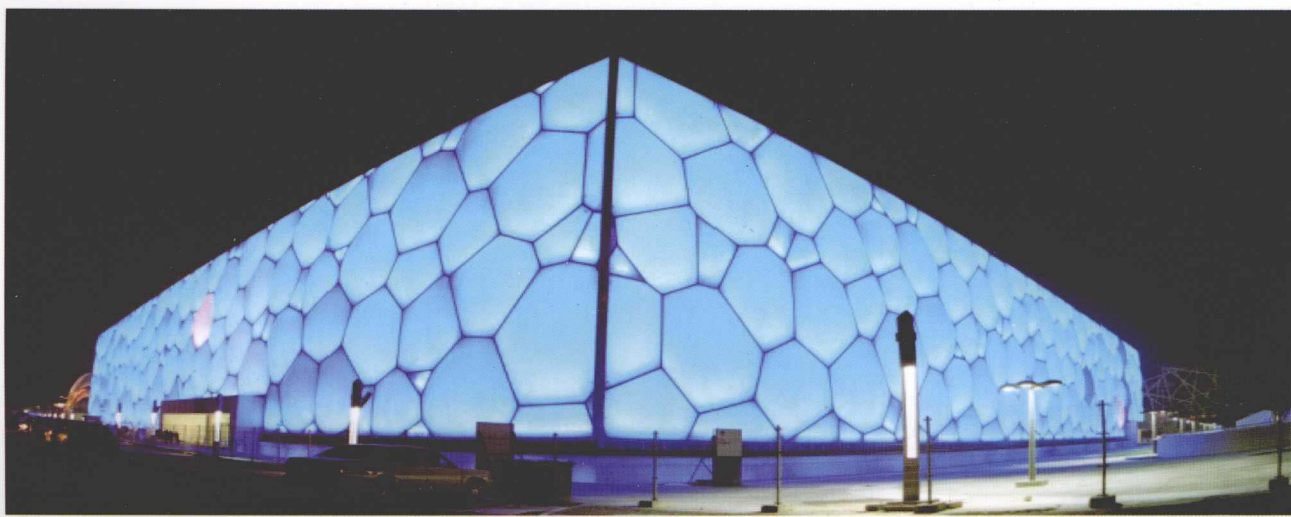


CCDI 科技系列丛书



半导体照明工程技术



李兴林 主编

中国建筑工业出版社

半导体照明工程技术

李兴林 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

半导体照明工程技术/李兴林主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 1
ISBN 978-7-112-12831-0

I. ①半… II. ①李… III. ①发光二极管-照明技术 IV. ①TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 264841 号

责任编辑: 刘江 张磊

责任设计: 张虹

责任校对: 陈晶晶 刘钰

半导体照明工程技术

李兴林 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京世知印务有限公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/16 印张: 28 $\frac{3}{4}$ 字数: 810 千字

2012 年 2 月第一版 2012 年 2 月第一次印刷

定价: 69.00 元

ISBN 978-7-112-12831-0

(20077)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《半导体照明工程技术》参编人员

主 编	李兴林	中建国际（深圳）设计顾问有限公司
副主编	曹卫东	北京海蓝齐力照明设备安装工程有限公司
	董 青	中建国际（深圳）设计顾问有限公司
	梁秉文	中科院苏州纳米技术及纳米仿生研究所
	李 农	北京工业大学建筑与城规学院
	肖志国	大连路明集团
	张青虎	同方光电环境公司

(以姓氏拼音为序)

第 1 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	李兴林
第 2 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	李兴林
第 3 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	董 青
第 4 章	大连路美芯片科技有限公司	陈向东
第 5 章	南京汉德森科技股份有限公司	刘乃涛
	中科院苏州纳米技术及纳米仿生研究所	梁秉文
第 6 章	北京工业大学建筑与城规学院	李 农 李 澄
第 7 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	李兴林 田洪涛
		胡国庆
第 8 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	李兴林
第 9 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	董 青
第 10 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	刘文捷
	北京利亚德电子科技有限公司	韦启军
第 11 章	同方光电环境公司	张青虎
第 12 章	北京工业大学建筑与城规学院	李 农 李 澄
第 13 章	北京海蓝齐力照明设备安装工程有限公司	刘 锋
第 14 章	中建国际（深圳）设计顾问有限公司	李兴林

参加第4章编写的还有大连路美芯片科技有限公司的杨天鹏、杨东、柯志杰、曾凡明、刘婷婷、张学双、武锐、武胜利等。

序

半导体照明(LED)以其耗电少、寿命长、方向性好、色彩丰富、耐震动、可控性强等特点,近年来得到迅猛发展和广泛应用,被称为是继白炽灯、荧光灯之后照明光源的又一次革命。而半导体照明技术又是一项有关节能、环保、新材料等21世纪高新技术的重要技术领域,它的应用领域广泛,产业带动性强,节能潜力大,将对我国转变经济发展方式、调整传统产业结构、培育新的经济增长点具有重要的意义。

半导体照明(LED)自问世以来就备受瞩目,我国和美国、日本及欧洲等国家都制定了本国半导体照明的发展路线图,将其列为战略性高技术产业,并出台各种政策开展半导体照明产业的示范应用和推广工作。近年来,我国半导体照明产业关键技术研发取得成效,产业规模迅速扩大,部分应用示范工程效果显著,标准检测体系建设逐步推进,半导体照明产品已在背光、显示、交通信号、装饰照明等领域得到广泛了应用,而且逐步向功能性照明中的道路照明、景观照明、汽车照明以及室内照明等普通照明应用领域扩展,显现出十分广阔的应用前景。因此,学习、普及和掌握半导体照明技术是当前照明界内的一件紧迫任务。

2008年北京奥运会的成功举办,实现了中华民族的百年梦想。国家游泳中心(水立方)是北京奥运会的主要体育比赛场馆之一。水立方依它优美的造型,良好的建筑功能,获得了各国政要和运动员的好评。特别是它的LED夜景照明工程开创了我国名LED在建筑物景观照明示范应用之先河,让人们过目不忘、流连忘返。它开启了LED技术和产品在夜景照明工程中应用的新时代。随后,在2010年上海世博会、广州亚运会等众多场馆和城市照明建设中,LED在夜景照明应用中大放异彩。它使得我们可以用光色的语言表达一个国家、民族的历史文化,丰富了城市夜间光环境的内涵,提高了城市夜景照明的文化品位。

中建国际作为国家科技部、北京市政府支持下的两个重大研究课题,《国家游泳中心半导体照明规模化系统集成技术研究》和《奥运场馆LED照明—LED在国家游泳中心建筑物景观照明工程上的应用研究》的技术组长单位,在有关科研院所、高校、企业的支持和配合下,经过大量实验,克服各种困难,使得水立方LED景观照明科研与设计工作取得了成功。

为总结水立方LED景观照明的研究成果,普及半导体照明(LED)工程知识,由中建国际李兴林先生组织参加水立方实验、研究、设计的有关专家,编写了《半导体照明工程技术》一书奉献给大家。这本书较为系统地介绍了半导体照明工程方面有关理论、设计、标准检测和技术规范,具有一定理论深度,反映了LED照明的最新技术成果。可为目前从事有关半导体照明技术的工程技术人员、高等院校师生、研究人员学习参考。

中国照明学会理事长 王锦燧

2011年7月15日 北京

致 谢

Acknowledgments

光与色彩，是建筑美学中永恒不变的重要主题。现代建筑照明技术的长足发展，为建筑美学的视觉传达注入了新的元素。LED 半导体照明工程技术作为一门日渐成熟的科技手段，从奥运场馆到世博展馆，在多个重要工程项目中得到应用，不仅为我们的设计作品和城市环境增色不少，也体现出当代建筑文化背后的科技进步，实在是可喜可贺的现象。

