

マイクロモジュール用基板と抵抗

Microelement Wafer and Resistor for Micromodule

日比房光*
Fusamitsu Hibi浜田勝彦*
Katsuhiko Hamada坂下 潔**
Kiyoshi Sakashita土井 彰**
Akira Doi橘 篤 志***
Atsushi Tachibana

内 容 梗 概

マイクロモジュール用基板材料として種々のセラミックス中アルミナ磁器が特にすぐれていることに注目し、プラスチックの流動性を利用した独特の押出し成形法によるアルミナ磁器基板の製造法を確立した。次にこの基板を用いてNi-Cr系蒸着抵抗の製作条件を検討し、蒸発源の金属組成を従来のものより大幅に変えることによって広い抵抗値範囲ですぐれた特性を有するマイクロモジュール用抵抗を作り得た。また同一抵抗材料でマイクロモジュール用半固定可変抵抗を開発した。

1. 緒 言

マイクロモジュール方式では、部品はすべて一定寸法の基板上に組み立てられるので、マイクロモジュール用部品の開発に当たっては、まず基板の選定が必要である。基板としては薄くて、しかも機械的ならびに熱的に強いものが要求されるので、通常セラミックスが賞用される。しかし、セラミックスで薄板状の絶縁物を造るにはいろいろ困難な問題があり、しかもマイクロモジュール用基板としての材質や寸法精度上の要求もかなり厳しい。本報ではマイクロモジュール用基板の要求性能と従来のセラミックスの諸特性、特にアルミナ磁器の特性との関係、および日立製作所で開発したマイクロモジュール用アルミナ基板の製造法について概説する。

次にこのような基板を使用したマイクロモジュール用抵抗についてのべる。この抵抗は他の部品とともにモジュールに組み込まれるので、従来のさしかえ可能な抵抗に比べ一段と高い信頼度が要求される。マイクロモジュール用抵抗に要求される抵抗値は、普通の抵抗器と同様数Ωから数MΩまでの広い範囲であり、負荷電力も $\frac{1}{2}W$ 程度まで小さきまざまでであるが、これらの多種多様な抵抗をすべて約8mm角の基板内に収める必要がある。しかも1枚に1個というのではなく、表裏2個ずつとりつけることも多い。したがって1個の抵抗に割り当てうる基板の面積は狭く、単位面積当たりの負荷電力は著しく大きいというのがマイクロモジュール用抵抗の特長である。マイクロモジュールの用途によっては、炭素粉-樹脂系塗膜抵抗も使用可能であるが、コンピューターや通信機なども対象に含まれるので、信頼度の高い金属皮膜抵抗やサーメット（金属と無機絶縁物の混合物）皮膜抵抗の使用が望ましい。超小形部品用の抵抗としては、従来ニクロム系の蒸着抵抗とAu, Pt系の蒸着および焼付抵抗が主流をなしており、Ta, Ti, 金属窒化物、酸化錫などの抵抗も試みられている⁽¹⁾⁽²⁾。われわれはまず温度係数がすぐれているニクロム系合金抵抗を対象として研究を進めた。本報ではこの材料によるマイクロモジュール用抵抗の製作上の問題点、製作した抵抗の性能およびこれを用いた可変抵抗について概説し、新しいサーメット系の抵抗にも言及する。

