

無電解金属皮膜抵抗体の短時間過負荷特性の改善

青木 博夫*・樋浦 正**

1. ま え が き

無電解めっき法によれば、従来からの真空蒸着法に比べて、未調整抵抗値 $10k\Omega$ 以上でかつ小さな温度係数（以下 TCR と略記）を有する金属皮膜抵抗体が容易に作製できる⁽¹⁾。しかしながら、定格の2.5倍電圧を5秒間印加後の抵抗値変化率で表わす短時間過負荷特性（以下 STOL と略記）は、目標値の $\pm 0.25\%$ 以内⁽²⁾におさまらないことが判明した。そこで筆者らは、パルスエージングを施すことにより、STOL の改善を試みたところ印加電圧と時間の組み合わせにより、STOL をほぼ0にすることができたのでここに報告する。

2. 試 料

直径1.7mm、長さ5.5mmの表面未研磨の1/4w型のムライト磁器円筒を抵抗基体として用いた。これに超音波洗浄を行った後、塩化第1スズによる感受性化、塩化パラジウムによる活性化の前処理を施した。次にこれを、めっき浴に浸漬するわけであるが、今回はその前段にめっき浴と同温度の純水に3分間浸漬する工程を挿入した。その目的は、各基体の表面温度分布のバラツキを少なくし、全表面にわたってめっき開始の時間をそろえるためである。本処理は、めっき膜厚の均一化および抵抗体間の抵抗値のバラツキの減少に効果があることが予想される。この処理の後に、表面温度が低下しないよう直ちに Ni-P めっき浴（浴量300ml、浴温 50°C ）中基体100本を50秒間浸漬し皮膜形成を行った。次に両端にスズめっき鉄製キャップを圧入し、 250°C 、2時間の熱処理を施した。熱処理後の抵抗値が $12\sim 13k\Omega$ のものを以下の実験の試料として用いた。なお工程ブロック図を図1に示す。

3. 実 験 方 法

パルス電圧印加装置のブロック図と信号のタイミングチャートを図2および図3に示す。まず10進2桁のデジタルスイッチに、パルス時間の倍数を設定する。つぎにスタートスイッチを押すことによりスタート信号が発生し、これをモノステーブルマルチバイブレータにより立ち上り微分を取る。これがダウンカウンタのロード信号となり、デジタルスイッチの値をロ

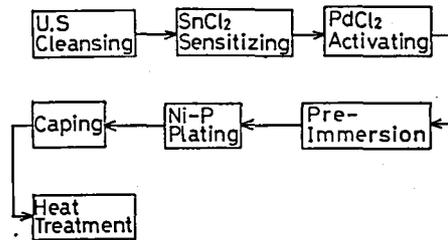


図1 めっき工程ブロック図

* 電気工学科 講師
** 電気工学科 教授
原稿受付 昭和61年9月29日

ードする。このロード信号の立ち上がりを再びモノステーブルマルチバイブレータに導きセット信号とする。このセット信号により RSFF をセットし、その“1”出力によりカウンタに入力するクロック信号のゲートを開く。クロック信号は外部の発振器から供給され、この時点からカウンタが0になるまで、ダウンカウントを続ける。カウンタが0になると、ロー信号が出力されるが、これを用いて、RSFF のリセット信号としクロック信号のゲートを閉じる。したがって、カウント開始から終了までの時間中のパルスを1個出力することになり、パルス時間は発振器の信号の周期とデジタルスイッチの値との積で決定される。この単一パルスは、フォトカプラーにより、次段の高圧部とは絶縁され増巾部に導かれる。増巾されたパルスは、高耐圧トランジスタを駆動し、高圧直流電源からの電流をスイッチングしてパルス電圧を負荷に供給することになる。

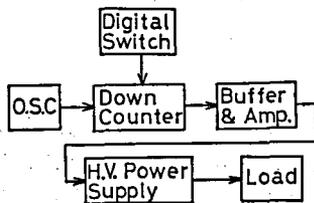


図2 パルス電圧印加装置ブロック図

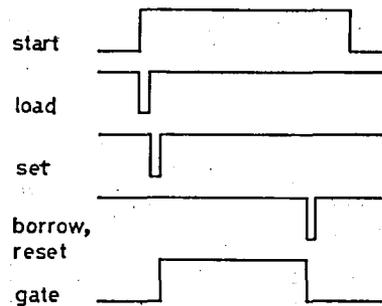


図3 タイミングチャート

ここでパルス印加時間は、1, 10, 100ms, 1, 5S の5段階とし、また印加電圧の倍数は定格に対して3, 4.5, 6の3段階とした。ここで定格電圧Eは、定格電力をP, 抵抗値をRとすれば次式のとおりとなる。

$$E = \sqrt{PR} \quad (\text{ただし } P=0.25\text{w})$$

次に短時間過負荷特性の測定法を述べる。まず直流抵抗をデジタルメータにより測定する。つぎに上式で求めた定格電圧の2.5倍を以下の条件の下で5秒間印加する。

- (a) 抵抗体は、あらゆる物体から、下方2インチ、上方および左右3インチ以上離して水平に保持する。
- (b) 抵抗体の発熱によって起こされる対流以外の空気の動きはあってはいけない。その後 30 ± 5 分以内に、再び抵抗値を測定し、電圧印加前の抵抗値を基準として、抵抗値変化率をパーセントを単位として求める。最後に試験後の抵抗体に、アーク、焼け焦げなどの異状がないかどうか調べる。

