

半导体光电器件及其应用

上海无线电十七厂

6

前 言

早在我们试制光敏管的时候，就意识到光电器件的发展前途，所以那时搞这项工作的有关同志就打算编这样一本小册子，给搞技术革新的广大工农兵读者及知识青年同志提供一点方便，这个宿愿到今天才初步实现。

本书的重点放在光敏管的应用上，但我们也兼顾到其他光电器件。在本书的编写过程中，承蒙许多兄弟单位提供应用线路（见附录三），在此编者向他们表示衷心的感谢。同时也欢迎各单位继续向我们提供实用线路，以便今后修订时编入。

由于编者水平所限，内中谬误之处一定不少，欢迎同志们批评指正。

编 者

一九七五年六月二十三日

内 容 提 要

本书共分五章：前三章介绍光学基本知识，半导体基本知识及各种半导体光电器件的工作原理、结构和性能；后二章介绍各种半导体光电器件的应用。

本书叙述简明扼要，文字通俗易懂，是一本适合于广大工农兵读者和知识青年的普及读物。

上海无线电十七厂编

半导体光电器件及其应用

(内部发行)

目 录

第一章 半导体中的光电效应	(1)
1·1光和光源	(1)
1·1·1光的基本知识.....	(2)
1·1·2光的发生和光源.....	(5)
1·2半导体材料和pn结.....	(11)
1·2·1半导体材料.....	(11)
1·2·2掺杂半导体材料.....	(15)
1·2·3pn结	(17)
1·2·4化合物半导体.....	(18)
1·3光电效应.....	(19)
1·3·1光〔电〕导效应.....	(20)
1·3·2由势垒效应产生的光生伏特效 应	(22)
1·3·3由载流子浓度梯度引起的光生伏特 效 应.....	(23)
第二章 光敏二极管和光敏三极管	(24)
2·1结 构	(25)
2·2制 造 工 艺.....	(29)
2·2·1 p^+n 平面型硅光敏二 极 管.....	(29)
2·2·2npn平面型硅光敏 三 极 管.....	(32)
2·3特 性	(35)
2·3·1光谱响应及灵 敏 度.....	(35)
2·3·2静态伏安 特 性.....	(36)
2·3·3光电流——照度曲 线	(38)

2·3·4暗电流——温度曲线	(39)
2·3·5光电流——温度曲线	(40)
2·3·6频率响应	(40)
第三章 其他固态光敏器件	(49)
3·1光敏电阻(光导管)	(49)
3·2光生伏特二极管和太阳能电池	(54)
3·3雪崩光敏二极管	(58)
3·4光耦合器件	(60)
第四章 半导体光电器件的应用	(63)
4·1光电器件的构造与光源	(65)
4·2光电器件的规格和使用	(66)
4·2·1光敏晶体管	(66)
4·2·2光敏电阻	(68)
4·2·3光敏二极管和太阳能电池	(71)
4·3几种基本的光敏管线路	(72)
4·3·1简单的开关电路	(72)
4·3·2简单的斯密特触发器	(74)
4·3·3光可控线路	(74)
4·3·4配用集成电路JEC—2的开关电路	(75)
4·3·5配用线性集成电路FC—52的光敏管线路形式	(76)
4·3·6放大交变光信号的放大器线路	(76)
4·3·7HM—6108GD光电输入器	(76)
4·4光电转换电路的设计	(77)
4·4·1恒定光信号放大电路的设计	(78)
4·4·2调制光信号放大电路的设计	(83)
4·4·3调制光的产生与检出电路	(86)
4·4·4频率特性的改善	(87)
4·5光敏元件的几个主要应用方面	(88)

