

# 高亮度发光二极管照亮人类的未来

庾 晋

我们知道,发光是一种能量转换现象。当系统受到外界激发后,会从稳定的低能态跃迁到不稳定的高能态。当系统由不稳定的高能态重新回到稳定的低能态时,如果多余的能量以光的形式辐射出来,就产生发光现象。半导体发光二极管利用注入PN结的少数载流子与多数载流子复合,从而发出可见光,是一种直接把电能转化为光能的发光器件。

发光二极管的结构主要由PN结芯片、电极和光学系统组成。当在电极上加上正向偏压之后,使电子和空穴分别注入P区和N区,当非平衡少数载流子与多数载流子复合时,就会以辐射光子的形式将多余的能量转化为光能。其发光过程包括三个部分,正向偏压下的载流子注入、复合辐射和光能传输。发光二极管有许多的优点:工作电压低、耗电量少,性能稳定、寿命长(一般为10万~1000万小时),抗冲击、耐振动性强,重量轻、体积小、成本低。

目前的发光二极管主要用于显示器件和短距离、低速率的光纤通信用光源,如各种仪器仪表指示器的文字、数字及其他符号的显示等。未来发光二极管将广泛用于照明,并极大地节能电能。

## 纳米技术高亮度发光二极管

Kopin Corp率先利用纳米技术(Nanotechnology)制造发光二极管,已制成体积小于一粒沙的蓝色LED超效固态光源。Kopin利用NanoPockets结构及其他改良技术,成功开发出光度与商用LED相同且

能降低功耗的蓝色LED芯片。CyberLite蓝色LED芯片电压少于2.9V(以20mA电流计算),大大低于电压3.3V的商用LED,但光度可达100毫坎德拉(millicandela)。蓝色CyberLite可与黄色磷光体组合成为白色LED,这些蓝色和白色的CyberLite非常适用于无线电话、游戏机、摄录机、相机、笔记本电脑及PDA等便携式产品。

“固态光源将在未来取代大部分的一般光源。”Kopin创办人兼主席John C. C. Fan博士说:“我们借着CyberLites踏出纳米技术商品化重要的第一步,而下一步就是大量生产。虽然大量生产往往是最困难的一环,但凭借我们在HBT晶体管及CyberDisplay技术的丰富经验,相信我们能大量生产CyberLite,以满足广大市场的需求。为此,我们已向潜在客户提供CyberLite的测试样本。”Kopin将以LED作为其晶圆工程工艺(Wafer Engineering Process)产品的新主流,因为LED能与现时的III-V族半导体材料及其CyberDisplay产品能很好地结合,而且目前高光度LED市场规模较大,总值约为12亿美元,预期到2005年,市场规模会迅速增长至30亿美元。

当不同的半导体材料聚合时,在原子层将出现自然缺陷。Kopin的专利——晶圆工程工艺能大幅减少这些缺陷,并以先进的半导体材料制成不同产品。Kopin已将有关程序商品化,并制造出多款产

地把 $N_2$ 和 $H_2$ 合成 $NH_3$ ,其浓度达到 $3795mg/m^3$ 。

阻挡放电能够形成多种不同的放电模式,在丝状模式中的电流密度与在金属电极间的脉冲辉光放电的最高电流密度可相比拟,这些条件也限制了微放电通道并使放电过程仅仅持续几个纳秒;当条件符合时,扩散放电能在介质阻挡放电结构中获得,这取决于最小重复频率和亚稳态或残留电荷载流子的存在;显然,扩散放电可以在很大范围的电流密度中存在,而且并不是所有的扩散放电都会有着强场阴极位降区特性的辉光放电的品质。

如果扩散阻挡放电能够达到可靠性控制并且放电能量可与丝状放电相比拟的话,扩散放电将会有

更为重要的工业应用。对均匀放电重复率的研究,将主要致力于等离子体中气体的流速和化学反应率的研究,其前景是非常诱人的;对于均匀表面处理或薄膜生长,相比丝状放电,扩散放电有着显著的优势;采用低电流密度扩散阻挡放电产生的低温等离子在消毒、低温杀菌和对生物细胞的选择性影响方面有着最新并且卓有成效的发展。