2. 基 板

2.1 セラミックスの一般的特性

1930～1945年ころまではステアタイト(MgO・SiO₂)が万能なセラ

ミック絶縁物として賞用されてきたが、湿気による絶縁抵抗の劣化と熱衝撃に弱いことが欠点とされ、1945年以来アルミナ磁器の開発が急速に行なわれてきた。ステアタイトと同一系列のフォルステライト(2MgO・SiO₂)は特にマイクロ周波領域で誘電特性が優秀なため重要視されたが、ステアタイトと同様に熱衝撃に弱い欠点がある。アルミナ磁器は1933年にドイツで初めて工業化された。これはそのすぐれた機械的強度、高熱伝導性、電気絶縁性を利用した点火プラグ用がいしとして開発されたものであるが、最近では純然たる機械部品としての用途のほかにも高低両周波領域および高低両温度における誘電特性がすぐれているため、エレクトロニクスの方面での利用が高まっている。ガラスをセラミック化（微結晶化）した、いわゆるガラスセラミックは、成形と組成の制約を一挙に解決した革命的新製品として Corning Glass Works で1957年工業化され、最近わが国でも同系統のものが市販され始めている。これらのセラミックスのほかにも特殊用途のためにベリリヤ(BeO)、ジルコニヤ(ZrO₂)、トリヤ(ThO)などの特殊セラミックスの研究が活発に行なわれているが、いずれも原料製造技術（成形、焼成）の点で著しい制約があり、一般的材料として普及するにはなお長期日を要するものと思われる。一般にセラミックスはガラス系のものを除いてすべて成形性に多くの困難があるため、用途に適した材料の選択には特性とともに成形性を考慮することが重要である。現在主としてエレクトロニクスの分野に用いられている各種セラミックスの特性を第1表に示す。以上、各種セラミックスおよびマイクロモジュールに要求される諸特性、たとえば動作状態、部品の製作過程で必要とされる特性などを考慮しても、現在のところ最適の材料はアルミナ磁器である。この分野に先鞭(せんべん)をつけたアメリカにおいても、特殊用途以外はいずれもアルミナ磁器が使用されており、主要部品の基板にはこの材料を使うことが多い。

2.2 マイクロモジュール用アルミナ基板の特性

アルミナ磁器の特性は含有されるAl₂O₃の結晶に支配される。したがってその特性はAl₂O₃の含有率が多いほど向上すると考えてよい。一般にアルミナ磁器を高周波領域で使用するには損失係数の点を考慮するとAl₂O₃含有率が90～95%内外であることを必要とする。第2表に内外各社のマイクロモジュール用セラミックスの特性を示す。

2.2.1 機械的、熱的性質

第1表よりアルミナ磁器はほかのセラミックスに比較し、平均して優秀な性質をもっていることがわかる。特に機械的、熱的性質にすぐれていることが重要な特長の一つである。アルミナ磁器の機械的強さはほかのセラミックスに比べて2～3倍程度大き

* 日立化成工業株式会社桜川分工場

** 日立製作所日立研究所

*** 日立製作所戸塚工場 理博

第 1 表 各 種 セ ラ ミ ッ ク ス の 特 性										
		単 位	ステアタイト MgO・SiO ₂	フォルスセラ イト 2MgO・SiO ₂	コーダーライ ト 2MgO・ 2Al ₂ O ₃ ・ 5SiO ₂	ジルコン ZrO ₂ ・SiO ₂	アルミナ磁器 Al ₂ O ₃ ≒95%		パイロセラム 9606*	高 圧 がいし素地
特 用	長 途		一般高周波 絶縁材料	特に高周波 絶縁材料	耐熱衝撃性 緻密質	耐熱衝撃性 緻密質 硬度強度大	真空管その 他金属封着 用緻密質	一般高周波 絶縁物材料 緻密質	高 周 波 絶 縁 材 料	一 般 高 圧 が い し 用
吸 水 率	比 重	%	0~0.2	0	0~0.2	0~0.2	0	0	0	0
色			2.7	3.05	2.65	3.5	3.6	3.6	2.6	2.3~2.5
軟 化 温 度		℃	白	微黄白色	白	白	褐 色	白	白	白
連続安全使用温度		℃	1,450	1,450	1,430	1,550	1,650	1,750	1,250	1,600
硬 度		モース	1,000	1,000	1,200	1,350	1,550	1,550	—	1,200
			7.5	7.5	7	8	9	9	—	7
熱 膨 張 係 数	25~100℃	10 ⁻⁶	6.4×10 ⁻⁶	10.0×10 ⁻⁶	1.6×10 ⁻⁶	3.0×10 ⁻⁶	6.4×10 ⁻⁶	6.5×10 ⁻⁶	—	5.0×10 ⁻⁶
熱 膨 張 係 数	25~700℃	10 ⁻⁶	8.9×10 ⁻⁶	11.2×10 ⁻⁶	2.4×10 ⁻⁶	3.8×10 ⁻⁶	7.5×10 ⁻⁶	7.8×10 ⁻⁶	5.7×10 ⁻⁶	6.5×10 ⁻⁶
引 張 り 強 度		kg/cm ²	700	720	650	800	1,400	1,450	—	250~350
圧 縮 強 さ		kg/cm ²	6,300	5,500	6,000	6,800	18,000	19,000	—	4,000~5,000
曲 げ 強 さ		kg/cm ²	1,400	1,200	1,300	1,600	2,200	2,500	1,400	700~900
衝 撃 強 度		in-lb	4.0	4.0	4.5	5.5	6.5	6.5	—	3.5
絶 縁 耐 力		kV/mm	9.0	9.5	9.0	9.0	10.5	10.5	—	9.0
固 有 抵 抗	25℃	Ω/cm ³	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹³
	100℃		>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	10 ¹³	>10 ¹⁴	—	—	—	—
	300℃		10 ¹⁰	—	10 ¹⁰	10 ⁹	—	—	10 ¹⁰	7×10 ⁶
	500℃		10 ⁸	10 ¹¹	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ⁸	—
	700℃		8×10 ⁶	10 ⁸	4×10 ⁶	6×10 ⁶	4.5×10 ⁷	7×10 ⁸	—	—
	900℃		4×10 ⁵	7×10 ⁶	3×10 ⁵	7×10 ⁵	—	—	—	—
Te 値		℃	800	950	730	780	900	950	—	350
誘 電 率	60 c		6.2	6.6	6.2	8.5	—	—	—	5.0
	1 Mc		6.1	6.5	6.2	8.4	9.2	8.9	5.58	5.0
	10 Mc		6.1	6.5	6.2	8.4	9.2	8.9	—	—
誘 電 正 接	60 c		0.0012	0.0004	0.014	0.005	—	—	—	0.01
	1 Mc		0.0012	0.0003	0.01	0.0045	0.0004	0.0005	0.0015	0.01
	10 Mc		0.0011	0.0003	0.01	0.0045	0.0004	0.0005	—	—
誘 電 損 率	60 c		0.008	0.003	0.09	0.04	—	—	—	—
	1 Mc		0.008	0.002	0.06	0.04	0.0037	0.0045	0.009	0.06
	10 Mc		0.007	0.002	0.06	0.04	0.0037	0.0045	—	0.06

