

LED

半导体照明

国家半导体照明工程研发及产业联盟
上海市光电子行业协会

编著

BANDAOTIZHAOMING
BANDAOTIZHAOMING
BANDAOTIZHAOMING

半 导 体 照 明

国家半导体照明工程研发及产业联盟
上海市光电子行业协会 编著

辽宁科学技术出版社

©图书在版编目 (CIP) 数据

半导体照明 / 国家半导体照明工程研发及产业联盟, 上海市
光电子行业协会编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2006.3

ISBN 7-5381-4650-4

I. 半… II. ①国… ②上… III. 半导体技术: 照明技术
IV. TM923.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 152712 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳市新友印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 145mm × 210mm

印 张: 7

字 数: 186 千字

印 数: 1~2000

出版时间: 2006 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2006 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 郭 健

封面设计: 郑 红

版式设计: 于 浪

责任校对: 李 雪 王玉宝 徐丽娟

定 价: 38.00 元

联系电话: 024—23284536

邮购热线: 024—23284502 23284357

E-mail: tad4356@mail.lnpgc.com.cn

http: //www.lnkj.com.cn

敬告读者:

本书采用兆信电码电话防伪系统, 书后贴有防伪标签, 全国统一
防伪查询电话 16840315 或 8008907799 (辽宁省内)

编委会名单

主 编	吴 玲	傅文彪			
副 主 编	梁秉文	徐绍敏			
编 委	阮 军	吴文峰	肖志国	董志江	
	靳彩霞	夏冠群	方志烈	王国定	
	俞振中	张万生	顾海军	涂 江	
	谢雪茹				
顾 问	范滇元	庄松林			
正文编辑	王国定				
附录编辑	谢雪茹				
策 划 人	唐国庆				

编著说明

国家半导体照明领导小组一成立，就如春风吹大地，业界多少人感叹：中国LED的春天真的来临了！正是在这个大背景下，以为推进半导体照明产业发展做一件实事为出发点，编写了这本书。本书通过问答的形式，对半导体照明基础知识、高亮度LED及功率型LED制备工艺、技术和应用方面做了深入浅出的介绍，使广大一线的工人、技术人员、学生和相关的管理人员以及所有关心半导体照明的有识之士能获得比较完整的信息，并对半导体照明有一个比较全面的了解。

本书在编写过程中，得到了行业内有关专家、教授和工程技术人员的鼎力支持，尤其是中国工程院院士范滇元先生、庄松林先生的指点和帮助。上海复旦大学方志烈教授、上海技术物理所俞振中研究员、信息产业部第十三所张万生教授、上海金桥大晨光电科技有限公司顾海军和涂招莲高级工程师、上海市光电子行业协会王国定先生参与了本书的编写，王国定先生做了本书的统稿工作。本书中的国内外专利选录和编辑由上海金桥大晨光电科技有限公司研发中心谢雪茹高级工程师完成。南京汉德森半导体照明有限公司梁秉文博士对本书做了全面归类和审阅工作，在辽宁科学技术出版社郭健同志的热忱帮助下，使本书能得以出版。在此一并表示衷心的感谢。

策划人：唐国庆

2005年11月11日

目 录

一、基础知识篇

1. 光的本质是什么, 物体发光有哪几种方式?1
2. 何谓电致发光? 半导体发光为何属冷光?2
3. 照明光源的发展经历了哪几个阶段?3
4. LED 的工作原理与基本结构是什么?4
5. LED 光源有哪些优势?6
6. 在主要性能方面, 目前白光 LED 与传统光源相比有哪些优缺点?7
7. 什么是色温? 什么是显色指数?8
8. 通用照明对白光 LED 的光电性能有哪些基本要求?10
9. 什么是人眼对光的视觉敏感曲线?10
10. 人眼对光的视觉敏感曲线对我们了解 LED 照明有什么作用?11
11. LED 的发展经历了哪几个阶段?12
12. 何谓 LED 的伏安特性? LED 的电功率是如何计算的?13
13. LED 的基本特性是什么?16
14. 何谓 LED 的电—光转换? 如何表述光电转换效率?17
15. LED 单色光 (红、黄、蓝、绿等) 的光谱与白光的光谱有什么区别?
.....18
16. 在通用照明领域, LED 取代传统光源从目前来看还需克服哪些障碍?
.....19
17. LED 取代传统光源还有哪些需要攻克的课题, 当前国际上 LED 发展
的趋势如何?20
18. 何谓绿色照明光源? 它有哪些特点?22
19. 为什么说 21 世纪照明产业将迎来自爱迪生发明白炽灯以来的又一次
产业革命?23

