

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102638660 A

(43) 申请公布日 2012.08.15

(21) 申请号 201210025901.7

(22) 申请日 2012.02.07

(30) 优先权数据

2011-028631 2011.02.14 JP

(71) 申请人 索尼公司

地址 日本东京都

(72) 发明人 菊地晃司 马场茂幸 若野寿史

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 曲莹

(51) Int. Cl.

H04N 5/357(2011.01)

H04N 5/359(2011.01)

H04N 5/3745(2011.01)

H04N 9/04(2006.01)

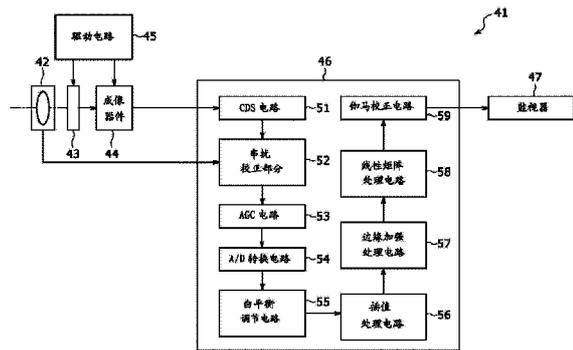
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 20 页

(54) 发明名称

图像处理装置、图像处理方法和电子设备

(57) 摘要

本公开涉及图像处理装置、图像处理方法和电子设备。所述图像处理装置包括：存储部分，构造成存储校正串扰的校正矩阵，所述串扰是由成像器件中来自用于接收光的多个像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的；和处理部分，构造成进行处理，以将存储在所述存储部分中的所述校正矩阵应用于由所述成像器件为各像素生成的图像信号。



1. 一种图像处理装置,包括:

存储部分,构造成存储校正串扰的校正矩阵,所述串扰是由成像器件中来自用于接收光的多个像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的;和

处理部分,构造成进行处理,以将存储在所述存储部分中的所述校正矩阵应用于由所述成像器件为各像素生成的图像信号。

2. 如权利要求 1 所述的图像处理装置,所述图像处理装置还包括:

孔径比获取部分,和

校正矩阵生成部分,其中

所述存储部分存储基本矩阵,每个基本矩阵是对于向所述成像器件的受光面入射的光的入射角求得的;

所述孔径比获取部分获取用于向所述成像器件的所述受光面上会集入射光的透镜的孔径比;

所述校正矩阵生成部分从所述存储部分读取对于与所述孔径比获取部分获得的所述孔径比相对应的入射角存储在所述存储单元中的所述基本矩阵,并根据所述孔径比从所述存储部分读取的所述基本矩阵生成所述校正矩阵;并且

所述处理部分通过利用由所述校正矩阵生成部分生成的所述校正矩阵来进行所述处理。

3. 如权利要求 2 所述的图像处理装置,其中,存储在所述存储部分中的所述基本矩阵是对于以 5 度彼此分隔开的所述入射角求得的。

4. 如权利要求 1 所述的图像处理装置,其中:

所述存储部分存储所述校正矩阵,每个校正矩阵是对于向所述成像器件的受光面入射的光的入射方向之一求得的;并且

所述处理部分通过利用与像素在所述成像器件上的位置相应的入射方向所对应的校正矩阵来进行所述处理。

5. 如权利要求 1 所述的图像处理装置,其中,所述校正矩阵构造成包括:

第一矩阵,用于因光在所述成像器件内传播的同时泄漏至相邻像素而生成的串扰;和

第二矩阵,用于因包括在所述成像器件中的光电二极管中的电子的泄漏而生成的串扰。

6. 如权利要求 5 所述的图像处理装置,其中,所述第一矩阵和第二矩阵是对于每一个所述成像器件设定的。

7. 如权利要求 1 所述的图像处理装置,其中,所述校正矩阵是对于所述成像器件中采用的滤色器的每一种颜色求得的。

8. 如权利要求 1 所述的图像处理装置,其中,所述校正矩阵是包括三个行和三个列的矩阵。

9. 一种图像处理方法,包括:

从用于存储校正矩阵的存储部分读取校正矩阵,以校正串扰,所述串扰是由成像器件中来自用于接收光的多个像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的;和

进行处理,以将所述校正矩阵应用于由所述成像器件为各像素生成的图像信号。

10. 一种电子设备,包括:

具有用于接收光的多个像素的成像器件；

存储部分,构造成存储用于校正串扰的校正矩阵,所述串扰是由来自所述成像器件中采用的所述像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的;和

处理部分,构造成进行处理,以将存储在所述存储部分中的所述校正矩阵应用于由所述成像器件为各像素生成的图像信号。

图像处理装置、图像处理方法和电子设备

技术领域

[0001] 本技术涉及图像处理装置、图像处理方法和电子设备。更具体地说,本技术涉及一种能够防止像质恶化的图像处理装置,并且涉及由所述装置提供的图像处理方法以及采用所述装置的电子设备。

背景技术

[0002] 过去,由 CMOS(互补金属氧化物半导体)图像传感器代表的固态成像器件总是要具有较小的像素尺寸以及较大的像素计数,所述像素计数代表能够在同一图像区域中设置的像素数量。

[0003] 参考图 1A-1C 对普通固态成像器件的构造说明如下。

[0004] 图 1A 示出了用于固态成像器件的典型滤色器 11,而图 1B 示出了前侧照射型 CMOS 图像传感器 21 的截面。图 1C 示出了后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的截面。

[0005] 图 1A 所示滤色器 11 包括红色、蓝色和绿色滤色器,它们配置成所谓的拜耳阵列(Bayer array)。在拜耳阵列中,在水平和垂直方向上配置若干像素,每个像素具有定位成面对彩色像素之一的晶格(cell)。在拜耳阵列中,B(蓝色)和 Gb(绿色)滤色器沿一行在水平方向上交替地配置,以使滤色器中的每一个面对同一行上的像素之一的晶格。同样地,在拜耳阵列中,R(红色)和 Gr(绿色)滤色器沿另一行在水平方向上交替地配置,以使滤色器中的每一个面对同一另一行上的像素之一的晶格。也就是说,其晶格面对 B(蓝色)和 Gb(绿色)滤色器的像素在拜耳阵列中在水平方向上每隔一行配置,而其晶格面对 R(红色)和 Gr(绿色)滤色器的像素在拜耳阵列中在水平方向上也是每隔一行配置。另外,其晶格面对 B(蓝色)和 R(红色)滤色器的像素在垂直方向上不配置在同一列上。

[0006] 应该注意的是,在以下描述中,将其晶格面对 R(红色)滤色器的像素称为 R 像素,而将其晶格面对 Gb(绿色)滤色器的像素称为 Gb 像素。同样地,将其晶格面对 B(蓝色)滤色器的像素称为 B 像素,而将其晶格面对 Gr(绿色)滤色器的像素称为 Gr 像素。

[0007] 图 1B 所示前侧照射型 CMOS 图像传感器 21 构造成具有包括光电二极管的硅基板 22。另外,前侧照射型 CMOS 图像传感器 21 还包括 FD(浮动扩散部)23 和反射防止膜 24。在硅基板 22 和 FD 23 上生成反射防止膜 24。在反射防止膜 24 上生成具有配线 25 的配线层 26。在配线层 26 上生成平坦化膜 27,而在平坦化膜 27 上生成滤色器 28。然后,在滤色器 28 上设置片上透镜 29。

[0008] 图 1C 所示后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 构造成具有包括光电二极管的硅基板 32。另外,后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 还包括在硅基板 32 上生成的反射防止膜 33。在反射防止膜 33 上生成用于防止串扰的遮光膜 34。在遮光膜 34 上生成平坦化膜 35,而在平坦化膜 35 上生成滤色器 36。然后,在滤色器 36 上设置片上透镜 37。应该注意的是,在后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的情况下,用于接收入射光的片上透镜 37 设置在后侧,而图 1C 中未示出的配线层设置在前侧。

[0009] 在后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 中,在光入射侧未设置配线层。因此,入射光没

有因配线层而发生损失,使得到达硅基板 32 的入射光量能够增大至大于前侧照射型 CMOS 图像传感器 21 的入射光量的数量。作为结果,通过利用后侧照射型 CMOS 图像传感器 31,能够获得高敏感性、低噪音和高品质的图像。这种后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 被量产,并被采用在例如摄录像机和数码相机中。

[0010] 顺便说一下,由于固态成像器件中采用的像素数量增大,向一个像素入射的光的能量的绝对数量不希望地降低,从而不可避免地发生串扰。在该情况下,串扰是光在传播通过采用像素的器件的同时泄漏至存在于像素中的相邻像素的现象。另外,由在像素边界附近发生的光电转换的结果所获得的电子的数量增加,同样不可避免地增大串扰。在该情况下,串扰是电子泄漏至相邻像素的现象。作为结果,这些种类的串扰增大。这些种类的串扰的生成是使后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的分光特性恶化的原因。

[0011] 下面,参考图 2A-2C 说明后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的分光特性。

[0012] 图 2A 示出了从像素尺寸为 1.12 微米的矩形后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 输出的信号求得的分光特性。在图 2A 中,横轴代表按照 nm 表示的波长,而纵轴代表输出信号(任意单位),它是矩形后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 输出的信号的量值。

[0013] 如图 2A 所示,像素尺寸具有与波长没有太大不同的量级的值,使得色分离变弱。

[0014] 图 2B 示出了对于包括片上过滤器的构造的分光特性。在图 2B 中,纵轴代表透射率(任意单位),而横轴代表按照微米表示的波长 λ 。

[0015] 将用作包括片上过滤器的构造的分光特性的图 2B 所示的分光特性与作为从矩形后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 输出的信号求得的分光特性的图 2A 所示的分光特性相比,以阐明以下内容。色分离的恶化不取决于片上滤色器的特性,而是取决于后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 内的光或者电子(即,信号电荷)的泄漏。

[0016] 图 2C 示出了在将向后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的受光面入射的光的入射角设定为 10 度的情况下从像素尺寸为 1.12 微米的矩形后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 输出的信号求得的分光特性。另一方面,上述图 2A 示出了在将向后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的受光面入射的光的入射角设定为 0 度的情况下从像素尺寸为 1.12 微米的矩形后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 输出的信号求得的分光特性。通过比较图 2A 所示的分光特性与图 2C 所示的分光特性,变得显然的是向后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的受光面入射的光的入射角的增大加强了串扰。

[0017] 另外,例如,本技术的专利的申请人还提出了能够通过根据校正参数进行像素混色校正处理来降低对像质的影响的成像装置(参考例如日本专利特开 No. 2009-124282)。

[0018] 上述串扰的生成恶化了色分离能力,并且劣化了色彩再现性。另外,串扰的生成还不希望地降低了 SN 比(信噪比)。因此,由固态成像器件生成的图像的质量变差。

发明内容

[0019] 希望处理这种问题,以防止图像的质量恶化。

[0020] 根据本技术一个实施例的图像处理装置包括:

[0021] 存储部分,构造成存储用于校正串扰的校正矩阵,所述串扰是由成像器件中来自用于接收光的多个像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的;和

[0022] 处理部分,构造成进行处理,以将存储在所述存储部分中的所述校正矩阵应用于

由所述成像器件为各像素生成的图像信号。

[0023] 根据本技术另一实施例的图像处理方法包括：

[0024] 从用于存储校正矩阵的存储部分读取校正矩阵，以校正串扰，所述串扰是由成像器件中来自用于接收光的多个像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的；和

[0025] 进行处理，以将所述校正矩阵应用于由所述成像器件为各像素生成的图像信号。

[0026] 根据本技术再一实施例的电子设备包括：

[0027] 具有用于接收光的多个像素的成像器件；

[0028] 存储部分，构造成存储用于校正串扰的校正矩阵，所述串扰是由来自所述成像器件中采用的所述像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的；和

[0029] 处理部分，构造成进行处理，以将存储在所述存储部分中的所述校正矩阵应用于由所述成像器件为各像素生成的图像信号。

[0030] 根据本技术的实施例，用于校正由成像器件中来自在用于接收光的多个像素中存在的相邻像素的光或者电子泄漏所生成的串扰的校正矩阵被应用于由成像器件生成的用于像素中的每一个的图像信号。