* パイロセラム 9606：Corning Glass Works カタログによる。

第 2 表 マイクロモジュール用セラミックスの特性								
メーカ	日 立	American Lava. Corp.	Coors Porecelain Co.	Coors Porecelain Co.	Centralab Corp.	Diamonite Product Manf., Co.	国内 K 社	
商 品 名	Halox 525	Alsimag 614	A-D-96	Belox	Steatite Body 302	B-890		
用 途	エレクトロニク ス部品	MM用ウエーハー	MM用ウエーハー	MM用ウエーハー	MM用ウエーハー	エレクトロニク ス部品	MM用ウエーハー	
外 観	白	白	白	白	白	白	白	
比 重	3.6	3.7	3.72	3.025	2.62	3.63	3.7	
吸 水 率 (%)	0.00	0.00	0.00	0.0	0~0.02	0	0.00	
軟 化 点 (℃)	>1,750	1,650		2,570			1,800	
連続安全使用温度 (℃)	1,600	1,600	1,700		980		1,600	
熱 膨 張 係 数 (×10 ⁻⁶)	6.5~7.5 (20~800℃)	7.9 (25~700℃)	7.8 (200~400℃)	7.3 (200~400℃)	8.0 (20~400℃)	7.8 (25~700℃)	7.6 (20~800℃)	
熱 伝 導 度 (cal/cm・s・℃)	0.042	0.045		0.63	0.008	0.03	0.04	
硬 度 (Mohs)	9	9	9	9	7.5	>9	9	
引 張 強 さ (kg/cm ²)	1,450	1,820~1,960				1,450		
曲 げ 強 さ (kg/cm ²)	2,000	4,200	1,820~1,960		1,400	3,150	3,000	
圧 縮 強 さ (kg/cm ²)	19,000	28,000	>21,000	14,000	5,950	19,600		
衝撃強さ (cm-kg) (シャルピー)	6.5	7			4.7	6.5~6.8		
絶 縁 耐 力 (kV/mm)	20						10	
体 積 固 有 抵 抗 (Ω-cm)	20℃	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴		6×10 ¹³ (250℃) 6×10 ¹⁰ (500℃)	>10 ¹⁴ >10 ⁸	
	500℃							
	700℃							
Te 値 (℃)	950	930				>1,100	850	
誘 電 率 (1Mc)	9.0	9.28	8.95	5.9	5.85	9.25	8.5	
誘 電 正 接 (1Mc)	0.0005	0.0003	0.000084	0.0004	0.00075		0.0006	
誘 電 損 失 (1Mc)	0.0045	0.0028	0.00075	0.0024	0.00419	0.0065	0.0051	

