

集成光电器件和系统

〔英〕 P. J. W. 诺布尔 著

李锦林 译

科学出版社

1983

内 容 简 介

集成检测器技术是一门新技术，它所用的器件和系统不但能代替现在使用的象光电二极管这样的元件，而且，它还有着许多新的应用。有人把它比作系统的“眼睛”，这是很恰当的。

本书是一本科普读物，适于具有高中和大学低年级文化程度的广大读者阅读。

P. J. W. Noble

LIGHT SENSE

Watts/Steadman & Partners Ltd.

集成光电器件和系统

〔英〕 P. J. W. 诺布尔 著

李锦林 译

责任编辑 隋启水

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年6月第一版 开本：787×1092 1/32

1983年6月第一次印刷 印张：5 1/2

印数：0001—6,450 字数：132,000

统一书号：15031·491

本社书号：3070·15-7

定价：0.75元

目 录

引 言

第一章 光的实际情况	1
1.1 光度计量的计算	2
1.2 光 源	7
1.3 透镜和象的形成	7
1.4 照明系统	9
1.5 应用举例	12
第二章 检测过程	15
2.1 太阳电池	16
2.2 光电二极管	18
2.3 量子效率	20
2.4 光电二极管的噪声	23
第三章 工艺技术	26
第四章 积累检测	31
第五章 光控制开关	36
5.1 工作原理	36
5.2 输出条件	37
5.3 光电二极管光源	43
5.4 钨光源	44
5.5 光控制开关用的延迟电路	45

5.6	动态的光控制开关	50
5.7	照明控制单元	57
第六章	其它单个检测器	61
6.1	光电二极管	61
6.2	光电二极管的应用	62
6.3	位置读出	68
6.4	光电二极管-放大器组合	69
6.5	语言线路系统	73
6.6	光-频率变换器	75
6.7	其它应用	76
第七章	线性自扫描光电二极管阵列	84
7.1	性能特征	87
7.2	固定图型的噪声	88
7.3	低光强度工作	95
7.4	动态范围	96
7.5	图象质量	98
7.6	光学字符识别的应用	101
7.7	缺陷检测	102
7.8	传真	103
7.9	尺寸量规	104
7.10	宽度测量和监视原理	105
第八章	二维自扫描光电二极管阵列	109
8.1	概述	109
8.2	应用	113
第九章	照相机系统	116

9.1 联机尺寸监视	118
9.2 安全监视	119
9.3 零件量规	120
9.4 表面缺陷检测	120
9.5 光学字符识别	122
9.6 传真	123
第十章 特殊应用和空间应用	125
10.1 电子束“增强”设备	125
10.2 瓶子检查阵列	130
10.3 宇宙飞船用的集成电路太阳方位读出器	136
附录 几种光电器件和集成光电器件的数据	151
一、IPL 33光电二极管	151
二、IPL 30/31光电二极管	155
三、IPL PS 12/24 集成光电开关	158
四、IPL 15/17集成光控制开关	159
五、IPL 13 集成光-频变换器	165
六、IPL 16 集成模拟检测器系列	166
七、IPL 4000 系列线性光电二极管阵列	169
八、IPL 7000 系列线性光电二极管阵列	175
九、IPL M系列自扫描光电二极管阵列	176
十、IPL 2D ₁ 型自扫描光电二极管阵列	179

第一章 光的实际情况

本书自始至终都要不断地参考到光和光的单位。在表示光强度时，教科书上通常以工业上采用的单位为标准，亦即以瓦/厘米²作单位。为使读者可以熟悉光和光的单位，本章着重讲解光的测量方法以及光的各种单位，并提供相互关系的扼要说明。本章有时亦涉及到简单光学问题，然而，对于任何提到的问题的更详细分析，都有相当多的好的参考书籍可供使用。本章仅对光参数和光系统提供简单的基础，并以此作为本书其它章节的背景材料。

