

# 用有机酸锡蒸镀烧结的方法制成的 透明导电薄膜

## 1. 前 言

以前关于用氧化锡制成的透明导电薄膜的研究,已有各种报导,但是,这些研究大部分是以氯化锡等物质为基本原料,用喷涂法、气相反应法或者化学蒸镀法制成薄膜。以含氯物质为基本原料,就会在薄膜制作过程中出现产生氯或者氯化氢的问题。因此,先就液态四烷锡盐在氧化分压中加热分解而成的透明薄膜作个报导。

本文主要讲真空蒸镀及烧结固态有机酸锡做成的透明导电薄膜,分析一下在蒸镀时把变化加热基板温度和蒸镀后的烧结温度做为薄膜制造主要条件而制成的试样的结构,以及测定它的透过率和导电的特性,就薄膜制造条件及薄膜的特性进行考察。

## 2. 实 验 方 法

### 2.1 实验装置

本文所研究的透明导电薄膜,就是在空气中烧结有机酸锡真空镀的膜后得到的氧化锡薄膜所构成的。用于原料蒸镀的装置,普通真空镀膜机(东京真空机械EG-10B)的真空度约为 $2 \times 10^{-5}$  托,可以把基板加热到 $300^{\circ}\text{C}$ 以及导入任意的氣體。

### 2.2 薄膜的制造和测定

镀膜的形成速度( $v$ )以及薄膜的性质,除了原料的种类和基板的表面形状之外,主要是取决于真空罩内的真空度( $P$ )、原料加热用的电阻丝与基板之间的距离( $L$ )、原料的加热温度( $T_r$ )、以及基板温度( $T_s$ )。在实验

中规定  $L = 100$  毫米,  $v = 1 \sim 3$  埃/秒,  $P = 5 \times 10^{-5}$  托,变化基板温度进行蒸镀。

基板主要是采用微型滑板玻璃( $25 \times 76 \times 1$  毫米),根据需要也可并用透明石英板( $15 \times 10 \times 1$  毫米),基板的前处理是在重铬酸混液里进行的。蒸镀时的基片用掩膜的夹具固定、用触及基板内面的石墨加热器加热。加热温度用插在基板和石墨加热器之间的热电偶来测量。

主要使用有机酸锡中容易制备的乙酸伯锡(Tin acetate)  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  做原料,而乙二酸仲锡(Tin oxalate)  $\text{Sn}(\text{COO})_2$ , 氧化锡  $\text{SnO}_2$  (99.99%) 以及  $\text{Sn}$  (99.999%) 做为参考的配料。 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  是把氧化仲锡溶于冰醋酸,再加入乙醇和适量的水使之沉淀后得到的一种白色结晶的粉末,它在空气中容易吸附,在室温下(R.T.)能溶于水。在实验中,在 $50^{\circ}\text{C}$ 温度下做了充分的干燥处理之后才使用。在氯化仲锡的水溶液中加入乙二酸,使得定量沉淀之后得到的白色结晶粉末就是 $\text{Sn}(\text{COO})_2$ ,它的性质稳定,可以长期贮藏。 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  在纤维染色时, $\text{Sn}(\text{COO})_2$  可以做为石灰氢化时的催化剂使用,而在电气方面,还没什么用途。

膜层的烧结是在 $100 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 的范围内,每隔 $100^{\circ}\text{C}$ 就进行1小时以内的定时处理。对烧结完了的薄膜结构,使用X射线衍射计进行了分析,并用东芝Spectro 20测定了透过率。薄膜厚度的测定是用多次反射干涉仪(沟尻光学工业所制)。另外,在测定电的特性用的试样方面,用镀银结构(大宫化成工业所制No.7713)构成电极,薄膜面积达到了1平方厘米。

