

酸化錫 金屬皮膜抵抗器에 관한 研究

(A Study on the Deposition of Tin Oxide Resistance Films through the Chemical Vapour Reaction Process)

* 鄭 萬 永
(Chung, Man Yung)

** 朴 桂 永
(Park, Ke Young)

要 約

蒸氣反應法에 의한 酸化錫金屬皮膜抵抗器(Tin Oxide Film Resistor)의 製法을 研究하고 이方法을 利用하여 製造한 抵抗皮膜의 電氣的 性質을 觀察하였다. 이때 棒狀의 파이렉스 유리(Pyrex glass rod) 表面에 酸化錫皮膜을 입혔다.

이 方法은 均質한 抵抗皮膜을 쉽게 얻을 수 있고, 眞空系를 必要하지 않으므로 大量生産에 適合한 製法の 基礎가 된다고 할수있다. 本製法에 依하여 만든 製品中, 表面抵抗 25 ohm/sq에서 抵抗溫度係數(T.C.R) 12 ppm을 얻었다.

ABSTRACT

This study has been endeavored to deposit resistance films of tin oxide on the cylindrical Pyrex glass rods.

In this report, at first an outline of the film formation is described and later some electrical properties of the resistance films manufactured through new method is discussed in detail.

Because the new method which is called, "Chemical Vapour Reaction Process", is not only easy to get stable resistance films, but also doesn't need vacuum system, it seems to be a promising fundamental process to go into flow system mass production.

Electrical properties of resistance films made by the new method are similar to or surpassing those by previous method (for example spray method). The top data thus obtained shows that surface resistivity is 25 ohm/sq. with 12 ppm in temperature coefficient of resistor.

1. 序 論

最近 電子工業이 急速히 發展함에 따라, 電氣의 特性이 훨씬 嚴格하고 安定하며 信賴度가 높은 電子機器用 部分品이 要求되고 있다. 即 能動素子에서, 點接觸, 合金型트랜지스터로 부터 플랜너(Planar)트랜지스터로 發展됨에 따라서 受動素子에서도 從來의 크기와 電氣의 特性이 改

良된 새로운 材料의 開發이 切實히 要求되고 있다. 더욱이 1인치 半徑 程度의 실리콘웨이퍼(Silicon wafer)上에 能動 및 受動素子를 包含한 數百個의 電子回路를 構成할수 있는 集積回路(Integrated circuit)의 出現은 從來의 單體回路와는 다른 새로운 技術革新을 가져오고 있다.

여기서 單體素子로서의 信賴度와 電氣의 特性의 改善은 集積回路가 되어도 여기에 따라서 分類되지 않으면 안될 混合 IC方式을 만들었으며 또 한편에서는 單體素子(discrete element)로서 그대로의 特徵을 發揮할것이다. 이러한 單體素子の 抵抗器에 있어서도 炭素皮膜抵抗器, 콤포

* 韓國科學技術研究所
Korea Institute of Science & Technology

** 原子力研究所電子工學研究室
Electronics Division, Atomic Energy Research Institute

接受日字. 1967年 3月 10日

깃선炭素抵抗器에서 金屬皮膜抵抗器, 메탈글레이즈抵抗器(Metal glaze Resistor), 서멧트(Cermet)抵抗器로 發展하고 있음은 周知의 事實이다.⁽¹⁾

炭素皮膜抵抗器나 콤포짓선형抵抗器의 경우에는 그 生産價格이 低廉한 反面, 抵抗溫度係數(Temperature Coefficient of Resistor)가 크고 抵抗値의 經年變化가 큰것이 缺點이며, Ni-Cr系 金屬薄膜抵抗器는 電氣의 特性이 安定하기는 하나 眞空蒸着法을 利用하기 때문에 製造費가 높게 된다.

한편 酸化錫(Tin Oxide; SnO₂) 金屬皮膜抵抗器는 그 生産價格이 一般 炭素皮膜抵抗器와 비슷할 뿐만 아니라, 그 電氣의 安定度 및 耐熱性에 있어서는 卷線抵抗器(Wire Wound Resistor)와 비슷한 長點이 있으므로 近來에 外國에서는 많이 使用되고 있다.⁽²⁾⁽³⁾

酸化錫金屬皮膜은 1942年 美國에서 航空機, 自動車의 保護글라스(glass)에 이 膜을 透明하게 附着시키고 電流를 通하여 유리表面의 氷結을 防止하는 데 使用하였고, 第2次大戰後에 이 皮膜은 電氣의 特性이 安定하고 耐熱性이 좋다는 事實이 認定되어 이 酸化錫皮膜抵抗器가 生産되기 始作하였다.

