

f a g u a n g y u x i a n s h i j i s h u

应用物理技术丛书

发光与显示技术

FAGUANG YU XIANSHIJISHU

杨志平 李志强 著



河北大学出版社

应用物理技术丛书

发光与显示技术

杨志平 李志强 著

河北大学出版社

责任编辑:刘 婷

封面设计:赵 谦

责任印制:蔡进建

发光显示技术

图书在版编目(CIP)数据

发光与显示技术/杨志平,李志强著. —保定:河北大学出版社,2006.12

ISBN 978-7-81097-015-0

I.发... II.①杨...②李... III.①发光材料-高等学校-教材②显示-高等学校-教材 IV.①TB39②TN27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 147211 号

出版:河北大学出版社(保定市五四东路 180 号)

印制:保定天德印务有限公司

印张:15.5

版次:2007 年 12 月第 1 版

经销:全国新华书店

规格:1/16(787mm×1092mm)

字数:377 千字

印次:2007 年 12 月第 1 次

ISBN 978-7-81097-015-0/O·35

定价:35.00 元

《应用物理技术丛书》编委会

主 编：傅广生

副主编：郭庆林

编 委：薛国良 韩 理 徐景智 刘志强
杨志平 王银顺 于 威

编写说明

一般说来,综合性大学物理类专业的基础理论课程建设已经定型,而应用物理技术类的通用专业课程建设各类院校发展却很不平衡,大都处于探索阶段。尤其是结合经济建设、科技进步和社会发展实际需要及学校自身特点来建设此类课程更是教学改革中一项有重要意义的研究课题。

1998年教育部颁布新专业目录之后,我校对物理类专业的建设方向进行了整合,本套丛书是以我校物理学院下属的四个研究所(光学与材料物理研究所、发光与显示技术研究所、静电研究所和生物物理技术研究所)为依托,为了建设应用物理技术类的通用专业课程而编写的一套体现我校特色的专业教材。

我校应用物理技术类的四个研究所的相关研究成果(如静电除尘与防护技术、发光与显示技术、等离子体诊断技术以及激光与红外应用技术、光纤传感技术等)在国内已得到广泛推广并收到很好的效果。以这种科研成果为依托来设置课程、编写教材会在一定程度上改变传统专业课程教学的模式,为培养创新型人才探索一种新的教学思路。

本套教材的编写从2000年起步,并已列为河北省新世纪重点教改项目,所有教材均已经过几轮试用,将由河北大学出版社陆续出版。

本套丛书的书目如下:

《发光与显示技术》、《光纤传输与传感》、《应用光谱技术》、《激光技术》、《静电技术》、《红外技术》、《信息物理技术》、《等离子体技术》。

目 录

绪 论	(1)
第一节 光与信息显示	(1)
第二节 发光——显示技术的重要科学基础	(2)
第三节 显示技术	(4)
第一章 光的性质和性能测量	(7)
第一节 光和光源	(7)
第二节 光度学基础	(12)
第三节 色度学基础	(23)
第二章 物体的发光和光的调制	(34)
第一节 晶态材料	(34)
第二节 能带理论	(44)
第三节 发光中心	(53)
第三章 发光材料和显示性能	(60)
第一节 材料发光性能的表述	(60)
第二节 发光材料的构成和制备	(62)
第三节 光致发光材料	(71)
第四节 阴极射线发光材料	(76)
第五节 电致发光材料	(82)
第六节 显示性能	(93)
第四章 阴极射线管显示器(CRT)	(96)
第一节 CRT 显示器的发展及特征	(96)
第二节 CRT 结构及工作原理	(97)
第三节 彩色 CRT 的性能参数	(104)
第四节 CRT 的扫描方式	(105)
第五节 各种平板 CRT 显示器	(108)
第六节 CRT 的应用与发展	(112)
第五章 真空荧光管显示器(VFD)	(116)
第一节 VFD 显示器的基本结构和工作原理	(116)
第二节 VFD 器件的电光学特性	(117)
第三节 VFD 器件的主要构成材料及制作	(121)
第四节 VFD 的驱动和彩色实现方法	(123)
第五节 VFD 器件的功耗	(127)
第六节 VFD 的应用与发展	(129)