### 3. 实验结果及探讨

#### 3.1 镀膜的一般特性

$\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  镀膜的膜层比较薄, 根据膜厚的不同而呈现出各种干涉颜色。薄膜厚度变厚, 就呈现出淡黄色。相反,  $\text{Sn}(\text{COO})_2$  镀膜, 即使是膜层比较薄, 也看不出明显的干涉颜色, 而在膜层较厚的时候则呈现出深黄色。这些薄膜和基板的结合程度以及表面平滑度是比较好的, 但是, 导电性能与透明度较差。为了便于比较, 而使在同一条件下制成的  $\text{SnO}_2$  镀膜不带导电性。这样一来, 用改变基板温度和输入氧气分压的方法来提高镀膜特性的实验, 就收不到特别显著的效果。可是, 做了氧气输入的 Sn 镀膜随着氧气分压的变化, 薄膜色彩的变化则显著起来了。在真空度大约为  $5 \times 10^{-3}$  托的状态下得到的薄膜呈现黑色。对于上述各种镀膜做烧结实验的时候, 可以除去  $\text{SnO}_2$  所生成的薄膜而得到透明导电薄膜。

表 1  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  镀膜在空气中温度与颜色变化关系。(T<sub>s</sub> = 50°C、40 分 T<sub>b</sub> 从不烧结至 700°C)

烧 结 温 度 (°C)	薄 膜 颜 色
不烧结时	黄 色
100	深绿色
200	深褐色
300	浅褐色
400	黄褐色
500	透 明
600	透 明
700	白 色

#### 3.2 镀膜的烧结效果

如果在空气中烧结  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  镀膜, 则与膜厚(d)多少无关, 而根据烧结温度(T<sub>b</sub>)及烧结时间(t<sub>d</sub>)的不同, 呈现出各种艳丽的彩色。烧结温度及烧结时间在特定范围内, 透明度及导电性能显著增大。

表 1 标示出了在真空中( $< 5 \times 10^{-3}$  托)蒸镀(T<sub>s</sub> = 50°C), 在空气中烧结(T<sub>b</sub> = 0 — 700°C, t<sub>d</sub> = 40分)的薄膜的烧结温度和色彩。根据这个表的数据, 烧结温度在 400°C 以下时, 呈现彩色, 而在 500—600°C 范围内成为透明。这些蒸镀烧结薄膜的表面电阻率在烧结温度为 300°C 以下或者 700°C 时非常高, 但在 400°C 左右时电阻率就急剧下降, 在保持透明度范围内表现出低的电阻率。 $\text{Sn}(\text{COO})_2$  所生成的薄膜的情况, 大致也是这样的倾向。图 1 表示了有机酸锡所生成的透明薄膜(T<sub>s</sub> = 50°C, d ≈ 2.300~2.500埃, t<sub>d</sub> = 30分钟)的表面电阻率和烧结温度的关系。同 1 图里的(1)、(2)各自代表着  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 、 $\text{Sn}(\text{COO})_2$ , 其表面电阻率表示了在同一基片上制成的试样的 5 个平均值(以下照此为标准)。从图上就可以看清楚, (1)、(2)都表示出了烧结温度在 600°C 时得到的薄膜表面电阻率为最小值。(2)之所以停留在比(1)大约差一个数量级的高阻抗值上, 可能同原料的热分解机构的差异有关, 其详细原因, 目前正在探讨。用温差计进行的原料热分解温度的简单测量, 可以确定  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  的热分解温度约 200°C, 比较低一些, 而  $\text{Sn}(\text{COO})_2$  的热分解温度则较高, 大约 400°C 左右。

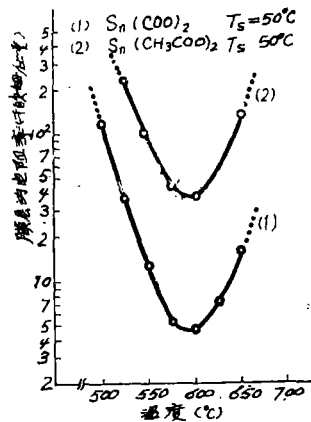


图 1 在空气中加热 30 分钟(随烧温度而变)的  $\text{Sn}(\text{COO})_2$  镀膜和  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  镀膜所产生的膜层的电阻率