[0031] 根据本技术的实施例，能够防止像质发生恶化。

附图说明

[0032] 图 1A-1C 是示出普通固态成像器件的构造的图；

[0033] 图 2A-2C 是示出后侧照射型 CMOS 图像传感器的分光特性的图；

[0034] 图 3 是示出本技术一实施例的成像装置的典型构造的框图；

[0035] 图 4 是示出由周围像素生成的串扰的速率的图；

[0036] 图 5 是示出由周围像素生成的串扰的速率的图；

[0037] 图 6 是示出由周围像素生成的串扰的速率的图；

[0038] 图 7 是示出由周围像素生成的串扰的速率的图；

[0039] 图 8 是将在描述周围像素时参考的说明图；

[0040] 图 9 是示出典型校正矩阵的图；

[0041] 图 10 是将在描述用于校正串扰的处理时参考的说明图；

[0042] 图 11 是示出由用于校正串扰的处理的结果所获得的分光特性的图；

[0043] 图 12 是示出从应用校正矩阵前后呈现出的分光特性获得的典型 SNR10 值的图；

[0044] 图 13 是示出串扰校正部分的典型构造的框图；

[0045] 图 14 是将在对于 $\theta = 5$ 度和 $\theta = 10$ 度描述基本矩阵的要素时参考的说明图；

[0046] 图 15 示出了将在描述所进行的用于校正串扰的处理时参考的说明性流程图；

[0047] 图 16 是示出典型校正矩阵的图；

[0048] 图 17 是示出应用校正矩阵前后获得的典型 SNR10 值的图；

[0049] 图 18 是示出集光结构的校正矩阵和光电二极管的校正矩阵的图；

[0050] 图 19 是示出串扰校正部分的典型构造的框图；

[0051] 图 20 是示出当入射光沿垂直于受光面的方向到达传感器的受光面时由后侧照射型 CMOS 图像传感器中的电子进行的移动模式的图；

[0052] 图 21 是示出当入射光沿相对于受光面倾斜的方向到达传感器的受光面时由后侧

照射型 CMOS 图像传感器中的电子进行的移动模式的图；

[0053] 图 22 是示出 10 度的入射角所需的校正矩阵以及 20 度的入射角所需的校正矩阵的图；而

[0054] 图 23 是示出应用校正矩阵前后获得的典型 SNR10 值的图。

具体实施方式

[0055] 下面,通过参考附图对本技术的具体实施例详细说明如下。

[0056] 图 3 是示出本技术一实施例的成像装置 41 的典型构造的框图。

[0057] 在图 3 所示构造中,成像装置 41 构造成包括透镜单元 42、快门装置 43、成像器件 44、驱动电路 45、图像处理装置 46 和监视器 47。

[0058] 透镜单元 42 具有一个透镜或者多个透镜。透镜单元 42 向成像器件 44 引导由成像物体射出的用作图像光的入射光,并在设置于成像器件 44 上的用作传感器部分的受光面上生成图像。另外,透镜单元 42 还用于存储通过透镜焦距除以透镜有效孔径得到的孔径比 (aperture ratio)。

[0059] 快门装置 43 设置在透镜单元 42 与成像器件 44 之间。根据由驱动电路 45 执行的控制,快门装置 43 调节对成像器件 44 的光照射期间和对成像器件 44 的遮光期间。

[0060] 成像器件 44 通常是具有图 1C 所示结构的后侧照射型 CMOS 图像传感器 31。成像器件 44 根据经由透镜单元 42 和快门装置 43 在受光面上生成的图像,蓄积一定期间的信号电荷。然后,根据由驱动电路 45 向成像器件 44 供给的用作驱动信号的时序信号,蓄积在成像器件 44 中的信号电荷被传送至图像处理装置 46。

[0061] 驱动电路 45 向成像器件 44 输出驱动信号,用于驱动成像器件 44 将信号电荷传送至图像处理装置 46。另外,驱动电路 45 还向快门装置 43 输出驱动信号,用于驱动快门装置 43 进行快门操作。

[0062] 图像处理装置 46 对成像器件 44 输出的图像信号(原始图像数据)进行各种图像处理。然后,图像处理装置 46 向监视器 47 提供由图像处理的结果获得的图像数据。图像处理装置 46 还向图中未示出的记录介质输出图像数据。

[0063] 监视器 47 通常具有液晶显示单元或者有机 EL(电致发光)显示单元。显示单元用于根据从图像处理装置 46 接收到的图像数据显示图像。

[0064] 如图所示,图像处理装置 46 构造成包括 CDS(相关双重取样)电路 51、串扰校正部分 52、AGC(自动增益控制)电路 53、A/D(模拟/数字)转换电路 54、白平衡调节电路 55、插值处理电路 56、边缘加强处理电路 57、线性矩阵处理电路 58 和伽马校正电路 59。

[0065] CDS 电路 51 通过对从成像器件 44 接收到的图像信号进行相关双重取样,来进行处理以去除噪音。CDS 电路 51 向串扰校正部分 52 供给噪音已被去除的图像信号。

[0066] 串扰校正部分 52 对从 CDS 电路 51 接收到的信号进行用于校正串扰的校正处理。另外,在串扰校正部分 52 进行校正处理的同时,如有必要,串扰校正部分 52 可以与透镜单元 42 通信,以获得在透镜单元 42 中采用的透镜的当前孔径比。

[0067] AGC 电路 53 自动地放大从串扰校正部分 52 接收到的信号,以生成放大信号并向 A/D 转换电路 54 输出放大信号。A/D 转换电路 54 将从 AGC 电路 53 接收到的模拟信号转换成数字信号。

[0068] 白平衡调节电路 55 对从 A/D 转换电路 54 接收到的数字信号所构造成的图像进行用于调节白平衡的处理。插值处理电路 56 进行插值处理,以调节由从白平衡调节电路 55 接收到的信号所构造成的图像的尺寸。插值处理电路 56 向边缘加强处理电路 57 输出由插值处理的结果获得的信号。

[0069] 边缘加强处理电路 57 进行用于加强由从插值处理电路 56 接收到的信号所构造成的图像的边缘的处理。应该注意的是,除用于加强图像的边缘的处理外,如有必要,图像处理装置 46 还恰当地进行图像处理。

[0070] 线性矩阵处理电路 58 对由从边缘加强处理电路 57 接收到的信号所构造成的图像进行基于矩阵处理的校正。伽马校正电路 59 对由从线性矩阵处理电路 58 接收到的信号所构造成的图像进行 γ 校正,以校正待显示在监视器 47 上的图像的彩度和图像的亮度等等。伽马校正电路 59 向监视器 47 输出由 γ 校正的结果获得的 Y 信号和 C 信号。

[0071] 如果图 1C 所示后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 被用作成像器件 44,则从后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的模拟求得的分光特性与图 2A-2C 所示的那些相当。也就是说,来自 Gr 像素的串扰和来自 Gb 像素的串扰使信号分别泄漏到 R 像素和 B 像素中,使得在 R 像素和 B 像素中的每一个中,在 500-550nm 范围内的输出上升。因此,显然的是串扰呈现出波长依存性。

[0072] 下面,参考图 4-8 来说明串扰的波长依存性。图 4-7 中的每一个是示出对于各种波长来自设置在预先确定的像素周围的八个像素中的每一个的串扰的量的图。设置在预定像素周围的所述八个像素是分别位于预定像素的上、下、左、右侧的四个像素以及沿倾斜方向与预定像素分隔开的四个其它像素。对设置在预定像素周围的所述八个像素详细说明如下。

[0073] 图 8 是示出处于中心的 Gb_{cc} 像素以及如上所述设置在 Gb_{cc} 像素周围的八个像素的图。图 4-7 中的每一个示出了对于多种波长中的每一种,由设置在 Gb_{cc} 像素周围的八个像素中的每一个生成的串扰的比率。如图 8 所示,设置在 Gb_{cc} 像素周围的八个像素是位于左上侧的相邻 Gr_{ul} 像素、位于左侧的相邻 B_{cl} 像素、位于左下侧的相邻 Gr_{bl} 像素、位于上侧的相邻 R_{uc} 像素、位于下侧的相邻 R_{bc} 像素、位于右上侧的相邻 Gr_{ur} 像素、位于右侧的相邻 B_{cr} 像素和位于右下侧的相邻 Gr_{br} 像素。

[0074] 图 4-7 中的每一个中的横轴代表波长。更具体地说,图 4 中的横轴代表 380nm-450nm 范围内的波长,而图 5 中的横轴代表 460nm-530nm 范围内的波长。另一方面,图 6 中的横轴代表 540nm-610nm 范围内的波长,而图 7 中的横轴代表 620nm-680nm 范围内的波长。图 4-7 中的每一个中的纵轴代表串扰的比率。

[0075] 如从图 4-7 可知的,来自沿倾斜方向与中心处的 Gb_{cc} 像素分隔开的四个像素中的每一个的串扰的比率是低的。如图 8 所示,与 Gb_{cc} 像素分隔开的四个像素是位于左上侧的相邻 Gr_{ul} 像素、位于左下侧的相邻 Gr_{bl} 像素、位于右上侧的相邻 Gr_{ur} 像素和位于右下侧的相邻 Gr_{br} 像素。另一方面,如从图 4-7 可知的,来自位于 Gb_{cc} 像素的上、下、左、右侧的四个像素中的每一个的串扰的比率是高的。位于 Gb_{cc} 像素的上、下、左、右侧的四个像素是位于上侧的相邻 R_{uc} 像素、位于下侧的相邻 R_{bc} 像素、位于左侧的相邻 B_{cl} 像素和位于右侧的相邻 B_{cr} 像素。另外,对于小波长,例如 400nm-470nm 范围内的波长,来自 B 像素的串扰的量是大的。

[0076] 如上所述,从设置在 Gb_cc 像素周围的八个像素,可以求得泄漏到 Gb_cc 像素中的信号量值。换言之,从设置在 Gb_cc 像素周围的八个像素,其量值通过计算求得的信号泄漏到 Gb_cc 像素中。因此,通过恢复通过计算求得的泄漏信号量值,能够实质上改善生成的串扰。

[0077] 另外,与图 4-7 所示的 Gb 像素同样地,对于各自被看作中心像素的 Gr、B 和 R 像素,能够求得来自设置在中心像素周围的八个像素的串扰的量。然后,从对于 Gb、Gr、B 和 R 像素中的每一个求得的串扰量,串扰校正部分 52 能够进行处理,以计算出将在用于校正串扰的处理中使用的校正矩阵。

[0078] 首先,从图 4 所示那样的数据,对于 Gb、Gr、B 和 R 像素中的每一个取出泄漏至设置在周围位置的八个像素的信号量值。然后,求得泄漏至设置在周围位置的八个像素的信号量值之和。接下来,使泄漏信号量值和泄漏信号量值之和规范化 (nomalized),方法是将其除以由像素输出的信号量值。在以下描述中,将规范化的数值称为混色量比。

[0079] 校正矩阵由以下给出的表达式 (1) 表示。在该校正矩阵中,符号 a 表示泄漏至位于左上侧的相邻像素的信号的混色量比,而符号 b 表示泄漏至位于上侧的相邻像素的信号的混色量比。符号 c 表示泄漏至位于右上侧的相邻像素的信号的混色量比,而符号 d 表示泄漏至位于左侧的相邻像素的信号的混色量比。符号 e 表示泄漏至位于右侧的相邻像素的信号的混色量比,而符号 f 表示泄漏至位于左下侧的相邻像素的信号的混色量比。符号 g 表示泄漏至位于下侧的相邻像素的信号的混色量比,而符号 h 表示泄漏至位于右下侧的相邻像素的信号的混色量比。

$$[0080] \begin{bmatrix} -a & -b & -c \\ -d & 1+i & -e \\ -f & -g & -h \end{bmatrix} \dots (1)$$

[0081] 在以上给出的表达式 (1) 中,符号 i 表示满足以下方程式的数值: $i = a+b+c+d+e+f+g+h$ 。

[0082] 应该注意的是,如果没有混色生成,则校正矩阵由如下给出的表达式 (2) 表示。

$$[0083] \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots (2)$$

[0084] 因此,在将 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个当作中心像素的情况下,能够对于 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个计算出校正矩阵。

[0085] 图 9 是示出对于 B、Gb、Gr 和 R 像素从图 3-7 所示的串扰关系计算出的典型校正矩阵的图。

[0086] 如图 9 所示,B 像素的校正矩阵的校正量大于其它像素的校正矩阵的校正量。B 像素的校正矩阵的校正量大于其它像素的校正矩阵的校正量这一事实表明从 B 像素到相邻像素的串扰的量。

[0087] 然后,B、Gb、Gr 和 R 像素的校正矩阵被存储在串扰校正部分 52 中,串扰校正部分 52 以后将在进行校正串扰的处理中利用这些校正矩阵。

[0088] 例如,如图 10 所示,串扰校正部分 52 返还给予相邻像素的串扰的量,以校正串扰。

也就是说,串扰校正部分 52 进行向将 B、Gb、Gr 和 R 像素当作中心像素的参考区域应用图 9 所示校正矩阵的处理。串扰校正部分 52 通常是以光栅扫描顺序进行该处理的。然后,对于 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个,串扰校正部分 52 进行返还泄漏至相邻像素的信号量值的处理 (1.48B-10154A-0.05C...),以校正串扰。

[0089] 具体地说,串扰校正部分 52 根据以下给出的表达式 (3) 进行处理,以校正串扰。

[0090] $Corrected_Signal(y, x) = Signal(y, x) * Mcc(2, 2)$

[0091] $-Signal(y-1, x-1) * Mul(3, 3) - Signal(y, x-1) * Mc1(2, 3)$

[0092] $-Signal(y+1, x-1) * Mb1(1, 3) - Signal(y-1, x) * Muc(3, 2) \dots (3)$

[0093] $-Signal(y+1, x) * Mbc(1, 2) - Signal(y-1, x+1) * Mur(3, 1)$

[0094] $-Signal(y, x+1) * Mcr(2, 1) - Signal(y+1, x+1) * Mbr(1, 1)$

[0095] 在以上给出的表达式 (3) 中,符号 $Corrected_Signal(y, x)$ 是校正后获得的用作坐标 (x, y) 处的图像信号的图像信号,而符号 $Signal(y, x)$ 是坐标 (x, y) 处的图像信号。