酸化錫皮膜抵抗器는 固定抵抗器뿐만 아니라 可變抵抗器로도 生産되고 있는데 이 可變抵抗器는 抵抗素子皮膜이 堅固하므로 回轉壽命이 길 뿐만 아니라 接觸雜音이 炭素皮膜에 比하여 훨씬 적다.⁽⁴⁾ 또 한편 이 酸化錫皮膜은 集積回路의 抵抗素子로서도 使用되고 있으므로 電子部品 材料의 重要한 하나라고 할 수 있다.⁽⁵⁾

이 酸化錫皮膜의 成形方法은 여러가지가 있으나⁽⁶⁾ 그 代表的인 方法은 吹付法이다. 이 方法은 鹽化第2錫(SnCl₄)과 鹽化안티몬(SbCl₃)의 混合水溶液을 미리 40°C~800°C로 加熱된 抵抗基體에 스프레이·건(Spray gun)으로 吹付한다. 이 方法은 매우 簡單한것이 特徵이나 吹付時 基體의 溫度가 降下하므로 正確한 溫度로 유지하기가 困難하고 均一한 皮膜을 얻기가 힘들다. 한편 Droplet Flash Vapour Deposition Process⁽⁷⁾가 開發되어 吹付法의 短點을 除去하

였으나 眞空裝置를 必要로 하게 된다.

本 研究에서는 上記한 吹付法과 A.E. Feuersanger氏가 考案한 蒸氣反應法⁽⁸⁾을 折衷한 새로운 製法으로 酸化錫皮膜을 얻었다. 이 裝置는 眞空도가 없이 캐리어개스(Carrier gas)를 利用하고 있으므로 Flow System 量産에 應用할 수 있다고 思慮된다.

2. 酸化錫皮膜의 電氣的 性質

金屬皮膜抵抗器에 使用되는 酸化錫皮膜은 無色透明하고 結晶構造는 그림1과 같다.⁽¹²⁾⁽¹³⁾ 여기서 小球은 Sn原子, 大球은 酸素原子를 表示한다.

그림1에서 알 수 있는바와 같이 Sn原子는 體心立方의 構造를 가지고 있고, 酸素原子는 0 및 1/2平面上에 存在한다. 이 皮膜은 普通狀態에서 Sn原子의 還元으로 因하여 그림2와 같이 酸素原子數가 不足한 Nonstoichiometry를 形成하여

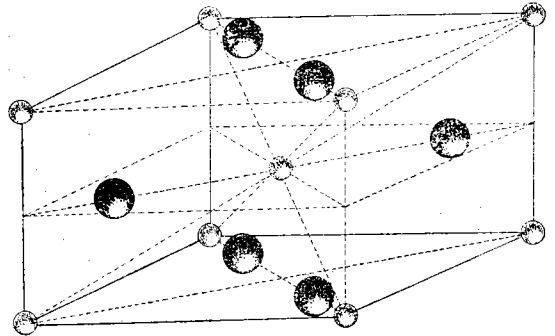


그림1. 酸化錫(SnO₂)皮膜의 結晶構造

Lattice Constant $\begin{cases} a=4.72\text{Å} \\ c=3.16\text{Å} \end{cases}$

Fig. 1. Crystal structure of tin-oxide

n型 半導體가 된다⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾ 即 酸素原子의 數가 不足함에 따라 皮膜이 電氣적으로 中性이 되기 爲해서는 Sn²⁺ 이온(Ion)이 發生하게 되고, 여기서의 두개의 餘分電子(Excess electron)가 캐리어(Carrier)로 되어 酸化錫皮膜은 半導體의 性質을 갖게 된다.

한편 이 皮膜에 不純物(Impurity)이 添加되면 電氣的 性質이 變化할것이 豫想되는데, 原子半徑이 Sn과 비슷한 In(Indium) 또는 Sb(Antimony)가 添加될때는 Sn原子를 置換하게 된다. 그림3에 SnO₂皮膜中에서 Sb原子가 Sn原子를

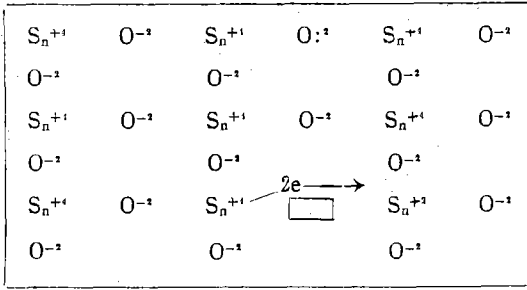


그림2. SnO₂皮膜의 電氣傳導性(圖表는 酸表不足)
Fig. 2. Electric conduction model of tin-oxide film

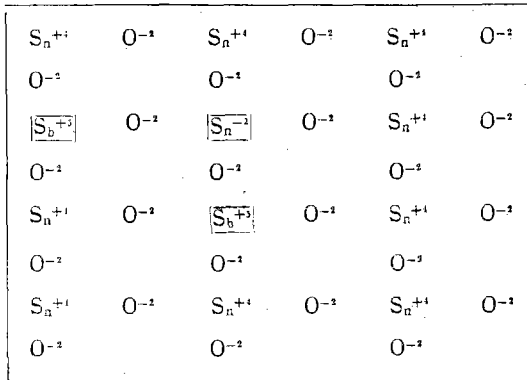


그림3. SnO₂皮膜中에서 Sb原子가 Sn原子를 置換한 模型
Fig. 3. Substitution model of Sb for Sn in tin-oxide film

置換한 模型을 圖示하였다.

