

云南电子技术

YUN

NAN

DIAN

ZI

JI

SHU

西南地区照相制版经验交流会专辑

1978

云南省电子工业研究所

《云南电子技术》1978 年第一期增刊

目 录

- 一、氧化铁膜生长规律及其物化特性.....五机部二一一研究所 (1)
- 二、用聚乙烯二茂铁制备半透明掩模.....一四四四所制版组 (16)
- 三、CVD氧化铁彩色掩模的制作.....八七三厂十四车间 (21)
- 四、超微粒干版制备的一些改进.....八七三厂十四车间 (24)
- 五、超微粒干版制作小结.....国营四三二六厂六车间制版组 (25)
- 六、聚乙烯二茂铁的制备.....重庆东方红试剂厂净化车间茂铁小组 (27)
- 七、明胶简介.....重庆皮胶厂 (29)
- 八、氧化铁版自动控制装置.....国营八七九厂 (30)
- 九、超微粒聚乙烯醇干版研制初步 (摘录)四川大学半导体专业 (35)
- 十、PD光掩模的研制和应用.....四川大学半导体专业 亚光电工厂五车间 (37)
- 十一、减小溴化银颗粒度分散性的一个措施.....重庆大学 (45)
- 十二、国外电子束制版情况简介.....中国科技情报研究所重庆分所 (46)

氧化铁膜生长规律及其物化特性

五机部二一一研究所

一九七七年六月

近些年来,氧化铁选择性透明光刻掩模由于优良的膜特性,已越来越快地用于国外集成电路和其它半导体器件制备工艺。

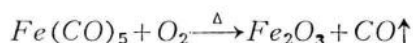
化学汽相淀积法制备氧化铁透明掩模具有设备简单、成本低、效率高、膜质量好、易于复印和操作方便等优点而在国内广泛开展了研制工作^{(3)~(5)}。

本实验氧化铁薄膜是用化学汽相载带法,以氮气作传输气体、五羰基铁为铁源、氧气作为氧化气体而制备的。

我们的工作研究了淀积的温度、气体流量与淀积速率的关系并试图阐明其物化原理;此外着重讨论了淀积温度对氧化铁选择透明薄膜物化特性的影响。

一、工艺过程和实验条件简述

1. 淀积工艺的基本化学反应为:



2. 工艺过程:

化学汽相淀积的基本想法是:把含有欲生长物质元素的气体与载带气体一道通入系统中;在衬底上经过热解、氧化、还原等化学反应而析出所要生长的物质。

工艺过程为:用 N_2 气载带 $Fe(CO)_5$ 源与 O_2 气汇和,一起通入到扣在加热衬底上园锥体反应系统中,即可在放置于两者之间的玻璃基片上经热解、氧化而淀积 Fe_2O_3 薄膜。残余气体由玻片与锥形反应器的空隙中通入风道排出。图1为淀积系统示意图。

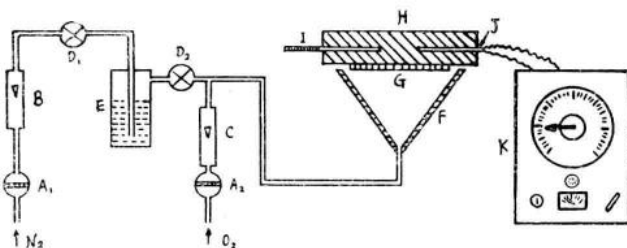
3. 控温系统及其准确度

自制一晶体管电路控温系统。控温元件为一Ⅱ级精度玻璃铂电阻温度计。在气流流动及排风条件下,实测控温准确度最大偏差为 $\pm 2^\circ C$ 。

4. 加热器

加热器为一直径140毫米,厚20毫米铝块。嵌入一加热部件。可控玻璃铂热电阻和水银温度计嵌入铝加热器左侧,作控温和温度指示用。

图 1 倒置式化学汽相淀积 Fe_2O_3 薄膜系统示意图



A_1, A_2 : G_4 玻璃砂蕊沪球; E : 分解沅并; I : 观察温度计
 B : N_2 气玻璃转子流量计; F : 玻璃分解罩; J : 玻璃铂阻温度计,
 C : O_2 气玻璃转子流量计; G : 玻璃基片; K : 控温系统。
 D_1, D_2 : 玻璃活塞; H : 金属加热器;

为了使整个铝块温度分布均匀并绝缘,电炉丝全部用小瓷管套好,对称、均布于整个铝块内部。由于加热器是在通风和气流流动条件下工作,故热容量不宜过小和过大,以免在加热过程中降温过多或热惰性过大致使控温精度降低。

5. 测量、分析工具

A. 膜厚: *MNN-4* 型干涉显微镜。测量误差为 $\pm 15\%$ 。
B. 光谱: *QR-50* 型分光光度计。测量波长范围为 $2000 \sim 12000$ 埃。
C. 金相显微照相: *NEOPHOT* 型卧式金相显微镜。
D. 电子扫描显微照相: *ASM-SX* 型扫描电子显微镜。
E. α -射线衍射图: *EVM (TuR)* 型 α -射线发生器。

二、实验和讨论

1. 温度对 Fe_2O_3 薄膜淀积速率的影响

淀积 Fe_2O_3 薄膜时, 衬底温度对薄膜的光学特性、腐蚀性能、耐磨性、复印分辨率, 结构特征都有决定性的影响⁽⁵⁾⁽¹¹⁾, 实用光刻掩模对上述几方面都有要求, 故首先必须研究淀积温度与 Fe_2O_3 薄膜淀积速率关系。