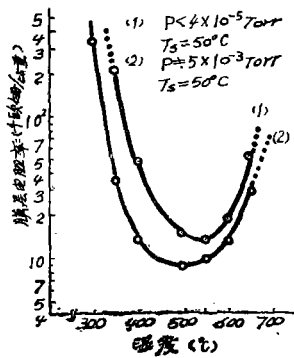


图2 在空气中加热30分钟随烧结温度而变的Sn镀膜所产生的膜层的电阻率

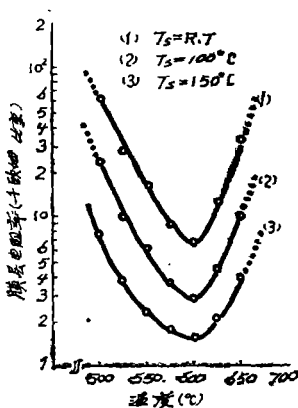


图3 在空气中加热30分钟随烧结温度而变的 Sn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> 镀膜所产生的膜层的电阻率

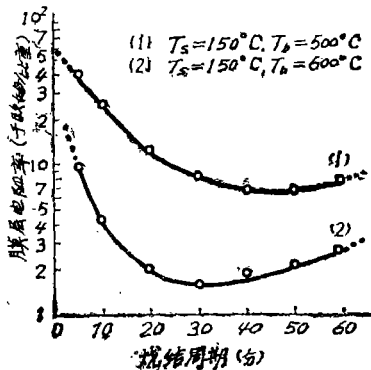


图4 在空气中加热Sn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>镀膜(随烧结时间而变)所产生的膜层电阻率

为了便于同图1比较,在图2表示了川俣巢一等制成的Sn蒸镀烧结薄膜的表面电阻率和烧结温度的关系。根据图2的数据,表面电阻率的最小值是在烧结温度为500—550°C的范围内。和图1相比较温度稍

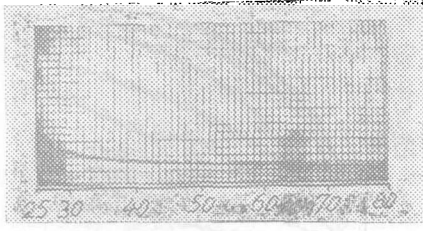
微微低一些。而且表面电阻率的最小值比图1的(2)低一些,但同图1的(1)比起来具有高出2倍的值。这些结果表明,Sn要比Sn(COO)<sub>2</sub>更容易制成透明导电薄膜,同Sn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>生成的薄膜相比,不会产生低阻抗。关于薄膜的透过率(后面叙述),有机酸锡所生成的薄膜比Sn所生成的薄膜要好些。鉴于以上的情形,以下的实验主要探讨Sn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>所生成的薄膜。

首先、为了弄清Sn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>蒸镀时的基板温度给薄膜表面电阻率带来的影响,准备好只有基板温度不同,其他都在和图(1)所用试样相同的条件下制成的试样,测定了表面电阻率和烧结温度的关系。其结果如图3所示。比较一下图3的(1)(Ts = R.T.), (2)(Ts = 100°C), (3)(Ts = 150°C)以及图1的(1)(Ts = 50°C)的结果,就可以清楚,表面电阻率随着基板温度的升高而逐渐减小。但是,基板温度为200°C时制成的5个蒸镀烧结薄膜的平均表面电阻率约为4.3千欧姆/面积,同基板温度为50°C的薄膜所得的结果差不多。也就是说得到低阻抗值的最佳基板温度是在150°C左右。

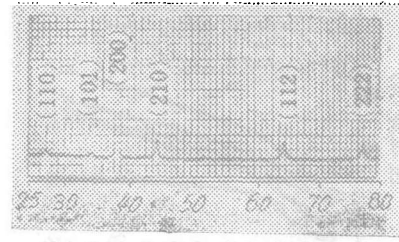
为了进一步了解烧结时间在一定的烧结温度下给表面电阻率带来的影响,把除了基板温度为150°C外,其它同图1(1)所用试样相同的条件下制成的镀膜,保持在一定的烧结温度上,测定随着时间的长短而变化的表面电阻率,得到了图4表示的结果。图4的(1)(T<sub>b</sub> = 500°C), (2)(T<sub>b</sub> = 600°C)的表面电阻率都是随着时间而减小,经过最小值之后再上升,曲线(1)的变化缓慢,(2)的变化剧烈。它们都在表面电阻率最小值的烧结时间附近的较宽的范围内得到透明薄膜,这大概是由于氧气扩散速度的差异引起的。由于这个实验是以求出得到透明且低阻抗值的最佳烧结时间为目的,所以把最短测定时间规定为5分钟。实际上氧化现象要在更短的时间内急剧地进行。这一点同Sn镀膜的氧化现象一起正在探讨之中。