以上을 에너지 帶理論으로 說明하면 SnO₂는 禁止帶에너지·갭(Forbidden Energy Gap)이 4eV이다.⁽⁹⁾ 그런데 이皮膜이 Nonstoichiometry를 形成할때 傳導帶(Conduction Band) 바로 아래 도너레벨(Donor Level)를 갖게 되므로 常溫에서 電導성을 나타낸다. 이때 電導度σ는 다음 式으로 表示할수있다.

$$\sigma = a \exp(-\epsilon/kT)$$

여기서 a는 常數, ε는 活性化에너지로서 約 0.01~0.04eV이다.⁽⁹⁾ 그러므로 電導度的 溫度에 對한 變化率은

$$\frac{\partial \sigma}{\partial T} = \frac{\epsilon}{k} \cdot \frac{a}{T^2} \exp(-\epsilon/kT)$$

의 式으로 表示된다. 따라서 溫度가 增加하면 電導度도 增加하게 되는데, 一定한 溫度範圍內에서 이 電導度的 變化를 적게 하려면 活性化에너지를 적게 하여야 한다.

이 酸化錫皮膜을 抵抗素體로서 使用할 때에는

普通 인듐(In) 또는 안치몬(Sb) 등을 添加시킨다. 一般的으로 안치몬을 微量 添加하면 前述한바와 같이 Sb原子가 Sn原子를 置換하여서 도너準位를 形成하므로 電導度가 增加하게 되고, 反對로 微量의 인듐을 添加하면 In原子가 Sn原子를 置換하여 액셉터(Acceptor) 準位를 形成하므로 補償效果(Compensation effect)에 依하여 實効캐리어 數가 減少하고, 따라서 電導度가 떨어진다.

한편 R. A. Aitchison氏의 測定結果에 依하면 Sb의 添加量에 따라 電導度가 變化하는데, 添加量 約 6%까지는 電導度가 增加하고 그 以上에서는 減少한다 안치몬含有量 6% 以上에서는 SnO₂의 半導體現象이 사라진다고 볼수 있다.

周圍溫度의 變化에 依한 電導度的 變化도 亦時 不純物의 影響을 받게 되는데, Sb添加量에 依한 抵抗溫度係數(T. C. R)의 變化는, 添加하지 않았을때에 負이다, 微量 添加하면 正의 值로 되었다가 5.6%附近에서 零(Zero)에 가깝고, 그 以上이 되면 甚하게 負值로 된다.⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

金屬皮膜抵抗器에서 抵抗溫度係數는 抵抗值가 增加할수록 負의 值로 增加하는 性質이 있다.⁽¹⁸⁾ 이 酸化錫皮膜에서도 이 現象이 나타나는데 表面 抵抗 數 10Ω을 中心으로 그 以下에서는 正, 그

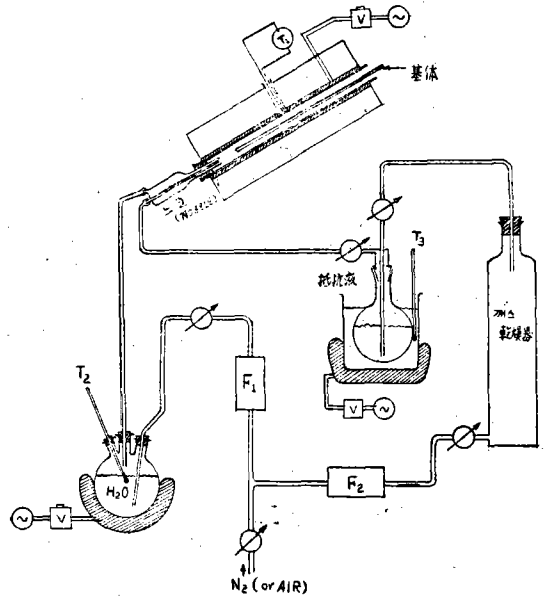


그림4 抵抗皮膜反應裝置概略圖
Fig. 4. Schematic diagram of resistance film deposition apparatus.

以上에서는 負의 溫度係數를 갖는다.

이 酸化錫皮膜의 電氣의 性質은 抵抗液의 組成皮膜의 두께(厚)에 따라 다를 뿐만 아니라 反應

溫度, 안닐-링 (Annealing) 處理에 따라서 相當히 變化한다.

3. 實驗裝置 및 抵抗皮膜反應

抵抗皮膜反應裝置의 概略은 그림4와 같다. 이 裝置는 皮膜反應部와 蒸氣發生部 및 캐리어개스部의 3部分으로 區分된다. 다음 段階에 依하여 抵抗皮膜이 形成된다.

