

# 高周波四極スパッタリングによるTi-SiO<sub>2</sub>系

## サーメット薄膜の電気的特性\*

梅 沢 利 二\*\*

井 垣 誠 吾\*\*\*

(昭和50年9月30日受理)

### Electrical Properties of Ti-SiO<sub>2</sub> Cermet Thin Films Prepared by R. F. Plasma Sputtering

by Toshiji UMEZAWA and Seigo IGAKI

Ti-SiO<sub>2</sub> cermet thin films were deposited onto a glass substrate by R. F. sputtering from a Ti-SiO<sub>2</sub> composite target, on which the SiO<sub>2</sub> area ratio was varied to obtain different compositions.

The cermet thin films sputtered from the target composed of 16% SiO<sub>2</sub>-84% Ti area ratios showed a resistivity of  $220 \pm 10 \mu\Omega\text{-cm}$  and a temperature coefficient of nearly zero.

The thin films sputtered from the target given a greater SiO<sub>2</sub> area ratio than 16% showed negative temperature coefficient of resistance (TCR), and those from the target given a smaller SiO<sub>2</sub> area ratio showed positive TCR values.

The study on the electrical conduction in these cermet thin films suggested that the mechanism by a capillary model was dominant for the films with positive TCRs and the mechanism by a thermally agitated hopping process was predominant for the films with negative TCRs.

#### 1. ま え が き

混成集積回路の高集積化が進むにつれて、高面積抵抗、低抵抗温度係数、高安定な薄膜抵抗の実現が要請されている。現在実用化されている薄膜抵抗は主としてタンタル窒化物薄膜であるが、その特性値は大気中で非常に安定とされているTa<sub>2</sub>N主体の薄膜では抵抗率として $250 \mu\Omega\text{-cm}$ 、又抵抗温度係数 TCR として $-100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 程度である。一方、面積抵抗のより大きな薄膜抵抗材料として、金属と誘電体の混合物であるサーメット抵抗が数10乃至100 K $\Omega$ /sqの面積抵抗の実現を TCR が $\pm 250 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の範囲内で望まれていて、種々の系を用いて研究されている。

\* 一部は電子通信学会電子部品・材料研究会にて発表

\*\* 北見工業大学電子工学科

\*\*\* 北海道大学大学院修士課程

筆者らは従来 Ta-SiO<sub>2</sub> 系, Ta-Au-SiO<sub>2</sub> 系<sup>1)</sup> などの研究を行ってきたが, タンタルと同様に高融点の遷移金属であり, タンタルよりも国内に極めて多く産出する資源であるチタンをタンタルに入れ替えた Ti-SiO<sub>2</sub> 系サーメット薄膜を, 金属-石英系サーメット薄膜の研究の一環として検討した。

高周波四極スパッタ装置を用いて Ti-SiO<sub>2</sub> 系サーメット薄膜抵抗を作製し, 窒化タンタル薄膜抵抗に劣らぬ特性を得たので, その成膜条件と諸特性との関係等について報告する。

## 2. 実験方法

サンプルは全て四極スパッタ装置 (VDS-61 型) を用いて, 高周波スパッタリングにより成膜させた。ターゲットは図 1 のようなチタンと石英の複合ターゲット (50×50 mm) を用い, チタン・ストリップの本数, あるいはチタン板にあけた直径 3 mm の穴の数を変えることにより, ターゲット上のチタンと石英の面積比を変化させた。抵抗体はマスクを用いて, 図 2 のような形状とした。このマスクによる抵抗体のアスペクト比は 32 になっている。また膜厚は 2,500~3,000 Å である。電極は同じ四極スパッタ装置を用いて直流スパッタリングによりアルミニウムを約 3,000 Å 成膜した薄膜である。基板としては並質スリ板ガラス (1.5×50×50 mm) を通常の超音波洗浄法により処理したのち, ベルジャー内で真空加熱乾燥し脱ガスして用いた。ターゲットと基板間の距離は 6 cm とし, ターゲットの後方, 約 2 cm の位置に熱電対をおいてターゲット温度を監視した。

抵抗体薄膜の成膜に際しては, ベルジャー内を一度  $2 \times 10^{-7}$  torr 程度までに排気したのち, アルゴンガスを一定圧までリークバルブを通してベルジャーに導入し, プラズマを作り, 約 2 時間のプレスパッタリングの後, シャッターを開き抵抗体薄膜を成膜した。

この薄膜は, 繰返し干渉計により膜厚を測定された後, 恒温恒湿器中に入れ, 60°C で約 1 時間放置後, タケダ理研のデジタルマルチメータによって抵抗値が測定され, その後 30°C に於て測定し, 温度特性を外挿し 20°C の抵抗値及びこの抵抗値を基準として TCR をもとめ比較検

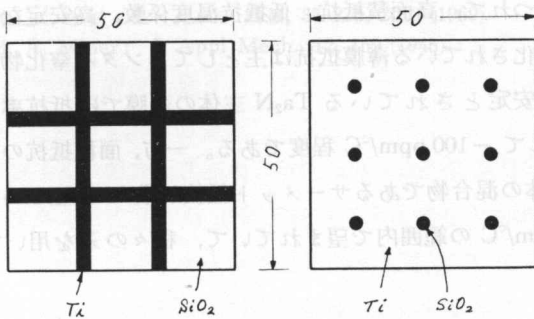


図 1 複合ターゲットの形状

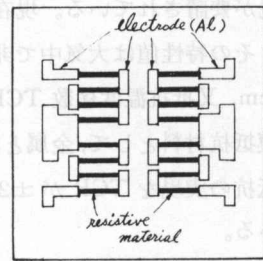


図 2 抵抗体の形状

Fig. 1. Top view of Ti-SiO<sub>2</sub> composite targets.

Fig. 2. Pattern of cermet thin film resistor.