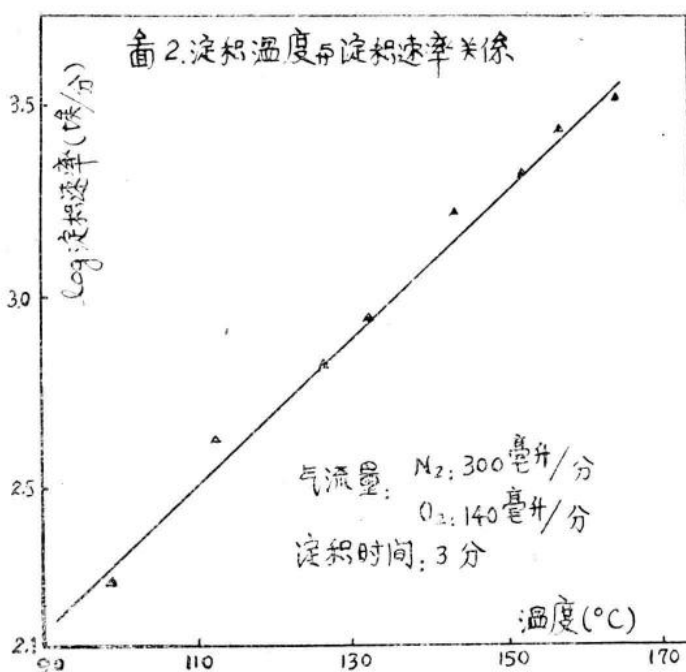
A. 淀积温度与淀积速率关系经验式

当固定 N_2 、 O_2 流量和淀积时间, 改变淀积温度, 测量 Fe_2O_3 膜厚。以淀积温度 ($^{\circ}C$) 为横坐标, 淀积速率的对数为纵坐标作图得图 2。从图 2 得: 淀积温度与淀积速率的对数为一直线关系。故淀积温度与淀积速率间关系可用下方程表示:

$$R = Ae^{Bt} \dots\dots\dots (1)$$

将 (1) 式等号两边取对数得:

$$\log R = \log A + (B \log e) t \dots\dots\dots (2)$$



式 (2) 中 R 为淀积速率 (埃/分); $\log A$ 为图 2 中直线在纵轴的截距; 而直线的斜率等于 $B \log e$ 。

用最小二乘法求 $\log A$ 和 B 值得:

$$\log A = 0.4487; \quad B = 0.0438; \quad \log e = 0.4343;$$

将 $\log A$; B ; $\log e$ 值代入 (2) 式, 计算得 R 值; 将实验值与计算值结果列于表 1。

表 1 淀积温度与淀积速率实测值和计算值比较:

版 编 号	1	2	3	4	5	6	7	8
t : 淀 积 温 度 (°C)	98.5	112	126	132	143	152	156	164
R : 测 量 值	180	440	600	900	1700	2100	2800	3300
R^* : 计 算 值	210	380	700	910	1460	2170	2520	3670
相 对 误 差	0.143	0.158	0.043	0.011	0.164	0.033	0.111	0.101

由于 $MNN-4$ 型干涉显微镜测膜厚误差为 $\pm 15\%$; 气体转子流量计精度误差为 $\pm 2.50\%$; 淀积温度起伏为 $\pm 2^\circ\text{C}$, 故实验值和经验公式计算值符合得较好。

B. 温度对反应速度影响的初步讨论^{(12)~(15)}

对于一般均态或非均态反应来说, 温度对反应速度的影响是建立在 Arrhenius 方程基础上。

$$K = Ze^{-\frac{E}{RT}} \dots\dots\dots (3)$$

将 *Arrhenius* 方程取对数得:

$$\log K = \log Z - \frac{E}{2.303 R} \frac{1}{T} \dots\dots\dots (4)$$

式(3)中, K : 反应速度常数或比速度。

E : 该反应的特有常数, 称为该反应的活化能。

R : 气体常数。

Z : 该反应的频率因数。

Arrhenius 方程的意义为: 速度常数的对数和温度的倒数成直线关系。

从 *Arrhenius* 方程看到: E 的数值反映温度对速度常数的影响大小。 E 值很大时, 升高反应温度, K 值的增大就很显著; E 值较小时, 升高反应温度, K 值的增大就不显著。升高反应温度, 实际上就是提高反应分子的平均能量, 使它们更加活泼, 更易于反应, 从而加速反应。

Arrhenius 把活化能看成是分子反应时需要克服的一种能峰。

分子互相作用, 首要条件是它们必须相互碰撞。而在反应体系中, 并非所用相互碰撞的反应分子都可以变成产物分子。只有反应物分子的能量比平均能量高出 E 的数值时, 才能越过这一能峰而变成产物分子。从分子按能量分布规律知道, 只有部份的分子才具有这种能量; 因此, 化学反应的速度是有限的。具有平均能量的分子, 一旦获得了不低于 E 值的额外能量, 它就有了进行化学反应的活性, 故称活化分子。 E 就是该反应的活化能。

从分子按能量分配定律的近似式知道, 具有活化能 E 以上的活化分子数 n^* , 在总分子数 n 中所占百分率为:

$$\frac{n^*}{n} = e^{-\frac{E}{RT}} \dots\dots\dots (5)$$

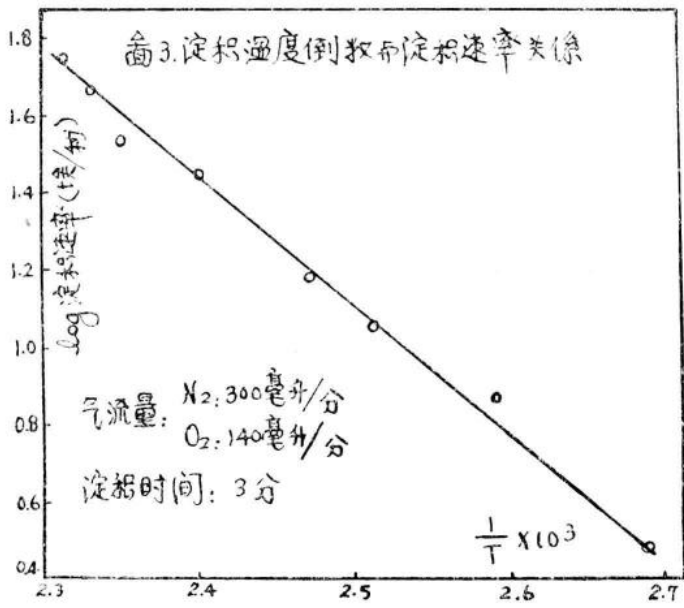
从式(5)可见: 活化分子数目, 是随温度的升高而很快增加的。所以, 温度对反应速度有很大影响。