20. 哪些产业是 LED 产业链的构成部分?	24
21. LED 上游产业是指哪些产业?	25
22. LED 中游产业是指哪些产业?	26
23. LED 下游产业是指哪些产业?	27
24. LED 产业的发展, 可以带动哪些相关产业的产品升级换代和技术创新?	29
25. 用半导体光源取代传统光源对我国这样一个照明光源生产与出口大国的重要意义何在?	31
26. 当前我国 LED 产品与国际先进水平相比, 主要差距在哪里?	32
27. 我国发展半导体照明产业的优势何在? 政府主管部门出台了哪些推进这一产业发展的重要举措?	33

二、外延芯片篇

28. LED 的发光有源层——PN 结是如何制成的? 哪些是常用来制造 LED 的半导体材料?	35
29. 什么是 LED 的内量子效率? 不同的发光波长, 假定内量子效率达 100%, 其电—光效率有何不同?	36
30. LED PN 结有源层发出的光子能否 100% 逸出到空气中?	37
31. 有哪些生长 LED 有源层的外延方法? 它们各自有什么特点?	39
32. 哪些材料可以用做生长外延层的衬底材料? 它们各自有哪些优缺点?	39
33. 当前, 生产超高亮 LED 的外延方法主要有几种? 什么是 MOCVD?	40
34. 当前, 用做半导体照明光源的高效 LED 的外延层结构有何创新和发展? 它们的结构如何?	41
35. 当前的 GaAs、GaP、GaAlAs、GaInAlP 以及 InGaN 等均是无机半导体材料, 除此之外, 还有哪些无机材料可以制造发光二极管? 目前研发的进展如何?	43
36. 简述有机半导体发光二极管发展历程, OLED 等能否进入照明领域?	44
37. 国内 LED 外延产业的状况与发展趋势如何?	45
38. LED 芯片的制造流程是怎样的?	46
39. LED 芯片制造工序中, 哪些工序对其光电性能有较重要的影响?	48

40. 芯片制造过程中通过哪些工艺技术措施可以提高芯片发光强度与出光效率?49
41. LED 芯片为什么要分成诸如 8mil, 9mil...13~22mil, 40mil 等不同的尺寸? 尺寸大小对 LED 光电特性有哪些影响?51
42. LED 大功率芯片一般指多大面积的芯片? 为什么? 大功率芯片的版图设计有哪些特殊考虑?51
43. 制造 GaN 外延材料的芯片工艺和加工设备与 GaP、GaAs、InGaAlP 相比有哪些不同的要求? 为什么?53
44. 什么是“激光剥离技术”? 它在 LED 芯片制造中起什么作用? 它主要用在哪类芯片制造中?53
45. “透明电极”芯片的结构与它的特点是什么?53
46. 什么是“倒装芯片 (Flip-Chip)”? 它的结构如何? 它有哪些优点?54
47. 用于半导体照明的芯片技术的发展主流是什么?55