4·5·1在计数装置上的应用·····	(88)
4·5·2在转速表上的应用·····	(89)
4·5·3在纸带或孔带、卡片读出器上的应用·····	(90)
4·5·4在编码仪表上的应用·····	(91)
4·5·5光学文字阅读装置·····	(92)
4·5·6在光电通讯方面的应用·····	(92)
4·5·7在自动控制上的应用·····	(93)
4·5·8在光电式玩具打靶装置上的应用·····	(94)
4·5·9在浓度计上的应用·····	(95)
4·5·10在照相曝光时间自动控制方面的应用·····	(96)
4·5·11盲人用距离探测器·····	(97)
4·5·12火灾报警器·····	(98)
4·5·13侵入报警器·····	(100)
4·5·14串联SCR的高压开关·····	(101)
4·5·15日光开关·····	(101)
4·5·16车灯故障检测并自动调换装置·····	(102)
4·5·17光控制的AC(交流)开关·····	(102)
4·5·18光敏管和示波器联用作功率控制·····	(103)
4·5·19表式报警电路·····	(105)
4·5·20控制系统应用光敏管和发光管的例子·····	(105)
4·5·21高灵敏度的光电传感电路·····	(106)
4·5·22在功率测量上的应用·····	(107)
4·5·23在光换流器上的应用·····	(107)
4·5·24在逻辑电路上的应用·····	(108)
4·5·25在输入隔离电路上的应用·····	(110)
4·5·26在SCR触发电路上的应用·····	(111)
4·5·27在限幅放大器上的应用·····	(111)
4·5·28在线性放大电路上的应用·····	(112)

4·5·29在稳压电源电路上的应用·····	(112)
4·5·30在高压稳压电源上的应用·····	(114)
4·5·31固态继电器·····	(114)
4·5·32光——绝缘型温度控制电路·····	(115)
4·5·33高输入阻抗运算电路·····	(116)
4·5·34农业用杀虫黑光灯的光控雨控自动开关·····	(116)
4·5·35光控雨控风控黑光灯电路·····	(116)
4·5·36路灯自动点熄电路·····	(117)
4·5·37电视机的亮度自动控制·····	(117)
4·5·38汽车大灯自动转换的微光电路·····	(118)
4·5·39自动换梭毛织机·····	(119)
4·5·40利用太阳电池的灯塔电源·····	(119)
4·5·41光伏温度计·····	(120)
第五章 光敏管实用电路 ·····	(121)
5·1开关运用的光敏管 电 路·····	(121)
5·2线性运用的光敏 电 路·····	(122)
5·3光敏管桥式 电 路·····	(123)
5·4用于ZD—30C和ZD—30D型自动定量秤的光敏 电路·····	(124)
5·5清网给棉控制用的光电控制 线 路·····	(125)
5·6可控硅变频同步启动器中的光敏二极管 线 路·····	(125)
5·7用于数字测距机的光敏管 线 路·····	(126)
5·8用于自动发粮机上的光敏管 线 路·····	(127)
5·9光电控制全自动发 米 机·····	(128)
5·10钟式光电计数器·····	(130)
5·11药片自动数片机用光敏管线路·····	(130)
5·12光电保护装置·····	(132)
5·13配用二进位编码器的光敏二极管线路·····	(132)

5·14用于羊毛衫三色自动提花机的光敏管线路····	(133)
5·15用于1米激光测长机的氦氛激光稳频器的前置 放大器·····	(134)
5·16用于1米激光测长机的干涉条纹计数器的前置 放大器·····	(136)
5·17用于LK—160型快速穿孔机的光电输入线路··	(137)
5·18照相光度计·····	(137)
5·19光学轴角编码器用的光敏二极管线路·····	(138)
5·20用于天文仪器的光敏管线路·····	(140)
5·21光电输入电路·····	(142)
5·22印刷厂控制双张纸用的光敏管线路·····	(143)
5·23数控车床检测回路中应用的光敏三极管线路··	(144)
5·24光电喂料自动调节装置·····	(145)
5·25用于手套机上的光敏管开关线路·····	(147)
5·26光电自动手套机的光敏三极管线路·····	(148)
5·27涂塑止滑手套机用的光敏电路·····	(149)
5·28光电输入机的光敏二极管线路·····	(150)
5·29光电编码压力表·····	(151)
5·30用于数控线切割机的光敏管线路·····	(152)
5·31用于KXZ——213数控铣床的光敏管线路····	(153)
5·32光电计数电路·····	(153)
5·33半导体激光报警接收线路·····	(154)
5·34四联机上应用的光敏管线路·····	(155)
5·35棉布断料机用的光敏电路·····	(155)
5·36光电探纬自动换梭丝织机·····	(156)
5·37用于程控机床的光电输入机线路·····	(156)
5·38成品笔尖计数器用的光敏管线路·····	(158)
5·39笔尖开缝控制到眼的光电控制线路·····	(159)