### 3.3 烧结薄膜的结构

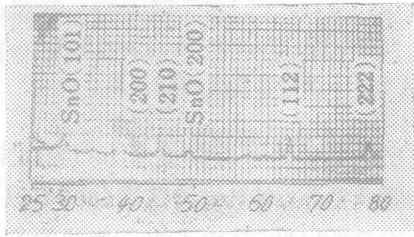
前一章已经讲过  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  镀膜在比较低的温度下烧结会呈现彩色, 在



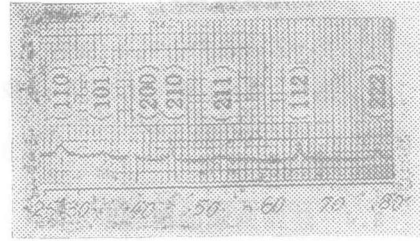
(a)  $T_b = \text{没有烧结}$



(b)  $T_b = 400^\circ\text{C}$



(c)  $T_b = 600^\circ\text{C}$



(d)  $T_b = 700^\circ\text{C}$

图5 沉积在 $150^\circ\text{C}$ 基板上的薄膜, 烧结与未烧结的X线衍射图

膜的结构。图5表示出了由 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 所得到的薄膜的X线衍射图形。图5(a)是 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 的未烧结膜( $P \approx 4 \times 10^{-5}$  托、 $T_s = 150^\circ\text{C}$ )的X线衍射图形。在图上看不到任何衍射线, 表示薄膜处于非晶形状态,  $\text{Sn}$ 在真空中或者氧化分压中得到的未烧结膜也是这种情形。但是这些烧结薄膜, 如在图5中的(b) ( $T_s = 150^\circ\text{C}$   $T_b = 400^\circ\text{C}$ ), (c) ( $T_s = 150^\circ\text{C}$   $T_b = 600^\circ\text{C}$  以及(d) ( $T_s = 150^\circ\text{C}$ ,  $T_b = 700^\circ\text{C}$ )所见到的那样都可以观察到显著的衍射线, 表示着这些烧结薄膜进行结晶化的情形。关于(d), 首先从观测数据上来求出表面间隔和相对强度比, 按照衍射线的相对强度的顺序列举出与美国材料试验学会文献上的数据相比较而探讨出的结果则是 $\text{SnO}_2(200)$ ,  $\text{SnO}_2(210)$ ,  $\text{SnO}_2(112)$ ,  $\text{SnO}(101)$ ,  $\text{SnO}_2(222)$ ,  $\text{SnO}(200)$ , 这些薄膜是由 $\text{SnO}_2$ 以及 $\text{SnO}$ 两种成份组成的复合薄膜。因为烧结温度低的原因, 这种薄膜在大多数场合呈现出黄褐色、表面电阻率高且透过率不好。图5(c)以

$500\text{--}600^\circ\text{C}$ 的范围内烧结就可以得到透明导电薄膜。

在这一章节里, 以这些透明导电薄膜为中心来测定它的X线衍射图形, 探讨一下薄

及(d)的观测数据和 $\text{SnO}_2$ 的文献数据都表示在表2。从这个表上看, 在(c)与(d)上所观察到的衍射线和文献数据有着轻微的差异, 认为这是因为都属于 $\text{SnO}_2$ (没有 $\text{SnO}$ ), 而 $\text{SnO}_2$ 是薄膜的构成物质。如果从文献数据为基准来比较一下(c)和(d), 那么(d)比(c)更接近于文献数据, 而且(c)是透明导电薄膜, (d)是不透明高电阻率薄膜。所以, 可以认为(c)是所谓化学量论组成的不吻合所引起的导电性固有缺陷形的 $\text{SnO}_2$ (非化学计量)、(d)近似于标准粉末试料的锡石形的 $\text{SnO}_2$ (化学计量)。但是, (c)的固有缺陷到底是因为氧化空孔引起的呢, 还是因为格子之间的金属而产生的目前还不清楚。