从国家游泳中心项目开始，李兴林先生与他的科研团队对 LED 照明所涉及的产品及工程的特殊问题进行了全面的研究。特别在 LED 景观照明设计，照明电源与驱动系统、照明控制系统等技术环节的研究，取得了较大的成就，达到了国际一流的研究水准。在此基础上，科研团队系统地总结了 LED 照明科技的各个方面，编写了《半导体照明工程技术》一书，将为半导体照明的工程设计和产品的发展做出了贡献。

对 CCDI 而言，这本沉甸甸的研究成果还有更大的意义——它将照明设计从传统意义的电气专业分离出来，成为一门极具潜力的新兴学科，也促成了一系列新的设计服务产品的诞生，体现出人类不懈提升人居环境品质的智慧和实践。我们衷心感谢李兴林先生和他的团队为这本科技成果顺利出版所付出的辛劳，也祝愿照明科技在未来的岁月里取得更大的发展。

CCDI 中建国际设计顾问有限公司 总经理 赵小钧
2011 年 7 月 1 日

前 言

2008年北京奥运会的成功举办，实现了中华民族的百年期盼。国家游泳中心-水立方等一批体育建筑的设计也得到了广泛好评。水立方采用了ETFE薄膜气枕作围护结构，不仅出色地满足了作为2008年北京奥运会主要比赛场馆的功能需要，而且节能、环保，充分体现了“绿色奥运、科技奥运、人文奥运”的理念。水立方优美的外形和晶莹剔透、色彩斑斓的建筑物景观照明让人过目不忘、流连忘返，被称为“水魔方”。这就是采用LED半导体照明技术所取得的令人惊叹的照明效果。

LED半导体发光二极管，具有寿命长、节能、色彩丰富、安全、不含汞、废弃物可以回收、利于环保等优点，人们把它称为第四代光源。现在LED照明技术正处于一个迅猛发展的时期，发光效率迅速提高，根据海兹定律，每18到24个月LED单位功率的光通量将翻一倍，每流明价格将大幅下降，应用领域不断扩大，将为人类带来照明第三次革命。LED光效现在已达到或超过荧光灯的光效，到2020年将达到荧光灯的2倍，届时LED将成为照明的主要光源。我国及各发达国家都把发展半导体照明产业列为国家战略，纷纷制定了发展半导体照明产业的路线图。推广应用LED产品，发展半导体照明产业是当前照明领域的潮流和趋势；也是我国节能减排，建设资源节约型、环境友好型社会的重要任务。

LED色彩丰富，纳秒级反应速度，可以融合计算机控制技术、图形处理技术、网络通信技术，这为建筑室内外光环境设计提供了高科技的手段，不仅使照明能够更好地与室内装修结合，营造出和谐、舒适、宜居的光环境，而且在景观照明上使得我们可以采用光色的语言，更好地表达一个国家、民族、城市、企业的历史和文化，丰富景观照明的文化内涵，提高城市的文化品位。2008年北京奥运会、2010年上海世博会、2010年广州亚运会LED在景观照明上大放异彩，这表明景观照明进入了LED的新时代！

水立方的建筑物景观照明是当时国内外最大的LED照明工程，也是技术最复杂的LED照明工程。水立方作为一个膜建筑，从照明效果来讲，只有德国安联体育场可以借鉴。德国安联体育场是2006年德国世界杯足球赛的主场，因采用彩色荧光灯照明而获得好评。水立方设计初期，我们就是以超过安联体育场的照明效果作为目标。2005年我们开始酝酿LED方案。到2006年初，经过多次论证或多方案比较，基本上确定了以LED为主的照明方案。为了顺利完成这项设计任务，在北京市政府、科技部领导的支持下确立了两项研究课题：国家863计划重大项目《国家游泳中心半导体照明规模化系统集成技术研究》（课题编号2006AA03A167）、北京市课题《奥运场馆LED照明-LED在国家游泳中心建筑物景观照明工程上的应用研究》（课题编号D0606004040191）。CCDI不仅是国家游泳中心LED建筑物景观照明工程的设计单位，也是两个科研课题的技术组长单位。我们把工程中关键技术难点提炼出来开展研究，科研与设计相辅相成同步进行。2006年8月份，我们进行模型气枕实验，通过北京市课题立项审查。2006年11月我们开始现场实验，通过国家863计划课题立项审查。我们的设计方案2007年4月、5月先后两次经过科技部专家审查。2008年1月水立方亮灯，2008年11月两个研究课题通过验收。在2008年北京奥运会期间，水立方的LED

景观照明获得了各国政要及运动员的好评。水立方 LED 景观照明的成功，开创了 LED 建筑物景观照明的先河，在建筑物景观照明领域 LED 成为主角，传统光源逐渐成为配角；扩大了 LED 的市场应用范围，加速了 LED 产业的发展历程。在科研与设计工作中，我们接触了 LED 照明工程技术的方方面面，我们希望把这些知识整理出来，让照明界的同仁共享，这就是我们写这本书的初衷。《半导体照明工程技术》一书也可说是水立方 LED 景观照明科研的一个成果。有关水立方 LED 建筑物景观照明的科研与设计的详细情况请另见《国家游泳中心（水立方）机电设计及关键技术研究应用》一书的下篇 机电关键技术研究 16、17 两章。

在科技部、北京市政府有关部门的领导下，在中国照明学会、国家半导体产业联盟的具体指导下，在业主单位北京市国有资产经营有限责任公司及有关单位的大力支持与配合下，水立方 LED 景观照明科研与设计工作取得了成功。这些单位包括：863 课题技术副组长单位中国电子科技集团公司第十三研究所；课题参与单位中国建筑科学研究院建筑物理研究所、北京工业大学建筑与城规学院、同济大学建筑与城市规划学院、长江三峡技术经济发展有限公司；工程实施单位上海广茂达灯光景观工程有限公司；参加工程实验单位：北京海蓝齐力照明设备安装工程有限公司、上海广茂达灯光景观工程有限公司、河北立德电子有限公司、南京汉德森科技股份有限公司、大连路明光电工程有限公司、北京利亚德电子科技有限公司、佛山国兴光电科技有限公司、同方光电环境公司、上海蓝宝光电材料电子有限公司、深圳普耐光电科技有限公司；工程总包单位中建一局集团建设发展有限公司。在课题进行中也得到了一些国内外公司的支持和帮助：加拿大富昌公司、德国 VS 公司、美国 CREE 公司、德国 OSRAM 公司；品能光电技术（上海）有限公司、广东亚一照明科技有限公司等。在课题立项审查、课题年度检查、课题验收、方案评审工作中得到了许多领导和专家的指导和帮助，这些领导、专家有：徐坚、李晋闵、张荣、罗毅、刘木清、范玉钵、彭万华、梁秉文、王史杰，裴小明；肖辉乾、詹庆璇、戴德慈、徐长生、任元会、王大有、华树明、曹卫东、张青虎等。感谢参加课题研究、工程实施有关单位的领导和专家：康伟、赵志雄、杨奇勇、田洪涛；赵建平、林若慈、张建平、罗涛；朱晓东、夏明颖、黄杰；李农、李澄；郝洛西、林怡；胡国庆；恽为民、李英远；陈春雷。课题研究工作得到了科技部重大项目办公室吴玲主任、阮军、李志刚副主任的指导。在此向这些单位、领导、专家表示衷心地感谢！

在科研和设计工作中得到了 CCDI 公司有关领导单增亮、赵小钧和胡晓明、弋洪涛、郑方、毛红卫、张欣、李炳华等的大力支持，以及董青、张耀根、刘文捷等同事的鼎力合作。CCDI 公司参与课题研究、实验以及工程设计的同事还有李志涛、孙宝莹、汪嘉懿、邹政达、庄光发、郝秀云、林清霖、吴生庭等。在此也向这些领导、同事表示衷心地感谢！

本人十分感谢本书的所有作者！

半导体照明是一门发展十分迅速的新兴技术，由于水平与经验有限，本书肯定有许多错误与不足之处，敬请专家和读者不吝赐教。本书编写中得到了飞利浦（中国）投资有限公司的大力帮助，对此本人表示衷心感谢！