[0096] 符号 Mul 表示位于左上侧对相邻像素的校正矩阵,而符号 $Mc1$ 表示位于左侧的相邻像素的校正矩阵。符号 $Mb1$ 表示位于左下侧对相邻像素的校正矩阵,而符号 Muc 表示位于上侧的相邻像素的校正矩阵。符号 Mcc 表示中心像素的校正矩阵,而符号 Mbc 表示位于下侧的相邻像素的校正矩阵。符号 Mur 表示位于右上侧对相邻像素的校正矩阵,而符号 Mcr 表示位于右侧的相邻像素的校正矩阵。符号 Mbr 表示位于右下侧的相邻像素的校正矩阵。

[0097] 添加至校正矩阵中的每一个的括在括号中的值 (i, j) 代表校正矩阵中第 i 行和第 j 列的交点处的要素。

[0098] 另外,串扰校正部分 52 为 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个保持校正矩阵,并通过利用用于各个像素位置的校正矩阵来进行校正串扰的处理。

[0099] 串扰校正部分 52 如上所述地校正串扰,以改善分光特性。

[0100] 图 11 是示出由串扰校正部分 52 进行处理以校正串扰的结果所获得的分光特性的图。在图 11 中,横轴代表以 nm 表示的波长,而纵轴代表输出信号(任意单位 $(arb. unit)$)。

[0101] 如图 11 所示,分光特性得到大幅改善。也就是说,与图 2A 所示的作为串扰校正前呈现出的分光特性的分光特性相比,图 11 所示的作为串扰校正后呈现出的分光特性的分光特性各自自由具有陡峭梯度的曲线表示。

[0102] 然后,串扰校正前呈现出的分光特性和串扰校正后呈现出的分光特性用于计算和应用白平衡的系数和线性矩阵。然后,从串扰校正前呈现出的分光特性和串扰校正后呈现出的分光特性中的每一个求得 SNR(信噪比)为 10 的照度。在以下描述中,将 SNR 为 10 的照度称为 SNR10 值。

[0103] 假定,在噪音中,随着每像素的暗电流和模拟前端的噪音,随机地生成 2.0 电子。

[0104] 图 12 是示出从应用校正矩阵前呈现出的分光特性获得的典型 SNR10 值以及从应用校正矩阵后呈现出的分光特性获得的典型 SNR10 值的图。

[0105] 如图 12 所示,从应用校正矩阵前呈现出的分光特性获得的 SNR10 值为 284.2 勒克斯(lux),而从应用校正矩阵后呈现出的分光特性获得的 SNR10 值为 154.6 勒克斯。

[0106] 下面,以下描述将对通过包括图 1C 所示后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的成像器件 44 以及具有 2.8 的孔径比的透镜单元 42 进行的典型成像操作进行说明。

[0107] 如果包括在透镜单元 42 中的透镜的孔径比增大,则倾斜入射分量的数量上升,因

此串扰量同样也增大。因此有必要根据孔径比改变串扰校正部分 52 所使用的校正矩阵的值。因此,成像装置 41 设计成这样一种构造,其允许串扰校正部分 52 利用校正矩阵来校正串扰,所述校正矩阵的值可以根据在透镜单元 42 中采用的透镜的孔径比确定。

[0108] 图 13 是示出串扰校正部分 52 的典型构造的框图。

[0109] 如图 13 所示,串扰校正部分 52 构造成包括矩阵保持用存储器 61、透镜数据获取部分 62、矩阵生成部分 63 和校正处理部分 64。

[0110] 矩阵保持用存储器 61 用于为 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个存储作为用于每个入射角的矩阵的基本矩阵。

[0111] 透镜数据获取部分 62 与透镜单元 42 通信,以获取在透镜单元 42 中采用的透镜的当前孔径比。然后,透镜数据获取部分 62 向矩阵生成部分 63 提供显示根据透镜的孔径比确定的入射角的三维角度信息。

[0112] 矩阵生成部分 63 为 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个基于已从透镜数据获取部分 62 接收到的三维角度信息从矩阵保持用存储器 61 读取两个基本矩阵。从矩阵保持用存储器 61 读取的这两个基本矩阵是与从透镜数据获取部分 62 接收到的三维角度信息所显示的入射角最接近的两个入射角相关联的基本矩阵。然后,对于 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个,矩阵生成部分 63 合成从矩阵保持用存储器 61 读取的两个基本矩阵,以对于 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个生成校正矩阵。

[0113] 如果透镜的孔径比为例如 2.8,则入射光沿一倾斜方向到达,该倾斜方向协同如图 14 所示那样的球坐标系的 θ 方向形成 ± 10.2 度的角度。因此,通常,矩阵保持用存储器 61 用于对球坐标系的 θ 方向每 5 度以及对球坐标系的 ϕ 方向每 45 度存储一个基本矩阵。在该情况下,矩阵生成部分 63 从作为对 $\theta = 5$ 度和 $\theta = 10$ 度存储的基本矩阵的要素的 17 个数据为 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个生成校正矩阵,将该校正矩阵供给至校正处理部分 64。例如,矩阵生成部分 63 通过对与从透镜数据获取部分 62 接收到的三维角度信息所显示的入射角最接近的两个入射角相关联的基本矩阵进行线性插值,来生成校正矩阵。

[0114] 校正处理部分 64 从图 3 所示 CDS 电路 51 顺次接收代表原始数据的图像信号。校正处理部分 64 进行对图像信号应用由矩阵生成部分 63 生成的校正矩阵的处理。也就是说,校正处理部分 64 根据前面给出的表达式 (3) 进行处理,以对于 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个校正串扰。然后,校正处理部分 64 向 AGC 电路 53 顺次提供串扰已得到校正的图像信号。

[0115] 图 15 示出了将在对图 13 所示串扰校正部分 52 进行的用于校正串扰的处理的描述中提及的说明性流程图。

[0116] 通常,串扰校正部分 52 所进行的用于校正串扰的处理是在图 3 所示成像装置 41 的电源打开时开始的。如图 15 所示,流程图开始于步骤 S11,在步骤 S11,透镜数据获取部分 62 与透镜单元 42 通信,以获取在透镜单元 42 中采用的透镜的当前孔径比。另外,当快门装置 43 在以后改变孔径比时,透镜数据获取部分 62 获取改变的孔径比。然后,透镜数据获取部分 62 向矩阵生成部分 63 提供显示根据透镜的孔径比确定的入射角的三维角度信息。

[0117] 当步骤 S11 完成后,处理流程继续到步骤 S12,在步骤 S12,矩阵生成部分 63 基于从透镜数据获取部分 62 接收到的三维角度信息从矩阵保持用存储器 61 读取两个基本矩阵。然后,处理流程继续到步骤 S13。

[0118] 在步骤 S13,矩阵生成部分 63 合成在步骤 S12 读取的两个基本矩阵,以对于 B、Gb、

Gr 和 R 像素中的每一个生成校正矩阵。接下来,矩阵生成部分 63 向校正处理部分 64 供给校正矩阵。然后,处理流程继续到步骤 S14。

[0119] 在步骤 S14,校正处理部分 64 进行处理以将矩阵生成部分 63 生成的校正矩阵应用于从 CDS 电路 51 顺次接收到的图像信号(原始数据),以对于 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个校正串扰。然后,校正处理部分 64 向 AGC 电路 53 顺次提供串扰已得到校正的图像信号。

[0120] 如上所述,串扰校正部分 52 进行对图像信号校正串扰的处理,并输出串扰已得到校正的图像信号。因此能够基于串扰已得到校正的图像信号构造图像,防止图像的质量因包括在图像中的串扰而恶化,从而获得具有更高质量的图像。

[0121] 另外,在串扰校正部分 52 中采用的矩阵生成部分 63 基于透镜的当前孔径比对 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个生成校正矩阵。图 16 是示出矩阵生成部分 63 对 B、Gb、Gr 和 R 像素生成的四个典型校正矩阵的图。应该注意的是,对于透镜的高孔径比,串扰的量。因此,构成每个校正矩阵的要素的绝对值也大。

[0122] 如上所述,在串扰校正部分 52 中采用的矩阵生成部分 63 基于透镜的当前孔径比对 B、Gb、Gr 和 R 像素中的每一个生成校正矩阵。因此能够根据入射光到达成像器件 44 的受光面的入射角,进行恰当的串扰校正。

[0123] 图 17 是示出从应用校正矩阵前呈现出的分光特性获得的典型 SNR10 值以及从应用校正矩阵后呈现出的分光特性获得的典型 SNR10 值的图。通过将根据透镜的孔径比的三维角度纳入考量,比起图 12 所示的 SNR10 值,图 17 所示的典型 SNR10 值能够得到改善。如图 17 所示,从应用校正矩阵后呈现出的分光特性获得的典型 SNR10 值是 175.0 勒克斯。

[0124] 另外,串扰校正部分 52 进行处理以校正串扰的生成,因此能够提高制造成像器件 44 的工艺的产出率。因此,能够降低成像器件 44 的制造成本。

[0125] 另外,在矩阵保持用存储器 61 中是对于以 5 度彼此分隔开的各个入射角存储基本矩阵,以用作在生成校正矩阵时使用的基本矩阵。由于在矩阵保持用存储器 61 中不是对于每个入射角都存储基本矩阵,所以能够防止矩阵保持用存储器 61 的所需存储容量过度增大,并且能够基于与透镜的当前孔径比相对应的入射角进行串扰校正。

[0126] 顺便说一下,随着构成成像器件 44 的像素的小型化,由光电二极管的制造参数引起的串扰发生变化。也就是说,在成像器件 44 中生成的串扰是各不相同的。因此,有必要通过利用与成像器件 44 相适合的校正矩阵来校正串扰。这样,能够改善校正精度。

[0127] 另外,在成像器件 44 中生成的串扰是由于光在成像器件 44 中传播的同时泄漏至相邻像素而生成的串扰,以及由于光电二极管中的电子泄漏至相邻像素而生成的串扰。在以下描述中,将用于校正由于光在成像器件 44 中传播的同时泄漏至相邻像素而生成的串扰的校正矩阵称为集光结构用矩阵。另一方面,将用于校正由于光电二极管中的电子泄漏至相邻像素而生成的串扰的校正矩阵称为光电二极管用矩阵。

[0128] 图 18 对于通过利用采用图 1C 所示后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的成像器件 44 以及利用具有 2.8 的孔径比的透镜单元 42 进行的成像操作,示出了用作构成校正矩阵的两个分开的不同矩阵的集光结构用矩阵和光电二极管用矩阵。

[0129] 通过基于构成校正矩阵的这种两个分开的不同矩阵来校正串扰,能够获得与前面参考图 15 所示流程图说明的处理相同的效果。由于校正矩阵如上所述被分成集光结构用矩阵和光电二极管用矩阵,所以能够通过将器件发货检查时设定的值作为参考,彼此独立

地改变集光结构用矩阵的要素的值和光电二极管用矩阵的要素的值。

[0130] 也就是说,与具有如图 19 所示那样的构造的串扰校正部分 52 的情况一样,矩阵保持用存储器 61 用于存储基于集光结构工艺的 PQC(工艺质量控制)数据求得的集光结构用矩阵以及基于光电二极管生成工艺的 PQC 数据求得的光电二极管用矩阵。

[0131] 例如,如果制造误差看起来要增大由于光电二极管中的电子泄漏至相邻像素而生成的串扰,则构成光电二极管用矩阵的要素的绝对值与检测到的制造误差的量值相应地增大。如果检测到了看起来要将图 1B 中的片上透镜 29 放置在高位置处的误差,则假定光在成像器件 44 中传播的同时向相邻像素泄漏的量。在该情况下,构成集光结构用矩阵的要素的绝对值与检测到的误差的量值相应地增大。

[0132] 如上所述,能够通过将器件发货检查时设定的值作为参考,彼此独立地改变集光结构用矩阵的要素的值和光电二极管用矩阵的要素的值。因此,能够改善用于校正串扰的处理的校正精度。另外,集光结构用矩阵和光电二极管用矩阵被求出以用作每个成像器件 44 特有的矩阵,并存储在采用在成像装置 41 中的矩阵保持用存储器 61 中。

[0133] 顺便说一下,总的来说,成像装置 41 采用的是入射方向对于各个像素不同的相机透镜。所述入射方向是入射光向成像器件 44 的受光面传播的方向。特别地,在采用于小型手机中的成像装置以及小型紧凑数码相机的情况下,透镜有必要设计成具有短的射出瞳距。

[0134] 因此,如果入射角如上所述对于像素各不相同,则串扰量同样对于像素也是各不相同的。

[0135] 图 20 示出了当入射光沿垂直于受光面的方向到达传感器 31 的受光面时由后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 中的电子进行的移动的典型模式。另一方面,图 21 示出了当入射光沿相对于受光面倾斜的方向到达传感器 31 的受光面时由后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 中的电子进行的移动的典型模式。应该注意的是,在图 20 和 21 中,与电子相关联的箭头的粗度代表由箭头表示的作为电子的移动的移动易度。