三、封装篇

48. 提高 LED 芯片光子逸出率的途径有哪些? 为什么说通过封装设计和封装材料改进可以提高 LED 光子逸出效率?56
49. 简述提高 LED 芯片电-光转换效率的重要意义。58
50. 衡量 LED 器件电-光转换优劣的参数主要有哪些?59
51. LED 芯片封装成发光二极管一般可以分成哪几种形式? 它们在结构上各有什么不同?60
52. 何谓功率型 LED? 请介绍一下它的发展概况。61
53. LED 芯片封装成器件一般的制造流程是什么?63
54. 为什么要将芯片进行封装? 封装后的器件比裸芯在性能上有什么不同?63
55. 大面积功率 LED 芯片与常规小功率芯片相比对封装材料与工艺有什么特殊要求?64
56. 何谓“一次光学设计”? LED 封装中有哪几种出光透镜? 它们有何特点?65
57. 大功率 LED 的封装形式目前常见的有哪几种? 它们有哪些异同?66
58. 对于 LED 封装的环境条件要求是什么? 有人说: 车间的洁净度、防静电措施等对 LED 封装无所谓, 这种说法对吗?68

59. 我国似乎正在成为 LED 封装产业的庞大基地之一, 如此迅速发展会不会带来负面效应?68
60. 目前国内不少封装企业普遍存在的不足是什么? 进一步发展中, 应当注意哪些方面的问题?69
61. 芯片固晶工艺中的“合金固晶”工艺是什么?69
62. 当前国内 LED 企业对产品可靠性工作还有哪些可以改进和提高的方面?71
63. 白光 LED 是通过哪些方法来实现的?72
64. 当前, 制造白光 LED 的主流方法是什么?72
65. 白光 LED 当前具有代表性的产品的水平如何?72

四、应用篇

66. 单个 LED 的流明效率与用 LED 作光源构成的灯具的流明效率有什么异同?74
67. 为什么一只蓝光 LED 在涂上特殊的荧光粉构成白光 LED 后, 其辐射光通量会比蓝光高出几倍甚至十几倍?75
68. 照度的定义是什么? 知道某个 LED 的辐射光通量, 能否求出它的照度?76
69. 当用发光角为 60° 的 LED 作数码相机闪光灯的白光光源时, 要求在照射距离 0.5m 的照射面上照度为 10lx, 试问这个 LED 的光通量应为多少?77
70. 请问 LED 的光通量 Φ 与发光强度即光强是否能相互转换?78
71. LED 的发光强度 I_v 与照度 E 之间如何进行换算?78
72. 为什么说用积分球来测量 LED 的光通量时, 可以认为: 在积分球内表面任一点位置上得到的由另一部分反射出的照度, 不受点的位置的影响?79
73. 为什么 LED PN 结上温度升高会引起它的光电参数退化?80
74. LED 的哪些参数与 PN 结温度相关? 它们是何种关系?81
75. 衡量 LED 长期使用性能退化的主要指标是什么?83
76. 什么是 LED 的结温, 它是如何产生的?84
77. 简述结温对 LED 光输出的影响。86
78. LED 的正向电压与结温之间存在什么关系?87

79. 当结温上升时, LED 的发光波长与颜色如何变化?	88
80. 简述什么是热阻? 它的定义和单位是什么?	90
81. LED PN 结上最高结温的含义是什么?	91
82. 试述 LED 器件的热阻模型, 它由哪些部分构成? 各有什么特点?	92
83. 为什么说提高光效可降低结温? 提高 LED 光效的主要途径哪些?	94
84. 试述热阻在功率 LED 光源应用中的作用。	95
85. 如何减小 LED 的热阻值?	97
86. 请简单介绍一下目前常用的热阻测试方法。	98
87. 芯片局部过热的原因是什么, 对 LED 的可靠使用有何隐患, 如何 测量芯片表面的温度分布?	100
88. 请介绍一下 LED 的光电参数中哪些参数与电流 I_F 相关?	101
89. LED 工作时, 较好的驱动方法是什么?	102
90. 有哪些常用的恒流驱动 LED 的方法? 请作简单介绍。	104
91. 能否推荐一些专用于 LED 的 IC 驱动芯片?	108
92. 如何实现 LED 的调光、调色? 请举一简单例子说明。	110
93. LED 的“寿命”是什么样一种概念? 什么是“浴盆”曲线?	112
94. LED 失效的判断标准是什么? 什么是失效率?	114
95. 平均无故障时间的含义是什么? 可靠度又如何理解?	115
96. LED 器件的失效模型如何建立?	116
97. 是否可以通过试验来剔除早期失效的 LED?	117
98. 什么是静电破坏? 哪些类型的 LED 容易受静电破坏导致失效?	118
99. LED 与 LED 应用部件或系统的可靠性是否一样? 应当如何正确 解?	119
100. 从哪些方面着手改进, 可以提高 LED 在应用中的可靠性, 降低失 效率?	120
101. 为什么用太阳能电池与白光 LED 组合的照明系统被称为是 “真正的绿色照明”系统?	122
102. LED 要进入照明领域还存在哪些问题, 还要做哪些工作?	122