李兴林

国家游泳中心设计联合体电气专业、智能化专业总负责人

国家游泳中心 LED 建筑物景观照明科研课题技术负责人

2010. 12. 15 上海

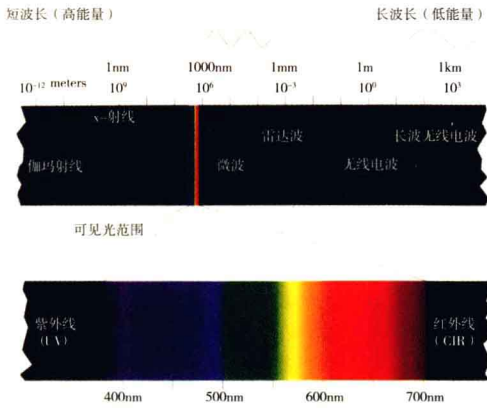


图1-1 电磁波及可见光波长范围

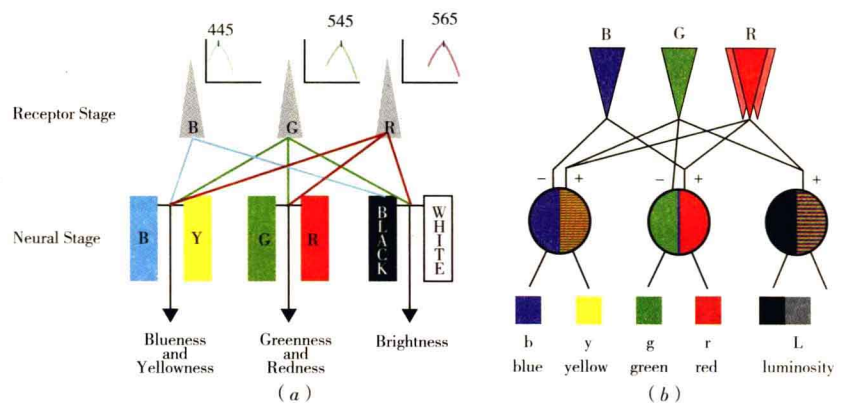


图1-20 色觉机制的阶段说

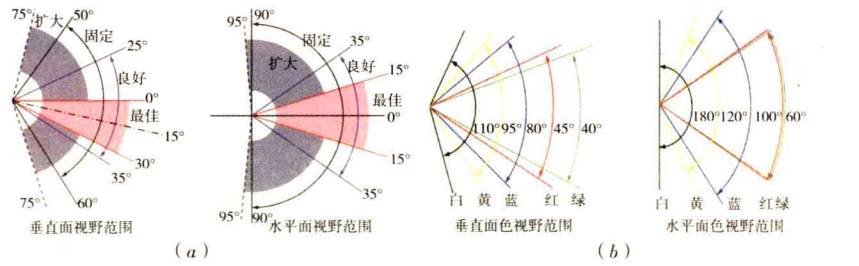


图1-14 人眼的视野

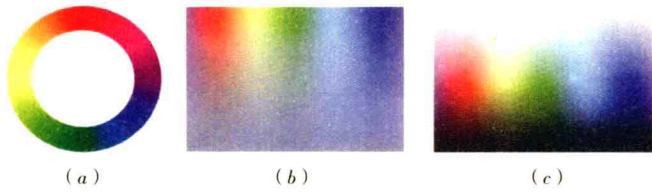
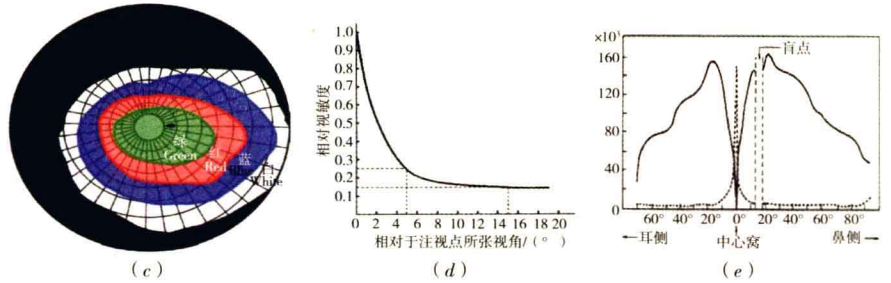