通常采用的测量系统有两种，即光度计量系统和辐射计量系统。辐射计量系统更为通用，使用辐射瓦数作为通量单位，适用于光谱的任何区域。光度计量系统与辐射的视觉效应有关，并用流明作为光通量的单位。光度计量单位只能适用于至少有一部分发射处于可见光区域中的辐射源。

集成光矩阵公司 (IPL) 生产的全部器件的检测能力都引用工作在色温度2870°K的钨灯的总辐射量，即瓦/厘米²，当检测器用于其它光源时，需要一个变换系数来估计所获得的输出。表1列出了各种通用光源的变换系数。

表 1 硅检测器的光谱变换系数

要获得 2870°K 的钨的等效瓦数，可将辐射源的瓦数乘以 A 列的系数，或者将辐射源的流明数乘以 B 列的系数

辐 射 源	A 瓦变换系数	B 流明变换系数
2500°K 钨	0.7	0.07
2870°K 钨	1.0	0.05
3200°K 钨	1.3	0.04
1000℃ 黑体	0.015	1.6
太阳光（海平面）	1.9	0.016
白荧光灯	2.4	0.007
低压钠灯	2.6	0.005
GaAs/P 固体灯	3.2	0.04
GaAs 固体灯	3.4	仅在红外区发射
He-Ne 激光器	3.0	0.02
P20 磷光体	1.6	0.006
氙弧灯（1600瓦）	2.3	0.03
氙弧灯（150瓦）	2.4	0.10

注 1 A 列的系数只适用于辐射瓦数，而不是消耗的电功率。

2 表中给出的系数是针对集成光矩阵公司生产的硅器件的光谱响应计算获得的，对于其它制造商生产的硅检测器来说，这些系数不一定正确。

1.1 光度计量的计算

最常用的光度计量的量值有三种：

发光强度——每单位立体角的光通量，

亮度——每单位(在观察方向的投影)面积的发光强度，

照度——每单位面积的入射光通量。

发光强度与来自小尺寸辐射源的辐射通量有关，流明则与来自大辐射源（不要求自发光）的单位面积所辐射的通量有关，而照度为照到单位表面积上的流量。发光强度的单位是烛光或者流明/球面度。各种亮度和照度单位列于表2，转换系数列于表3。

表 2 亮度和照度单位

亮 度 单 位		
单 位	简 写	同 义 词
烛光/厘米 ²	Cd/cm ² 或 Sb	熙提
烛光/米 ²	Cd/m ²	尼特
烛光/英尺 ²	Cd/ft ²	—
$\frac{1}{\pi}$ 烛光/厘米 ²	L	朗伯
$\frac{1}{\pi}$ 烛光/米 ²	asb	阿熙提
$\frac{1}{\pi}$ 烛光/英尺 ²	ft-L	英尺-朗伯
照 度 单 位		
单 位	简 写	同 义 词
流明/厘米 ²	lm/cm ²	辐透
流明/米 ²	lm/m ²	勒克斯或米-烛光
流明/英尺 ²	lm/ft ² 或 f.c.	英尺-烛光

表3 光度计量换算系数

亮度单位						
换算单位	已知单位					
	熙提 烛光/ 厘米 ²	尼特 烛光/ 米 ²	烛光/ 英尺 ²	朗伯	英尺- 朗伯	阿熙提
熙提 烛光/厘米 ²	1	10 ⁻⁴	1.076×10^{-3}	3183	3.426×10^{-4}	3.183×10^{-5}
尼特 烛光/米 ²	10 ⁴	1	10.76	3.183×10^3	3.426	.3183
烛光/英尺 ²	929.4	.09294	1	295.7	.3183	.02957
朗伯	3.142	3.142×10^{-4}	3.382×10^{-3}	1	1.076×10^{-3}	10 ⁻⁴
英尺-朗伯	2.919×10^3	.2919	3.142	929.4	1	.09294
阿熙提	2.142×10^4	3.142	33.82	10 ⁴	10.76	1