第六章 场发射显示器和场离子显示器	(131)
第一节 场发射显示器(FED)	(131)
第二节 场离子显示器(FID)	(139)
第七章 等离子体显示器(PDP)	(146)
第一节 PDP 的特征	(146)
第二节 彩色 PDP 的放电特性和工作原理	(147)
第三节 PDP 的结构及驱动方式	(152)
第四节 AC-PDP 的主要部件和制作工艺	(157)
第五节 PDP 技术的发展动向	(164)
第六节 PDP 的应用与前景	(165)
第八章 电致发光平板显示器	(167)
第一节 电致发光显示的特点和分类	(167)
第二节 电致发光器件的结构、工作原理和特性	(169)
第三节 平板电致发光器件的构成材料与制作方法	(180)
第四节 平板电致发光器件的驱动	(184)
第五节 平板电致发光显示器件的应用与发展	(186)
第九章 发光二极管显示(LED)	(188)
第一节 LED 的结构和 p-n 结的特性	(188)
第二节 LED 用材料及发光性能	(191)
第三节 LED 器件制备技术	(197)
第四节 LED 的特性	(204)
第十章 液晶显示器(LCD)	(214)
第一节 显示原理	(214)
第二节 LCD 的结构与制作	(229)
第三节 LCD 的技术参数	(231)
第四节 LCD 的驱动方式	(233)
第五节 液晶显示器的应用与发展	(236)

绪 论

第一节 光与信息显示

人类在远古时代就知道了光,并充分认识了光的重要性。古老的神话中常常将能够发光的物体奉为神明,围绕太阳、星座等自然发光体诞生了许多神奇而美妙的传说。原始的哲学把光和火焰视为世界万物之源,反映了人们追求光明的朴素感情。在漫长的人类发展史上,人们有很长时间依靠自然的阳光生活,日出而作、日落而息,反映了当时的无奈。钻木取火标志着人类由自然王国到自由王国的飞跃,这第一把人造火焰带来的光明开创了由奴隶社会到封建社会的农耕文明。18世纪电的发明突破了人造光源只有火焰的局限。利用电,19世纪中叶实现了弧光照明,1859年试制了日光灯,1960年获得了激光。现在的人造光源已经是千姿百态,丰富多彩。长期以来,光的获得一定伴随着热能产生,随着科学技术的发展,人们开始能够将包括电能在内的各种能源直接转化为光,这种新兴的获得光的方式就是发光学所研究的主要内容。

从原始社会开始,人类在生活中就在时刻不停地接收和发出信息。人们生存于自然界,生活于社会,时时刻刻都在与外部交流信息。最初,人们借助语言、手势、体态等向外界发出信息,通过眼、耳、鼻、舌、身从外部获取信息,可以想见,其范围所及十分有限。统计表明:在人类获取信息的方式上,视觉信息占有所有获得信息总量的90%以上。而通过听觉、嗅觉、味觉、触觉等方式获得的信息不到获取信息总量的10%。可见,大量而丰富的信息来自与眼睛有关的视觉。视觉信息不仅数量大,更重要的是准确、即时、可靠。随着人类社会的进步和发展,人们试图通过各种技术手段,突破依靠人体范围所及的古老信息传递模式,进行更广泛、更迅速的信息交流。在这个过程中,由于视觉信息的重要性,人们首先想到将各种其他信息转换成可以用眼睛看到的视觉信息。这种将各种信息转化为视觉信息再传达给观察者的过程,即称之为“显示”。这种转化、传达的技术称之为“显示技术”。

在人类从野蛮到文明转化的过程中,火的使用是一个伟大的里程碑。伴随火而生的光,不仅为人类带来了光明,也成了人们最早用来传播信息的技术方式。“烽火”、“狼烟”这些古老传递信号的方式虽然简单,但其意义影响深远,它是人类对显示技术的最早尝试。因为在此之前,声音是人类最快的信息传递方式,而利用光来作为信息传递的工具,不但加快了传递的速度,更重要的是将所要传递的信息进行了光信号的编码,并利用接力的方式,大大延伸了信息传递的距离。