图1-21 色彩的属性

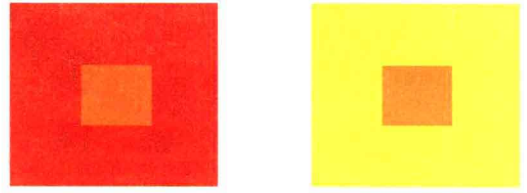


图1-23 色彩同时对比图

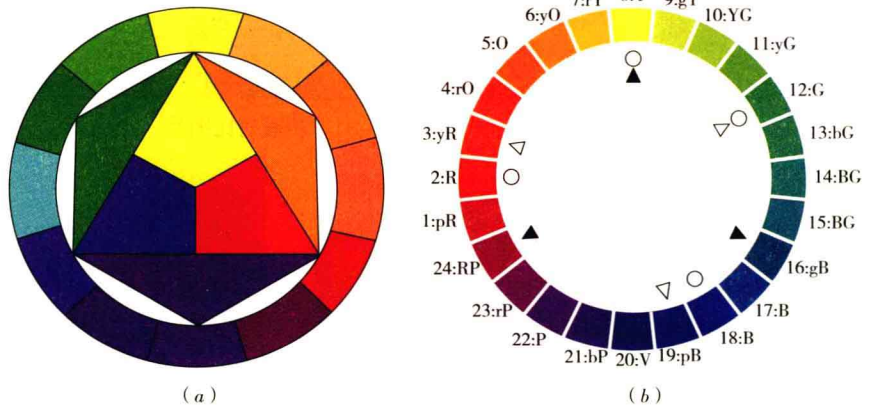


图1-22 色相环

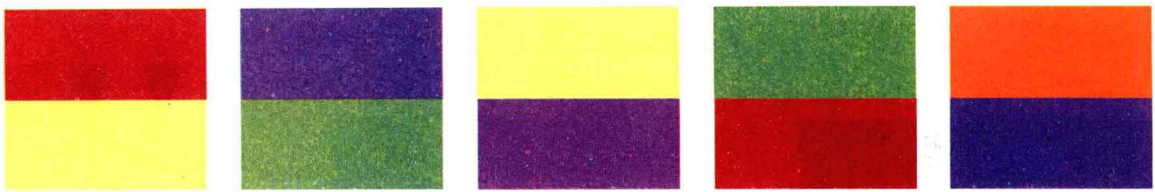


图1-27 色相对比

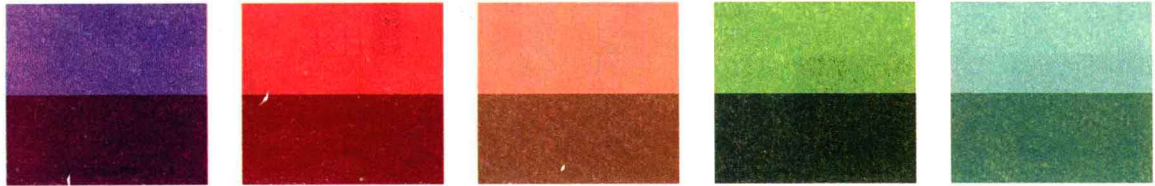


图1-28 纯度对比

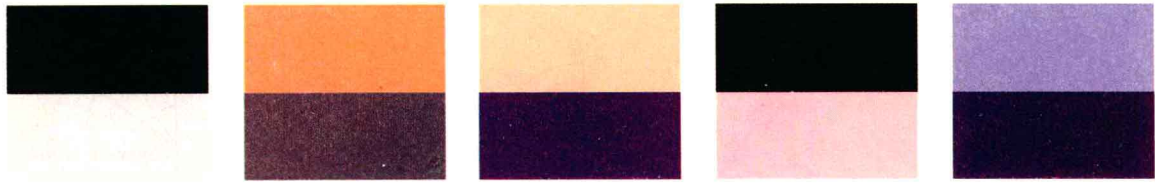


图1-29 明度对比

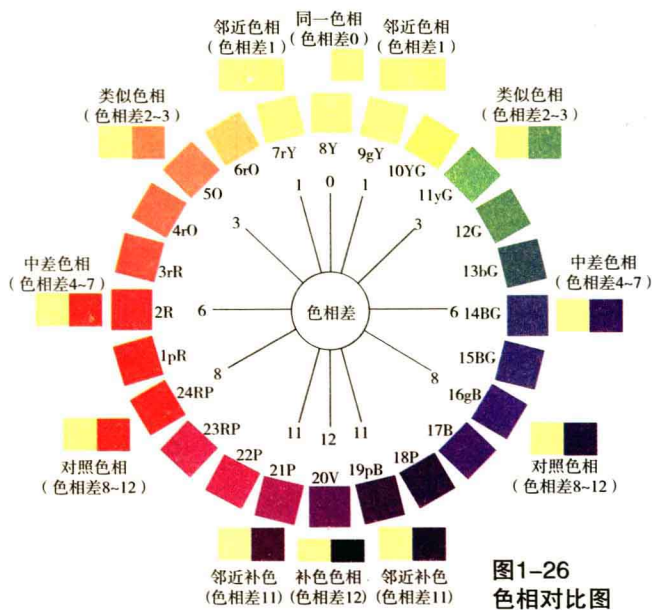


图1-26 色相对比图

图1-30 冷暖色

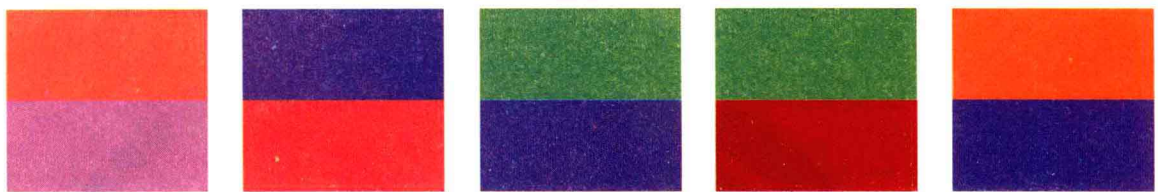


图1-31 冷暖对比图片

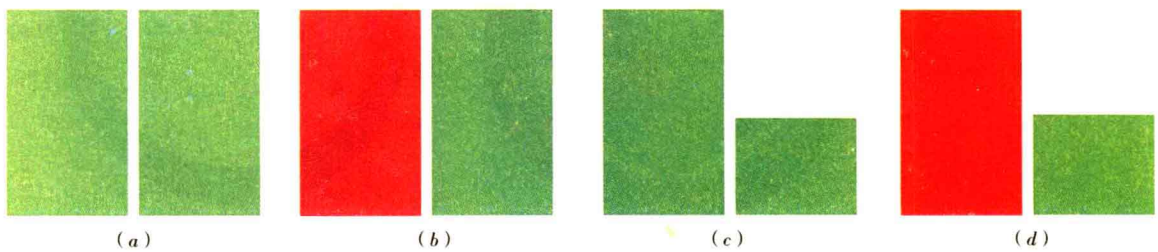


图1-32 色彩对比与色面积

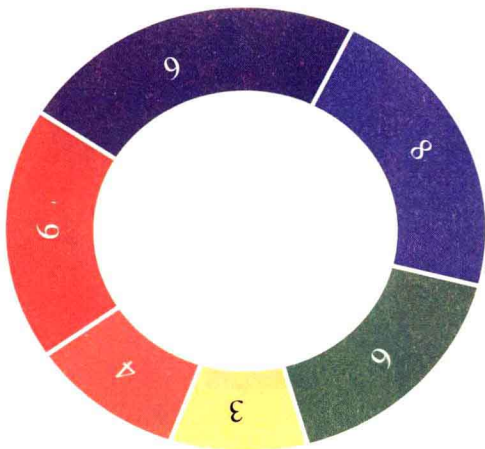


图1-33 原色与间色的和谐面积

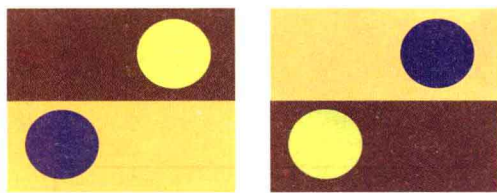
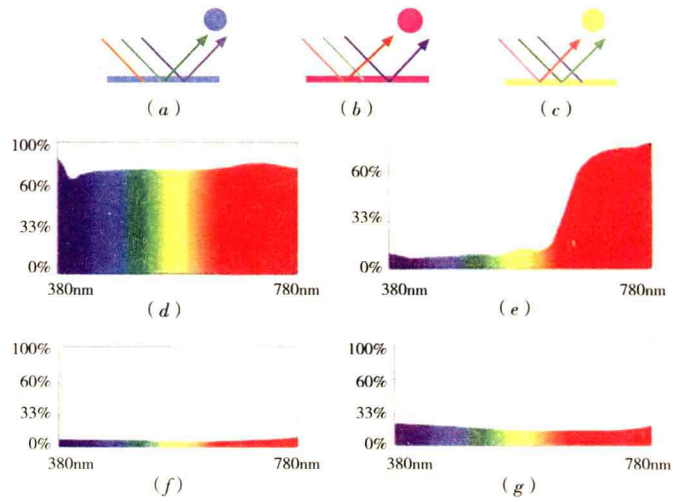