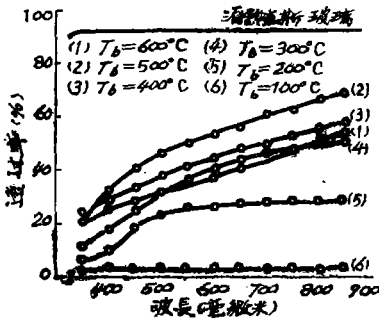
$\text{SnO}_2$ 结晶与 $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CrO}_2$ 等等都具有金红石形结构, 金红石形属于正方晶系。正方晶系成立如下关系:

$$d = \frac{a}{\{h^2 + k^2 + (a/c)^2 \cdot l^2\}^{1/2}} \quad (1)$$

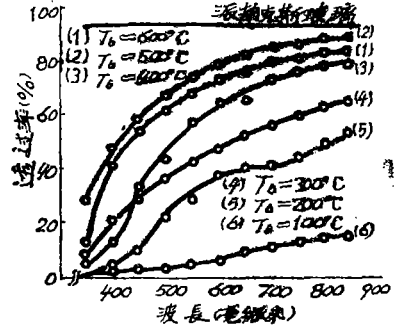
$d$ 代表格子之间的间隔,  $a$ 和 $c$ 是格子常数,  $(h, k, l)$ 是面指数。用这个公式根据表2

的  $c$  来求  $a$  和  $a/c$  的话, 分别得出  $a = 4.72$  埃,  $a/c = 1.47$ 。因此也就可以得出  $c = 3.21$  埃。这些结果同以前发表的文章以及文献数据

较为一致。根据以上的原理, 蒸镀烧结  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  制成的透明导电薄膜, 可以认为是属于正方晶系的  $\text{SnO}_2$ 。



(a)  $P < 4 \times 10^{-5}$  托,  $T_s = 150^\circ\text{C}$



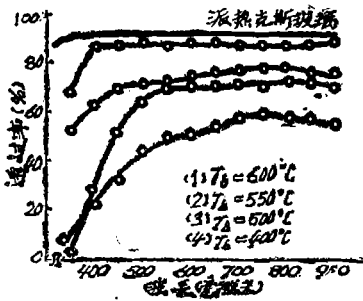
(b)  $P \approx 5 \times 10^{-3}$  托,  $T_s = 150^\circ\text{C}$

图6 随波长而变化加热Sn薄膜得到的膜的透射, 不同烧结温度的Sn薄膜透过率与波长的关系。

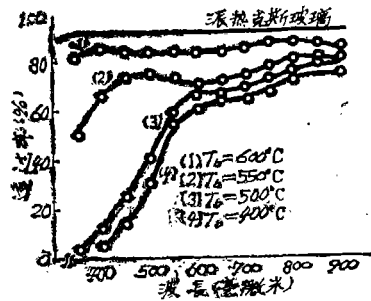
### 3.4 烧结薄膜的透过率

图6所示, 是为了比较和探讨有机酸锡蒸镀烧结薄膜的光谱特性而把薄膜厚度做成一致的Sn锡蒸镀烧结膜的光谱特性。图6(a) ( $P < 5 \times 10^{-5}$  托) 和(b) ( $P \approx 5 \times 10^{-3}$  托) 都随着烧结温度的升高而提高透过率, 温度达到500°C时透过率为最高, 但是, 温度高于600°C以上时, 透过率反而降低了。从X射线的分析结果来看, 低温烧结薄膜的透

