

·光电系统·

## 人工紫外辐射源发展现状及研究进展

孙旭, 王昌龙

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

**摘要:**对人工紫外辐射源的发展现状进行了回顾,按其发光原理进行了分类。首先介绍了气体放电灯中的汞灯、氙灯和氩灯的发光机理及其光谱分布,其次对紫外激光器、卤钨灯、紫外发光二极管与高温黑体工作原理及特点进行了描述。最后对各种人工紫外辐射源的特点及应用进行了统计,并对其发展前景进行了展望。

**关键词:**气体放电灯;紫外激光器;卤钨灯;紫外发光二极管;高温黑体

中图分类号:TN212

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2012)05-0008-08

## Status and Research of Manual UV Radiation Source

SUN Xu, WANG Chang-Long

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

**Abstract:** The developing status of manual UV radiation source is reviewed and is classified according to the luminous principles. Firstly, the luminous principles and spectrum distributions of mercury lamps, deuterium lamps and xenon lamps in gas discharge lamps are introduced. Secondly, the operation principles and characteristics of UV lasers, halide tungsten lamps, UV luminous diodes and high-temperature blackbody are described. Finally, the characteristics and applications of various manual UV radiation sources are summarized and the developing trends are prospected.

**Key words:** gas discharge lamp; UV laser; halide tungsten lamp; UV luminous diode; high-temperature blackbody

紫外光是指波长为100~400 nm的电磁辐射,其中100~200 nm为真空紫外(VUV),真空紫外辐射可以激发空气分子,所以空气对真空紫外不透明,真空紫外光传输必须在真空或者在惰性气体填充空间。180~280 nm为深紫外,280~315 nm为中紫外,315~400 nm为近紫外。紫外辐射的特点一个是波长短光子能量大,另一个是汇聚质量好。太阳就是很好的紫外光源,但是由于臭氧层的阻挡,地球表面紫外光强度很低,尤其是波长短于300 nm的紫外光,基本到达不了地球表面,所以习惯上将200~300 nm波段称作为“日盲区”<sup>[1]</sup>。

紫外辐射源一般分为两部分:一类是天体、地面景物、大气等自然辐射源,另一类是飞机、导弹和人工专门制作的人工辐射源,还包括人类活动产生的

紫外光学杂波,比如城乡环境、工业区、战场及火源等。人工紫外辐射源按发展年代分,首先是气体放电灯,最早期常用的有汞灯、氙灯,之后是氩灯和氪灯等;20世纪60年代,随着激光的发明,各种紫外激光器也很快发明出来;此外高温黑体也是一种不错的紫外源;紫外发光二极管是一种新型的紫外光源,特点是电功率小,光电转换效率高,波段单色性好,工作与控制方式简单实用,具有极大的发展空间<sup>[2]</sup>。

### 1 气体放电灯

气体放电光源是人工紫外辐射源迄今的主要形式,其电弧长度为几厘米至四百厘米,电弧单位长度

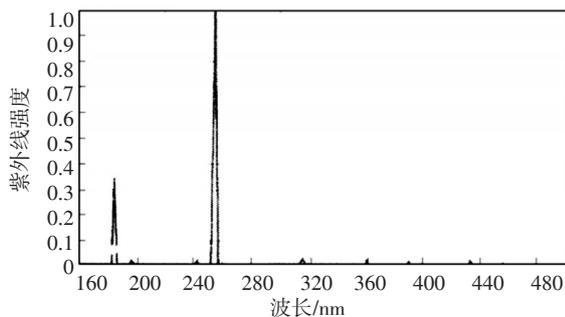
功率从0.1~400 W/cm,辐射光谱范围覆盖紫外区域,效率高达60%,寿命为100~1 000 h。这类紫外辐射源中电子在1~100 V/cm的电场中加速,然后产生激发和电离,最后通过能级跃迁,辐射出紫外能量。弧光灯管用的填充气体范围从氢气,包括汞-氙气和钠-氙气。汞弧光是非常有效的紫外源,其大部分输出在紫外波段(特别接近254 nm)。氢和氙灯在紫外波段能产生连续光谱,短波输出主要受限于窗口的光源透过性能<sup>[3]</sup>。下面以汞灯、氙灯与氙灯为例进行简单的介绍。

### 1.1 汞灯

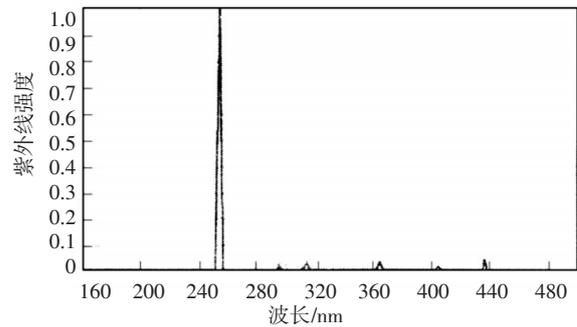
汞灯是非常有效的紫外源,其大部分输出在紫外波段(特别接近254 nm),辐射效率最高的是采用石英玻壳或硼硅酸玻璃的低气压汞灯和采用石英玻壳的高气压汞灯。

