

# 改进型热管炉设计

卢振中 张秀兰 赵理曾 聂玉昕

(中国科学院物理研究所)

在使用金属蒸气产生四波混频的实验中,为满足位相匹配要求,保持金属蒸气分压与缓冲气体分压间的固定比例,普通的热管炉已经发展成同心热管炉<sup>[1,2]</sup>。同心热管炉工作时,其外管处于热管工作状态,成为一个具有完全确定温度的等温加热器,加热内管,使处于非热管工作状态(金属蒸气压小于原来所充的缓冲气体的压强)的内管金属蒸气分压是恒定的。如果缓冲气体的压强恒定,那么加热区中缓冲气体的分压也恒定,都不再受电源加热功率波动的影响。这对于要求位相匹配条件的四波混频实验是非常必要的。但是,这种同心热管炉的内外管蒸气柱的最后长度由总的平衡功率(包括由辐射和传导的损失)决定,加热功率变化将影响外管蒸气柱的长度。因为,这种同心热管炉是由平行的外管同轴地包围在平行的内管外面,这种结构决定外管蒸气柱长度的变化也影响内管金属蒸气与惰性气体混合气柱的长度,从而影响金属蒸气的柱密度。

然而在一些应用中(例如用平行束产生三次谐波或测定振子强度等),除要求热管系统产生均匀的、满足一定比例的金属蒸气和惰性气体混合物外,还必须维持一个非常稳定的柱密度。H. Junginger 等人的实验表明,当柱密度仅仅变化 3% 时<sup>[3]</sup>,用平行束产生三次谐波的转换效率变化一个数量级。一般的同心热管炉,需要经过相当长的加热时间,并且加热功率是稳定,才能得到非常确定的柱密度。这就给工作在时间和技术上带来一定困难。

为了在短时间内产生可精确地重复的柱密度, H. Scheingraber 等人设计了一种改进型的热管炉<sup>[4]</sup>。它的结构是用一个作为等温加热

器的垂直管包围一小直径的平行内管,垂直的外管仅在顶端可打开,工作物质放在封闭的管底,由底部加热。运转时,由于重力作用使冷凝的金属液体回到加热器的加热部位,保证了外管能连续运转。与通常的热管炉相反,改进型的热管炉的垂直热管提供了确定长度的等温加热,为此必须使加热功率超过一个值,以使金属蒸气与缓冲气体间的边界层超过水平热管。进一步增加加热功率只是提高此边界层的高度,而不会影响水平热管的温度分布,因此不影响内管金属蒸气与惰性气体混合气柱的长度。内管的光程长和金属蒸气柱密度完全确定。在某一临界加热功率以上,这种改进型热管产生的具有确定柱密度的蒸气柱的长度仅取决于根据需要而设计的系统的几何形状,通过改变蒸气的密度可以调节柱密度的大小。另一方面,由于只需使垂直热管中的蒸气柱完全超过水平热管,并不要求垂直热管中的蒸气柱完全达到最后的平衡位置,因此使升温时间大大缩短。

