

真空镀膜

梁君岳^{*} 张欣睿[†]

^{*}北京大学化学与分子工程学院 学号：1600011780

[†]北京大学化学与分子工程学院 学号：1600011783

摘 要：本次实验运用真空镀膜原理，使用镀膜机和分子泵等设备获得了高真空，并实现了基片上蒸发镀铜，分析了获得高真空和蒸发过程中压强随时间的变化。

关键词：真空；蒸发镀膜；平均自由程；分子泵

^{*} e-mail: 1600011780@pku.edu.cn

[†] e-mail: zhangxinrui16@pku.edu.cn; mobile number: 18801391162

1 实验数据和现象及其分析、处理和结论

1.1 实验条件和真空度下限估计

本实验条件下，用于镀膜的基片和铜丝相距约 5 cm，此数据需要远小于实验条件下 Cu 的自由程。根据实验环境确定一些物理量，可粗略估计所需真空度的大小。

实验室内温度约为 20 °C，合 293 K，由于真空是热的不良导体，可以用此数据计算铜原子的平均自由程。又查表得 Cu 原子的范德华半径为 140 pm，则直径为 280 pm。据公式：

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p}$$

取平均自由程 1 m，解得：

$$p = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 \bar{\lambda}} = 0.01 \text{ Pa}$$

因而实验时，真空度应在 $p = 0.01 \text{ Pa}$ ，即实验时需要将钟罩内压强控制在至少 $10 (\times 10^{-3} \text{ Pa})$ 左右。

结论：在真空镀膜实验中，所需压强最大应控制在约 10 mPa。

1.2 分子泵高真空情况

连接好蒸发源铜丝（用连接到电路的螺旋状钼丝固定）。先在机械泵条件下抽低真空，再使用分子泵抽高真空。由于所用分子泵已经预先抽过真空，因而真空速度较快。分子泵稳定后，每 30 s 记录高真空计压强数据。记录结果如表 1 所示。

$t \text{ (s)}$	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
$p \text{ (mPa)}$	109.0	87.2	73.0	62.5	54.3	47.9	41.4	37.1	34.0	31.5
$t \text{ (s)}$	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
$p \text{ (mPa)}$	29.3	27.4	25.7	24.1	22.7	21.5	20.4	19.5	18.6	17.7
$t \text{ (s)}$	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900
$p \text{ (mPa)}$	17.1	16.7	16.0	15.4	14.9	14.4	14.0	13.6	13.2	12.5

表 1 高真空计压强情况

使用软件 Origin® 绘制 $p - t$ 曲线，反映高真空时系统压强随时间的变化。如

图 1 所示。

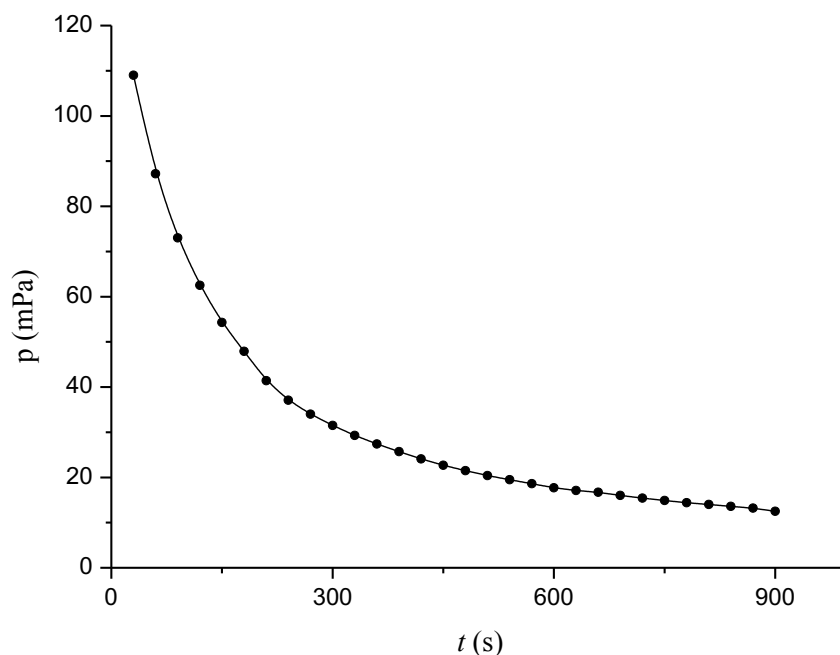


图 1 高真空时系统压强随时间的变化

结论：在启动分子泵后，系统压强随时间降低，单位时间内压强的减少量越来越少，即压强减小的速率趋缓。

1.3 预蒸发

接通电路，调节电流旋钮，至电流表读数约为 5 A。实验时观察到电流不太稳定，摆动幅度较大。实验进行时电流范围为 1 ~ 8 A。在预蒸发中，可以明显看到系统压强读数的升高，这是由于铜中所含的少量低沸点杂质蒸发，成为气体占据压强而产生的。这也导致铜丝的形貌发生变化，影响蒸发源的总电阻，因而也导致电流的剧烈变化。

