



〔12〕发明专利申请公开说明书

〔11〕CN 86 1 05409 A

〔43〕公开日 1987年7月8日

〔21〕申请号 86 1 05409

〔22〕申请日 86.9.6

〔30〕优先权

〔32〕85.11.25 〔33〕英国〔31〕8528982

〔71〕申请人 利物浦大学

地 址 英国英格兰利物浦

〔72〕发明人 戈登·里斯·琼斯 詹姆斯·洛多维科·

莫鲁齐 阿卡纳普拉加达·纳拉纳·

普拉萨德

〔74〕专利代理机构 中国专利代理有限公司

代理人 奚汉民 吴秉芬

〔54〕发明名称 用于精确测量引起颜色变化的参数的色度量化系统

〔57〕摘要

一种用于识别入射光的颜色的色度检测系统包括至少两个分立的色检测器。这些色检测器具有各自的响应特性,使得检测器的输出信号 $X, Y, \dots$, 分别相当于: $X = \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$, $Y = \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \dots$ 。其中 $P(\lambda)$ 是在波长 λ 的光谱功率分布,而 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \dots$ 是对应于检测器各自响应特性的色匹配函数。这个色度检测系统还具有用于 $X, Y, \dots$ 的模拟变换的装置,它使色度图中的 X 和 Y 的值能够对应待计算的人射光的颜色。

1. 一种用于识别入射光颜色的色度检测系统，其特征在于包括：

—至少两个分立的色度检测器，它们具有各自的响应特性，使得检测器的输出信号 $X, Y, \dots$ ，分别对应 $X = \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$, $Y = \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \dots$ ，其中， $P(\lambda)$ 是波长 λ 处的光谱功率分布，而 $\bar{x}(\lambda) d\lambda, \dots$ ，是对应检测器各自响应特性的色度匹配函数；

—用于模拟计算 $X, Y, \dots$ ，的装置，以使色度图中的 x 和 y 的值对应待计算的入射光的颜色。

2. 一种用于识别入射光的颜色的色度检测器系统，其特征在于包括：

—三个分立的色度检测器，它们具有各自的响应特性，使得检测器的输出信号分别对应 $X = \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$, $Y = \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$, $Z = \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$ ，其中 $P(\lambda)$ 是波长 λ 处的光谱功率分布，而 $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 是对应三个检测器各自的响应特性的色匹配函数；

—用于模拟计算 X, Y ，和 Z 的装置，以使色度图中的 x 和 y 的值对应待计算的入射光的颜色。

3. 如权利要求1 或权利要求2 中的色度检测系统，其特征在于，其中色度检测器并行使用。

4. 如权利要求1 或权利要求2 中的色度检测系统，其特征在于，其中色度检测器顺序地使用。

5. 如权利要求1 至权利要求4 中任一项的色度检测系统，其特征在于，其中每一个色度检测器包含各自的、具有不同色度响应特性的滤色片。

6. 如权利要求2 或权利要求3 和权利要求4（当它们附属于权利要求2 时）中任一项的色度检测系统，其特征在于，其中三个检测器包含

各自的滤色片，这些滤色片的响应特性分别对应附图4 中的曲线 $\bar{x}_\lambda$ ， $\bar{y}_\lambda$ 和 $\bar{z}_\lambda$ 。

7.如权利要求1 中的色度检测系统，其特征在于，其中为进行所述检测器信号 X和 Y的模拟计算，包括一个模拟运算装置，它分别从以下计算中确定色度图中的x 和y 的值：

$$x = \frac{X}{X+Y} \quad \text{和} \quad y = \frac{Y}{X+Y}$$

8.如权利要求2 至权利要求6 中任一项的色度检测系统，其特征在于，其中为进行所述检测器信号 X， Y和 Z的模拟计算，包括一个模拟运算装置，它分别从以下计算中确定色度图中的x 和y 的值：

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad \text{和} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z},$$

用于精确测量引起颜色变化 的参数的色度量化系统

本发明涉及一种色度量化系统，它能够通过色度调制器，单值地、高精度地检测待测的物理的和化学的参数。

色度调制器是一种按传感器原理检测光谱变化的传感器。它们不同于编码波长传感器；在编码波长传感器中，检测大部分光谱或整个光谱，而不是简单地检测特殊的波长。

虽然可以列出几种色度调制器，但是目前只有两种在技术上是可行的。第一种是基于英国专利申请号8522202 和8528982 的色度调制器，它使调制元件，例如滤光器，在光束中机械移动，使光束的光谱含量根据这种移动而变化（见我们的待批准的专利申请第 号）。第二种是通过化学反应的开始和进展来产生调制。然而，毫无疑问，在不久的将来其他类型的色度调制器将成为在技术上是可行的，而且下文所述的这个色度量化系统将同样可用于这些色度调制器。

利用色度调制来测量位移的最简单的方法是在两个不同的波长（ λ_1 ， λ_2 ）上监视强度变化，并且把这些强度的比值与位置联系起来。为更充分叙述后者的技术，参考上述我们的待批准的申请第 号。附图1A和1B中重新说明了这项技术。通过把一个调制元件，例如一片滤色片插入多色光束（即，宽频带电磁辐射光束，它可以包含可见的和 / 或不可见的电磁辐射）中，以对应一个待测的位移来改变多色光束。图1A中表示对于滤光片的两个不同的位移，透射光的强度（ I ）对光的波长 λ 的关系曲线。在滤色片的许多不同的位移下测量两种波长的光的强

