

LED 原理及其照明应用

王声学 吴广宁 蒋伟 边珊珊 李生林

(西南交通大学电气工程学院 成都 610031)

摘要 LED 是 21 世纪令人瞩目的光源,具有广阔的照明前景。该文首先对 LED 的发展做了简单的介绍,然后从其基本原理进行分析,说明了 LED 作为照明光源可行性,最后对 LED 的市场应用做了说明并做了展望。

关键词 LED 光源 绿色照明 环保 节能

0 引言

纵观人类照明史,先后经历了火光照明、白炽灯照明、荧光灯照明。而 LED(发光二极管)作为加入照明家族的新成员,目前正处于蓬勃发展阶段。从 1962 年第一支红色二极管问世,黄色、绿色、橙色、蓝光 LED 被陆续开发出来。1998 年,基于蓝光的 LED 芯片的成功开发,孕育了新一代的照明革命。

随着国家半导体照明工程的启动,半导体照明技术将进一步改变我们的世界。根据 Haitz 定律(图 1),从 1968 年第一个商用 LED 开始算,在 38 年的发展过程中,平均每 18 至 24 个月,LED 的亮度提升一倍,用量增加一倍。从 1998 年开发成功的白光 LED 以来,短短的八年时间,发光效率从最初的 5 lm/W 不断提高,2000 年达到了 25 lm/W。前不久,日亚化学工业(Nichia)成功开发出了发光效率为 100 lm/W 的白光 LED,从其发光效率已经可以与荧光灯和 HID 灯相媲美。由于白光 LED 光效的迅速提高,加上其体积小、耐震动、响应速度快、方向性好、寿命长达数万小时、光色接近白炽灯光色、低压驱动、无汞和铅的污染,将发展成为可用来代替白炽灯和荧光灯的主要绿色光源。

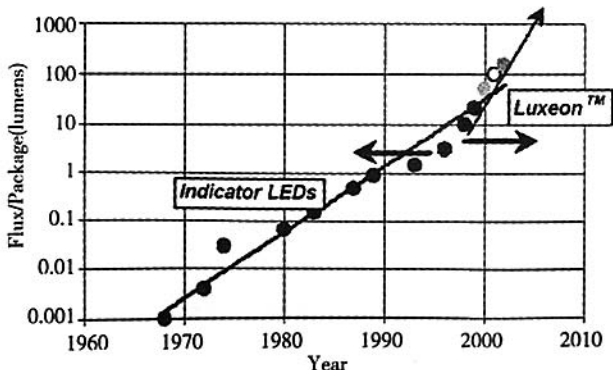


图 1 Haitz 定律

1 基本原理

发光二极管是由 p 型和 n 型半导体组成的二极管,见图 2。在 LED 的 p-n 结附近,n 型材料中多数载流子是电子,p 型材料中多数载流子是空穴。p-n 结上未加电压时构成一定的势垒,当加正向偏压时,在外电场作用下,p 区的空穴和 n 区的电子就向对方扩散运动,构成少数载流子的注入,从而在 p-n 结附近产生导带电子和价带空穴的复合,同时释放出相对应的能量 $h\nu$ (h 为普朗克常数, ν 为光子频率)而发光。该能量相当于半导体材料的带隙能量 E_g (E_v),其与发光波长 λ (nm)的关系为 $\lambda = 1239.6/E_g$ 。因此,只要有理想的半导体材料就可以制成各种光色的 LED。

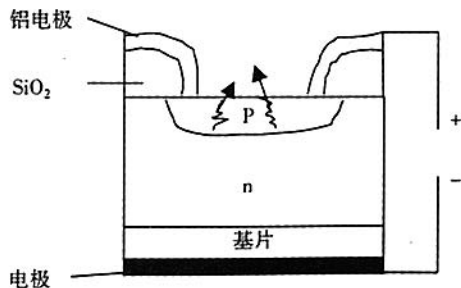


图 2 发光二极管原理结构

半导体材料的发光机理决定了单一 LED 芯片不可能发出连续光谱的白光,必须以其他的方式合成白光。表 1 表示了白光 LED 的发光原理和类型。目前产生白光的方式有两种:一是用单色光激发荧光粉发出其他颜色的光,最终混合成白光,即单芯片型;二是采用将几种发不同色光的芯片封在一起,构成发白光的 LED,即多芯片型。