可以相信,随着对介质阻挡放电机理的研究深入和放电装置的近一步改进,这一放电技术的各种放电模式在工业上的应用领域会越来越广泛,所取得的效益会越来越大。

(上海东华大学应用物理系 200051)

品,包括 HBT 晶体管和 CyberDisplay,目前已生产。此外, Kopin 的 CyberLites 以镓、氮化物复合体组成。这种复合体以低成本、采用有机金属汽相沉积(OMCVD)为基层的铝氧化物(蓝宝石)发展。有机金属汽相沉积一直是 Kopin 大量生产 HBT 晶体管圆片的方式。CyberLite 除了光度极强及耗电极低外,更可抵御高达 4000V 的静电存储偏转(ESD),而一般市场上所出售的 LED 只能抵御 2000V 或以下。高静电存储偏转阻力对于汽车等工业应用十分重要。

### 高亮度 GaN 蓝色发光二极管

由山东省科技厅主持的清华大学与山东英克莱集团有限公司联合研发的高亮度 GaN 蓝色发光二极管技术去年通过了鉴定。以中科院院士王启明、中国工程院院士许祖彦为正、副主任的专家鉴定委员会认为:基于 GaN 材料的高亮度蓝色发光二极管在全彩色大屏幕显示、交通信号、固体照明光源等方面有着巨大的市场前景。该项目在方向选择上是正确的,对信息产业中的发展,具有带动性作用。由清华大学、山东英克莱集团有限公司联合研发的高亮度 GaN 蓝色发光二极管在以下方面取得了突破性成果。

——成功解决了 GaN 材料外延中的一些基本问题,包括:缓冲层的生长条件优化、高质量 GaN 体材料和 InGaN/GaN 量子阱材料、n 型和 p 型掺杂的优化等,从而获得了与国外公司水平相当的外延片。

——开发出了一套有自己特色的高亮度 GaN 蓝色发光二极管芯片的制作工艺,包括:材料退火、衬底表面处理、低损伤干法刻蚀技术、电极材料与金属化技术、衬底的减薄与抛光、高成品率的划片和裂片技术等。

——确立了批量高亮度 GaN 蓝色发光二极管的封装技术,在预防静电、提高成品率等方面积累了经验。

——在成功开发上述技术的基础上,研制成功了高亮度 GaN 蓝色发光二极管,其芯片典型工作特性为:当工作电流 20mA,正向压降为 3.6V 时,发光峰值波长 470nm,输出功率为 1.5mW。15 度角封装后的 LED 的发光亮度大于 1cd,与目前国际市场上具有同类结构的产品水平相当,在国内率先达到了批量制造技术。

——技术文件齐备、完整,研制装备齐全、配套,

工艺技术合理先进,并有较完善的检测手段,建立可用于指导批量生产的质量管理体系,基本具备批量生产条件。

### 低电压蓝色 LED

美国 Kopin 公司成功开发出了以 +2.9V 电压驱动的氮化镓(GaN)蓝色发光二极管(LED),并公布了该 LED 的规格、销售日期及低电压驱动技术。计划上市的型号的波长为 470nm,ESD (electrostatic discharge)达 +1000V 以上。亮度在驱动电压 +2.9V、驱动电流 20mA 的情况下可达 60mcd。由于驱动电压低于其他公司同等亮度的产品,耗电量可降低 25%。该产品命名为“CyberLite”。另外,该公司即将销售的并非封装后的 LED,而是封装前的 LED 芯片及嵌入 LED 的晶片。芯片尺寸方面,除备有 0.3mm×0.3mm 的产品之外,还可以根据客户需求定制。CyberLite 之所以能以 +3.3V~+3.5V 这一低于其他公司产品的电压驱动,是因为采用了名为“NanoPocket”的 LED 发光层形成技术。所谓 NanoPocket,就是减小位于结晶缺陷附近的、用氮化(InGaN)材料形成的发光层的厚度,而加大位于其他部位的发光层的厚度。发光层的厚度范围在 LED 的发光面内为 1.5~2.5nm。发光层较厚的部位与较薄的部位相比,发光层的带隙(Band Gap)较低,为 100MeV~200MeV。由 p 型层产生的正孔与由 n 型层产生的电子集中于带隙较低的部位发光。“驱动电压增加的原因就是发光面存在结晶缺陷。如果没有结晶缺陷,用 +2.8V 的电压也能够驱动。通过 NanoPocket 技术降低了在结晶缺陷附近的发光。因此,结晶缺陷对 LED 的发光影响变得极小,以 +2.9V 电压也能够驱动”(Fan)。