[0136] 如图 20 所示,如果入射光沿垂直于受光面的方向到达后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的受光面,则在由在后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的表面上的信号电荷泄漏引起的大串扰量的光电二极管设计的情况下,对于小波长来说串扰量增大。也就是说,串扰呈现出波长依存性。

[0137] 另一方面,如图 21 所示,如果入射光沿相对于受光面倾斜的方向到达后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 的受光面,则对于大波长来说串扰量也增大。也就是说,所生成的串扰的量根据入射角和光电二极管设计而变化。因此,为了更有效地校正串扰,有必要恰当地改变校正矩阵,并且将改变后的校正矩阵保持在矩阵保持用存储器 61 中。

[0138] 图 22 示出了 10 度的入射角所需的典型校正矩阵以及 20 度的入射角所需的典型校正矩阵。该入射角定义为入射方向与垂直于受光面的方向之间的角度。例如,当主光束角度是图像光的十分之四时,入射角为 10 度。另一方面,当主光束角度是图像光的十分之八时,入射角为 20 度。

[0139] 图 22 所示校正矩阵中的每一个是对于入射面平行于沿水平方向取向的 x 轴的构造所获得的矩阵。与作为场角中心的校正矩阵的图 9 所示的校正矩阵相比,代表入射方向的 10 和 20 度的入射角所需的校正矩阵各自自由各自具有大程度不同值的要素组成。特别地,

在 10 和 20 度的入射角时,入射光沿使向位于右侧的相邻像素的串扰增大的方向倾斜。因此,如从图 22 可知的,在图 22 所示校正矩阵中的每一个的右侧的列上,包括了各自具有大绝对值的要素。如上所述,一个像素的校正矩阵是由这样一些要素组成的,这些要素各自具有作为该像素特有的值的根据入射光的入射方向确定的值。例如,位于受光面中心处的像素的校正矩阵中所包括的要素的值不同于位于受光面边缘上的像素的校正矩阵中所包括的要素的值。因此,能够在成像器件 44 的整个表面上恰当地校正串扰。

[0140] 图 23 示出了通过应用 0、10 和 20 度入射角的校正矩阵进行串扰校正前和后所获得的典型 SNR10 值。如上所述,包括在入射光的一个入射角的校正矩阵中的每个要素的值不同于包括在另一入射角的校正矩阵中的每个要素的值。在图 23 中,横轴代表按照度数表示的入射角,而纵轴代表按照勒克斯表示的 SNR10 值。

[0141] 如从图 23 可知的,对于所有入射方向,即对于 0、10 和 20 度的入射角,能够使 SNR10 值小于或等于 175.0 勒克斯。也就是说,能够对于所有场角改善 SNR。另外,还显然的是,代表入射方向的入射角变得越大,SNR10 值改善得越多。

[0142] 如上所述,该实施例实施的是采用配置成形成最一般的拜耳阵列的滤色器的固态成像器件。然而,应该注意的是不采用滤色器的典型固态成像器件能够更容易地校正串扰,而不必使用对不同像素颜色提供的不同校正矩阵。

[0143] 另外,利用校正矩阵的串扰校正还能够适用于采用补色滤色器的构造以及包括配置成形成拜耳阵列以外的阵列的滤色器的构造。拜耳阵列以外的阵列的典型示例是清除位(clear-bit)阵列。换言之,利用校正矩阵的串扰校正能够适用于广范的构造。

[0144] 此外,上述图像处理装置 46 能够适用于各种电子设备,例如成像系统、设置有成像功能的手机和设置有成像功能的其它电子装置。成像系统的典型示例是数码相机和数码摄像机。

[0145] 另外,上述实施例只不过是采用后侧照射型 CMOS 图像传感器 31 来用作成像器件 44 的一个典型构造。然而,成像器件 44 通常还可以是图 1B 所示的前侧照射型 CMOS 图像传感器 21 或者 CCD 固态成像器件。

[0146] 前述一系列工艺可以通过硬件和 / 或软件的执行来进行。如果上述一系列工艺是通过软件的执行进行的,则构成软件的程序可以通常从网络或者可拆卸记录介质安装到组入专用硬件中的计算机、通用个人计算机或者类似物中。通用个人计算机是能够通过向个人计算机中安装各种程序而做成能够执行各种功能的个人计算机。在以下描述中,组入专用硬件中的计算机以及个人计算机简称为计算机,其用于执行由本技术提供的图像处理装置的功能。

[0147] 在计算机中,CPU(中央处理器)通过执行存储在 ROM(只读存储器)中的程序或者从存储部分载入 RAM(随机存取存储器)中的程序来执行上述一系列工艺。存储部分的典型示例是硬盘和非易失性存储器。

[0148] 由 CPU 执行的程序被预先存储在 ROM 和 / 或存储部分中。作为一个替代,程序也可以经由包括网络接口的通信部分,从程序提供器下载到计算机中,以安装在存储部分中。作为另一替代,程序也可以从计算机中采用的驱动器所驱动的可拆卸记录介质安装到存储部分中。可拆卸记录介质的典型示例有例如软盘等磁盘、例如 CD-ROM(高密度盘 - 只读存储器)或 DVD(数字多功能盘)等光盘、磁光盘以及半导体存储器。

[0149] 此外,由 CPU 执行的程序可以是被执行以沿本技术的说明书中所说明的顺序中的时间轴执行工艺的程序,被执行以同时执行工艺的程序,或者在所需时机被呼出以在该时机执行工艺的程序。另外,程序可以由一个 CPU 执行,也可以在分散处理环境中由多个 CPU 执行。

[0150] 应该注意的是,本技术的实施方式绝不局限于本实施例。也就是说,实施例可以改变成各种任意不同的修改方案,只要所述修改方案落入不背离本技术的精神的范围内。

[0151] 本申请包含 2011 年 2 月 14 日在日本专利局提交的日本优先权专利申请 JP 2011-028631 所涉及的主题,其全部内容通过引用并入本文。