討した。又、負の TCR をもつ薄膜についてはクライオスタットを用いて、-190~+120°C の範囲で抵抗値の測定を行い、この特性曲線を Arrhenius plot し、電気伝導のための活性化エネルギーを得た。

X 線回折用のサンプルには膜厚約 3,000 Å の抵抗体試料をそのまま用いた。組成分析用としてモリブデンの薄片を基板の中央部にセットし、抵抗体薄膜と同時に成膜したものを X 線マイクロアナライザで分析した。これには銅の K<sub>α</sub> を用いた。X 線管電圧 20 kVp, 管電流 20 mA にてこの K<sub>α</sub> を発生させた。重量組成比の決定は B. Djuric の方法<sup>5)</sup> によった。又、X 線回折のピークのミラー指数の決定には、電子線回折が同時に用いられた。

### 3. 実験結果及び検討

#### 3.1 成膜条件の検討

四極スパッタ装置を用いて高周波 (13.56 MHz) スパッタリングを行う際には、スパッタ雰囲気ガス圧、プラズマ電流、等により整合条件が異なる。プラズマ電流を一定値にして、スパッタ雰囲気ガス圧を変化させた時に入力 RF 電力が一定に維持されることが望ましい。それでこれを調べた結果、圧力が変わるとプラズマ電流は大きく変化するが、アノード電圧を制御してプラズマ電流を一定とし (この実験では 4 Amp. とした) 整合をとれば、アルゴンガス圧が  $8 \times 10^{-4}$  torr ~  $5 \times 10^{-3}$  torr の範囲で、RF 電力とターゲット電圧の関係を、図 3 に示すように一定に保つことができる。又、RF 電源の発振管のプレート電圧により、ターゲットへの入力電力を制御できることが判明した。

一方、チタンをターゲットとしてプレスパッタリング時間と  $\rho$ , TCR 及び X 線回折像との関係を調べた。その結果、30 分以上のプレスパッタリングにより X 線回折像が一定となり、 $\rho$ , TCR もまた一定となることが判った。膜厚と  $\rho$ , TCR の関係について調べた結果、膜厚が 1500 Å 以上では  $\rho$ , TCR も一定となることを確めた。

これらの結果と四極プラズマ装置の規格を考慮して表 1 に示すような成膜条件を設定した。

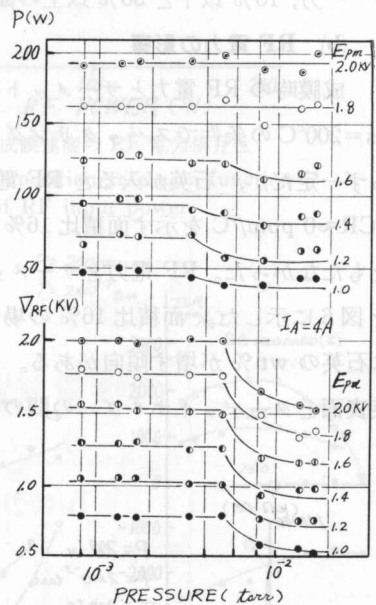


図 3 スパッタ装置の整合特性

Fig. 3. Matching characteristics of RF tetrotde sputtering apparatus versus sputtering gas pressure.

表 1 成膜条件

Table 1.

Ar: ガス圧力 $8 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$ torr
RF 入力電力: 60~220 W
基板温度: 130~450°C
アノード電流: 4 Amp.
プレスパッタ時間: 120 分
膜 厚: 2,500~3,000 Å

3.2 チタン—石英系サーメット薄膜

3.2.1 スパッタリング条件とサーメットの電気的特性及び膜構造

(a) 石英の面積占有率の影響

RF 電力 200 watts, ガス圧  $2 \times 10^{-3}$  torr, 基板温度  $200^\circ\text{C}$  で石英の面積比を変えたときの抵抗率  $\rho$  及び抵抗温度係数 TCR の値を図 4 に示した。石英の面積比が 10~50% のとき TCR が  $\pm 250$  ppm/ $^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 180 \sim 500 \mu\Omega\text{-cm}$  となり, 面積比の増加とともに  $\rho$  と TCR がゆるやかに変化する。面積比 16% のときに  $\text{TCR} \approx 0$  ppm/ $^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 220 \mu\Omega\text{-cm}$  のサーメットが得られる。

一方, 10% 以下と 50% 以上の面積比では  $\rho$ , TCR が急激に変化する傾向がある。

(b) RF 電力の影響

成膜時の RF 電力とサーメットの  $\rho$  及び TCR の関係を図 5 に示す。 $p = 2 \times 10^{-3}$  torr,  $T_s = 200^\circ\text{C}$  の条件でスパッタリングしたものである。チタンのみの場合には  $\rho$  は RF 電力によらず一定だが, 石英が入ると RF 電力の増加とともに  $\rho$  が大きくなる傾向がある。しかし,  $\text{TCR} \approx 0$  ppm/ $^\circ\text{C}$  を示す面積比 16% のチタンを含むターゲットによるものは RF 電力依存性をもたなかった。RF 電力とサーメット薄膜中の XMA によって得た石英重量組成比との関係を図 6 に示した。面積比 16% の場合を含めて, いずれのサーメットも RF 電力の増加とともに石英の wt % が増す傾向がある。これはチタン—石英の複合ターゲットを用いているので石英表面とターゲットホルダーの間の capacity による電圧降下により, 金属部分と誘電体部分で

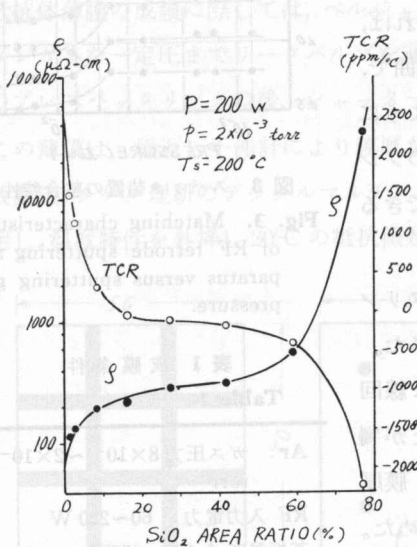


図 4 石英面積比の  $\rho$ , TCR へ及ぼす効果

Fig. 4. Resistivity and temperature coefficient of resistance versus  $\text{SiO}_2$  area ratio at target surface.