图1-34 色彩对比与位置

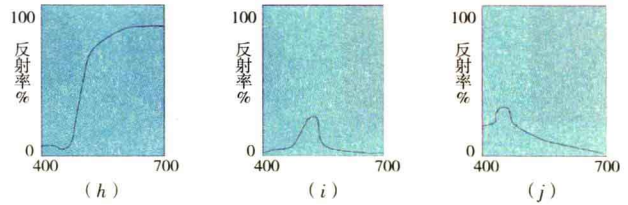


图1-35 非透明物体的色彩

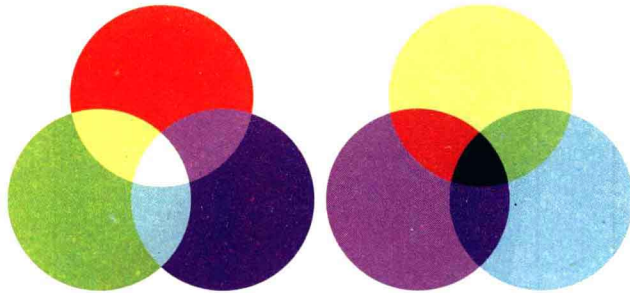


图1-36 颜色加法

图1-37 颜色减法

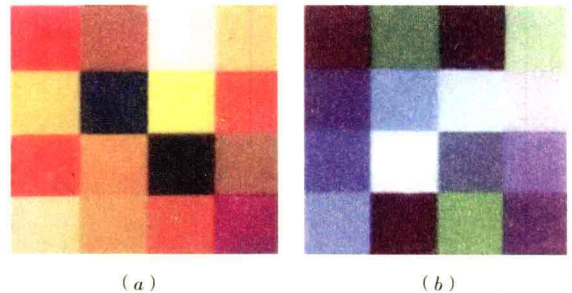


图1-38 色彩的冷暖感

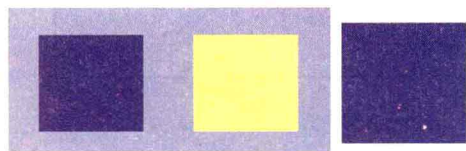


图1-39 色彩的大小感



图1-40 膨胀色与收缩色对比时视觉修正

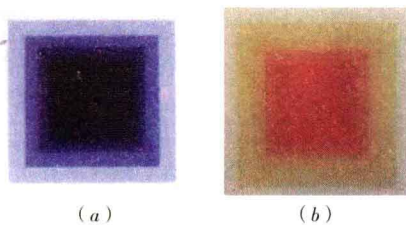


图1-41 色彩的远近感

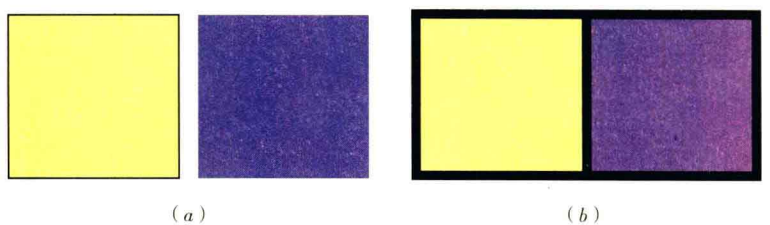


图1-42 不同背景色对远近感的影响

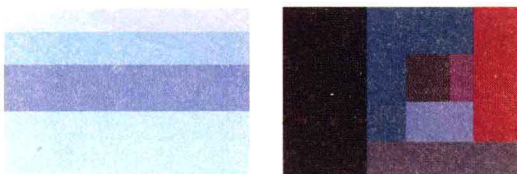


图1-43 色彩的轻重感

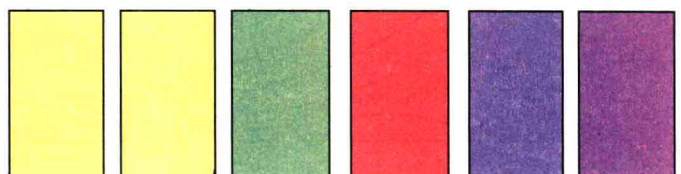
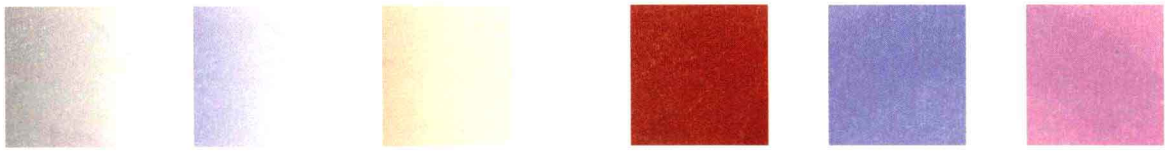


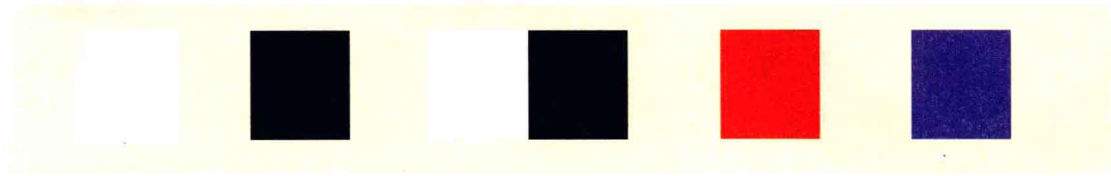
图1-44 色彩的明暗感



(a)

(b)

图1-45
色彩的
软硬感



(c)

图1-46
色彩与形
状、角度

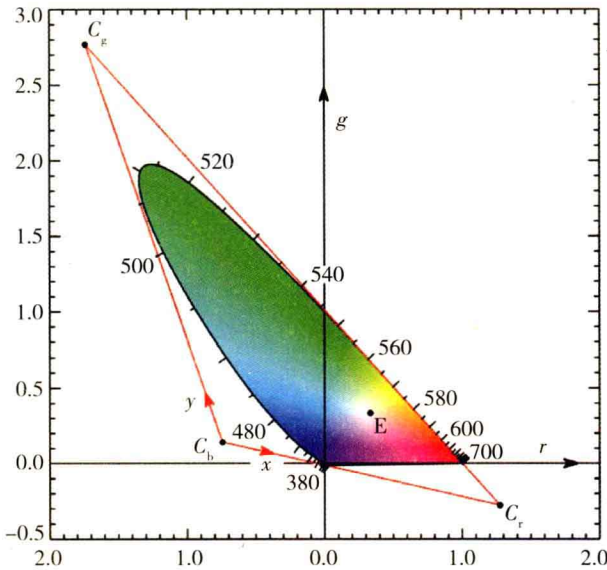
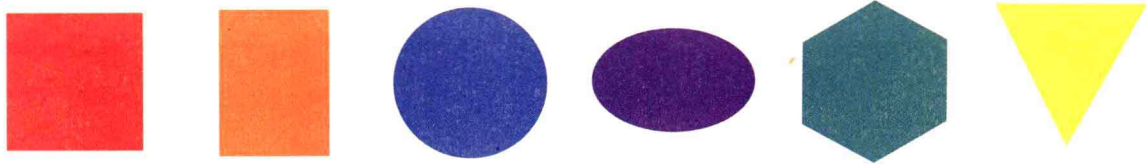