单芯片型结构又可分为三种(1)将蓝色 LED InGaN 芯片与钇铝石榴石(YAG)荧光粉组合成二基色白光 LED,或由 InGaN(蓝光峰值 430 nm 或 470 nm)与红色(650 nm)和绿色(540 nm)荧光粉组

成三基色白光 LED (2) 利用蓝色 ZnSe 为基体制成芯片与衬基发出的黄光复合成白光 (3) 用 InGaN LED 发出的紫外光激励三基色荧光粉发出白光。

而对于多芯片型, 直接将红、绿、蓝三种颜色的 LED 芯片组成一组, 实现白光。

表 1 白光 LED 类型及其原理

芯片数	激发源	发光材料	发光原理
1	蓝色 LED	InGaN/YAG	用蓝色光激励 YAG 荧光粉发出黄色光, 从而混合成白光
	蓝色 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 的蓝光激发红、绿、蓝三基色荧光粉发光
	蓝色 LED	ZnSe	由薄膜层发出蓝光和基板上激发的黄光混合成白光
	紫外 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 发出紫外光激发红、绿、蓝三基色荧光粉发白光
2	蓝、黄绿 LED	InGaN、GaP	将具有补色关系的二种芯片封装在一起, 发出白光
3	蓝、绿、红 LED	InGaN、AllnGaP	将发三原色的三种芯片封装在一起发出白光
多个	多种光色的 LED	InGaN、AllnGaP、GaPN	将遍布可见光区的多种色光芯片封装在一起, 构成白色 LED

2 LED 照明光源的可行性

自 1996 年国家经贸委等部门组织实施“中国绿色照明工程”以来, 绿色照明的概念深入人心。作

为第四代新型照明光源, LED 具有许多不同于其他电光源的特点(表 2), 这也使其成为节能环保光源的首选。

表 2 LED 灯与传统灯性能对比

名称	耗电量(W)	工作电压(V)	协调控制	发热量	可靠性	使用寿命(h)
钨丝灯	15~200	220	高	高	低	3 000
节能灯	3~150	220	不宜调光	低	低	5 000
金属卤素灯	100	220	不易	极高	低	3 000
霓虹灯	500	较高	高	高	宜室内	3 000
镁氙灯	16W/m	220	较好	较高	较好	6 000
日光灯	4~100	220	不易	较高	低	5 000~8 000
冷阴极	15W/m	需逆变	较好	较好	较低	10 000
LED 灯	极低	很低	多种形式	极低	极高	100 000

由表 2 分析可知, 相对于其他目前比较普及电光源来说, LED 有如下优点:

1) 节能: 固体冷光源光效高, 目前最高已经达到了 100 lm/W, 预计最终可以达到 200 lm/W。现在大部分家用照明灯具采用白炽灯照明, 其光效约为 8 lm/W;

2) 环保: 由于采用电致发光的原理, 没有有害金属汞污染问题, 废物可以回收, 并且冷光源发热量较低;

3) 安全: LED 使用低压电源, 比较适用于公共场合;

4) 可靠: LED 具有坚固、耐震、耐冲击等特性, 光源稳定性好;

5) 适用性: 体积小、重量轻, 每个单元 LED 小片是 3~5 mm 的正方形, 因此可以封装成各种形状的器件, 适合于易变的环境;

6) 响应时间: 白炽灯的响应时间为毫秒级, 而 LED 的响应时间为纳秒级, 因此可以高频操作;

7) 控制管理: LED 可以集中控制, 也易于分散控制或对点进行调节控制。还可以通过控制 LED 的电流调光, 通过不同光色组合调色, 达到多种动态变化效果。

目前 LED 正处于初期发展阶段, 其发光效率也在不断的提高, 但还需要解决一些技术上的问题才能真正使 LED 在照明领域得到普及。

1) 发光效率: 一般 LED 的发光效率即输出对输入的效率 (Y_{wp}) 是有三个独立的效率即电压效率 (Y_v)、内部量子效率 (Y_i) 和光输出到外部的效率 (Y_{ext}) 乘积表示的, 公式如下:

$$Y_{wp} = Y_v \cdot Y_i \cdot Y_{ext}$$

由上式可以看出: LED 的发光效率是由其半导体材料与芯片结构和制造工艺所决定的;