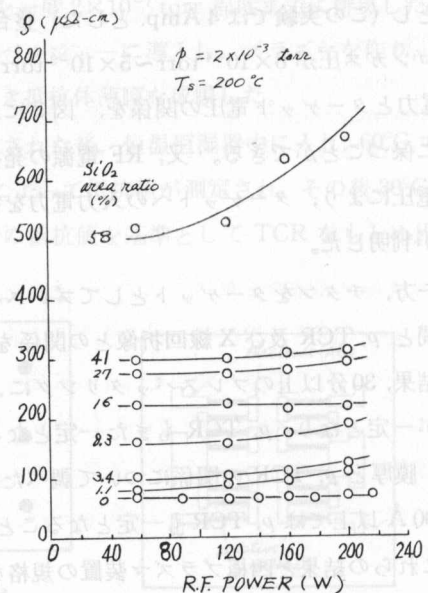


図 5 RF 電力と抵抗との関係

Fig. 5. Relationship between RF input power and resistivity.

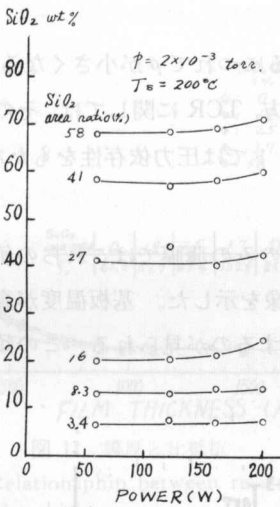


図 6 RF 電力と組成の関係

Fig. 6. SiO<sub>2</sub> content (wt %) in thin films versus RF input power.

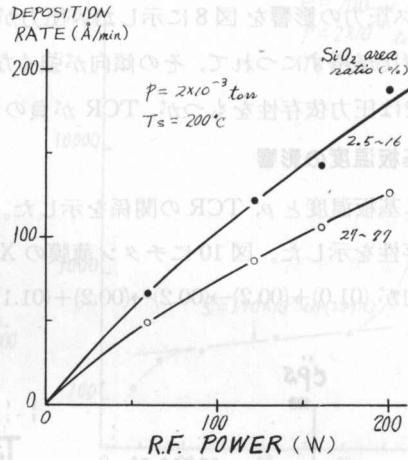


図 7 成膜速度の RF 電力依存性

Fig. 7. Deposition rate as a function of RF input power.

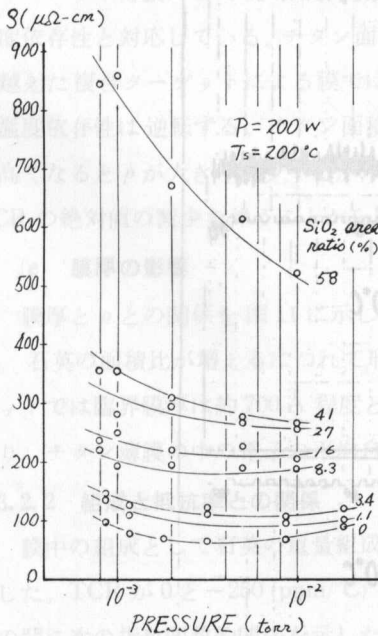


図 8 スパッタガス圧力と ρ との関係

Fig. 8. Resistivity versus argon gas pressure and SiO<sub>2</sub> area ratio.

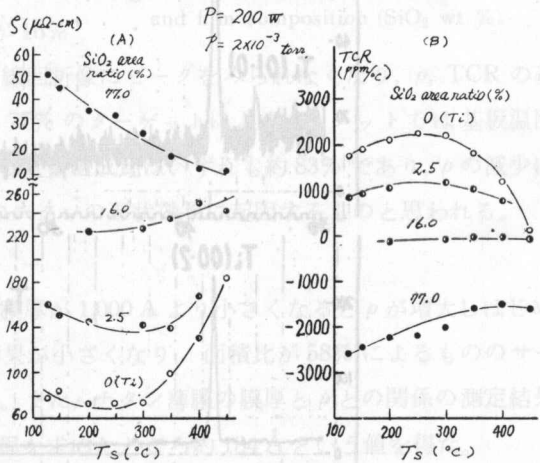


図 9 基板温度と ρ 及び TCR との関係

Fig. 9. Resistivity and TCR as a function of substrate temperature.

ターゲットをたたく Ar<sup>+</sup> のエネルギーに差が生じ、RF 電力の増加とともにその差が小さくなって相対的に石英の組成が増すためと思われる。TCR が零のサーメットでは、石英の組成の増加は ρ の増加と対応している。

図 7 は RF 電力と成膜速度の関係である。成膜速度は RF 電力にほぼ比例し、石英の面積比の大きいターゲットでは減少する。



## (c) アルゴンガス圧の影響

Ar ガス圧の影響を図8に示した。圧力が高くなるにつれて $\rho$ が小さくなる傾向があり、石英の面積比が増すにつれて、その傾向が強くなる。一方、TCR に関しては、その値が正のサーメットでは圧力依存性をもつが、TCR が負のサーメットでは圧力依存性をもたない。

## (d) 基板温度の影響

図9に基板温度と $\rho$ , TCR の関係を示した。チタンだけの薄膜ではこれらの値は大きな基板温度依存性を示した。図10にチタン薄膜のX線回折像を示した。基板温度が高くなるにつれて面配向が(01.0)+(00.2)→(00.2)→(00.2)+(01.1)と変化するのが見られる。この傾向は面積比

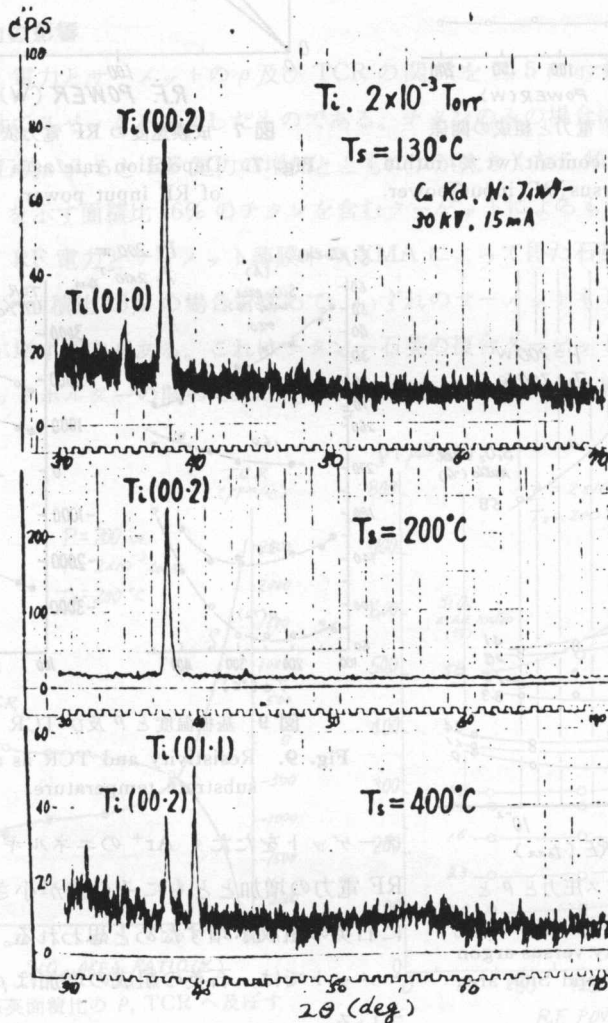


図10 X線回折像

Fig. 10. X-ray diffraction patterns for thin films deposited at three different substrate temperature.