在 *Arrhenius* 方程中, 另一常数 Z 为频率因数, 它与反应分子间每秒钟碰撞数或分子内某化学键的振动频率有关。一般来说, 频率因数对反应速度的影响不如活化能大。

在我们具体情况下, 化学汽相淀积法制备氧化铁选择性透明薄膜为一流动、复相反应体系, 情况比较复杂。

但当恒定反应物浓度(N_2 、 O_2 流量恒定), 在不同温度, 单位时间淀积速率的变化实际是温度对反应速度引响的结果; 只不过是指单位反应物浓度时的反应速度 K 而已。我们看到, 经验方程(1)与 *Arrhenius* 方程(3)有相同的形式。当以淀积速率的对数 $\log Rs$ 与淀积温度的倒数 $\frac{1}{T} \cdot 10^3$ 作图得图 3, 为一直线关系, 说明 *Arrhenius* 的反应速度

受温度影响的理论是能解释化学气相法制氧化铁透明薄膜时淀积速率与温度的关系的。



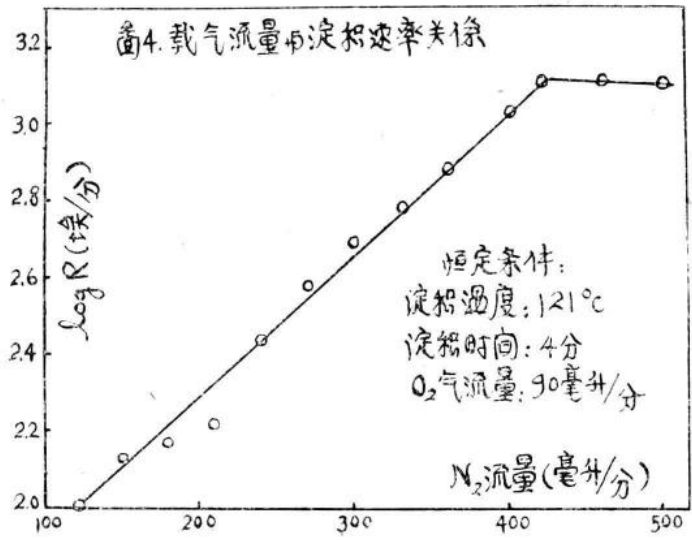
上述实验结果和经验公式计算都能给出在一定淀积条件时，温度对淀积速率关系的定量结果。这样就提供了反应温度与淀积速率的工艺根据。讨论了活化能和频率因数的物化原理后，淀积温度引起淀积速率如此强烈的改变就易解释了。

关于温度对淀积速率的影响，仅只是非常初步的讨论。

2. 载气流量和氧化流量与淀积速率关系

A. 载气 (N_2) 流量与淀积速率关系

当恒定其它条件时，改变载气 (N_2) 流量，研究与 Fe_2O_3 膜淀积速率关系，结果绘于图 4。

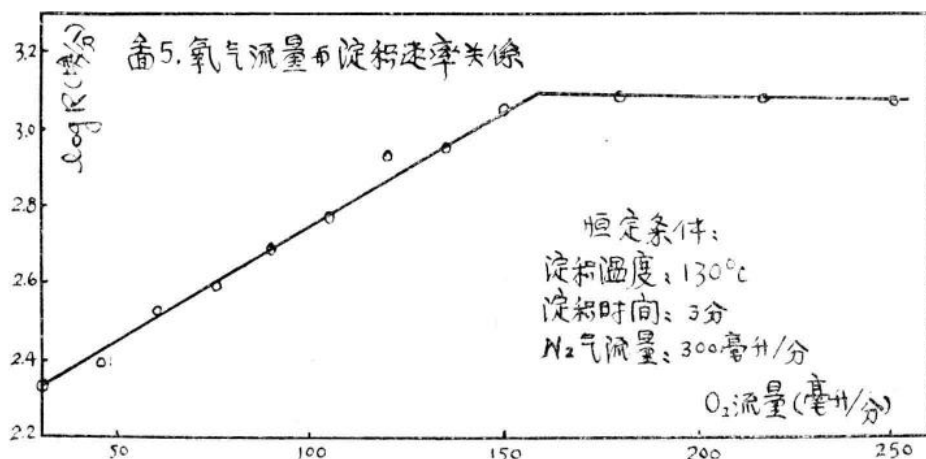


实验结果得出：可用增大载气 (N_2) 流量 (即增加单位时间内 $Fe(CO)_5$ 流量) 来提高 Fe_2O_3 膜的淀积速率。但是，在保持其它条件恒定时，膜的淀积速率是有一定限度的，超过了这一限度淀积速率则基本上保持不变。

