

### 金薄膜의 電氣抵抗特性

## (Electric Resistance of Gold Thin Film)

박 기 수\* · 정 기 형\*\*  
(Park, Kee Soo) (Chung, Key Hyung)

#### 要 約

金薄膜의 抵抗을 두께와 溫度(300°~420°k)의 函數로써 測定하였다.

本論文에서는 上記의 測定結果를 Sondheimer와 Neugebauer가 提示한 理論에 따라 解析하였으며 金薄膜의 두께가 約 45Å 일때 抵抗溫度係數가 零이 되며 그 臨界두께가 約 60Å 됨을 밝혔다.

#### Abstract

The resistances of gold thin film are measured as a function of thickness and temperature (300°k~420°k). In this paper, the experimental results are analysed using the theory which had been proposed by Sondheimer and Neugebauer and it is shown that the temperature coefficient of resistance of gold thin film become nearly zero at the value of thickness of about 45 Å and its critical thickness is about 60Å.

### 1. 序 論

金屬 薄膜抵抗은 bulk 일때 보다 溫度效果가 安定하며 따라서 抵抗의 溫度係數(T. C. R. ; temperature coefficient of resistance)가 작아진다. 이러한 性質은 薄膜抵抗을 電子回路素子로 使用하는데 있어서의 큰 長點의 하나이며 T. C. R을 使用溫度範圍內에서 零으로 만들려는 研究가 많이 行해지고 있다. 本論文에서는 T. C. R가 적고 耐蝕성이 강한 金薄膜抵抗에 對한 基礎的인 資料를 얻고 極히 얇은 두께에서의 導電機構를 把握코져 한다. 現在 薄膜抵抗材料로는 Nichrome, Tantalum 등이 널리 使用되고 있으며 Nichrome에 Au를 混合하여<sup>1)</sup> T. C. R를 적게 한 것도 있다. 特히 Au 薄膜에서는 導電電子가 specular 散亂을 하며<sup>2)</sup> 다시 말하면 薄膜表面의 電位障壁과

彈性散亂을 하는것이 特徵이며 酸化에 대해서도 다른 金屬보다 安定하다. 이러한 特殊性을 갖는 Au 薄膜을 製作하여 薄膜의 두께에 따르는 抵抗變化特性을 調査하고 前記한 바 Sondheimer 및 Neugebauer가 提示한 理論에 따라서 解析을 試圖하였다. 現在까지 金薄膜의 경우 極히 얇은 두께에 對해서 實用的인 資料가 報告되지 않고 있다.

1952年 Sondheimer<sup>3)</sup>는 薄膜에 對한 比抵抗을 導電電子의 平均自由行程과 關聯하여 다음과 같은 關係式을 導出하였다.

$$\rho/\rho_0 = \phi(k)/k \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $k$ 는  $k = \frac{t}{\lambda_0}$ 이다.  $t$ 는 薄膜의 두께,  $\lambda_0$ 는 bulk 材料에서의 導電電子의 平均自由行程이다.  $\rho$ 는 Au 薄膜의 比抵抗이며  $\rho_0$ 는 Au의 bulk 比抵抗이다. 또한 여기서

$$\frac{1}{\phi(k)} = \frac{1}{k} - \frac{3}{4} \left(1 - \frac{k^2}{12}\right) E(k) - \frac{3}{8k^2} (1 - e^{-k})$$

\* 서울工大 電子工學科教授  
\*\* 서울工大 原子力工學科教授

$$-\left(\frac{5}{8k} + \frac{1}{16} - \frac{k}{16}\right)e^{-k} \dots\dots\dots(2)$$

$$E(k) = -\int_k^\infty t^{-1}e^{-t} dt$$

量子論에 依하면

$$\rho_0 = \frac{h}{n_0^{3/2}e^2} \left(\frac{3}{8\pi}\right)^{1/2} \frac{1}{\lambda_0}$$