从本质上讲,人的视觉就是对光信号的感觉。这种感觉包含两个方面:所接受总光能量的大小给人眼的感觉是明亮程度,光能量低于人眼对光的灵敏阈值时人眼的感觉是黑暗,高于灵敏阈值时是明亮,光能量越高,人眼的感觉是越亮;单个光子的能量给人眼的感觉是颜色,在可见光的波长范围内,从短波到长波依次感觉为从蓝到红的颜色变化。光明和色彩给了人类丰富多彩的形象感觉。

通过视觉获取信息的方式,主要分为两种类型:文字信息和图形信息。文字信息以规定的文字符号和语法规则对信息进行语言描述,而图形信息则是对所要传递的信息进行形象化的影像表达。两者都必须借助光来进行显示。为了使人们能够看到视觉信息,可以采用两种方式:一种是将外界光源发出的可见光投射到所要显示的信息载体上,部分光能量被信息载体选择性吸收,其余部分通过反射被眼睛接受,产生视觉信息。一种是使信息载体直接形成光信号,也就是信息载体主动显示出色彩和亮度,不需要再另加外界光源就能被眼睛所接受。由意及名,前一种显示形式被称为被动显示,后一种显示形式被称为主动显示。

对于被动显示来说,外界光源的光强和频率恒定,信息显示是通过显示材料对外界光的调制来实现的,这类显示材料被称为被动显示材料。而主动显示则是通过改变显示材料的发光强度和颜色来实现信息显示,这类材料被称为主动显示材料,由于这类材料可以主动发光,因此又称为发光显示材料。

第二节 发光——显示技术的重要科学基础

人类天生喜爱图像。现代信息交换技术的主要特征之一,是作为人-机界面的显示器的发明和使用。通过显示器,人们可以获得信息、交流信息,从而极大地拓展了自己对社会的参与范围,并且在更广阔的领域内享受生活。

传统上,人们通过视觉获取图像信息,所依靠的是太阳提供的环境光。阳光使周围的物体显示出明暗和颜色,从而被人眼所感觉,获得的视觉信息通过大脑去处理和分析。随着电子信息技术和光信息技术的出现和发展,信息传输的距离已经远远超出人眼所及的范围。也就是说,现代社会人类获取的大量信息必须经过人造光的复原,才能通过视觉去获取。

在现代生活中,其实不仅仅是信息的获取需要研究人造光,在夜晚、隧道和地下室等没有阳光照明的情况下也往往需要人造光实现照明。可以发电以后,人类最早使用白炽灯作为人造的照明灯具。

以白炽灯为代表的一类人造光源通过电流来加热灯丝,随着电流的加大,灯丝的温度升高。低温时灯丝的颜色仍是黑色的,但可感受到它辐射的热量;当温度升到 500°C 左右时,它开始呈现出暗红色。随着温度的进一步升高,它的辐射逐渐增强,颜色逐渐变为橙红、白以至蓝白。这种产生光的现象称为热辐射。热辐射的共同特征是:随着温度的升高,辐射的总功率增大,辐射的光谱分布向短波方向移动。实际上,任何温度的物体都有热辐射,只不过在较低温度下辐射不强,而且主要是人眼看不见的红外线。要靠辐射有效地产生可见光,物体的温度应该足够的高。

我们白天见到的自然光则来自太阳,太阳好比一个燃烧的大火球,它通过热核反应产生巨大的能量,使太阳表面的温度高达 5800°C ,在这一温度附近,热辐射中的可见光部分较强,它引起人眼的感觉是白光。对人造光的首要要求,是其辐射的光谱必须尽量接近太阳在地球表面所形成白昼光的光谱。要使炽热体的光谱和白昼光相近,就要把炽热体加热到太阳表面的温度—— 5800°C ,这时所有的固体都将液化或气化了。因此,炽热体的光谱最大值一般在红、橙色波段,并且,它辐射的能量的 90% 落到了看不见的红外部分。