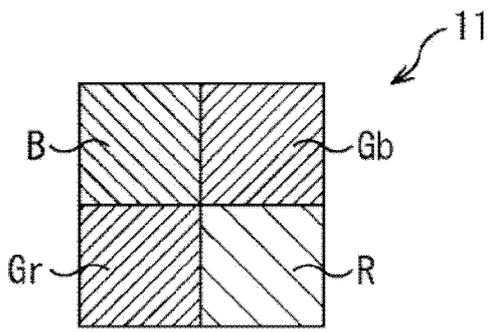


图 1A

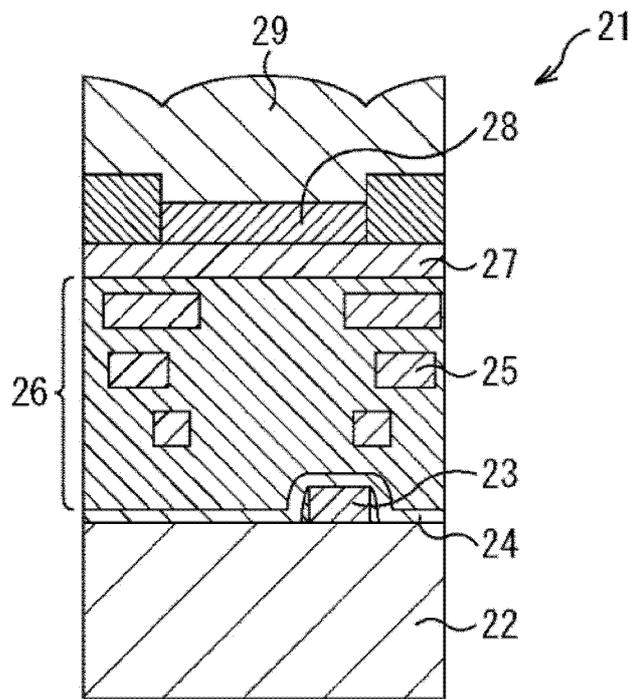


图 1B

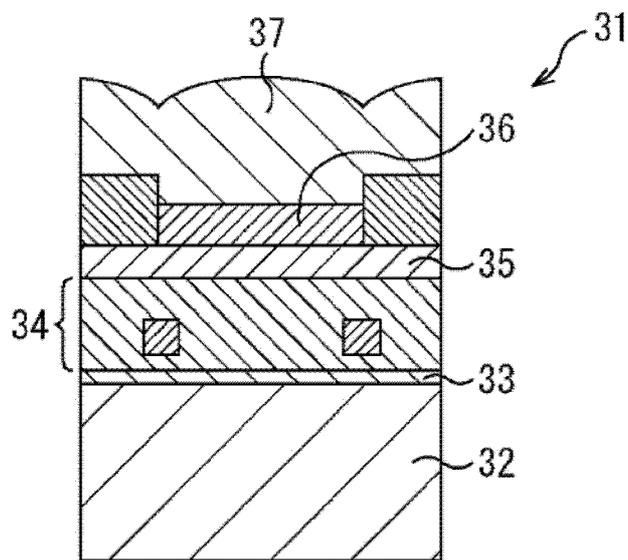


图 1C

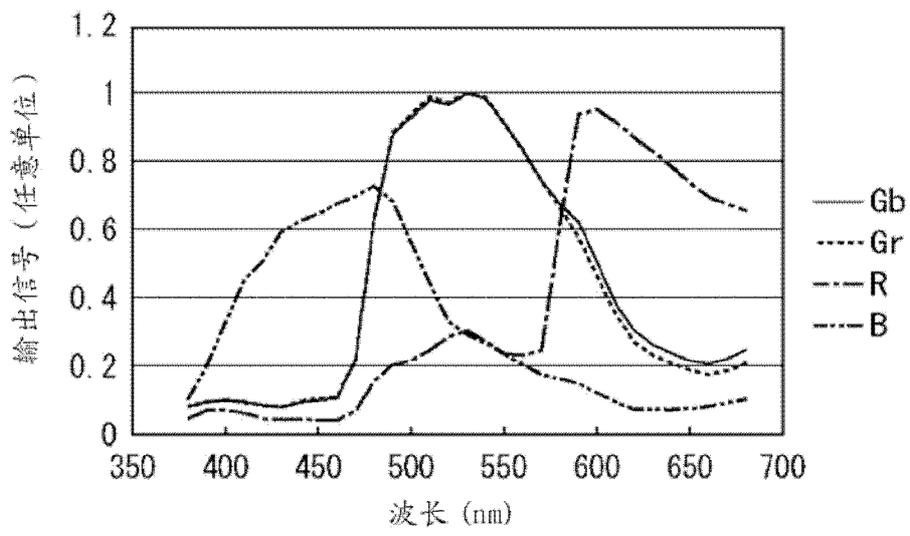


图 2A

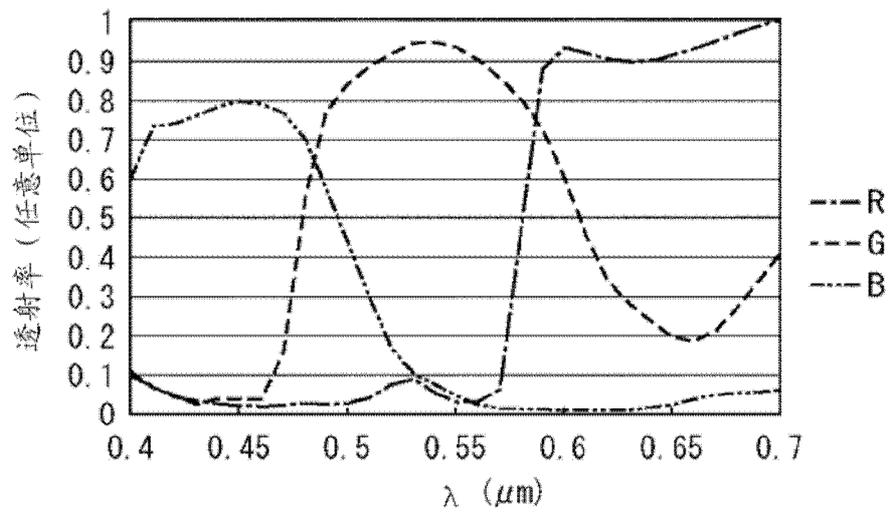


图 2B

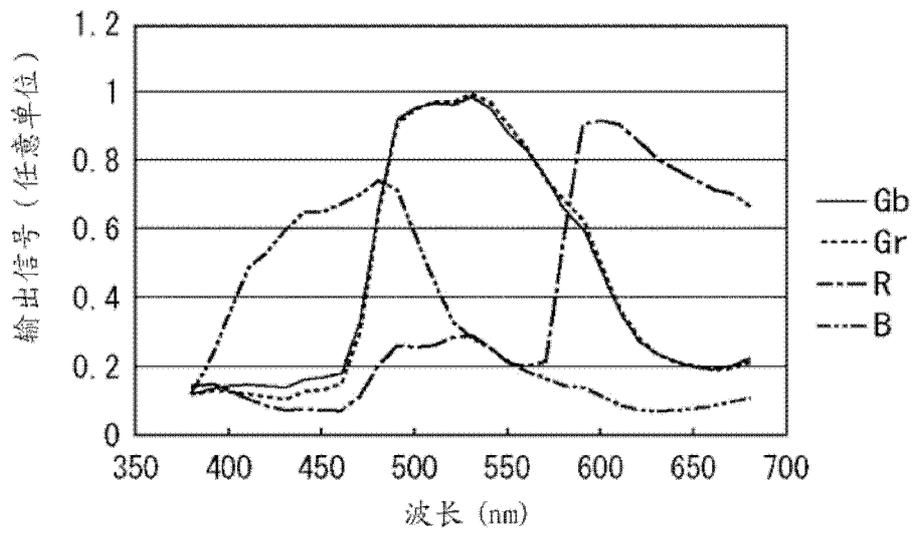


图 2C

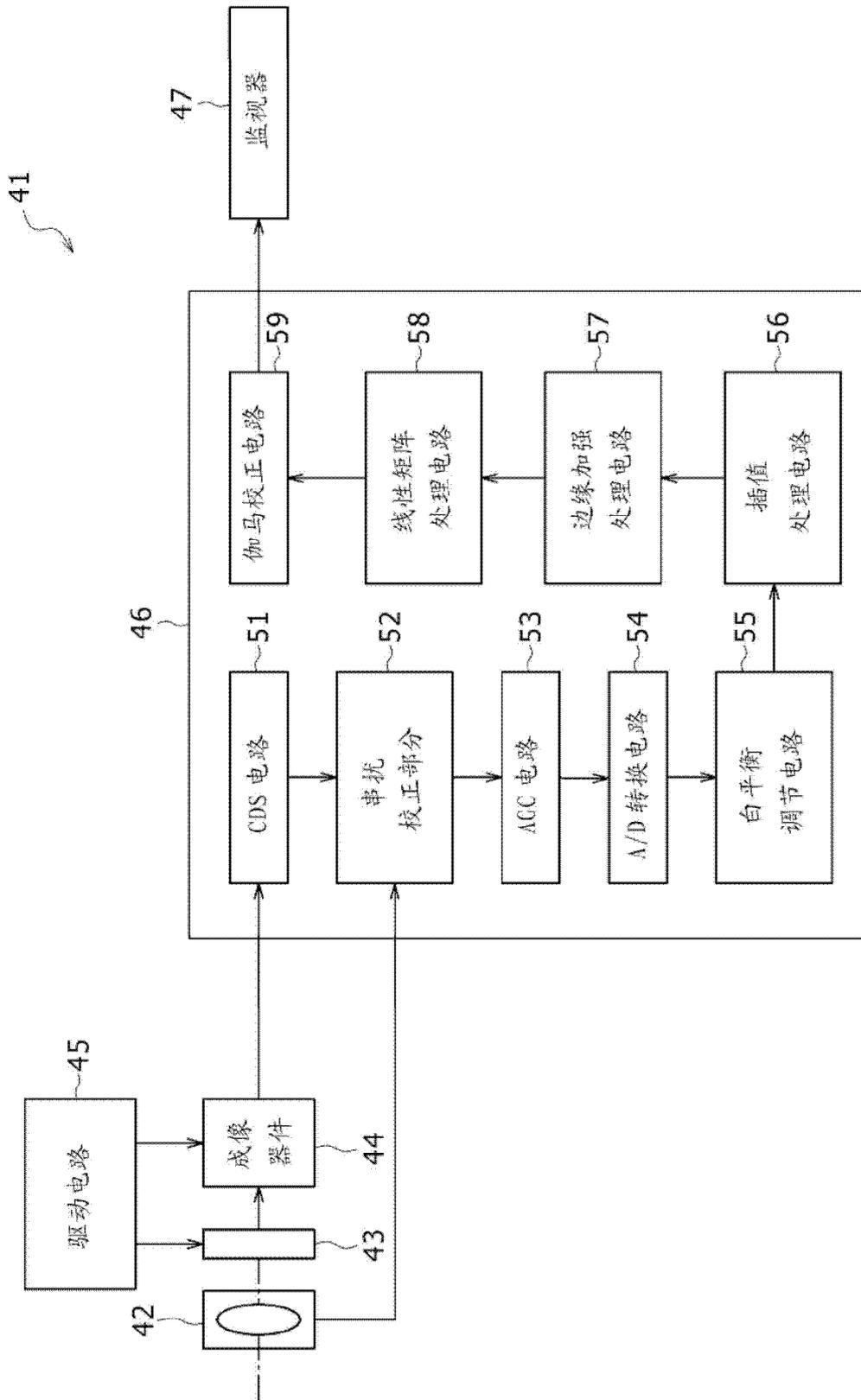


图 3

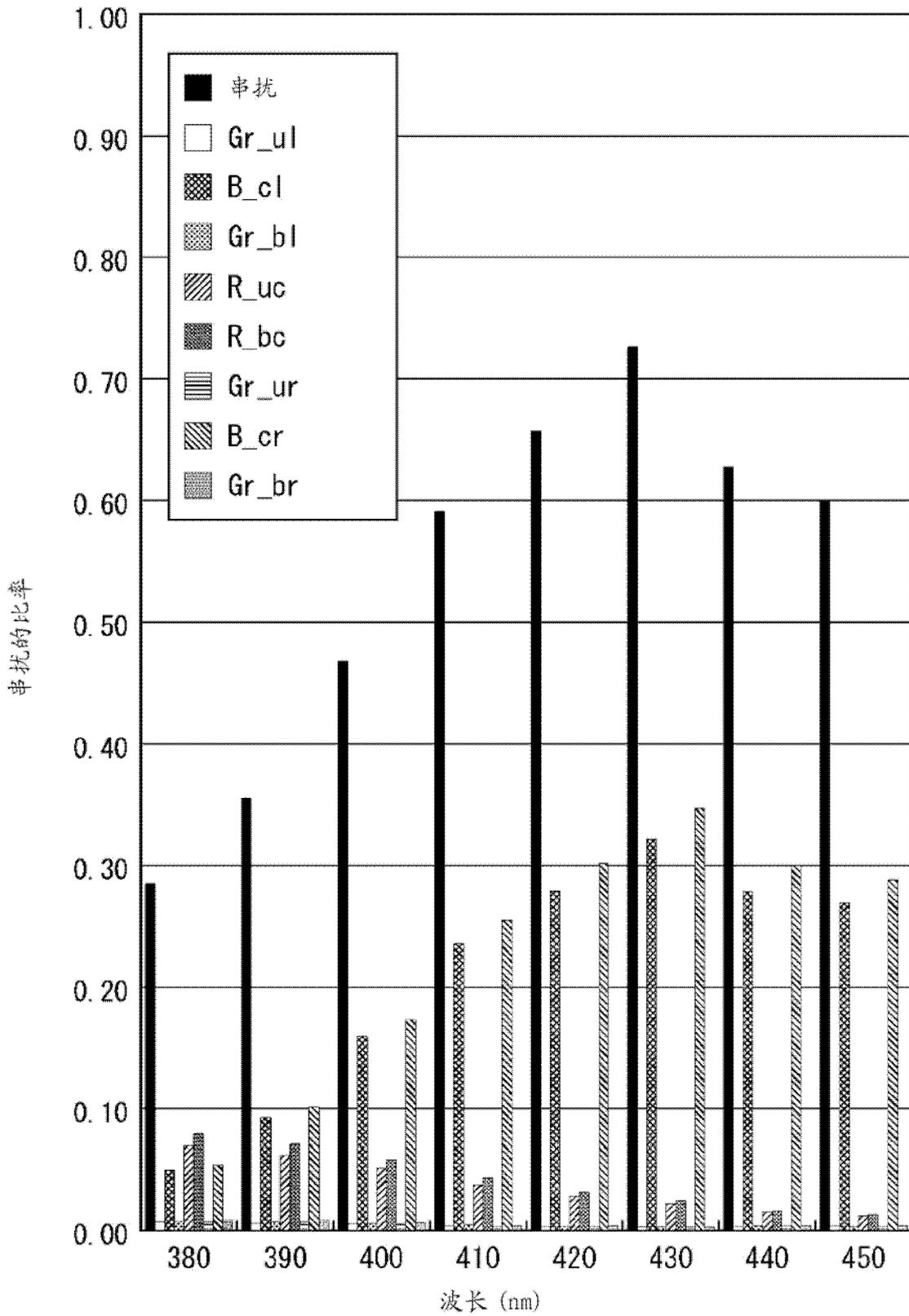


图 4

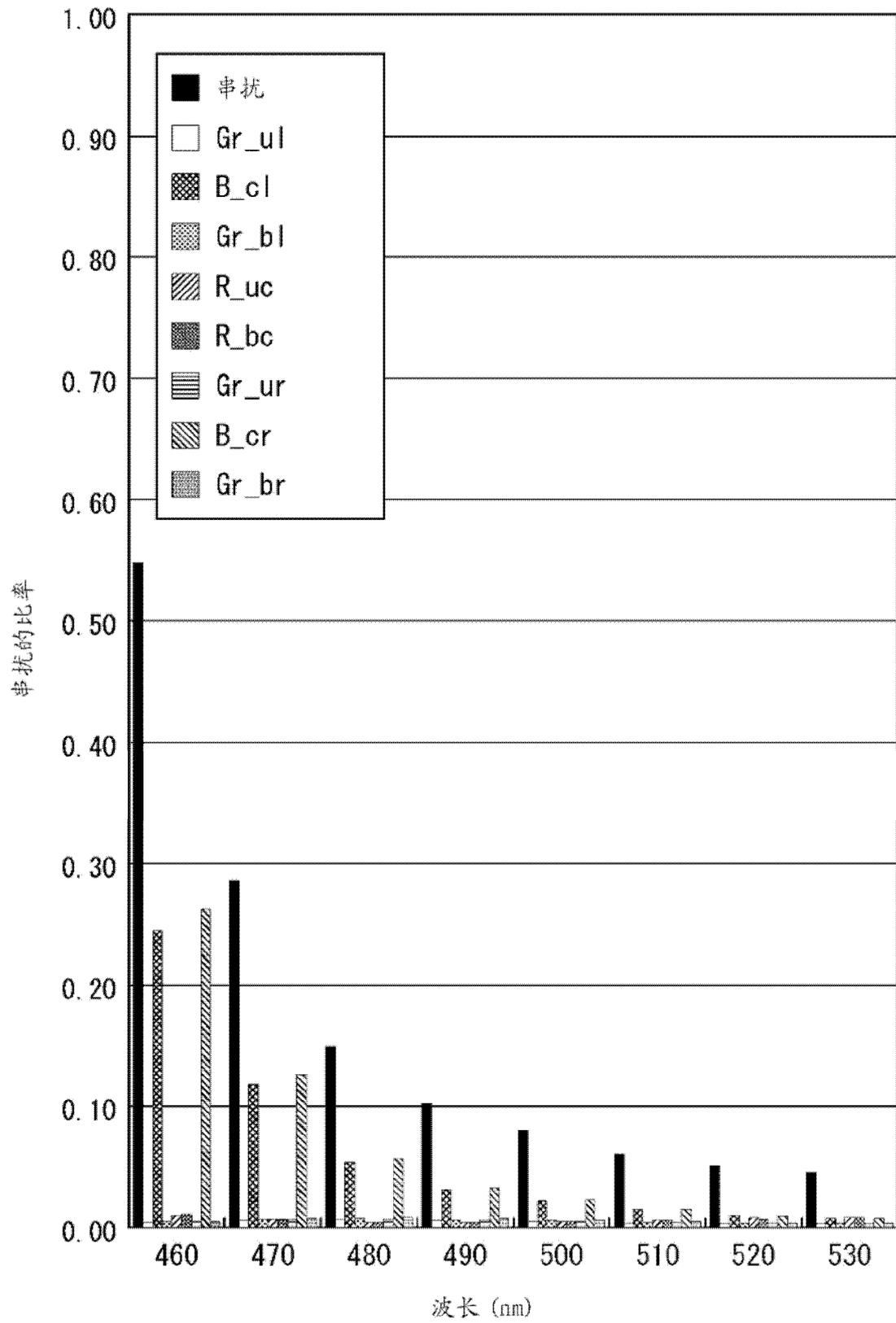


图 5

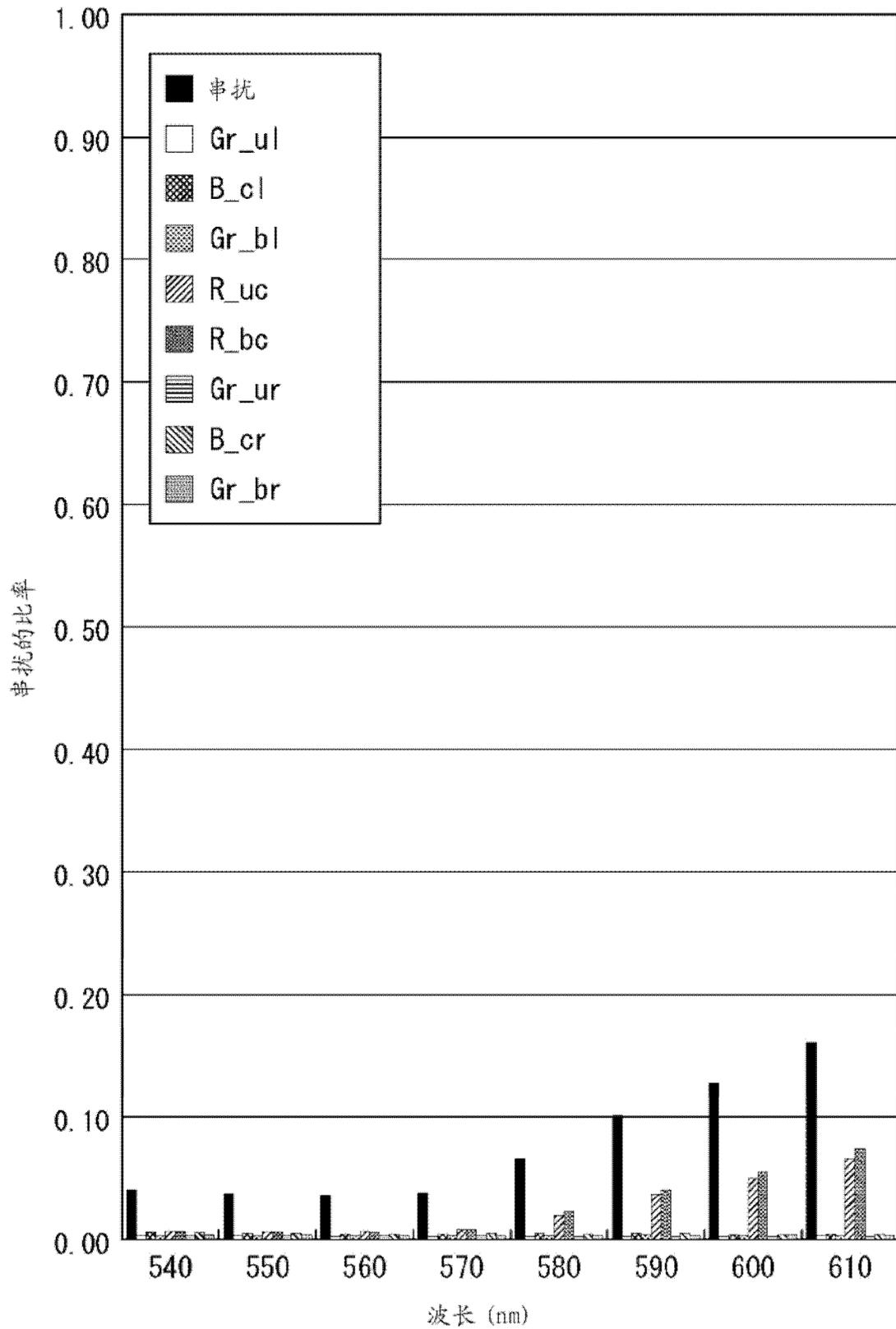


图 6

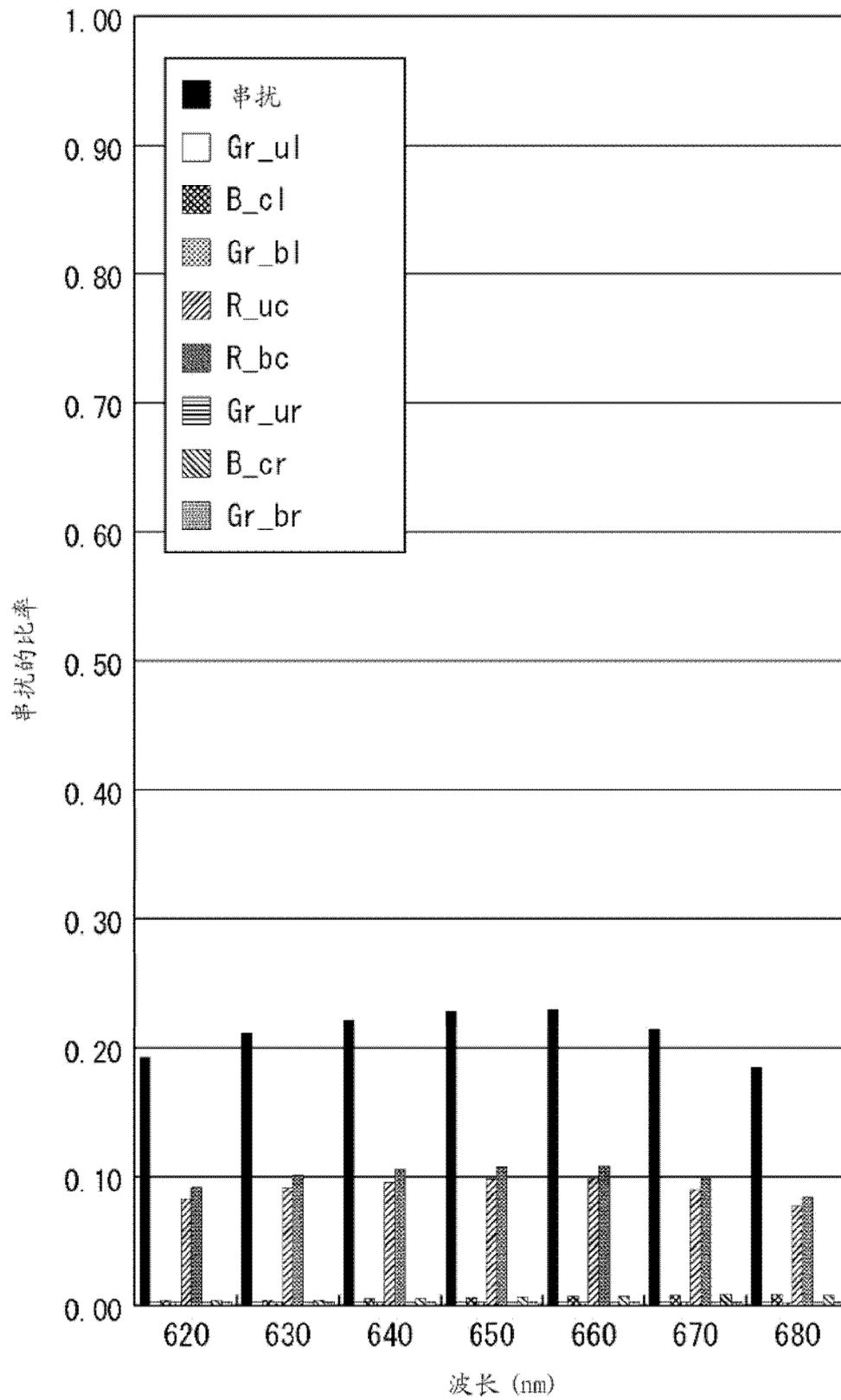


图 7