#### 1.1.1 低气压汞灯

低压气体灯的汞蒸气受电子激发而发射出波长为253.7 nm与184.9 nm的紫外辐射,其气体放电原理是:在0.8 Pa的压力下灯管中,汞蒸气在电场作用上放电,汞原子的价电子不断地从原始状态被激发到激发态,同时由激发态自发地返回到基态,将价电子的势能转换为电磁辐射能,并辐射出253.7 nm的紫外辐射。光谱分布近似为线光谱。石英玻壳对253.7 nm透射比可高达92%以上,而普通玻璃不透253.7 nm紫外辐射。它与脉冲氙灯相比具有较高的紫外发射效率(约为20%),如果采用汞的同种同位素,可在日盲紫外区发射不同波长的谱线。184.9 nm的紫外辐射在空气中传输距离很短,在毫米量级的距离范围内即因氧分子离解成氧原子而消耗殆尽。目前,石英管中通常都掺入少量其他元素,以吸收184.9 nm的紫外辐射,只辐射253.7 nm的紫外辐射,俗称无臭氧紫外辐射源<sup>[2]</sup>,如图1<sup>[4]</sup>所示。



(a)有臭氧杀菌灯光谱分布



(b)无臭氧杀菌灯光谱分布

图1 有氧及无氧低压汞灯的光谱分布

低气压汞灯的紫外辐射效率很高,当放电条件为0.8 Pa饱和汞蒸气压、放电管直径为26 nm和38 nm、冷端温度为315 K时,汞的谐振辐射达到最大。在该条件下,如果采用氙气作为缓冲气体,放电电流控制在430 mA,那么253.7 nm处的辐射效率高达60%。不过,这种最佳的放电条件只能维持比较低的功率密度,即小于0.5 W/cm。在253.7 nm处,该功率密度仅为0.2~0.3 W/cm。如果采用铍钢汞代替纯汞,再辅以合适的放电管径,放电的功率密度可以提高到2 W/cm。另外,低气压中频感应灯在253.7 nm处的辐射能量密度也可以达到2 W/cm,其寿命可达60 000 h。

#### 1.1.2 高气压汞灯

高气压汞灯是光化学反应中最常用的光源,就目前市场看,仍是应用量最大的紫外光源。高气压汞灯灯内的工作气压一般在1~5个大气压之间,在高压和高温情况下,汞原子放电,其谐振光谱(185.0 nm,253.7 nm)被汞原子严重自吸收,激发辐射主要发生在高能级之间,由于汞原子的能级是自身特有的,是量子化的,所以产生的光谱是线光谱,而非连续光谱。由于各能级之间电子跃迁几率的不同,可以测到较强的光谱线为:313.0、365.0、404.7、435.8、546.1、578.0 nm。紫外辐射能量为输出功率的17%左右。按照通常光敏剂吸收波长范围在350~150 nm,而吸收最灵敏波段在365.0 nm左右来看,主要使用波长为365.0 nm,这条谱线能量也最强(光谱光电流曲线见图2)<sup>[5]</sup>。

高压汞灯中填充一些金属的碘化物,比如碘化银、碘化镓和碘化铟等,可以改变紫外辐射的光谱分布。填充碘化镓和碘化铟,可以分别在403、417、140和451 nm处得到高强度谱线;填充碘化铁,可以在辐射光谱358 nm和388 nm波长之间引入铁的谱线群。不过在填充金属碘化物后,虽然UVA区域的紫外辐

射得到很大的加强,但UVC区域的辐射以及UVB部分区域的辐射会受到很大的削弱。图3为碘化镓灯光谱光电流曲线,是在汞灯的基础上填充碘化镓得到403、417 nm两条谐振光谱。

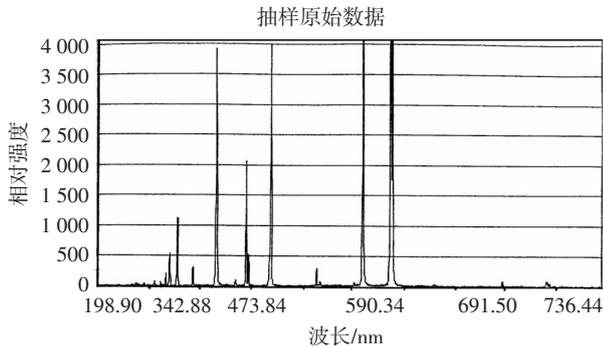


图2 紫外线高压汞灯光谱光电流曲线

碘化镓灯目前分为一般启动和快速启动两种,制作工艺相对成熟。由于GaI<sub>3</sub>对灯管电压影响不大,所以可以按照汞灯的计算方法计算充汞量和充气量,但碘化镓在灯内的浓度值对光谱和自吸收有一定的影响。碘化镓浓度的大小影响了汞365.0 nm和镓的两条谐振谱线之间的强度比率<sup>[5]</sup>。

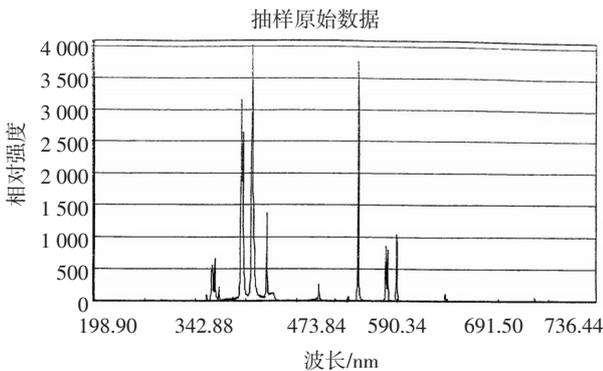


图3 碘化镓光谱光电流曲线

## 1.2 氙灯及工作原理

氙灯是经常使用的一种理想标准光源,由于其能量高,光谱特性好,所以氙灯的应用场合非常多,例如:用氙灯作为标准灯,对光谱仪进行标定与定标;用氙灯作为投影显示系统中的白光光源;紫外分光光度计、液相色谱仪及各种紫外检测器中最为理想的紫外光源。随着国内外高端紫外仪器的发展,对氙灯的性能、稳定性和寿命都提出了更高的要求,因此国内外厂商研发了很多长寿命和高稳定性的氙灯<sup>[6]</sup>。