(1) 基體準備: 抵抗皮膜을 입힐 유리棒 基體의 表面을 淸淨處理한다. 淸淨處理하는 方法은 여러가지가 있으나⁽¹⁸⁾ 本實驗에서는 基體를 비누물로 充分히 씻은후 이소프로필알콜 (Isopropyl Alcohol) 로서 Sohlet 抽出器를 利用하여 蒸氣浴處理를 하였다.

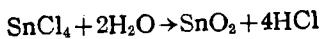
(2) 抵抗液: 抵抗液으로서는 無水鹽化錫液體를 使用하였다.

(3) 캐리어개스 (Carrier gas)는 질소 (N₂)를 使用하였다. N₂는 乾燥器에서 水分이 除去된後 抵抗液탱크로 들어간다. 여기서 질소개스는 鹽化錫蒸氣를 同伴하여 노즐 (Nozzle)로 보내진다. 이때 抵抗液의 溫度는 95°C程度로 유지하였다.

(4) 한편은 캐리어 개스가 水蒸氣를 同伴하여 反應爐內의 노즐로 보내져서 노즐에서는 SnCl₄와 H₂O가 混合되어 分散된다.

(5) 反應爐는 反應時 發生하는 鹽酸개스 때문에 石英チュー브 (Quartz tube)를 使用하였다.

(6) 反應爐內에 미리 加熱되어있는 基體表面에서 反應이 일어나 抵抗皮膜이 생긴다. 本實驗에서는 反應溫度를 350°C~500°C까지로 하였다. 이때의 化學反應式은 다음과 같다.



(7) 여기서 생긴 鹽酸개스는 노즐 反對쪽으로 排出된다.

4. 實驗 및 그結果

本實驗에서는 上記 方法에 依한 抵抗皮膜의 製造過程에서,

(a) 안티몬 (Antimony)의 添加量에 依한 抵抗值 및 抵抗溫度係數의 變化

(b) 反應溫度에 依한 抵抗值 및 抵抗溫度係數의 變化

(c) 캐리어 개스量에 依한 抵抗值 및 抵抗溫

度係數의 變化

(d) 안닐-링 (Annealing) 效果

(e) 抵抗值에 따른 抵抗溫度係數의 分布를 觀察할 目的으로 다음과 같이 要因實驗計劃 (Factorial experinental design)을 하였다.

實驗規模는 因子數를 4, 水準數를 各各 4로 하였다.

(1) 因子A를 抵抗液의 안티몬 含有量으로 하였으며 各 水準에 對한 含有量은 다음과 같다.

水準	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
SnCl ₄ 含有量%	100	98.5	94.4	90
SbCl ₃ 含有量%	0	1.5	5.6	10

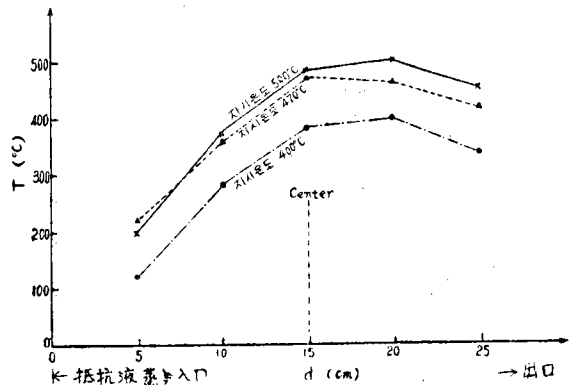


그림5. 反應爐의 溫度分布
Fig. 5. Temperature distribution in reaction furnace.

(2) 因子B를 反應溫度로 하여 各 水準을 다음과 같이 하였다.

水 準	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
溫 度 (°C)	500	450	400	350

이때 反應爐의 溫度分布는 그림5와 같으므로 그 中心部分에서 생긴 抵抗皮膜만을 測定하였다.

(3) 因子C를 캐리어 개스量으로 하여 各 水準을 다음과 같이 定하였다.

水 準	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
캐리어개스量 (CC)	400	600	800	1,000

(4) 因子D를 안닐-링 效果로 定하였다.

D₁: 400°C에서 8時間 안닐-링한다.

D₂: 안닐-링 하지않는다.

