

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920071151178

UDC_____

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

三基色 LED 光色配色与控制研究

Study on Color Matching and Control of
Tri-chromatic LEDs

徐示波

指导教师姓名: 陈 忠 教授

吕毅军 副教授

专 业 名 称: 机械设计及理论

论文提交日期: 2010 年 5 月

论文答辩时间: 2010 年 5 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

照明质量和水平已成为人类社会现代化程度的重要标志之一，随着社会文明的进步，照明设计已逐渐突破了传统仅以照度、均匀度为设计目标，更多强调的是照明光环境对人的生理、心理的影响。传统光源很难实现色温和场景的动态控制，而三基色 LED 光源最大的特点是具有丰富的色域，正好满足人们对高质量照明的要求。三基色 LED 可以根据不同要求，通过改变三种基色光的配比，实现色温和照明场景的灵活变幻，设计出不同效果的照明环境。

本文针对三基色 LED 光色进行研究，主要探讨三基色 LED 光色设计、配色实现和稳定控制三部分内容。论文中简要提出了和谐照明的概念，为照明工程的设计和评测提供新思维；研究三基色 LED 光色设计，将专家系统引入三基色 LED 光色设计，研究如何让计算机进行自动推理，实现自动光色设计；研究三基色 LED 配色和颜色实现，提出一种基于二分法的 RGB 快速配色算法，为三基色 LED 的光色快速场景变换提供技术支持，通过仿真实验证实了该算法的可行性和有效性；研究三基色 LED 光色稳定控制，针对三基色 LED 光色存在不稳定现象，提出 PID 反馈控制系统模型，并借助 MATLAB 软件对模型进行仿真实验，仿真结果表明，三基色 LED 在 PID 反馈控制下其光色是稳定的。

关键词：三基色LED；和谐照明；配色算法；颜色控制

ABSTRACT

Lighting quality and level of modernization of human society have become important symbols of social civilization and progress. The illumination design has gradually broken through the traditional goals of illumination and uniformity, more emphases are put on the environmental illumination effects on human physiology and psychology. Conventional light sources are difficult to achieve dynamic control over color temperature and scene. Tri-chromatic LEDs, characterized by large color gamut and suitability for high-quality lighting requirements, is suitable for flexible color temperature, lighting scenes changes and different environmental lighting effects by changing the ratio of the three primary colors according to different requirements.

In this dissertation, the tri-chromatic LED light color was studied. We focused on LED three primary color design, color matching and stability control of colors. The harmonious lighting concept is proposed as a new way of lighting design and evaluation. To design the tri-chromatic LEDs, an expert system is introduced to realize computer aided automatic reasoning and automatic color design. A new dichotomy based algorithm is proposed for fast RGB color matching and to provide technical support for LED fast scene changes, the simulation result proves its feasibility and effectiveness. A PID feedback control system model is proposed to solve the LED color instability problem. The simulation is done by MATLAB which shows the stability of the tri-chromatic LED color matching in terms of PID feedback control.

Keywords: tri-chromatic LED; harmonious illumination; color matching algorithm; color control

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
第 1 章 绪论	1
1.1 引言.....	1
1.2 半导体照明简介	2
1.3 三基色 LED (RGB-LED)	3
1.4 论文的研究意义和内容	5
1.4.1 研究意义.....	5
1.4.2 研究内容.....	5
第 2 章 照明工程理论	7
2.1 引言.....	7
2.2 和谐照明	7
2.2.1 提出背景.....	7
2.2.2 和谐照明内涵.....	8
2.2.3 关注焦点.....	9
2.2.4 设计目标.....	10
2.3 光源设计和照明设计	11
2.3.1 光源设计.....	11
2.3.2 照明设计.....	13
2.4 照明工程设计	15
2.4.1 照明系统构成.....	15
2.4.2 设计流程.....	17
2.5 小结.....	18