### 超高功率发光二极管

日本三肯电气开发成功可大幅提高发光二极管(LED)发光功率的新技术。与该公司以往产品相比,发光功率提高近百倍。该公司首先将面向信号灯、汽车刹车灯和方向指示器等投产红色(发光波长为 620nm)和黄色(发光波长为 590nm)两种产品,2002 年 10 月开始提供工业样品,2003 年春季开始生产。在蓝色和绿色 LED 方面,也将开发应用此次新技术的产品。该公司希望通过开发由红、绿、蓝 3 种 LED 组合而成的白色 LED,进军液晶面板背照灯和照明产品市场。

之所以能够大幅提高发光功率,其原因主要有

现代物理知识

## 高亮度陶瓷封装发光二极管

京瓷成功开发出了用于白色发光二极管(LED)和蓝色LED等高亮度LED的陶瓷封装,并已开始提供工业样品。在封装材料中采用了氧化铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )和散热性能更好的AlN。与用树脂材料进行LED封装的现有方法相比,散热性能及耐热性能均得到了提高。该封装于2003年初开始量产,封装尺寸可根据客户要求改变。

陶瓷封装中的蓝色发光二极管的用途方面,初步设想用于手机背照灯及照明设备中使用的白色LED。陶瓷封装的优点是,适合用于发热量较大的照明设备领域。虽然,目前手机背照灯中所使用的白色LED完全可以使用现有的封装。但是,LED芯片尺寸变得比背照灯更大以后,就需要用更大的电流来驱动,从而就必须使用像陶瓷那样的高散热性封装。这是因为树脂材料的散热性较差,因此LED芯片温度过高的话,LED芯片和树脂材料就会迅速老化。

京瓷只提供陶瓷封装,LED芯片的封装由购买者自己负责。封装后,尽管在封装的上部覆盖着一层透明树脂材料,但由于陶瓷封装的散热性较高,因此这种透明树脂材料的老化也比以前得到了更好的控制。而且,对材料的散热性标准的热传导率进行比较的话, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 为 $18\text{W}/\text{mK}$ ,AlN为 $150\text{W}/\text{mK}$ ,而LED封装中所用的普通种类的树脂材料则为 $0.47\text{W}/\text{mK}$ 。热传导率的数值越大,散热性就越好。

## 白光发光二极管的技术进展

目前,半导体照明灯已逐渐对传统照明灯具发起了挑战,已有几家著名公司先后推出此类光源样品。获取白光的途径大致可分为以下3种:光转换型、多色组合型、多量子阱型。光转换型是通过荧光物质将LED的蓝光或紫光转变为波长较长的黄光或红、绿光,利用RGB三原色原理复合成白光。

最早的白光LED样品是1996年Nichia公司运用GaN-LED发出的蓝光激励黄色荧光粉,通过光的复合得到的。目前,该公司产品的主要性能指标,如亮度、光效、显色指数等仍处于行业领先地位,其产品发光强度达到 $5.6\text{cd}(20\text{mA})$ ,显色指数 $R_a > 85$ ,色温为 $3000 \sim 6500\text{K}$ ,色坐标为 $(0.31, 0.32)$ ,已接近日光,完全可与目前广泛使用的高性能的三波长型日光灯相媲美。白光LED使用的荧光粉因要求与LED的蓝光匹配,否则将出现光转换效率不高、

