UDC 621.316.8.011.22-413; 621.3.015.53.029.5

論 文

47-A 63

高周波トリミングによる抵抗値変化の機構

日本大学 武田 義章

日本大学 原 留美吉

1. ま え が き

厚膜抵抗体はその表面へ高周波放電を受けた場合、抵抗値に変化がみられる。この抵抗値変化は放電開始初期に減少するが、引き続き放電を続行すると抵抗値は増加する現象を示す。現在、この現象を利用して混成集積回路の抵抗体をトリミングすることが試みられている。

混成集積回路のトリミング方法には、サンドブラスト法、⁽¹⁾レーザトリミング法^{(2)~(4)}などが一般に使用されている。これらのトリミング法は抵抗体の一部を切削し、形状を変化させることによって抵抗値を上昇させる方法であり、抵抗値の降下は望めない。このため理想的なトリミング法としては、(1)同一装置により、(2)簡単な切換操作のみで抵抗値上昇、降下両トリミングが可能であり、(3)しかも抵抗値測定と同時にその抵抗値の高低に応じて自動的にスイッチが切り換り、上昇または降下のトリミングを行なうことである。

この要望に応じる方法の一つが、上記の高周波放電によって抵抗体の抵抗値が変化することを利用する高周波トリミング法⁽⁵⁾と思われる。しかし、この高周波トリミングについては不明な点が多く、まだそのトリミング機構についてはほとんど明確にされていないのが現状である。良好な高周波トリミング法を確立するためには、高周波

放電による抵抗値変化の機構を明らかにする必要がある。そこで筆者らは、混成集積回路に盛んに使用されている抵抗体のうちの一つ RuO₂ 系厚膜抵抗体を用いて、その機構を明確にすることを試みた。

2. 試料および実験方法

厚膜抵抗体には現在 Pd-Ag 系、RuO₂ 系抵抗体が最も多く使用されている。このうち Pd-Ag 系抵抗体は、抵抗体製作時における焼成条件によって抵抗体の組成が大きく変化する。⁽⁶⁾そして、これに伴って抵抗体の抵抗値もまた変化する。⁽⁷⁾これに対して RuO₂ 系抵抗体は組成変化が非常に少ない⁽⁸⁾ので、考察を単純化する意味から本実験には RuO₂ 系抵抗体を試料として用いた。

この RuO₂ 系抵抗体は現在大別して RuO₂・Ag を添加したものと、⁽⁹⁾ RuO₂ の原子価制御を行なうため Nb₂O₅ を添加したもの⁽¹⁰⁾を導体成分とする2種類がある。そこでトリミング用試料として第1表のような RuO₂・ガラス、RuO₂・Ag・ガラス、RuO₂・Nb・

第1表 試料の組成

Table 1. Composition of experimental resistors.

1. 抵抗体ペーストの組成(重量%)			
(A) RuO ₂ , Ag, Nb ₂ O ₅ 金属粉末	固形成分 70% [(A), (B) を混合]	有機溶剤 27% [(C), (D) を混合]	抵抗体ペースト
(B) ガラス粉末			
(C) α-ターピネオール 25%			
(D) ブチル・カルピトール・アセテート 75%			
(E) エチル・セルローズ 添加剤 3%			
(注) RuO ₂ , Ag, Nb ₂ O ₅ 粉末の平均粒径 0.1 μ, ガラス粉末平均粒径 0.8~1.0 μ			
2. 固型成分の組成(重量比)			
試料	組 成 比		
	添加物 Ag または Nb ₂ O ₅ と RuO ₂ との比	導電体金属成分とガラス成分との比	
RuO ₂ ・ガラス	—	RuO ₂ : ガラス = 1 : 2	
RuO ₂ ・Ag・ガラス (A)	Ag : RuO ₂ = 1 : 2	(RuO ₂ + Ag) : ガラス = 1 : 2	
RuO ₂ ・Ag・ガラス (B)	Ag : RuO ₂ = 1 : 1	(RuO ₂ + Ag) : ガラス = 1 : 2	
RuO ₂ ・Nb ₂ O ₅ ・ガラス (A)	Nb ₂ O ₅ : RuO ₂ = 1 : 10	(RuO ₂ + Nb ₂ O ₅) : ガラス = 1 : 2	
RuO ₂ ・Nb ₂ O ₅ ・ガラス (B)	Nb ₂ O ₅ : RuO ₂ = 1 : 5	(RuO ₂ + Nb ₂ O ₅) : ガラス = 1 : 2	

Mechanism of Resistance Change by High Field Discharge Trimming. By Y. TAKE-TA, Non-member & M. HARADOME, Member (The Physical Science Laboratories, Nihon University).