氙灯工作于气体放电曲线的弧光放电区,它利

用氙气放电的正柱区发光。参照图4,整个启动过程可划分如下:①O→A→B段,随着灯两端电压的增加,外置电离产生的粒子到达电极,电流增大,并在B点达到饱和;②B→C→D段,随着电压的进一步提高,带电粒子的速度增加到很大,碰撞中性粒子时足以使其电离,并产生雪崩放电,电流迅速增大,C点为着火点,相应的电压 $U_z$ 为着火电压或击穿电压;③D→E→F段,当电流增加到D点,管压降迅速降低,进入辉光放电;④F→G→H段,随着灯电流的进一步提高,电极温度的提高使得热电子发射成为可能,管压进一步下降,电流迅速增加,形成了弧光放电。对于氙灯来说,启弧之前是依靠独立的电源来预热阴极灯丝,因此灯丝可以上升到较高的温度,从而可以较容易地从辉光放电过渡到弧光放电,不需要较大的辉光放电电流来加热阴极灯丝。因此,氙灯的电源一般包括以下3个部分:预热电源、触发电源和恒流电源,见图5。图6为氙灯的分光特性图<sup>[7]</sup>。

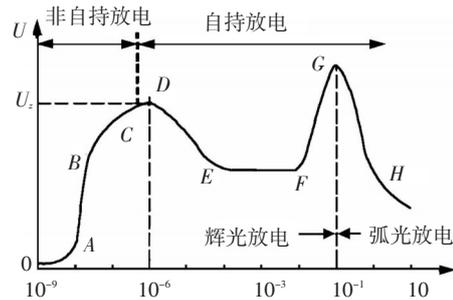


图4 气体放电灯伏安曲线

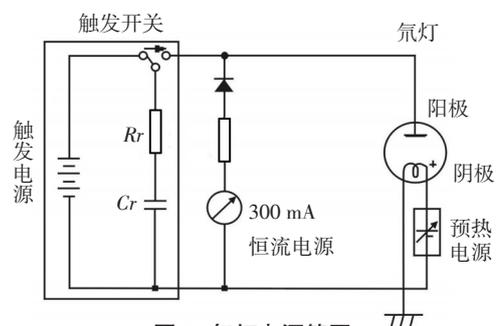


图5 氙灯电源简图

氙灯启动过程如下:预热电源先给阴极灯丝预热一段时间(一般为10~60 s),预热完毕后触发开关闭合,在氙灯的两极之间施加一个500 V的高压,使灯击穿启辉并进入弧光放电,之后由高精度的恒流电源提供一个300 mA的输入,氙灯就能正常工作。其中的电阻 $R_r$ 是为了限制灯启动瞬间过大的电流,保护阴极。在某些脉冲方式点灯的仪器上,考虑到

开关的频繁性,需要触发电源不间断地给氙灯供电,因此考虑 $Rr$ 上的静态功耗,一般会选择一个较大的 $Rr$ 值(50 k $\Omega$ 左右)。

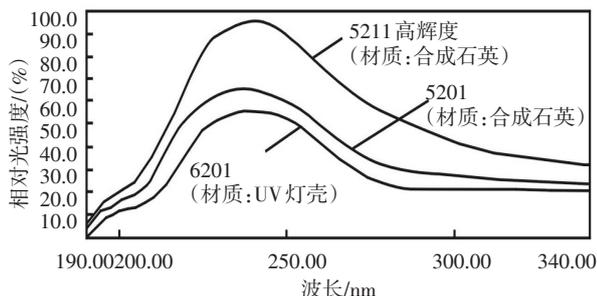


图6 氙灯分光特性图

但氙灯在仪器上使用时会难以点亮,即除了击穿电压外,还有一个最小启弧电流的要求,两者对氙灯的正常启动都至关重要。

### 1.3 氙灯及工作原理

氙灯属气体放电灯中弧光放电一类,为了便于讲述氙灯的放电机理,先阐述气体放电过程。图4是光源伏-安特性曲线,现将其原理叙述如下。由于宇宙中的射线或外界存在电磁场等因素,在灯管 $L$ 中存在着带电粒子,称之为剩余电离。当灯管两端加上一个电压后,在电场的作用下,这些带电粒子向电极运动形成电流,随着电场的增加,电流会随之增大,形成图4所示的 $OA$ 段。当电场进一步增强时,此时所有剩余电离的带电粒子全部到达电极时,电流就饱和了,形成图4所示的 $AB$ 段。若再升高 $U$ ,则电场将加速初始的带电粒子的速度,它与中性原子碰撞形成更多的带电粒子,这一过程使电子数量雪崩似地增加,形成了 $BC$ 段,此段称之为雪崩放电(也称之为繁流放电)。由于雪崩过程使灯管的电流很快增至 $D$ 点,此时灯电压随即迅速下降,同时管内产生可见的辉光,形成 $DE$ 段。将 $C$ 点称之为气体放电的着火点或破裂点,此时相对应的电压值 $U_z$ 称之为着火电压。灯管点火时需要满足以下条件<sup>[8]</sup>

$$\gamma(e^{\int_0^d \alpha dx} - 1) = 1 \quad (1)$$

式中, $d$ 是阴极和阳极之间距离; $\alpha$ 为一个电子沿着阴极到阳极方向运动单位路程时与气体原子碰撞所产生的电离次数; $\gamma$ 为一个正离子轰击阴极表面时从阴极逸出的次级电子数。那么,式(1)的物理概念十分清楚,即阴极发出一个电子,这个电子在到达阳极的

