

# 实验二十六 真空镀膜 实验报告

1400012141

邵智轩

周二下午3组11号

2017年3月21日

## 1 实验数据和现象

### 1.1 估计本实验条件下蒸镀铜膜所需真空度的下限（压强上限）

蒸发出的Cu分子在残余气体中飞行的平均自由程 $\bar{\lambda}$ 需要比加热灯丝和衬底的距离 $l$ 大很多，如果按 $\bar{\lambda} = 50l$ 估计。

$$p_{max} = \frac{1}{50} \frac{k_B T}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 l}$$

按 $l = 8\text{cm}$ ， $\sigma = 2.9 \times 10^{-10}\text{m}$ （通过铜原子量和密度推算得到）， $T = 1.3 \times 10^3\text{K}$ （铜的熔点）估算，

$$p_{max} = 1.2 \times 10^{-2}\text{Pa}$$

与实验要求“(6—13) $\times 10^{-3}\text{Pa}$ ”一致。

## 1.2 分子泵开始工作后系统随时间的变化关系

Table 1: 抽真空过程中压强 $p$ 的变化

$t/\text{min}$	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	51.1	47.7	44.6	41.6	39.1	36.8	34.7	33.0	31.6	30.2
$t/\text{min}$	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	28.8	27.8	26.6	25.7	24.7	23.9	23.1	22.4	21.8	21.1
$t/\text{min}$	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	20.6	20.1	19.6	19.2	18.8	18.6	18.2	17.9	17.5	17.3
$t/\text{min}$	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	17.0	16.6	16.4	16.0	15.8	15.6	15.4	15.2	14.9	14.7
$t/\text{min}$	20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	14.5	14.3	14.1	13.9	13.7	13.6	13.4	13.3	13.2	13.0
$t/\text{min}$	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	12.8	12.7	12.6	12.4	12.3	12.3	12.2	12.0	11.9	11.8
$t/\text{min}$	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	11.7	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	11.0	10.9	10.9	10.8
$t/\text{min}$	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.5	38.0	38.5	39.0	39.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	10.7	10.6	10.5	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1	10.1	10.1
$t/\text{min}$	40.0	40.5	41.0	41.5	42.0	42.5	43.0	43.5	44.0	44.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	10.1	10.0	9.9	9.8	9.8	9.7	9.7	9.6	9.6	9.5
$t/\text{min}$	45.0	45.5	46.0	46.5	47.0	47.5	48.0	48.5	49.0	49.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	9.4	9.3	9.3	9.2	9.2	9.1	9.1	9.1	9.0	9.0
$t/\text{min}$	50.0	50.5	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	8.9	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	8.6	8.6	8.5
$t/\text{min}$	55.0	55.5	56.0	56.5	57.0	57.5	58.0	58.5	59.0	59.5
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	8.5	8.4	8.4	8.3	8.3	8.2	8.2	8.1	8.1	8.0