* 他社製品の特性値はカタログによる。

く、また引張り強さは 1,000℃ までほとんど変化しないという特長をもっている。さらに一般セラミックスが 1,400~1,500℃ で軟化するのに対し、アルミナ磁器は 1,700℃ 以上の高温に耐えるため高温域で安全に使用することができる。

2.2.2 電 気 的 性 質

アルミナ磁器が高温域において高い絶縁抵抗を持つことはすで

に開発の当初より知られていたが、誘電損失が小さく、高周波特性が良好なことが知られたのは最近のことである。一般的に言ってアルミナ磁器の電気的性質は温度の影響をあまり受けない点に特長がある。一般のセラミックスの固有抵抗は常温ではきわめて高く 10¹³~10¹⁴Ωcm の高抵抗を示すが、温度上昇に伴い、成分中のアルカリイオンの影響により低化する。アルミナ磁器はマグネ

シヤに次いで高温における低下率が小さい。しかしその性質は当然使用するアルミナ原料および媒溶剤の性質により異なるものである。アルミナ磁器の主原料であるアルミナは、普通ボーキサイト ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) をカ性ソーダ処理して得た水酸アルミニウム ($\text{Al}(\text{OH})_3$) を約 $1,300^\circ\text{C}$ に煅焼(かしょう)したいわゆるバイヤー法アルミナを用いるが、これには $0.3\sim 0.5\%$ の Na_2O 分が残り絶縁性能を悪化する。そこでバイヤー法アルミナのソーダ分を除きローソーダアルミナとする企てが内外各メーカーで行なわれ、アルミナ磁器の発展に大いに寄与している。

2.3 マイクロモジュール用アルミナ基板の製造法

一般にアルミナ磁器は、ステアタイト、フェライト、チタン酸バリウムなどと同じく、可塑性のない粉末原料を成形して高温焼成する。この場合、成形能の問題がこの種のセラミックスの共通のあい路となっている。一般にこれらの可塑性のない酸化物系セラミックス原料の成形には、それぞれの形状に応じて鋳込成形法、押出成形法、プレス成形法などが使われているが、最近ではスプレードライヤによる球状粒子の作成により Hydrostatic Press (一名ラバプレス)、メカニカルプレスなどが盛んである。しかしこれらの方法も根本的には可塑性のない原料をそのまま使用するために、マイクロモジュール基板のような複雑で、しかも薄い板状成形品の製造には問題点が多く、かつ能率的にも多大の欠点を有している。これらの成形の困難性を従来の窯業の技術とは全く異なった観点から解決するために、プラスチックの流動性に着目してこれをセラミックスの成形に導入し、プラスチックと全く同一の成形方法をこの分野に応用する方法が工業化された。従来プラスチックの分野においても種々の樹脂に充てん剤としてセラミックスを添加するケースが多いが、これはあくまで樹脂の成形性、物性、外観を低下しない範囲で用いるのが普通である。セラミックスの成形に樹脂を用いる場合には樹脂は単に成形性を付与する目的のみに用い、成形品には高温焼成を行ない、樹脂を完全に焼失させた後焼結させるものであるため、焼成中のき裂、あわ立ち、変形、崩壊などの事故を生じてはならない。日立製作所においてはセラミックスの成形に樹脂を利用する方法として、熱可塑性樹脂による射出成形法、押出成形法を開発し工業化している⁽³⁾。マイクロモジュール基板のうち平板状のものは、シート状に押出成形したものを打抜加工し必要な形状となし、焼成する。本成形方法を適用するには成形性の向上と焼火性状の安定の相反する要求が存在するが、この両者を勘案して成形するには次の条件を考慮しなければならない。