过程中共产生 $(e^{\int_0^d \alpha dx} - 1)$ 次电离碰撞,因而产生正离子,这些正离子打到阴极后将产生 $\gamma$ 个二次电子,而这些二次电子数目仍为1,这样放电当然就能自我维持,为此将 $C$ 点以后的放电称为自持放电。 $EF$ 段,不论增加 $U$ 还是减小回路电阻 $R$ ,使电流增加,但管压基本不变,称之为正常辉光放电,此时管压不变的原因是在这个范围内阴极并没有全部用于发射(用于发射的面积正比于电流),要增加电流,扩大阴极发射面积即可。当整个阴极面都参与发射(对应于 $F$ 点)之后,如果还需要继续增大电流的话,必须增加 $U$ 造成管压上升,这样就进入异常辉光放电 $FG$ 段。其后如果再要放电流增加,由于电极温度升高,转入热电子发射,特性又一次发生突变,管压大幅度降低,电流迅速增加,形成了弧光放电的 $GH$ 段<sup>[9]</sup>。

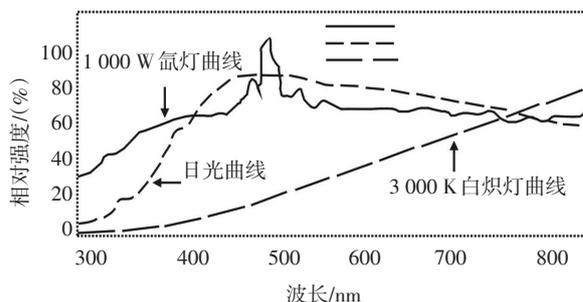


图7 氙灯与日光的光谱曲线

氙灯工作于气体放电伏-安特性曲线的弧光放电段,其放电过程阐述如下:当氙灯接于电路后,由于灯内充有数个大气压的氙气,其着火电压很高,加于灯管两端的电压不足以使氙灯放电。当启动电路上的触发器 $T$ 时,它产生一个高频(3.5~5.5 MHz)、高压(30~55 kV)加于灯管两端,使灯管内氙气击穿导电。在阴、阳极之间产生明亮的火花线,很快加热阴极极尖,使其温度急剧上升,产生热电子发射,在此同时氙气原子被大量的带电粒子碰撞,产生激发、电离,这样使氙灯极快进入了弧光放电。在灯管两端所加电源 $U$ 的维持下,氙灯正常点燃。点燃后,大量被激发的原子从基态跃迁至激发态,从低能级的激发态跃迁至高能级的激发态,但受激原子是处于不稳定状态,一定要返回原子原处的能级,在返回原态时将所吸收的能量以光辐射的形式释放,从而产生了如图7所示的特征光谱。由于上述过程中被激发的氙原子在高能级间的跃迁的比例很大,为此在可见区范围内产生的光谱是与日光很相

似的连续光谱。

#### 1.4 其他气体放电光源

在上述传统紫外辐射光源逐渐走向成熟的同时,一些新型的紫外光源也不断涌现,随着环保意识的增强,无汞气体放电紫外光源的开发越来越受到各界的重视。比如稀有气体准分子放电光源,用铊、铟等金司替代汞的气体放电光源。

微波紫外辐射源作为一种新型的紫外辐射源广泛应用,微波UV灯即无极灯进入我国已二十几年了,最早用于生产光导纤维(拉丝后,涂敷光敏漆)的装置上,是美国Fusion公司的产品,靠特定的微波波长激发灯内吸收微波的物质分子高速运动产生热量,再激发汞、金属卤化物等物质发光。现已扩大到用于紫外固化机上,如光盘印刷、电缆、管材及软包装等喷码机配套的UV油墨固化上。这种光源的使用有如下特点:(1)功率密度高,可达300~400 W/cm,寿命长达5 000 h左右,频繁开关不影响灯管寿命;(2)因为无电极蒸发,所以没有灯两端发黑现象,对延长灯寿命有益,且灯能量损失少;(3)微波灯可频繁启动;(4)微波灯可根据光谱的需要,变更填充物,从而得到汞或某些元素的辐射光谱。微波UV光源作为紫外光源体系的一个分支,有其独到的特点,在有些场合是其他光源所不能替代的,也是研究开发的一个方面<sup>[2]</sup>。

## 2 紫外激光器

20世纪60年代,随着激光的发明,各种紫外激光也很快发明出来,主要有氙离子激光器;准分子激光器;翠绿石激光器;3倍频4倍频Nd:YAG激光器;氟分子激光器;氩镭激光器;金属蒸气激光器;氮分子激光器等。

### 2.1 准分子激光器介绍(Excimer Laser)

准分子激光器是一种脉冲激光器,最早出现于1971年。经过较长时间的研究和发展,显示了极强的生命力。早期的准分子激光器是以液态氙(Xe)为工作物质,但由于其运行要求附加条件很高,科技工作者对其进行了积极的改造。Searles等人于1975年研制成输出不可见紫外激光的惰性气体卤化物溴化氙(XeBr)准分子激光器。同年,Brau等人制成氟化