这就使得在淀积 Fe_2O_3 膜时，给出了合适载气 (N_2) 流量的依据；并了解 N_2 流量与淀积速率之间变化规律。

B. 氧气流量与淀积速率关系

当恒定其它条件时，改变氧化气体 (O_2) 流量，研究与淀积速率关系，结果绘于图 5。



从实验结果得出：在保持其它条件恒定时， Fe_2O_3 膜淀积速率是随 O_2 气流量的加大而增加的。当达一定值时，淀积速率则不再增加。

实验结果提供了在淀积 Fe_2O_3 膜时，合适的 O_2 流量的依据；并了解 O_2 流量与淀积速率关系的规律。

C. 气体流量对淀积速率影响的讨论

化学汽相淀积 Fe_2O_3 选择性透明薄膜的反应体系是一流动的复相体系。

在流动体系中，质量守恒定律在我们具体条件下可简单地表示为：

输入量 ($Fe(CO)_5 + O_2$) = 淀积量 (Fe_2O_3) + 排出量 ($Fe(CO)_5 + O_2 + CO$)。

因为 N_2 只作为传输气体而不参与化学反应，所以输入量等于输出量。

我们知道，任何化学反应都是按实际反应过程的相应克当量进行的。换句话说，一种反应物浓度的变化，都要引起其它反应物浓度发生等当量的变化。

当保持输入量 N_2 流量恒定且为过量。这时实质上是保持单位时间内 $Fe(CO)_5$ 流量不变且为过量时，逐步增加输入量中的 O_2 量，故单位时间内淀积物的量增加了 (Fe_2O_3 膜淀积速率增加)。这时，在排出量中只有剩余的，逐步相应减少的 $Fe(CO)_5$ 和反应付产物 CO 。

当 O_2 量增加到与原来过量的 $Fe(CO)_5$ 按实际反应相当量全部反应时，单位时间的淀积量最大，故图上得一淀积速率随 O_2 流量增加的极大值。这时从理论上说，在排

出量中只含CO。

如果再继续增大 O_2 流量， $Fe(CO)_5$ 仍然是全部参与反应(因 N_2 流量恒定)，而 O_2 变为过量的了，故 FeO_3 膜淀积速率保持不变。而这时，在排出量中只含有反应过量的 O_2 气和付产物CO了。

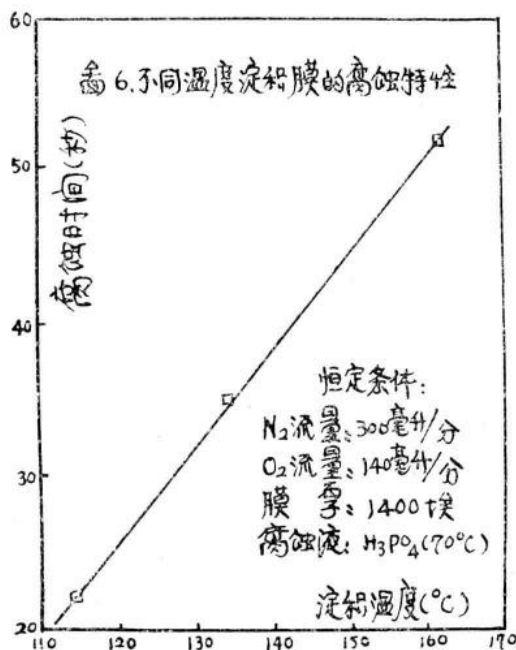
我们看到，上述三个过程都是遵循质量守恒定律的。

当恒定 O_2 气流量，改变 N_2 （实为 $Fe(CO)_5$ ）流量时，情况和上面分析的道理一样。

N_2 、 O_2 流量较大时，淀积速率约有下降。这是由于这时总流量相应增大，引起淀积玻璃基片淀积温度下降之故。玻璃基片与铝加热器相比容量要小得多，且热传导系数很小，故影响淀积速率约有下降。

3.不同温度淀积膜的腐蚀特性

将三片不同温度淀积，膜厚相同的 Fe_2O_3 膜在 H_3PO_4 液中进行腐蚀，结果绘于图6。



实验得出：不同温度淀积相同厚度 Fe_2O_3 膜，腐蚀时间不同。随着淀积温度的升高，腐蚀时间增长（腐蚀速率降低）。而 180°C 以上淀积膜极难腐蚀。

实用 Fe_2O_3 光刻掩模的重要特性之一为腐蚀性能。相同厚度的 Fe_2O_3 膜分辨率随腐蚀时间的缩短而改善。但淀积温度过低则淀积速率太慢，实用性不大。淀积温度过高则腐蚀困难，膜面有大颗粒结晶聚集，分辨率低，同样不适用。

