

氏 名 (本 籍)	西 村 保 郎 (東 京 都)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 4 9 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 3 年 6 月 5 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
最 終 学 歴	昭 和 2 2 年 3 月 神 戸 工 業 専 門 学 校 電 気 科 卒 業
学 位 論 文 題 目	金 属 薄 膜 抵 抗 器 に 関 する 研 究
	(主 査)
論 文 審 査 委 員	教 授 西 沢 潤 一 教 授 吉 田 重 知 教 授 岩 崎 俊 一 助 教 授 小 野 寺 大

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

本研究は高精度の要求に応ずるための金属薄膜を抵抗体とする抵抗器に関するものである。
金属薄膜抵抗器の研究は総括すると次の6項目になる。

- (1) 適正な基体材料の選定
- (2) 薄膜生成前の基体の洗滌法
- (3) 抵抗薄膜からの端子の引出しおよび引出し用皮膜
- (4) 抵抗用金属材料の選定と薄膜生成法
- (5) 抵抗薄膜素子の安定化
- (6) 抵抗素子の保護外装

これらについての研究の結果多くの新規の現象の発見とその解明，生成に関する新規の考案を行い，それらの総合の結論として高精度且つ低価格で将来の一般用抵抗器が得られ，又抵抗値経時変化の極めて小さい超高安定抵抗器が得られた。

第2章 金属薄膜抵抗器に関する概説

抵抗器に要求される性能は価格，信頼度，安定度，機械的強さ，抵抗温度係数，雑音，直線性，低リアクタンス性である。これらの性能について5種の固定抵抗器を比較してみると金属薄膜抵抗器の占めている地位，および期待されている役目が明白となる。即ち

- (1) 従来巻線抵抗器が果してきた精密用抵抗器としての役目を更に総合的に改良したもの。
- (2) 炭素皮膜抵抗器が果してきた品質水準を高度化した一般用抵抗器である。

第3章 金属薄膜抵抗器用基体材料に関する研究

研究の概要

筆者は16種のガラス系，磁器系の材料からこの問題の解明をこころみた。

表面粗度 表面粗度計で測定し得る巨視的な粗度の場合には粗度の大小と生成膜の間には従来言われている様な相関は全くなく， 20μ という様な大きな粗度でも良好な抵抗膜を得ることは可能である。問題となるのは微視的粗度即ち凹凸の高低ではなく，尖鋭度でこの定量的測定はなされていない。

固有抵抗 ガラス，磁器系の固有抵抗の大小を表わす因子として T_e 価が用いられているが，それは固有抵抗が $1M\Omega$ となる時の温度($^{\circ}C$)で定義する。

T_e 価と抵抗膜の安定度の間には密な関係があり T_e 価の高い場合程，安定な抵抗器が得られる。金属薄膜抵抗器の場合には少くとも T_e 価850以上の基体材料を使用すべきである。

熱伝導率 極めて安定な抵抗器を得るには $20 \times 10^{-3} \text{ cal, cm}^{-1}, \text{ sec}^{-1}, ^{\circ}C^{-1}$ 以上の大きな熱伝導率の材料を用いることが必要で，アルミナ磁器，ベリリア磁器が適しており，ガラス系はよくないことが明らかになった。

基体の洗滌 筆者は，基体と生成膜との接着力，生成膜の抵抗値，およびそのバラツキから洗滌効果についてしらべた結果，化学的洗滌は充分ではなく基体の融点寸前まで大気中で加熱することをもっとも有効であることが判った。即ち磁器系の場合には約 $800^{\circ}C$ 以上で加熱することをもっとも完全に近い洗滌効果を示した。

第4章 金属薄膜抵抗器用端子膜に関する研究

研究の概要

筆者は端子膜材料として低温で焼付ける材料、高温で焼付ける材料および真空蒸着によるもの計12種について実験を行った。

抵抗値調整への影響 ある種の端子膜ではその溝切りによる抵抗値の増大倍率が、初抵抗が高くなる程、理論値より小さくなる傾向がある。これは端子膜と抵抗膜の境界が蝕されて高抵抗部を形成するため、この現象は焼付け端子膜に限定され端子材料中に存在する有機物を焼付け時に未分解のまま残っていることに原因している。