이며 이것을 (1)式에 代入하여

$$\rho = (8.4 \times 10^{-12}) \{\phi(k)/t\} \dots\dots\dots(3)$$

여기서  $n_0$ 는 bulk gold에서의 電子의 密度이다.  $t < \lambda_0$ 인 領域에서는 field emission type가 된다. Neugebauer에 依하면

$$\rho = CT^{-n} \exp[(\theta - ve^{3/2} E^{1/2})/K_B T] \dots\dots\dots(4)$$

여기서

- Q: height of the potential barrier
- $\nu$ : constant related to schottky field emission
- $K_B$ : Boltzmann constant
- T: absolute temperature
- e: electronic charge
- E: activation energy

이다. 薄膜 두께가 수십 Å 程度에서는 islands構造를 形成하며 어떤 核을 中心으로 이들이 成長한다. 이때 islands 사이의 electronic activation energy E는

$$E = \frac{e^2}{\epsilon_r} - 2\left(\frac{e^3}{\epsilon} E_s\right)^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

- $\epsilon$ : dielectric constant of the surrounding medium
- $E_s$ : applied electric field between two islands.

로 되며 薄膜의 두께 t가 減少할 때는  $ve^{3/2} E^{1/2} \ll \theta$ 로 되고,  $n \rightarrow 0$ 로 되어 T.C.R가 負值가 된다.

本論文에서는 300°k에서의 抵抗을 基準으로 取하고 있다.

## 2. 實 驗

### 2.1 薄膜抵抗의 製作

$5 \times 10^{-5}$  Torr의 眞空中에서 Tantalum boat에 金を 넣어 加熱하여 蒸着速度는 平均 50Å/分으로 하였다. 使用한 金은 99%의 純度를 갖는 것으로 Aqua regia를 洗條液으로 使用하였고 蒸

留水로 씻은 後 이를 말려서 使用하였다(사진 1)

薄膜의 두께는 蒸着量으로 調節하였으며 基板으로는 顯微鏡用 슬라이드유리판을 使用하고  $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ 의 溶液으로 洗條한 後 無水아 루코올과 蒸留水로 닦아서 使用하였다. 使用한 基板의 抵抗은 約 2kMΩ이었다. T.C.R.를 測定하기 爲해서는 電氣爐를 使用하여 300°k에서 420°k까지 變化시켰으며 또한 熱處理도 이 爐內에서 行하였다. 薄膜의 두께는 蒸着量으로부터 換算하였으며 多重干涉計 方法에 依하여 測定하였다(사진 2)(Fig. 1). 薄膜의 抵抗을 測定할 때 電極은 機械的인 方法으로 接觸시켰으며 Fig. 2에서와 같이 接觸部分은 金으로 鍍金을 하였다.

## 3. 結果 및 檢討

Fig. 3은 薄膜의 두께와 比抵抗과의 關係를 表示한 것이다. 여기에 使用한 薄膜은 150°C의 電氣爐內에서 3時間以上 anealing 한 것이다. 두께 T가 1600Å에서는 比抵抗이 bulk 일때와 비슷하며 두께가 얇아질수록 半導體의 領域을 걸쳐 不