附录: LED相关专利 100例

(一) 国外专利摘要

1. 用于照明的基于发光二极管阵列的点阵结构124
2. 包括发光二极管和荧光发光二极管的混合白光光源125
3. 采用特定网格关系的发光二极管阵列125
4. 基于三维网格结构的照明发光二极管阵列127
5. 用于信号设备的发光二极管组件128
6. 可表面装配的发光二极管光源和制造发光二极管光源的方法128
7. 具有改良电流分散结构的可扩展发光二极管129
8. 发光二极管的散热结构130
9. 片式发光二极管及其制造方法131
10. 自备散热器的发光二极管132
11. 以发光二极管的发光为基础的发光设备132
12. 发光二极管驱动电路和用它的光传输模块134
13. GaN 基 III—V 族氮化物发光二极管及其制造方法134
14. 发光二极管电源135
15. 白色发光二极管的制造方法136
16. 发光二极管灯串的优选实施例137
17. 发光二极管、照明装置以及制造这种发光二极管的方法138
18. 发光二极管光源139
19. 发光二极管电源140
20. 用于发白光二极管的磷光体和发白光二极管141
21. 发光二极管及半导体激光141
22. 带反射器和发光二极管的光源142
23. 具有多色发光二极管阵列的光源143
24. 发光二极管驱动电路144
25. GaInN 半导体层及其制备方法, 包括该层的发光二极管和包括该发
光二极管的发光器件145
26. 在 GaN 基板上的发光二极管芯片和用 GaN 基板上的发光二极管芯片

制造发光二极管元件的方法	146
27. 发光二极管芯片及其制造方法	147
28. 具有基于氮化镓的辐射外延层序列的发光二极管芯片及其制造方法	148
29. 尤其与发光二极管组合使用的被动辐射光模	149
30. 具有至少一只发光二极管作为光源的照明单元	150
31. 带有多个发光二极管芯片的元件	151
32. 用于表面安装型发光二极管的引线框及其制造方法	152
33. 发光二极管器件	153
34. 发光二极管器件	153
35. 发光二极管装置	154
36. 垂直结构 InGaN 发光二极管	155
37. 一种旋转发光二极管全色显示设备	155
38. 发光二极管、光学半导体元件及适用的环氧树脂组合物及其制造方法	157
39. 基于红绿蓝的发光二极管发光体系统	157
40. 包括多个发光二极管的显示装置	159
41. 发光二极管阵列	160
42. 发光二极管的运行设备	161
43. 用于发光二极管的基片	161
44. 发光二极管	162
45. 全色发光二极管(LED)显示系统	163
46. 带有耦合输出结构的发光二极管	164
47. 具有改进发光效率的有机发光二极管器件	165
48. 大功率半导体激光二极管	165
49. 半导体激光二极管及其制造方法	166
50. 第 3~5 族化合物半导体和发光二极管	167
 (二) 国内专利摘要	
1. 透明电极基板及其制造方法和有机发光二极管	167
2. 发光二极管的封装	168
3. 一种高亮度粉红色发光二极管的制备方法	169
4. 具有对边电极的发光二极管元件及其制造方法	170