第 3 章 三基色 LED 光色设计	19
3.1 引言	19
3.2 光色设计规划	19
3.3 专家系统	20
3.3.1 基本概念	20
3.3.2 知识表示和推理	21
3.4 基于专家系统的光色设计	22
3.4.1 知识库设计	23
3.4.2 推理机制	24
3.4.3 实例演示	25
3.5 小结	26
第 4 章 三基色 LED 光色配色与实现	27
4.1 引言	27
4.2 光色基本概念	27
4.2.1 颜色表示	27
4.2.2 颜色相加	28
4.3 光源色度测量	29
4.3.1 测量原理	29
4.3.2 系统组成	30
4.4 三基色 LED 光色配色与实现	31
4.4.1 配色实现描述	31
4.4.2 配色模型	32
4.4.3 基于二分法的 RGB 配色算法	34
4.4.4 颜色实现	35
4.5 配色仿真实验	37
4.5.1 仿真实验	37

4.5.2 结果讨论.....	40
4.6 小结.....	41
第 5 章 三基色 LED 光色稳定控制.....	42
5.1 引言.....	42
5.2 控制问题描述.....	42
5.3 控制模型推导.....	43
5.4 控制系统构成.....	48
5.4.1 PID 控制器.....	48
5.4.2 颜色传感器.....	49
5.4.3 驱动电源.....	49
5.4.4 三基色 LED.....	51
5.5 光色稳定控制系统仿真.....	51
5.5.1 仿真实验设计.....	52
5.5.2 仿真结果分析.....	54
5.6 小结.....	55
第 6 章 总结与展望.....	56
参考文献.....	57
硕士期间发表的文章.....	61
致谢.....	62

Contents

Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Brief introduction of semiconductor lighting	2
1.3 Tri-chromatic LEDs (RGB-LEDs)	3
1.4 Values and outline of the dissertation.....	5
1.4.1 Values	5
1.4.2 Outline.....	5
Chapter 2 Theory of illumination project	7
2.1 Introduction.....	7
2.2 Harmonious illumination	7
2.2.1 Background	7
2.2.2 Implication of harmonious illumination	8
2.2.3 Focus	9
2.2.4 Design goals.....	10
2.3 Light source design and illumination design	11
2.3.1 Light source design	11
2.3.2 Illumination design	13
2.4 Design of illumination project.....	15
2.4.1 Construction of illumination system.....	15
2.4.2 Design process	17
2.5 Summary.....	18
Chapter 3 Color design of Tri-chromatic LEDs.....	19
3.1 Introduction.....	19

3.2 Color design planning	19
3.3 Expert system	20
3.3.1 Basic concept	20
3.3.2 Knowledge representation and reasoning	21
3.4 Expert system based color design	22
3.4.1 Design of knowledge base	23
3.4.2 Reasoning rules and regulations	24
3.4.3 Examples.....	25
3.5 Summary	26
Chapter 4 Color matching and realization of tri-chromatic LEDs	27
4.1 Introduction	27
4.2 Basic concept of light color	27
4.2.1 Color representation.....	27
4.2.2 Color additive.....	28
4.3 Color measurement	29
4.3.1 Principle of measurement	29
4.3.2 System components	30
4.4 Color matching of tri-chromatic LEDs	31
4.4.1 Problem description of color matching.....	31
4.4.2 Color matching model.....	31
4.4.3 Dichotomy based algorithm for RGB color matching	32
4.4.4 Color realization.....	35
4.5 Simulation of color matching	37
4.5.1 Simulation	37
4.5.2 Discussion of the results	40
4.6 Summary	40

Chapter 5	Color stability control of tri-chromatic LEDs	41
5.1	Introduction.....	41
5.2	Control description	41
5.3	Control model.....	42
5.4	Control system components	47
5.4.1	PID controller.....	47
5.4.2	Color sensors.....	48
5.4.3	Drive power	48
5.4.4	Tri-chromatic LEDs	50
5.5	System simulation of color stability control	50
5.5.1	Design of simulation experiment.....	51
5.5.2	Analysis of simulation results	53
5.6	Summary.....	54
Chapter 6	Conclusion and outlook.....	55
References	56	
Publication	60	
Acknowledgments	61	