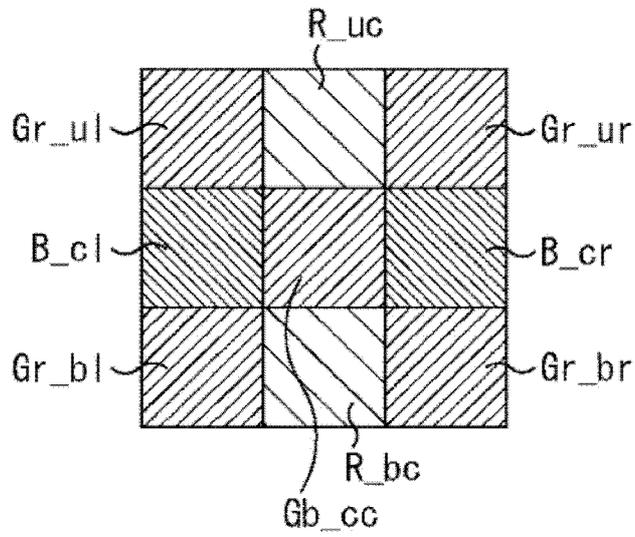


图 8

蓝色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.02 | -0.11 | -0.02 |
| -0.10 | 1.48 | -0.10 |
| -0.02 | -0.11 | -0.02 |

Gb

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.05 | -0.01 |
| -0.05 | 1.22 | -0.05 |
| -0.01 | -0.05 | -0.01 |

Gr

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.05 | -0.01 |
| -0.05 | 1.22 | -0.05 |
| -0.01 | -0.05 | -0.01 |

红色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.05 | -0.01 |
| -0.04 | 1.19 | -0.04 |
| -0.01 | -0.05 | -0.01 |