5. 半导体发光器件双异质结构及发光二极管	171
6. 具有分散电流与提高发光面积利用率的发光二极管	171
7. 在蓝宝石衬底上形成半导体发光二极管管芯的方法	172
8. 发光二极管及其制造方法	173
9. 叠置晶片全彩色发光二极管的封装结构及方法	174
10. 发光二极管及其制造方法	175
11. 发光二极管芯片的多芯片封装结构	176
12. 中空 LED 发光二极管	177
13. 具有微小透镜的表面黏着型发光二极管	177
14. 发光二极管灯具	178
15. 发光二极管照明光源装置	179
16. 发光二极管字形、图形灯	180
17. 白色发光二极管的制造方法	180
18. 一种高功率的发光二极管封装方法	181
19. 发光二极管面光源的改良方法	182
20. 发光二极管	182
21. 一种二极管结构及其静电放电防护电路	183
22. 发光二极管的结构及其制造方法	184
23. 液冷式发光二极管及其封装方法	185
24. III族氮化物发光二极管及其制造方法	185
25. 使用发光二极管的水管灯制造方法	186
26. 紫红光发光二极管	187
27. 提高发光二极管亮度的封装方法	187
28. 发光二极管光源控制方法	188
29. 一种白光发光二极管的制造方法	189
30. 一种发光二极管装饰灯泡及其制造方法	190
31. 发光二极管外延片电致发光无损检测方法	191
32. 三波长白光发光二极管的制造方法	192
33. 紫光发光二极管激发的三基色荧光粉和合成方法	193
34. 大功率照明发光二极管	194
35. 集合二极管新型光源	194
36. ZnO 基同质结发光二极管	195

37. ZnO 基发光二极管	196
38. GaN 基发光二极管用的荧光粉及其制备方法	196
39. 发光二极管支架	197
40. 发光二极管封装结构	198
41. 高亮度白光的二极管白光光源	198
42. 大功率发光二极管灯	199
43. 发光二极管的改良	200
44. 连结式表面粘着型发光二极管	201
45. 大功率发光二极管	202
46. 发光二极管晶片的串联结构	202
47. 功率型发光二极管	203
48. 高效率大功率发光二极管	204
49. 功率型发光二极管框架	205
50. 一种 GaN 基多量子阱蓝光发光二极管	206

一、基础知识篇

1. 光的本质是什么，物体发光有哪几种方式？

光是一种能量的形态，它可在空间传播而无需任何物质作媒介。通常将这种能量的传递方式称为辐射，其含义是指能量从能源出发沿直线(在同一介质内)向四面八方传播。关于光的本质，早在 17 世纪中叶就被牛顿与麦克斯韦分别以“微粒说”、“波动说”进行了详细探讨，并成为当前所公认的光具有“波粒二重性”的理论基础。约 100 多年前，人们又进一步证实了光是一种电磁波，更严格地说，在极为宽阔的电磁波谱大家族中，可见光的光波只占有很小的空间，如表 1-1 所示，其波长范围处在 380 ~ 770nm 之间，包含了人眼可辨别的紫、靛、蓝、绿、黄、橙、红七种颜色。它的长波端是波长范围在微米量级至几十千米的红外线、微波及无线电波区域；它的短波端是紫外线、X 射线和 γ 射线，其中 γ 射线的波长已小到可与原子直径相比拟。

表 1-1 电磁波谱波长区域

电磁波谱种类	波长范围			
	nm	μm	cm	m
长波振荡				$> 10^5$
无线电波				1 ~ 10^5
微波			$10^{-1} \sim 10^2$	
红外线		0.77 ~ 10^3		
可见光	380 ~ 770			
紫外线	10 ~ 390			

