

# 激光枪蒸发技术

邢作清 耿庆芬

利用聚焦的  $CO_2$  激光束作为热源照射电介质、半导体、金属和某些有机物质，使其蒸发然后形成薄膜。实验表明，用这种方法所制备的薄膜要比电阻加热蒸发和电子枪蒸发所制备的薄膜具有更小的污染。文中着重叙述了激光蒸发设备，操作方法和一些实验结果。尽管这些实验是有限的，但已看出，这种方法的运用，给制备各种优质薄膜开辟了新的途径。

## 前 言

近几年来，淀积薄膜的方法愈来愈多，如：电子枪、溅射、离子枪和激光枪等。不管那种方法，都各有特长。总的来说，都较之习惯用的电阻加热法更为优越。激光枪蒸发方法，就是用激光作为热源使物质汽化蒸发的一种技术，目前这项技术仍处于研讨阶段。

众所周知， $CO_2$  激光器可以产生很高的功率，当把这种高功率的激光束聚焦并照射在蒸发物质上面时，便会在物质的照射区域内产生极高的温度，从而使物质急剧熔化并迅速地汽化蒸发。

蒸发时，蒸发物质所吸收的能量可以通过下式表示

$$E_a = E_i - E_t - E_r - E_s \dots (1)$$

这里  $E_i$ —入射能量， $E_t$ —透射能量， $E_r$ —反射能量及  $E_s$ —散射能量。

由上式可以看出，要使物质汽化蒸发，则物质必须吸收足够的激光能量，也就是说，被蒸发的物质对激光来的透射，反射和散射要尽量小，从而保证其吸收。但实际上，对某些物质来说，对激光束的透射，反射和

散射是不可避免的，有的甚至很大，如光泽的金和铝等金属对  $CO_2$  激光束的反射极高。这样，对蒸发这些物质就带来很大困难。但实际上，大部分电介质和有机材料对  $CO_2$  激光束是强吸收的，这就使得蒸发它们变得很容易。虽然一些半导体材料对  $CO_2$  激光束高透过和高反射，但是，当半导体材料的温度略一升高就会产生大的吸收，随着温度的升高，吸收越来越大，最后可使透射为 0，所以，也能比较容易蒸发。然而对一些金属，特别是表 I 中的那些金属，用连续的  $CO_2$  激光蒸发特为困难。但对有些金属，如铬、镍和铁等，蒸发则比较容易。

表 1 几种金属对 10.6 微米波长的反射率

金属名称	铝	银	金	铜	铯	铂
R (%)	98.7%	98.9%	98.9%	98.9%	97.6%	96.2%

若假设物质的常数与温度无关，则蒸发一定物质所必须的能量是

$$E_a = E_h + E_{10} \dots (2)$$

这里

$$E_h = [C(T_v - T_0) + Q_f + Q_v] \cdot V \cdot \rho$$

$C$  比热

$T_v$  蒸发温度

$T_0$  初始温度

$Q_f$  熔化热

$Q_v$  蒸发热

$V$  蒸发物质的体积

$\rho$  密度

$E_{10}$  由于热扩散和热辐射而引起的能量损耗

很明显，由于热扩散和热辐射所引起的能量损耗，使得蒸发物质需要更多的能量。这种损耗越大，需要的能量就愈多。所以，用激光蒸发某些物质时，小块的要比大块的容易，这就是因为激光产生分布热，使整个固体材料在热传导下温度趋于上升，甚至导致发红状态，体积越大，需要的热量就越多。这些热量的一部分还要通过表面面积向外辐射，面积越大，则辐射的能量就越多。由于上述原因而引起的热量损失，使得焦点处的受热面积的温度迅速下降，尽管激光功率密度很高，材料仍难于蒸发。所以，在这种情况下，采用小块材料比较有利。

当入射的能量大于物质蒸发的能量时即

$$E_i = E_a - E_r \dots \dots \dots (3)$$

便会使蒸发汽分子过热（这里  $E_i$  为剩余能量）。因此，在蒸发中，并非激光功率越大越好。为了获得最佳的膜层质量，要防止物质过热分解， $E_i$  应尽量小。

把激光蒸发与电阻加热和电子枪加热蒸发相比较，具有下列几方面优点：

1. 电阻加热和电子枪加热，都需要向真空室引入电源，因此，不可避免地要产生电磁场干扰，这将影响一些精密仪器的使用。而激光枪蒸发则仅一光点进入真空室，因而不产生任何电磁干扰现象。

2. 电阻加热和电子枪加热，都易使膜层遭到污染，前者主要是蒸发物质与蒸发源金属的浸蚀污染。后者主要是电子的二次发射对膜层的影响。而激光枪加热仅是一点照射物质，不发生上述污染现象。

3. 用电阻加热，甚至于用电子枪加热难以蒸发的高熔点、热传导率良好的物质，激光蒸发是有效的。因为激光所能达到的温度可大于前两者。

4. 对于某些物质的蒸发，例如  $TiO_2$ ，电子束较为困难，因为蒸发时发生电荷现象<sup>[1]</sup>。而激光束蒸发则无此现象，所以蒸发比较容易。