2) 散热问题: 尽管普通的小 LED 灯体积只有 0.03 立方毫米, 不存在散热问题, 但用于常规照明

的高功率LED的体积至少要在1立方毫米以上,热量的集中度相当高。散热不良将导致LED芯片结温迅速上升和环氧树脂碳化变黄,从而造成LED的加速光衰,降低LED的寿命,甚至失效;

3)价格 这是影响LED照明普及的主要原因。

上述问题的解决,仍需技术上的提升,如生产高质量的外延片、设计新型的芯片结构、采用倒装焊封装结构、利用表面粗糙技术等等,不断提高LED芯片的性价比,使其超高效率、低成本的方向发展,促使LED成为照明世界的真正主导者。

3 照明应用

全色超高亮度LED的实用化和商品化,使照明领域面临一场新的革命。LED是21世纪具有竞争力的新型电光源,尽管其完全取代白炽灯和荧光灯尚需5年~15年,但LED早已与人们的生活密不可分。从应用市场结构看,LED主要应用范围包括显示屏、手机、指示灯、LCD背光源、照明、装饰灯领域。

在整个应用领域中,指示灯为最主要的应用领域,但其中作为一般指示用的LED多为普通亮度LED,只有在交通信号指示灯或道路指示灯等户外指示灯多采用高亮度LED。

在过去的10年中,高亮度的LED被陆续应用在汽车、卡车及大型游览车的内外车灯等领域。根据Eyesply Japan市场调查指出,在2004年大约有30%的新车款以LED作为车尾灯或CMHSL(Center High-Mount Stop Lamps),大部分新出厂的汽车及大型交通工具都已开始使用LED当作方向指示灯和刹车灯。LED灯具有响应时间短的特点,通常LED的响应时间为60 ns,白炽灯的响应时间一般为140 ns,因此使用LED灯可以降低交通事故的发生率。

景观照明是半导体照明的新兴力量。现阶段,用于照明的LED还很少,这主要是因为:现阶段LED的发光效率、显色性、光衰等基本参数还没有完全达到传统照明中的参数要求,但由于发光二级管具有的诸多优点及国家出台的“国家半导体照明工程”等相关政策的支持,相信随着时间的推移,技术的不断进步,LED必将逐步代替白炽灯、荧光灯等传统照明光源而成为新型绿色照明光源。半导体照明市场发展潜力十分巨大。

随着LED在手机中的应用日趋普遍,特别是带有拍照功能的手机占市场整机产量中的比重日益增大,作为闪光灯用的白光LED需求快速增长。除此之外,安全照明灯、显微镜灯、手电筒、特种白光照明

等小功率白光LED灯也已经进入市场。因此,今年白光LED市场将会发展迅速,成为市场中的又一重要力量。随着半导体照明技术的不断发展,LED越来越多的进入到各种照明领域中。

4 展望

LED草坪灯、交通信号灯、手电筒、地板灯、景观灯、水下灯、地埋灯等产品不断进入市场,使得市场对于LED特别是高亮度LED的需求不断扩大。高亮度LED市场进入快速发展时期。在未来5年中,LED作为下一代新型照明光源将继续进入如汽车、大尺寸LCD背光源、室内、室外照明等广泛的行业中,LED应用将变得更加普遍。且LED作为新一代照明光源在照明市场中所占的比重也将呈现出逐年递增的趋势。

整体看,汽车用灯LED化是一个非常广阔的市场。当前,美国、日本、欧洲的一些高档汽车已经开始部分使用半导体照明,但由于汽车领域的准入门槛较高,所以汽车用LED灯在国内还没有广泛进入市场,相信随着国内汽车工业的不断发展,汽车用LED灯将在未来几年广泛的应用在国内汽车市场中。而对于LCD背光源来说,虽然目前LED已经在LCD背光源中,但使用的范围主要集中在小尺寸LCD背光源中。在大、中尺寸LCD背光源市场中仍以CCFL为主。虽然CCFL具有线型发光、光源均匀等特点,但耗电量高、不环保;相比较之下,LED因单点发光、耗电量低,再加上寿命长、短小轻薄、环保等优势,更适合用作LCD背光源使用。相信随着LED发光效率的不断改进,LED将逐步成为大、中尺寸LCD用背光源。