以热辐射的形式获得可见光,所吸收的能量必须首先转换成物体的热能,物体达到一定温度时,才能产生光的发射。很明显,这种产生光的过程,由于必不可少地伴随热过程,能量

的转换效率不可能太高。同时,由于获得可见光需要几千度的高温,这类光源作为显示器显然不合适。

除上述的热辐射之外,还有另外一种光的发射。这种光的发射不需要提高物体的温度,俗称冷光。自然界存在这种发冷光的现象,如:萤火虫发出的光、海中一些动物如发光鱼等发出的光以及常说的“鬼火(磷光)”等。

冷光是物体在外界的某种激发下偏离热平衡态时由激发态到基态的跃迁所产生的辐射,它是一种非平衡辐射。发光、散射、契连科夫辐射都属于这类非平衡辐射。这类非平衡辐射中,对发光现象的研究构成了人造光源和显示技术发展的重要基础。

由于光的辐射是物体中电子从高能态往低能态的跃迁产生的,物体要发光,首先就得使物体中的电子处于高能态。在热平衡时电子处于高能态的几率是由温度决定的,如果能使电子处在某些更高的能态,让电子在不同能态上的分布偏离与辐射体所对应的热平衡分布,那么,从这些高能态跃迁而来的光辐射就会比相应温度下同样波长的辐射(即热辐射)强很多。这种以某种方式把能量交给物体使电子提升到一定高能态的过程,称为激发过程。发光就是把所吸收的激发能转化为光辐射的过程。发光只在少数中心进行,不会影响物体的温度。显然,用这种方式可以更有效地把外界提供的能量转化成我们所需要的可见光,不像热辐射的情形,以升高温度来得到我们所要的光辐射的同时,物体必定发射出许多我们不需要的辐射。因此,发光有更高的能量转换效率。

在发光过程中,发光物质从外界吸收能量,引起内部合适的激发。经过调整,然后发出反映这个物质特征的光来。这些物质的发光过程基本上都是相同的,但它们吸收能量的来源可以迥然不同。通过分析发光所吸收能量的来源,可以将发光分成如图 0-1 所示的类型。

在各种形式的发光过程中,发光物质可以通过吸收各种能量,如:物理能(电能、光能、高速粒子动能、辐射能、机械能等)、化学能、生物能,经过转换发出所需要的光来。由于每种物质的发光反映其内在性质,一方面,可以通过改变物质的成分和结构获得所需要的发光效应;另一方面,通过探测所发出光的性质,可以反过来研究发光物质本身。因此,发光在许多方面获得了广泛的应用,如:高效新型光源、各种主动型显示器件、荧光诊断等。

由于信息显示器件是将人眼所看不到的信息转变为可见的光学信息,发光材料责无旁贷地构成了信息显示的主要材料基础。

发光材料的种类很多。自然界中的很多物质都或多或少的可以发光。比较有效的发光材料有无机化合物,也有有机化合物;有固体、液体,也有气体。但目前显示技术中所用的发光材料主要是无机化合物,而且主要是固体材料,少数也用气体材料。在固体材料中,又主要是用禁带宽度比较大的半导体。其中用得最多的发光材料是粉末状的微晶,其次是单晶和薄膜。



图 0-1 发光的类型

第三节 显示技术

显示设备通常包括两个接口,它一方面和信息源相接,称为输入接口;另一方面又和观察者联接,称为输出接口,即显示器。输入接口要求信号转换效率高,寻址及擦除迅速,响应速度快等。输出接口则要求显示器有合适的发光亮度、颜色、对比度、灰度级、分辨率、均匀度、视角及显示面积等。