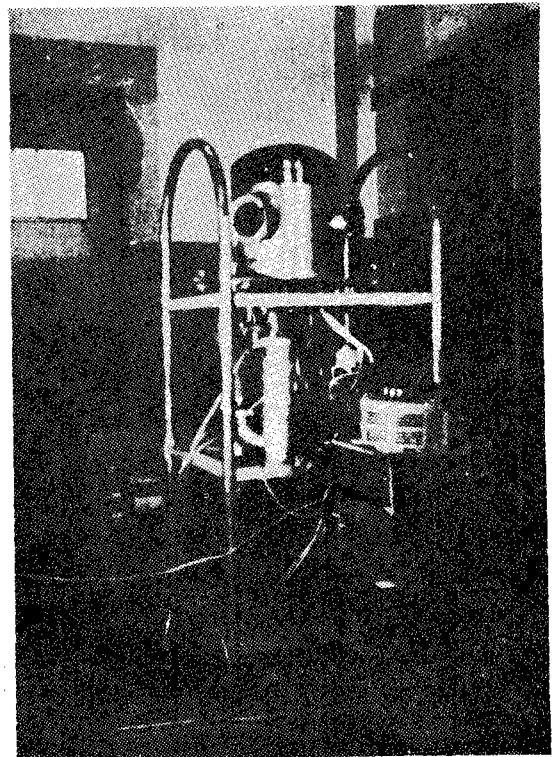


사진 1. Vacuum evaporator



사진 2. Interference fringes

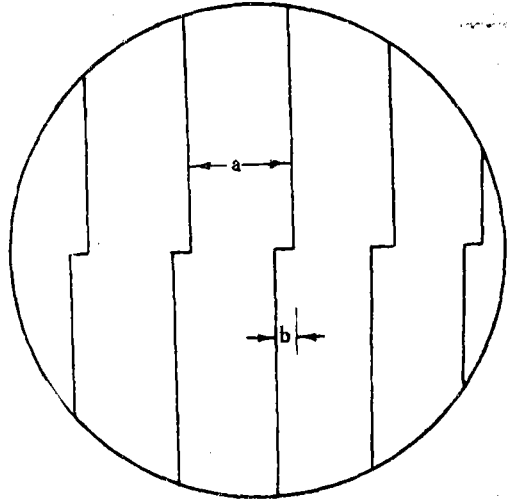


Fig 1. Schematic diagram of fringe pattern

$$t = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{b}{a}$$

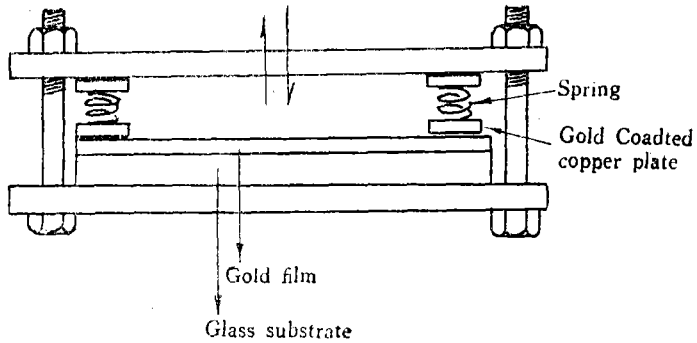


Fig 2. measuring system

導體의 領域으로 增加한다. 또한 金薄膜의 臨界 두께는 約 60Å 이며 銀이나 銅보다도 더 얇은 두께임을 알 수 있는데 이것은 導電電子의 表面에 對한 specular 散亂에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 4는 薄膜의 aging 效果를 나타낸다. 常溫에서는 時間의 經過에 따라 抵抗의 減少를 보이나 減少率이 極히 적음을 알 수 있으며 420°k에서는 時間에 對한 抵抗의 變化率이 빨라져서 2時間

程度經過後에는 比較의 一定한 抵抗值를 갖이게 된다.

Fig. 5는 薄膜의 두께에 따라 T.C.R가 달라지는 關係를 測定한 것이다. 全體的인 傾向으로는 두께가 작아짐에 따라 T.C.R도 減少하며 두께가 아주 적은 領域에서는 負의 T.C.R를 나타낼 수 있다. T.C.R.가 正, 零, 負인 경우를 理論式과 比較檢討해 보기로 한다.