而对于室内、室外照明来说,随着未来技术的不断发展,功率型LED在发光效率、光衰问题、显色性等阻碍其进入普通照明市场的障碍将被不断解决。届时,由于技术的成熟,规模化生产的实现,价格也将不断下降。以上因素都极大的推动了LED进入照明市场。

5 结语

作为半导体产品,LED是集固体物理、光电子、固体发光、有机化工、无机化工、光机电和热传导等多学科为一体的高科技产品,所以其成本较高,目前难以大面积推广。因此,研究开发高亮度、低成本的LED是当务之急。同时,还应利用LED的特性,积

极结合相关新技术,开发出适用于不同场合和用途的照明系统。

LED 在照明领域显示出来的巨大魅力,必定会使其成为 21 世纪主导光源。山东大学晶体材料国家重点实验室蒋民华院士就曾估计:到 2020 年左右,LED 照明将得到极大普及,全面开始固体照明时代。

参考文献:

- [1] Daniel A. Steigerwald ,Jerome C. Bhat , Dave Collins , Robert M. Fletcher ,Mari Ochiai Holcomb , Michael J. Ludowise. Illumination With Solid State Lighting Technology[J]. IEEE Journal on selected topics in quantum electronics. 2002 ,8(3) 310 ~ 320
- [2] Nadarajah Narendaran ,Yimin Gu. Life of LED - based white light sources[J]. IEEE/OSE Journal of display technology. 2005 ,1(1) :167 ~ 171
- [3] 武毅. 绿色光源——LED[J]. 灯与照明. 2005 , 30 (2) :45 ~ 48
- [4] 王海鸥 ,李广安. 认识照明 LED[J]. 中国照明电器 , 2004(2) :1 ~ 3
- [5] 郑代顺 ,钱可元. 功率型白光 LED 研究进展[J]. 中国照明电器 ,2006(3) :1 ~ 7
- [6] 北京电光源研究所 ,北京照明学会. 电光源实用手册 [M]. 北京 :中国物资出版社 ,2005 :189 ~ 197
- [7] 陈汉汛 ,倪尔东 ,刘利. 汽车 LED 光源信息传递及驱动[J]. 武汉理工大学学报 ,2005 ,27(1) :143 ~ 146
- [8] 宋贤杰 ,屠其非 ,周伟 ,等. 高亮度发光二极管及其在照明领域中的应用[J]. 半导体光电 ,2002 ,23(5) : 356 ~ 360
- [9] 王尔镇. 高效率白光 LED 的技术开发[J]. 灯与照明 , 2003 ,27(4) 26 ~ 31
- [10] 王晓明 ,郭伟玲 ,高国 ,沈光地. LED——新一代照明光源[J]. 现代显示 ,2005 ,6 :15 ~ 19
- [11] 周太明 ,宋贤杰 ,周伟. LED——21 世纪照明新光源 [J]. 照明工程学报 ,2001 ,12(4) 37 ~ 40
- [12] 郝金刚 ,梁春军 ,刘淡宁 ,等. LED 产业分析报告[J]. 现代显示 ,2006 ,3 :8 ~ 15
- [13] 项红升 ,李明 ,王志华 ,等. LED 在绿色节能照明中的应用进展[J]. 实用技术 ,2004 ,5 :52 ~ 54
- [14] 刘行仁 ,薛胜薛 ,黄德森 ,等. 白光 LED 现状和问题 [J]. 光源与照明 ,2003 ,3 :4 ~ 8
- [15] 赵清泉 ,夏晓玲. 半导体发光二极管的应用及其前景 [J]. 大众科技 ,2005 ,8 :30 ~ 31
- [16] 崔元日 ,潘苏予. 第四代照明光源——白光 LED[J]. 灯与照明 ,2004 ,28(2) 31 ~ 34
- [17] 王占庆 ,石瑞林. 发光二极管(LED)将引发照明领域的革命[J]. 灯与照明 ,2005 ,29(3) :48 ~ 51.
- [18] 刘虹 ,沈天行 ,顾冰 ,等. LED 进入普通照明市场的预测及照明节电分析[J]. 照明工程学报 ,2005 ,16 (3) :17 ~ 22
- [19] 刘宏 ,张晓晶. 高亮度白光 LED 直流照明灯的研究 [J]. 节能环保 ,2005 ,8
- [20] 陈哲良. 关于发光二极管和半导体照明的探讨[J]. 能源工程 ,2004 ,2 :1 ~ 2
- [21] 彭万华. 我国超高亮度及白光 LED 产业的现状与发展[J]. 激光与红外 ,2005 ,35(4) 223 ~ 227
- [22] 刘恩科 ,朱秉升 ,罗晋生 ,等. 半导体物理学[M]. 西安 :西安交通大学出版社 ,1998 :282 ~ 287
- [23] J. R. 柯顿 ,A. M. 马斯登. 光源与照明[M]. 第四版 ,上海 :复旦大学出版社 ,2000 :244 ~ 247