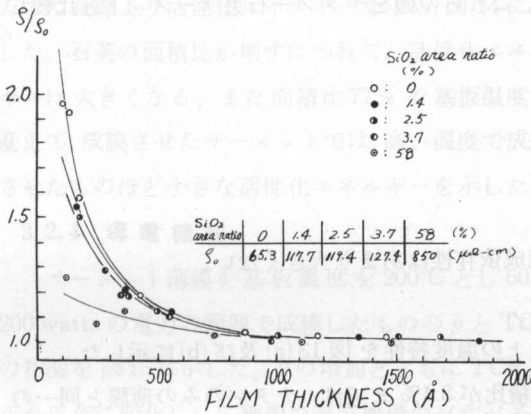


図 11 膜厚と比抵抗

Fig. 11. Relationship between resistivity and film thickness.

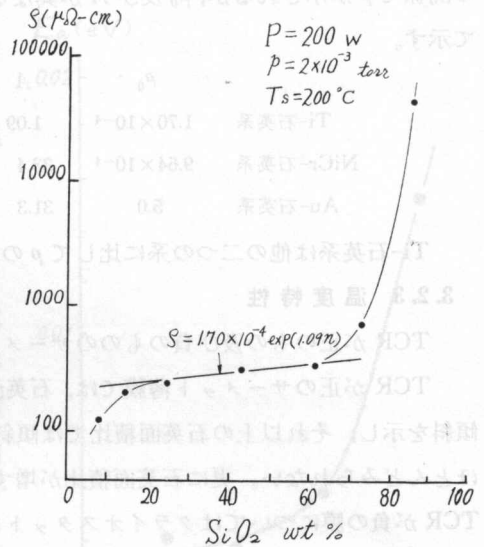


図 12 膜組成と比抵抗との関係

Fig. 12. Relationship between resistivity and film composition (SiO<sub>2</sub> wt %).

16% のチタンを含む複合ターゲットで成膜させたサーメット薄膜にまで現われ、 $\rho$ , TCR の基板温度依存性に対応している。チタン面積比が 16%

を越えた複合ターゲットによる膜では、X 線回折像にピークをみられなくなり、 $\rho$ , TCR の基板温度依存性は逆転する。チタン面積比が 77% のターゲットによるサーメットでは基板温度が高くなると  $\rho$  が大きく減少するが、石英の重量組成比はいずれも約 83% であり、 $\rho$  の減少は TCR の絶対値の減少を伴うことから膜中のチタンの形状効果に起因するものと思われる。

(e) 膜厚の影響

膜厚と  $\rho$  との関係を図 11 に示した。膜厚が 1,000 Å より小さくなると  $\rho$  が増大しはじめる。石英の面積比が増えるにつれて形状効果が小さくなり、面積比が 58% によるもののサーメットでは臨界膜厚は約 700 Å 程度となる。また、チタン薄膜の膜厚と  $\rho$  との関係の測定結果より、チタン薄膜の中の電子の平均自由行程を求めたところ約 184 Å という値を得た。

3.2.2 組成と抵抗率との関係

膜中の組成として石英の重量組成比をとり、これと  $\rho$  との関係を探り、この結果を図 12 に示した。TCR が 0 と -250 (ppm/°C) との間の値をもつサーメット薄膜では、 $\rho$  は石英の wt % との間に次の指数関数的関係を示した。

$$\rho = 1.70 \times 10^{-4} \exp(1.09n) \quad (\Omega\text{-cm})$$

但し、 $n$ : 石英の wt % 値

この関係は Miller<sup>2)</sup> らによって他のサーメットでも指摘されている。他の金属-石英サーメットでも

$$\rho = \rho_0 \exp(A \times n)$$

の関係で  $\rho$  が示されるが、 $\rho_0$  及び  $A$  が異なる。これらの値をチタン—石英サーメットと比較して示す。

	$\rho_0$	$A$
Ti-石英系	$1.70 \times 10^{-4}$	1.09
NiCr-石英系	$9.64 \times 10^{-4}$	33.4
Au-石英系	5.0	31.3

Ti-石英系は他の二つの系に比して  $\rho$  の組成依存性はあまり大きくない。

### 3.2.3 温度特性

TCR が正のもの及び負のもののサーメットの温度特性を図 13 (a) 及び (b) に示した。

TCR が正のサーメット薄膜では、石英面積比が 3.4% までは、チタンのみの薄膜と同一の傾斜を示し、それ以上の石英面積比では傾斜は次第にゆるやかになり、16% のものでは傾斜がほとんどみられない。更に石英面積比が増すと傾斜は逆転し負の TCR をもつものとなる。TCR が負の膜についてはクライオスタットを用いて  $-190^\circ\text{C}$  から  $+120^\circ\text{C}$  まで測定し、 $1,000/T$  (°K) と抵抗率  $\rho$  の対数との関係即ち Arrhenius plot で示した。図にみられるように、これらの曲線はいずれも、 $1,000/T = 4.5$  ( $-50^\circ\text{C}$ ) を境に二つの直線部分にわかれる。室温より高い

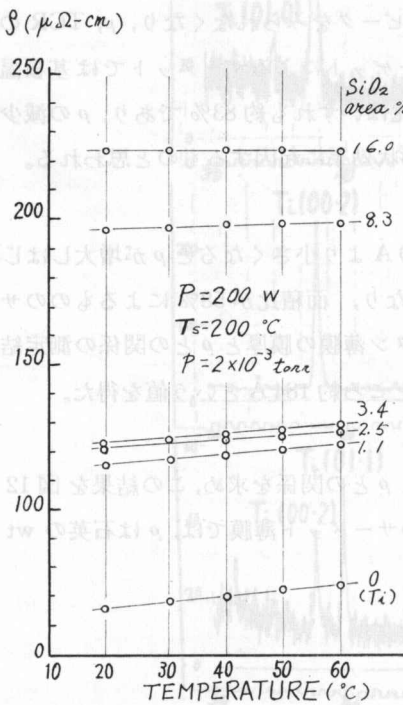


図 13 (a) 温度特性 (TCR>0)

Fig. 13 (a) Temperature dependence of resistivity for thin films with different composition.