照度单位			
换算单位	已知单位		
	辐透 流明/厘米 ²	勒克斯 流明/米 ²	英尺/烛光 流明/英尺 ²
辐透 流明/厘米 ²	1	10 ⁻⁴	1.076×10^{-3}
勒克斯 流明/米 ²	10 ⁴	1	10.76
英尺-烛光 流明/英尺 ²	929.4	.0929	1

要获得换算单位的量, 可将已知单位值乘以适当系数。

以上三种定义是直接和辐射计计算等效的, 在辐射计计算中它们分别称为辐射强度, 辐射度和辐照度, 而辐射强度的单位是瓦/球面度。

在使用硅检测器的光电系统中, 辐射计计算的最终产物是在检测器平面上的辐照度数值, 以瓦/厘米² (等效于2870°K的钨) 表示。以下列举几个例子。

a) 用瓦作单位, 求 2870°K 的钨辐射源的等效辐射强度。(A和B 值参考表 1 的适当换算系数。)

如果发光强度用烛光表示, 则

$$\text{辐射强度} = \text{烛光} \times B \text{ 瓦/球面度}$$

如果总输出用流明表示, 则

$$\text{辐射强度} = \frac{\text{流明}}{4\pi} \times B \text{ 瓦/球面度}$$

(严格来说, 上式只适用于各方向均匀发射的源。)

如果源是钨灯, 只知其瓦数, 则有经验公式: 输入瓦数的80%来自灯丝辐射。

$$\text{辐射强度} = \frac{0.8 \times \text{输入瓦数}}{4\pi} \times A \text{ 瓦/球面度}$$

b) 表面的辐射度和辐照度 (见图 1.1)。

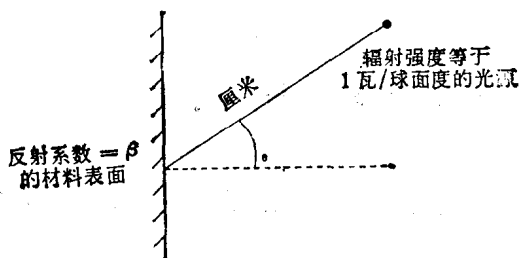


图1.1

$$\text{表面的辐照度 } R = \frac{1 \cos \theta}{d^2} \text{ 瓦/厘米}^2$$

$$\text{表面的辐射度 } W = \frac{R\beta}{\pi} \text{ (瓦/厘米}^2\text{)/球面度 (在任何方向上)}$$

表面的辐射度 = (W瓦/厘米²)/球面度

如果透镜产生的放大倍数是

$$M = \frac{\text{象尺寸}}{\text{物体尺寸}}$$

则象的辐照度是

$$L = \frac{\pi T}{4N^2(1+M)^2} \times W \text{瓦/厘米}^2 \quad (1)$$

式中 T 是透镜的传输率 (典型值为 0.8—0.9)。

c) 光通路的光度计量

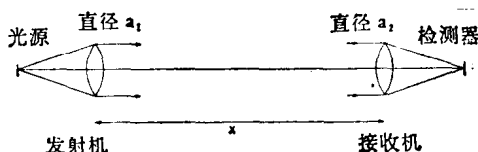


图 1.2

图 1.2 是防盗告警、机械保护、语言通路和光传播的距离大于光学元件尺寸的任何系统的原型。如果源的辐射度是 (W瓦/厘米²)/球面度, 检测面积是 S 厘米², 则检测器的有效辐照度是

$$L = \frac{W a_1^2 a_2^2 \pi^2}{16 S x^2} \text{瓦/厘米}^2$$

此时假设, 1. 由接收机形成的发射机透镜的象比检测器要小得多。 2. 在发射机透镜上光源的张角大于在接收机上该透镜的张角。

在上述条件下, 系统是“亮度有限”的: 增加源辐射度能

增大接收信号，但增加光源尺寸不能增大接收信号。

1.2 光 源

钨灯是使用方便而且功率和形状是多种多样的光源。钨灯的光谱输出宽，与硅检测器匹配良好，具有密集的高亮度发射区。缺点是热耗散问题，寿命有限（除非在低功耗运用），不能在高于几十赫进行调制。当作检测器使用时最好是直流运用，因为在50赫的交流下钨灯呈现10—20%的调制度。