度，从测量结果中可以构成图1B的校准曲线，它对应两个波长 λ_1 、 λ_2 的辐射强度的比值随滤色片位移的变化。在做完强度的定标之后，为了计算滤色片的位移（并因此计算了待测的位移），只要测量两个不同波长的发射光线的强度：通过计算它们的比值，并且把这比值与图1B的校准曲线比较，得到上述的位移。

虽然后者的技术是完整的，并具有一些吸引人的特点，但是它也有一些实际的缺点。例如，为了光谱的分辨率，信号检测需要采用复杂的光学系统，而且只有极少量的可用信息被利用。此外，对于多参数监视，待测波长的数目按比例增加，因此导致硬件和软件越来越复杂。由于捕捉光谱必需的周期受限，时间分辨率也受到限制。

在上述其他可能的色度调制技术中，化学反应中反映化学反应进程的颜色的变化，需要一种适当的测量颜色的方法，而不是仅仅测量给定的特殊波长下强度的变化。例如，对于化学分解的监视或pH计（酸碱计），这种测量常常是必需的。直到现在，还没有一种令人满意的、达到这种精度的测量颜色的方法。

本发明的基本目的是提供一种测量真正的颜色变化的方法，它不同于在有限个数的特殊波长下测量强度的变化。

为了帮助理解本发明的概念，回顾一下关于颜色测量的一般概念和原理是有益的。

图2 表示普通的三维色空间图，其中径向表示色饱和度，圆周方向表示色度，轴向表示亮度。本发明原则上涉及色度和色饱和度的测量，可以用光谱的功率分布（ $P(\lambda)$ ）近似地描述色度和色饱和度。

一般用色度图来达到定量确定颜色，被普遍接受的色度图是复制于图3 中的所谓C.I.E.图（CIE - 国际照明委员会）。在这个图中，纯光谱颜色落在由如下定义的色度坐标所确定的X-Y空间中的马蹄形封闭曲线中，由这个边界中的位置决定特殊波长占优势或者不同的色饱和度。

白色对应具有坐标(0.33,0.33)的点。这样，利用这张图，用二维空间的单个点可以标记任何特殊的颜色。

如同下述那样定义色度坐标：

$$x = \frac{X}{(X + Y + Z)} \quad \text{方程(1)}$$

$$y = \frac{Y}{(X + Y + Z)} \quad \text{方程(2)}$$

其中

$$\begin{aligned} X &= \int_{\lambda} P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= \int_{\lambda} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= \int_{\lambda} P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

$P(\lambda)$ = 光谱功率分布中在波长 λ 处的功率，

$\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ ， $\bar{z}(\lambda)$ 是色匹配函数，即，对应三个不同接收器的独立响应的三个不同的波长函数。

现在参考附图4，它表示三个接收器的典型的、所需要的响应特性，它们构成函数 $\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 。注意每种色匹配函数的相关重叠。为进行微处理机辅助分析，可以把这些色匹配函数以数字形式存贮起来，为提供这种匹配函数，已经建立相应颜色的数字库。

这样，用于标记任何“混合”颜色的色度的一般方法，需要用三个具有图4 的响应特性的接收器对那种颜色取样，然后利用结果值 $\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 计算色度图上对应那种颜色的 X 和 Y 的值。

附图5 表示如何在色度图上描述颜色变化。图5 中左边三条曲线（图5a,5b,5c）表示接收器z（上面），接收器y（中间）和接收器x（下面）对第一种颜色的响应，而右边的曲线（图5d,5e 和5f）表示这

三个接收器对第二种颜色的响应。第一种颜色具有一种光强对波长的特性曲线，在图5a、5b、5c中用实线表示。在每幅图中用虚线表示响应曲线 $\bar{z}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{x}(\lambda)$ 。由图5a中实线和虚线的重叠区域给出Z值($z = \int_{\lambda} p(\lambda) \bar{z}(\lambda) d(\lambda)$)。同样，由图5b和5c中实线和虚线的重叠区域给出Y值($y = \int_{\lambda} p(\lambda) \bar{y}(\lambda) d(\lambda)$)和X值($x = \int_{\lambda} p(\lambda) \bar{x}(\lambda) d(\lambda)$)。然后，可以利用方程(1)和(2)计算x和y的值，以便得出图5g的色度图中的A点。

在图5d,5e,5f中，用实线表示第二种颜色的光强对波长的特性曲线，并且用虚线表示响应曲线 $\bar{z}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{x}(\lambda)$ 。可以再次利用方程(1)和(2)计算x和y的相应的值，以便在图5g的色度图上标记出点B。

通过增加或减少光谱的某些部分的功率的方法来改变颜色，这样，导致颜色在色度图上沿直线A-B变化。如果两个元件适当移动的结果导致这种颜色的变化，例如，象在我们的待批准的申请第 号中所述那样，在白色光束中引入滤色片，那末，可以把沿直线A-B的颜色变化同所述相对位移相联系，由此可以提供一种测量方法。

也可以利用上述技术完成对应两个不同参数的两种位移的测量，如附图6中所说明的。在这个方案中，用白色光源表示零位移，用“绿宝石”和“红宝石”表示用于监视第一和第二参数的第一种和第二种独立的位移极值。如果“绿宝石”位移是零，那末，“红宝石”位移就与参数2的实际情况是一个简单的、线性关系。然而，如果参数1和2都是非零值，那末，所得到的颜色可能是A(坐标 x_A ， y_A)，从这点出发，用所存贮的校准数据，可以单值地确定参数1和2的值。