5·40用于电子量革机的部份光敏线路·····	(160)
5·41电子报价秤用的光敏管线路·····	(161)
5·42传送长途电话记录单设备用的阀门光控电路··	(161)
5·43用于话单传送过程中产生监视信号的上升延迟 指示电路·····	(162)
5·44借投用的光敏电路·····	(162)
5·45量电线长度的钟式光电计数器·····	(163)
5·46STQJ——1 数控钢筋调直切断机·····	(164)
5·47配合集成电路应用的光敏管线路·····	(168)
5·48JG——5 型 光电继电器·····	(168)
5·49用于制药厂作加注计数器的光敏管线路·····	(169)
5·50安瓿计数用的光电线路·····	(169)
5·51用于粘胶纤维集束辊上的光电报警线路·····	(170)
5·52预热锅炉光电控制回路·····	(171)
5·53用于DS702型电枢检查仪中的光敏管线路·····	(176)
5·54光敏管自动控制照明电路·····	(177)
5·55电子仪器中常用的几种光敏管线路·····	(179)
5·56JLZ型晶体管自动数纸器上应用的光敏管线路	(179)
5·57光电程序控制电镀·····	(181)
5·58光电脉冲转速表·····	(181)
5·59电子清纱器·····	(185)
5·60烟斗丝自动喂料秤量器·····	(189)
5·61牵经车三停数字控制仪中应用的光敏管线路··	(191)
5·62轧钢机上简易程控应用的光敏管线路·····	(192)
5·63农业用杀虫光控黑光灯·····	(194)
5·64数字程序控制线切割机的光电输入机·····	(194)
5·65光敏二极管在电影机上的应用·····	(195)
5·66光电控制器·····	(197)

附 录

一、发光二极管.....	(201)
1·1发光二极管的 原 理.....	(201)
1·2常用的几种发光二极管材料与器 件.....	(204)
1·2.1磷砷化 镓.....	(204)
1·2.2镓 铝 砷.....	(208)
1·2.3磷化 镓	(209)
1·2.4红外光——可见光转换 元 件.....	(210)
1·3发光二极管的 特 性.....	(210)
1·4用发光二极管制作的固体显示 器 件.....	(213)
二、上海无线电十七厂光敏管特性曲线.....	(214)
2CU1 A~E 照度——光电流特性	(214)
2CU1 A~E 反向电压——光电流特性	(214)
2CU1 A~E 方向性特性	(215)
2CU1 A~E 环境温度——暗电流特性	(215)
2CU2 A~E 照度——光电流特性	(216)
2CU2 A~E 反向电压——光电流特性	(216)
2CU2 A~E, 3DU11~33方向性特性	(217)
2CU2 A~E 环境温度——暗电流特性	(217)
2CU5照度——光电流特性	(218)
2CU5反向电压——光电流特性	(218)
2CU5, 3DU51~52方向性特性	(219)
2CU5环境温度——暗电流特性	(219)
3DU13照度——光 电 流特性	(220)
3DU13反向电压——光 电 流特性.....	(220)
3DU11~33环境温度 —— 暗电流特性.....	(221)
3DU23照度 —— 光电流特性	(221)
3DU23反向 电压——光电流特性	(222)

3DU33照度 —— 光电流特 性.....	(222)
3DU33反向电压 —— 光电流特 性.....	(223)
3DU52照度 —— 光电流特 性.....	(223)
3DU52反向电压 —— 光电流特 性.....	(224)
3DU51~52环境温度 —— 暗 电流特性.....	(224)
光敏管频率响应特性.....	(225)
光敏管光谱响应曲线.....	(225)
三、本书实用电路提供单位及所在章节.....	(226)

