

和激光退火样品的电阻率,结果如图7所示。从这些曲线可以看出,不同注入条件的样品退火行为不尽相同。注入剂量为  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  的样品在  $600-700^\circ\text{C}$  范围似乎有逆退火特性。这在硼注入硅及热靶情况下磷注入硅时是非常明显的,根据 Watkins 提出的机理已有不少论文作过解释。 $150 \text{ keV}, 1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$  注入  $\text{As}^+$  的激光退火样品方块电阻是  $15.9 \Omega/\square$ , 相当于  $1000^\circ\text{C}$ , 20 分钟的热退火效果<sup>[4]</sup>, 比两步热退火 ( $550^\circ\text{C}$ , 8 小时 +  $900^\circ\text{C}$ , 30 分钟) 的方块电阻还小。

#### 4. 讨论

由背散射分析和电测量表明,在本实验条件下,采用一步热退火方式,  $900^\circ\text{C}$  的热处理可以保持杂质原子的注入剖面不发生大的再分布,而激活率又比较高。但晶体恢复的完美程度不及二步退火好。激光退火是三种退火方式中较好的一种,它既可以获得高的电激活率,又可使注入层晶体结构恢复到接近完美的程度。

图6中浓度分布曲线宽度的普遍增大,正是由于退火中注入层吸收激光能量处于熔化状

态,而 As 在液相硅中进行快速扩散的结果<sup>[5]</sup>。

另外,如果激光辐照的能量密度远远超过注入层熔化所需要的能量阈值,液相硅膜将要延伸到硅衬底中。因为冷却凝固是从衬底向表面外延再生长,所以杂质分凝的结果必然把浓度分布推向表面。这就是图6中曲线1和2的情况。类似的现象也曾有人报道过<sup>[5]</sup>。

工作中曾得到中国科学院上海冶金所、北京物理所和复旦大学的大力协助。北京半导体器件研究所卢因诚同志和我们进行了有益的讨论。中国科学院半导体所许振嘉同志审阅了此稿并提了宝贵意见。在此深表感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] W. F. Van der Weg et al., *Acta Electronica*, **19-1**(1976), 47—52
- [2] L. C. Kimerling and J. M. Poate, *Lattice Defects in Semiconductors*, (1974), 126—148.
- [3] Péter Révész et al., *Appl. Phys. Lett.*, **33-5**(1978), 431—433.
- [4] A. Gat and J. F. Gibbons, *Appl. Phys. Lett.*, **32-4**(1978), 278
- [5] A. V. Dvurechensky, G. A. Kachurin and A. K. Antonenko, *Radiation Effects*, **37-3,4**(1978), 179—181.

## 室 温 CO 激 光 器 寿 命 研 究\*

邵立金 张金祥 李晓菊 杨新元

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

### 一、引 言

作为激光的发展方向之一是要寻找简便、长寿命、高效率、大功率的实用激光器。最近我们对具有重要应用价值的 CO 分子激光器进行了研究,研制成功结构紧凑的铜阴极密封型 CO 激光器,有效放电长度 1 米,总长 1.15 米,室温下连续工作,直接用自来水冷却,水温最高  $34.5^\circ\text{C}$ ,最高输出功率 13 瓦,电转换效率达 11.5%。该器件始终保持单横模输出,寿命超

过 2000 小时,仍在正常运转。通过镍阴极和铜阴极两种 CO 器件的性能比较和实验分析表明:选用合适的电极材料及阻止 CO 工作气体的损耗是提高 CO 激光器输出功率和获得长寿命运转的关键;铜是一种比镍更为优良的 CO 激光器阴极材料。