例如，这样的系统可以用在位移传感器中，通过使“白色-绿宝石”参数对温度敏感，来提供自动温度补偿。

上述技术也可用于具有多个色源的系统。如附图7中所示，第四

个色源(例如兰色)的引入,增加了新的色移区域,从而产生用同样的测量系统同时检测更多参数的可能性。然而,A点不再单值地被决定,因为,例如可以通过使用兰色或不使用兰色的方法来决定A点。

为克服这种非单值性,必须与只用两个参数(x , y)的通常的色视觉表示法不同,把参数 z 也包括进去。这将使关于A的非单值性得到解决。

以上的讨论概述了一种理论,根据这种理论可以进行“颜色”的确定,并建立相应的数字表示法。问题是,用于实现这种理论的实际的现有系统,或者昂贵和麻烦,或者对于同时检测光强和频谱含量变化,以提供一种单值的和精确的参数测量是不能满足的。

图8中用图解法说明一种已知系统,它具有一个包含旋转光栅12和检测器14的光谱分析部分10。这是一个在我们的待批准的申请第8522202中所涉及的系统,它需要计算比值 $\frac{I_{\lambda 1}}{I_{\lambda 2}}$, 其中, $I_{\lambda 1}$ 和 $I_{\lambda 2}$ 是在预先选择的波长 λ_1 和 λ_2 处测得的光强。这个系统的时间分辨率相对地是低的(~ 10 毫秒)。它至少需要700英磅,外加用于进行计算所必需的微处理机的费用。为处理多种信号,必须在至少第三个波长 λ_3 进行更多的测量。

附图9中用图解法说明了另一种已知的系统。这个系统使用了一个棱镜16和一个电荷耦合器件18,以及一个和图8中的系统相似的计算装置。这个系统能够比图8的系统较快地运行(~ 0.3 毫秒),但是仍然是昂贵的,而且需要麻烦的光学系统。如果要处理更多的信号通道,也需要在附加的波长上进行测量。

本发明的目的是提供一种用于定量地、单值地识别入射光颜色的系统,这种识别与入射光的光强及光谱含量的变化无关,并具有足够的用于精确参数监视的精度。

本发明的第一部分提供一种用于识别入射光的颜色的色度检测系统,

它包括至少两个分立的色检测器，这些色检测器具有各自的响应特性，使得检测器的输出信号 $X, Y, \dots$ 分别相当于： $X = \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$ ， $Y = \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \dots$ ，其中 $P(\lambda)$ 是在波长 λ 的光谱功率分布，而 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \dots$ ，是对应于检测器各自响应特性的色匹配函数。这个色度检测系统还具有用于 $X, Y, \dots$ 的模拟变换的装置，它使色度图中的 X 和 Y 的值能够对应待计算的入射光的颜色。

本发明的第二部分提供一种用于识别入射光颜色的色度检测系统，它具有三个分立的色检测器，这些色检测器具有各自响应特性，使得检测器的输出信号分别相当于： $X = \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$ ， $Y = \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$ 和 $Z = \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$ ，从而，通过对后者信号简单的模拟变换，可以计算出色度图中 x 和 y 的值。

这三个检测器最好含有各自的滤色片，这些滤色片的响应特性分别对应附图4中的曲线 $\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 。

这些滤色片可以同时自动地将入射光向检测器会聚，这一点是有益的。

在下文中，仅用举例的方法进一步叙述本发明。参考附图，其中：

图1a表示光强对波长的曲线，用于说明在我们的上述待批准的申请第 号中更详细地叙述的一种检测原理，

图1b是两种光强的比值对从图1a曲线得出的位移的曲线，

图2 是一般的三维色空间图，

图3 是一般的C.I.E.色度图，

图4 表示三个具有响应 $\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$ 和 $\bar{z}(\lambda)$ 的检测器的响应曲线，

图5 表示在色度图上如何表示颜色的变化，

图6 表示如何能够在色度图中表示两种不同颜色的变化，

图7 表示多个色源情况下的色度图，

图8 说明一种用于测量色调制的系统，

图9 说明另一种用于测量色调制的系统，

图10用图解法说明根据本发明的色检测器的一种可能实施例，

图11是色度图的一种进一步、简化的表示法，

图12用图解法说明根据本发明的色检测器的第二种可能的实施例，

图13和图14用于说明图12的第二种实施例的工作。

现在参考图10，它表示根据本发明的色检测器的一种可能的实施例，光线经由光学纤维20到达检测器；作为例子，此光线来自我们的上述待批准的申请中叙述和说明的一种光调制器。来自光学纤维20的入射光加到三个彩色球体21,22,23上；每个球体位于各自的光检测器24,25,26（例如光敏二极管）的前面。每个彩色球体21,22,23具有不同的色传输特性，这些传输特性和检测器24,25,26 的响应相结合，用于提供三种结果色匹配函数，和上述定义的一样，X，Y和Z分别等于：

$$X = \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

把信号值X，Y和Z加进一个模拟代数元件27，再传到另外的模拟代数元件29,30，模拟代数元件29,30 也直接接受X和Y。然后，元件29和30计算模拟函数：

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad \text{和} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