武田義章: 日本大学習志野物理教室
原留美吉: 正員, 日本大学習志野物理教室

第2表 試料製作条件

Table 2. Preparation conditions of resistors.

基 板	96% アルミナ
印刷条件	スクリーザ圧 1 LB./IN
	スクリーザ速度 8 cm/s
	スクリーン ステンレス鋼製, 250メッシュ
	レベリング 10 min
焼結条件	乾 燥 130°C, 20 min
	焼結温度 780°C
	焼結時間 15 min
	焼結温度上昇速度, 降下速度 25°C/min
電 極	ふんい気 空気
	抵抗体焼結後 Pd-Ag 電極焼結
抵抗体の平均膜厚	17 μ

第3表 トリミング前の抵抗体電気特性

Table 3. Electrical properties of as-sintered resistors.

試 料	抵抗値 (k Ω)	TCR (ppm/°C)	雑 音 (dB)
RuO ₂ ・ガラス	0.345 $\pm$ 3%	+593 $\pm$ 8%	-15 (-18~-11)
RuO ₂ ・Ag・ガラス (A)	3.9 $\pm$ 2%	-279 $\pm$ 10%	-2.5 (-8.3~+4.5)
RuO ₂ ・Ag・ガラス (B)	11.0 $\pm$ 5%	-328.6 $\pm$ 13%	-4.4 (-7.5~-1.5)
RuO ₂ ・Nb・ガラス (A)	1.5 $\pm$ 3%	+685 $\pm$ 10%	-5.0 (-11.5~+1.5)
RuO ₂ ・Nb・ガラス (B)	22.0 $\pm$ 4%	+421 $\pm$ 15%	-5.8 (-12.0~+1.5)

ガラスの3種類の抵抗体を用いた。

この抵抗体の製作条件は第2表にみるようなものであり、この抵抗体の形状と寸法を第1図に示す。そして、この条件によって製作した抵抗体のトリミング前における電気的特性を表3に示す。

試料のトリミングは第2図に見るような装置で行な

第1図 試料の形状寸法

Fig. 1. Resistor pattern.

第2図 トリミング装置のダイアグラム

Fig. 2. Block diagram of resistor trimming.

った。本装置は抵抗体表面に近接した放電電極先端部に2~10kVの高周波(本実験では500kHz一定)電圧を印加し、放電電極先端部と抵抗体表面で単極放電を行ない、抵抗値を変化させるものである。放電電極と抵抗体表面間の距離は任意に選択できる。

本実験では放電電極と抵抗体表面間距離1mm、高周波放電電圧2kVでトリミングした(放電電圧が約5kV以上ではしばしば放電電極と抵抗体の電極間で放電が起こる。そこで抵抗体電極と放電電極との間に放電が起こることなく、最も安定な連続放電を行なうことが容易な放電条件である放電電圧2kV、放電電極と抵抗体表面間距離1mmで以下の実験を行な

った。)抵抗体のトリミングは第1図に見るように試料中央部を界とし、その一方を放電電極を移動しながらトリミングした。そして、トリミングした部分とトリミングしていない部分を顕微鏡、X線マイクロアナライザ(EMX)、電位分布測定などにより調べた。

3. 実験結果

第3図は放電電極を移動させながら連続放電を行ない、このとき放電時間とともに変化する抵抗値の変化をプロットしたものである。また第4表にトリミングした抵抗体の電気的特性を示す。