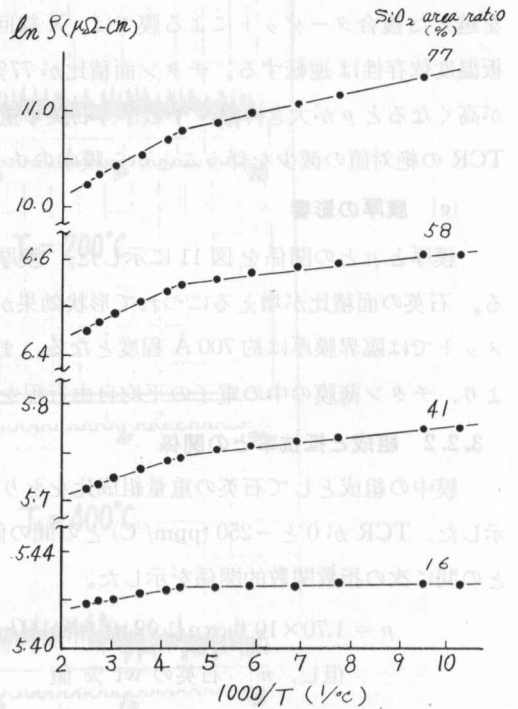


図 13 (b) 温度特性 (TCR<0)

Fig. 13 (b) Logarithmic resistivity versus reciprocal temperature for thin films with negative TCR.



方での直線より活性化エネルギーを求め、図 14 に示した。石英の面積比が増すにつれて、活性化エネルギーは大きくなる。また面積比 77% で基板温度を変えて、成膜させたサーメットでは、高い温度で成膜させたものほど小さな活性化エネルギーを示した。

3.2.4 導電機構

サーメット薄膜を基板温度を 200°C とし 60~200 watts の電力の範囲で成膜したものの  $\rho$  と TCR の相関を図 15 に示した。 $\rho$  の増加とともに TCR が正から負に変化し、二種類の導電機構の存在が予想される。ここでは TCR > 0 と TCR < 0 の二つの領域に分けて導電機構を考察する。

(a) TCR > 0 の領域

石英の組成と  $\rho$ , TCR との関係を図 16 に示した。TCR の測定点の近くに記した数字はターゲット上の石英の面積比を表わし、横軸の体積組成比と対応している。石英の体積組成比の増加による  $\rho$  と TCR の急激な変化は Coutts<sup>6)</sup> のキャピラリーモデル (thin wire model ともいわれる) で説明できる。

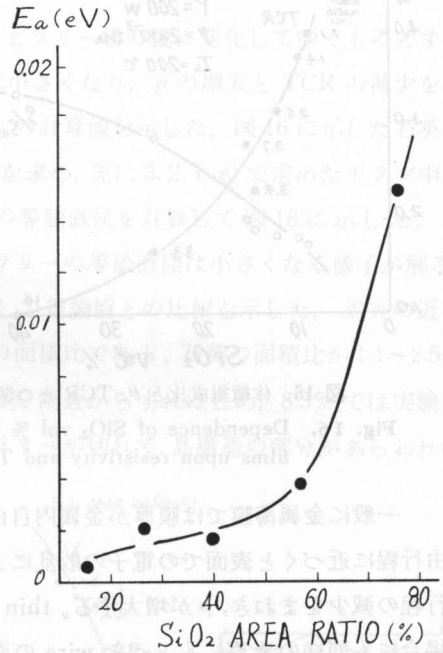


図 14 熱的活性化エネルギー

Fig. 14. Activation energy of thermal agitated conduction for thin films versus SiO<sub>2</sub> area ratio at target surface.

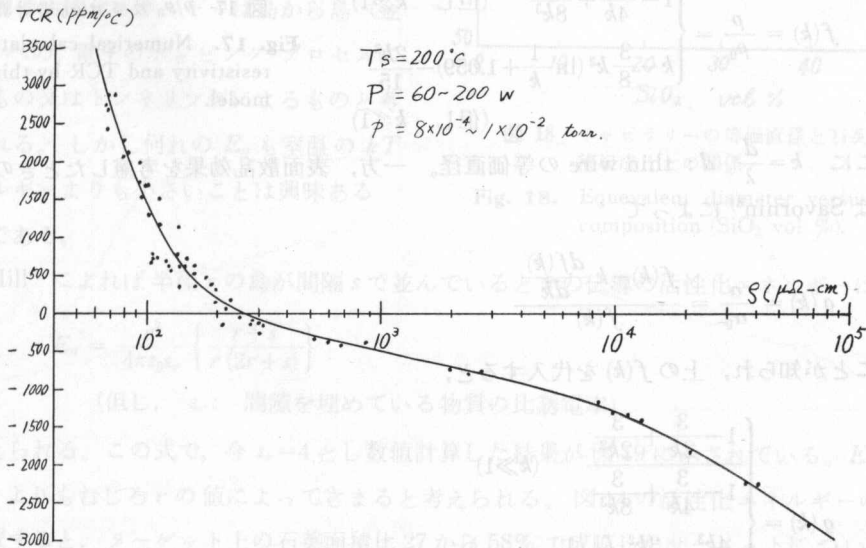


図 15 比抵抗と TCR との相関

Fig. 15. Relationship between resistivity and TCR.