不同温度淀积膜腐蚀特性不同是与膜的结晶及膜成份不同有关⁽¹¹⁾

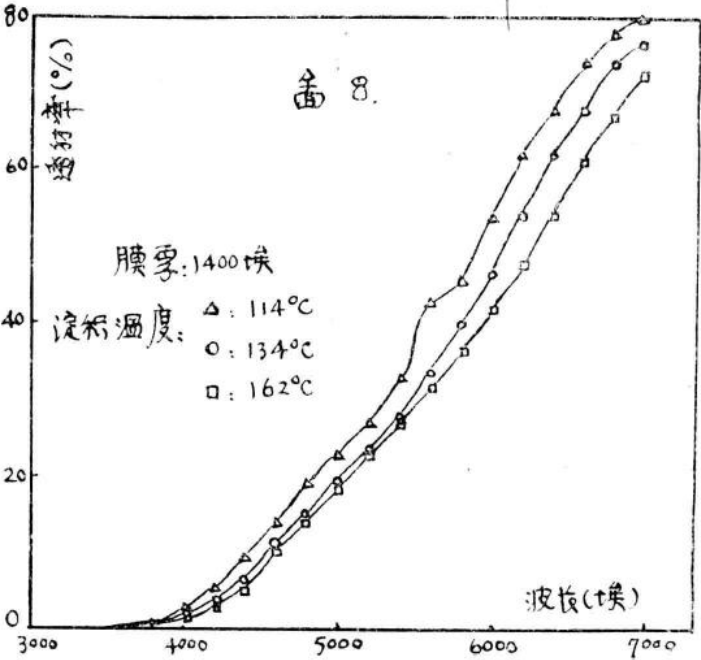
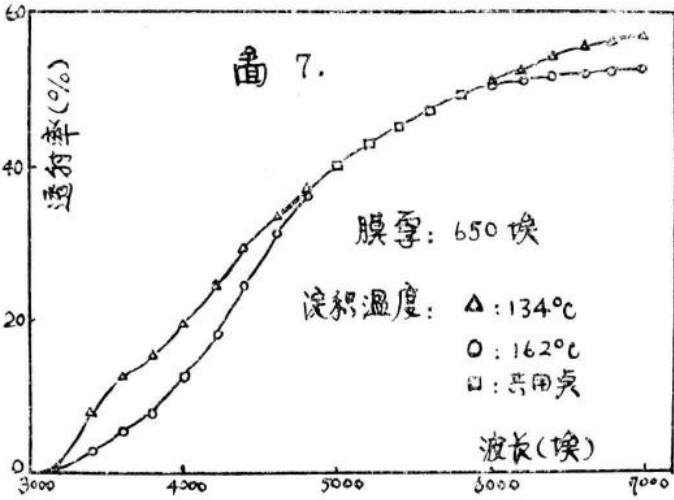
4.氧化铁膜的光谱特性

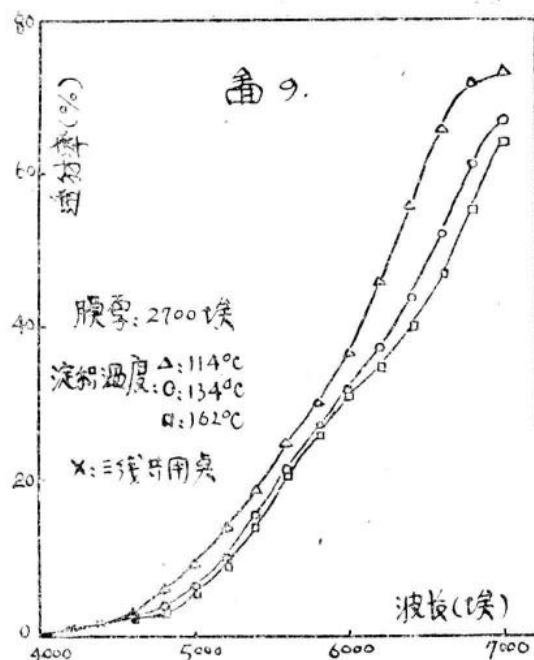
通常各类光致抗蚀剂感光波段在4000埃左右⁽¹⁾⁽¹⁶⁾。因此，要求 Fe_2O_3 膜的厚度在

此波长附近透射率低于 1%，光刻时起到掩蔽作用。而在可见光（典型钠 D 线 5890 埃）波段要有足够的透射率，应不低于 30%，以保证一定的透明度。

A. 不同温度淀积 Fe_2O_3 膜的光谱特性

对三组不同膜厚（同组膜厚相同）的 Fe_2O_3 薄膜进行了光谱测量，结果如图 7、8 和图 9）





三组曲线都给出了同一结果: 当入射光波长为3000埃~7000埃时, 光透射率正比于光波波长; 温度较高时生成相同厚度的 Fe_2O_3 膜, 在相同波长时透射率都低于温度较低时生成的膜。

B. 典型厚度 Fe_2O_3 薄膜光谱吸收特性

光刻掩模的光谱吸收特性通常以光密度 D 来度量。光密度定义为:

$$D = \lg \frac{I_{\lambda}}{I_{\text{出}}} = \lg \frac{1}{T} \dots \dots \dots (6)$$

式中,

I_{λ} : 入射光强;

$I_{\text{出}}$: 透射光强;