如下3种:①将LED元件的发光效率提高到了原来的2.5倍;②将流过LED的单位面积上的电流值最大提高到了原来的4倍;③将LED的芯片尺寸最大扩大到了原来的10倍。其中,①和②是大幅提高发光功率的突破性因素。

为了实现①,三肯电气在两个方面对LED加大了研究力度。第一,为了使从LED的发光层发出的光线毫无损失地照射到芯片外面,在芯片内部设置了一层铝质金属层。从发光层照射到底板的光线利用铝质金属层被反射到芯片的表面。红色和黄色等使用GaAs底板的LED,以前在设置反射层时使用的都是化合物半导体,因此光线反射不够充分。第二是在结构方面,通过在LED的电极上下功夫,使布线遍布了整个芯片表面。由此,加到发光层上的电场在整个芯片表面内就变得非常均匀,这样发光层发出的光在芯片表面就会变得很均匀。

为了设置铝质金属层,三肯电气把硅底板贴到了LED上,通过采用这种方法,实现了②。由于与GaAs底板相比,硅底板的热传导率约为其2.4倍,因此光线产生的热量就很容易释放到LED外面。而在此前,由于热量都聚集在LED内部,致使元件的寿命变短,由于这个问题,就难以通过增大电流来提高发光功率。

在该公司即将提供工业样品的红色和黄色LED中,硅底板粘贴工艺的原理如下:首先,在GaAs底板上形成LED结构。然后利用蚀刻技术在溶液中将GaAs底板清除掉。接着在连接GaAs底板的LED结构的表面上按铝和铜的顺序形成金属层。最后再将带有金属层的LED和在表面上形成有铜的n型硅底板的铜表面粘贴在一起。

此次的新技术还适用于蓝色和绿色LED。在将其用于这两种LED时,首先在硅底板上形成GaN型LED。然后在溶液中将硅底板消除以后,在LED的表面形成一层铝和铜,将其与在表面形成有铜的硅底板粘贴的工艺和红/黄色LED是相同的。而且一般情况下在蓝色和绿色LED采用的蓝宝石底板上形成GaN型LED时,并不使用此次的粘贴技术。这是因为“在溶液中清除蓝宝石底板是一件非常非常困难的工作”(三肯电气半导体本部半导体研究所所长大冢康二)。关于在硅底板上形成GaN型LED的技术,大冢康二表示“已经开发完毕”,目前所有的准备工作都已经就绪。

白光不纯等现象。台湾的亿光电子工业股份有限公司的孙宗鼎等人(CN 2395133Y)研制了一种 $(Y_1 - p - xCepGdx)3Al_5O_{12}(0.05, 0.1)$ 黄色荧光粉,通过调整配方可以配合波长在430~470nm范围内的蓝光光源,产生高纯度的白光。美国GE公司1999年11月开发的RGB三波长型产品,色温为3000~6500K,显色指数为83~87,发光效率达到10~20lm/W(CN 1289456A)。此外,还有美国HP(USP 5, 959, 316)、德国Simens(CN 1228873A)、philips(USP 5, 813, 753)、日本东芝与本田等单位也有各自的产品推出。其中所使用的光转换物质大都含有稀土元素,如钇铝石榴石(YAG: Ce)或碱土金属硫化物、硼酸盐、硅酸盐、矾酸盐掺杂稀土的荧光体,也有用有机染料或金属螯合物。这种通过蓝光LED得到白光的方法,构造简单、成本低廉、技术成熟度高,因此运用最多。