第一章 半导体中的光电效应

1.1 光和光源

相传在燧人氏的旧石器时代，人类就掌握了取火的技术，於是伴随着火的光也就与人类生活发生了密切的关系，使人的活动时间不再受自然阳光的限制而有了很大的扩展。

人造光除了用于照明外，还用来发出和传递信号。如古代边疆告急的“烽火”。在阶级斗争中，农民起义军也用火作为攻击信号，这些在我国许多古典著作中就有描述。这都是我国古代劳动人民利用光作为信号的例子。后来，由于水上运输的需要，人们建造了“灯塔”，作为指示航道的信号。而“影子戏”、“走马灯”以及“烟火”等则是近来常讲的所谓“显示技术”的萌芽。

然而，在用烧木柴、点腊烛、油等来作为光源的时代，此类技术的发展却是缓慢的。后来，由于电弧灯和白炽灯的发明产生了电能转换成光能的技术，从而开创了利用光的现代史。其后，随着电气和电子技术的进步，造制了各种各样效率高、亮度强、颜色丰富、控制容易的光源，使照明技术取得了飞跃的发展。

由于电光转换器件（白炽灯、发光二极管、显像管等）和光电转换器件（真空光电管、光敏电阻、光敏管和太阳电池等）的发展，透镜、滤色片等光学技术的进步以及摄影等光记录技术的不断改进，使光被广泛地利用于电影、传真电报、电视一直到电子计算机的输入、输出装置，从而应用到程序控制装置。

在现代光电控制电路中，半导体光电器件是应用最广的一类器件。本书就是介绍有关这类器件的一些知识。在讲述器件

之前，让我们先回顾一下有关光和光源的一些基本知识。

1.1.1 光的基本知识

什么是光？这是一个较难回答的问题。从光的传播、干涉、反射、偏振等现象说明它具有波动性，而被认为是电磁波的一种。然而，从光与物质粒子的相互作用来看，光又具有粒子性。例如，真空光电管的原理就是当光照到金属板上时，金属中的电子吸收了光的能量逸出金属板产生外部导电作用。对此现象的研究，发现一个电子从光吸收的能量是一个定值。此定值为 $h\nu$ 尔格。 h 是普朗克常数，等于 6.624×10^{-27} 尔格·秒， ν 是光的频率。由此可以认为光波是由能量为 $h\nu$ 的粒子（称为光子）凝集而成，在此基础上建立了现代的量子理论，从而使我们认识到光和电子、原子等物质客体具有下述共同的性质：在某些情况下，表现为粒子的性质，而在另一些情况下，表现为波动的性质。应该指出，关于光的本性的理论还在继续发展之中。通常，在考虑照明等问题时，认为光是电磁波将不会产生偏差，而在研究固体的发光和光吸收时则必须应用量子理论。

由人眼感觉到的光包含着各种颜色，被称为可见光谱（或范围）。这个光谱表示在图1.1中，其波长大约是从4000埃到7000埃，其中人眼最敏感的是光谱的中间一段，即绿光附近。在此范围两边，人眼的敏感性均匀地减小直到可见光的极限处即红外线和紫外线。