## 实验技术

实验是在自装的 306 真空镀膜机上进行的，激光蒸发原理如图 1。

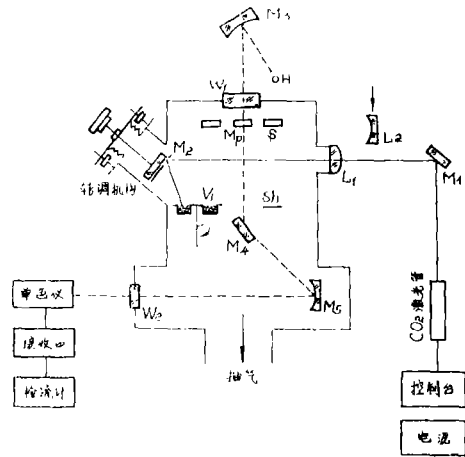


图 1 激光蒸发原理图

- $M_1, M_2, M_4$  及  $M_3, M_5$  分别为平面和球面反射镜
- $L_1, L_2$  分别为铬聚透镜和散焦透镜
- $W_1, W_2$  为真空窗口
- $M_p$  控制片
- $S$  基底
- $S_1$  挡板
- $V_L$  激光蒸发源
- $V_R$  电阻加热源
- $H$  红外光源

虚线为膜厚控制光电系统，实线为激光蒸发光路。

我们使用的  $CO_2$  激光器的管长约 3 米，输出功率可达 200 瓦以上，工作中实际应用为 100 瓦左右。激光管可定期充换气体，经常保持一定功率。

$CO_2$  激光器发出的激光束被  $M_1$  反射进入真空室。入射窗口  $L_1$  为铬聚焦镜 ( $f = 556$  毫米，镀  $PbCl_2$  增透膜)，它将光束会聚在  $M_2$  (铜反射镜) 上，然后由  $M_2$  再反射到蒸发物质上。在蒸发物质上的焦点大小有  $\phi 1$  毫米和  $\phi 3$  毫米两种 (更换  $L_1$  达到)。蒸发源可同时放两种以上材料，通过转动来更换，使得每一种材料都可位于激光束照射处。

$L_1$  由于安装在凹藏较深的位置, 故蒸发分子不能污染。 $M_2$  被连接在一个转调机构上, 在  $M_2$  前面装有一护板, 护板上有一个只允许激光束入出的小孔。蒸发时, 蒸汽分子只能污染  $M_2$  的暴露部分。当镀在  $M_2$  上的膜层较薄时, 对激光波长的反射率影响并不大。而只有当污染严重时, 即膜层过厚, 这时由于大的散射和吸收, 反射率才发生显著下降。此时转动机构换出新鲜镜面。当一个铜镜完全不能再用时, 可换上另一个新铜镜。通过我们实践, 一面铜镜可连续使用一百次左右 (对镀制 1~2.5 微米波段多层膜系而言)。在蒸发过程中, 调节转调机构上螺旋, 可使  $M_2$  偏转, 使得激光点在蒸发物质上任意移动, 达到每一面积都能蒸发的目的。蒸发前要去气时, 可将散焦镜  $L_2$  移入光路中, 这时在蒸发物质上的激光点为  $\phi 20$  毫米左右。去气后移出  $L_2$  即可。

根据蒸发物质的不同汽化温度, 蒸发时可调节激光器的输出功率。还可在入射窗口前加一限制光栏, 把  $\phi 15$  毫米的光束按照需要来变化大小。这样, 就可广泛地蒸发各种熔化温度的物质。

使用激光枪时, 蒸发物质面上的射束直径, 即聚焦点上的功率密度是比较重要的。假如光束的发散角为  $\theta$ , 并用焦距为  $f$  的透镜聚焦 (透镜的象差可忽略, 则聚焦点的直径  $s$  为

$$s = f \theta \dots\dots\dots (4)$$

因此, 如果光束中的功率为  $M$ , 则聚焦点上的功率密度  $E$  为

$$E = \frac{4M}{\pi f^2 \theta^2} \dots\dots\dots (5)$$

根据上式, 我们就能够计算出蒸发时聚焦点的功率密度了。

此外, 由于激光束的斜入射, 蒸发中将会使物质上发生直口现象, 这种现象严重时 will 影响膜层的均匀性, 如图 2 所示情况。要克服这种现象, 在蒸发时必须适当地调节光点的位置, 使蒸发质均匀下陷。

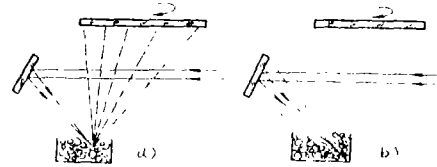


图 2 蒸发物上的直口现象  
a) 正确蒸发 b) 直口现象蒸发

## 蒸发试验

关于激光蒸发一些物质的详细实验数据将在以后的工作报告中专门综述。下面仅就几种典型材料的蒸发情况作一概述。

$As_2S_3$ : 熔点 210℃, 用较低的激光功率即可蒸发。激光蒸发该物质, 克服了电阻加热蒸发该物质时料的跳动现象, 避免了分子自物质的下表面蒸发而造成的不定向发射。所形成的膜牢固, 适于在氯化钠上制备  $As_2S_3$  保护膜。