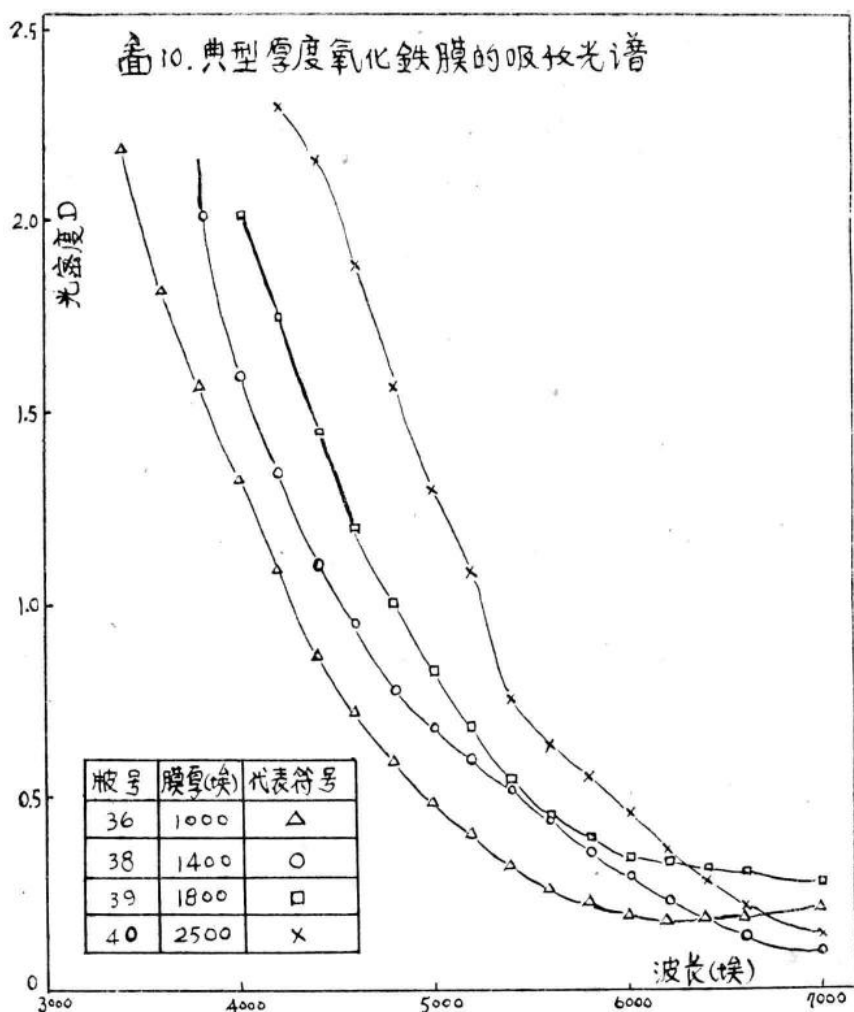
T : 透射百分率。

将几种典型氧化铁薄膜厚度的吸收光谱测量结果绘于图10。

从图10可以看出: 当膜厚为1000埃和1400埃时, 不能满足光刻时对透明掩模的要求。当 Fe_2O_3 薄膜膜厚为1800埃时, 在波长为4000埃时有很好的掩蔽性能, 此时 $D > 2$; 当波长为5890埃时, 具有很好的透明性能, 此时 $D < 0.52$, 完全能满足光刻时对4000埃波长光的掩蔽作用和可见光波段时对透明度的要求。

C. Fe_2O_3 薄膜光谱特性的讨论

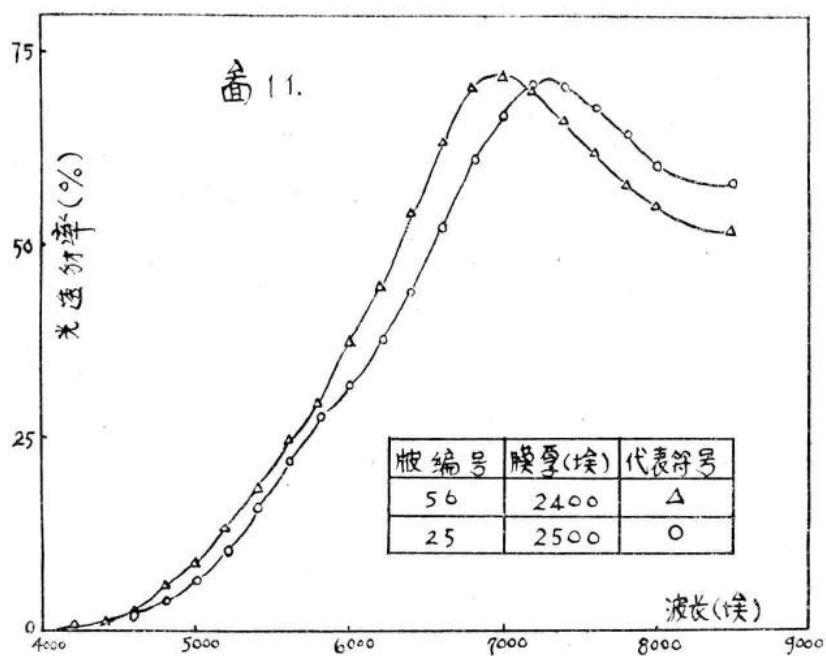
光谱特性是氧化铁透明光刻掩模的重要特性之一。标志该掩模的实用性。它应该在光致抗蚀剂感光的波段具有很好的掩蔽能力($D > 2$); 而在可见光波段 (钠 D 线5890埃



为标准) 具有很好的透明度 ($D < 0.52$)。而厚度为 1800 埃的氧化铁薄膜就具有这种性能。考虑到光致抗蚀剂的感光波段范围一般在 3500 埃~4500 埃 (4000 埃时光密度最大⁽¹⁾⁽²³⁾)；又考虑到氧化铁薄膜的不均匀性，故实际使用的氧化铁光刻掩膜厚以 2500 埃较为合适；至少不宜低于 2000 埃。

较高温度生成的 Fe_2O_3 薄膜，在相同波长时透射率低于温度生成的、同膜厚的 Fe_2O_3 膜，主要原因在于结晶状态的差异。较高温度生成膜形成粗大结晶 (晶粒聚集)，且多为 $\alpha-Fe_2O_3$ ；对在 3000~7000 埃波长的光不仅有吸收，可能还有部份被散射，故透射率低于相同膜厚，在较低温度时生成的无定形 Fe_2O_3 薄膜。

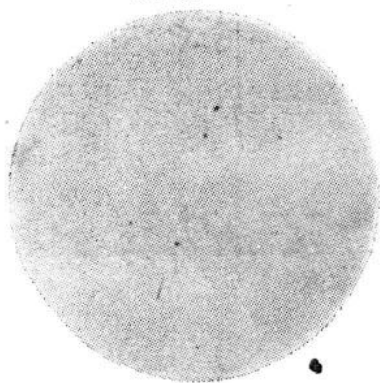
图11系膜厚为 2400 埃和 2500 埃氧化铁薄膜透射率 (%) 与光波波长光谱图。光波波长为 4000 埃时，光密度分别为 2.1 和 2.2；波长为 5890 埃时，光密度分别为 0.44 和 0.49。