率之所以低, 是因为Sn或者 $\text{SnO}$ 等尚未氧化的物质的关系。高温烧结薄膜(600°C以上)的透过率之所以低, 是由于锡石形状的 $\text{SnO}_2$ 引起的。同一烧结温度下的(a)与(b)的透过率相比, (b)比(a)的透过率要好些。因为(b)是烧结含氧量多的低真空镀膜(黑色)的薄膜, 而镀膜中的氧有助于增强烧结薄膜的透明度。(b)的最佳温度烧结薄膜, 在波长为600毫微米以上的范围内透过率可达80%、然而在600毫微米以下时透过率就不那么好了。



(a)  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2, T_s = 150^\circ\text{C}$



(b)  $\text{Sn}(\text{COO})_2, T_s = 150^\circ\text{C}$

图7 不同烧结温度的 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 薄膜透过率与波长的关系

图7表示了有机酸锡蒸镀烧结薄膜的光谱特性。从图7上可以看出, (a)  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  和(b)  $\text{Sn}(\text{COO})_2$  的低温烧结薄膜和高温烧结薄膜都有很明显的差异。即是

烧结温度为400—450°C时得到的薄膜, 在波长为350—500毫微米范围内的透过率是低的, 但随着烧结温度的上升, 透过率也在增大。烧结温度为600°C时, (a)的透过率达

到85%，(b)的透过率达到80%。从以上的结果来看，有机酸锡蒸镀烧结薄膜的透过率要比金属锡蒸镀烧结薄膜的透过率高， $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 薄膜要比 $\text{Sn}(\text{COO})_2$ 薄膜好些。进一步探讨 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 薄膜在蒸镀时的基板温度和透过率的关系，就得出了如图8所示的结果。透过率是随着基板温度的上升而增大，基板温度达到150℃时，透过率为最大，高于200℃以上则开始下降。以上结果说明，基板温度为150℃、烧结温度为600℃时制成的 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 薄膜的透过率为最好。这和前一章(3.2)所讲到的得到表面电阻率最小值的条件是一致的。

### 3.5. 烧结薄膜的导电性质

#### 3.5.1 老化特征

$\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 蒸镀烧结薄膜制成之后不久，它的表面电阻率在室温放置状态下，有着随时间长短而变化的倾向。为使表面电阻率稳定下来，在100℃温度下进行了120个小时的老化处理。试样是变化了 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 的分量及蒸镀时间而制成的不同厚度的蒸镀烧结薄膜( $T_s = 150^\circ\text{C}$ 、 $T_b = 600^\circ\text{C}$ 以下以此为准)。处理结果如图9所示。由图9可以看出，各个试样的表面电阻率都是在初期急剧降低，然而，低阻抗薄膜的电阻变化约10小时之后，就成了相对稳定的值，但是和高阻抗薄膜一样，达到电阻值变化的饱和还需要很长的时间。

因老化处理而产生的电阻值变化，可能是由于内部应变的松弛现象和氧的扩散现象所致。对于松弛现象，可以根据基板和薄膜的热膨胀系数之差消除机械的应变，排出薄膜附着的气体和降低构成薄膜的原子之间的电位差。根据这些方法来减少薄膜的电阻值。但是与此不同，由于氧向蒸镀烧结薄膜的化学计量的组成的不吻合而引起的固有缺陷方面的扩散补充，薄膜的电阻值反而要增大。从图9上看，电阻值在老化处理初期急剧地

减小，主要与松弛现象有关系。可以断定，随着时间的长短而接近于稳定值，主要是由于松弛现象和氧的扩散补充相互关连的结果。

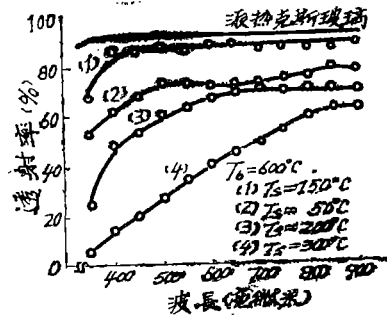


图8 不同基板温度的 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 薄膜透过率与波长的关系。

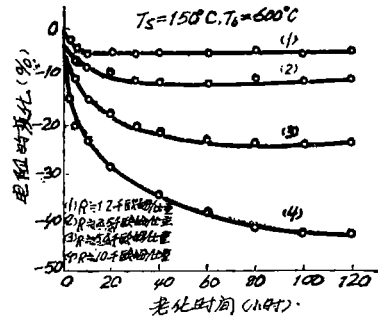


图9  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 烧结薄膜在100℃温度下老化时间与电阻变化的关系