なお、以下の図中のプロットは5本づつの測定データの平均値を示す。

4. 結果および検討

図4にパルス印加による抵抗値変化率を示す。図より変化率はすべて負であり、しかも、印加電圧が大きくなるほど、および印加時間が長くなるほどその値は大きくなる（負の方向）ことがわかる。電圧印加により抵抗値が減少する原因として、次の2つが考えられる。

- (1) ジュール熱による結晶化の進行：無電解 Ni-P めっき膜の組織は、熱処理前の状態では非晶質であり、熱処理を施すことにより結晶化を進行させることができる。しかし完全に結晶化を終了させるには、500°C の高温熱処理を必要とする⁽⁴⁾。我々の熱処理は、TCR などの特性上の観点から 250°C で行ったわけであるが、定格以上の電圧印加によるジュール熱 ($V^2/R \cdot t$) により皮膜が熱処理温度以上になり、抵抗値が減少するものと考えられる。この影響は、特に図中で4.5倍、6倍電圧印加において抵抗値が急激に減少している領域に現われている。なおこの影響は、抵抗膜厚が不均一になるほど強く

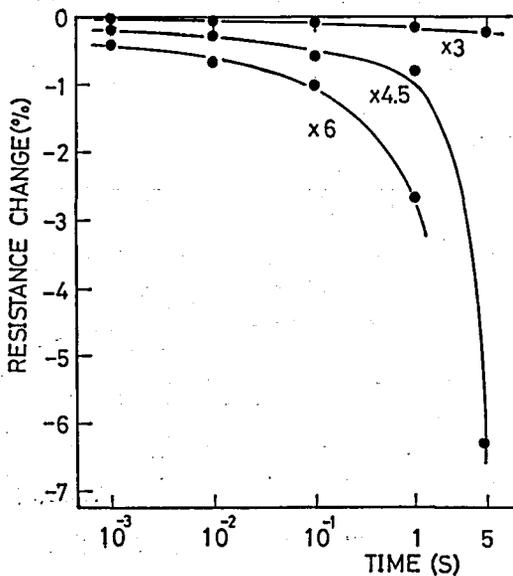


図4 パルス印加による抵抗値変化率

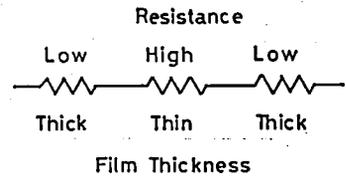


図5 薄膜の等価回路

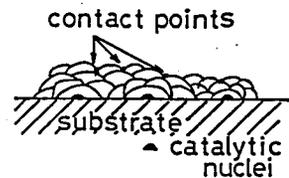


図6 無電解めっきの成長

現われると考えられる。図5の等価回路に示すごとく、皮膜が厚い部分は抵抗が低く、逆に薄い部分は高くなる。このため電力消費は、高抵抗部分にかたより比較的低い電圧でも皮膜温度を局部的に上昇させ抵抗値を減少させる。

- (2) 電界による組織粒の連結：無電解めっきの成長は、図6に示すように基体上の触媒点を核として、その上に同心半球状に成長しさらに、析出した Ni が新たなめっき中心となり、堆積してゆくことが知られている⁽⁴⁾。このことからめっき膜の最上部では、完全に接続していない個所が存在し、これが接触抵抗として抵抗値の一部を占めると考えられる。これは、めっき膜厚が薄くなる高低抗体になるほど影響が大きくなる。そこで高

電界を印加することにより皮膜の微細組織の接触点が、コヒーラ破壊を起こして連結するため、抵抗値が減少するものと考えられる。この現象は、図中 10ms 以下のジュール熱の影響の現われない領域における抵抗値減少の原因と推定される。