電流雑音への影響 端子部の抵抗値が大きくなる様な悪い条件では端子膜部からの電流雑音が無視出来なくなる。而しこの様な場合でも抵抗膜に螺旋状溝切りを施して倍率を50倍以上にすれば電流雑音に関しては端子膜部の影響は無視出来る様になる。

端子膜と低抗薄膜の配置の影響 抵抗膜生成後に端子膜をつける場合には抵抗膜安定化のため、の熱処理後に端子膜をもうけると境界面に抵抗膜の酸化物が介在して抵抗温度係数を負に大きくさせる結果となる。

迷動 セラミック基板の上に各種の端子膜材料を3mmの間隔をおいて配置し40℃、95% R・Hでこの間に直流電圧を印加して端子膜材料の迷動の状態をしらべてみた。その結果、蒸着によるものは焼付けによるものにして迷動はすくなく銀は明らかに他のものにして迷動が著しい。

第5章 真空蒸着による金属抵抗薄膜生成に関する研究

研究の概要

研究の順序として平板基板を用いて直角に入射させ、その条件を丸棒基体に適用することを試みた。回転している丸棒基体表面への斜蒸着についての報告は全くなく、この解明とこれに付随した諸条件即ち真空度、蒸発源などの研究を行った。

回転している丸棒基体表面への膜生成速度

点蒸発源の時

$$T = 2 f \int_{t = \frac{1}{2\pi f}}^{t = \frac{1}{4f}} \sin^{-1} d/h \frac{m}{4\pi\rho} \frac{1}{h^2} \frac{1}{\{1+(d/h)^2 - 2d/h \sin\phi\}}$$

$$\cos \left\{ \frac{\pi}{2} - \varphi + \tan^{-1} \frac{d \cdot \cos \varphi}{h - d \cdot \sin \varphi} \right\} dt$$

蒸発源から平行蒸発の時

$$T_0 = \int_{t=0}^{t=\frac{1}{f}} m \cdot d\beta \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) dt = \frac{m}{\pi} \cdot ds$$

平板直角入射との膜生成速度の比 = $\frac{1}{\pi}$

即ち丸棒回転蒸着の場合は平板直角蒸着の時の $1/\pi$ の蒸着速度となり、これは蒸着量で示すと 71.4° の斜蒸着と等価となり、抵抗膜としての性能上極めて不利である。

蒸発源 蒸発面積、蒸発源温度が再現性よく一定である様な蒸発源を考案した。即ちタングステン線2本を平行にならべ、これに蒸発抵抗材料をまきつけたX形構造で溶融した抵抗材料の表面張力を利用して再現性よい蒸発源が得られた。

蒸着速度 蒸着速度を左右する3因子の効果は直接的ではない。ニクロムについて種々の蒸着速度でつくられた膜の性能の変化は蒸着速度に基因した成分比の変化によることが明白となった。又ニクロムについて膜の結晶状態をしらべてみると蒸着速度が大である程、結晶化が進んでいる。

残留ガス圧 残留ガスと蒸着速度の比をK値と呼んでいる。

ニクロム蒸着膜についてKairと生成膜の性能との関係には顕著な相関がなく、NiとCrの成分比の影響のほうがはるかに大であることが判明した。

基体加熱効果 ニクロムについて基体温度と性能の関係について調べてみると電流雑音への影響がもっとも著しい。

安定度については膜厚に対して最適の温度が存在する。

丸棒基体に対する薄膜生成量産装置 丸棒基体をX形構造蒸発源に対して直角に多数個配置して自転、公転させ且つ蒸発源を複数個適当な間隔をおいて設置した。これらの関係は次の如くである。Tを膜の生成速度とすると

$$T = \frac{m}{4\pi\rho h^2} \left[\frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{x+a}{h} \right)^2 \right\}^{3/2} + \left\{ 1 + \left(\frac{x-a}{h} \right)^2 \right\}^{3/2}} \right]$$

