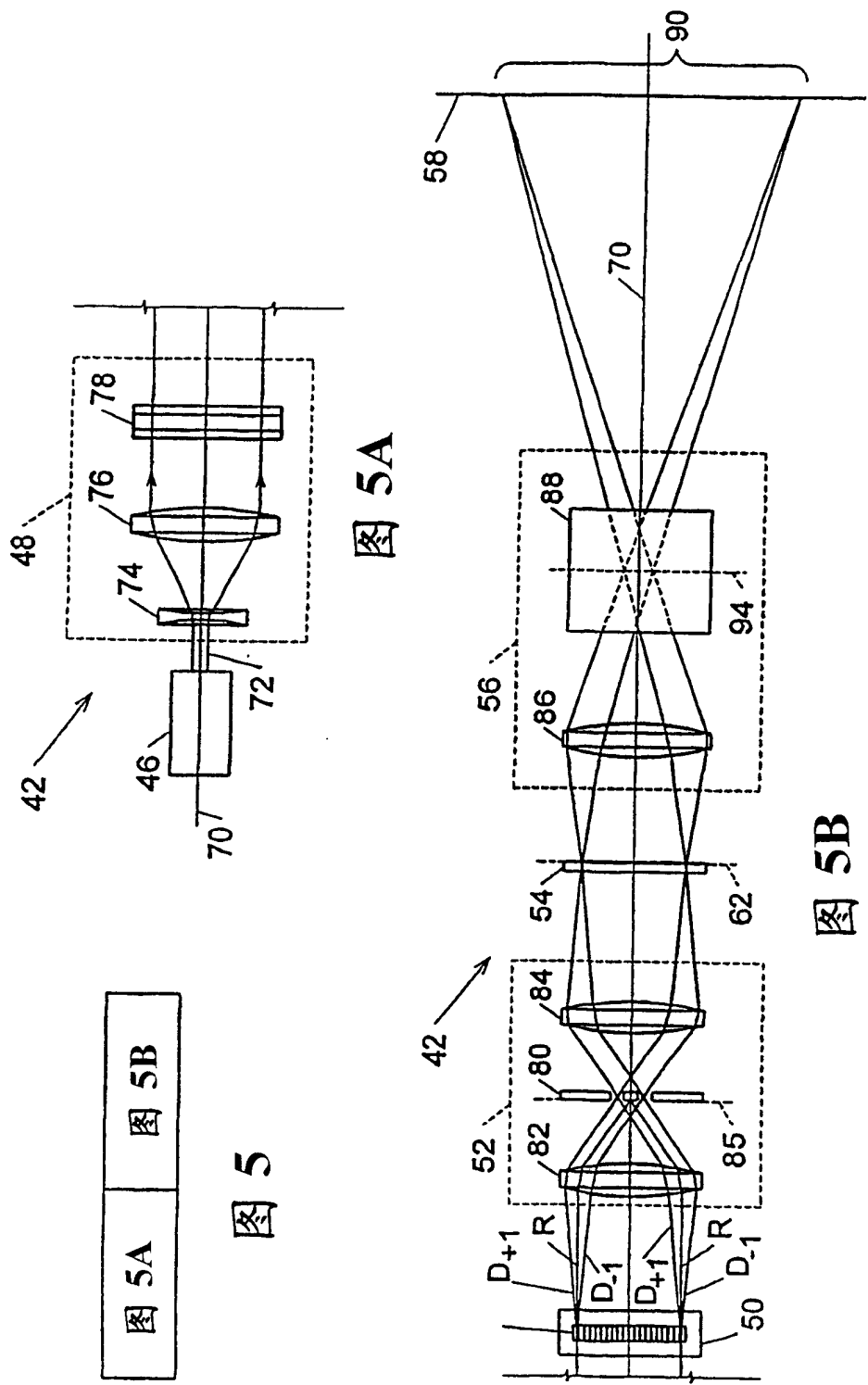


图 5A      图 5B

图 5

图 5A

图 5B

图 6A

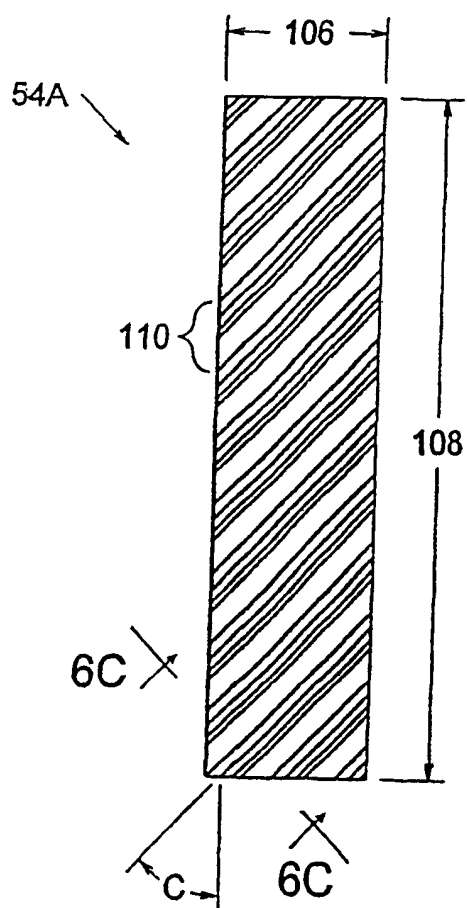