结论：预蒸发时电流变化较为剧烈，真空度下降（压强升高），这两者是铜丝中的低沸点杂质蒸发，并导致铜丝本身发生变化造成的。

1.4 15 A 电流蒸发

先将蒸发电流进一步调大至 15 A，每 3 s 记录系统压强值，测量结果如表 2 所示。

t (s)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
p (mPa)	20.1	22.2	29.0	50.1	82.3	76.9	74.0	74.1	65.5	48.5
t (s)	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
p (mPa)	34.8	26.3	23.1	21.6	21.0	20.2	19.8	19.3	18.9	18.6
t (s)	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90
p (mPa)	18.3	18.0	17.8	17.4	17.2	17.0	16.8	16.7	16.5	16.3
t (s)	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
p (mPa)	16.2	16.0	15.9	15.7	15.6	15.5	15.3	15.2	15.0	14.9

表 2 15 A 蒸发压强变化

同样可以作出压强随时间变化的曲线，如图 2 所示。

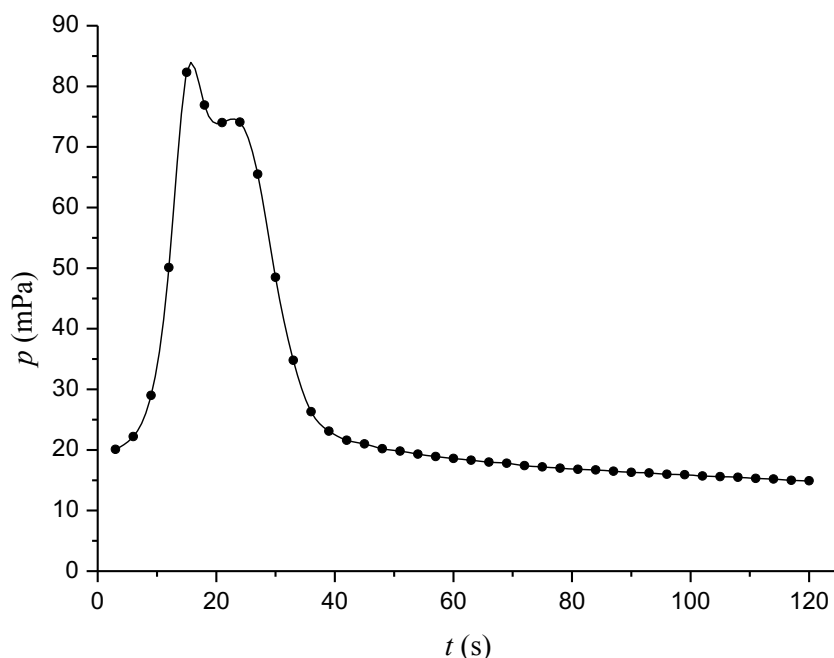


图 2 15 A 电流蒸发压强变化曲线

在 15 A 电流下蒸发，电流表较为稳定，从观察窗并没有看到有铜膜被镀上的现象，但从曲线可以看出进一步蒸出了部分物质，使压强迅速增高。推测可能蒸发出了少量熔点较高的杂质和少量铜。图中 21 s、24 s 两个数据点很近，可能是真空计测量不精确引起的，也可能是含量较高的杂质蒸发耗去了一段时间。

结论：15 A 电流不足以进行铜的蒸发，在此电流下会除去部分沸点较高的杂质，也有可能蒸发出少量铜。通过测量压强变化可作出 15 A 蒸发下的压强变化曲线。曲线表明确实蒸出了部分物质，产生了压强的变化。

1.5 蒸镀铜膜

将蒸发电流调至 35 A 左右，观察窗内立刻亮起橙黄色光，几秒后可以通过反光观察到基片上有一层薄薄的铜。与此同时，真空度快速下降（压强上升），达到极值 $p_{\max} = 52 \text{ mPa}$ 。断电，在真空环境下尽量使系统冷却，切换到低真空再放气，取出基片，能看到上面已经被镀上一层铜膜，且观察窗的内衬塑料膜也被镀上了铜薄层。

由此可以计算铜在此系统中的最小自由程：

$$\lambda_{\min} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p_{\max}} = 0.2 \text{ m}$$

在此次镀膜之前，首次蒸镀铜膜失败，原因是缠绕的螺旋状钼丝在缠绕点处断裂。初步分析，可能是在缠绕中为调整钼丝角度，扭转钼丝一次以上，导致弯折处的钼丝变得脆弱，因而在通电加热过程中被烧断。由此可以总结实验的一些关键点：钼丝的处理一定要干脆利落，最好一步到位，定型后不要再弯折，否则容易烧断。并且，如果需要打磨钼丝，也需要避免反复打磨导致钼丝变得脆弱。

结论：在约 35 A 下，可以顺利进行铜的蒸镀。实验能观察到发光、几秒内玻璃片上有铜沉积。在蒸镀时，需要注意所用的螺旋状钼丝载体不应过度弯折、反复弯折或反复打磨，否则容易使钼丝烧断，实验失败。

2 实验收获

本次实验使我们对真空镀膜原理和操作有了更深的了解。对于预习题的理解也更深了。例如，在实际操作中我们体会到了短时间内重复实验获得真空更快，并了解了这是由于分子泵使用中排出杂质，导致效率提高而产生的。

实验中遇到了许多困难，例如我们使用的第一台镀膜机由于分子泵性能下降，很难达到真空，即使将钟罩重新摆正也很难抽到真空，于是更换镀膜机进行实验。考验了我们提出质疑、遇到具体问题加以分析解决和交涉与维持平和的实验心态的能力。

3 致谢

感谢杨根老师对实验方法和实验仪器的指导与讲解，感谢杨少镭同学、罗铮同学共享镀膜机。