### 二、实验比较

实验采用的镍阴极和铜阴极器件的结构和

\* 1979 年 12 月 10 日收到。

性能比较见表 1。其输出功率用 JNK-1 型能量计测量(经过相对定标)。经红外光谱仪测定,其输出谱线分布在 5.1—5.9 微米范围,其中

表 1 两种阴极材料 CO 激光器结构和性能比较

名 称		镍阴极 CO 器件	铜阴极 CO 器件
阴极	材 料	电真空镍	无氧铜
	形 状	空心圆筒	空心圆筒
谐振腔结构		平凹型内腔式	平凹型内腔式
放电管材料		石 英	石 英
放电管内径(毫米)		7	7
有效放电长度(毫米)		100	100
输出端材料与反射率		锗镜 80%	锗镜 80%
镀金全反镜曲率半径(米)		4	4
工作物质 CO:He:Xe		1:15:1.5	1:15:1.5
总气压(托)		33.5	34.3
工作电流(毫安)		12-14	12-14
最高水冷温度		28°C	34.5°C
输出模式		TEM <sub>00</sub>	TEM <sub>00</sub>
最高输出功率(瓦)		7.5	13
最高电转换效率		8%	11.5%
寿命(小时)		460	超过 2000 仍在正常运转

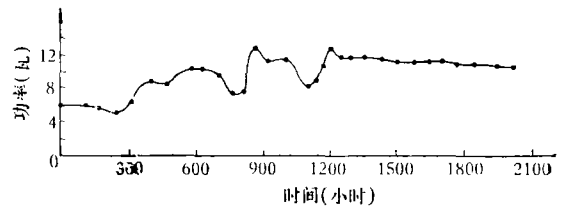


图 2(b) 铜阴极 CO 激光器输出功率与时间的关系

冷却水温最高 34.5°C;  
工作电流 12—14 毫安

最强谱线位于 5.4 微米。图 1 所示的是其中 7 条较强谱线对应的振转带,竖线表示相对强度。两种器件的寿命曲线如图 2 所示。

### 三、实验分析

镍阴极 CO 激光器采用同轴对称镍圆筒作为阴极和阳极,运转 460 小时后功率衰减为初始功率的  $1/e$ ,其变化规律如图 2(a) 所示。初始输出功率 6 瓦,随之有一个功率波动阶段,先降至 4 瓦,然后上升至最高值 7.5 瓦,此时电转换效率 8%。文献 [1]、[2] 分析造成这种波动的原因是初始时 CO 分压减小 CO<sub>2</sub> 分压增高及器件中排出水蒸气等,而一段时间后才趋于平衡。在工作 100 小时后,观察到阴极筒逐渐发黑,阳极筒端出现一固态须状物,随着时间的推移逐渐增大。在 400 小时后,阳极每隔两三分钟发生一次光点闪动,同时又出现数个须状物,此时功率迅速下降。我们分析,阳极端固态须状物的出现主要是阴极溅射物含较多负离子被阳极吸引所致。在器件寿命终止后,测量器件总气压,发现与原充气压相比减小 1.3 托。然后对阴、阳极分别进行了高频加热,在对阴极高频加热后,发现总气压回升了 0.48 托。这时重新激励器件,输出功率回升到 5.6 瓦,与其初始功率相近。而对阳极高频加热,则未见总气压变化。在放电过程中,气体成分变化相当复杂,CO → C + O, CO + CO → C + CO<sub>2</sub> 及 CO + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> 等反应都可能发生,碳、氧都可以与镍起反应,氧还可能与管壁材料起反应等等,但从 CO, Xe, He 三种气体的性质及其分压比看来,对寿命影响最大的无疑是 CO