图 6B

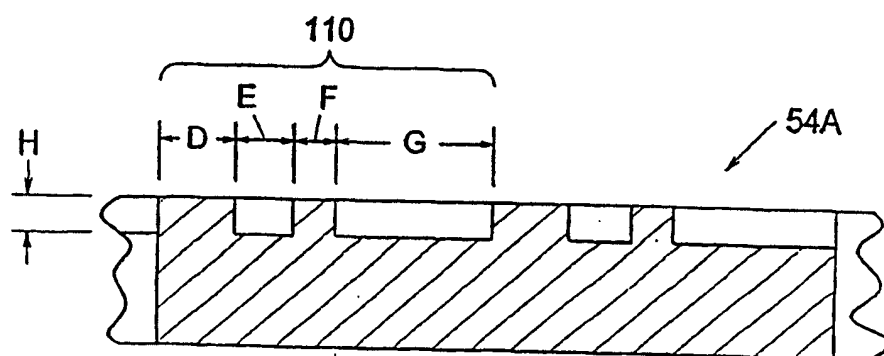
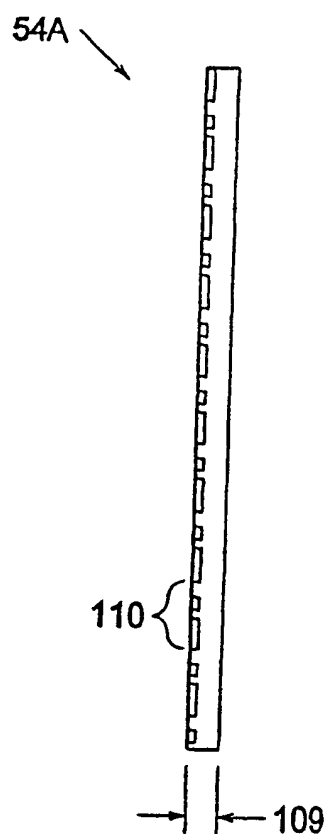