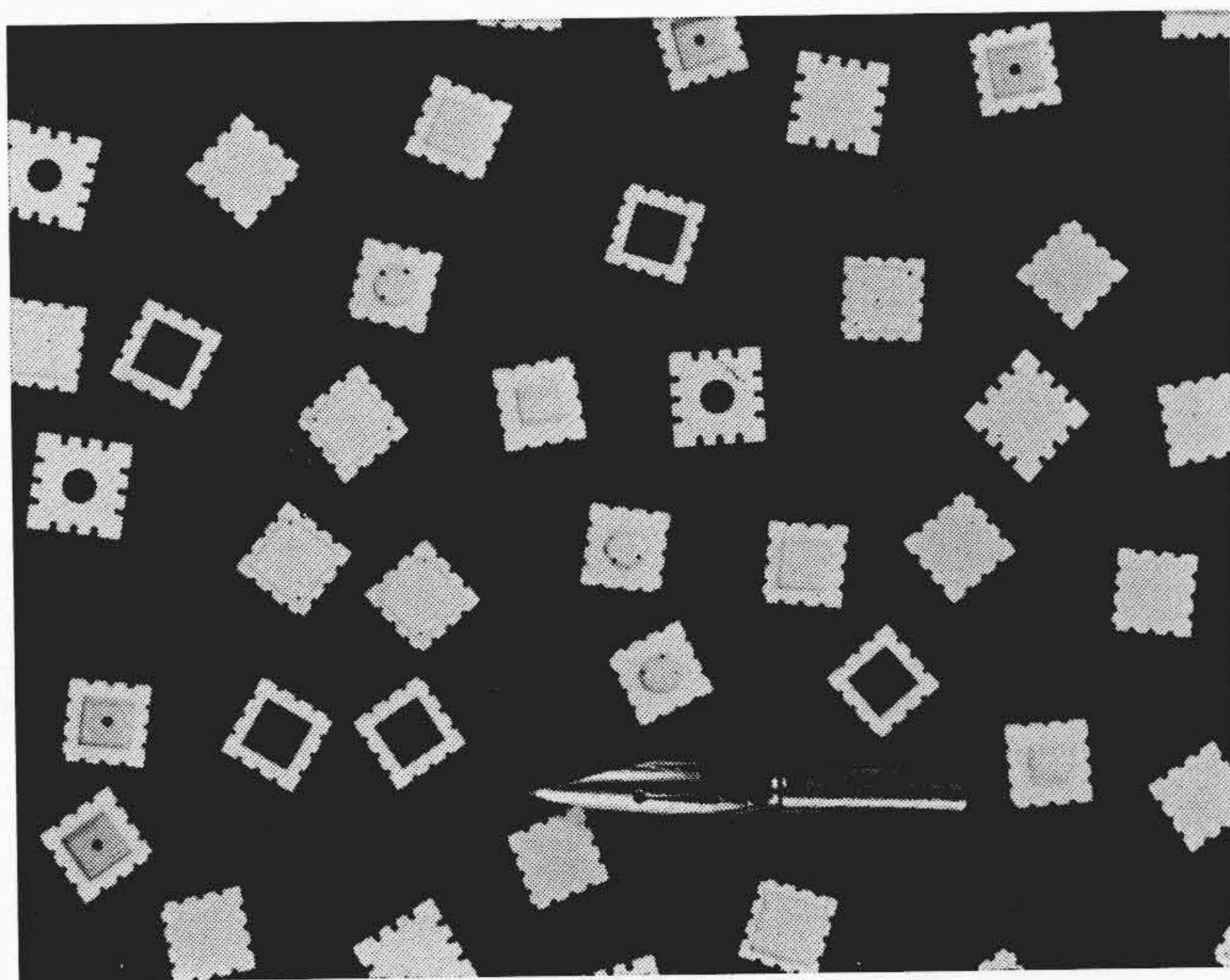
(1) 成形性の向上

- (a) 各種樹脂の特性を有効に利用する。
- (b) 原料の粒度分布、比重、ぬれ性を検討し、樹脂の流動効果を増加させる。
- (c) 成形機の改良を行なう。

(2) 焼火性状の安定

- (a) 成形品中の樹脂分を完全に消失させるに十分な予熱時間を与える。
- (b) 加熱時に最小の熱軟化性を示すように添加樹脂の揮発分、分解温度を選ぶ。
- (c) 加熱中樹脂が自由に揮発できるよう、内部拡散を容易にするための原料粒度の調整を行なう。

以上の各項目について検討を行なった結果、アルミナ素地についてはポリスチレン樹脂 $12\sim 14\%$ 、可塑剤 $2\sim 3\%$ 、ステアリン酸 $4\sim 4.5\%$ の組み合わせで良好な成形品が得られることを確認した。これらの成形法によるマイクロモジュール用基板を第1図に示す。