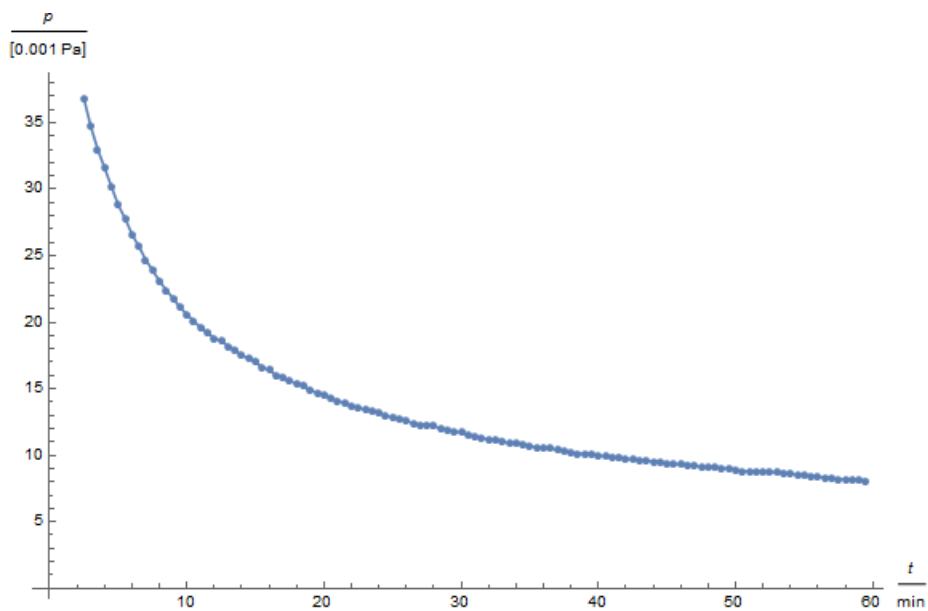


Figure 1: 抽真空过程中压强 $p$ 的变化

从图中可以看出，随着真空度提高，抽真空的速度逐渐下降。类似于 $y = e^{-x}$ 的变化规律。

### 1.3 预蒸发加5A电流

维持电流5A，记录压强变化情况。

Table 2: 预蒸发加5A电流时 $p$ 的变化

$t/s$	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	8.0	8.0	8.0	8.1	8.3	8.8	9.2	9.6	9.9	9.8
$t/s$	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	9.7	9.6	9.5	9.5	9.3	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3
$t/s$	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	9.4	9.3	9.4	9.6	9.8	10.1	10.4	11.2	12.9	14.6
$t/s$	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	17.2	19.6	21.4	25.4	29.7	36.4	32.2	28.7	21.5	14.2
$t/s$	120									
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	12.7									

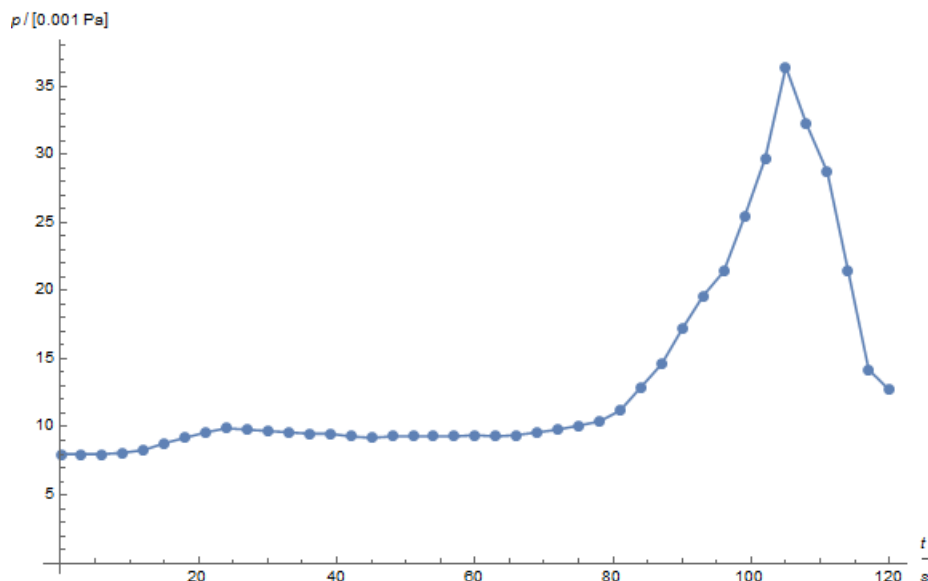


Figure 2: 预蒸发加5A电流时 $p$ 的变化

加电流5A后，一开始的一段时间（80s）压强变化不大，到某时刻压强突然上升，又迅速回落。

试分析原因：刚通电流时电热丝还处在加热状态，当加热到某一温度时，铜丝、钼丝表面的杂质等蒸发成气体分子，使压强迅速增大，形成一个尖峰。由于电流较小（5A），不再有新的固体物质蒸发产生气体，所以压强很快又随着分子泵的运转而回落。

#### 1.4 预蒸发加15A电流时 $p$ 的变化

维持电流15A，记录压强变化情况。

Table 3: 预蒸发加15A电流时 $p$ 的变化

$t/s$	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	7.9	9.3	19.5	79.2	35.6	18.0	16.2	14.4	13.2	12.5
$t/s$	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	12.2	12.0	12.0	12.1	12.2	12.4	12.6	12.8	13.1	13.4
$t/s$	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	13.7	13.9	14.3	14.7	15.0	15.2	15.5	15.7	16.0	16.3
$t/s$	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	16.4	16.7	16.9	17.1	17.2	17.4	17.6	17.6	17.7	17.8
$t/s$	120									
$p/[10^{-3}\text{Pa}]$	17.9									