次に、トリミングした抵抗体の表面を顕微鏡観察した。第4図は光学顕微鏡による表面写真である。用いた試料はRuO₂・Nb・ガラス(A) [以下Nb(A)] 1.2k Ω を0.73k Ω まで降下(39%降下)したものである。トリミング領域に数多くのクレタ状の穴が認められる。この穴数は放電時間とともに、すなわちトリミング量に比例して増加してゆく傾向が見られる。この第4図にみる状態は、RuO₂・Nb・ガラス(B) [以下Nb(B)], RuO₂・Ag・ガラス(A), (B) [以下Ag(A), Ag(B)]でも同様である。しかし、RuO₂・ガラス(以後RuO₂と記す)ではトリミングによる表面状態の変化は光学顕微鏡では見られなかった。

第6図~第10図は走査形電子顕微鏡による表面写真である。第6図、第7図はRuO₂、第8図~第10

第3図 放電時間と抵抗値

Fig. 3. Trimming time vs. resistance.

第 4 表 トリミング後の電気特性

Table 4. Electrical properties of trimmed resistors.

試 料	放電時間 80 s $\Delta R/R \approx 0$		放電時間 2,000 s $\Delta R/R = 20\%$	
	TCR (ppm/°C)	雑音 (dB)	TCR (ppm/°C)	雑音 (dB)
RuO ₂ ・ガラス	+525±18%	-42±6	+611±13%	-33±4

試 料	$(\Delta R/R) = -20\%$		$(\Delta R/R) = \text{min}$		$(\Delta R/R) = 5\%$	
	TCR (ppm/°C)	雑音 (dB)	TCR (ppm/°C)	雑音 (dB)	TCR (ppm/°C)	雑音 (dB)
RuO ₂ ・Ag・ガラス (A)	-345±16%	-4.3±4	-383±20%	-6.3±4	-365±29%	-7.3±7
RuO ₂ ・Ag・ガラス (B)	-330±20%	-1.5±3	-436±25%	-5.7±5	-435±33%	-4.7±6
RuO ₂ ・Nb・ガラス (A)	+560±18%	-6.8±4	+550±22%	-7.7±5	+570±30%	-10±6
RuO ₂ ・Nb・ガラス (B)	+263±21%	-5.0±3	+185±24%	-7.9±6	+238±32%	-7.5±7

(a) トリミングしていない領域

(b) トリミング領域

第 4 図 RuO₂・Nb・ガラス (A) 抵抗体表面 (倍率 400 倍)Fig. 4. Surface view of RuO₂・Nb・Glass (A) resistors. (photo 400M)

第 5 図 放電時間と抵抗値変化

Fig. 5. Trimming time vs. resistance change.

は Nb (A) の表面である。第 6 図 (b), 第 7 図 (b) は第 5 図にみる点 A, B, 第 8 図～第 10 図は点 C, D, F での表面である。この第 8 図 (b)～第 10 図 (b) にみる表面状態は Ag (A), (B), Nb (B) でもほぼ同様の傾向を示す。

表面電位分布の測定を行なった。この測定は第 11 図にみるように試料へ直流 1 V を印加し、探針により走

(a) トリミングしていない領域 (b) トリミング領域

第 6 図 RuO₂・ガラス抵抗体の表面 (+1.5 % トリミング, 倍率 4,000 倍)Fig. 1. Surface view of RuO₂-Glass resistors. (+1.5% trimming change, photo 4,000M)

(a) トリミングしていない領域 (b) トリミング領域

第 7 図 RuO₂・ガラス抵抗体表面 (+3% トリミング, 倍率 4,000 倍)Fig. 7. Surface view of RuO₂-Glass resistors. (+3% trimming change, photo 4,000 M)

査する方法を用いた。結果の一例として Nb (A) の場合を第 12 図に示す。電位分布がトリミングによって変化する様子は他の試料でも同様である。

第 13 図～第 17 図は EMX 分析の結果である。分析はガラスの変化をみるため Pb, 導電体成分の変化は Ru, Ag, Nb 元素について行なった。また試料中の酸素についてもその変化を調べた。

第 13 図は RuO₂ の分析結果である。第 13 図 (a) は 350 Ω を約 0.8% (354 Ω) 上昇, (b) 図は 340 Ω を約 5.0% (357 Ω) 上昇した試料の分析結果である。第

(a) トリミングしていない領域 (b) トリミング領域
第 8 図 $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{ガラス}$ (A) 抵抗体表面
(-15% トリミング, 倍率 4,000 倍)