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

LED原理及其照明应用

作者: [王声学](#), [吴广宁](#), [蒋伟](#), [边珊珊](#), [李生林](#)
 作者单位: [西南交通大学电气工程学院, 成都, 610031](#)
 刊名: [灯与照明](#)
 英文刊名: [LIGHT & LIGHTING](#)
 年, 卷(期): 2006, 30(4)
 引用次数: 16次

参考文献(23条)

- [Daniel A Steigerwald, Jerome C Bhat, Dave Collins, Robert M. Fletcher, Mari Ochiai Holcomb, Michael J. Ludowise Illumination With Solid State Lighting Technology](#) 2002(3)
- [Nadarajah Narendaran, Yimin Gu Life of LED-based white light sources](#) 2005(1)
- [武毅 绿色光源—LED\[期刊论文\]-灯与照明](#) 2005(2)
- [王海鸥, 李广安 认识照明 LED\[期刊论文\]-中国照明电器](#) 2004(2)
- [郑代顺, 钱可元 功率型白光LED研究进展\[期刊论文\]-中国照明电器](#) 2006(3)
- [北京电光源研究所, 北京照明学会 电光源实用手册](#) 2005
- [陈汉汛, 倪尔东, 刘利 汽车LED光源信息传递及驱动](#) 2005(1)
- [宋贤杰, 屠其非, 周伟, 周太明 高亮度发光二极管及其在照明领域中的应用\[期刊论文\]-半导体光电](#) 2002(5)
- [王尔镇 高效率白光LED的技术开发\[期刊论文\]-灯与照明](#) 2003(4)
- [王晓明, 郭伟玲, 高国, 沈光地 LED—新一代照明光源\[期刊论文\]-现代显示](#) 2005(7)
- [周太明, 宋贤杰, 周伟, 周永业 LED—21世纪照明新光源\[期刊论文\]-照明工程学报](#) 2001(4)
- [郝金刚, 梁春军, 刘淡宁, 杨婧, 黄洪庆, 华超, 陈建营 LED产业分析报告\[期刊论文\]-现代显示](#) 2006(3)
- [项红升, 李明, 王志华 LED在绿色节能照明中的应用进展](#) 2004
- [刘行仁, 薛胜薛, 黄德森, 林秀华 白光LED现状和问题\[期刊论文\]-光源与照明](#) 2003(3)
- [赵清泉, 夏晓玲 半导体发光二极管的应用及其前景\[期刊论文\]-大众科技](#) 2005(6)
- [崔元日, 潘苏予 第四代照明光源—白光LED\[期刊论文\]-灯与照明](#) 2004(2)
- [王占庆, 石瑞林 发光二极管\(LED\)将引发照明领域的革命\[期刊论文\]-灯与照明](#) 2005(3)
- [刘虹, 沈天行, 顾冰, 王翠萍 LED进入普通照明市场的预测及照明节电分析\[期刊论文\]-照明工程学报](#) 2005(3)
- [刘宏, 张晓晶 高亮度白光LED直流照明灯的研究\[期刊论文\]-节能与环保](#) 2005(8)
- [陈哲良 关于发光二极管和半导体照明的探讨\[期刊论文\]-能源工程](#) 2004(2)
- [彭万华 我国超高亮度及白光LED产业的现状与发展\[期刊论文\]-激光与红外](#) 2005(4)
- [刘恩科, 朱秉升, 罗晋生 半导体物理学](#) 1998
- [J R 柯顿, A M 马斯登 光源与照明](#) 2000