で示され、このTがxの広い範囲に亘って一様となる様に設計した。

筆者の考案した装置によればベルジャーの直径500mmφの蒸着装置で1ヶ月に25万本の膜生成は容易である。

第6章 抵抗体材料に関する研究

研究の概要

ニクロム蒸着薄膜 80Ni-20Crの蒸着薄膜について研究を行ったがNiとCrの蒸気圧の差により蒸着時間と共に膜内のNi量が次第に増大しTCRはNi量が少いときは負の値を示し、Ni量70%をこすと正に増大する。

負のTCRをもつ抵抗材料の蒸着薄膜 Ni-Cr 或いはCr-FeにAlやMnを添加して負のTCRをもった材料の蒸着膜を各種の条件で生成したが、大差ないことが判明した。又材料中にMnを含むものは逆に膜厚の薄い点でTCRが極端に負の大きな値をもつことが判明したが、これはMnの酸化物の影響と考える。

Ni-Cr-Al系蒸着膜 Ni-CrにAlを適量添加した薄膜をつくり初期段階でAlの選択酸化によるニクロムの結晶化の進行をおこさせてニクロムの酸化速度を低下させると共に、Alの析出効果による抵抗値の減少もおこさせて、その結果として極めて安定な抵抗膜を得た。

第7章 抵抗膜の安定化の研究

保護膜 SiO₂蒸着膜について誘電体膜として研究の結果、保護膜として充分でないことを知った。この確認と筆者の考案になるアルミの酸化膜について比較を行った。その結果ニクロムの表面酸化膜のみでは全く不安定であった。SiO₂蒸着膜は耐湿性寿命の面では保護能力はまづ充分であるが、高温寿命ではむしろニクロム表面酸化膜よりも劣る、アルミ酸化膜はその何れも充分な性能を示した。

アルミの酸化膜は90Åのアルミの蒸着を行い、大気中酸化によって生成した。

第8章 外装に関する研究

外装は抵抗薄膜と直接接触して、その内部に存在するフリーの酸素によって抵抗体を劣化させている。この効果の表現因子として固有抵抗が $10^{12}\Omega\text{cm}$ となる時の温度(°C)をもってTp値とした。Tp値の高い良好な材料としてはエポキシ、シリコンが適当であるが顔料の良否も無視することは出来ない。

第9章 金属薄膜抵抗器の抵抗値経時変化の考察

抵抗器の故障は抵抗値が初期値からある値以上変化した状態をもって定義する。一般的にはアインリングの式が用いられる。

$$\frac{R-R_0}{R_0} = \left(\frac{kT}{h}\right) \exp\left(\frac{\Delta S}{Rg}\right) \cdot \exp\left(-\frac{Q}{Rg \cdot T}\right) t$$

多くの実験によると次の如く簡易化して示される。

$$\log\left(\frac{R-R_0}{R_0}\right) = K + n \log t$$

時間に対する抵抗値変化の傾斜 n は実際の使用状態では $n < 0.5$ である。抵抗値が変化する機構の1つとして酸化などによって抵抗膜の厚さが変化してゆくものがある。この場合の変化の状態を示すと次の如くである。

$$\log \frac{R-R_0}{R_0} = \log dt - \log d_0$$

こゝに dt はある時間経過後抵抗膜でなくなった部分の厚さである。

以上は抵抗値が増加してゆく原因であるが、筆者は Al を添加して抵抗値が減少してゆくことをうまく利用して極めて安定な抵抗膜をつくったが、抵抗値が減少してゆく機構の数式的表現は未だなされていない。

第10章 結 論

金属薄膜抵抗器の抵抗値は酸化のため時間と共に増加してゆくことは避けられない。従って金属薄膜抵抗器の研究は如何にして酸化速度の小さい抵抗器をつくるかということにある。