多色组合型是将3个或3个以上不同光色的LED按一定的方式排布,集成为一个发白光的标准模块。1997年10月,美国GE公司通过选择至少3个以上适当波长的LED,组合成可用于普通照明的白光系统,其最佳颜色再现指数 $R_a > 85$ (CN 1185042)。Philips公司1999年9月推出的类似样品,发光效率超过30lm/W,显色指数 $R_a > 60$ (CN 1289397A, USP 6, 234, 645)。对于这种多芯片的白光发射器件,可以通过控制不同LED所加电流,随意调节出令人赏心悦目的白光。这种获取白光途径简单易行,发光亮度高。缺点是个别单色LED劣化将导致光色不纯或不均匀;同时,成本相对较高,控制电路复杂。

多量子阱型是在芯片发光层的生长过程中,掺杂不同的杂质以制造结构不同的量子阱,通过不同量子阱发出的多种光子复合直接发出白光。1998年8月,中国台湾的陈金源等人(CN 1245352A)在p-n结二极管中生长量子阱结构,通过调变晶体取向生长时的温度、压力、氨气流量、载气比例、掺杂硅镁杂质等,在特定的参数范围内使量子阱结构发射出不同能量的光子,调变出白光。该方法提高发光效率,可降低成本,降低包装及电路的控制难度;但技术难度相对较大。

此外还有类似光转换型的所谓“光子再循环”。日本Sumitomo Electric在1999年1月研制出ZnSe材料的白光LED。其技术是先在ZnSe单晶基底上生

长一层CdZnSe薄膜,通电后该薄膜发出的蓝光与基板ZnSe作用发出互补的黄光,从而形成一白光光源。美国Boston大学光子研究中心用同样的方法在蓝光GaN-LED上叠放一层AlInGaP半导体复合物,也生成了白光。

由于技术、工艺、生产成本等因素的影响,目前应用最多的是光转换型,其次是多色组合型。以发展的眼光来看,多量子阱型和“光子再循环”当是未来的发展趋势。但由于技术的限制,生长不同结构的量子阱相对困难得多,在短时间内还不能产业化。此外,近年来有机(或聚合物)电致发光器件(OEL)也渐露端倪,表现出强劲的发展势头。如吉林大学的谢志元等人(CN 1070315C)在1998年11月研制出一种有机多量子阱白光电致发光器件,以红、绿和蓝3种不同的有机染料为量子阱发光层,从不同的阱中发出的红、绿、蓝三色光混合成白光。它可以不考虑各发光层之间的能级匹配问题,这样有利于提高器件的发光效率。

#### 节能环保前途无量

美国《激光世界》曾撰文称:到2025年白光LED将占照明工具市场的55%以上份额。业内人士预计2005~2010年全球LED照明市场规模将逾10亿美元。国外也有报道称:5年后半导体灯将替代20%的白炽灯。这个估计可能比较乐观,但揭示了半导体灯未来的应用前景和增长潜力。据PIDA统计:若台湾25%的白炽灯和全部日光灯被白光LED取代,每年可节省110亿度电,相当于一座核电站的供电能力。由于照明消耗占整个电力消耗的20%,全球每年使用这种新光源所节省的电能耗达1000亿美元,因此大力发展白光LED技术将是保护环境和节省能源的一个有效途径。在未来20年内使用固态照明能减低全球用于照明的用电量50%,及节省全球电力总消耗量10%。

若固态照明能在一般照明市场中享获显著的市场占有率,美国便能在2020年减少276吨的碳排放量。美国能源部长Spencer Abraham向美国能源协会表示:“使用固态技术的发光二极管(LED)较采用一般电力照明,能发挥更强劲的效能,而所耗能源却较低。现在是进一步使用固态照明的最佳时机。无机照明排放的二极管相比于光管照明,就如晶体管相比于真空管,又如汽车相比于马车般。”