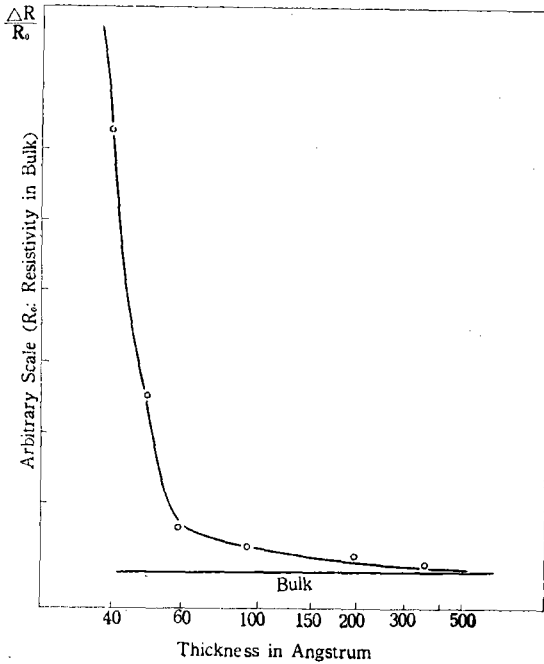


Fig. 3. Thickness Resistivity Relation

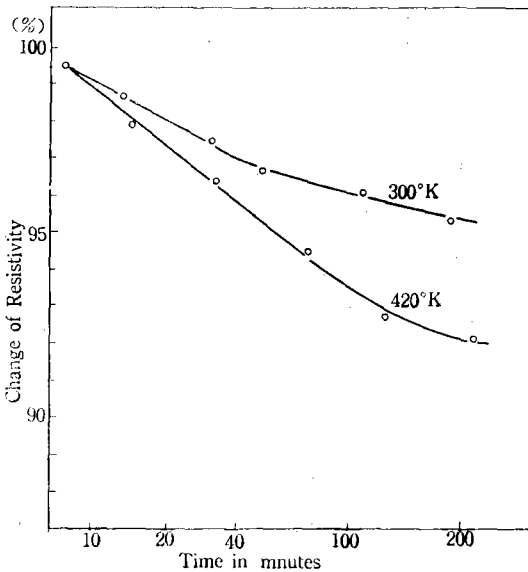


Fig 4. Ageing effect

가) T.C.R.가 正인 경우;

薄膜의 두께가 약 90Å 이상일때 T.C.R.는 正의 값을 가지며 두께가 增加할수록 T.C.R.도 커진다. T.C.R. α는

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} \dots\dots\dots(6)$$

로 定義되며 ρ는 比抵抗, T는 溫度이다. 그러므로

$$\rho = ce^{\alpha T} \dots\dots\dots(7)$$

T=0°K 이면 ρ=c가 되어 Mattiessen's rule에 따라 이때의 比抵抗 ρ는 不純度, 格子欠陷, 그리고 導電電子가 金薄膜內에서의 表面과 충돌하므로서 생기는 것으로 이것을 ρ<sub>i</sub>라고 하면

$$\rho = \rho_i e^{\alpha T} \dots\dots\dots(8)$$

가 된다. 여기서 ρ<sub>i</sub>나 α는 T와는 無關하며 (3)式을 (8)式에 代入하면

$$\rho_i e^{\alpha T} = (8.4 \times 10^{-12}) \{ \phi(k) t \} \dots\dots\dots(9)$$

이 된다.

(9)式을 吟味하기 爲하여 (2)式의 左邊에서 第1項이 가장 큰고로

$$\frac{1}{\phi(k)} = \frac{1}{k} \quad \phi(k) = \frac{t}{\lambda}$$

로 놓으면 (9)式은

$$\lambda = (8.4 \times 10^{-12}) / \rho_i e^{\alpha T} \dots\dots\dots(10)$$

가 되며 薄膜에서의 導電電子의 自由行程 λ은 電氣傳導도에 比例하고 溫度 T가 增加함에 따라서 減少함을 알수가 있다. Fig.5에서 薄膜의 두께가 60Å 以上에서는 (10)式에서와 같이 Sondheimer가 提示한 理論結果와 잘 一致함을 알수가 있으며 두께가 臨界値以上에서는 bulk 일때와 거의 一致하게 된다.