光的波长常用埃（ $\text{\AA}$ ）、毫微米（ $m\mu$ ）、微米（ μ ）等单位表示，它们之间的关系如下：

$$1 \text{ \AA} = 10^{-1} m\mu = 10^{-4} \mu = 10^{-8} \text{ cm}$$

对于光，除了要知道光的波长外还要知道它的强度、照度和亮度。

光强度的基本单位是烛光。它是这样一个值，即在铂的熔点 2042°K 时，全辐射体（理想黑体）的亮度为60烛光/〔厘米〕²，

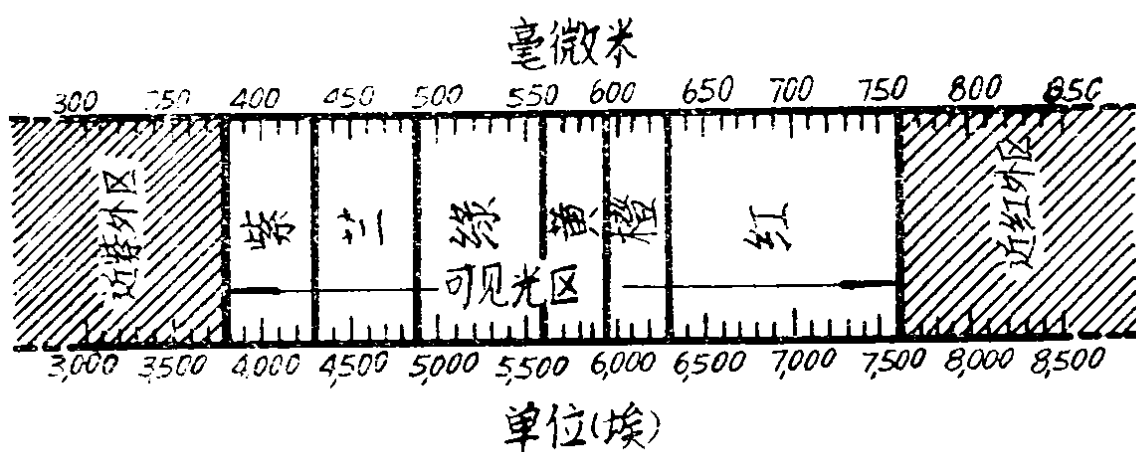


图1.1 光谱

因此 1 烛光相当于此温度下全辐射体在 1 平方厘米内的亮度的 $1/60$ 。

光源发出的光能不断向它周围所有的方向辐射。在单位时间里通过某一面积的光能的多少叫做通过这个面积的光通量。当然光通量可以用尔格/秒或焦耳/秒等单位来量度，但在我们还没有明确光能和机械能之间的当量之前，我们一直在沿用着叫做流明的单位。一个流明等于在立体角角顶上的 1 烛光的均匀点光源在单位立体角内所发出的光通量。一个点光源可以看成是一个球体的中心，在它周围共有 4π 个立体角单位(立强)的立体角，所以 1 烛光的点光源发出的总光通量应是 4π 流明， I 烛光发出的总光通量应是 $4\pi I$ 流明，即

$$F = 4\pi I。$$

照度就是物体单位面积上所得到的光通量，也就是物体单位面积在单位时间里所得到的光能。如果用 F 代表某一面积上所得光通量， S 代表它的面积， E 代表照度，则

$$E = \frac{F}{S}$$

照度的单位为光通量 和 面 积 的 单 位 所 决 定，它 可 以 是

流明/[厘米]²或流明/米²，但最通用的是流明/米²并且有一个专用名称叫做勒克司。

指定方向的表面亮度，等于表面单位投射面积在单位立体角内所辐射的光通量。光强1烛光、面积1平方厘米的光源发射出的亮度为1烛光/[厘米]²或1熙提。因此，面积1平方厘米的凝固铂的亮度是60熙提，其他光源的近似亮度则表示在图1·2中。