续表

电磁波谱种类	波长范围			
	nm	μm	cm	m
X 射线	$10^{-3} \sim 50$			
γ 射线	$10^{-5} \sim 10^{-1}$			
宇宙射线	$< 10^{-5}$			

注：1m=10²cm=10⁶ μm =10⁹nm

物体的发光方式通常可分成两类，即热光与冷光。所谓热光又称之为热辐射，是指物质在高温下发出的光。在热辐射的过程中，物体内部的能量并不改变，通过加热使辐射得以进行下去，低温时辐射红外光，高温时变成白光。众所周知，当钨丝在真空或惰性气体中加热至很高的温度，即会发出灼眼的白光。其实，太阳光就是一种最为常见的白光，三棱镜可将太阳光分解成上述的七种颜色。实验已证明，只要采用其中的红、绿、蓝三种颜色，即可合成自然界中所有色彩，包括白色的光，我们通常将红、绿、蓝三种颜色称之为三原色。

冷光是某种能源在较低温度时所发出的光。发冷光时，某个原子的一个电子受外力作用从基态激发到较高的能态。由于这种状态是不稳定的，该电子通常以光的形式将能量释放出来，回到基态。由于这种发光过程不伴随物体的加热，因此将这种形式的光称之为冷光。按物质的种类与激发的方式不同，冷光可分为各种生物发光、化学发光、光致发光、阴极射线发光、场致发光、电致发光(EL)等多种类别。萤火虫、荧光粉、日光灯、EL 发光、LED 发光等均是一些典型的冷光光源。

2. 何谓电致发光？半导体发光为何属冷光？

所谓电致发光(EL)是一种直接将电能转换成光能的过程。这种发光不像白炽灯那样先将电能转变成热能使物体温度升高而发光，因而称之为冷光。通常有两种电致发光现象：第一类 EL 屏

是利用固体在电场作用下的发光现象所制成的光源。荧光材料在电场作用下，导带中的电子被加速到足够高的能量并撞击发光中心，使发光中心激发或电离，激活的发光中心回到基态或与电子复合而发光，荧光材料（像 ZnS）中不同的激活剂决定了发光的颜色。第二类电致发光又称之为注入式场致发光，LED 与 LD 就属于这类发光过程。电致发光实际上也是一种能量的变换与转移的过程。电场的作用使系统受到激发，将电子由低能态跃迁到高能态，当它们从高能态回到低能态时，根据能量守恒原理，多余的能量将以光的形式释放出来，这就是电致激发发光。发光波长取决于电子的能量差：

$$\Delta E = h\nu = h \cdot c / \lambda = 1.24 \times 10^{-7} / \lambda \quad (1-1)$$

$$\text{或者} \quad \lambda = h \cdot c / \Delta E \quad (1-2)$$

其中 $\Delta E = E_1 - E_2$ ， E 是发射光子所具有的能量，以电子伏为单位； λ 为光子波长，以毫微米为单位； h 是普朗克常数， $h = 4.1357 \times 10^{-15} \text{eV} \cdot \text{s}$ ； c 是光速， $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。由式 (1-1) 可知，激发电子的能量差 ΔE 越大，所发出的光子波长就越短，颜色发生蓝移。反之，激发电子能量差越小，所发出的光子的波长越长，颜色发生红移。

3. 照明光源的发展经历了哪几个阶段？

在 18 世纪以前，人类一直以“火”作为自己的照明工具，从普通的柴火、油灯、蜡烛，直至以后大量使用的煤气灯、汽油灯，照明推动了人类的文明与进步。18 世纪，电的发明给人类照明带来了新的机遇，美国人戴维首先用多至 200 节的电池和两根碳棒，制成了电弧光灯，这种灯的特点是亮度高、温度高以及碳棒容易挥发变短，到 1877 年一个俄国发明家将弧光灯改良成了电烛，但结构的变化没有改善弧光灯的性能。此时，世界上很多科学家均在想方设法，希望能发明一种既方便又安全的电灯。