第1図 マイクロモジュール用基板

3. 抵抗

3.1 金属皮膜製作上の問題点

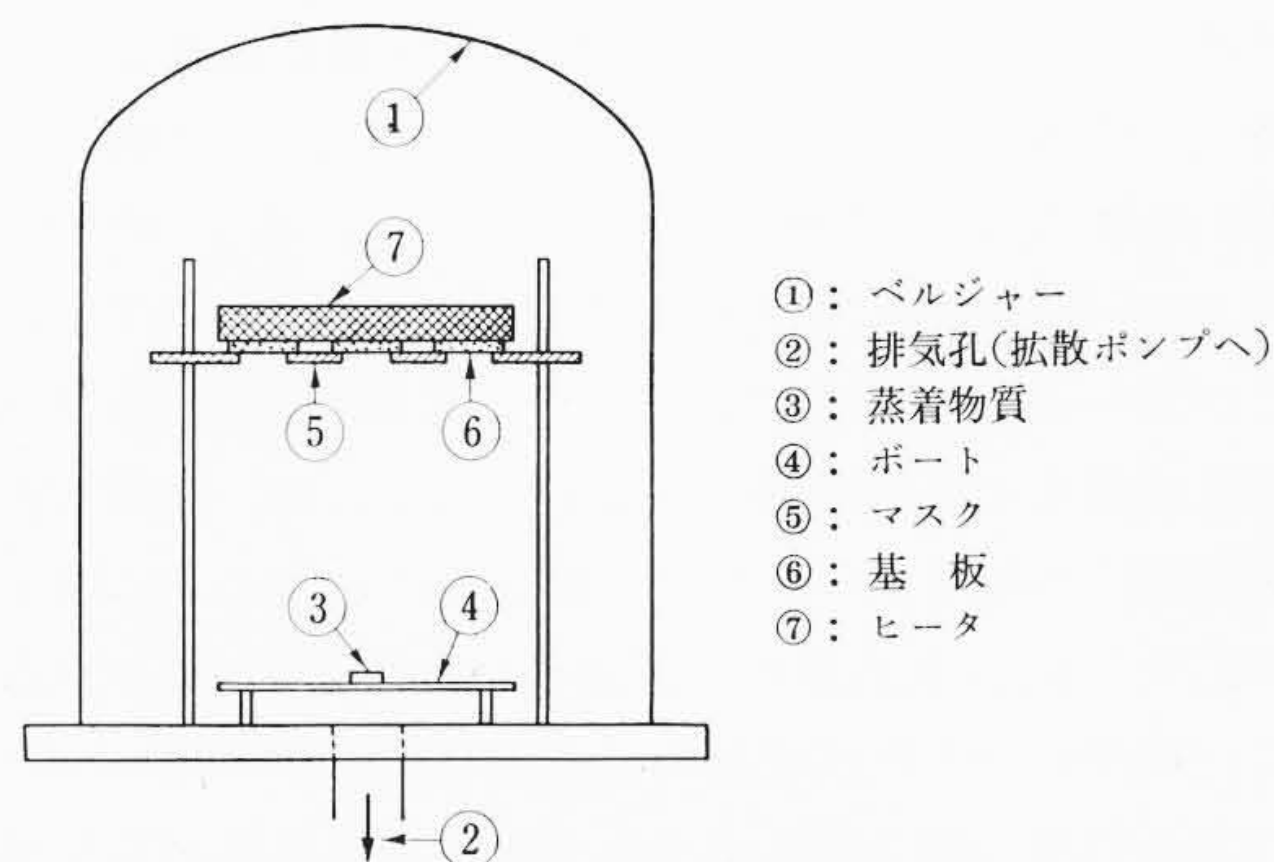
Ni-Cr 系の皮膜抵抗は普通ニクロム ($\text{Ni}80\text{-Cr}20$) の真空蒸着により形成される。そこで、まずこの材料を中心に金属皮膜抵抗製作上の問題点について述べる。