显示技术具有很多功能。按照它们某一重要功能的差异,有以下几种分类方法。

1. 主动式显示及被动式显示

在主动式的显示中,像元本身就是光源,可以发射反映信号特点(如强弱、快慢、位幅等)的光,白天黑夜都能使用。

在被动式的显示中,像元只能靠环境光的照射而显示出来。环境光越强,显示越清楚。这种显示只能用于白天或有照明的地方。

2. 稳态及瞬态显示

稳态显示用来显示不变化的信息。

瞬态显示则显示随时间而改变的信息,要求显示的反应速度很快。否则显示前一信息的图像会与显示后一信息的图像重合。

3. 亮暗显示及灰度显示

亮暗显示只有一种亮度,有无信号用有光或无光表示。字符、数字及状态显示通常就用这种方法。

灰度显示则要求像元的亮度要有层次,以反映信号的强弱,用灰度级表示。显示图像必须用此方法。

4. 黑白及彩色显示

黑白屏只有某一种显示颜色,通常是在无光的背景上用白色显示,或者在有光的背景上用黑色显示。

彩色显示的像元通常是由可以发出三种基本颜色,即红、绿、蓝色光的材料镶嵌而成。这种显示不仅图像鲜明艳丽,而且表现的层次较多,可以显示更多的信息。

5. 实时显示及存储显示

实时显示所反映的是当时的信息。虽然显示出来的字符或图像和真实过程发生的时间相比,仍稍有延迟,但这个时差是很小的,为毫秒至微秒级。

存储显示所反映的是过去某一时刻的信息。这个时期可以很长,从收到信息到显示出来后,图像一直保持着。但也可以在收到信息后存储起来,等有需要时再显示。

6. 单一屏显示及复合屏显示

单一屏显示比较简单,它直接把信息转换成光信号。

复合屏则是把不同功能的屏连接在一起,经过转换才能实现显示的功能。例如,信息可以接配开关元件,使像元连通驱动电源,从而实现显示。

这两种屏都能做实时显示或存储显示,但要用合适的材料。例如,用单一屏做存储显示时,显示材料必须有存储性能。用复合屏做实时显示时,则需要用反应快的敏感控制层。

同一显示技术可以兼具几种性能。

在信息化社会迅猛发展的今天,对显示技术的要求更加多种多样,应用也更加广泛。信息显示内容和形式的多样性决定了显示材料必须具有不同的光转换功能,很显然,材料是显示技术的基础。

在主动式显示中,像元本身在某种方式的激发下发出光来,这依靠像元上使用的发光材料。所使用的材料,决定了显示器所提供的能量激发形式,由于这些形式的激发能量中含有电子信息内容,又决定了显示器的结构。

使用阴极射线发光材料的显示器在电子束激发下实现发光显示,这类显示器有真空荧光示波管、显示管及显像管,以及最新发展的场发射显示和场离子发射显示等。

使用电致发光材料的显示器在电场直接激发下实现发光显示,这类器件包括由高压驱动的电致发光屏及低电压驱动的发光二极管。

使用光致发光材料的显示器在紫外光的激发下实现发光显示,这类显示器有等离子体显示器等。光致发光材料还有其他一些重要的用途,用来检测紫外光;用作照明材料制成日光灯、三基色灯等。现在还有一类把不可见的红外光转换为可见光的上转换材料,这种材料仍属光致发光材料的范围。但这种上转换现象需要在较强的红外光激发下才易实现。激光器出现后,这个要求可以满足。用上转换材料做的屏可以显示激光输出的断面强度分布,即显示其光场分布。

在X射线激发下发光的发光材料,可以做成高分辨率的X射线荧光屏或X射线照相用的增感纸。

有一些晶体可以在射线的激发下发光,这类材料的发光寿命一般都较短,所以它又被称为闪烁晶体。利用这种发光材料可以检测 α 、 β 、 γ 射线及快、慢中子等。

另外,在显示技术中还有使用气体的发光。这是一种使气体处于等离子体状态的发光现象,氖灯、霓虹灯利用这种发光形成显示。

在被动式显示中,必须有足够明亮的环境光,同时利用某些显示材料在信号(例如电信号)作用下光学性质(如折射率、吸收率等)或其他性质的变化。也就是说,环境光与显示材料相互作用后,输出光发生了与信号相对应的变化而显示出来。

目前,在这个领域中发展最快的是液晶显示。它已经广泛地应用于计算机显示器、手机、仪表、时钟等显示中。其余像电着色材料、电泳材料、油膜光阀、金属膜光阀、铁电材料、铁磁材料、热塑材料等有的在试用,有的还处于试验阶段。

有代表性的显示器件如图0-2所示。

随着以电视为代表的大众传媒图像显示装置的广泛普及,随着以计算机为代表的各种信息处理装置的迅速发展,显示器件向固体化、平板化、低驱动电压、低功耗的方向演化。因此,显示技术一方面在传统类型的基础上改进和完善,另一方面,在各类显示技术之间开始发生相互的借鉴和融合,推动了新的显示技术不断涌现。显示技术的快速发展,也对显示材料提出了更高的要求,从而成为发光学的研究和发展的动力。