图2-5 CIE $r-g$ 色度图

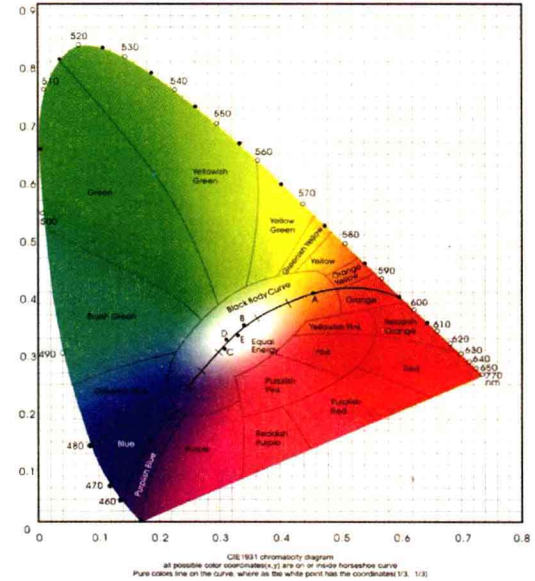


图2-6 CIE 1931 $x-y$ 色度图

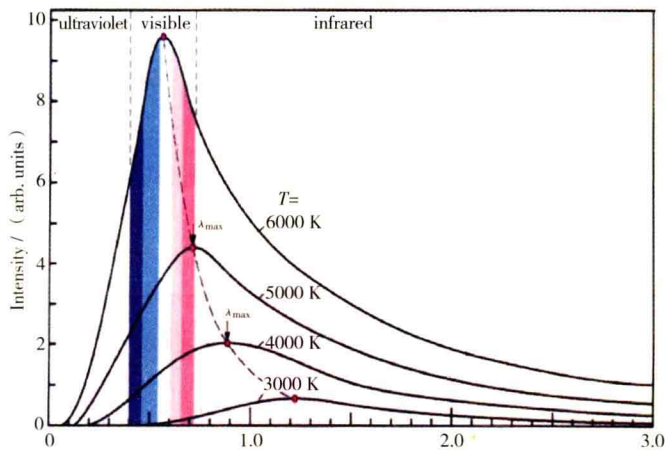


图2-9 黑体辐射光谱图

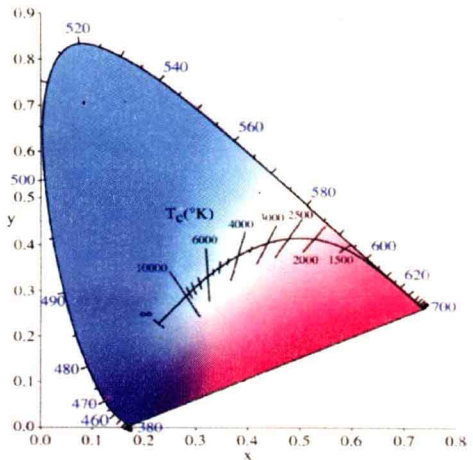


图2-10 黑体辐射轨迹及等温直线图

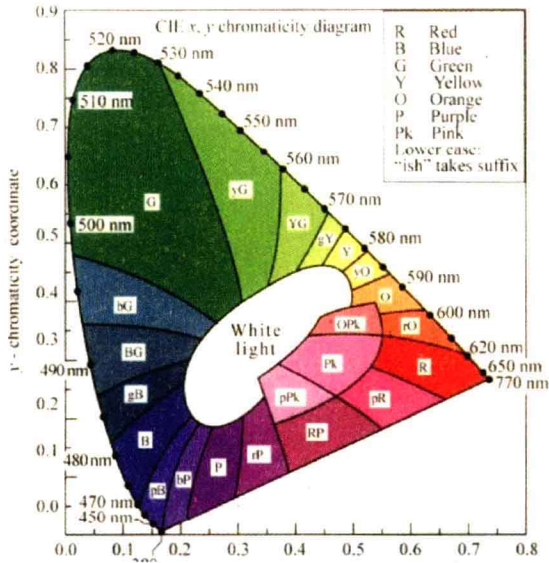


图2-11 CIE1931色度系统颜色区域图

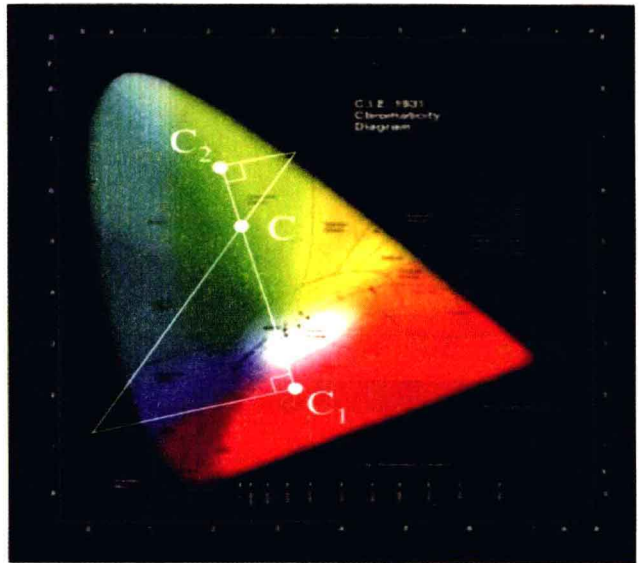


图2-13 两种非互补色混合—重心定律

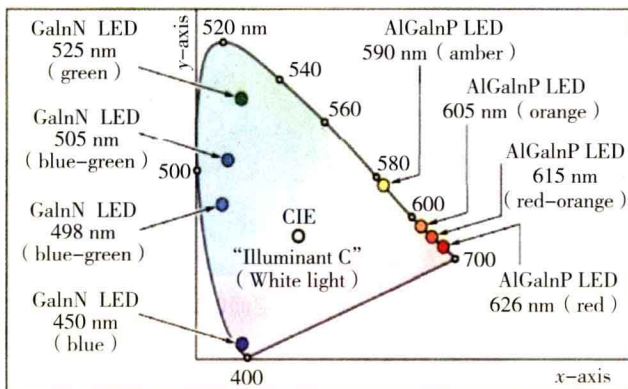


图2-14 各种单色光LED在色度图上的位置

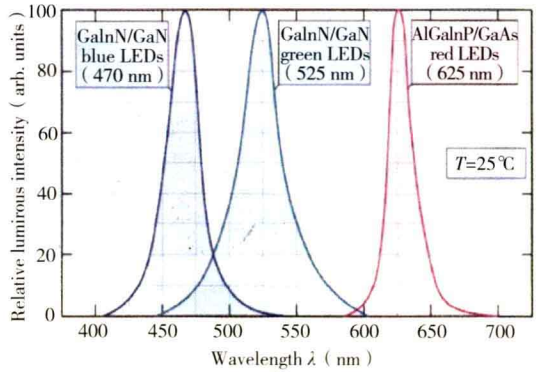


图2-18 RGB型LED光谱

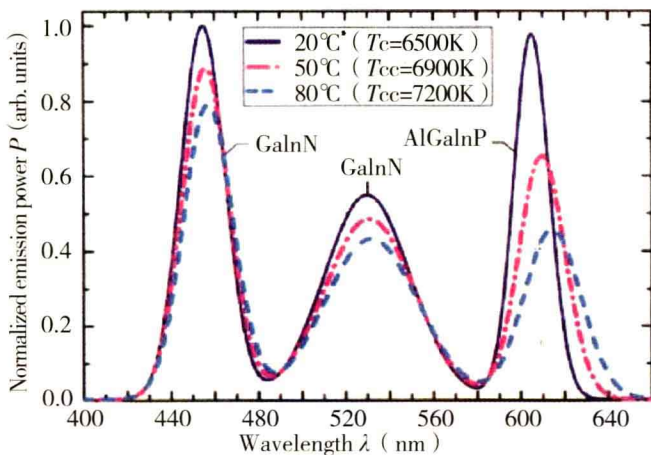


图2-19 不同色温RGB型LED的光谱曲线

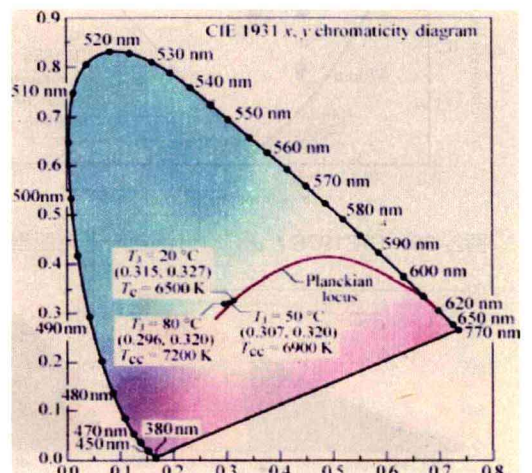


图2-20 不同色温RGB型LED在色度图上的位置

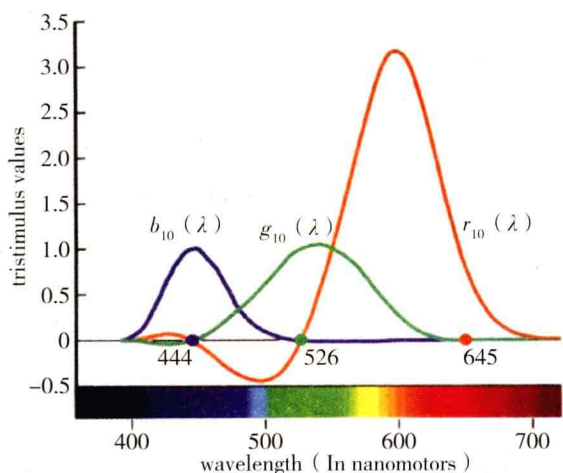


图2-21 CIE1964补充标准观察者光谱三刺激值

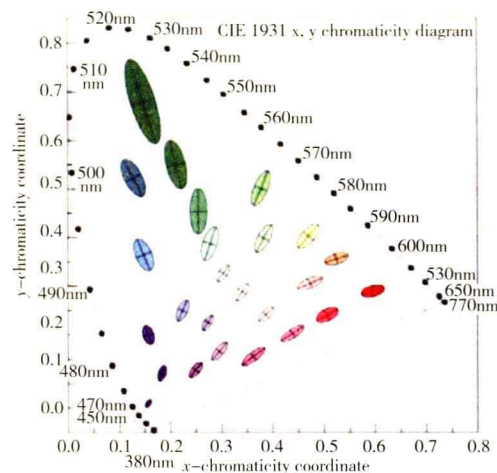


图2-25 麦克亚当颜色椭圆