$ZnS$ : 蒸发温度 1020℃。根据实验观察, 用小块状的热压  $ZnS$  较为适宜。用激光蒸发的  $ZnS$  膜 (基底不加热) 比电阻加热蒸发的  $ZnS$  膜有较好的抗水性能。这大概是由于激光蒸发的分子所获得的内能大的原因。

$GaAs$ : 熔点 1238℃。砷化镓为半导体材料, 在高温下与所有的金属舟相浸蚀, 所以, 电阻加热蒸发砷化镓特为困难。但用激光蒸发则比较容易。由于砷化镓对 10.6 微米为良好的透射和反射材料, 故蒸发时不宜采用光泽表面。在蒸发大块砷化镓时, 发现整块材料发红, 蒸发极为困难。当把料弄成小粒状 ( $\phi 1 \sim \phi 2$ ) 时, 蒸发所很容易。但当蒸发后又熔结成块体, 所以, 下次再用时必须重新弄碎。

$SrF_2$ : 熔点 1190℃。用电阻加热蒸发  $SrF_2$ , 常会发生料的污染现象。而当用激光束蒸发时却非常理想。蒸发料用压块状。由于它吸光性强, 热传导性差, 宜采用大块。

除了上述几种材料外，我们还蒸发了  $MgF_2$ 、 $NaAlF_6$ 、 $Te$ 、 $PbCl_2$ 、 $Sb_2S_3$ 、 $PbTe$ 、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $ZrO_2$  及金属铬和铜等。其中除铜（用铜粉、激光照射后熔化成铜块）外，其他均蒸发成薄膜。并用一些材料制作了各种滤光片，如图3—7。

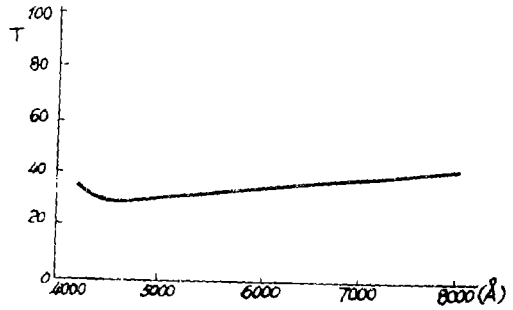


图6 用铬镀制的中性滤光片

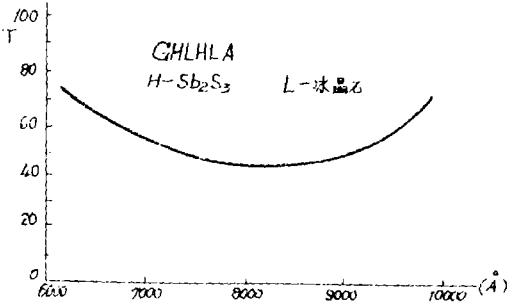


图3 用  $Sb_2S_3$  和冰晶石镀制的半透镜

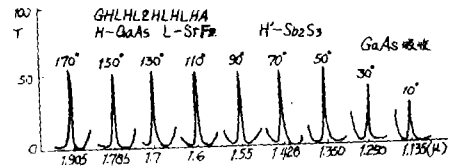


图7 用  $GaAs$ 、 $SrF_2$  和  $Sb_2S_3$  镀制的1.1~1.9微米波段的圆盘渐变滤光片

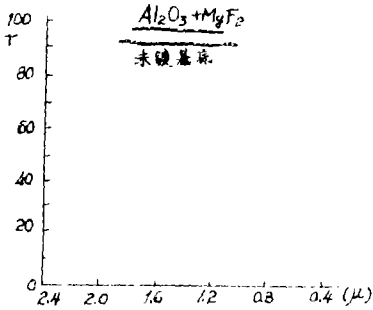


图4 用  $Al_2O_3 + MgF_2$  在  $K_9$  玻璃上镀制的单面增透膜

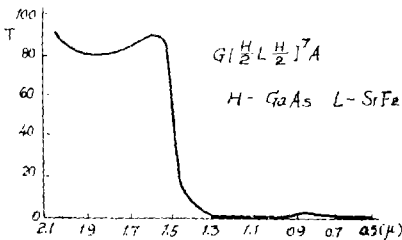


图5 用  $GaAs + SrF_2$  镀制的前截止滤光片（短波次峰被  $GaAs$  吸收掉）

## 结 语

激光枪蒸发实验，还是一项新的技术，有许多问题还有待于进一步研究。可以认为，随着一些精密测试仪器的建立，将能够对激光蒸发所制备的薄膜作出定量分析。但目前就它的污染小这一点来看，远优于电阻加热蒸发和电子枪加热蒸发。由于工作有限，许多问题还未深入探讨，仅作的一些工作还可能有错误之处，欢迎指正。

### 参考文献：

1. “光学技术コンタクト”  
V01、9、No9、PP11~17、1971
2. *App Opt* V018、No6、P 1115、1969.