3.1.1 真空蒸着による抵抗皮膜の形成

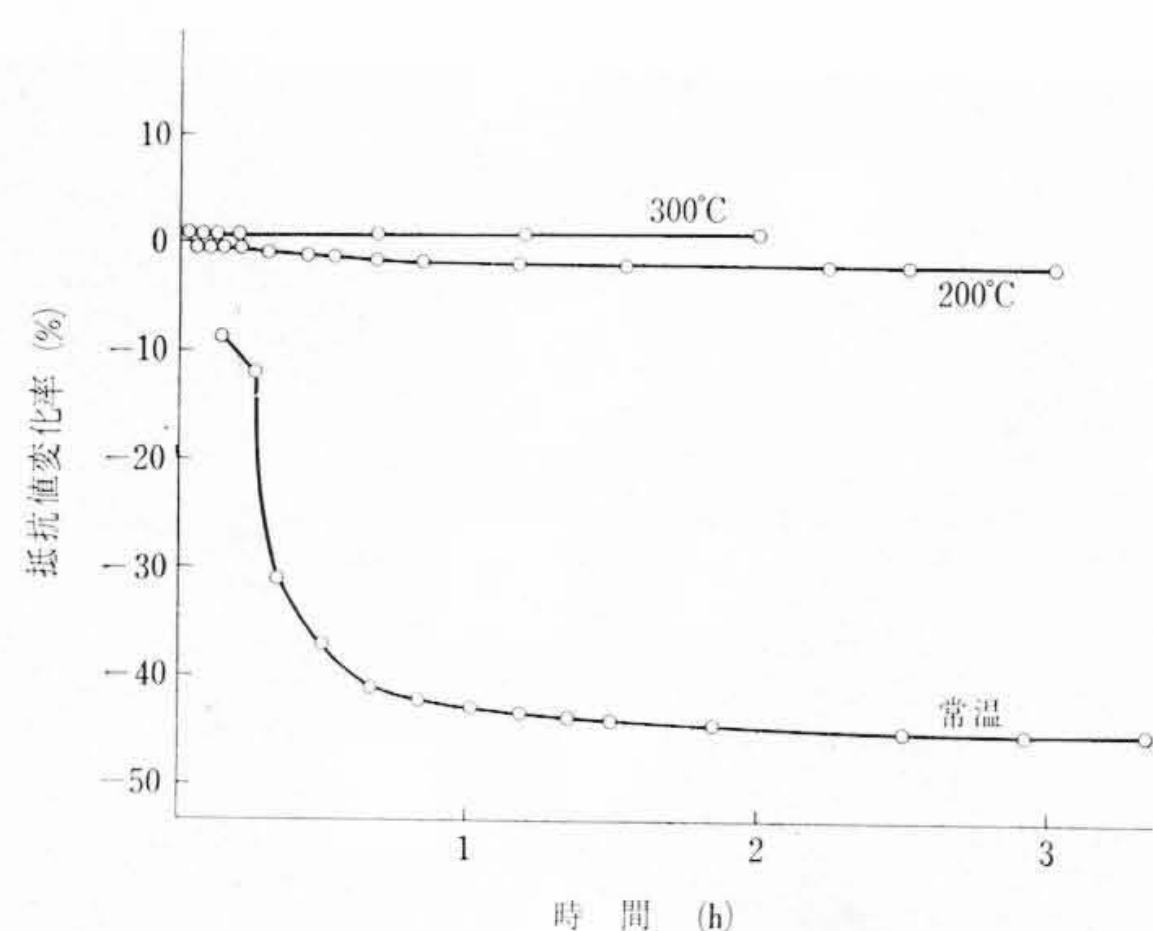
真空蒸着法⁽⁴⁾は $10^{-4}\sim 10^{-5}$ mmHg の高真空中で蒸着しようとする物質を抵抗加熱あるいは電子ビーム加熱などによって蒸発させ、その蒸気を磁器またはガラスなどの基板の上に凝縮させて薄膜を得る方法である。本方法は、抵抗値の制御、膜の強度と一様性、量産性などの点においてすぐれている。

蒸着装置の略図を第2図に示す。まずガラスベルジャー①内を排气系により 10^{-4} mmHg 以下の高真空中にし、蒸着物質(たとえば Ni-Cr 合金)③をのせたボート④の両端に電圧を加える。抵抗加熱により蒸気となった蒸着物質は光のように直進し、マスク⑤によってさえぎられていない基板⑥の下表面部分に凝縮する。