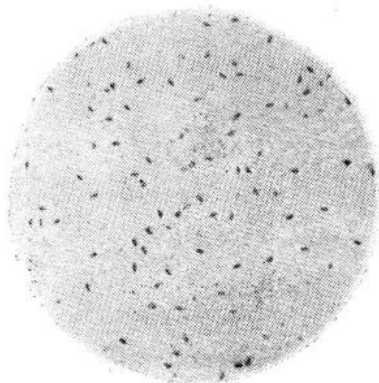
5. 不同淀积温度氧化铁膜的金相图

为了粗略了解不同温度淀积 Fe_2O_3 情况, 将三种不同温度淀积薄膜进行金相观察。照片一、二、三分别为 $132^{\circ}C$ 、 $152^{\circ}C$ 和 $164^{\circ}C$ 淀积 Fe_2O_3 膜放大385倍的金相图片。

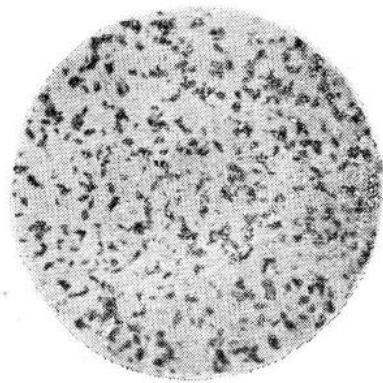
照片 一



照片 二



照片 三



其淀积条件为:

N_2 流量: 300毫升/分; O_2 流量: 140毫升/分; 淀积时间: 3分。

从照片看出, 晶粒聚集程度和密度都服从下列规律:

164°C淀积膜 > 152°C淀积膜 > 132°C淀积膜。

这很可能是当反应温度较高时, 使得 $Fe(CO)_5$ 分解速度($Fe(CO)_5 \xrightarrow{\Delta} Fe + 5CO$)以及铁的氧化速度($4Fe + 3O_2 \xrightarrow{\Delta} 2Fe_2O_3$)加快; 而在开始反应的部位 Fe_2O_3 急速聚集的结果。

由于在164°C、152°C淀积氧化铁薄膜晶粒聚集较均匀地遍布整个版面, 聚集线度为3—10微米, 且附着不太牢固。很明显, 在分辨率和牢固性方面都不适于作实用选择性透明光刻掩膜。

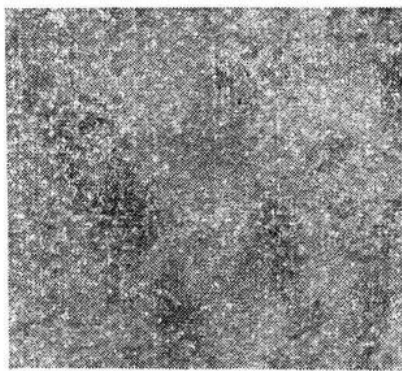
132°C所淀积 Fe_2O_3 膜仅只在整个版面的极少部位如图三所示情况。

故实用 Fe_2O_3 掩膜淀积温度应低于130°C。

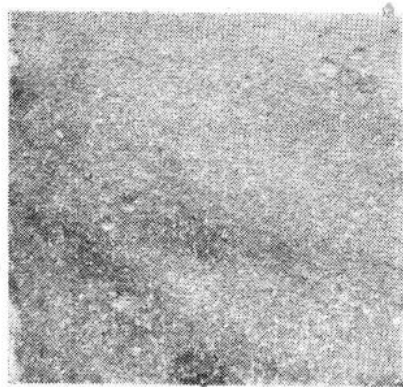
6. 氧化铁薄膜的电子扫描显微镜照相

金相显微照相由于放大倍率不高, 但其视场较大, 故只能对 Fe_2O_3 膜面情况进行极粗约的了解。为此, 对不同温度淀积三氧化二铁薄膜进行了电子扫描显微镜观察, 结果如照片四、五和六所示。

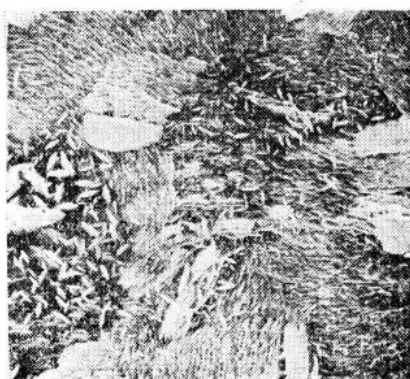
照片四



照片五



照片六



将电子扫描显微照片所摄氧化铁膜淀积条件和放大倍率列于表 2。

表 2 氧化铁薄膜淀积条件和放大倍率

照 片 号	N_2 流 量 (毫升/分)	O_2 流 量 (毫升/分)	淀积温度 ($^{\circ}C$)	淀积时间 (分)	放 大 倍 率
四	300	90	90	20	10000
五	300	90	130	7	10000
六	300	90	180	1.5	5000

从照片六清晰看出：180 $^{\circ}C$ 淀积 Fe_2O_3 膜由表面极不均匀晶粒组成，并有大量的晶粒堆集。晶粒堆集线度约为 2~7 微米，而晶粒线度约为几百和几千埃范围。

90 $^{\circ}C$ 和13 $^{\circ}C$ 淀积膜粒晶非常细小，且比较均匀；但130 $^{\circ}C$ 淀积膜有“鼓包”，其线度约为0.2~0.3微米。

由于氧化铁薄膜晶粒大小，均匀与否直接影响掩模板的分辨率和腐刻的均匀性，故这些特性是 Fe_2O_3 薄膜的重要特性之一。

从电子扫描显微照相得出的结论：从晶粒大小及晶粒分布的均匀性看，较高温度生成的氧化铁膜是不可取的，粒晶聚集非常严重，且晶粒大小和晶粒分布极不均匀。90 $^{\circ}C$ 和130 $^{\circ}C$ 淀积膜晶粒非常细小，分布很均匀。但130 $^{\circ}C$ 淀积膜有少量“鼓包”；90 $^{\circ}C$ 淀积膜情况最佳，这样的 Fe_2O_3 薄膜，只要配合较高的复印技术，获得 1 微米分辨率掩模是不成问题的。