氙(XeF)激光器。我国则于1977年制成XeF准分子激光器。准分子激光器工作介质一般是一定比例混合的惰性气体和强受电子卤族元素气体,当基态的惰性气体原子被激发时,核外电子被激发到更高的轨道上而改变了电子壳层全部填满的状态,使之和其他原子形成短寿命的分子,这种处于激发态的分子称为受激准分子,简称准分子。准分子激光的产生可以分三个过程,即:激光气体的激励过程;准分子生成反应过程和准分子解离发生过程。其激励方式有电子束激励、放电激励、光激励、微波激励和质子束激励等五种。不同活性物质产生不同波长的准分子激光,一般为紫外、远紫外和真空紫外波段。准分子激光器是CO<sub>2</sub>激光器和YAG激光器之后的第三代材料加工激光器,因为其所发出的激光为紫外短脉冲激光,具有波长短,光子能量高等优点。另外对于切割精度要求很高的眼科手术,现在大多是应用准分子激光实现的。除此之外,现代很多可调谐染料激光器使用准分子激光器作为泵浦源的。常用准分子激光器有ArF(193 nm,现代和下一代cpu的主要光刻工具)、KrCl(222 nm)、KrF(248 nm)、XeCl(308 nm)、XeF(351 nm)等。激光脉冲频率一般在10~100 Hz,有些特殊用途的能够达到1 000 Hz,平均功率一般在10~100 W,脉冲长度一般在纳秒量级<sup>[1]</sup>。

### 2.2 晶体倍频实现连续波紫外激光器

准分子激光器虽然有很多优点,但它毕竟是脉冲激光器,在一些领域如材料光谱分析等领域使用不甚方便,所以紫外连续光激光器市场应用前景很广。由于紫外光子能量大,直接通过外激励源激励产生一定高功率的连续波紫外激光器可能性不大,即使实现可能也会夹带很多附属设备从而无法推广应用。故实现紫外连续波激光一般是应用晶体材料非线性效应变频方法产生,变频过程光子必须满足能量动量守恒条件,具体变频的方法有二次谐波发生(SHG)、三次谐波发生(THG)、四次谐波发生(FOHG)、五次谐波发生(FIHG)、和频发生(SFG)、差频发生(DFG)、光参量振荡(OPO)等一些过程。二次谐波发生(SHG)又称倍频,倍频主要特点是它是最低的非线性效应,倍频效率相对比较高,二倍频频率转化公式为<sup>[1]</sup>

$$P_{2\omega} = \frac{52 \cdot 2L^2 d_{eff}^2}{n_a^2 n_{2\omega} \lambda_{2\omega} c A} P_{\omega}^2 \quad (2)$$

式中,  $L$  为倍频晶体的长度;  $d_{\text{eff}}$  为倍频晶体的非线性有效系数;  $n\omega$  为基频光在倍频晶体中的折射率;  $n2\omega$  为倍频光在倍频晶体中的折射率;  $\lambda2\omega$  为倍频光在真空中的波长;  $c$  为真空中的光速;  $A$  为基频光在倍频晶体中光斑面积;  $P_{\omega}$  为基频光的功率。和频(SFG)又叫激光频率上转换,相应差频(DFG)为激光频率下转换。通过和频,可以把CO<sub>2</sub>激光器10.6 μm红外输出转化到可见光范围,现在晶体研究已经能够使转化效率达到50%左右。利用和频和差频,能够设计出造价不算很高的需要频率激光。光参量振荡(OPO)是一种频率和强度比较高的泵浦光和另一种频率及强度比较低的信号光通过非线性晶体,会使信号光得到放大,并且产生差频空闲波,如设计成谐振腔形式,则会形成光参量振荡器,OPO是实现全固态可调谐激光光源的有效办法。例如用LD泵浦Nd:YAG晶体产生1064 nm近红外激光辐射,通过KDP(磷酸二氢钾)等晶体产生2倍频532 nm辐射,再通过与1064 nm和频或者再一次倍频就会产生近紫外辐射(355 nm)或者深紫外辐射(266 nm)激光输出。现实过程中,需要考虑晶体对变换中各波长是否有大的吸收,并且需要考虑晶体有效非线性效应系数<sup>[10]</sup>。

### 3 卤钨灯

在普通白炽灯燃点时,钨原子从灯丝的表面蒸发出来,向管壁方向扩散,附着在灯管内壁上而使管壁发黑。在卤钨灯中,从钨丝蒸发出来的大部分钨和填充的卤素原子或分子,在管壁附近反应,生成挥发性卤化钨,其蒸气浓度较高,因为管壁具有相当高的温度使卤化钨不能附在灯管内壁上,故能防止管壁发黑。卤化钨通过扩散或对流,从管壁附近向灯丝方向扩散,部分卤化钨在灯丝的高温区被分解成卤素和钨。分解出来的钨吸附在灯丝表面,卤素则与蒸发出来的钨反应。在一定条件下,卤素与钨的反应达到平衡状态,管内壁就不会发黑

卤钨灯是光谱分布从360 nm~2 μm的光源,从图8中可以看出400~900 nm范围内辐射光谱曲线平滑稳定,卤钨灯性能优于普通白炽灯,它具有光效高、功率集中、显色性能好、节省电能等优点,宜用在照度要求较高、显色性较好或要求调光的场所,例如体育馆、大会堂、宴会厅等,在用于建筑物夜景投光照明上,更彰显其独到的优势<sup>[11]</sup>。卤钨灯与普通白炽灯同属于热辐射光源。一只1000 W的卤钨灯相当于5000 W普通白炽灯的亮度。卤钨灯在点燃的瞬