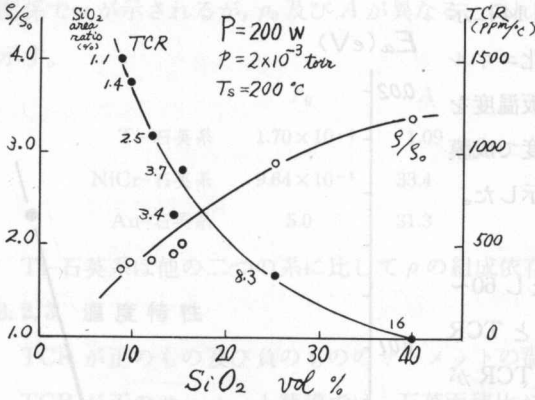


図 16 体積組成比と  $\rho$ , TCR との関係

Fig. 16. Dependence of  $\text{SiO}_2$  vol % in thin films upon resistivity and TCR.

一般に金属薄膜では膜厚が金属内自由電子の平均自由行程に近づくと表面での電子の散乱により実効的自由行程の減少をまねき、 $\rho$ が増大する。thin wire model の場合にも同様の考察にもとづき wire の直径が平均自由行程に近い、更に小さくなると  $\rho$  の増大をきたすとし、この時の wire の  $\rho$  の変化は、Dingle<sup>7)</sup> によって次式で与えられている。

$$f(k) = \frac{\rho}{\rho_0} = \begin{cases} 1 - \frac{3}{4k} + \frac{3}{8k^3} & (\text{但し } k \gg 1) \\ k - \frac{3}{8}k^2 \left( \ln \frac{1}{k} + 1.059 \right) - \frac{2k^3}{15} & (\text{但し } k \ll 1) \end{cases}$$

ここに  $k = \frac{d}{\lambda}$ ,  $d$ : thin wire の等価直径。一方、表面散乱効果を考慮したときの TCR の変化は Savornin<sup>8)</sup> によって

$$g(k) = \frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{f(k) - k \frac{df(k)}{dk}}{f(k)}$$

となることが知られ、上の  $f(k)$  を代入すると、

$$g(k) = \begin{cases} 1 - \frac{3}{2k} + \frac{3}{2k^2} & (k \gg 1) \\ \frac{4k^3 + 3k^2 \left( \ln \frac{1}{k} + 0.059 \right)}{k - \frac{3k^2}{8} \left( \ln \frac{1}{k} + 1.059 \right)} & (k \ll 1) \end{cases}$$

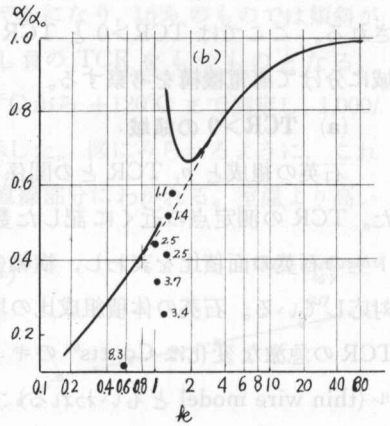
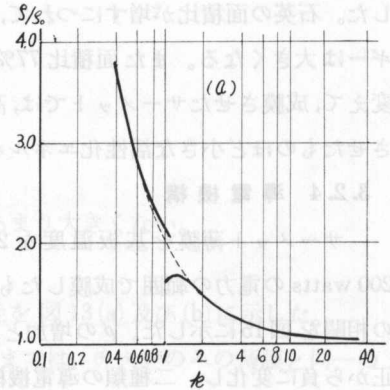


図 17  $\rho/\rho_0$  及び  $\alpha/\alpha_0$  の計算値

Fig. 17. Numerical calculation of resistivity and TCR by thin wire model.

となる。

石英の混入によりチタン薄膜が連続膜からキャピラリー状の膜に変化してゆくものとすれば、キャピラリーの等価直径が石英の増加とともに小さくなり、 $\rho$ の増大とTCRの減少をもたらすことになる。図17(a)及び(b)に $\rho/\rho_0$ と $\alpha/\alpha_0$ の計算値を示した。図16に示した石英の混入による $\rho$ の変化( $\rho/\rho_0$ )の実測値と図17(a)から求め、先に3.2.1(e)で求めたチタン中の平均自由行程 $\lambda=184\text{ \AA}$ の値を用いてキャピラリーの等価直径を計算して図18に示した。石英の体積組成比が50%に近づくと、キャピラリーの等価直径は小さくなる様子が解る。また図16から求めた $\alpha/\alpha_0$ の値を図17(b)にplotして理論値との比較を示した。黒丸の近くに記した数字は図16と同様にターゲット上の石英の面積比である。石英の面積比が1.1~2.5%附近では実験値と理論値が非常によく一致するが、3%附近からずれはじめ、8.3%では実験値の方がはるかに小さくなる。8.3%附近からキャピラリーが切れて、島構造の部分が変わらなくなるためと思われる。

### (b) TCR < 0 の領域

図13(b)に示したように負のTCRをもつサーメット抵抗のアルレニウス・プロットは $1,000/T$ の値が4.5附近で二つの直線に分割されている。低温側の小さな値の活性化エネルギーは、石英中の浅いトラップを介しての伝導の結果と思われる。一方、室温側の活性化エネルギーは島から島(金属)への、電子のホッピング・プロセスによるもの又はトンネリングによるものと考えられる。しかし何れの $E_a$ も室温の $kT$ エネルギーよりも小さいことは興味ある現象である。

Hill<sup>9)</sup>によれば半径 $r$ の島が間隔 $s$ で並んでいるときの伝導の活性化エネルギーは、

$$E_a = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \left\{ \frac{r+s}{r(2r+s)} \right\}$$

(但し、 $\epsilon_r$ : 間隙を埋めている物質の比誘電率)

で与えられる。この式で、今 $\epsilon_r=4$ とし数値計算した結果が図19に示されている。 $E_a$ の大きさは $s$ よりもむしろ $r$ の値によってきまると考えられる。図14の活性化エネルギーの実測値と比較すると、ターゲット上の石英面積比27から58%で成膜したサーメットについては $E_a$ は0.0015から0.0038 eVの値で、これは $r=10\text{ \AA}$ の曲線に相当する。つまり、サーメット薄膜中の石英の組成が増すと、チタンの島の直径はあまり変化しないで、島と島との間隔が広がっ

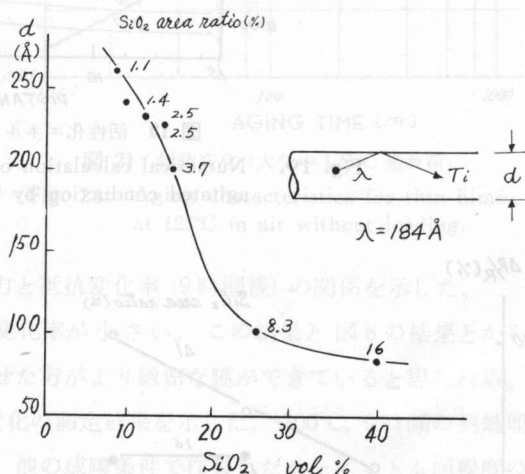


図18 キャピラリーの等価直径と石英体積組成比との関係

Fig. 18. Equeivalent diameter versus film composition (SiO<sub>2</sub> vol %).