固体灯 最常用的是镓砷和镓磷砷光发射二极管。这些二极管具有相当窄的光谱发射，与硅检测器的匹配良好，热耗散极小，发射面积小而亮度适中，能够调制至几百千赫。它们的缺点是功率输出低。镓砷用来作试验有困难，因为它没有可见光发射。

荧光管和钠灯 具有高的可见光效率和光源的均匀性，但表面亮度低。它们缺少近红外发射，驱动硅器件的效率低。

1.3 透镜和象的形成

以下着重说明使用现成透镜的实验，以证明系统的可实现性。在大多数光电应用中所需的象的清晰度受照相标准的制约，因为系统的分辨力是由检测器尺寸或阵列间距来决定

的，系统允许使用简单的光学元件。

为了在小的 F/N° 下减少球象差和改进象质量，一个单透镜可以分成两个元件，如图1.3C所示。当各透镜接触时，合成焦距 F 可以按下式求得

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

如果 f_1/f_2 等于 M ，则每个透镜可以是平凸的。合成透镜的孔径可以达到 $F/2$ 。

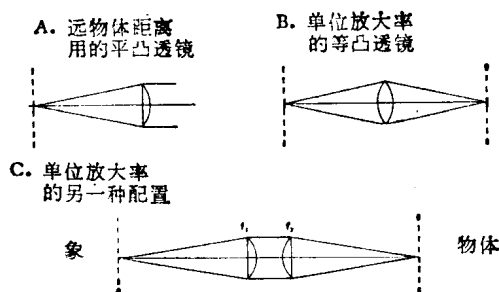


图1.3

作为光轴上的象清晰度的粗略估计，如果图 1.3 A 的系统将点物体形成一个象，则由于球象差引起的模糊斑点直径大约为

$$b = \frac{0.07f}{N^3}$$

式中 $N = F/N^\circ$ ， f 为焦距。

轴向象也由于色散象差而产生退化(焦距随波长变化)。例如在图 1.3 A 中，色散象差大于球面象差，因为 F/N° 约

大于 $F/3$ 。如果系统的单元件透镜用消色差的双合透镜代替，那么两种色差立刻得到解决。消色差双合透镜由两个不同玻璃的透镜粘合在一起，对正球面和色散象差一起校正。双合透镜在近红外区不如在可见光区那样有效，因为双合透镜通常是设计在可见光区的，但仍然对近红外区有明显益处。

实验用的单透镜和消色差双合透镜可从（非官方的）代理商和某些正式的光学工厂获得。单透镜可由模压塑料制成，通常是非球面的（一面是非球面形的），这种透镜比纯球面透镜通常能在大孔径下提供更高质量的轴向象。

覆盖宽视场的透镜系统问题，在这里不可能有效地处理。上述简单系统只在 $5-10$ 度的视场内提供可接受的图象。对于宽视场使用应该借助市售的照相型镜头，大部份镜头是设计用于比焦距大的距离内，而在放大率接近 1 时不能很好工作。使用两个面对面的镜头，让平行光线通过这对透镜可以克服这些困难。

1.4 照明系统

在光电子场合下，要使物体获得足够的光经常是一个问题。有效地使用光源，需要一些辅助光学部件，特别是被照明面积小的时候。当灯和光学部件结合在一起，首先需要高固有亮度的小光源。基本规律是，象不能比原来的物体更亮，而且不可能从大的漫射源（例如荧光管）来集中光。最

常用的光源是低压投影式钨-卤素灯，在10—250瓦和色温度3200—3400° K的范围内具有坚实的灯丝。对于小面积的强烈照明，应该使用如图1.4所示的通用形式的大孔径聚光系统。

