

动态真空镀铬临界速度确定

付永启

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 给出了动态真空镀铬保证安全成膜时被镀件不应超过的临界转速 $n_{\text{临}}$, 为动态目标盘动态旋转条件下的可靠镀铬提供了理论依据。

关键词: 动态真空镀铬; 动态目标盘; 临界转速

1 引言

目前常用的镀膜方法有电镀、真空蒸镀、溅射镀、离子镀等, 动态目标盘柱面镀铬采用真空蒸镀法, 因为它有如下优点:

- 1) 防止膜料沾污, 获得纯净、致密、符合预定要求的薄膜。
- 2) 可根据需要加入某种气体与膜料化合, 得到一种单一化合物构成的特殊功能薄膜。
- 3) 消除空间碰撞。
- 4) 消除基体的污染。

但是, 通常的真空镀铬都是在被镀件静态放置情况下蒸镀, 而动态目标盘需要在动态旋转状态下蒸镀方能使圆盘周边柱面上都能镀上铬层(见图1)。本文分析了动态真空镀铬的可行性, 并给出保证正常被镀件旋转不应超过的临界速度, 为今后动态真空镀铬提供一理论依据。

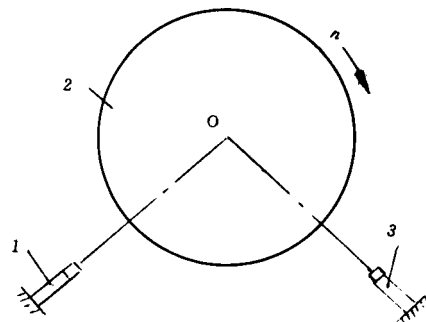


Fig 1 Scheme of dynamic aim generator disk in vacuum plating Cr

1. dynamic aim generator disk
- 2, 3. electrode & evaporating source

2 最大蒸发速率下的温度确定

2.1 温度对蒸发速率的影响

物质的蒸发速率取决于蒸气压强、真空室内真空度及真空室温度, 关系如下^[1]

$$\omega = 0.0583\alpha P_v \sqrt{\frac{M}{T_v}} \quad (1)$$

式中

ω ——物质蒸发速率, $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$;

α ——凝聚系数;

P_v ——蒸气压强, Torr;

M ——蒸气分子摩尔质量, mol;

T_v ——真空室温度, K。

凝聚系数 α 又称为适用系数, 是考虑到分子在凝结过程中, 一部分未凝结而返回的情况, 故 α 一般都小于 1。朗格缪尔证实一般金属的 $\alpha \approx 1$ ^[3]。

由式(1)不易直接看到温度的影响, 将其变为下式

$$\log \omega = \log 0.0583\alpha M^{\frac{1}{2}} + \frac{k}{T} + \log N_i - \frac{1}{2} \log T + A T^{-1} + B \log T + D \quad (2)$$

其中

$$\log \gamma_i = \frac{k}{T} \quad (3)$$

式中

N_i ——摩尔分数浓度;

k ——与 γ_i 有关的系数;

γ_i ——活度系数;

A 、 B 、 C 、 D ——与金属种类有关系数。

式(2)中右边与温度有关的有

$$(A + k) T^{-1} + (B - \frac{1}{2}) \log T \quad (4)$$

对于纯铬, 由手册中查得 $A = -20680$, $B = -1.31$, $D = 14.56$; 可算出与温度有关项的值为 (缺少 k 实测值时暂不考虑温度对 γ_i 的影响):

Temperature,	1000	1100	1200	1300
$(A + k) T^{-1} + (B - \frac{1}{2}) \log T$	- 21.86	- 20.74	- 19.77	- 18.83

可见温度由1000 升高到1100 , $\log \omega$ 提高 1, ω 增大1个数量级, 约10倍。所以, 温度对蒸发速率的影响是比较显著的, 提高100、200 , 就会使金属蒸发速率增加几倍甚至十余倍, 实践中可用以提高设备的生产率, 从而获得较大的效率。

2.2 蒸镀温度确定

根据环境总压强 p 和蒸发物质的蒸气压 p_v 之间关系将蒸发区分为三种:

- 1) 一般蒸发, 此时 $p > p_v$;
- 2) 沸腾蒸发, 此时 $p = p_v$;
- 3) 分子蒸发, 此时 $p < p_v$ 。

这三种蒸发的速率大小顺序为: 分子蒸发 > 沸腾蒸发 > 一般蒸发。

由以上分析可知, p 和 p_v 对蒸发速率影响极大, 较优的蒸发条件是:

$$p = p_v \quad (5)$$

提高真空度以减小 p , 或提高真空室温度以加大 p_v 都可达到此目的。但由于被镀件材料为 $K9$ 玻璃, 在温度高于 120°C 时会发生炸裂, 故只能考虑提高真空度以降低 T_v 值。即在同样的蒸发速率下通过提高真空度 p_v 来降低 T_v 。