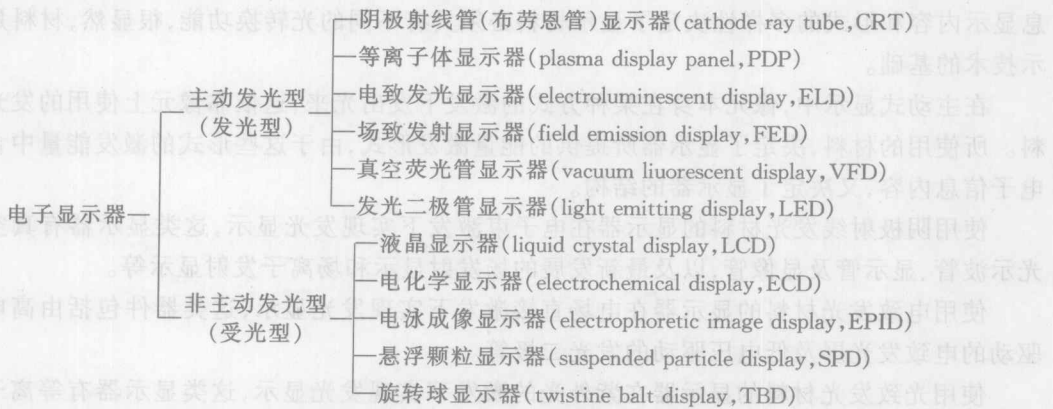


图 0-2 有代表性的显示器件

参考文献

- [1]徐叙瑛主编,《发光材料与显示技术》,北京,化学工业出版社,2003.01。
- [2]中国科学院吉林物理所、中国科技大学(固体发光编写组),《固体发光》,1976.03。
- [3]余宪恩编著,《实用发光材料与光致发电机理》,北京,中国轻工业出版社,1997.12。
- [4]田民波编著,《电子显示》,北京,清华大学出版社,2001.05。
- [5]孙再吉,《平板显示器件技术与进展》,《光电子技术》,2002 年第 1 期。

第一章 光的性质和性能测量

第一节 光和光源

一、光的性质和光源的种类

光是人眼能够感觉到的波长在一定范围内的电磁波。现代物理学认为：光是既有波动性，也有粒子性，即具有波粒二象性的客体。光所携带的能量由普朗克关系式 $E=h\nu$ 确定，具有明显的量子化特征。光子是电磁波能量和动量的量子化。同时，光在传播和与物质作用时，表现出反射、折射、干涉、衍射、偏振等波动性质。电磁波是光子的几率波，电磁波振幅的平方表示光子出现的几率大小。

所有能够辐射出光的物体，都可以称为光源。太阳、恒星等为自然光源，而蜡烛、各种灯具、激光器等为人造光源。

光源从能量的角度来看，是一种光量子辐射体。根据能量守恒定律，光的发射既然是一种能量辐射，就需要有某种能量的补给来维持。按照能量补给的方式，光的发射可以分成以下两大类。

1. 热辐射

不断给物体加热来维持一定的温度，物体就会持续地发射光。这种在一定温度下处于热平衡状态下物体的辐射，叫做热辐射或温度辐射。太阳、加热的钨丝、燃烧的煤等所产生的光的发射属于此类。