以便提供所需要的X和y 值。这样，就在色度图上确立点(x, y)，以提供入射光颜色的数字表示法。

实质上，可以把上述方案看成对三个色匹配函数 $\bar{x}(\lambda)$ ， $\bar{y}(\lambda)$

和 $\bar{z}(\lambda)$ 进行模拟积分，这方法比上述利用数字技术的方法能更有效地得到结果。

这个系统的时间分辨率是几个微秒的量级或者更好些。根据硬件的费用，可以用很低的成本制造这个系统，并且此系统是很紧凑的。所需要的数学计算极少，微处理机是随意的，而不是必不可少的。上述方法的模拟-数字变换器也是随意的，而不是必不可少的。应该指出，这个系统能够适应同时处理一个以上的输入信号，即，同时处理由一个以上的待测参数的变化所引起的色度变化。

因为本系统测量“真实的”颜色，所以可以把它用于监视光束中的颜色变化，由传感器的位移，化学变化和任何其他调制系统产生的调制所引起的这种颜色变化。

因此，上述技术能够以特别简单的便宜的方法定量地识别颜色，并能把颜色同精确测量参数变化相联系，具有光强和光谱成分的自动补偿，消除任何非单值性。以上技术可以同任何产生颜色变化的调制相结合（包括在我们的上述待批准的申请第 号中所叙述的调制器），以提供一种有效的和精确的位移测量系统，其中，测得的颜色变化被用于检测一种或多种可变参数，例如位移、压力、温度等。

上述检测器使用三元件检测，以模拟用于一般色分析中的三个检测器，这个检测器具有以下优点：不但可以消除由于系统衰减增加而引起的光强变化，而且可以鉴别由于系统老化而不是传感器调制引起的光谱特征的变化。图11中再次说明了这种技术，此图是图3的简化型式。直线A-A对应由调制所产生的颜色变化，而直线B-B对应系统本身产生的颜色变化。在这种情况下，检测器的输出的轨迹以二维的形式出现。

然而，对于本发明，三元件检测不是必不可少的，仅具有两个光敏元件的检测器是可能的，如图12,13,14中所示。在图12中，来自光学纤维32的光线被加到两个彩色球体33,34，每个彩色球体位于各自的光敏元

件35,36(例如,光敏二极管)之前。安排第一个元件35相对于波长的响应度不同于第二个元件的响应度。根据色度(C.I.E.)图上的两个参数,从来自两个元件35,36的信号,可以计算入射到检测器上的辐射的光谱分布。然后,可以整理这些参数,以提供入射信号的颜色指示。

这示于图12,13和14中。图14表示图12的检测器的第一个和第二个光敏元件的响应曲线 $\eta_1(\lambda)$ 和 $\eta_2(\lambda)$ 的例子。

元件35的输出 O_1 由下式给出:

$$O_1 = \int_{\lambda_a}^{\lambda_b} I(\lambda) \eta_1(\lambda) d\lambda$$

而元件36的输出由下式给出:

$$O_2 = \int_{\lambda_a}^{\lambda_b} I(\lambda) \eta_2(\lambda) d\lambda$$

把信号值 O_1 和 O_2 加到模拟运算元件37,并传到另外的模拟运算元件38,39,模拟运算元件38,39还直接接收 O_1 和 O_2 。然后,元件38,39计算模拟函数:

$$x = \frac{O_1}{O_1+O_2} \quad \text{和} \quad y = \frac{O_2}{O_1+O_2}$$

以提供所需要的、色度图上的 x 和 y 的值。

当只使用二元件检测时,图13和图11是等效的。直线C-C对应由调制所产生的颜色变化,即,被测的信号中的主颜色位于这条线上,其轨迹是 $X+Y=1$ 。

多检测器系统的另一个实施例是信号的顺序取样,而不是如图12中所示的并行取样。一种实际的形式是所谓的“色二极管”,用新近发展的电子线路处理其输出信号,以提供极高的灵敏度和长期的稳定性。