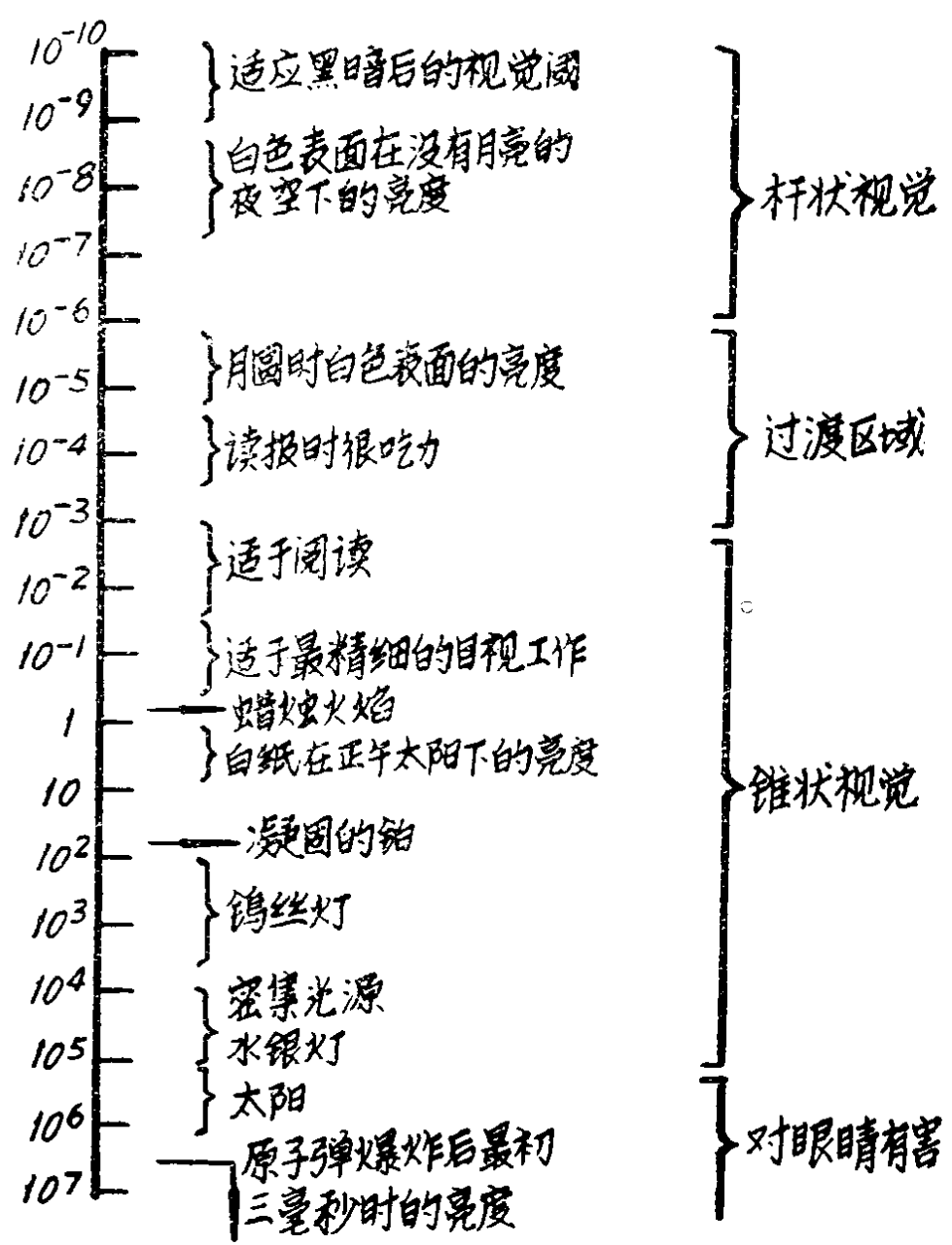


图1.2 其他光源的近似亮度

必须注意，不要把照度跟亮度的概念混淆起来。一光源的照度将与距离平方成反比，即随着距离的增加而减少（假定光源的线度比距离小），而光源的亮度却与距离无关。譬如由100瓦的‘珍珠状’灯泡形成的点光源发出的照度将随距离而改变，但如果在透明的大气层中，观察者的视角即所对的弧大于几分，则从任何距离来看，这个灯泡都好象是一样亮的。

1.1.2 光的发生和光源

温度辐射是产生光的方法之一，它是指物体在高温下由热辐射发出的光。蜡烛和白炽灯就是大家熟悉的例子。温度辐射有图 1.3 那样一段波长范围内的连续波长强度分布，温度升高时辐射最强点的波长向短的方向移动，从而使光的颜色由红色经过黄色而变成近于白色。一定温度下在整个波长范围内有最大温度辐射的物体称为黑体，其辐射称为黑体辐射。大家都知道黑色的物体有良好的吸收热和光的性能。辐射是吸收的相反过程，所以吸收良好的黑体有最大的辐射。

一辐射体的真实温度是难于测定的，所以人们常常是测定它的色温。所谓色温，可以定义为某一全辐射体的温度在可见光范围内发出的辐射与来自光源的辐射基本上具有相同谱线分布并具有相同颜色。

除了温度辐射外，还可以由各种方式在一定的物质内激发出在某一个窄的波长范围内的光，这时激发能量即转换成光能。这种发光现象的种类非常多，通常可按激发方式来分类，如生物发光、化学发光、放射发光、热发光、阴极射线发光、火焰发光、摩擦发光、电激发光等。

下面就对常用的几种光源作一些介绍。

〔1〕太阳光

大多数光敏器件用普通的太阳光就能激励其工作。太阳光可见部分是由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种色光按不同的