图 9

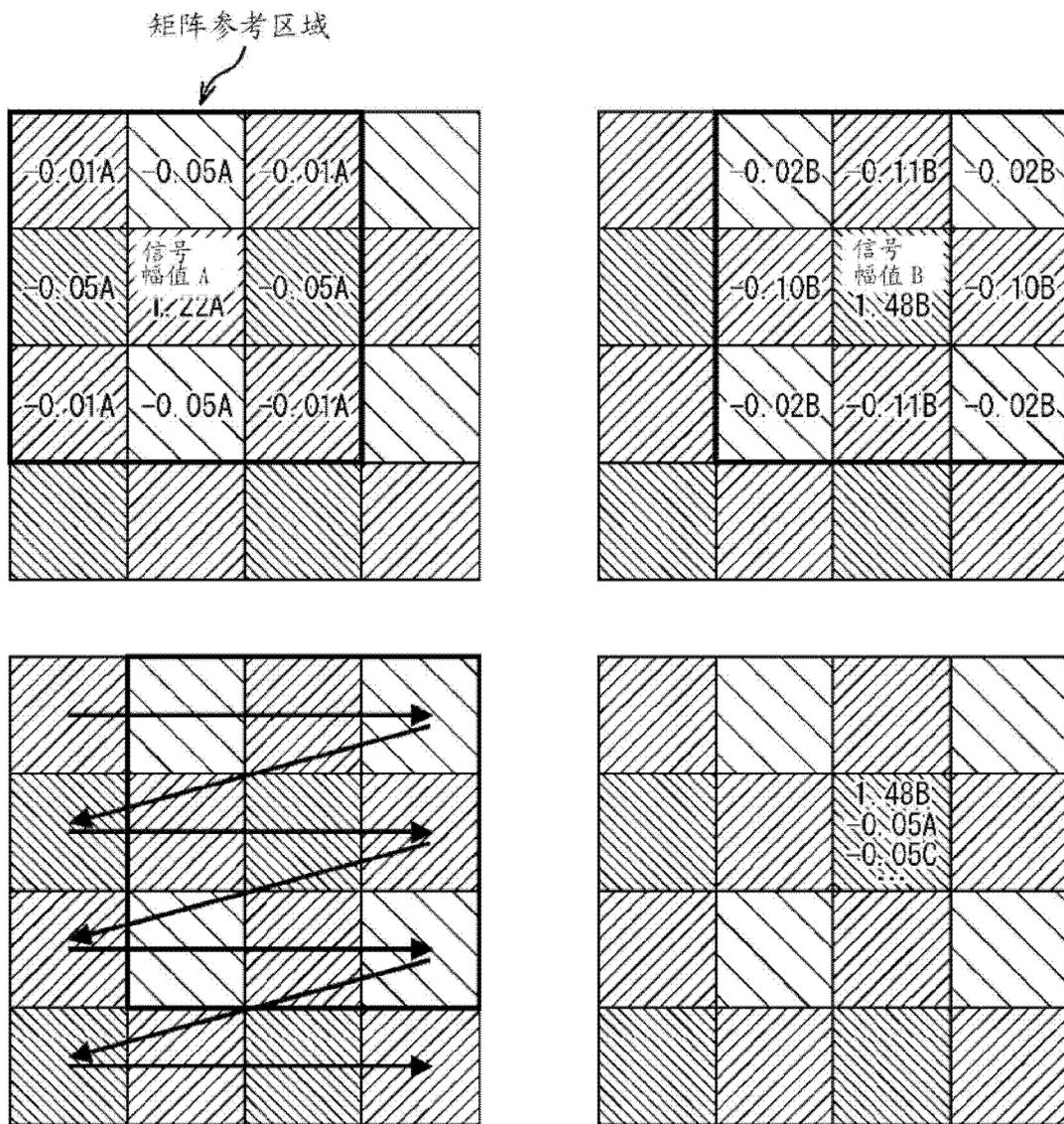


图 10

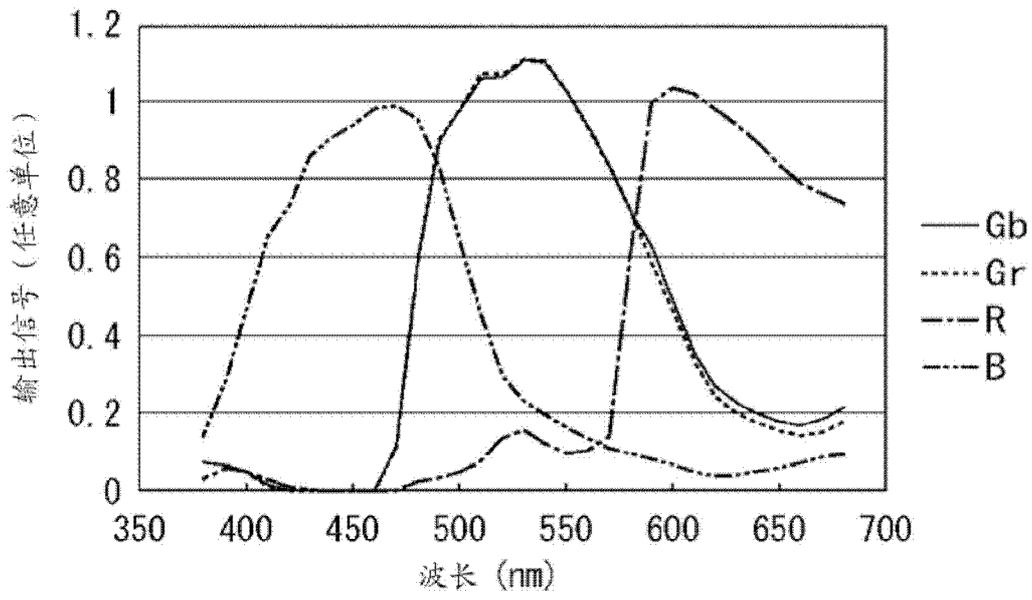


图 11

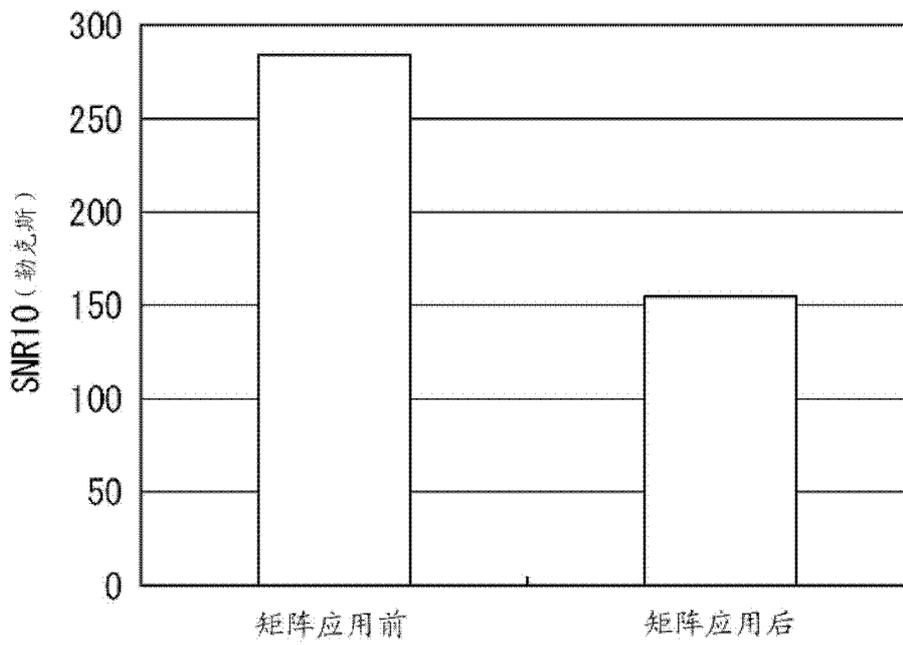


图 12

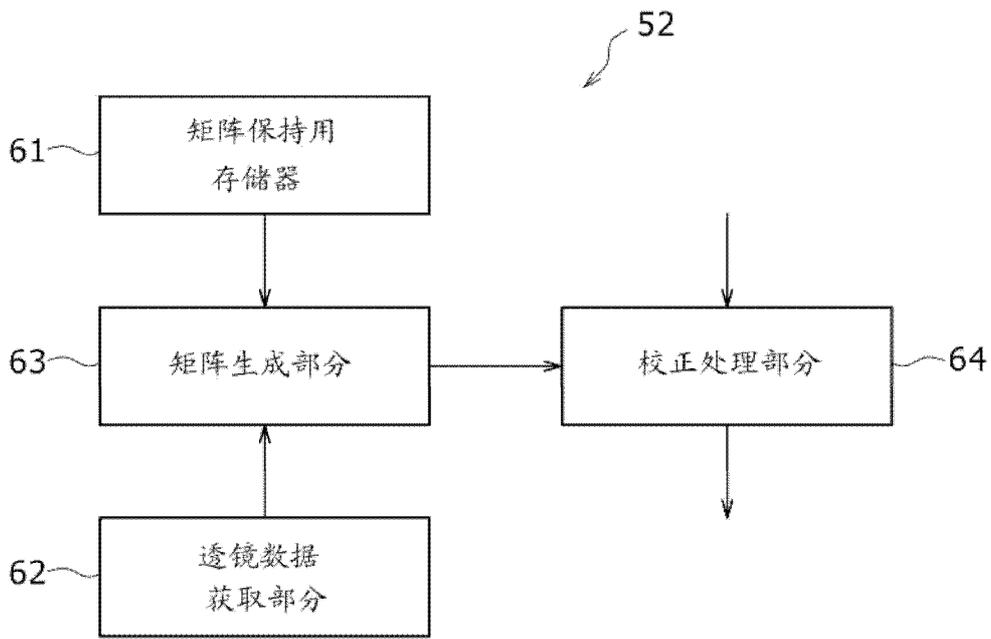


图 13

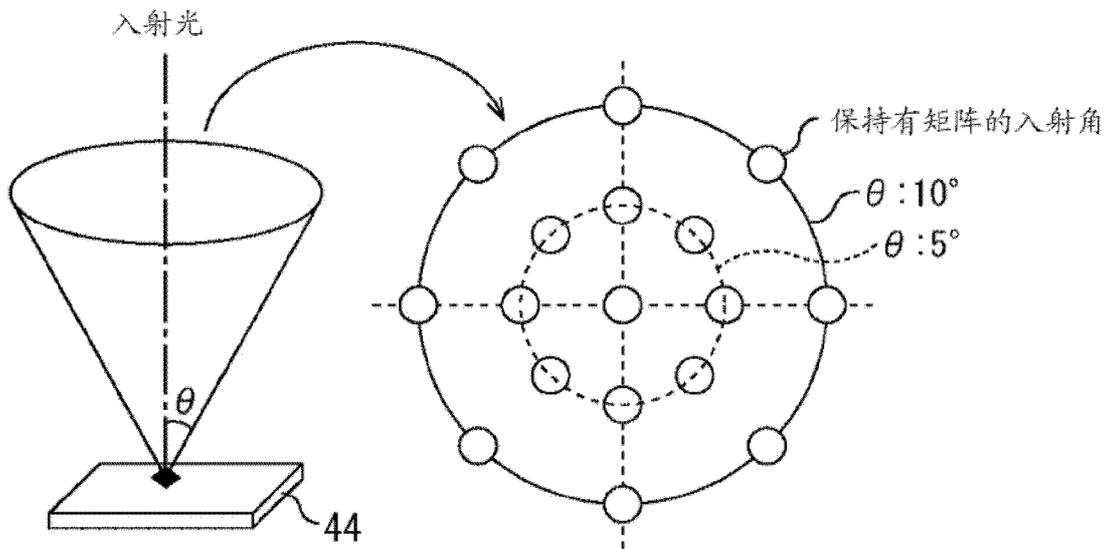


图 14

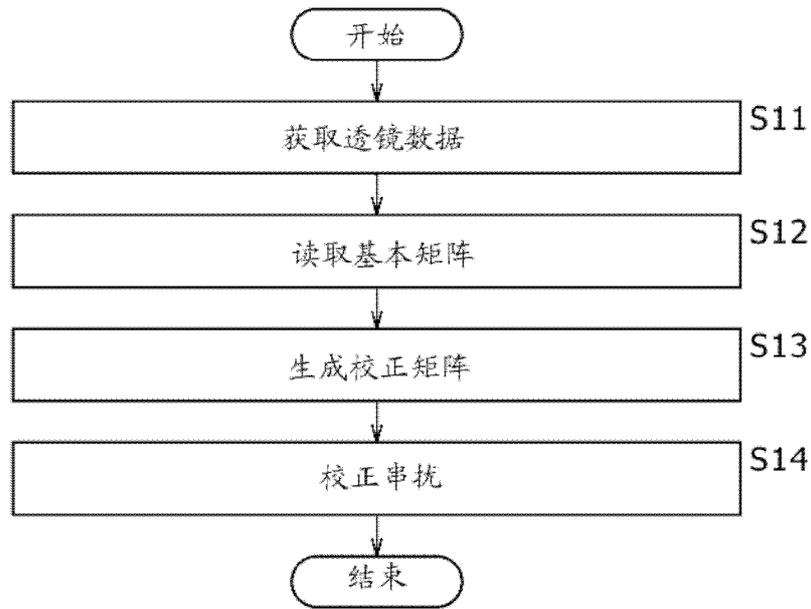


图 15

蓝色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.03 | -0.18 | -0.03 |
| -0.18 | 1.86 | -0.18 |
| -0.03 | -0.18 | -0.03 |

Gb

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.07 | -0.01 |
| -0.07 | 1.34 | -0.07 |
| -0.01 | -0.07 | -0.01 |

Gr

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.07 | -0.01 |
| -0.07 | 1.32 | -0.07 |
| -0.01 | -0.07 | -0.01 |

红色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.06 | -0.01 |
| -0.06 | 1.28 | -0.06 |
| -0.01 | -0.06 | -0.01 |

图 16

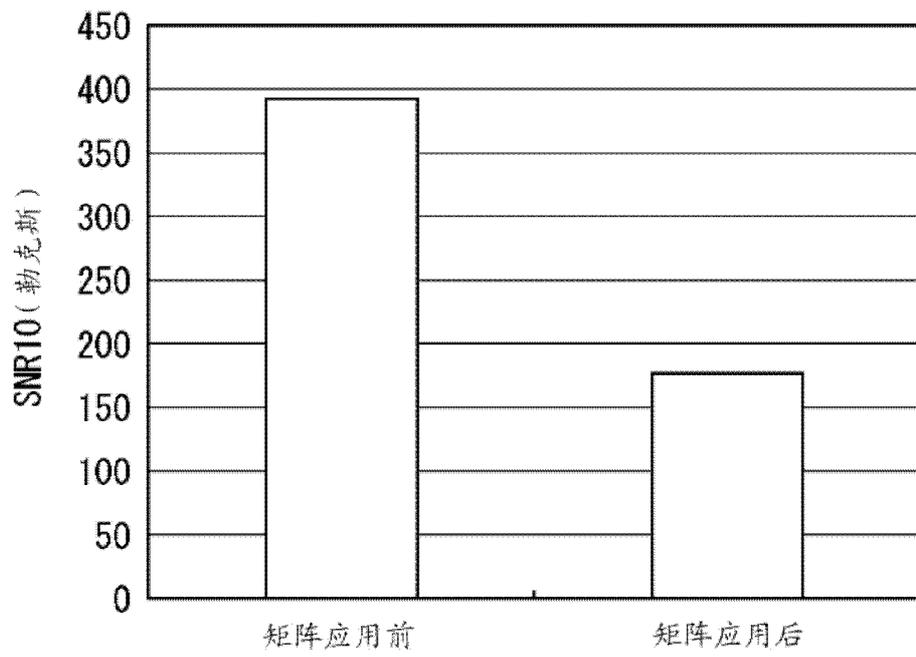


图 17

集光结构用矩阵

蓝色

| | | |
|------|------|------|
| 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Gb

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.01 | 0.00 |
| -0.01 | 1.04 | -0.01 |
| 0.00 | -0.01 | 0.00 |

Gr

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.01 | 0.00 |
| -0.01 | 1.04 | -0.01 |
| 0.00 | -0.01 | 0.00 |

红色

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.02 | 0.00 |
| -0.02 | 1.08 | -0.02 |
| 0.00 | -0.02 | 0.00 |

光电二极管用矩阵

蓝色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.03 | -0.18 | -0.03 |
| -0.18 | 1.86 | -0.18 |
| -0.03 | -0.18 | -0.03 |

Gb

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.06 | -0.01 |
| -0.06 | 1.30 | -0.06 |
| -0.01 | -0.06 | -0.01 |

Gr

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.06 | -0.01 |
| -0.06 | 1.28 | -0.06 |
| -0.01 | -0.06 | -0.01 |

红色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.04 | -0.01 |
| -0.04 | 1.20 | -0.04 |
| -0.01 | -0.04 | -0.01 |