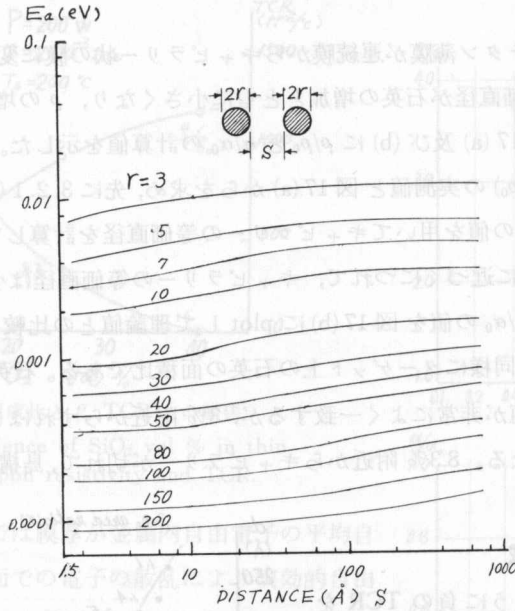


図 19 活性化エネルギーの数値計算例

Fig. 19. Numerical calculation of activation energy for thermal agitated conduction by island structure model.

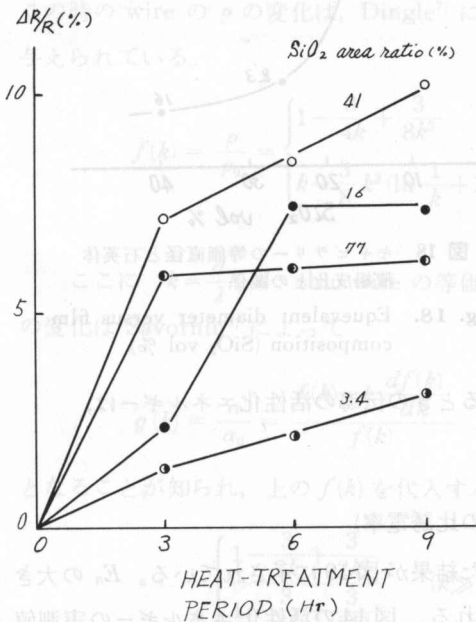


図 20 (a) 膜組成と熱処理効果

Fig. 20 (a) Resistance change versus heat-treatment (300°C in air) period and SiO<sub>2</sub> area ratio.

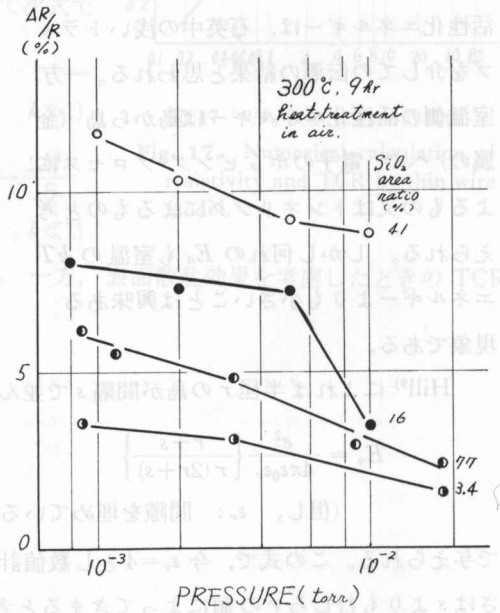


図 20 (b) スパッタガス圧の熱処理に及ぼす効果

Fig. 20 (b) Resistance change by heat-treatment for 9 hrs. in air as a function of sputtering gas pressure.

ている膜構造をもつと考えられる。電子顕微鏡観察によってチタン粒子を確認できなかったが、これは直径が小さすぎたためであろう。また面積比 77% のサーメットでは  $T_s=200^\circ\text{C}$  で  $E_a=0.02\text{ eV}$  であり、チタンの量が少いため島の径がかなり小さくなっていると考えられる。一方、面積比 16% のサーメットは  $E_a=0.00026\text{ eV}$  であり、これは  $r=100\sim 150(\text{\AA})$  の曲線に対応している。面積比が 8.3% から 16% でのターゲットで成膜されたサーメット薄膜では、キャピラリー構造と島構造とが混在して  $\text{TCR}\approx 0$  になっていると思われる。

### 3.2.5 熱処理効果と経時変化

大気中で  $300^\circ\text{C}$  の熱処理を行ったときの抵抗値の変化を図 20 (a) に示した。いずれのサーメットも 9 時間の熱処理で飽和値に達する。図 20 (b) には成膜時のアルゴン圧力と抵抗変化率 (9 時間後) の関係を示した。

高い圧力で成膜させたサーメットの方が変化率が小さい。この結果と図 8 の結果とから Ti-SiO<sub>2</sub> 系サーメットでは高い圧力で成膜させた方がより緻密な膜ができていると思われる。

図 21 に大気中、 $125^\circ\text{C}$ 、無負荷での経時変化の測定結果を示した。 $300^\circ\text{C}$ 、9 時間の熱処理により経時変化が改善されることがわかった。他の成膜条件で作製したサーメットも同程度の経時変化を示した。この変化率は  $\text{Ta}_2\text{N}$  の経時変化と同程度で<sup>10)</sup> 非常に安定な抵抗体薄膜であることがわかる。

## 4. む す び

RF 四極スパッタ装置でチタン-石英系サーメット薄膜を作製する際の電気的特性、安定性に及ぼす RF 電力、アルゴンガス圧力、基板温度、複合ターゲットの面積比の影響を検討し以下のように得られた結果をまとめる。