相似文献(10条)

- 会议论文 [朱谦 新型LED光源照明控制技术初探](#) 2002
LED光源高效、节能和长寿命日益成为新一代绿色照明光源。本文系统阐述了LED光源、LED照明光源配电器设计以及LED照明控制网络设计以及实际工程应用。
- 会议论文 [李超华 浅谈绿色照明及照明节能设计中的要点](#) 2009
绿色照明工程将是我国21世纪社会经济生活中的一大景观。本文简单的论述了“绿色照明”与照明节能设计中的一些要点。
- 会议论文 [张文 LED—绿色照明新光源](#) 2007
本文对LED的发展、原理及基本特征作了阐述,对高压钠灯和LED光源的特点作了对比,指出了LED在景观照明中的优势及在照明应用中存在的问题。
- 会议论文 [沈天行, 宋耕矛 绿色照明与LED](#) 2009
本文对LED的光源光效、灯具光效、驱动电路合理节能、光的逸散、光污染、保护生态环境等几方面进行了分析,阐述了使用LED达到节能的综合因素。并介绍了利用小功率LED所做的节能环保工程实例。

5. 学位论文 [杨姗姗 LED在建筑化照明设计中的应用](#) 2007

以绿色节能为特色的LED光源在建筑领域的应用飞速发展,随着其发光效率的不断提高,价格逐步下降,LED光源在照明方面的优势也显现出来。在我国倡导以绿色环保为目标的“绿色照明”的大形势下,LED无疑顺应了未来照明的需求。但是研究LED光源在照明设计中的应用,国内外目前还处在探索阶段。

LED具有光色饱满、无限混色、迅速切换、耐震、耐潮、冷温、超长寿、少维修、低功耗、体积小等优势,很适合在装饰照明中发挥作用。本文的主要内容就是分析研究LED光源在建筑环境装饰照明工程中的应用方向和方法。

本文分析了LED光源应用于室内外及景观照明的显著优势,并结合建筑化照明的理念,探索LED光源的建筑化照明方法,注重空间光环境的艺术氛围与照明功能的统一。通过总结LED灯与建筑化照明相结合的基本原则,找到适宜的整合方式,提高建筑环境的格调,塑造有个性的,具有现代感,令人愉悦,节能环保的绿色光环境。

如何实现LED与建筑及环境结合,主要从以下方面考虑:LED照明的特点及其在建筑化照明中应用的可能性;LED在建筑化照明中应用的目标和原则;LED在建筑化照明中应用的途径和方法。

本文最后将LED应用于环境照明设计,分别以办公室内空间照明和天津工业大学新校区景观道路照明设计为例,结合实际工程具体分析LED在各种环境下如何隐藏,如何与建筑结合实现“一体化”以及如何利用LED灯具本身的装饰性美化环境。

本文的创新点在于将新光源LED与新式装饰照明方法——建筑化照明有机结合;找到适合的途径实现LED与建筑化照明结合;探索并实践LED光源的艺术价值。

通过对LED建筑化照明应用的研究,探索了建筑化照明的解决办法,推动了照明设计的多方合作——建筑、环境和照明;追求照明的文化品位、美学价值和积极的心理效应,提高照明质量;重视照明的非量化因素,强调个性化,为创造优良的建筑光环境做出贡献。

6. 会议论文 [肖辉.李奇峰.俞丽华 无锡大成巷步行街的绿色照明设计](#) 2004

本文以无锡大成巷步行街的夜景照明设计为例,详细介绍了步行街照明设计的方法及实现过程,并介绍了LED新型光源在景观照明中的应用,从而阐述了推广使用LED光源在实施“绿色照明”、“绿色建筑”工程中的重要性。随着科技的发展,LED光源将会有更为广阔的市场应用前景。

7. 会议论文 [华树明 LED标准及其在中国的发展](#) 2009

LED照明产品已经成为继白炽灯、荧光灯和高强度气体放电灯之后的第四代新型电光源产品,随着产品技术的日益成熟,LED照明产品进入普通照明领域及其市场推广速度的加快,健全并完善相应的LED标准体系迫在眉睫。本文对比介绍了世界上LED标准的发展情况,在此基础上探讨了LED产品标准在中国的发展状况,提出了LED标准体系在中国的发展展望。