7. 氧化铁薄膜的 x —射线衍射分析

为了搞清楚不同温度淀积的氧化铁薄膜结构的差别，进行了 x —射线衍射分析。

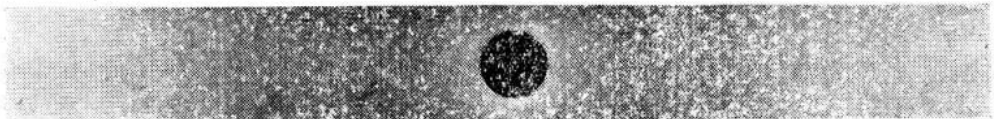
实验条件为：

方法：粉末法；辐射： $CrK\alpha$ ；波长 = 2.29092埃。

管压：30千伏；管流：8毫安；曝光时间：5小时。

照片七、八为180 $^{\circ}C$ 和130 $^{\circ}C$ 淀积氧化铁膜的 x —射线衍射图。实验结果列于表 3。

照片七：180 $^{\circ}C$ 淀积膜 x —射线衍射图



照片八：130 $^{\circ}C$ 淀积膜 x —射线衍射图

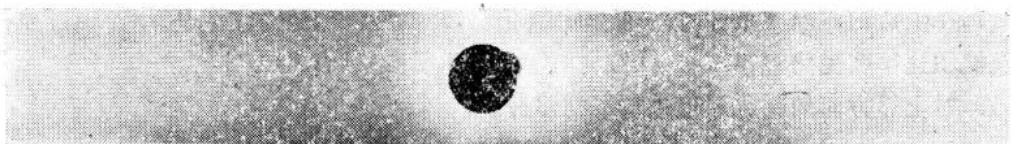


表 3

不同温度淀积氧化铁膜 x —射线分析结果

版 编 号	淀 积 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	实 验 结 果
66	180	$\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$
69	130	无定型 Fe_2O_3 + 少量 $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$
71	90	无定型 Fe_2O_3

由于 180°C 淀积膜为 $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ 结构; 130°C 淀积膜亦有少量 $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ 结晶; 而在 90°C 淀积膜为无定型 Fe_2O_3 , 故不同温度淀积的氧化铁薄膜在光谱特性、分辨率、腐蚀性能、结构致密、针孔数等性能上有较大差异。在这方面无定型 Fe_2O_3 薄膜比结晶型 $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ 性能要优越得多。

三、结 论

1. 在 $90^{\circ}\text{C} \sim 170^{\circ}\text{C}$ 温度范围内, 在 N_2 、 O_2 一定流量条件下, 淀积温度与氧化铁膜淀积速率的对数为一直线关系。可用经验式 $R = Ae^{Bt}$ 表示。表中 $\log A = 0.4487$; $B = 0.0438$ 。

2. 不同温度淀积相同厚度的氧化铁膜, 随淀积温度升高而腐蚀时间增长。 180°C 以上淀积膜极难腐蚀。

3. 当入射光波长在 3000 埃 $\sim$ 7000 埃范围内, 氧化铁膜的光透射率正比于光波波长。淀积温度较高时生成的相同厚度的氧化铁膜在相同波长的透射率低于温度较低时生成的膜。

4. 当氧化铁膜厚为 1800 埃时, 在 4000 埃波长的光密度为 2.1; 在 5890 埃波长的光密度为 0.36, 只要淀积温度不超过 120°C , 并配合其它条件就能够制备高分辨率的光刻掩模。

考虑到光致抗蚀剂有一感光波段范围及氧化铁膜的不均匀性, 实用选择透明掩膜膜厚以 2500 埃为宜。

5. 氧化铁薄膜金相及电子扫描显微照片得出: 不同温度淀积氧化铁膜晶粒聚集程度、晶粒线度尺寸和分布的清晰图相。

6. 淀积温度为 180°C 时, 氧化铁膜为 $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ 结构; 淀积温度为 130°C 时, 有部份 $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$; 淀积温度为 90°C 时氧化铁膜为无定型 Fe_2O_3 。

7. 在恒定淀积温度条件时, 得出了氧化气体 (O_2) 或传输气体 (N_2) 流量变化, 引起淀积速率改变的规律。

8. 对上述方面的物化原理进行了初步分析、讨论。

参 考 资 料

- (1) “电子展望” (日), Vol. 7, № 2, P 54~59, 1970.
- (2) “Solid state Technology” Vol. 14, No. 6, P 6~8, 1971.
- (3) “微电子学”, 1972. 6. P 17~19.
- (4) “半导体制版工艺” (译文专辑)。上海市仪表电讯技术情报所编。
- (5) “半导体技术” 1976. 3 月刊。
- (6) “J. Electrochem. Soc.” Vol. 122, No. 1, P 108~111, 1975.
- (7) “J. Electrochem. Soc.” Vol. 121, No. 7, P 929~932, 1974.
- (8) “电子材料” (日), Vol. 9, No. 12, P 61, 1970. 11. 临时增刊号。
- (9) “International Conference on Chemical Vapor Deposition” 1970, 551~570, 4174934.
- (10) “J. Electrochem. Soc.” Vol. 122, No. 4, P 585~588, 1975.
- (11) “J. Electrochem. Soc.” Vol. 120, No. 4, P 505, 1973.
- (12) “化学动力学” 金松寿编著, 科技卫生出版社出版。1959.
- (13) “化工反应动力学” [美] 斯坦莱·韦拉斯著, 燃化工业出版社。1975.
- (14) “物理化学系基本原理” (上), 吉林大学著编, 人民教育出版社。P 327~342, 1975.
- (15) “统计力学及其在物理化学中的应用”, 唐有祺著。P 216~256, 1964.
- (16) “Solid state Technology.” Vol. 14, No. 6, P 4~6, 1971.