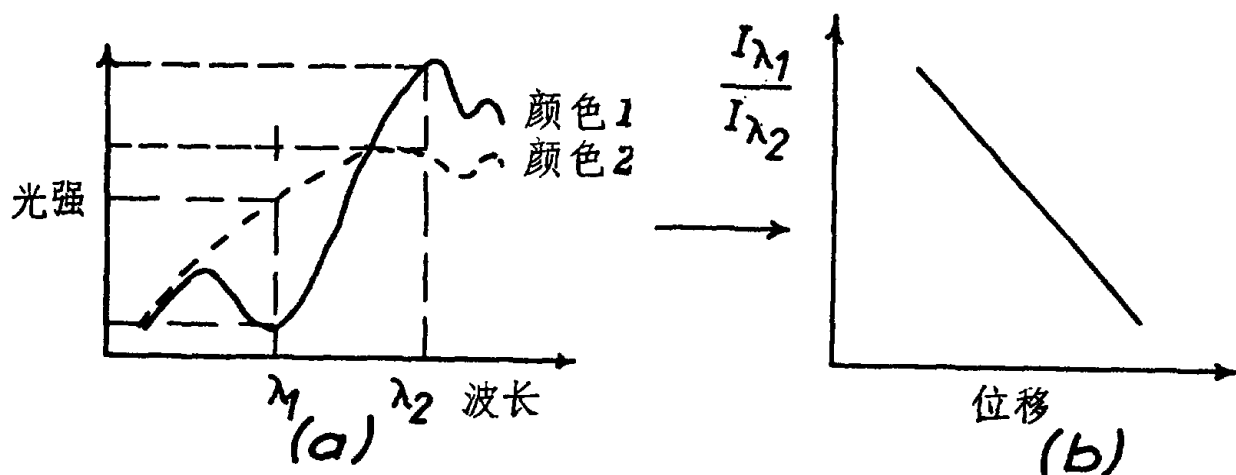


图 1

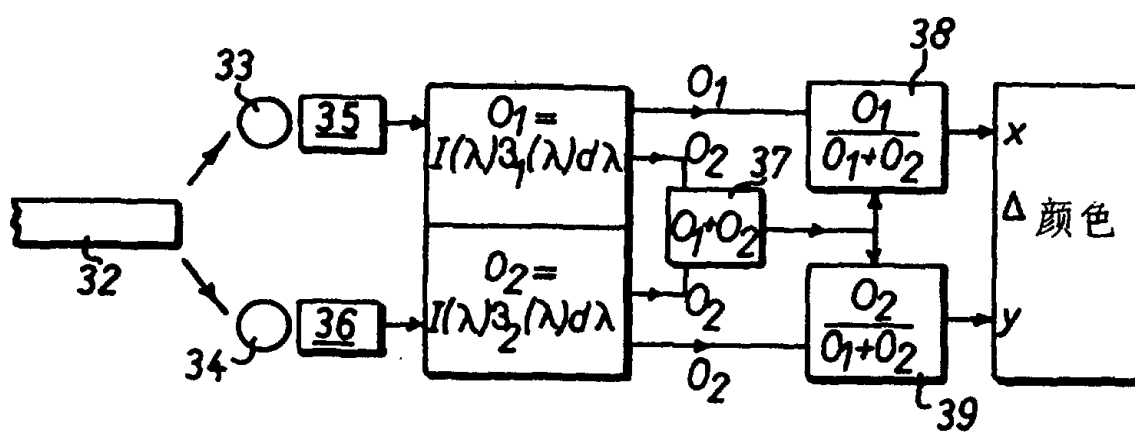
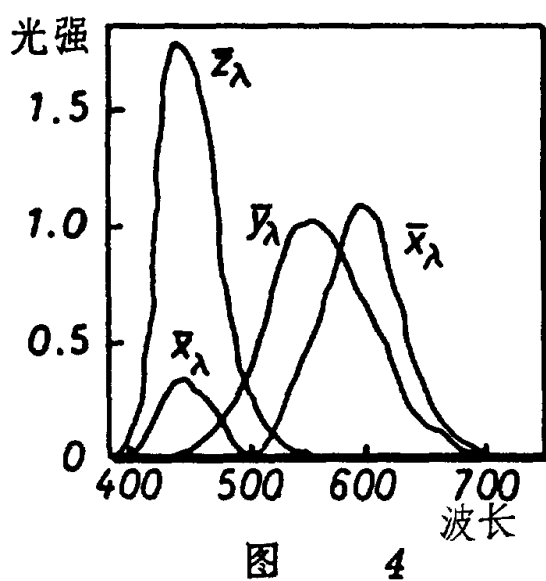
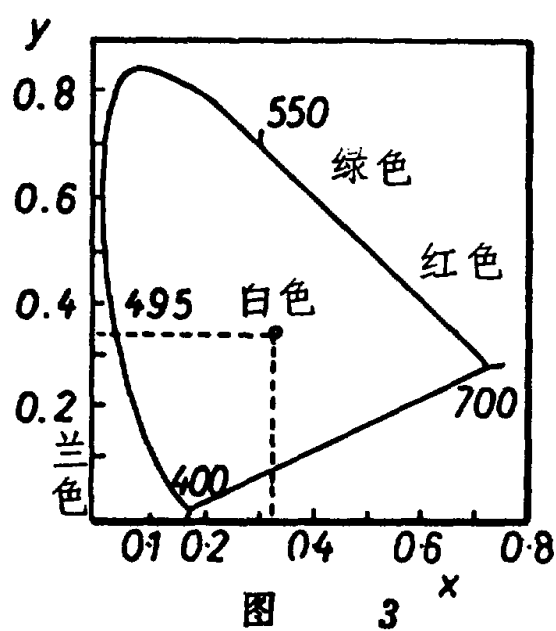
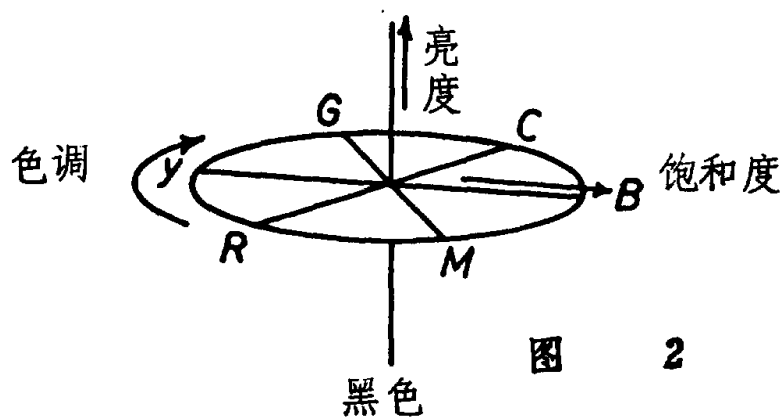