나) T.C.R.가 零인 경우;

이 경우에는 T.C.R를 薄膜의 두께와 關聯하여 생각할 수 없으며 基板表面에서 粒子나 혹은 island를 形成하는 것으로 알려져 있다. 이 경우 Sondheimer의 理論을 適用시킬수는 없으며 island 사이에 tunnelling 效果가 일어나는 것으로 생각할수 있다. (4)式에서  $\theta = ve^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}}$ 이고 n가 0이면 ρ=一定이 되어 온도에 無關하게 T.C.R.는 零이 된다. Fig.5에서 보는 바와 같이 金薄膜에 있어서는 45Å의 두께에서 거의 一定한 抵抗値를 나타냄을 實驗的으로 알수가 있다.

다) T.C.R.가 負인 경우;

이 경우에는 薄膜에서의 island 사이의 距離가 커지고  $\theta < ve^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}}$ 로 되어 ρ는 溫度의 增加에 따

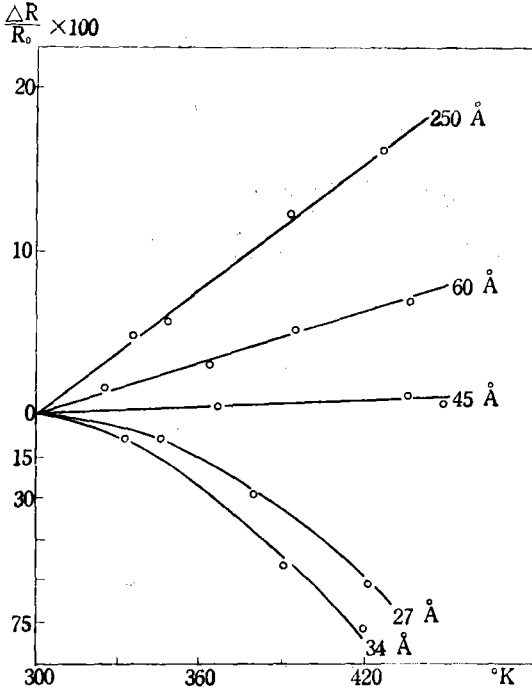


Fig 5. Temperature Resistivity Relation

라서 減少하게 되고 T.C.R.는 負의 値를 가지게 된다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 두께가 45Å 附近에서 約 34Å 근방으로 移動함에 따라 急激한 負의 T.C.R.가 나타나며 두께가 減少하면 오히려 T.C.R.도 減少하게 된다. 이 領域에 對한 考察에는 island 구조와 關聯한 새로운 研究가 必要하며 Negenbaner의 모델이 全體의인 T.C.R.의 傾向과 잘 一致하나 薄膜의 微視的構造에는 修正

이 加해져야 한다고 생각된다.

#### 4. 結 論

1) 金薄膜의 臨界두께는 測定結果 約 60Å 이었으며 他金屬에 比하여 적다. 이것은 金薄膜의 表面과 導電電子와의 散亂이 것의 彈性的으로 일어나고 있기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

2) 金薄膜의 두께가 約 60Å 以上일때는 Sondheimer의 理論이 適用될 수 있음을 確認했으며 60Å 以下인 경우에는 텐넬효과로 解析하면 實驗結果와 部分的으로 一致함을 確認하였다.

3) 300k~420°k의 溫度範圍內에서 T.C.R.가 零이 되고 따라서 抵抗値가 一定하게 維持되는 金薄膜의 두께는 約 45Å 임을 알수가 있었다.

#### 謝 意

本研究를 行함에 있어서 財政的 뒷받침을 해주시 蓮庵財團에 深甚한 謝意를 表하며 本研究에 協助해주신 朴鳳烈教授에게 感謝를 드립니다.

#### 參 考 文 獻

- 1) M. Tanaka et al. 電子通信學會論文誌 vol 52, p. 467 (1969)
- 2) A. E. Ennos British J. Appl. phys. vol 8, p. 133 (1957)
- 3) E. H. Sondheimer. Advance Physics vol. 1, p. 1 (1952)
- 4) C. A. Neugebauer et al. J. Appl. Phys. Vol 38, p. 74 (1962)