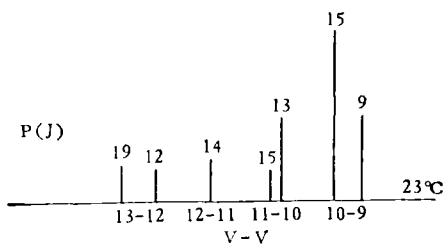


图 1 CO 激光器较强谱线分布

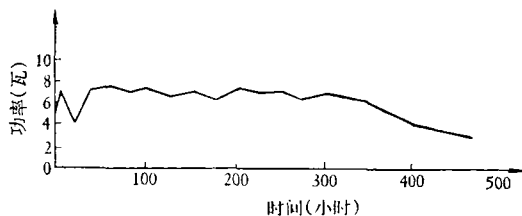


图 2(a) 镍阴极 CO 激光器输出功率与时间的关系  
冷却水温最高 28°C;  
工作电流 12—14 毫安

的含量。配气比实验证实, He 增减 1—2 托时功率影响很小, Xe 的影响也小于 CO。并且 He, Xe 都是惰性气体。CO 分压强最低, 仅 1.9 托左右。从仅增加 0.48 托气压就大大提高功率这一现象可以确定, 工作过程中器件内损耗的主要是 CO 气体。我们还对电极和管壁的黑色沉积物进行了 X 射线物相分析。鉴定结果, 阴极沉积物为 Ni 和 NiC, 而阳极端沉积物为  $C_4H_6NiO_4 \cdot 4H_2O$  或  $Ni(C_2H_3O_2)_2 \cdot 4H_2O$ , 是镍的碳氢化合物, 高频加热也不会分解。显然它也会夺走混合气体中的 CO, 使气压降低。其中氢的来源一般是管壁或电极吸附的水蒸气或所充气体中含有氢杂质。可见氢是造成 CO 量减少的重要原因。而镍溅射较大, 吸附气体较多, 又易与 CO 等起化学反应, 故镍作 CO 激光器的阴极材料是不理想的。

在其它条件基本保持一致的情况下, 我们对器件的电极材料与结构进行了一些改进。主要是采用无氧铜代替镍作 CO 激光器的阴极, 并略增大阴极圆筒直径, 以增大电子发射面积。此外阳极改用钨杆。与镍阴极器件一样, 我们对放电管进行了彻底清洗, 以减少水蒸气等杂质含量。这一点与 CO<sub>2</sub> 激光器恰恰相反。少量氢或水蒸气能显著提高 CO<sub>2</sub> 激光器寿命, 而对 CO 激光器则要尽量根除之。铜阴极 CO 激光器工作寿命已超过 2000 小时, 现仍在正常运转。该器件初始功率 6 瓦, 工作 550 小时后功率上升至 10—13 瓦, 电转换效率 11.5%, 其功率变化曲线见图 2 (b)。

铜阴极器件工作十几小时后, 在阴极圆筒外表面发现彩色条纹, 随时间推移条纹区逐渐扩大, 并且从回气管口开始成放射状。经过三四百小时后, 条纹不再明显扩大。我们认为彩色条纹的产生是器件中某种气体与电极起化学反应所致。从条纹不再扩大可见, 后来这种气体已减少。这种情况对激光器寿命和功率都没有坏的影响。在阴极条纹区以外的部分, 电极颜色一直与刚处理完时差不多, 未见明显氧化。这说明无氧铜阴极在放电过程中不会夺取氧而使 CO 显著减少。事实证明, 无氧铜阴极对于 CO 激光器是成功的。

#### 四、结束语

由于镍电极除吸附 CO 气体外还在长期放电中发生化学反应生成不可逆固态沉积物而造成 CO 气体较大损耗, 所以镍阴极 CO 器件寿命难以提高。而采用合适的阴极材料如铜则克服了这一缺点, 可大大提高寿命。此外器件中残存的水蒸气在放电中是很有害的, 为改善 CO 激光器输出和提高寿命有根除之必要。

实验过程得到有关人员协助, 谨致谢意。

#### 参 考 文 献

- [1] G. A. Murray, A. L. S. Smith, *J. Phys. D*, **11-18** (1978), 2477.
- [2] K. M. D. Amico, A. L. Smith, *J. Phys. D*, **10** (1977), 261.

## 旋转运动磁单极势与辐射能\*

郑 哲 洙

(延边大学物理系)

近来许多工作给出磁单极势与场强的解, 其中不少为静止磁单极的球对称解<sup>[1]</sup>。最近的一些工作, 讨论了匀加速直线运动磁单极的推迟势与场强<sup>[2]</sup>, 此外还给出任意变速运动磁单

极势与场强的解<sup>[3]</sup>。本文讨论作旋转运动磁单极的势、场强和辐射能的表示式。磁单极场的

\* 1979 年 7 月 16 日收到。