图 12



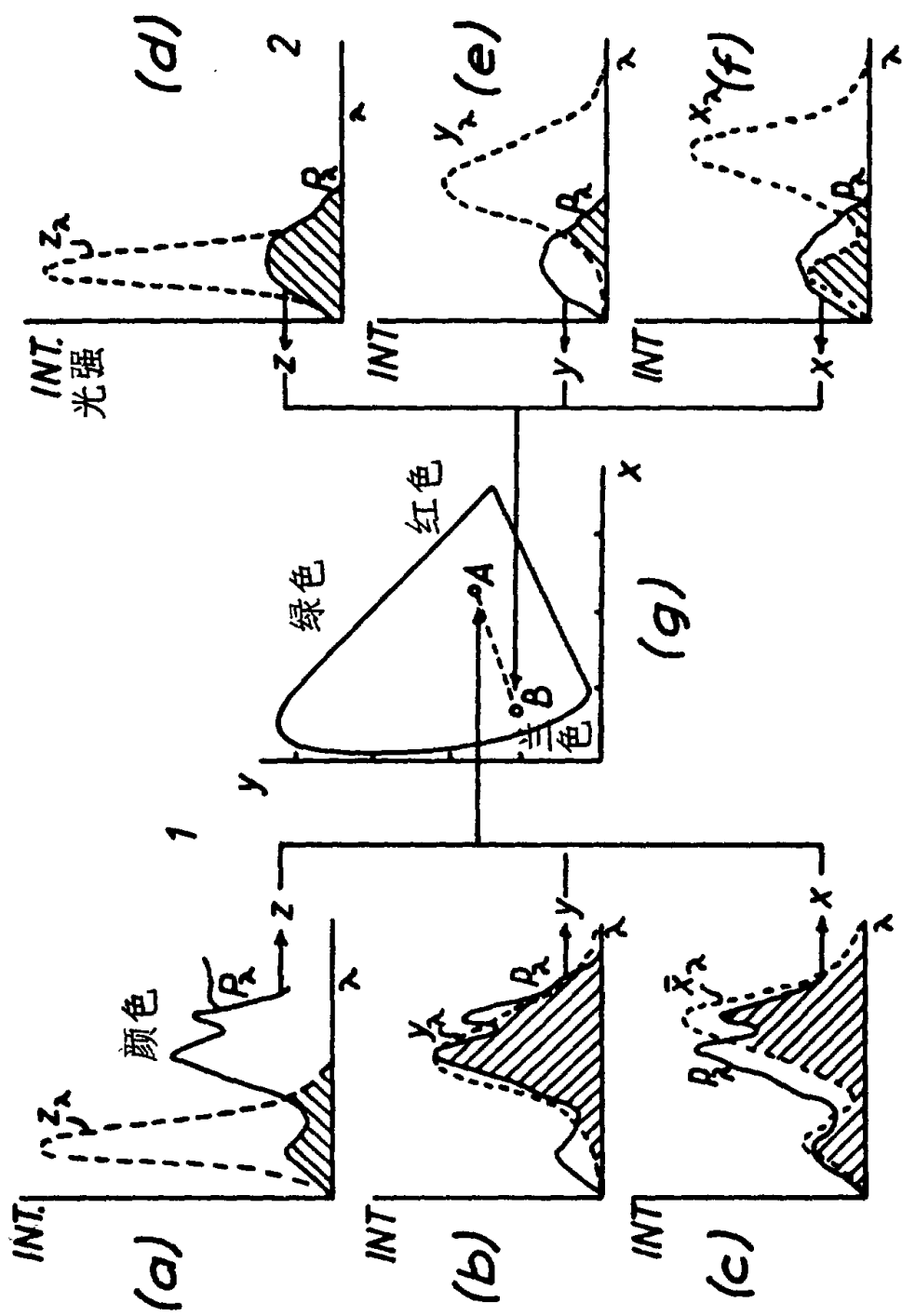


图 5

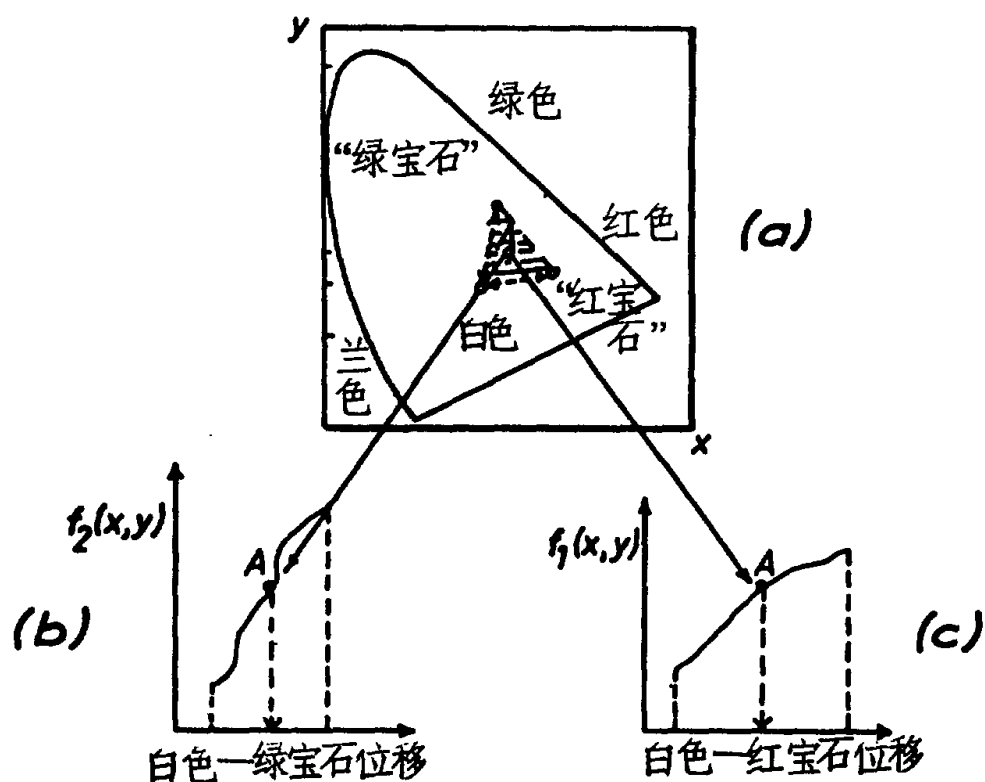


图 6

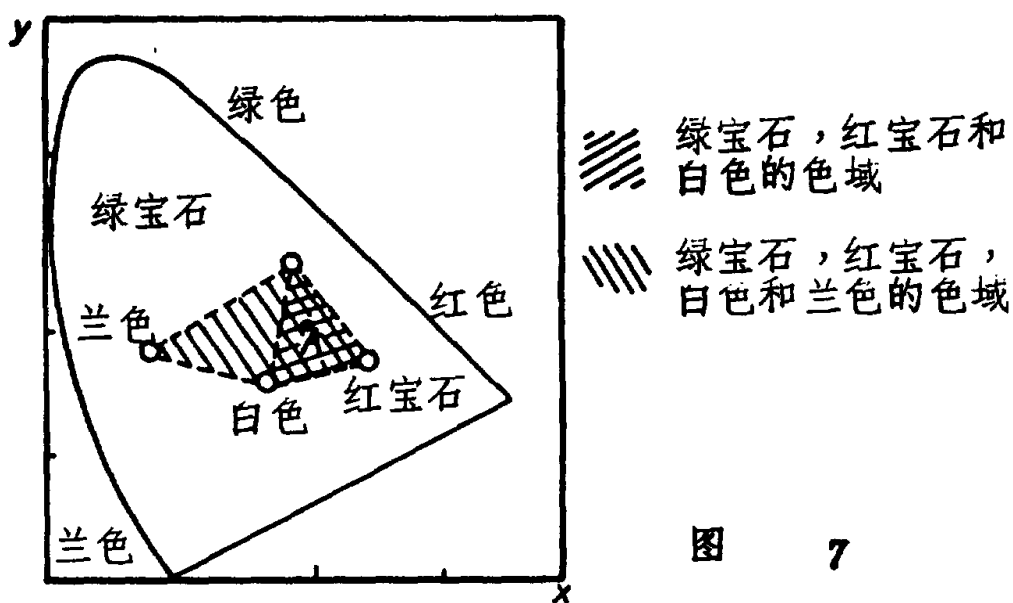