热辐射的一般特征是：处于 $0K$ 以上温度的物体都发出一定的热辐射，随着温度的升高：①辐射的总功率增大；②光谱峰值由长波方向向短波方向转移。

2. 光的非热发射发光

某些物质不依靠热能补给能量，而是靠其他能量补充来实现光辐射，这种现象称为发光。根据能量补给的不同，发光可以分为以下几种：

光致发光

光的照射

电致发光

气体放电或固体受电场的作用

阴极射线发光

电子束的轰击

放射线发光

核辐射的照射

X 射线发光

X 射线的照射

化学发光

化学反应

生物发光

生物过程

光的非热发射与热辐射相比，具有转换效率高的特点。

可以实现发光的固体材料称为固体发光材料。固体发光材料不但能量转换效率高，同时，可以非常方便地制成平面光源和固体化的平板式显示器件，因此成为新一代发光和显示

器件的主要研究对象。

应当指出,能量形式可以相互转化,上述光的各种发射过程多数情况下不能截然分开,同一光源中光的发射过程也往往不是单一的。

各种形式的光发射都是辐射体内部的电子在不同能量状态间跃迁的结果,而对应的能量补给则是以各种不同的能量形式激发电子从低的能级向高的能级跃迁。

二、光辐射的特征

光辐射的特征一般可以用五个宏观光学参量来描述。即辐射能量、光谱、相干性、偏振度和辐射时间。

1. 辐射能量

辐射度学是一门研究电磁辐射能测量的科学。在电磁辐射测量中,辐射度学的基本概念和定率都是适用的,但是对于电磁辐射的不同频段,由于其各自的特殊性质,又往往有不同的测量手段和方法。

电磁辐射是一种能量辐射,辐射亮度是表征辐射源辐射能量强弱的一个宏观物理量。从绝对能量的角度,辐射亮度的概念由下述定义推导而来。

(1) 辐射能(Q)

简称辐能,用来描述以辐射的形式发射、传播或接收的能量。单位是焦耳(J)。

(2) 辐射通量(Φ)

单位时间内通过面积元 $d\sigma$ 的能量,称为通过 $d\sigma$ 的辐射通量。是以辐射的形式发射、传输或接收的功率,用以描述辐射能的时间特性。

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (1-1)$$

辐射通量的单位是瓦(W)。

(3) 辐射强度(I)

定义为在某传输方向上的立体角元内辐射源所发出的辐射通量除以该立体角元。即单位时间、单位立体角内所辐射的能量。

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1-2)$$

辐射强度的单位是瓦/球面度(W/Sr)。

(4) 面辐射度(M)

对于实际的辐射体,由于占有一定的面积,因而常用面辐射度来度量辐射体的辐射能力,定义为辐射源表面某处面元的辐射通量除以该面元的面积,即:

$$M = \frac{d\Phi}{ds} \quad (1-3)$$

该面元所对应的立体角应当是辐射的整个半球空间(在 2π 立体角内)。面辐射度的单位是瓦/平方米(W/m^2)。

(5) 辐射照度(E)

落在被照射物体单位面积上的辐射通量数值,称为辐射照度。定义为表面某处面元被照射(或接收)的辐射通量除以该面元的面积,即:

$$E = \frac{d\Phi}{ds} \quad (1-4)$$

辐射照度的单位是瓦/平方米(W/m^2)。

它和面辐射度具有同样的定义方程和单位。面辐射度和辐射照度分别用来描述辐射源微面元发射辐射通量和接受面微面元接收辐射通量的特性。

(6) 辐射亮度(L)

辐射亮度是辐射源在垂直其辐射传输方向上每单位光源面积在单位立体角内发出的辐射通量。它的具体计算为:光源表面上某面元在给定方向上的辐射强度除以该面元在垂直于给定方向的平面上的投影面积,如图 1-1 所示。

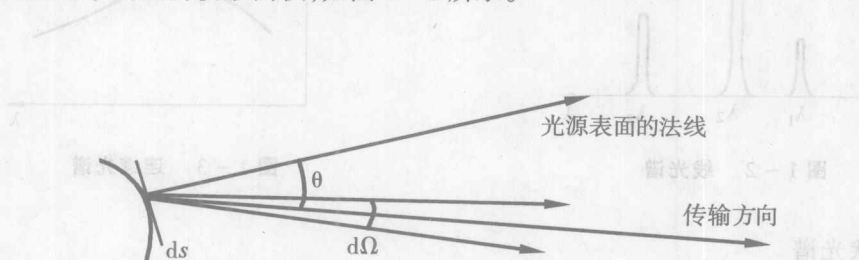


图 1-1 辐射亮度的定义

具体表示为:

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega ds \cos\theta} = \frac{I}{ds \cos\theta} \quad (1-5)$$