8. 会议论文 [沈天行 用微量的能源营造夜晚靓丽无污染的光环境——小功率LED的应用](#) 2006

LED目前被人们认为是一种很有发展前途的光源,因为它的光效已有了很大的提高,但是它目前的光效还远不如现在的高压钠灯、金卤灯、日光灯等高效的光源,所以目前有很多人用LED来照明节能表示怀疑。同时一般的LED只有百分之几瓦,总的光不多,所以有人认为LED只能作为一些亮点或亮线来点缀城市,虽说能变色、能闪烁是LED的一些优点,能起到一定烘托气氛的作用,但缺乏对被照物质感、立体感等的表现力,也起不到功能性照明的作用。然而我们认为,假使我们能充分发挥LED的优点,则不但能很好的表现被照物,而且还非常节能,同时又没有光污染。本文介绍 LED主要的特点及城市夜景照明中的应用。

9. 会议论文 [范才正 论LED新光源在道路照明中的推广应用](#) 2009

不少人认为凡是节能的照明就是绿色照明,这是把环保与科学用光两者的概念相混淆了。还有人把消除了局部危害的照明,冠之为绿色照明,这显然也很片面。本文介绍了LED光源在道路照明上的应用前景,分析了影响LED路灯推广应用的要素,阐述了LED路灯行业的规范与创新。

10. 期刊论文 [洪关芳.王真奇.董吕人.Hong meifang.Wang zhenqi.Dong lü ren 让光成为梦想的翅膀——浅谈LED光源在舞台表演中的应用 - 艺术科技](#)2009(1)

LED光源的应用,是半导体发光材料技术高速发展及“绿色照明”概念逐步深入人心的产物。

引证文献(16条)

1. [周广郁 LED照明发展应对的问题探讨](#)[期刊论文]-[灯与照明](#) 2009(2)
2. [朱根焯.刘敏娟 新型LED手术无影灯的光照度特性的研究](#)[期刊论文]-[中国医疗器械杂志](#) 2009(3)
3. [牛得存 浅析LED在照明领域的应用](#)[期刊论文]-[中国科技财富](#) 2009(12)
4. [王雅芳 大功率LED照明电路特性与驱动设计](#)[期刊论文]-[电子与封装](#) 2009(4)
5. [王雅芳 基于照明特性分析的串联饱和型恒流驱动设计](#)[期刊论文]-[电力电子技术](#) 2009(4)
6. [王雅芳 大功率LED照明电路特性与驱动设计](#)[期刊论文]-[水利科技](#) 2008(3)
7. [吴淑梅.霍彦明.徐梅 LED光源在照明中的应用](#)[期刊论文]-[光源与照明](#) 2008(3)
8. [吴淑梅.霍彦明 LED光源的应用及前景](#)[期刊论文]-[灯与照明](#) 2008(3)
9. [崔瑾.徐志刚.邸秀茹 LED在植物设施栽培中的应用和前景](#)[期刊论文]-[农业工程学报](#) 2008(8)
10. [吴淑梅.霍彦明.徐梅.封丽华.谭峻廷 LED光源在照明中的应用](#)[期刊论文]-[现代显示](#) 2008(07)
11. [黄金霞.黄根平 LED灯在室外景观照明中的应用](#)[期刊论文]-[光源与照明](#) 2008(02)
12. [屠大维.吴仍茂.杨恒亮.赵其杰.黄志华 LED封装光学结构对光强分布的影响](#)[期刊论文]-[光学精密工程](#) 2008(05)
13. [吴淑梅.霍彦明.徐梅 LED光源在照明中的应用](#)[期刊论文]-[中国高新技术企业](#) 2008(09)
14. [李昂.王天会.芦明霞 LED引发的光源革命](#)[期刊论文]-[科协论坛\(下半月\)](#) 2008(04)
15. [王清辉 不间断LED电光源探讨](#)[期刊论文]-[龙岩学院学报](#) 2007(06)
16. [王声学.吴广宁.蒋伟.李生林 LED在汽车照明系统中的应用](#)[期刊论文]-[灯与照明](#) 2007(01)