图 6C

图 7A

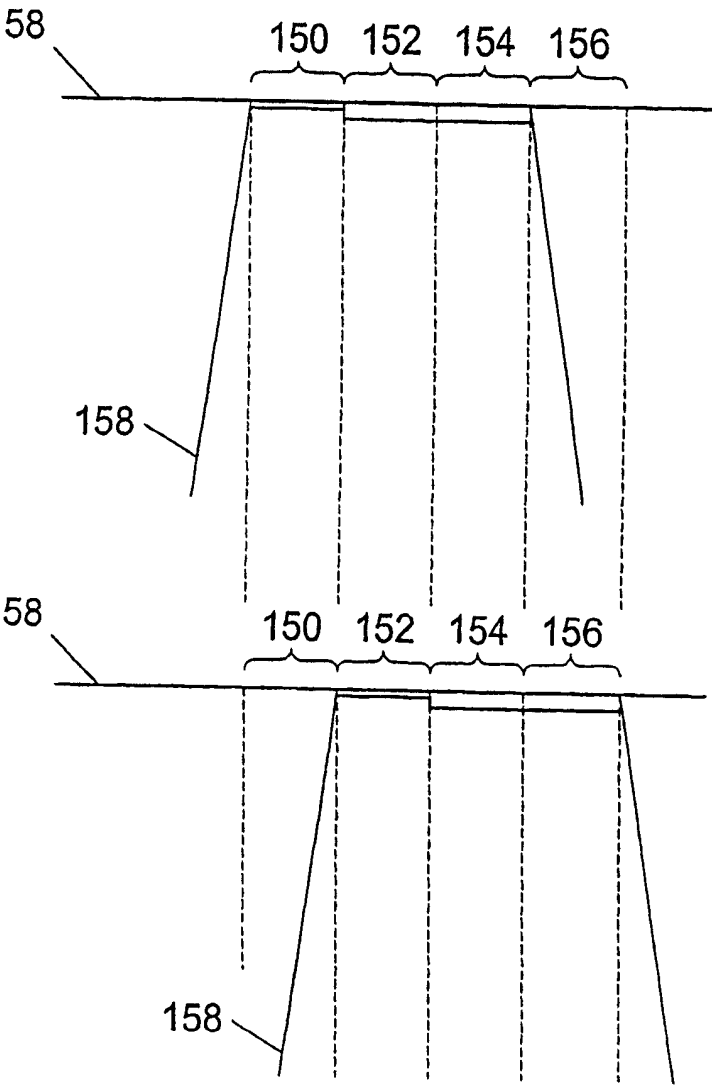


图 7B

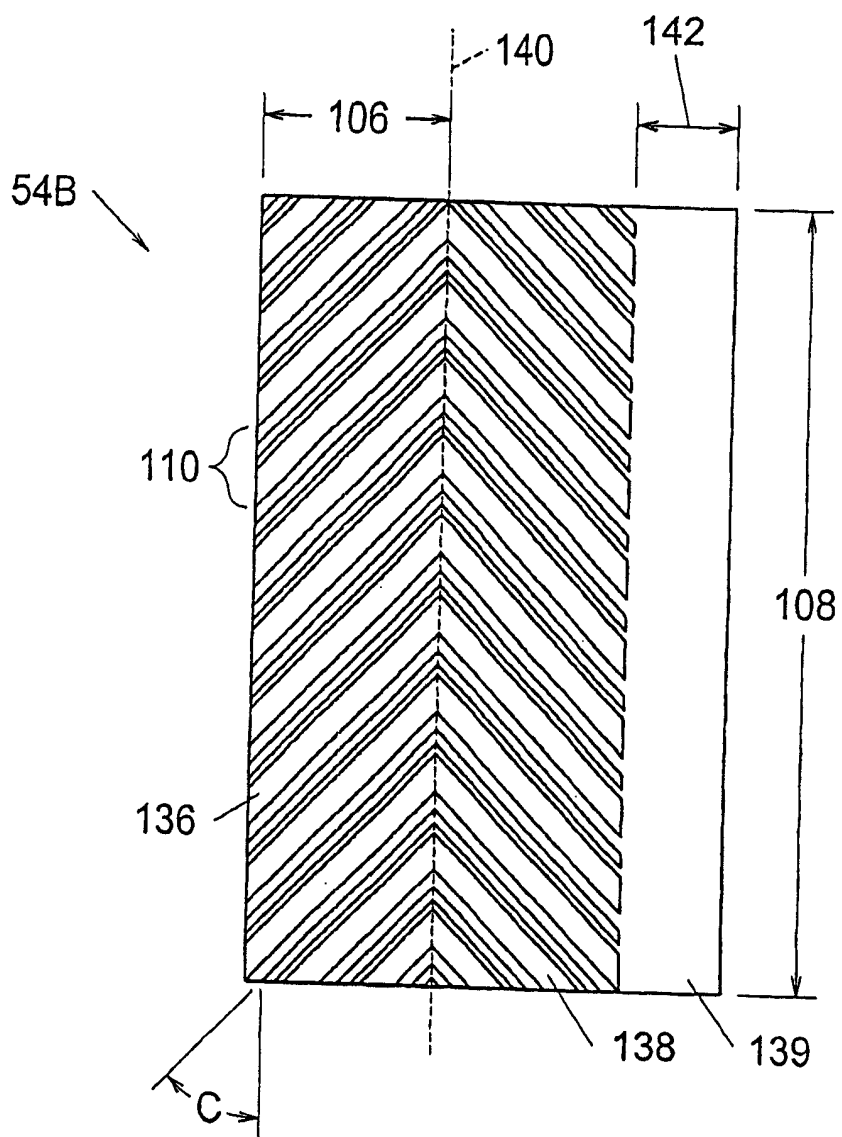


图 8