第1章 绪论

1.1 引言

照明质量和水平已成为人类社会现代化程度的重要标志之一，随着社会文明的进步，照明设计已逐渐突破了传统仅以照度、均匀度为设计目标，人们对照明的要求不再是一味地追求明亮，更多强调的是照明光环境对人的生理、心理的影响，不同色温的光对人产生的不同生理和心理反应在更高层次上对照明设计提出了要求。

和谐的照明必须满足人的生理和心理需求，人是照明空间的主人，在照明设计时候要贯彻“以人为本”的设计理念。照明设计是为了满足人们生活、工作的物质要求和精神要求所进行的设计，其设计的目标是安全、健康、高效和舒适，大量实验证明，光环境的质量直接影响到人们的工作、生活和健康，色彩、色温、照度对人情绪的影响都十分明显。比如利用照明渲染气氛等，如商店中采用色彩照明，可以激发顾客的购买欲望，销售结果比原先采用荧光灯时好；办公室采用可调节光色的灯具，根据需要适时改变光色，可提高办公效率；客厅和卧室采用气氛照明，可以提高生活情趣，并有效地改善睡眠。色彩的和谐，光与环境的和谐对于照明工程具有重要的意义。

传统光源由于其发光原理的限制，其色温和场景很难实现动态控制，因此在实现和谐的照明方面存在很大的技术障碍。三基色 LED 光源是利用红、绿、蓝三种基色 LED 的不同配比产生不同性质的光，最大的特点是具有丰富的色域，即颜色的可调性。因而根据使用者的不同要求，通过改变三种基色光的配比，实现色温和照明场景的灵活变幻，设计出不同效果的照明环境。这是传统电光源乃至基于荧光粉产生白光的 LED 光源都无法实现的。该特点是其现阶段最容易利用且存在较大设计空间的一个方面。

三基色 LED 光源具有丰富的色域给照明工程提供了良好的设计平台，通过一定的光色设计可以使得照明随着环境和人的需求而改变。因此研究三基色 LED 的光色设计与实现具有十分重要的现实意义。

1.2 半导体照明简介

发光二极管 (Light Emitting Diode, LED), 被认为是 21 世纪最有价值的新光源, 使照明技术面临一场新的革命, LED 是一种利用半导体 PN 结把电能转换成光能的光电转换器件, 它和白炽灯等其他照明光源相比较, 具有体积小、寿命长、功耗低、安全节能等优点。它的出现已经成为照明产业新的增长点和发展方向^[1-3]。

人类 1907 年在无机半导体上观察到发光现象。1968 年第一只商用发光二极管产品研制成功。在市场需求与技术进步的推动下, LED 经历了一段辉煌的历史。早期产品是 GaAsP-LED, 工作电流 20mA, 发光二极管采用的结构与普通二极管类似, 其发光效率非常低, 光通量只有千分之几流明, 相应的发光效率为 0.11lm/W, 而且只有一种红色光。

20 世纪 90 年代初, 两种新型材料迅速发展起来, 发红光、黄光的 GaAlInP 和发绿光、蓝光的 GaInN。由于采用这两种材料, LED 的发光效率在 2000 年达到 100lm/W (615nm 的橙红色光) 和 50lm/W (530nm 的绿色光)。

世界上第一支蓝光 LED 是 1995 年日本日亚化学工业公司研制成功的^[4], 此后在全球掀起 GaN 研究开发应用热潮。蓝光 LED 开发的成功, 使半导体白光照明成为可能。发光二极管在九十年代得到了较快的发展, 研究主要集中在提高外量子效率和扩大发光光谱范围方面, 实现了三基色发光二极管。现在 LED 的发射光谱已经覆盖了整个可见光谱区^[5]。