间,启动电流为工作电流的5倍,启动时间约为0.1 s<sup>[12,13]</sup>。

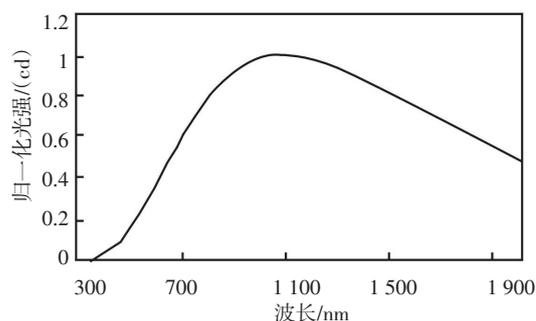


图8 卤钨灯的辐射光谱分布曲线

### 4 紫外二极管

紫外LED由夹在较薄GaN三明治结构中一个或多个InGaN量子阱组成,形成的有源区为覆层。通过改变InGaN量子阱中InN-GaN的相对比例,发射波长可由紫光变到其他光。InGaN通过改变AlN比例能用于制作紫外LED中的覆层和量子阱层,但这些器件的效率和成熟度较差。如果有源量子阱层是GaN,与之相对是InGaN或AlGaIn合金,则器件发射的光谱范围为350~370 nm。

当蓝光InGaN发光二极管泵出短的电子脉冲,则产生紫外辐射。含铝的氮化物,特别是AlGaIn和AlGaInN可以制作更短波长的器件,获得系列波长的紫外LED。波长可达247 nm的二极管已经商业化,基于氮化铝,可发射210 nm紫外辐射的LED已经研制成功,250~270 nm波段的UV LED也在大力研制中。Ⅲ-V族金属氮化物基的半导体非常适合于制作紫外辐射源。以AlGaInN为例,在室温下,随着各组份比例的变化,电子与空穴在复合时所辐射的能量在1.89~6.2 eV。如果LED的活性层单纯由GaN或AlGaIn构成,则其紫外辐射效率很低,因为电子和空穴之间的复合为非辐射复合。如果在该层中不掺杂少量的金属In,少活性层局部的能级就会发生变化,此时,电子和空穴就会发生辐射复合。因此,当在活性层中掺杂了金属In之后,380 nm处的辐射效率要比不掺杂的高大约19倍。

紫外LED的发光功率较低,其主要原因是受制于管芯制作水平、材料和封装技术等。目前,紫外LED封装主要有环氧树脂封装和金属与玻璃透镜两种形式,前者主要应用于400 nm左右近紫外LED,但

材料受紫外辐照的老化影响比较大。后者主要应用于波长小于 380 nm 的紫外 LED。GaN、蓝宝石等材料与空气存在较大的折射率差而引起全反射,限制了光效,导致封装后出光效率低。

美国 Sandia 国家实验室开发的一种高功率紫外发光二极管,采用倒晶片和导热衬底,可增加亮度和效率。在直流工作方式下,其一个器件能够提供 1.3 mV 的 290 nm 连续辐射,而另一个能提供 0.4 mV 的 275 nm 辐射,具有波形系数小、几乎不需要维护和低功耗的特点,适用于非视线隐蔽通信用的发射器、手持式生物传感器和固态照明等场合。

高功率 LED(HP LED)能工作在数百毫安(普通 LED 的工作电流为几十毫安)、有些甚至超过 1 A 的电流,因此能发出很强的光。因为过热是破坏性的,HP LED 的效率必须高从而使发热最小,并需要安装在散热片上来散热,否则热量没有散掉的 HP LED 会在几秒内烧毁。

因为使用一种 GaN 活性层制作高效发光器件很困难,商用高功率紫外(波长大于 290 nm)、蓝/绿光发射二极管均使用 InGaN 活性层。具有 1 mW 的输出功率、波长 400 nm 的 InGaN/AlGaIn 双异质结构紫外

发光二极管,其外部量子效率已实现 7.5%。

## 5 高温黑体

黑体的物理意义是:能全部吸收外部的辐射能量,同时能全部辐射出自身全部能量的物体。量化说明吸收率为 1,发射率为 1。这是理想黑体,理想黑体是一极限值。通常所说的黑体产品为人工黑体,人工黑体对于所有波长的发射率都接近 1,但不等于 1。人工黑体发射率范围可达到 0.95 ~ 0.99。

超高温黑体工作温度可高至 3 200 K,典型辐射光源谱范围为 200 ~ 2 400 nm,能够作为标准的紫外光谱辐射源使用,通过对比的方式,提供对二级光谱辐射标准源的量值传递和校准。其构成包括加热元件、电源和控制电路等。加热辐射腔体的元件有石墨、钨灯等类型,目前常见的加热元件是直热式石墨。腔体形式有管式、双腔体和平板式三种<sup>[2]</sup>。

## 6 人工紫外辐射源特点比较

人工紫外辐射源特点及应用详见表 1。

表 1 人工紫外辐射源特点及应用

类别	特点	应用
汞灯	光源效率高,寿命长,但汞对环境造成威胁	医疗保健,水处理,光固化,超大面积光刻,工农业生产
氙灯	能量高,光谱特性好	标准灯,汽车照明,投影显示系统;紫外分光光度计,液相色谱仪及各种紫外检测器,光谱仪器,色谱仪器,
氙灯	高亮度,辐射光谱接近太阳,可瞬间启动	模拟光源,电影放映光源,医用光源,鉴色光源,红外应用光源,水质分析仪,土壤养分测定仪
激光器	准分子激光器占地面积大能耗高,倍频激光器发射率大	通讯,军事干扰,医用光源,加工光谱分析,光刻技术与光盘读取技术,模拟光源
二极管	电光转换效率高,体积小,控制简单,成本低,功耗低,波段单色性好	水处理,空气净化,表面处理,医用光源,诊断学,分光光度计,传感器,生物分析
卤钨灯	光效高,功率集中,显色性能好,节省电能,	大型场所照明,定标光源,汽车照明,模拟光源,光学仪器,印刷制版照明