- (1) チタン-石英系では  $\rho=60\ \mu\Omega\text{-cm}$  から  $70\ \text{m}\Omega\text{-cm}$ 、 $\text{TCR}=\pm 3,000\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$  のサーメット薄膜抵抗を実現した。
- (2) 実用的な温度係数  $\pm 250\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$  をもつ  $\rho$  の範囲は  $\rho=180\sim 500\ \mu\Omega\text{-cm}$  である。
- (3) 石英の面積比を 16% にすると、成膜条件の広い範囲にわたって ( $P=60\sim 200\ \text{watts}$ ,  $p=2\sim 5\times 10^{-3}\ \text{torr}$ ,  $T_s=130\sim 450^\circ\text{C}$ )  $\rho=220\pm 10\ \mu\Omega\text{-cm}$ 、 $\text{TCR}\approx 0\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$  のサーメット抵

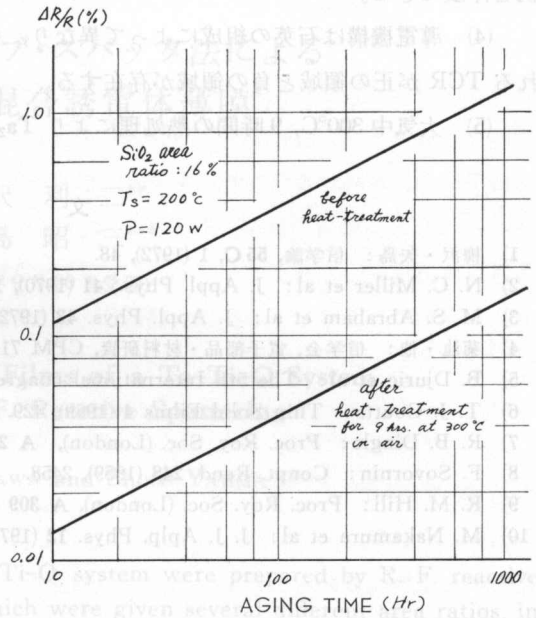


図 21 経時変化 (大気中  $125^\circ\text{C}$  無負荷)

Fig. 21. Aging characteristics for thin films at  $125^\circ\text{C}$  in air without loading.



抗を作製できる。

(4) 導電機構は石英の組成によって異なり、キャピラリーモデルと島構造モデルで説明される TCR が正の領域と負の領域が存在する。

(5) 大気中 300°C, 9 時間の熱処理により Ta<sub>2</sub>N と同程度の安定性をもつものが得られる。

文 献

- 1) 梅沢・矢島: 信学論, **55 C**, 1 (1972), 48.
- 2) N. C. Miller et al: J. Appl. Phys., **41** (1970), 1850.
- 3) M. S. Abraham et al: J. Appl. Phys. **43** (1972), 2537.
- 4) 菊池・他: 信学会, 電子部品・材料研資, CPM 71-19.
- 5) B. Djuric et al: The 5th International congress of x-ray optics and micrs analysis. (1969).
- 6) T. J. Coutts: Thin Solid Films **4** (1969), 429.
- 7) R. B. Dingle: Proc. Roy. Soc. (London), **A 201** (1950), 545.
- 8) F. Sovornin: Conpt. Rend. **248** (1959), 2458.
- 9) R. M. Hill: Proc. Roy. Soc. (London), **A 309** (1969), 377.
- 10) M. Nakamura et al: J. J. Aplp. Phys. **12** (1973), 30.

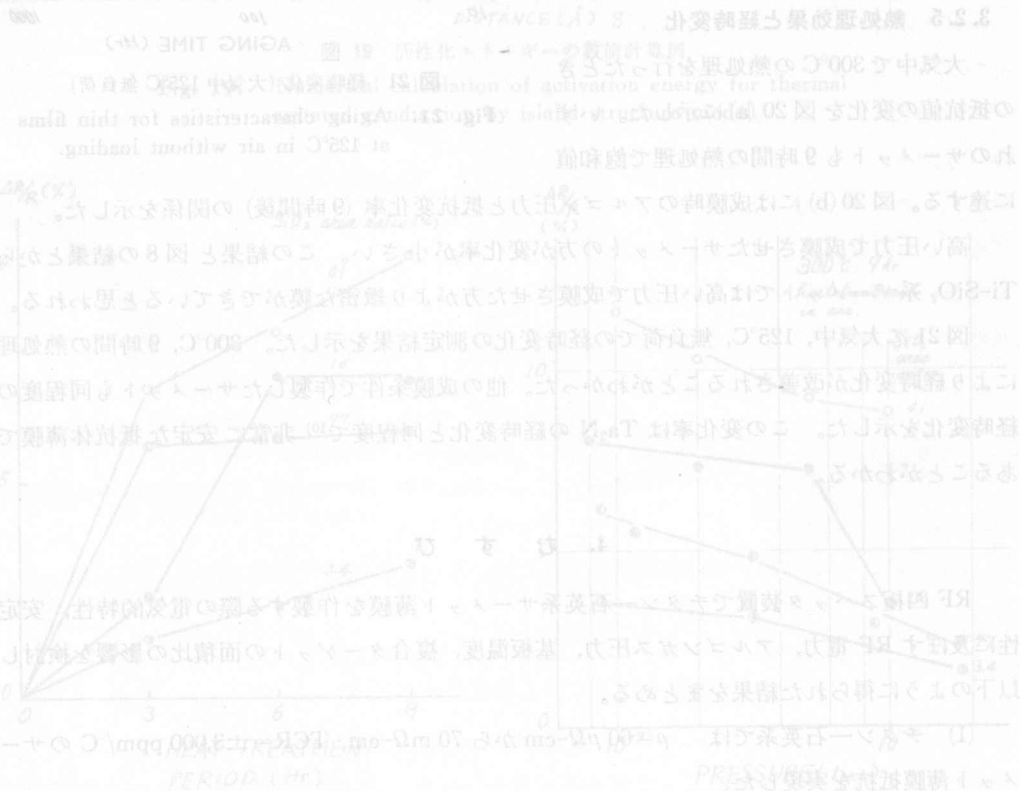


Fig. 20 (a): Resistance change versus heat treatment time at 300°C. Fig. 20 (b): Resistance change by heat treatment at 300°C for different Ta<sub>2</sub>N concentrations.