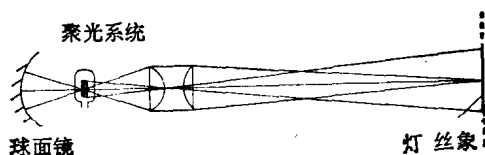


图1.4

当简单的正透镜形成一个象（见图 1.5）时，遵守以下关系：

$$\text{放大率 } M = \frac{\text{象 尺 寸}}{\text{物体 尺寸}} = \frac{h}{H} = \frac{L'}{L} \quad (2)$$

基本透镜方程式

$$\frac{1}{L} + \frac{1}{L'} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

式中的放大率

$$f = \frac{LM}{1 + M} = \frac{Lf}{H + h} \quad (4)$$

当放大率和工作距离确定时，方程式（4）可用来计算系统所需的焦距。

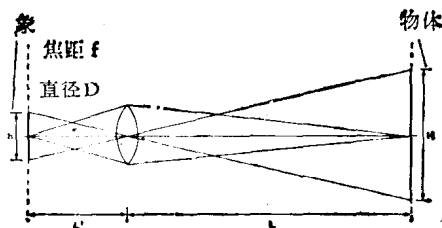


图1.5

光收集功率通常用无限大的 F/N° (N) 来定义。

$$N = \frac{\text{焦距}}{\text{直径}} = \frac{f}{D}$$

象的亮度与 $\frac{1}{N^2}$ 成比例，因此 $F/4$ 透镜的象要比 $F/8$ 透镜的象亮 4 倍。当物体不在无限远处，有效 F/N° 等于 $N(1+M)$ ，因此对于单位放大率 ($M=1$) 来说， $F/2$ 透镜相当工作在 $F/4$ 。

在单位放大率下 $L=L'=2f$ ，而且物-象之间的总距离是 $4f$ 。这是最小值，因为在其它放大率下 $L+L'$ 都大于 $4f$ 。

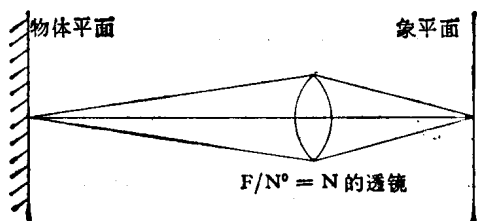


图1.6

图 1.6所示的透镜为单透镜。它可适合于 $F/3$ 或 $F/4$ 的诸如标记检测读出的非必要应用中。为了用简单透镜获得最好的象质量，应该选择透镜的“形状”来满足放大率（见图 1.3）。

对于非常大的孔径系统，透镜可以是平凸或者非球面形。象的辐照度由式 (1) 算出，式中 N 是聚光镜的 F/N° ，钨灯丝的平均辐照度在 3200°K 下大约等于 $(50 \text{ 瓦/厘米}^2)/\text{球面度}$ 。把一个曲率中心在灯丝处的球面镜放在灯的后面，会

增加象的亮度30—40%。缺点是尺寸、热耗散问题和灯丝结构的不均匀性（能够部份地由散焦来抵偿）。另一种遥远照明系统如图1.7所示。

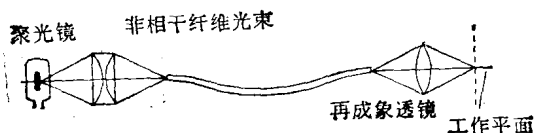


图1.7

这里采用非相干纤维光束从灯和聚光系统导引光线。在工作终端，光束可让光直接发散到目标，或者如图所示，用一个透镜在光导引的终端重新成象。虽然略为散焦，这样会得到更好的照明均匀性。

在照明系统可由滤光器来改变光的颜色和改善象的反差度，例如用在标记检测系统中。大部份明胶和染料玻璃的滤光器透过近红外光，有必要附加阻挡红外的（或热的）滤光器和硅检测器，以获得真正的滤光作用，但信号强度会降低很多。

1.5 应用举例

为了说明上述原理和方程式的某些应用，考虑以下情况：一个100瓦的钨-卤素灯在 3200°K 的色温度下发射3000流明，如果灯的象由放在50码外的6英寸 $f/5$ 透镜形成在IPL15检测器上，问由 2870°K 校准钨灯表示的有效检测器辐