L 就称为面辐射元 ds 在角 θ 所决定的方向上的亮度。

L 的数值与辐射面的性质有关,并且随给定的方向而变。通常以瓦/(球面度·平方米)($\text{W}/(\text{Sr} \cdot \text{m}^2)$) 为单位。

应该指出,上述对辐射能量的定义是从光辐射的绝对能量的角度考虑,也适用于一切波长的电磁波。

2. 光谱

光谱是电磁辐射的强度按波长分布的记录。

用光谱仪或其他的分光仪器可以把光按波长展开,记录不同波长成分的强度,就可以得到光源所辐射出光的光谱。

单一波长的光叫单色光,否则是非单色光。

在我们用分光仪器对各种光源发出的光进行分析时,会发现它们大都不是单色光。令 dI_λ 代表波长在 λ 到 $\lambda + d\lambda$ 之间的光的强度,则:

$$i(\lambda) = \frac{dI_\lambda}{d\lambda} \quad (1-6)$$

代表单位波长区间的光强。 $i(\lambda)$ 叫做谱密度,非单色光的 $i(\lambda)$ 按波长的分布,即为光谱。总光强 I 与谱密度 $i(\lambda)$ 的关系是:

$$I = \int_0^\infty dI_\lambda = \int_0^\infty i(\lambda) d\lambda \quad (1-7)$$

不同的光源可以发出不同的光谱。从光谱的形状来分,光谱可以分为两类。

(1) 线状光谱

一些光源,如气体或金属蒸气放电、固体中稀土离子的发光等的发射光谱如图 1-2 所示。光强集中在一些分立的波长值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ 附近形成一条条谱线,这种光谱叫做线光谱。线光谱一般反映的是原子外层电子的能级跃迁。

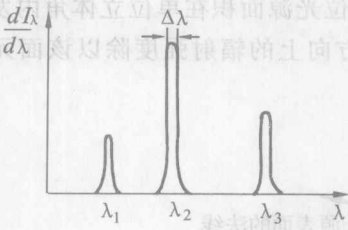


图 1-2 线光谱

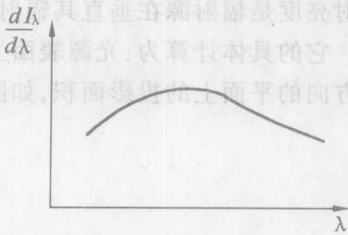


图 1-3 连续光谱

(2) 带状光谱

一些光源,如热辐射光源和一些掺杂晶体发出的光谱在很大的波长范围内连续分布,如图 1-3 所示。这种光谱称为连续谱。连续谱反映了光源内部比较复杂的能量跃迁关系。

3. 相干性

光作为一种电磁波,与机械波和声波一样,在符合一定条件时,两列波在某一点的振动合成遵从波的迭加原理。

因波的迭加而引起的强度重新分布的现象,称为波的干涉。设 $I_1(P)$ 和 $I_2(P)$ 分别是两列波在场点 P 处的强度, $\delta(P)$ 是两波在 P 点的相位差,则两波在 P 点的迭加强度为:

$$I(P) = I_1(P) + I_2(P) + I_1(P)I_2(P)\cos\delta(P) \quad (1-8)$$

式中最后一项称为干涉项。

波产生干涉的必要条件有三条:

- ① 频率相同;
- ② 存在平行的振动分量;
- ③ 相位差稳定。

此三条统称为相干条件。

尽管都属于波动,但光波与机械波等宏观波动相比,仍有其很强的特殊性。因为无线电波、声波是由宏观波源发出的,其相位差和干涉场的稳定性是不成问题的。而对于光波来说,波源是原子、分子等微观客体,发光过程是一种量子过程。

4. 偏振度

光在各向同性的媒质中传播时,其折射率固定不变,偏振度一般也不发生改变。

当光在各向异性的媒质中传播时,则不但发生双折射现象,同时也导致它的偏振度发生改变。

假如让一束平行的自然光束正入射在冰洲石晶体的一个表面上,我们就会发现光束分解成两束。按照光的折射定律,正入射时光线不应发生偏折。而上述两束折射光中的一束确实在晶体中沿原方向传播,但另一束却偏离了原来的方向,后者显然是违背普通的折射定