图 18

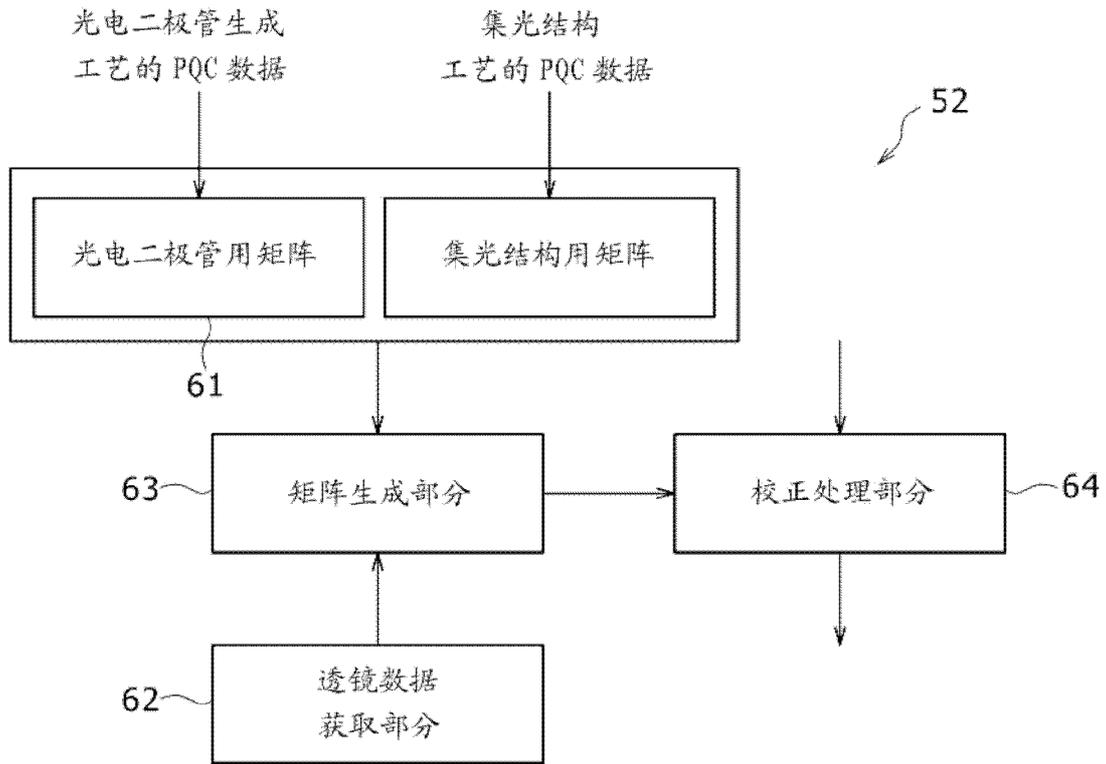


图 19

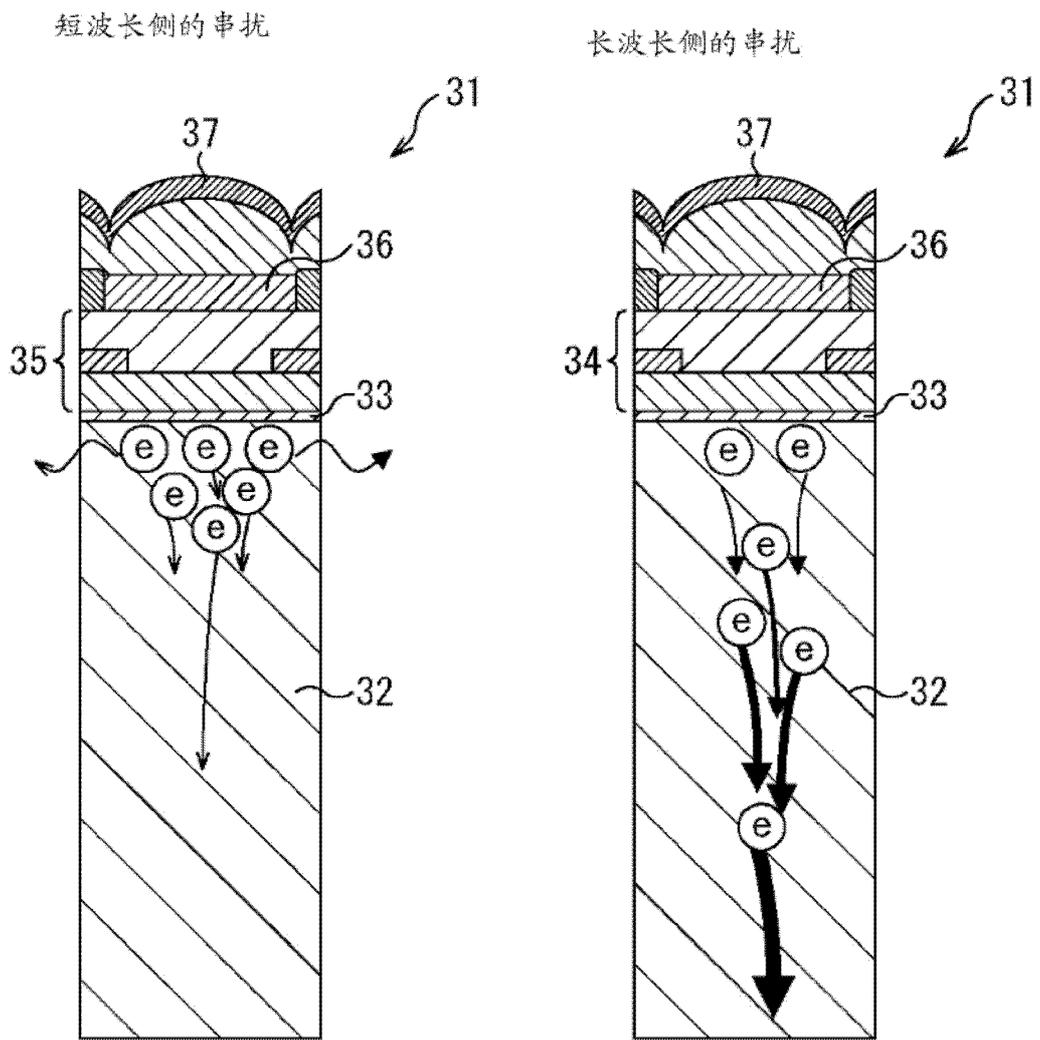


图 20

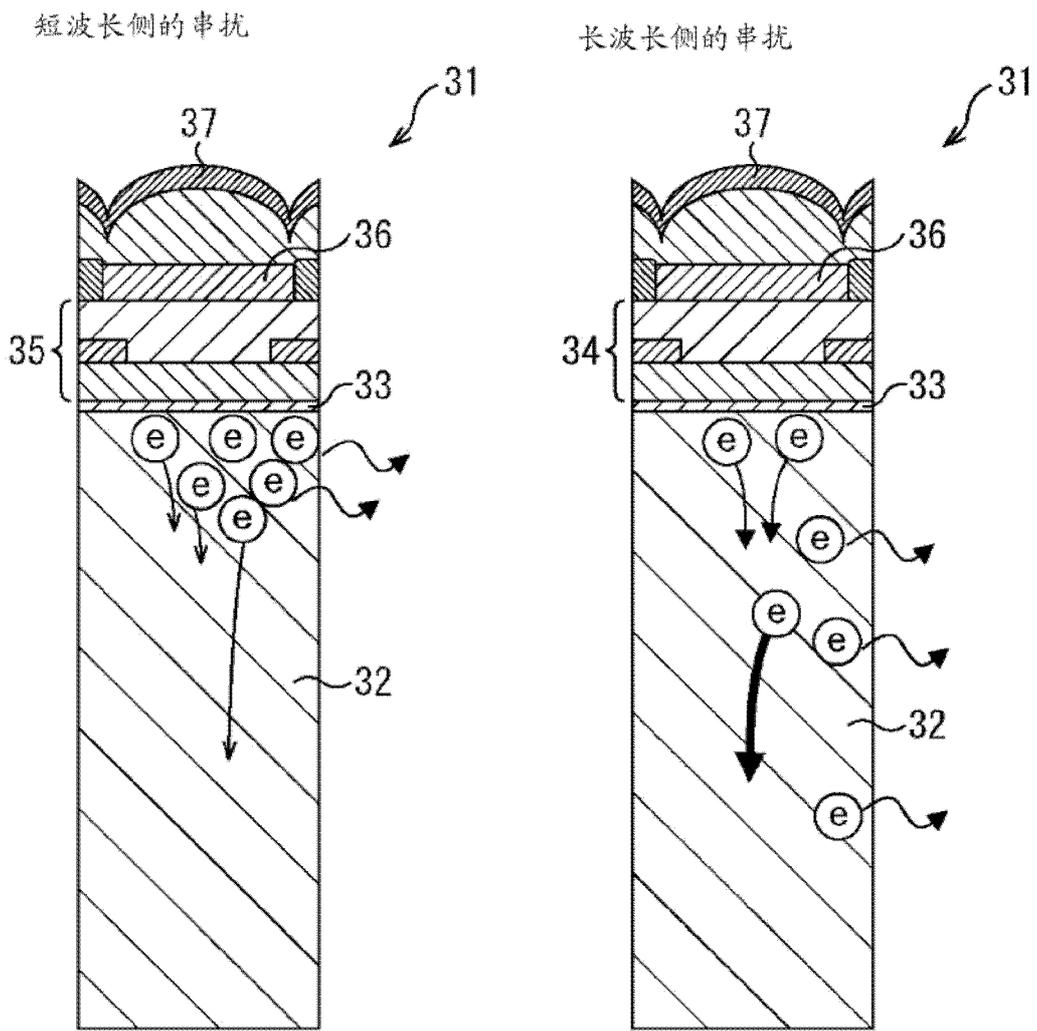


图 21

10 度的入射角

蓝色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.13 | -0.04 |
| -0.04 | 1.66 | -0.27 |
| -0.01 | -0.12 | -0.04 |

Gb

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.06 | -0.02 |
| -0.02 | 1.26 | -0.10 |
| 0.00 | -0.05 | -0.01 |

Gr

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.06 | -0.01 |
| -0.02 | 1.26 | -0.10 |
| 0.00 | -0.05 | -0.01 |

红色

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.05 | -0.01 |
| -0.02 | 1.23 | -0.08 |
| 0.00 | -0.05 | -0.01 |

20 度的入射角

蓝色

| | | |
|-------|-------|-------|
| -0.01 | -0.17 | -0.07 |
| -0.09 | 2.00 | -0.45 |
| -0.01 | -0.15 | -0.06 |

Gb

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.08 | -0.03 |
| -0.03 | 1.40 | -0.17 |
| 0.00 | -0.07 | -0.02 |

Gr

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.06 | -0.02 |
| -0.03 | 1.36 | -0.16 |
| 0.00 | -0.06 | -0.02 |

红色

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0.00 | -0.06 | -0.02 |
| -0.03 | 1.31 | -0.12 |
| 0.00 | -0.06 | -0.02 |

图 22

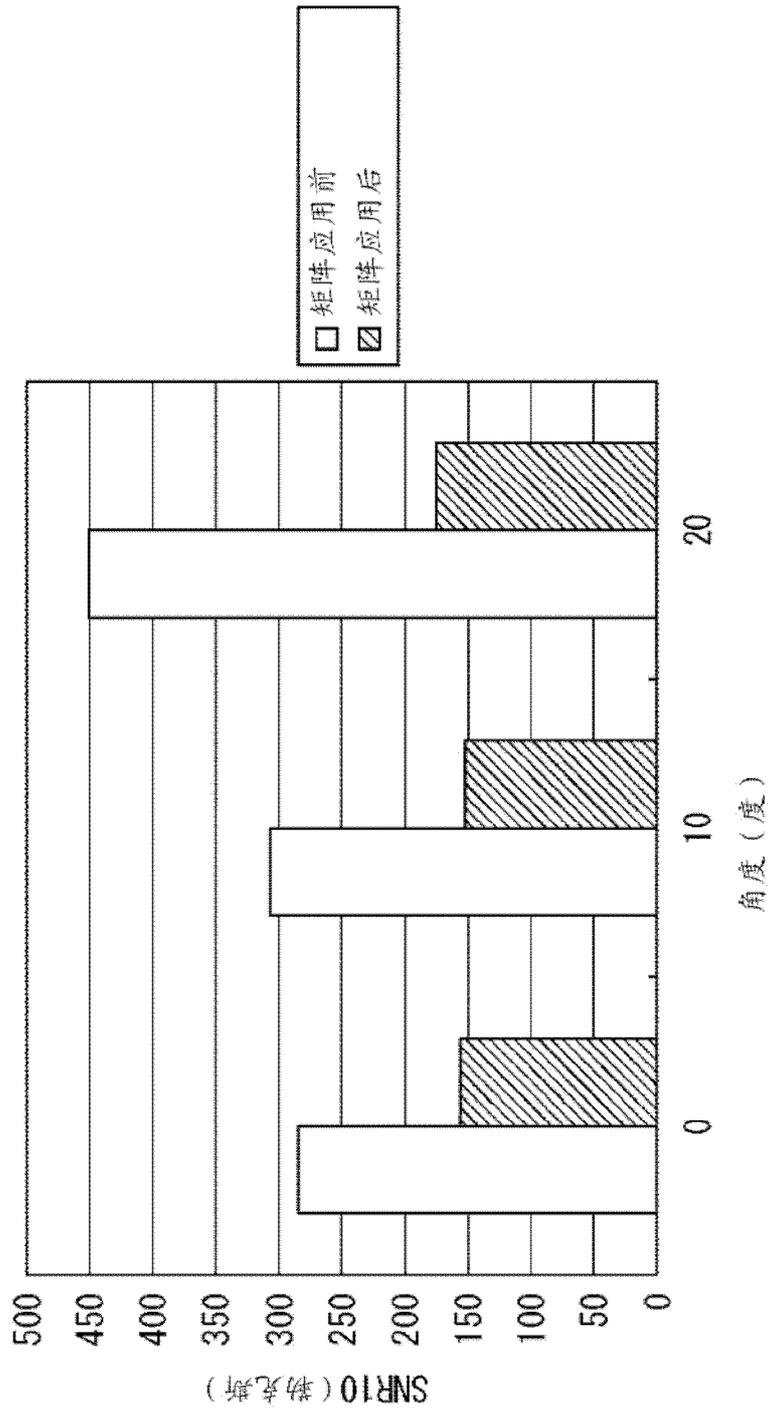


图 23