Fig. 8. Surface view of $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{Glass}$ (A) resistors. (-15% trimming change, photo 4,000M)

(a) トリミングしていない領域 (b) トリミング領域
第 9 図 $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{ガラス}$ (A) 抵抗体の表面
(-20% トリミング, 倍率 4,000 倍)

Fig. 9. Surface view of $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{Glass}$ (A) resistors. (-20% trimming change, photo 4,000M)

(a) トリミングしていない領域 (b) トリミング領域
第 10 図 $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{ガラス}$ (A) 抵抗体の表面
[($\Delta R/R$)_{min} = -25% トリミング後, さらに抵抗値を +17% 上昇, 倍率 4,000 倍]

Fig. 10. Surface view of $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{Glass}$ (A) resistors. [After trimming change ($\Delta R/R$)_{min} = -25%, resistance increases up to +17%, photo 4,000M]

14 図は Ag (A) の分析結果である。(a) 図は $3.3\text{k}\Omega$ を約 20% 降下 ($2.64\text{k}\Omega$), (b) 図は $3.6\text{k}\Omega$ を ($\Delta R/R$)_{min} = -30% トリミング ($2.52\text{k}\Omega$) 後, この $2.52\text{k}\Omega$ を約 11% 上昇して $2.8\text{k}\Omega$ へと抵抗値を変えた試料である。トリミング領域で見られる Ag 増加の傾向は,

第 11 図 電位分布測定ダイアグラム

Fig. 11. Block diagram of resistance profile measurement.

第 12 図 $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{ガラス}$ (A) の電位分布
Fig. 12. Resistance profile of $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}\cdot\text{Glass}$ (A) resistors.

(a) +0.8% トリミング
(b) +5% トリミング

第 13 図 $\text{RuO}_2\cdot\text{ガラス}$ 抵抗体の EMX 分析
Fig. 13. EMX line analysis of $\text{RuO}_2\cdot\text{Glass}$ resistors.

Ag 添加量の多い Ag (B) で顕著である。(第 15 図) 第 15 図(a)は $1.2\text{k}\Omega$ を 40% 降下 ($7.2\text{k}\Omega$), (b) 図は $11\text{k}\Omega$ を ($\Delta R/R$)_{min} = -52% トリミング ($5.28\text{k}\Omega$) 後, この $5.28\text{k}\Omega$ を約 50% 上昇して $7.92\text{k}\Omega$ へと抵抗値を変えた試料の結果である。第 16 図は Nb (A) の分析結果である。第 16 図(a)は $1.6\text{k}\Omega$ を約 19% 抵抗値降下 ($1.3\text{k}\Omega$), (b) 図は $1.4\text{k}\Omega$ を ($\Delta R/R$)_{min}

(a) -20% トリミング
(b) $(\Delta R/R)_{\min} = -30\%$ トリミング後, 抵抗値を 11% 上昇

第 14 図 $\text{RuO}_2 \cdot \text{Ag} \cdot \text{ガラス}(A)$ 抵抗体の EMX 分析

Fig. 14. EMX line analysis of $\text{RuO}_2 \cdot \text{Ag} \cdot \text{Glass}(A)$ resistors.

(a) -40% トリミング
(b) $(\Delta R/R)_{\min} = -52\%$ トリミング後, 抵抗値を +50% 上昇

第 15 図 $\text{RuO}_2 \cdot \text{Ag} \cdot \text{ガラス}(B)$ 抵抗体の EMX 分析

Fig. 15. EMX line analysis of $\text{RuO}_2 \cdot \text{Ag} \cdot \text{Glass}(B)$ resistors.

$\approx -62\%$ トリミング (0.53k Ω) 後, この 0.53k Ω を約 30% 上昇し 0.69k Ω へと抵抗値を変えた試料である。

第 17 図は Nb(B) の分析結果である。(a) 図は 21k Ω を約 12% 抵抗値降下 (18.5k Ω), (b) 図は 22k Ω を $(\Delta R/R)_{\min} = -60\%$ トリミング (8.8k Ω) 後, この 8.8k Ω を約 50% 上昇し 13.2k Ω へと抵抗値を変えた結果である。トリミングにより Nb 濃度はさほど変化しない。

なお, EMX よりも試料への透過力の大きな X 線

(a) -19% トリミング
(b) $(\Delta R/R)_{\min} = -62\%$ トリミング後, 抵抗値を +30% まで上昇

第 16 図 $\text{RuO}_2 \cdot \text{Nb} \cdot \text{ガラス}(A)$ 抵抗体の EMX 分析

Fig. 16. EMX line analysis of $\text{RuO}_2 \cdot \text{Nb} \cdot \text{Glass}(A)$ resistors.