由式(1)可得出下式

$$\sqrt{\frac{p_v}{T_v}} = \sqrt{\frac{p}{T}} \quad (6)$$

故有

$$T_v = \left(\frac{p_v}{p}\right)^2 T \quad (7)$$

由文献[1]中表2-4可知, 对于铬金属 $p_v = 101.33\text{Pa}$ 时 $T_v = 1694^\circ\text{C}$, 由式(7)可算出 $p_v = 3.9996\text{Pa}$ ($3 \times 10^{-2}\text{Torr}$) 时, $T_v = 2.64^\circ\text{C}$, 可见, 在并不很高的真空度下即可将最大蒸发速率下的温度— T_v 值降至极低。考虑到实际工作中各种因素的影响, 取 $T_v = 50\sim 80^\circ\text{C}$ 足以满足最大蒸发速率要求。

3 动态蒸镀时被镀件临界速度的确定

纯金属的蒸气压是真空蒸镀的根本依据, 它与温度有关, 由克劳修斯—克莱普朗方程式表示如下^[1]

$$\log p = A T^{-1} + B \log T + CT + D \quad (8)$$

式中 T 为被加热的蒸发源—金属铬的温度(K)。

由手册中查得金属铬的 A 、 B 、 C 、 D 值分别为 -20680 、 -1.31 、 0.14 、 56 , 用式(8)可算得 $p = 1.01 \times 10^{-4}\text{Torr}$ (取铬沸点温度 1403K 计算)。

若被镀件表面的气体分子没有受空间中气体分子撞击, 并被表面吸附起来, 从而铺满1个分子厚的一层所需时间 τ , 这就是形成一个密实的单分子层需要的时间, 可由下式确定^[3]

$$\tau = 3.45 \times 10^{-17} \frac{1}{p_{\text{Torr}} d^2} \sqrt{\frac{MT}{R}} \quad (9)$$

式中

d ——分子直径, cm;

T ——真空室温度, K;

P_{Torr} ——真空室压强, Torr。

该式求出的就是形成单分子层所必须的最少时间,也是形成单分子层时分子必须停留在基体表面上的最短时间,真空度越高, τ 值越大。

动态蒸镀时,由于被镀件处于运动状态(例如旋转),如果它以极快速度经过蒸发源,则有可能使铬蒸气分子停留在基体上的时间小于 τ , 导致无法形成膜层。

取 $d_{c_r} = 3 \times 10^{-8} \text{ cm}$, $M_{c_r} = 52 \text{ mol}$, $T = 343 \text{ K}$, $R = 8.314 \times 10^7 \text{ erg/K}\cdot\text{mol}$, $p_{\text{Torr}} = 1.01 \times 10^{-4} \text{ Torr}$, 由式(9)可得 $\tau = 5.61 \text{ s}$ 。

根据蒸发源尺寸取其对应的被镀件沿运动方向走过的路径 L (对于动态目标盘则为对应蒸发源部分的弧长 $L = 20 \text{ mm}$), 则在时间 τ 内, 定义被镀件均匀经过蒸发源的临界速度 $V_{\text{临}}$ 为

$$V_{\text{临}} = L / \tau \quad (10)$$

则动态目标盘的 $V_{\text{临}} = 3.56 \text{ mm/s}$ 。故动态目标盘真空镀铬时其均匀转动速度 v 应满足

$$v \geq V_{\text{临}} \quad (11)$$

即 $v \geq 3.56 \text{ mm/s}$ 或 $n \geq 0.213 \text{ r/min}$ 。

式(11)即为动态真空镀铬时被镀件运动速度应满足的条件,实际操作时应参考该式设置被镀件速度。

按式(11)选用的被镀件转速在笔者设计的装夹传动装置中试镀,得到良好的效果,从而证实了理论分析的正确性。

4 结 论

本文通过理论分析及探讨给出了动态真空蒸镀时被镀件运动速度应满足的条件是 $v \geq V_{\text{临}}$, 速度过高将导致无法生成膜层。

但需指出的是,文中 $V_{\text{临}}$ 及转速 n 的具体数值是按动态目标盘的直径及相应蒸镀参数算出的,当被镀件的外形尺寸及蒸镀参数 (p , T 等) 改变时,应根据实际的工艺条件重新按式(10)推算 n 及 $V_{\text{临}}$ 的具体值。

参 考 文 献

- [1] 戴永年, 赵 忠著 真空冶金 北京: 冶金工业出版社, 1988 5~ 78
- [2] R. BAKISH (美) 主编 真空冶金学 上海: 上海科学技术出版社, 1974, 114~ 218
- [3] L. Holland VACUUM MANUAL. E & F N SPON London, 1982 110- 280

Determination of Critical Speed in Dynamic Aluminum Generator Disk Vacuum Plating Chromium

Fu Yongqi

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

Critical rotating speed of vacuum plating Chromium was given under the condition of ensuring plating Chromium reliably. A theoretical basis was provided for safely plating Chromium on cylinder side of aluminum generator disk in the form of revolving.

Key words: Dynamic vacuum plating Chromium, Aluminum generator disk, Critical rotating speed

付永启 男, 生于1967年5月20日, 籍贯河南省林县。1988年7月于吉林工业大学获工学学士学位, 1994年元月于长春光学精密机械学院精密机械系获工学硕士学位, 现为中国科学院长春光学精密机械研究所博士研究生, 研究方向为精密光学刻划, 目前正在从事“921”工程项目研究, 撰写论文14篇。擅长于光电在线监测, 机电一体化研究及精密刻划等。