## 7 人工紫外辐射源最新发展状况

作为人工紫外辐射源迄今的主要形式——气体放电光源其发展趋势是:效率更高,寿命更长,体积更小同时也更为环保。实现上述目的主要途径是进

一步研究新的发光机理、开发研制出新型发光材料、采用新工艺开发新型电光源<sup>[14]</sup>。

对于高强度气体放电灯,用 Zn 及其碘化物代替汞已经取得了一定的成效,电、光特性和含汞光源相似。放电管设计的改进和其他更合适替代物的发现

将使其具有良好的应用前景。无汞汽车Xe灯已经得到了实际应用,而且有着启动后光通量上升快等优点,其光效可期待有进一步提高。微波无汞光源由于高光效、高显色性、长寿命而备受关注,提高微波系统的性能,研制紧凑型的微波灯是研究高效无汞放电灯的一个重要方向。准分子灯的研究也取得了不错的进展,光效获得了长足的提升,欧司朗的Planon系列平板无汞灯光效已超过30 lm/W,特别值得一提的还有Golovitski研制的Xe-Cl<sub>2</sub>混合气体放电灯,光效已达40 lm/W<sup>[19]</sup>,这些进步预示着它可能成为新一代高效的无汞光源。然而准分子灯一般靠脉冲电源驱动或是用介质阻挡放电的形式用高频电源驱动,对驱动电源的要求较高,导致准分子光源价格较贵,以至于目前无法作为成熟的产品大范围推广。目前气体放电光源的无汞研究得到不断的关注,相信将来会有高效、稳定、环保、价格低廉的新型无汞光源被人们研究发现<sup>[15-17]</sup>。

金卤灯的发展趋势从金卤灯的特性可知,相对于石英金卤灯,陶瓷金卤灯具有光源寿命长、发光效率高、寿命期间色温稳定性、色温一致性好的优点。因此,作为绿色环保型照明产品,金卤灯在制造上将向陶瓷金卤灯方向发展,生产工艺技术和自动化装备水平将变得更高。(1)金卤灯电弧管表面保温涂层水喷粉喷涂工艺正在逐步取代干粉喷涂工艺或粉浆涂抹工艺,新型节能环保的高效能电弧管喷粉已成为当前电光源节能技术的研发热点之一。(2)以氧化铝半透明陶瓷取代石英,用作金卤灯电弧管的材料,极大地提高了照明的光通量和显色性。(3)改变金卤灯电弧管泡壳形状,由圆柱形向椭球形方向发展,显著提高了光效和灯泡寿命。(4)改善金卤灯电弧管泡壳材料,由石英向多晶半透明氧化铝陶瓷方向发展<sup>[19-21]</sup>。

短弧氙灯是一种理想的聚光光源,它可用作舞台追光灯、军用探照灯和光学实验中理想的点光源等,利用它将光能高度汇聚而产生高热的特点,可以用它在红外加热成像炉中熔炼难熔金属和材料。短弧氙灯以独特的优点对其相关产品开发、研究和应用十分有利,随着科技事业发展,它将会拥有一个更为广泛的应用前景<sup>[8]</sup>。

短波长激光器是现在激光发展的主要方向,真空紫外边缘的激光器是现代半导体光刻工业的最基本工具,所以应用潜力很大。另外,波长再短一些的X射线激光器也是近期人们的梦想之一。如果能够

设计出X射线激光器,那将对现代生物学发展起到重要作用,DNA、蛋白质等结构分析将变得异常顺利,甚至能对蛋白质结构直接全息成像。现在利用加速电子产生的自由电子激光器,已经实现了较X射线短的受激辐射发生,但离实际应用还相差很远<sup>[1]</sup>。

包括紫外发光二极管在内的半导体电光源在所有电光源中效率最高,最节能、寿命最长。科学家和工业界人士认为,半导体电光源会引起一场照明革命,将来几乎所有类型的“灯”都将被它取代。近几年来,AlGa<sub>N</sub>基紫外发光二极管的研究取得了飞速的发展,相关研究论文越来越多。已经有相关的紫外发光二极管应用产品开发并投放市场,产业化技术应用及其巨大的市场潜力正在形成<sup>[21]</sup>。

## 参考文献

- [1] 凡瑞霞,王永强,曹伟涛.紫外光源与紫外激光器现状[J].焦作大学学报,2006(7):59-61.
- [2] 许强.军用紫外探测技术及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010:17-27.
- [3] 刘洋,龙奇,陈大华.传统紫外光源与新型紫外光源[J].光源与照明,2006(3):7-9.
- [4] 杨正名,柴国生,宋炜,等.低气压紫外辐射的物理模型[J].照明工程学报,2004,15(2):9-15.
- [5] 姚从璞.紫外线光源及其在光化学领域的应用[J].中国照明电器,2007(4):8-12.
- [6] 蒋晓波,杨啸涛,刘木清.氙灯启动对于电流的要求[J].中国照明电器,2009(11):1-4.
- [7] 李昌厚.氙灯质量评价方法探讨[J].分析仪器,2009(4):76-78.
- [8] 潘林,张北宁.短弧氙灯的设计与应用[J].光电技术应用,2006,21(2):26-28.
- [9] 蒋永平,徐琴玉.高压短弧氙灯及其应用[J].现代电影技术,2007(4):30-37.
- [10] 张克从,王希敏.非线性光学晶体材料科学[M].北京:科学出版社,1996.
- [11] 高静,计忠瑛,王忠厚,等.空间调制干涉光谱成像仪的是生定标系统[J].光子学报,2010,39(5):902-907.
- [12] 李权.电力机车前照灯几种光源性能的比较[J].机械管理开发,2010,25(3):38-41.
- [13] 下垣光太郎,吉池久夫,张小平.卤钨灯内卤素量的研究[J].中国照明电器,2005(11):35-38.
- [14] 吴勇强,杨国栋.电光源科技发展趋势[J].真空电子技术,2010(1):1-7.
- [15] 杨深,石挺,唐效峰,等.无汞光源研究进展(上)[J].中国照明电器,2010(1):1-5.