(a) -12% トリミング
(b) $(\Delta R/R)_{\min} = -60\%$ トリミング後, 抵抗値を +50% 上昇

第 17 図 $\text{RuO}_2 \cdot \text{Nb} \cdot \text{ガラス}(B)$ 抵抗体の EMX 分析

Fig. 17. EMX line analysis of $\text{RuO}_2 \cdot \text{Nb} \cdot \text{Glass}(B)$ resistors.

X 線分析を試みた。この結果はトリミング領域で Ru とガラス成分が減少, Ag 濃度は増加, トリミングしていない領域で多少 Ag 濃度が減少し, EMX 分析とはほぼ同様の傾向を示した。トリミング部分の表面写真によれば, 放電エネルギーの照射によって抵抗体製成物質 (Ru, ガラス, Ag または Nb) の蒸発が起こっており, その結果, 膜面に数多くの穴が生成されている。この穴の深さは第 3 図にみる抵抗値減少域では表面より 5~12 μ 程度であり, 抵抗体膜はその膜厚

第 18 図

Fig. 18.

第 19 図

Fig. 19.

の約 30~60% が損傷を受けている。これらのことから考え、抵抗体中の Ag は膜内部より表面に浮上よりも、むしろ高周波放電によりトリミングしていない領域よりトリミング領域へと移動する傾向があると考えられる。

高周波放電により抵抗体は表面に損傷を受けているが、このほか膜内部にはひずみも生じているものと考えられる。また試料には酸素の減少も見られる。この減少により導電体成分 $\text{RuO}_2\cdot\text{Ag}$, $\text{RuO}_2\cdot\text{Nb}$ 中には酸

素欠陥が生じている。このひずみ、酸素欠陥などがどの程度高周波トリミングによる抵抗値変化に影響を及ぼしているかを調べるため、トリミングした試料を Ar および O_2 ふんい気中で熱処理した。処理条件は温度 300°C 、時間 30 分である。この試験はひずみの影響を調べるため最初 Ar 中で熱処理し、電位分布と EMX 分析した。その後、同一試料を O_2 中で熱処理し、再び電位分布、EMX 分析した。なお、 $\text{O}_2 \rightarrow \text{Ar}$ の順に処理した場合には一定の傾向はみられなかった。

第 18 図(a)~(c)は電位分布, 第 19 図(a)~(c)は EMX 分析結果である。第 18 図, 第 19 図において用いた試料は RuO_2 350 Ω を 5% 抵抗値上昇, Ag (B) は 11.5 k Ω を -20% 降下, Nb (B) は 21 k Ω を -20% 降下したものである。EMX 分析では Ru, Pb は処理の前後で濃度分布に変化がみられない。このため第 19 図(b), (c)には示さなかった。

4. 考 察

<4.1> RuO_2 抵抗体 RuO_2 は第 3 図にみるように放電開始後, 約 10² s 付近まではほとんど抵抗値に変化を生じない。しかし, その後徐々に抵抗値は増加する。そこで, この RuO_2 の抵抗値変化については, 放電開始初期の抵抗値微小変化領域と, その後に続く抵抗値増加領域とに分けて考える。

(1) 抵抗値微小変化領域 この領域では放電によって膜面にほとんど変化を生じない。また, 第 13 図に見るようにトリミング領域の抵抗体組成成分にもさほど変化は生じない。 RuO_2 は有機溶剤の蒸発, 発泡現象のため試料中に多数の穴が存在し, 立体的な網目構造となっている。また, この抵抗体は約 300 Ω 程度の低抵抗体である。このため熱放散が他の試料と比べて良好であり, 放電エネルギーは試料の蒸発に消費される一方, 膜内部でもかなり熱伝導などにより消費されるものと思われる。このため抵抗体の網目状の一部が放電によって破壊されるのはごくわずかであると考えられる。