目前半导体照明灯在普及的道路上主要存在价

# 基于 IDL 的遥感影像特殊信息提取方法研究

芮建勋 徐雷振

地球表面是由生物圈、岩石圈、大气圈、水圈所构成的一个非常复杂的巨系统。地表表面形态各异,地物的电磁辐射与反射特征不同,况且同一地物在不同时段的电磁辐射特征会有很大差异,特别是地表小尺寸、特殊地物的光谱信号比较弱,而这些微弱信息可能对描述地表特征及其规律更加有用。一般在遥感影像中是利用传统的三波段合成图像来描述与研究地表的,所以就存在以下几个问题:(1)小尺寸、较弱的光谱特征往往被典型地物的光谱特征所掩盖了;(2)利用传统的三波段合成图像来描述地表时,明显地有很多地物信息很难表达出来;(3)商业化图像处理软件是建立在统计意义上的,经典统计学在数据采集方式、数据类型、属性特点等方面与遥感数据都有很大的差别。所以这些图像处理工具在处理遥感影像时,会有很大的制约性,特别是提取小尺寸、弱信息方面明显不足。因此,能够准确、及时地提取遥感影像中的弱信息或小尺寸的地物信息,对提高遥感数据的利用率有着十分重要的意义。

由美国 RSI(Research System Inc)公司开发的 IDL(Interactive Data Language)语言,是数据分析、可视化、跨平台应用与开发的最理想的软件,属于第四代科学计算可视化语言,它具有开放性、高维分析能力、科学计算能力、实用性及可视化分析为一体的特点,集成了所有科学计算环境中所需要的工具,为用户提供了完善、灵活、强有力的信号及图像分析工具,使用户可以对任意科学数据进行可视化分析。具有其他语言所无法比拟的优点,因而在现代科学计算和数据处理中占有非常重要的地位。IDL 在遥感影像处理、空间计算方面的应用更能够使它的优

势发挥得淋漓尽致。IDL 用户遍布世界 50 多个国家和地区,最大的用户包括美国航天局、美国国家喷气实验室、美国国家土地局、海洋局、欧洲宇航局、世界各大天文台等,其应用包括医学、地学、天文学、气象、天体物理、航空航天、军事、环境科学、材料科学、流体动力等学科。

利用 IDL 语言在海量遥感影像、特别是高光谱遥感数据处理中的优势,及时发现研究目标的特征,是军事遥感的研究与应用中长期的任务。本文以纽约市某区域的遥感影像为例,对图像进行了阈值化、膨胀与腐蚀处理,建立了掩蔽图像,并提取出了图像中的河流与所有桥梁。该方法对从遥感影像中提取目标地物,以及从影像中隐藏特殊地物有着非常重要的意义。

## 原理

卫星遥感数据是传感器对地球表面进行扫描并进行记录的空间数据,它用数字形式描述地球表面要素与特征。在传感器工作时,把地球表面分为若干个像元,由于每个传感器都有若干个波段(如美国陆地卫星(Landsat)专题制图仪 TM(Thematic Mapper)遥感数据有 7 个波段),所以对每个像元的扫描与记录就是传感器利用这 7 个波段对地表该像元进行重采样的过程,这样就形成了遥感数字图像。对每个像元来说,它有空间位置与像素灰度值两个属性。所以一个波段的遥感数据是一个一维向量,多个波段的遥感数据就构成了具有多个灰度维的向量空间。由于地物光谱在可见光和短波红外波段是连续的,可见,地物的多波段光谱域更能准确地表达、描述地表形态,多光谱遥感数据就构成了特殊地物提取与研究的基础。

格的障碍,但其较高的性价比大大弥补了这一不足,现已在某些领域,如信号灯、矿灯、户外显示等已逐渐得到推广应用。此外,其发光效率和使用寿命还有待提高,光色还需进一步调整以更接近日光,这些都是目前亟待和正在解决的问题。随着科技的不断发展,这些“路障”将会很快消除,“绿色照明”的半导

体灯走入寻常百姓家中只是时间问题。

广泛使用发光二极管照明能有效减低温室气体排放量、节省能源成本及减少全球石油、气体及核电的消耗量,并能制造更多创新的照明房间、照明建筑物及照明产品。

(广西桂林市西山南巷 35 号军招所宿舍楼 541001)