LED 照明受到照明界越来越多的关注。日本、美国、欧盟、南韩均提出相应的研究开发计划。我国于 2003 年 6 月启动了国家半导体照明工程, 旨在节约照明用电, 减少资源消耗, 保护环境, 实现人与自然的和谐发展, 将 LED 照明作为重点发展的新兴支柱产业, 大力发展半导体照明技术。

早期 LED 由于光色、发光效能、光通量、光功率和价格等方面的限制, LED 主要应用于指示、显示领域。随着 LED 三基色完备发光体系的逐步完善, 并且蓝色和纯绿色 LED 的发光效率已经接近并赶上了红色 LED 的发光效率, LED 的应用领域得到了迅速扩展。本世纪一开始, 人们利用 GaN 基蓝色 LED 作为基础光源, 通过荧光粉转换的方法实现了单个 LED 发白光, 这一结果使得人们看到了 LED 进入照明领域的希望。1999 年飞利浦等公司开发出采用白光 LED 作为光源

的路灯，并进行了实验，取得了良好的效果。从目前市场的发展趋势可以看出，LED 正在由信息指示和显示领域向照明领域发展。随着 LED 光色的不断丰富，特别是白光 LED 技术的不断成熟，发光效能不断提高，价格逐渐降低，使得 LED 有逐步取代传统的光源的趋势，将作为新一代节能环保型绿色照明灯而备受青睐 [6-7]。

1.3 三基色 LED (RGB-LED)

三基色 LED 的发光原理是利用红、绿、蓝三种颜色 LED 发出的光作为基础，按照适当的比例进行配色，使得三种颜色的光混合而形成的光源，其原理如图 1.1 所示。三基色 LED 具有效率高和使用灵活性的特点，由于发光全部来自 LED，不需要进行光谱转换，因此其能量损失小并且效率高。三基色 LED 可以产生包括白光在内的任何颜色光，其作为固体照明光源有很大的发展空间。

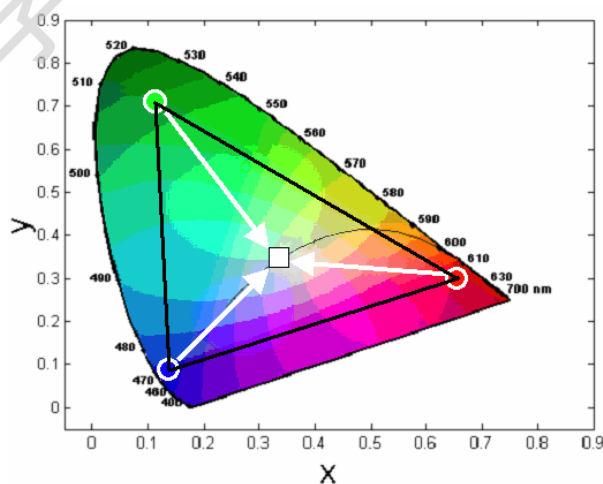
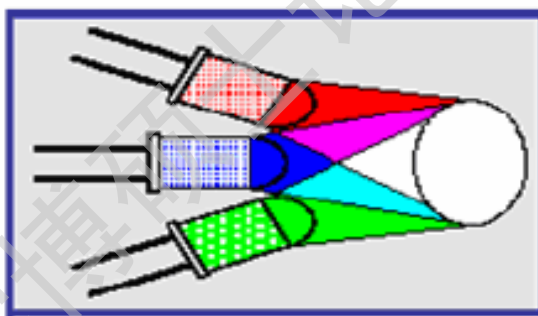


图 1.1 三基色 LED 原理示意图

三基色 LED 光源具有丰富的色域，即颜色的可调性。通过改变红、绿、蓝三种基色 LED 的不同配色比例产生不同性质的光，实现色温、场景的灵活变幻，从而在不同场所，如：咖啡厅、剧院甚至普通办公室中，根据使用者的不同要求设