また熱処理の結果によれば, Ar 処理は抵抗体中に発生しているひずみの一部を除去するため抵抗値が減少すると考えられ, このひずみは抵抗値上昇の原因となっている。 O_2 処理では抵抗値が増加する。この結果は, 放電により試料中に生成された酸素欠陥は抵抗値降下作用を示しているものと考えられる。

これらの結果から考えると, RuO_2 では放電初期に抵抗体の網目構造の一部が破壊され, また試料中に生じるひずみによって抵抗値は上昇する。しかし, 酸素欠陥によって抵抗値は降下する。また放電時に試料を流れる高周波電流と, さきに述べた試料内部で消費される放電エネルギーとにより, 抵抗体内に熱処理, エージング効果などが起こる。これらの作用により, 金属粒子間, 金属-ガラス間の接触状態が良好となり, これは抵抗値降下を生じるとともに, TCR と雑音を減少させる原因となっているものと思われる。そして放電初期には, これら抵抗値上昇, 降下各因子が均衡を保っているため, 抵抗値にほとんど変化が現れないものと考えられる。

(2) 抵抗値増加領域 長期間の放電により, 第 13 図に見るように抵抗体の蒸発が起こり, 第 6 図, 第 7 図に見るように抵抗体網状構造に破壊が進む。このため熱放散が悪化し, 抵抗体は発熱する。この結果, 組成の蒸発がより盛んとなり, 抵抗値は増加し, TCR と雑音も増す。

<4.2> Ag, Nb 添加抵抗体 RuO_2 抵抗体へ Ag, Nb を添加した抵抗体は, 第 3 図に見るように放電初期に抵抗値は減少し ($\Delta R/R$)_{min} が生じる。そして放電を継続することにより抵抗値は増加する。そこで, これら抵抗体の抵抗値変化を考える場合, 放電初期にみられる抵抗値降下の部分 (抵抗値降下領域) と, その後に続く抵抗値の増加する部分 (抵抗値上昇領域) とに分けて考える。

(1) Ag 添加試料の抵抗値降下領域 第 14 図, 第 15 図に見るように, トリミング部分ではガラス成分および Ru は放電時間の経過とともに減少している。また第 14 図(a)では若干トリミング領域で酸素が増加しているが, トリミング量および Ag 量が増加するにつれて酸素は減少している。このことから酸素もまた放電時間の経過とともに減少するものと考えられる。この酸素の減少はガラス成分中のほかに導電体成分中からも起こる。このため導電体成分を構成している Ru, Ag 酸化物中には酸素欠陥が生成され, トリミング部分での抵抗値降下の原因の一つとなる。また Ag は放電時間が長くなるにつれ, すなわちトリミング量の増加とともにトリミング領域での濃度が大幅に増加している。この現象は添加する Ag 量の多い試料ほど顕著である。

これらの結果, トリミング部分では Ru 成分の減少により抵抗値は増加する。しかし, 導電体成分中に生成される酸素欠陥およびガラス成分の減少のほか, 特に Ag の移動により導電体成分 Ag の増加によって抵抗値の減少が起こる。

熱処理の結果, トリミング部分にみられる高濃度の Ag はトリミングしていない部分へ多少拡散されるが, 膜面に存在する穴などの欠陥のため分布の変化はわずかである。この結果から考えると, トリミング中に移動する Ag はほぼ可逆的な移動と考えられ, トリミングによって減少した抵抗値を示す抵抗体は安定なものである。また, トリミングによって生じるひずみが抵抗値上昇に影響するよりも, 上記の原因による抵抗値降下が大きいことがわかる。