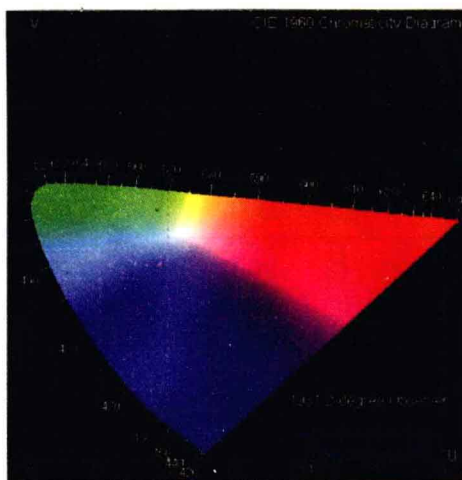


图2-26 CIE1976UCS图

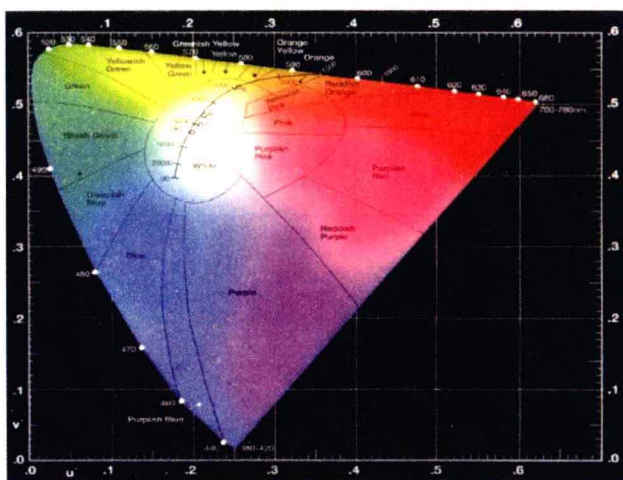


图2-28 CIE1976 $L^*u^*v^*$ 均匀色空间UCS图

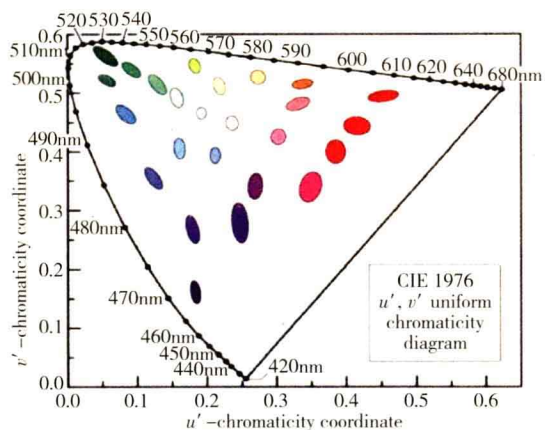


图2-29 CIE1976 $L^*u^*v^*$ 均匀色空间麦克亚当椭圆图

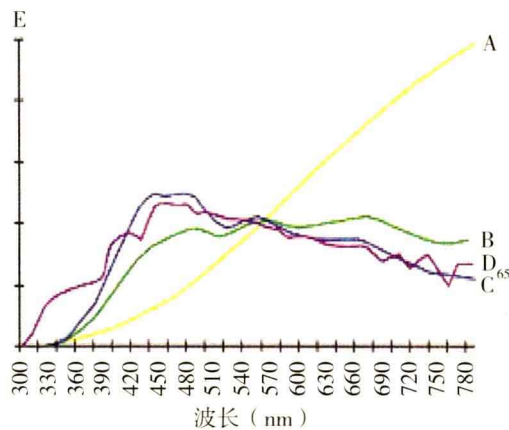


图2-31 CIE标准照明体相对光谱功率分布曲线图

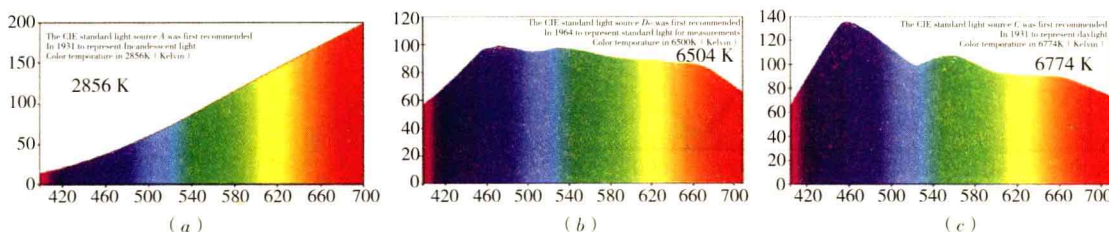


图2-32 标准光源A、C、 D_{65} 的光谱功率分布图

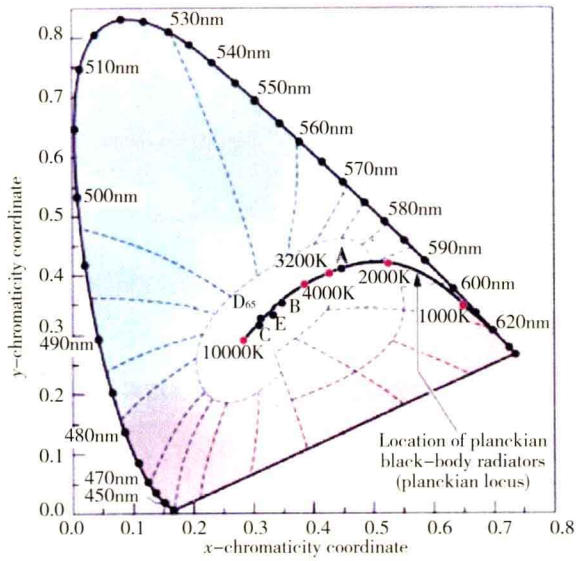


图2-33 标准光源A、B、C、D₆₅、E在色度图上的位置

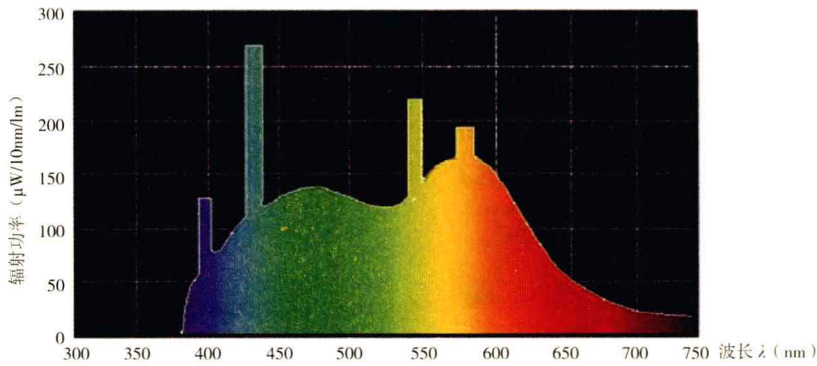


图3-4 日光色荧灯光谱能量分布图

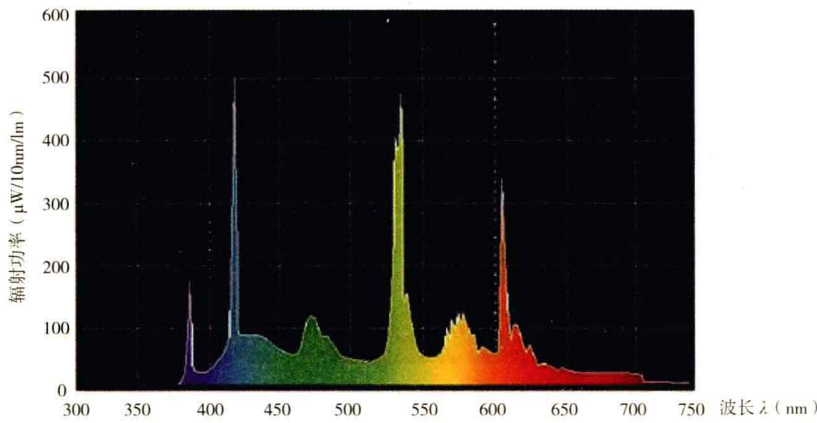


图3-6 无极灯光谱能量分布图

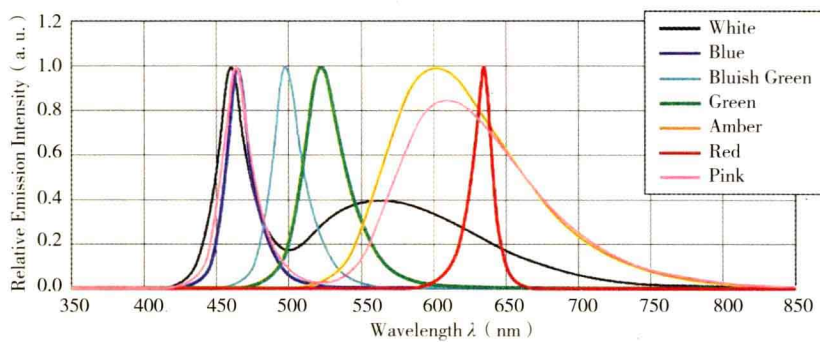


图3-9 LED光谱分布曲线 (图片引自飞利浦公司的产品资料)

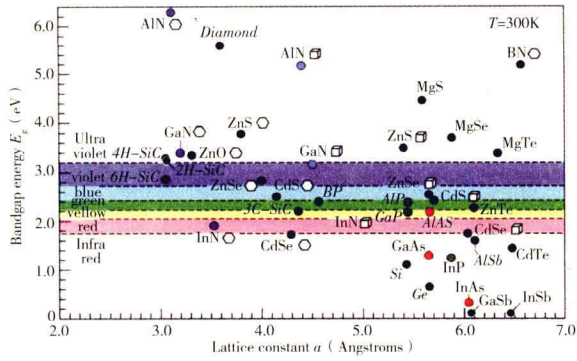


图3-11 LED半导体材料的带隙宽度及能级位置

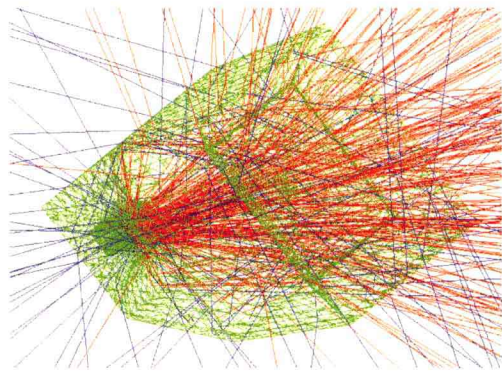