计出不同效果的照明环境,这是传统光源和基于荧光粉产生白光的 LED 光源无法实现的。因此三基色 LED 为照明工程提供一个较大的设计空间。

三基色 LED 光源具有节能优势。由于三基色 LED 发出的光全部来自 LED,不需要进行光谱转换,因此其能量损失小并且效率高。据相关数据,三基色白光 LED 光源的平均效率可达 80lm/W,显色指数可达 90 以上,完全符合常规照明的要求。

三基色 LED 光源具有环保的特点。LED 是全固态发光体,发热量低、无热辐射的冷光源,不含汞、钠等危害健康的物质,废弃物可回收、无污染。特别是一些特殊照明场合,如博物馆的无光害照明,这样既能利用其灵活的光色设计又不会对展览品造成损害。

以上这些特点使得三基色 LED 光源,既适合制作高效节能灯,实现节约能源保护环境的目的,又能方便地与数字化技术相结合,实现数字控制获得丰富的颜色变化。三基色 LED 光源作为固体照明光源有很大的发展空间,非常具备进入常规照明市场的潜力,对它的研究也是具有较大的实际应用价值。在照明灯具方面,可以设计出改变颜色的灯具,将 LED 组装成各种阵列,与数字化技术相结合,通过控制系统混光,变换 RGB 三色光源的颜色和亮度达到智能化照明效果,并有可能创造新的应用和市场^[8-9]。

但是三基色 LED 也有自身的弱点,由于其发光原理是调节三种颜色 LED 的发光强度实现发光的,三种颜色 LED 随着温度、驱动电流变化各异,随时间的衰减速度也不相同,其性能参数如峰值波长、半高宽度等会随着外界条件的改变而发生变化。改变的原因大致分为四类:驱动方式的影响^[10-11],环境温度的影响^[12-13],器件老化的影响,器件分散性影响^[14]。

因此实际使用中为了保持颜色的恒定,需要较好的驱动电路设计,同时必须引入反馈控制系统来消除色差的影响^[15-20]。

1.4 论文的研究意义和内容

1.4.1 研究意义

三基色 LED 光色设计配色与控制的研究是一项重要且具有实际价值的课题，三基色 LED 因其具有颜色丰富可调的优势，是实现这一要求的有利工具，可以通过科学合理的设计可以实现和谐照明的目标。从“以人为本”的设计理念出发，设计出具有绿色、智能、生态、人性化的和谐照明工程。

目前三基色 LED 研究很少关注如何利用三基色 LED 光色，结合人对照明光环境心理和生理的反应，最终实现高质量、智能化的和谐照明，因此三基色 LED 光色研究无论是在学术上还是工程方面都具有较大的价值和现实的意义。

1.4.2 研究内容

本文围绕三基色 LED 光色进行研究，主要探讨三基色 LED 光色设计、配色实现和稳定控制三部分内容。具体开展如下研究：

1. 提出了和谐照明的概念，根据光源色度学理论和照明心理学理论，强调照明设计要以人为本的理念，为光源光色的合理设计指明方向。

2. 研究三基色 LED 光色设计，将专家系统引入三基色 LED 光色设计，结合不同的使用场所光环境对人行为、心理的影响，研究如何让计算机进行自动推理，确定光色参数、照明质量指标及其适用的场所。

3. 研究三基色 LED 的配色和颜色实现。和谐照明要求照明具有动态可调的颜色变化，本文提出一种基于二分法的 RGB 快速配色算法，为三基色 LED 的光色快速场景变换提供技术支持。

4. 研究三基色 LED 光色稳定控制算法。三基色 LED 存在色度不稳定现象，本文提出 PID 反馈控制系统模型，并对控制系统进行仿真实验，通过仿真结果进行对比分析，证明利用 PID 反馈照明控制系统可以把三基色 LED 的色差控制在人眼所接受的范围。

全文安排如下：

第 1 章 对照明产业的发展进行回顾，介绍 LED 相关的知识，对论文的意义和任务做阐述，确定本文的研究方向。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库