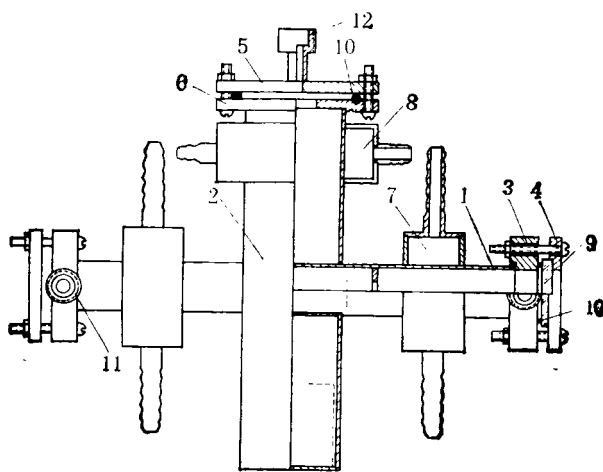


图1 改进型热管炉结构图

文献[4]给出了改进型热管炉的原理示意图,没有介绍具体结构,根据文献[4]原理,我们设计了改进型热管炉结构,如图1所示。

图1中1为 $\phi 25\text{mm}$ 、长260mm的不锈钢内管,2为 $\phi 50\text{mm}$ 、长225mm的垂直的不锈钢外管,内管轴心到外管底的距离为96mm,外管的加热区长70mm,内管加热区长度比外管直径稍小些(几乎等于外管直径)。在内外管加热区域都装有3层100目的不锈钢网层(图中虚线部分所示),由表面张力使液体金属返回到管中心,液体金属浸润全部不锈钢网可避免形成热斑损坏管子。3和4为内管法兰。5和6为垂直外管顶端法兰,7和8分别是内外管水冷套。9是光学材料窗口,10是真空密封橡皮圈。11和12分别为内外热管的充气口,由铜管分别与各自的贮气瓶相连。根据实验要求,可使内外管保持不同的缓冲气体压强。在内管中,两端的加热区和水冷部位之间放有通光孔径为10mm的挡板可减少由于对流引起的工作物质在窗口沉积。同样,在垂直外管内水冷套下装有上下两层伞状不锈钢片,用来逐渐冷却金属蒸气,使它变成液体,返回加热器加热部位。

我们在内外管装有不同的工作物质,外管为Na,内管为镁(Mg),并在加温前随时可打开内外管装进工作物质。由于内外管装有两种不同的工作物质,所以外管的总气压不再等于内管中金属蒸气的偏压,系统可以在内管物质熔点以下工作,扩大了系统的工作范围。

用这种改进型的热管炉,我们采用聚焦束在Mg蒸气中进行了三次谐波产生的实验。实

验中我们发现除上述优点外,由于这种改进型热管炉总的水平长度及金属蒸气长度较短,因而可采用短焦距透镜,这样就提高了入射光在焦点的功率密度,同时减小了所产生的VUV光子的再吸收问题。我们在外管中装Na和充320 Torr压力的Ar气,内管中装Mg和充160 Torr He气,结果在内管产生稳定的750°C的温度,相应的Mg蒸气为20 Torr<sup>[9]</sup>。XeCl准分子激光器泵浦的染料激光器(峰值功率50 kW,脉宽20 ns,重复频率1 Hz)的输出,由焦距为15 cm的石英透镜聚焦到此热管炉的Mg蒸气的热区出口端附近,这是为了减小Mg蒸气对所产生的VUV辐射的吸收,染料激光器的输出调谐到 $\text{Mg}3\text{S}^2-3\text{S}4\text{S}^1\text{S}$ 。双光子共振频率( $\lambda_L = 459.6\text{nm}$ )。所产生的VUV信号通过CaFa窗口,经0.5 m的VUV单色仪与其基波分开,被太阳盲光电倍增管(Hamamatsu R972)接收,并由示波器测量信号。考虑到光电倍增管的量子效率、增益、单色仪光栅反射率以及窗口透过率,我们粗略地估计,当应用 $3\text{S}^2-3\text{S}4\text{S}^1\text{S}$ 。双光子共振时所产生的VUV相干辐射产额大于 $10^9$ 光子/脉冲。

- [1] C. R. Vidal and F. B. Haller, *Rev. Sci. Instrum.*, **42** (1971), 1779.
- [2] 张秀兰、雷子明等, *物理*, **14**(1985), 416.
- [3] H. Junginger et al., *IEEE J. Quans. Electr.*, **QE-16** (1980), 1132.
- [4] H. Scheingrober and C. R. Vidal, *Rev. Sci. Instrum.*, **52** (1981), 1010.
- [5] Richard E. Honic and Dean A. Kramer, *RCA Review*, 30-2 (1969), 285.

## 1988年第3期《物理》内容预告

物质的特殊形态——超微粒(李若林等); 终端声子激光器(李运奎); 变折射率透镜的研究和发展现状(刘德森); 对光的本性的新认识(关洪); 热释电传感器及其应用(金承谦); 空间频率彩色编码在遥感图象处理中的应用(陈怀琳等); 强磁场技术的新进展(罗阳);

离子注入在陶瓷材料中的应用(周志烽); 二元图象的光逻辑运算与 $\theta$ 调制(周进等); 用于超导隧道结测量的程控电压偏置交流电桥(项伟平); 电离辐射和核物理的量和单位(吕维纯)。