したがって全体の抵抗値変化率を $\Delta R/R$ とすると、これは原因(1)による変化率 $\Delta R_1/R$ と原因(2)による変化率 $\Delta R_2/R$ の和と考えられる。 $\Delta R_2/R$ は 1mS 程度ではほぼ終了していると考えられるので、 $\Delta R/R$ から $\Delta R_2/R$ (1mS) を差し引くと、 $\Delta R_1/R$ が求められる。そのようにして補正した後、変化率が例えば -2% になる時間を求めると、6 倍印加では 0.9S 4.5 倍印加では 2.6S となる。同一変化率において、ジュール熱は同一と考えられるが、実際にジュール熱の比を求めてみると $(4.5^2 \cdot 2.6)/(6^2 \cdot 0.9) = 1.6$ となり電圧が低い程、電力量は大きくなっている。これは電圧が低い程、同一抵抗値変化を起すには、電力の逆数比以上の長い時間電圧を印加する必要があることを意味する。

抵抗皮膜の負荷時の温度上昇は、通電により発生した熱量から、基体、リード線を通しての熱伝導および表面から空気中への放散等を差し引いた結果に関係することが予想される。したがって低い電圧の場合、発生した熱に比べて発散する熱の割合が大きいため、温度上昇に高電圧の場合に比べて、電力の逆数比以上の時間を要するものと考えられる。

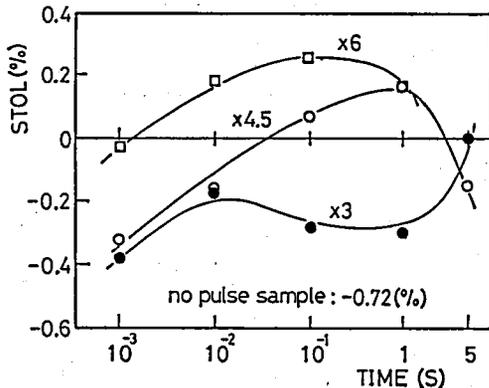


図7 パルス印加後の STOL 特性

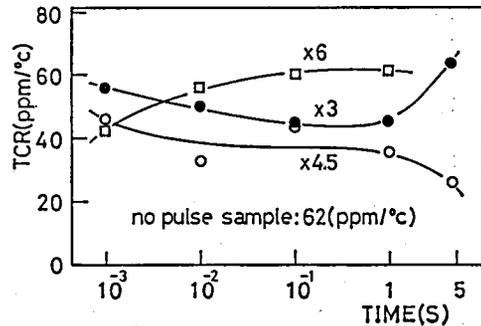


図8 パルス印加後の TCR 特性

図7にパルス電圧印加後の試料の STOL 特性を示す。無印加のものは -0.72% と負の大きな値を示すが、パルス印加の時間の増大とともに 0 に近づき、さらには正側に転ずるようになる。そして 6 倍電圧印加のものは 100ms で、4.5 倍電圧印加のものは 1S でピークに達し、それ以上では STOL は減少する。しかしその最大値は +0.2% 程度であり、規格を十分満足する値である。また高電圧になる程、STOL が零の点は短時間側に移行していることがわかる。

図8は、パルスエージングが TCR に与える影響を調べたものである。なお TCR の算出は次式による。

$$\text{TCR} = \frac{R_{t_1} - R_{t_0}}{R_{t_0} \cdot (t_1 - t_0)} \times 10^6 (\text{ppm}/^\circ\text{C}) \quad (t \text{は温度, } R \text{は抵抗値})$$

TCR は、無印加のものは 62ppm/°C であるが、印加後の試料はほとんどすべてこれを下まわっている。しかし、図中印加時間および電圧による TCR の変化は顕著ではなく、この程度の変化は母集団のパラッキの範囲内であり、その影響を判定することは困難である。したがってパルス印加は、TCR に関しては悪影響を与えないと判断してよい。

5. あとがき

10mS 以下で定格の 6 倍程度のパルス電圧を印加することにより、STOL 特性が改善されることがわかった。

STOL 試験後の抵抗値の減少が、ジュール熱によるものか、コヒーラ破壊によるものかは、試料を絶縁性の冷却媒体中に浸漬して試験を行えば、ジュール熱による影響は除去でき両者の分離はより明確になると思われる。

今後、STOL 特性をさらに改善するためには、めっき膜厚の均一化とめっき成長粒の微細化が有効と考えられるので、その方法を開発する必要がある。また、パルス電圧印加により、STOL と相関が強いと思われる電流雑音減少の可能性について検討して行きたい。

参 考 文 献

- (1) 青木, 樋浦: 無電解 Ni-P めっき膜を用いた高抵抗体, 電子通信学会論文誌, J67-C, No. 11, (1984)
- (2) MIL-R-10509R
- (3) S. T. Pai and J. P. Marton: Annealing Effects on the Structure and Resistivity of Ni-P Films, J. Appl. Phys., Vol. 43, No.2, (1972)
- (4) J. P. Marton and M. Schlesinger: The nucleation, growth and structure of thin Ni-P films, J. Electrochem. Soc., 115, 16, (Jan 1968)