以上에서 各 要因의 主效果를 觀察하기로 하고 直交配列表 L₃₂(2¹×4⁹)⁽²⁵⁾를 使用하여 測定한 結果는 附錄(I)과 같다. 여기서 測定器로서

第1表 表面抵抗值에 對한 分散分析表

因 子	平 方 合 (S.S)	自由度(d.f)	不偏抽定值 (M.S)	F-比	判 定
A	444×10 ⁶	3	148×10 ⁶	1.9	
B	3,575×10 ⁶	3	1,192×10 ⁶	14.9	**
C	568×10 ⁶	3	189.2×10 ⁶	2.4	
D	520×10 ⁶	1	520×10 ⁶	6.5	*
e	1,676×10 ⁶	21	79.8×10 ⁶		
Total	6,783×10 ⁶	31			

*: 5%로 有意 **: 1%로 有意

第2表 抵抗溫度係數에 對한 分散分析表

Factor	平 方 合 (S.S)	自由度(df)	不偏抽定值(M.S)	F-比	判 定
A	13.1×10 ⁶	3	4.4×10 ⁶	3.01	
B	138×10 ⁶	3	46×10 ⁶	31.5	**
C	6.3×10 ⁶	3	2.1×10 ⁶	1.4	
D	1×10 ⁶	1	1×10 ⁶	0.7	
e	30.6×10 ⁶	21	1.46×10 ⁶		
Total	189×10 ⁶	31			

** : 1%로 有意

는 Leeds and Northrup 會社製品 Cot. No. 4760 Wheatstone Bridge를 使用하였고, 抵抗溫度係數測定方法⁽²⁶⁾은 常溫에서와 常溫에서 80°C 을렸을때의 抵抗值을 各各 測定하여 單位溫度로 換算하였다.

測定結果에 對하여 分散分析(Analysis of variance)⁽²⁷⁾을 한 結果(부록(Ⅱ)~부록(Ⅳ)參照)는 第1表, 및 第2表와 같다.

5. 表面抵抗에 對한 反應溫도의 影響

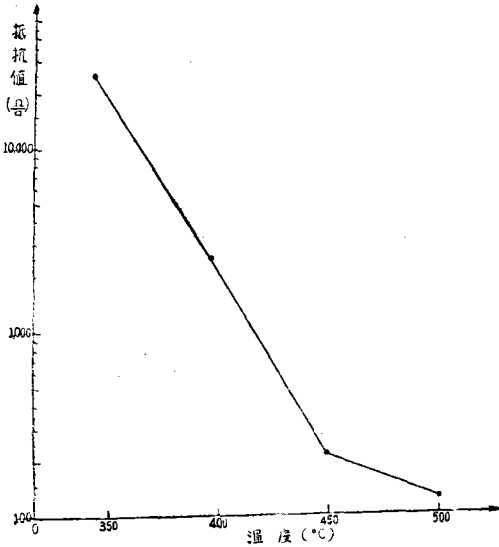
第1表의 分散分析表에 依하여 有意水準1%로

서 溫度變化에 依한 抵抗值의 差가 생긴다. 反應溫度에 對한 表面抵抗의 平均値의 變化를 圖示하면 그림6와 같다. 여기서 反應溫度 450°C未滿에서는 抵抗值가 飛선 急激한 指數函數的으로 增加하고 있다.

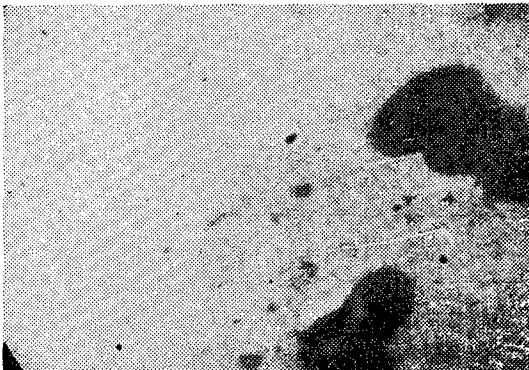
6. 表面抵抗에 對한 안닐-링 效果

第1表의 分散分析表에 依하면 안닐-링 效果 亦是 有意水準 5%로서 안닐-링에 依한 抵抗值의 差가 난다. 그러나 여기서 안닐-링 處理를 行한 쪽이 平均 8100Ω/□ 增加한것에 對해서는

그림6. 表面抵抗値의 反應溫度에 對한 變化
Fig. 6. Surface resistance characteristics vs reaction temperature

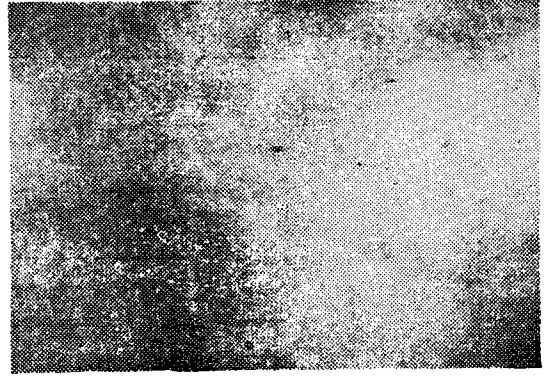


納得이 가지 않았다. 이 原因을 찾아내기 위하여 800倍의 金屬顯微鏡으로 皮膜表面을 觀察한 結果 寫眞1, 및 寫眞2와 같이 高抵抗의 皮膜이 안닐-링 處理中 파손되어서렸음을 發見하였다.