表2 对烧结 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 薄膜产生的氧化锡膜所观察到的衍射数据和理论值的比较，

密勒标志	观察值						理论值	
	$C(T_s = 600^\circ\text{C})$		$d(T_b = 700^\circ\text{C})$					
	$k$	$l$	$d(\text{Å})$	$I/I_0$				
1	1	0	3.398	5	3.348	9	3.351	100
1	0	1	2.673	4	—	—	2.644	81
2	0	0	2.384	39	2.360	60	2.369	24
1	1	1	—	—	—	—	2.309	5
2	1	0	2.061	13	2.047	16	2.120	2
2	1	1	—	—	1.763	4	1.765	63
2	2	0	—	—	—	—	1.675	63
3	1	0	—	—	—	—	1.498	13
1	1	2	1.454	11	1.448	13	1.439	17
3	0	1	—	—	—	—	1.415	15
2	0	2	—	—	—	—	1.322	7
2	2	2	1.236	9	1.232	6	1.215	11

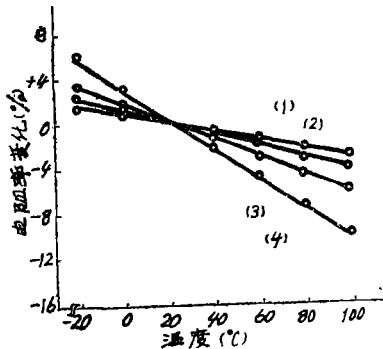


图10 烧结  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  薄膜( $T_s=150^\circ\text{C}$ ,  $T_b=600^\circ\text{C}$ )所得到的透明导电膜的温度特性关系,

### 3.5.2 载流子浓度

制备测定霍尔系数用的蒸镀烧结薄膜,对做了老化处理的试样(20×50×1毫米),在室温(通常温度)下测定霍尔电压( $V_H$ )。用下列方程从得到的霍尔电压值求出霍尔系数( $R_H$ )和载流子浓度( $n$ )以及霍尔迁移率( $\mu_H$ )。

$$R_H = \frac{V_H \cdot d}{I \cdot B} \quad (\text{米}^3/\text{库仑}) \quad (2)$$

$$n = \frac{r}{R_H} \cdot \frac{1}{e} \quad (\text{厘米}^{-3}) \quad (3)$$

$$\mu_H = \sigma \cdot R_H \quad (\text{厘米}^2/\text{伏} \cdot \text{秒}) \quad (4)$$

在这里 $d$ 是膜厚(米)、 $I$ 是电流(安倍)、 $B$ 是磁场(韦伯/米<sup>2</sup>)、 $e$ 是电子的电荷(库伦)。 $r$ 是由散射装置确定的系数,对于格子散射是 $3\pi/8$ ,对于离子化作用的杂质散射是 $315\pi/512$ 。但在计算上取 $r=1$ 。表3表示了一个例子的结果。

样品	膜的厚度 $d$ (埃)	电导率 $\sigma$ (厘米 <sup>-1</sup> 米 <sup>-1</sup> )	载流子浓度 $n$ (厘米 <sup>-3</sup> )	霍尔系数 $R_H$ (厘米 <sup>3</sup> /库仑)	霍尔迁移率 $\mu_H$ (厘米 <sup>2</sup> /伏秒)
$\text{SnO}_2$	2.400	34.48	$3.25 \times 10^9$	-0.19	6.63

表3 烧结 $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 薄膜所产生的电阻率,载流子密度,霍尔系数,霍尔迁移率