图 7

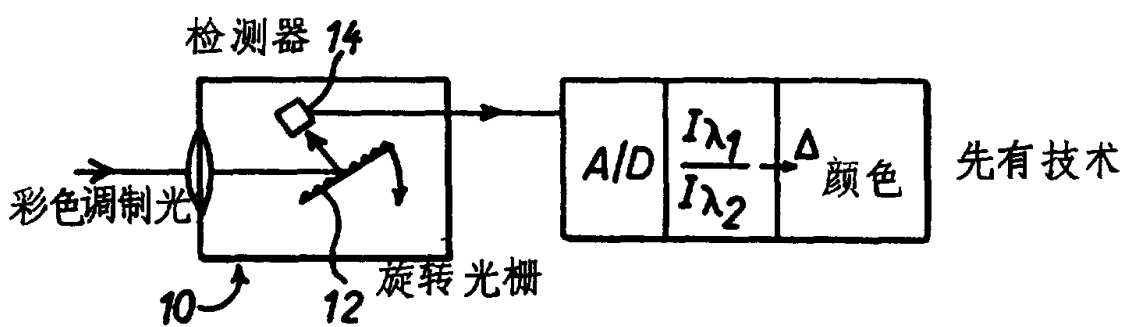


图 8

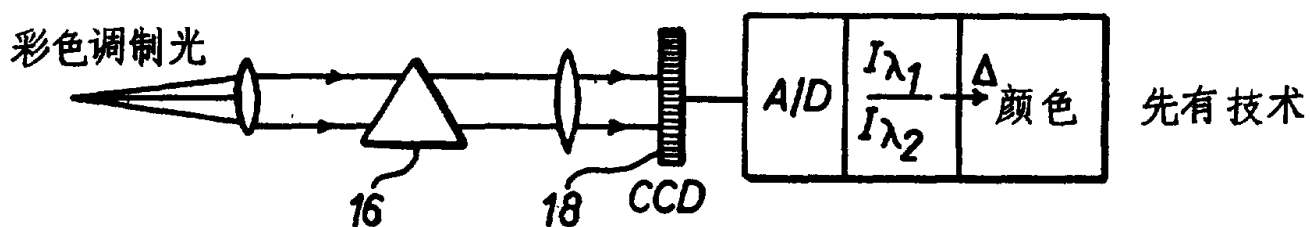


图 9

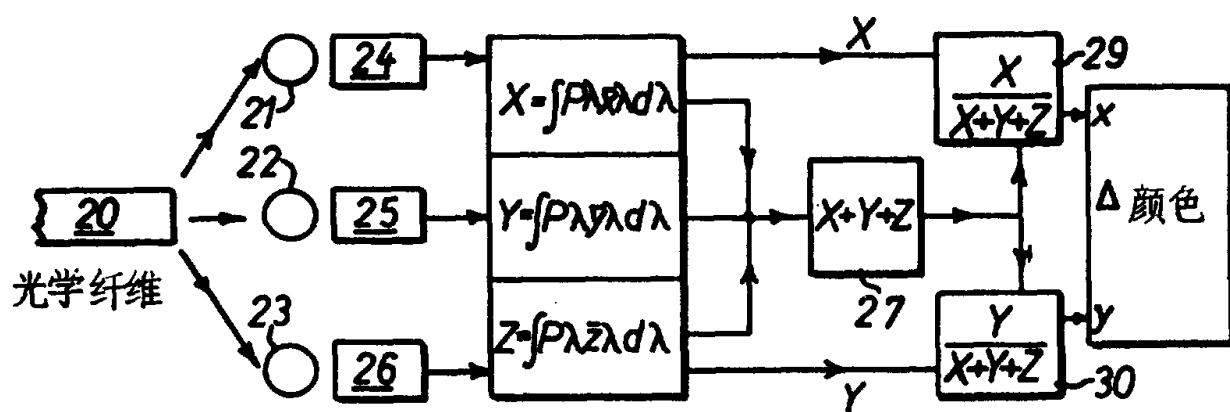


图 10