图6-15 对光学元件进行光学追迹结果

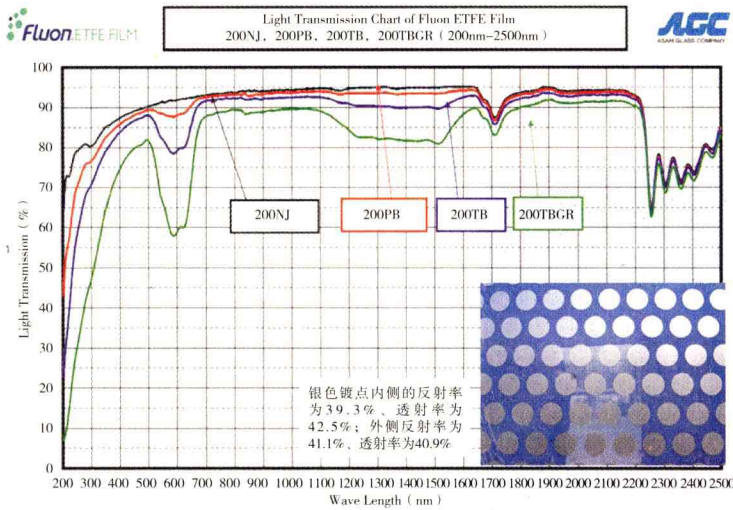


图9-13 国家游泳中心ETFE气枕膜材的光学特性

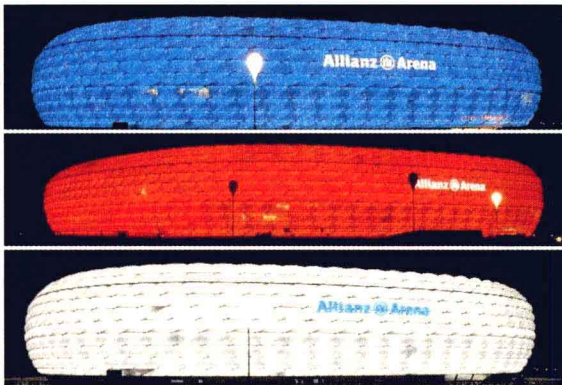


图9-14 安联体育场建筑物景观照明

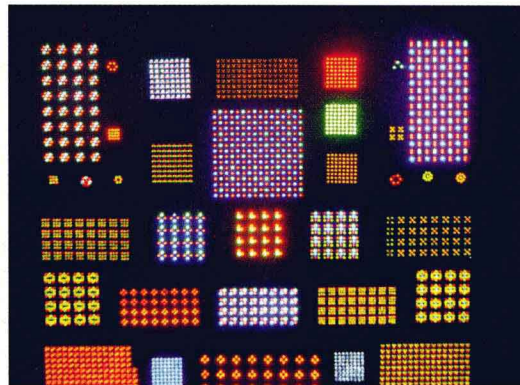


图10-4 全彩LED显示屏

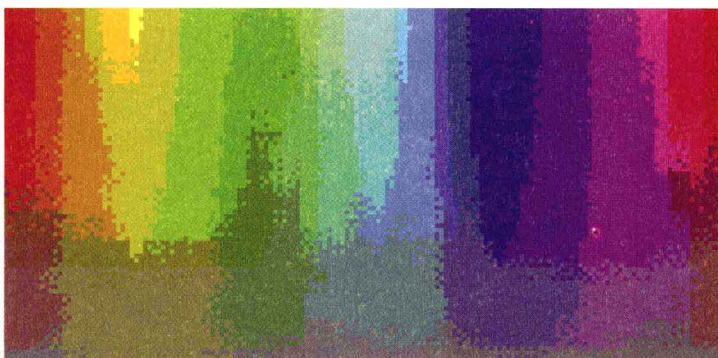


图10-8 LED显示屏灰度示意图

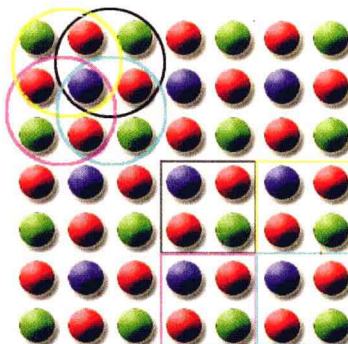


图10-11 像素共享示意图

目 录

第 1 章 光、视觉与色彩	1
1.1 光、光源	1
1.2 视觉	4
1.3 色彩	16
第 2 章 色度学系统	29
2.1 1931CIE—RGB 色度系统	29
2.2 1931CIE - XYZ 系统	35
2.3 CIE1964 补充标准色度观察者	45
2.4 CIE1960 均匀色空间	48
2.5 CIE1976 均匀色空间	49
2.6 标准光源	52
2.7 色度参数的计算	58
第 3 章 半导体照明基础知识	72
3.1 光源基础知识	72
3.2 半导体灯发光原理	75
3.3 LED 发光光效	75
3.4 光源的色度参数	78
3.5 LED 的伏安特性	81
3.6 LED 的温度特性	82
3.7 LED 光线对生物生理的影响	84
3.8 提高 LED 芯片内量子效率的技术措施	84
3.9 提高 LED 光引出效率的技术措施	87
3.10 半导体发光器件的驱动	94