寫眞1. 表面抵抗 64kΩ/□의 皮膜이 안닐-링處理後 破損된모양. 검은部分이 破損된部分이다. (倍率: 800倍)
Photo 1. Film surface of 64KΩ/□ after annealing, ×800

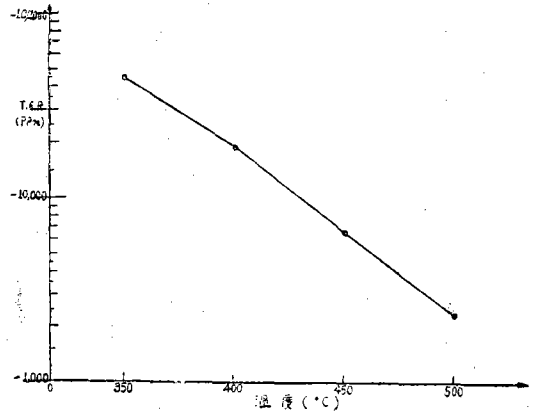
高抵抗의 皮膜의 파손으로 因하여 實効抵抗値가 增加되어버렸다. 그러나 低抵抗의 皮膜에는 아무런 變動이 없었다. 이 事實로 미루어 보아 안닐-링 處理途中 基體와 抵抗皮膜의 熱膨脹係數의 差에 依하여 皮膜이 파손되었다기 보다는 高抵抗의 皮膜은 얇은데 이것이 低溫度에서 反應하였기 때문에 基體와의 接着이 不完全하여 쉽게 파손되었다고 보는것이 妥當할 것이다. 이러



寫眞2. 表面抵抗 25Ω/□의 皮膜表面(倍率 800倍)
(Photo 2 Film surface of 25Ω/□, ×800)

한 推論은 第2表의 分散分析에서 T. C. R.에 對한 안닐-링 效果가 나타나지 않은것으로 더욱 立證된다.

그림7. 反應溫度에 對한 T. C. R.의 變化
Fig. 7. T. C. R. vs. reaction temperature



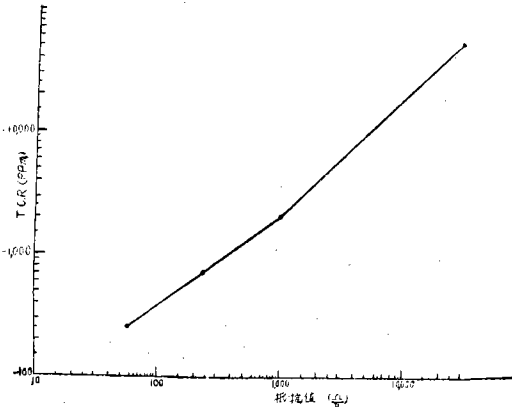
7. 抵抗溫度係數에 對한 反應溫度의 影響

第2表의 分散分析表에 依하면 有意水準 5%로서 溫度에 依한 溫度係數의 變化가 있다. 그 平均值變化를 圖表로 表示하면 第7圖과 같다. 그러나 이 變化曲線은 同一한 抵抗値에 對한 表示가 아니므로 이 曲線에는 抵抗値와의 相互作用 (Interaction)까지 包含되어 있다.

8. 表面抵抗値에 따른 抵抗溫度係數의 分布

測定値를 抵抗値順으로 配列하여 이것을 4等分하여 그 平均抵抗値에 對한 抵抗溫度係數를

그림8. 表面抵抗值에 따른 抵抗溫度係數의 分布
Fig. 8. T. C. R. vs. surface resistivity



觀察하여 보면 第8圖와 같다. 여기서 表面抵抗의 平均値가 60Ω/□에서는 250 ppm 未滿이나 1000Ω/□以上에서는 2000 ppm이 넘는것을 알 수 있다.

一般的으로 抵抗值를 調整하는 헬릭싱(Helixing)過程에서 抵抗值의 最大倍率は 抵抗器 1/4 W, 1/2W形, 1W形에서 各各 500倍, 1000倍 1500倍 程度이므로, 1/2W形 抵抗器를 250ppm 內에서 60kΩ까지 만들수 있다고 할수있다. 그러나 本實驗은 皮膜成形過程을 觀察할 目的이었으므로, 實際에 있어서는 훨씬 높은值까지 얻을 수 있을것이다.

9. 結 論

以上の 結果를 綜合하면, 本 蒸氣反應法은 均質한 酸化錫皮膜抵抗素子를 容易하게 얻을수 있고, 眞空系를 使用하지 않으므로 大量生産方法에 適合하다 할수 있다. 本方法에 依하여 製造한 抵抗皮膜은 反應溫度 500°C일때 表面抵抗 25Ω/□에서 -12 ppm/°C, 平均表面抵抗 60Ω/□ 이때의 抵抗溫度係數(T. C. R) -250 ppm을 얻었다.

反應溫度 450°C以上에서 抵抗皮膜이 잘 입혀졌으며 낮은 溫度에서 얻은 皮膜은 堅固하지 못하여 안닐링(Anneal) 處理中 쉽게 파손되어 버렸다.