(下转第37页)

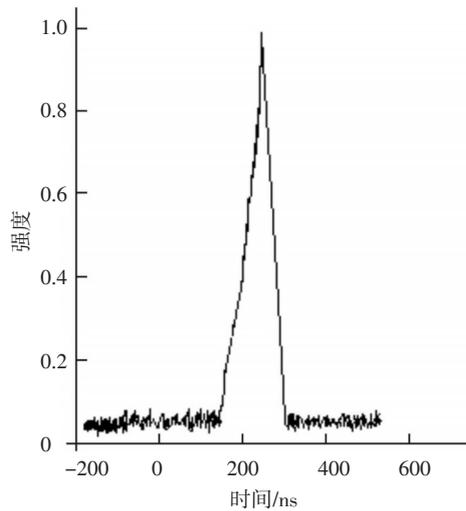


图4 输出 50 kHz 的激光脉冲波形

### 3 结束语

双包层光纤激光器在加工、军事、医学等领域具有广泛的应用价值。文中研究了双包层掺镱光纤工作原理及激光放大机理,并对双包层掺镱脉冲调Q光纤激光器进行了设计,将进一步开展提高光纤激光器转换效率和输出功率等方面的研究工作。

(上接第15页)

- [16] 杨深,石挺,唐效峰,等.无汞光源研究进展(下)[J].中国照明电器,2010(2):6-11.
- [17] 柴国生,杨正名,高光义,等.无汞金卤灯[J].灯与照明,2006,30(3):31-33.
- [18] 江珊.陶瓷金属卤化物灯技术发展概述[J].中国照明电器,2005(8):6-10.

(上接第25页)

轻等要求,保证了足够的接收功率。文中设计的单个非球面透镜适应当今时代科学技术的发展趋势,具有很强的实用性。

### 参考文献

- [1] Yagiu Y, Kumazawa T, Shimaoka M. New collimating lens system for laser diode package[C]//IEEE of proceeding-Electronic Componets and Technology Conference, 1993:1135-1138.
- [2] 韩肇邦.半导体激光器光纤微透镜耦合技术研究[D].长春:长春理工大学,2008.
- [3] 张璁,王雪洋,严高师.激光测距仪单透镜发射准直模块

### 参考文献

- [1] 郭玉彬,霍佳雨.光纤激光器及其应用[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 楼祺洪,周军,朱健强,等.高功率光纤激光器研究进展[J].红外与激光工程,2006,35(2):135-138.
- [3] C Ye, P Yan, L Huang, et al. Stimulated Brillouin scattering phenomena in a nanosecond linearly polarized Yb-doped double-clad fiber amplifier[J]. Laser Phys. Lett., 2007, 45: 376-381.
- [4] 姜培培,蔡双双,沈永行,等.掺镱脉冲光纤激光器抽运的高功率PPMgLN光参变振荡器[J].中国激光,2008,35(4):168-171.
- [5] 宁继平,张伟毅,尚连聚,等.掺镱包层光纤激光器的全光纤调Q技术[J].中国激光,2008,35(4):483-487.
- [6] P Roy, D Pagnoux, L Mouneu, et al. High efficiency 1.53 um all-fiber pulsed source based on a Q-switched erbium doped fiber ring laser[J]. Electron. Lett., 1977, 33(15): 1317-1318.
- [7] 聂秋华.光纤激光器和放大器技术[M].北京:工业出版社,1997.
- [8] 张晓娟.Tm脉冲激光器泵浦的中红外固体激光器研究[J].光电技术应用,2011,26(2):15-17.

(上接第15页)

- [19] 陈育明,刘洋.金属卤化物灯的现状 & 研究进展[J].中国照明电器,2011(4):1-5.
- [20] 李振华,陈国庆.金卤灯的科技发展趋势[J].中国高新技术企业,2011(1):17-18.
- [21] 岑继文,何明兴,李新军,等.紫外半导体电致发光器件研究进展,2005,19(1):90-96.

(上接第25页)

的优化设计[J].激光与红外,2009,33(4):383-385.

- [4] William S C Chang. Principle of Lasers and Optics[M]. England: Cambridge University Press, 2002.
- [5] Mert Serkan, Hulya Kirkici. Optical beam-shaping design based on aspherical lenses for circularization, collimation, and expansion of elliptical laser beams[J]. Applied Optics, 2008, 47(2):230-241.
- [6] 戴永江.激光雷达原理[M].北京:国防工业出版社,2001.
- [7] 勾志勇,王江,王楚,等.非球面光学设计技术综述[J].激光杂志,2006,27(3):1-2.
- [8] 周炳坤,高以智,陈倜嵘,等.激光原理[M].5版.北京:国防工业出版社,2007.
- [9] 王健,鄢定尧,李洁,等.非球面聚焦透镜数控加工技术研究[J].强激光与粒子束,2003,15(10):951-954.