### 3.5.3 温度特性

图10为做了老化处理试样的电阻值与温度特性。图10的受温度影响的电阻率变化像

低阻抗薄膜那样小,像高阻抗薄膜那样大的特征和别的薄膜是一样的。若从图10中求出电阻温度系数( $\alpha$ :ppm/°C),则图中的(1)~(4)分别为480、518、779、1300,也就是说,  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  蒸镀烧结薄膜电阻温度系数是杂质的非添加,可以得到满足MIL-R-1050F特性D以及G的透明薄膜。

### 3.5.4 老化变化

因为在室温放置状态测定表面电阻率的老化变化,显著地受到温度和湿度的影响,所以把试样密封在玻璃瓶内来测定老化变化。

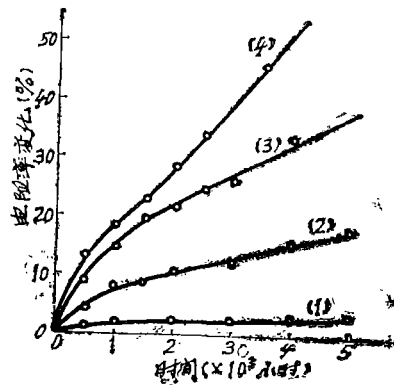


图11 在室温下  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  烧结导电膜的电阻变化与时间的关系

密封瓶内没有特别地进行排气或者恒湿的处理。测定结果如图11所示。在前章老化的特性一节里(参照3.5.1)讲过,表面阻抗的电阻率变化在老化初期是急剧的,认为这是机械的内部应变松弛现象的影响。从图上就可以看出,在这次验中、各个试样的表面电阻率都是随着时间的增加而增加。从测定的结果来看,可以认为室温状态下的老化变化主要是由氧原子的扩散现象引起的。

## 4 结 语

归纳以上论述,要点如下:

1) 在空气中烧结有机酸锡真空镀的膜,制成透明导电薄膜。

2) 有机酸锡蒸镀烧结薄膜主要特征是  
(下转第48页)

## 参考文献

1. W. N. Hess. J. Geophys. Res. 68, 667, 1963.
  2. Y. Uchida, R. Kato, and E. Matsui, J. Quant Spectry. Radiative Transfer 2, 589 (1962)
  3. A. Duncanson and R. W. Stevenson, Proc. Phys. Soc. 4. E. Mollwo, Nachr. Gesell. Wiss. Göttingen 6, 79 (1934) (London) 72.
  5. D. Messner and A. Smakula, Phys. Rev. 120, 1162 (1960)
  6. P. W. Levy, Phys. Rev. 123, 1226 (1961)
  7. C. M. Nelson and R. A. Weeks, J. Appl. Phys. 32, 883 (1961)
  8. W. C. Johnson, Jr., Rev. Sci. Instr. 35, 1375 (1964)
  9. I. H. Malitson and M. J. Dodge, J. Opt. Soc. Am. 55, 1583 (1965)
  10. I. H. Malitson and M. J. Dodge, Natl. Bur. Std. Rept. No. (8943) (August 1965)
- 译自“Applied Optics” 1966, Vol. 5, P937,  
(王宝书、王哲译 琦玮校)

(上接第62页)

受烧结温度的影响。在 400℃ 以下烧结的薄膜产生色彩，在 500—600℃ 范围内烧结的薄膜成为透明。烧结温度在 600℃ 时得到的薄膜表面电阻率为最小，透过率为最大。

3) 实验性地探讨了烧结温度为 600℃ 时  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  蒸镀烧结薄膜的特性和基板及烧结时间的关系，得出基板温度为 150℃ 烧结时间为 30 分钟时制成的薄膜，其透过率可达 80% 以上，表面电阻率的温度系数满足 MIL-R-10, 509F 特性 D 以及 G 的试验结果。

4) 测定  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  的蒸镀薄膜的霍尔系数。求出了载流子浓度和迁移率，得出比较准确的数值

5)  $\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  透明薄膜的构成物质是  $\text{SnO}_2$  (氧化锡) 格子常数  $a$  以及  $c$  分别为  $a = 4.72$  埃、 $c = 3.21$  埃，这和文献上的数值大体一致。

译自《应用物理》 Vol. 44 No. 7.

P742 (44)

〔马元龙译 王书岩校〕