10. 檢 討

第1表, 第2表의 分散分析表에서 알수있는바와

같이 抵表液의 안티몬(Sb)含有量, 캐리어 가스(Carrier gas)量, 및 안닐링(Annealing)效果에 依한 表面抵抗 및 抵抗溫度係數의 變化는 誤差範圍內에 存在하고 있다. 이것은 反應溫度에 依한 抵抗值의 分散이 너무 큰 탓도 있었고, 캐리어 가스의 量이 抵抗液과 水蒸氣를 同伴하는 比率이 抵抗液과 水蒸氣의 量에 따라 變化하였음이 原因이었다고 思慮된다. 이러한 問題에 關해서는 本研究 第II報에서 發表하기로 한다.

謝 意

本研究中 多忙하신 가운데에도 實驗計畫에 關하여 助言하여 주신 韓國通信工業株式會社 李年雨常務任께 深甚한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. 朴, 電子部品解説, 抵抗器編, 大韓電子工學會誌 第3卷, 第四號, PP. 10~17, 1966年12月號.
2. Lyman S. King, A 50 ppm Tin-Oxide Film Resistor, Electronic Communicator, Vol 1, No. 6, Nov/Dec, 1966.
3. U.S. Pat 2118795, 1938.
4. 中澤川 功, et al., 電子材料, PP 7~18, 1966年 2月號 工業調査會, 日本.
5. J.G. Curtis, Electronics. June 28. 1965 PP66~73.
6. 高橋健吉, et al., 電子材料, 1965年 5月號. 日本
7. Hajime Sasaki, et al., Deposition of Tin Oxide System Resistance Film through the Droplet Flash Vapour Deposition Process, Proc. 1966, Elec. Comp. Conf., IEEE, EIA, PP79~86, 1966.
8. A.E. Feuersanger, Titanium Dioxide Dielectric Films Prepared by Vapour Reaction, Proc. of IEEE, Vol. 52, No. 12, Dec. 1964.
9. H. A. Mc Master, Chem. Abest. 41(1948), 3925d
10. T.K. Young, et al, ibid. 48. (1954), 6296e.
11. R. Gomer, Rev. Sci Inst. 24(1953) 993.
12. K. Ishiguro, et al., J. Phys. Sec. Japan, 13, 296(1958)
13. Wykoff, Crxstal Structures.
14. R.E. Aitchison, Aust. J. Appl. Sci. 5.10 (1954)
15. G. Bauer, Ann.d. Phys. 30(1937) 443.

16. 神山雅英, et al., 薄膜工學 Handbook P 11-170
才社, 日本. 1964

17. 城阪俊吉, et al, 電子機器部品, P219, 電氣院,
日本. 1960

18. Wellard, Resistance and Resistors, Mc Graw
hill, 1960. P.179

19. 澤本司, 眞空蒸着, PP.71~83, 日刊工業, 日本
1965.

20. Henney Walsh, Electronic Component Hand-
book, McGraw hill, 1957.

21. 高野留八, 抵抗器, 日刊工業, 1962.

22. 東常義, et al, 解説電子部品(1) JIS 抵抗器編,
日刊工業, 1962.

23. 電子技術, 1962.6 日本

24. ibid 1966.

25. 田口玄一, 實驗計畫法, 上卷, P.61 丸善, 日本,
1957

26. 高野留八, LCR部品, P.204 東電大. 日本. 1965

27. W. J. et al, Introduction to Statistical Anal
ysis, 2nd edition P.139 McGraw hill, 1957.

부록(I) 抵抗 및 溫度係數測定值

(但 T. C. R. 은 負의 值임)

要因 No	D	A	B	C	표면저항 Ω/□	T. C. R(ppm)	要因 No	D	A	B	C	표면저항 Ω/□	T. C. R (ppm)
	1	2	3	4				1	2	3	4		
1	1	1	1	1	121	27	17	2	1	1	4	404	1,458
2	1	1	2	2	236	896	18	2	1	2	3	565	1,320
3	1	1	3	3	16,023	6,011	19	2	1	3	2	939	3,413
4	1	1	4	4	63,650	6,001	20	2	1	4	1	25,700	7,264
5	1	2	1	1	168	165	21	2	2	1	4	54	235
6	1	2	2	2	197	1,038	22	2	2	2	3	226	603
7	1	2	3	3	421	1,749	23	2	2	3	2	903	3,422
8	1	2	4	4	26,775	6,116	24	2	2	4	1	9,575	5,982
9	1	3	1	2	25	12	25	2	3	1	3	24	138
10	1	3	2	1	296	1,452	26	2	3	2	4	43	307
11	1	3	3	4	367	1,199	27	2	3	3	1	544	2,026
12	1	3	4	3	44,675	5,399	28	2	3	4	2	3,058	2,033
13	1	4	1	2	149	203	29	2	4	1	3	40	165
14	1	4	2	1	108	444	30	2	4	2	4	40	662
15	1	4	3	4	175	366	31	2	4	3	1	886	1,395
16	1	4	4	3	23,515	8,291	32	2	4	4	2	5,163	3,955