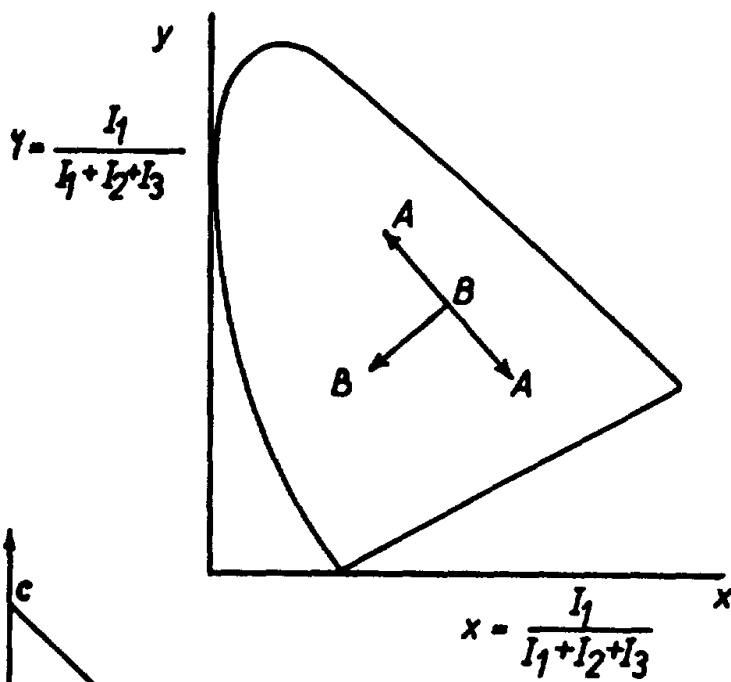


图 1.1

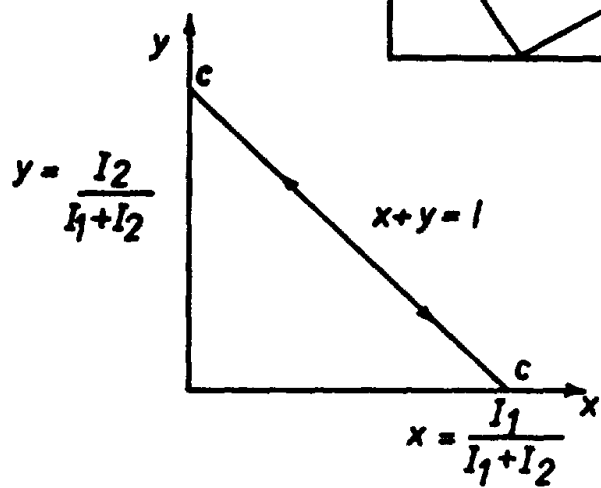


图 1.3

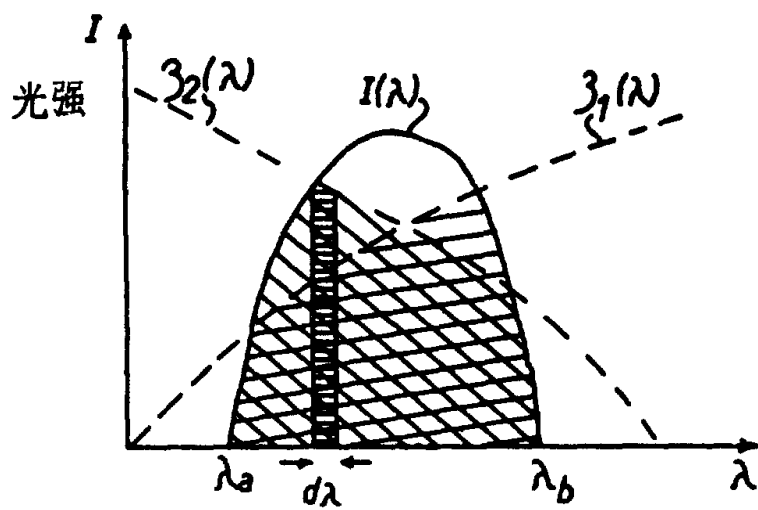


图 1.4