また, この抵抗値減少域で TCR と雑音特性が改善されるが, これは放電時に流れる高周波電流によるエージング効果, トリミング領域でガラス含有量が低

下し、相対的に導電体成分が増加するなどの原因によるものと考えられる。

(2) Nb 添加試料の抵抗値降下 Nb 添加試料の抵抗値降下の機構は、Ag 添加試料の場合と多少異なるものと考えられる。

第 16 図、第 17 図に見るトリミング領域では、酸素、Ru、ガラス成分が減少する。この Nb 添加抵抗体は

で示される原子価制御がなされており、抵抗体導電成分は $\text{Nb}_x^{5+} \cdot \text{Ru}_{1-x}^{3+} \cdot \text{Ru}_{(1-2x)}^{4+} \cdot \text{O}_2^{2-}$ の組成を持つ固溶体となっている。この固溶体は放電により Ru 成分が蒸発するが、Ru が蒸発する場合、 Ru^{4+} または Ru^{3+} が選択的に蒸発するのではなく、 Ru^{4+} 、 Ru^{3+} おのおのは $x/(1-2x)$ の比で減少するものと考えられる。一方、導電体成分の一つ Nb の濃度変化は非常に少ない。このような組成変化のため、トリミング部分において膜中に残存する金属成分は原子価の均衡を保つため $\text{Ru}^{4+} \rightarrow \text{Ru}^{3+}$ の変化を生じる。また Nb もまた $\text{Nb}^{5+} \rightarrow \text{Nb}^{4+}$ の変化を生じる可能性もあり、これら Ru^{3+} 、 Nb^{4+} の最外核電子は容易に励起されやすい状態となる。このため導電体成分には余剰電子の増加が起こる。酸素の減少は O_2 処理により抵抗値が増加することから抵抗値降下の作用をする。ガラス成分の減少は抵抗値降下をもたらす。

一方、Ar 処理によって抵抗値は減少し、ひずみはこの試料の場合もまた抵抗値降下の原因となっている。このほか、放電による膜破壊も抵抗値増加の因子である。

しかし酸素欠陥、 $\text{Ru}^{4+} \rightarrow \text{Ru}^{3+}$ または $\text{Nb}^{5+} \rightarrow \text{Nb}^{4+}$ への変化、ガラス成分の減少による抵抗値降下量が大きいため、抵抗体自身は抵抗値に減少を生じる。

抵抗値降下領域で TCR と雑音特性が改善されるが、この原因は Ag 添加試料の場合とほぼ同様と考えられ

る。

(3) Ag, Nb 添加試料の抵抗値上昇 放電時間の経過とともに試料表面は第 10 図に見るように穴数が増加する。そして第 6 図、第 7 図に見る RuO_2 試料表面と類似の状態となる。これは抵抗値上昇域では膜破壊現象が放電時間の増加とともに進むため抵抗値は増加し、TCR と雑音もまた増すものと考えられる。

5. む す び

厚膜抵抗体表面へ高周波放電することにより抵抗値に変化が起こる。この抵抗値変化の原因を RuO_2 および $\text{RuO}_2 \sim \text{Ag, Nb}$ を添加した試料を用いて調べた。その結果、以下のことが明確になった。

RuO_2 およびこれに Ag または Nb を添加した抵抗体の抵抗値は長時間の放電により増加する。これは抵抗体が放電により破壊されるためである。

RuO_2 のみは放電により抵抗値が増加するが、これに Ag または Nb を添加すると放電初期に抵抗値の減少がみられる。この抵抗値降下は Ag 添加の場合、放電により Ag の移動が起こり、Nb 添加の場合 Ru または Nb の原子価に変化が起こるなどが主因である。

また、この抵抗値減少域では TCR と雑音特性が改善される。

(昭和47年2月1日受付)

文 献

- (1) 菅田・原留：混成集積回路 p. 276 (昭 43) 工業調査会
- (2) 原留：最新混成集積回路技術 p. 68 (昭 44) 誠文堂新光社
- (3) J. G. Siekman Microelectronics and Reliability 7, 305 (1968)
- (4) 武田・原留，他：昭44電気四学会連大 p. 2169
- (5) F. J. Pakulski, et al.: 1968 Hybrid Microelectronics Symposium p. 145
- (6) 武田・原留：応用物理 39, 3, 221 (昭 45)
- (7) 武田・原留：応用物理 39, 6, 520 (昭 45)
- (8) 武田・原留：昭46年第18回応用物理連合講演会 p. 17
- (9) D. L. Herbst: 1971 Hybrid Microelectronics Symposium p. 173
- (10) G. S. Iles: 1968 Hybrid Microelectronics Symposium p. 161