부록(II) 인치몬(要因 A)의 添加量에 依한 表面抵抗 R(Ω/□) 및 抵抗
溫度係數 (T. C. R, 單位 ppm/°C)의 變化

但 T. C. R은 負의 值임

A ₁		A ₂		A ₃		A ₄	
R	T. C. R	R	T. C. R	R	T. C. R	R	T. C. R
121	27	168	165	25	12	149	203
236	896	197	1,038	296	1,452	108	444

16,023	6,011	421	1,749	370	1,199	175	366
63,650	6,006	26,775	6,116	44,675	5,399	23,515	8,291
404	1,458	54	235	24	138	40	165
565	1,320	226	603	43	307	40	662
939	3,413	903	3,422	544	2,026	886	1,395
25,700	7,264	9,575	5,982	3,058	2,033	5,163	3,955
和: 107×10^3	2.64×10^3	38.3×10^3	19.2×10^3	49.0×10^3	12.6×10^3	30.0×10^3	15.5×10^3

부록(III) 反應溫度(要因 B)에 依한 表面抵抗 $R(\Omega/\square)$ 및 抵抗溫度係數(ppm/°C)의 變化

但 T.C.R은 負의 值임

B ₁		B ₂		B ₃		B ₄	
R	T.C.R	R	T.C.R	R	T.C.R	R	T.C.R
121	27	236	896	16,023	6,011	63,650	6,006
168	165	197	1,038	421	1,749	26,775	6,116
25	12	296	1,452	370	1,199	44,675	5,399
149	203	108	444	175	366	23,515	8,291
404	1,458	565	1,320	939	3,413	25,700	7,264
54	235	226	603	903	3,422	9,575	5,982
24	138	43	307	544	2,026	3,058	2,033
40	165	40	662	886	1,395	5,163	3,955
和: 985	2,403	1,711	6,722	20,261	19,581	202,111	45,046

부록(IV) 캐리어개스量(要因 C)에 依한 表面抵抗 $R(\Omega/\square)$ 및 抵抗溫度係數(ppm/°C)의 變化

但 T.C.R值는 負의 值임

C ₁		C ₂		C ₃		C ₄	
R	T.C.R	R	T.C.R	R	T.C.R	R	T.C.R
121	27	236	896	16,023	6,011	63,650	6,006
168	165	197	1,038	421	1,749	26,775	6,116
296	1,452	25	12	44,675	5,399	370	1,199
108	444	149	203	23,515	8,291	175	366
25,700	7,264	939	3,413	565	1,320	404	1,458
9,575	5,982	903	3,422	226	603	54	235
544	2,026	3,058	2,033	24	138	43	307
886	1,395	5,163	3,955	40	165	40	662
和: 37.4×10^3	18.8×10^3	11×10^3	15×10^3	85×10^3	24×10^3	92×10^3	16×10^3

부록(V) 表面抵抗(Ω/\square) 및 抵抗溫度係數(ppm)의 안닐-링 效果

(但 T.C.R 値는 負의 值임)

D ₁ (안닐-링 據理한것)						D ₂ (안닐-링 據理하지 않은것)					
Sample No	R	T. C. T	Sample No	R	T. C. R	Sample No	R	T. C. R	Sample No	R	T. C. R
1	127	27	9	25	12	17	404	1,458	25	24	138
2	256	896	10	296	1,452	18	565	1,320	26	43	307
3	16,022	6,011	11	370	1,199	19	939	3,413	27	544	2,026
4	63,650	6,006	12	44,675	5,399	20	25,700	7,264	28	3,058	2,033
5	168	165	13	149	203	21	54	235	29	40	165
6	197	1,038	14	108	444	22	226	603	30	40	662
7	422	1,749	15	175	366	23	903	3,422	31	836	1,395
8	26,775	6,116	16	23,515	8,291	24	9,575	5,982	32	5,125	3,955
R의 和 : 177×10^3						R의 和 : 48.2×10^3					
T.C.R의 和 : 59.4×10^3						T.C.R의 和 : 34.4×10^3					

부록(VI) 反應溫度에 對한 平均表面抵抗의 變化

Factor B(°C)	500	450	400	350
$\bar{R} (\Omega)$	123	214	2,533	25,263

부록(VII) 反應溫度에 對한 平均抵抗溫度係數의 變化

Factor B(°C)	500	450	400	350
T.C.R (PPm)	-2,403	-6,722	-19,581	-45,046

부록(VIII) 表面抵抗値에 對한 抵抗溫度係數의 分布

抵抗値範圍 Ω/\square	24~121	149~370	404~3,038	5,163~63,650
抵抗値平均 Ω/\square	56.9	227	965	26,900
T.C.R (PPm)	-249	-740	-2,103	-6,128

-- 以 上 --