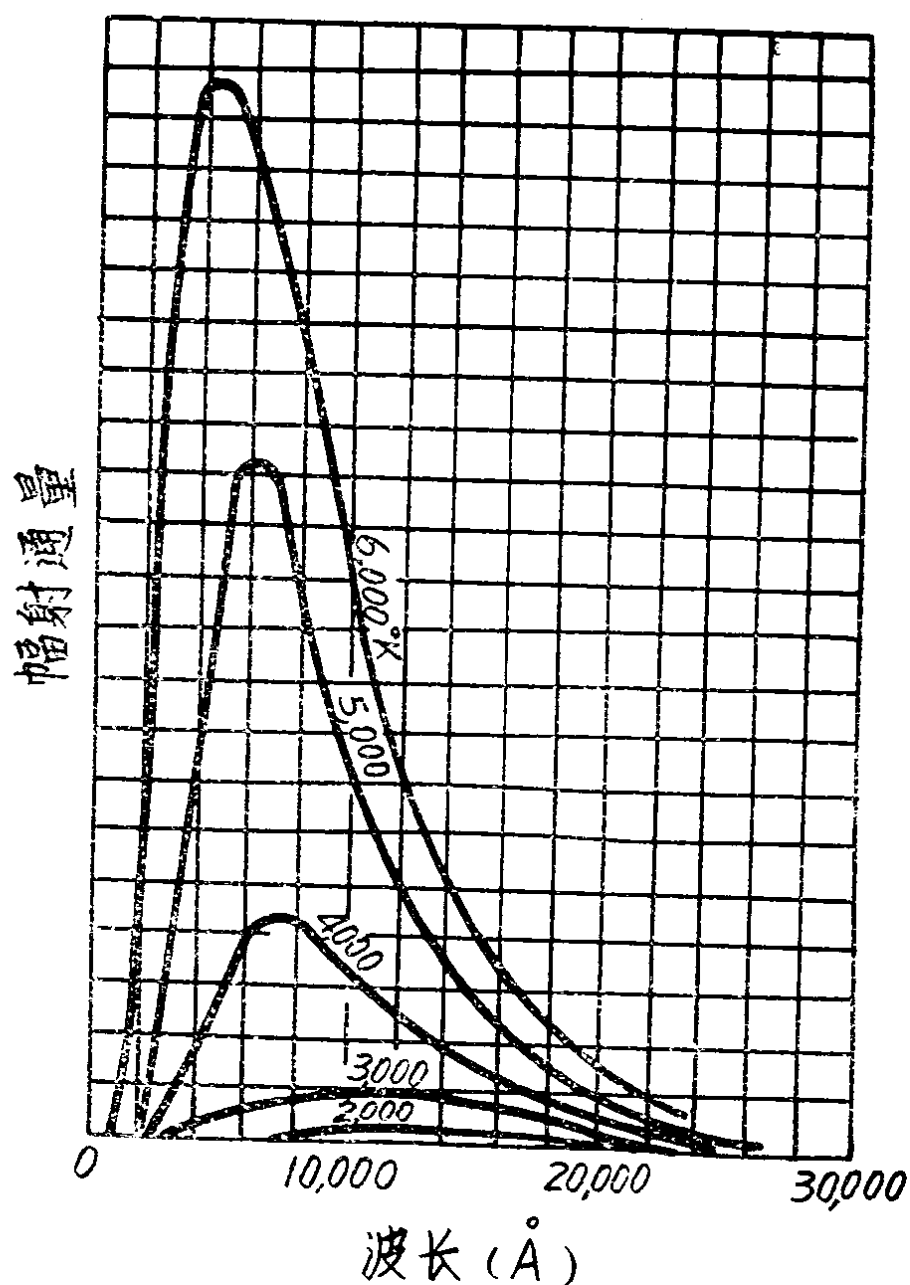


图1.3 黑体的温度辐射

比例合成的。太阳光谱除去可见部分（红到紫）之外，还有不可见的红外线（比红光频率低的）和紫外线（比紫光频率高的）。红外线具有很强的热作用，紫外线具有较大的化学作用。

〔2〕钨丝灯

现代钨丝灯的形式和大小各不相同，并且已经成为许多实