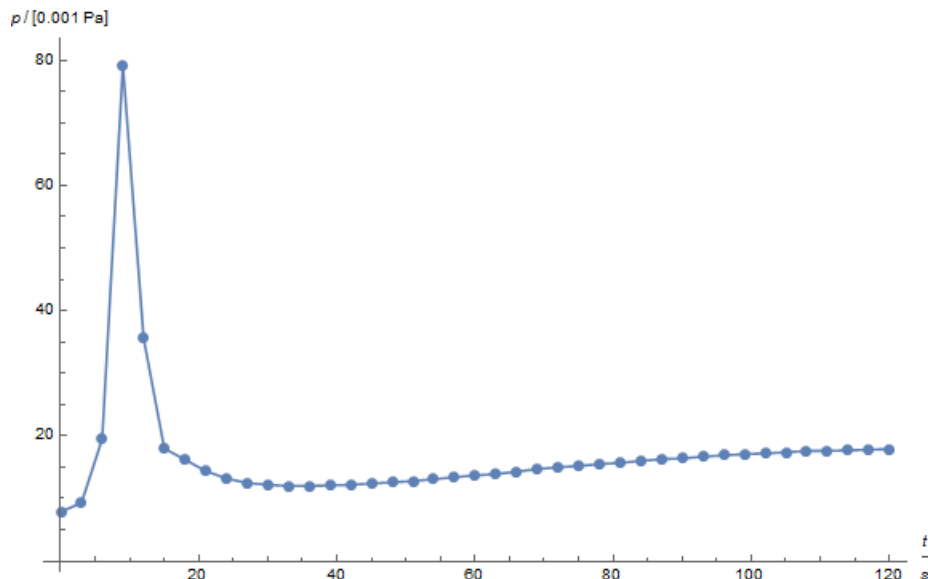


Figure 3: 预蒸发加15A电流时 $p$ 的变化

加电流15A后，一开始突然出现一个尖峰并且迅速回落，之后压强 $p$ 缓慢，且近于匀速地上升。

试分析原因：电流提升到15A后，加热温度也升高。开始时的极窄尖峰来源于铜丝表面的少量残留的氧化层蒸发成气体分子，使压强迅速增大，然后迅速回落。之后在该电流加热下，铜以某较低的速率蒸发，使压强 $p$ 缓慢且近于匀速地上升。

## 1.5 镀膜

待压强 $p$ 回落到 $8 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 后，打开电流并保持大小为30A，持续30s。通过内筒上小窗口观察到金黄色的光。在此期间压强 $p$ 的最大值为

$$p_{max} = 46.4 \times 10^{-3} \text{Pa}$$

由此推算出在此过程中铜分子的最小自由程 $\lambda_{min}$

$$\lambda_{min} = \frac{k_B T}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 p_{max}} = 1.0 \text{m}$$

最小自由程远远大于加热灯丝到衬底之间的距离。

## 1.6 总结热蒸发方法蒸镀薄膜的经验

钼丝和铜丝使用前都要用砂纸打磨，尽量去除外面的漆和氧化层。钼丝尽量等螺距缠绕。钼丝取20cm，螺旋部分1.5cm，铜丝取3cm，对折后置于钼的螺旋管内。

灯丝与电极连接处要用螺丝拧紧，避免接触不良。开启真空泵电源前应先检查一下橡胶密封圈，清除其中的异物。

一旦分子泵进入匀速运转状态，就应尽早检验电流连接状态，以便及时调整，避免浪费时间。

镀膜前要做一到两次预蒸发，以去除杂质、氧化层等。

镀膜时要始终注意电流的变化，尽量保持电流稳定。

镀膜结束后要先切换到低真空模式，等待5min以后再放气，避免打坏分子泵。

## 2 收获与感想

本实验是我第一次在真空环境下进行的实验。通过本次实验，了解并学习了真空的获得和测量，以及真空环境下的种种特点。此外，学习了热蒸发法镀膜的原理和技术，亲身实践在玻璃衬底，以及一枚硬币上镀一层铜膜，很有趣。

目前真空技术在尖端科学技术上有非常广泛的应用。诸如高能粒子加速器、大规模集成技术、薄膜技术、空间技术等都要求高真空环境。要想达到更高的真空度，这对仪器的密封性、实验环境的稳定、泵的性能、实验操作的规范性等都有更高的要求。