筆者はこの為抵抗器を構成している部分の全てについて研究を行い基体としては $T\theta$ 珪、熱伝導率の大きい且つ平滑なものを用いること、膜としては丸棒基体を用いることは極めて不利であるが、生成条件、熱処理保護膜、外装を選定することによって安定な抵抗膜を得ることが出来た。而し根本的には結晶化をすゝめて酸化を防止することの他に、析出効果を用いて抵抗値の減少を酸化による増加と同時に小さくさせて結果として極めて安定な膜を得る方法を採用し、その具体例として Ni-Cr に Al を添加することを行なった。

第 11 章 謝 辞

この金属薄膜抵抗器に関する研究は筆者が勤務している富士通株式会社に於て行ってきた研究の一端で研究の主題は高性能、高安定の金属薄膜抵抗器を開発し、特にその抵抗値経時変化に説明を加えることにあった。

浅学非才の筆者がこの研究をまとめるにあたって御指導を賜った東北大学の喜安教授、吉田教授、西沢教授、岩崎教授および小野寺助教授に厚く感謝の意を表すものである。又、日頃御指導、御鞭撻をいたたいっており、この研究をまとめる機会を与えて下さった富士通株式会社の上司、尾見専務取締役、小島常務取締役研究所長、特に終始直接御指導を賜った佐々木部品研究部長に厚く御礼申し上げる。

審査結果の要旨

高信頼性高精度部品の重要性はのべるまでもなく、近年ますますその需要が増加する傾向にある。本論文は、ニッケル・クロム合金を主体とした金属を基体のフォルステライト磁器の上に真空蒸着し、安定度の極めて高い抵抗器の製作法の確立の基礎となった広範囲の技術研究をまとめたものである。

第1章は緒論であって、金属薄膜抵抗器の安定化のために必要な研究題目と、それに対し本論文で研究した事柄の要点をのべたものである。

第2章は、従来使用されてきた色々な抵抗器を比較検討して、金属薄膜抵抗が高性能抵抗器として最も期待できる抵抗器であることをのべたものである。

第3章は、薄膜抵抗の基体に関して行なった研究についてのべたもので、粗度計で測定できない程度の細かい凹凸とアルカリ金属の含有量が抵抗器の性能に重要な影響を持つことを明らかにし、アルカリ金属イオンの動き易さを表わす抵抗率が $1 \text{ M}\Omega\text{cm}$ になる温度が 850°C 以上の材料がよいことなどを結論して、材料を選ぶ目安を定めている。

第4章では、基体上の抵抗薄膜から外部へ電氣的接続を行なうために附着させる端子膜に関する検討結果、さらに第5章では、金属薄膜を蒸着して所期の抵抗膜を得るための、蒸着方法、装置、条件に関する検討結果についてのべ、満足すべきパッチ式製法を開発している。

第6章は、真空蒸着法による従来つかわれてきたニッケル・クロム系合金抵抗膜が持つ欠点である抵抗値の温度変化、経時変化およびアルミニウムを同時蒸着により少量添加することによって抵抗器膜としての性能を大巾に改良することができたことをのべたものである。

第7章も安定化のための研究であって、約 90 オングストロームのアルミニウム膜を表面に蒸着した後大気中で酸化した膜を表面保護膜として使用する全く新しい方法を開発して、従来の亜酸化シリコン膜に比して遙かにすぐれた耐熱、耐湿特性をも得ることができたことをのべている。

第8章は、外装プラスチックに関する研究であり、プラスチックの中の遊離イオン密度が抵抗膜を変化されるとして考え、材料が $T \Omega\text{cm}$ の抵抗率となる温度で整理できることを示した。第9章は抵抗値の経時変化に関する理論的考察結果、第10章は結論である。

以上の様に、本論文は広汎な基礎的測定を行ないながら卓越した特性を有する高性能抵抗器を実現した結果をまとめたものであって、その成果が電子、通信工学上に大きく寄与したのはいうまでもなく、基礎的研究結果としても貢献するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。