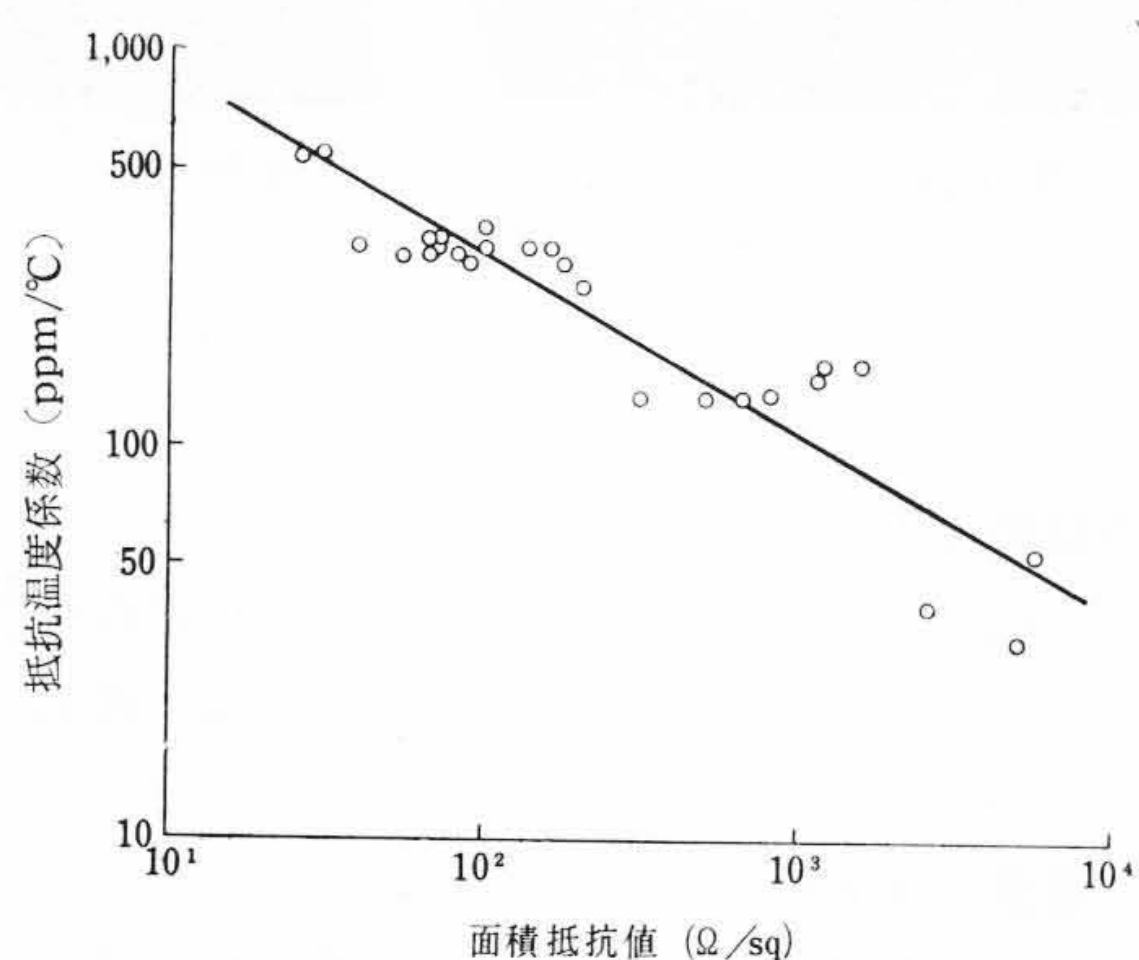
蒸着膜の構造、性質は蒸着時の基板温度によって変わるので⁽²⁾⁽⁵⁾、基板の上にヒータ⑦を設置する。Ni 80-Cr 20 の蒸着膜について、基板温度 $300, 200^\circ\text{C}$ 、常温で蒸着し、真空中 200°C で aging したときの抵抗値変化を測定した場合、第3図に示すように 300°C で蒸着したものが一番安定であった。基板温度が低い場合、抵抗値変化が大きいのは蒸着膜のひずみや構造的な欠陥がエージングによってしだいに解消していくためである。なお、ベルジャーから取り出した抵抗膜は空气中で熱処理を行なうことにより、表面を強制酸化させてその後の酸化による抵抗値変化を防ぐ。



第2図 真空蒸着装置略図



第3図 異なった基板温度で作成したニクロム膜のエージングによる抵抗値変化(真空中 200°C)



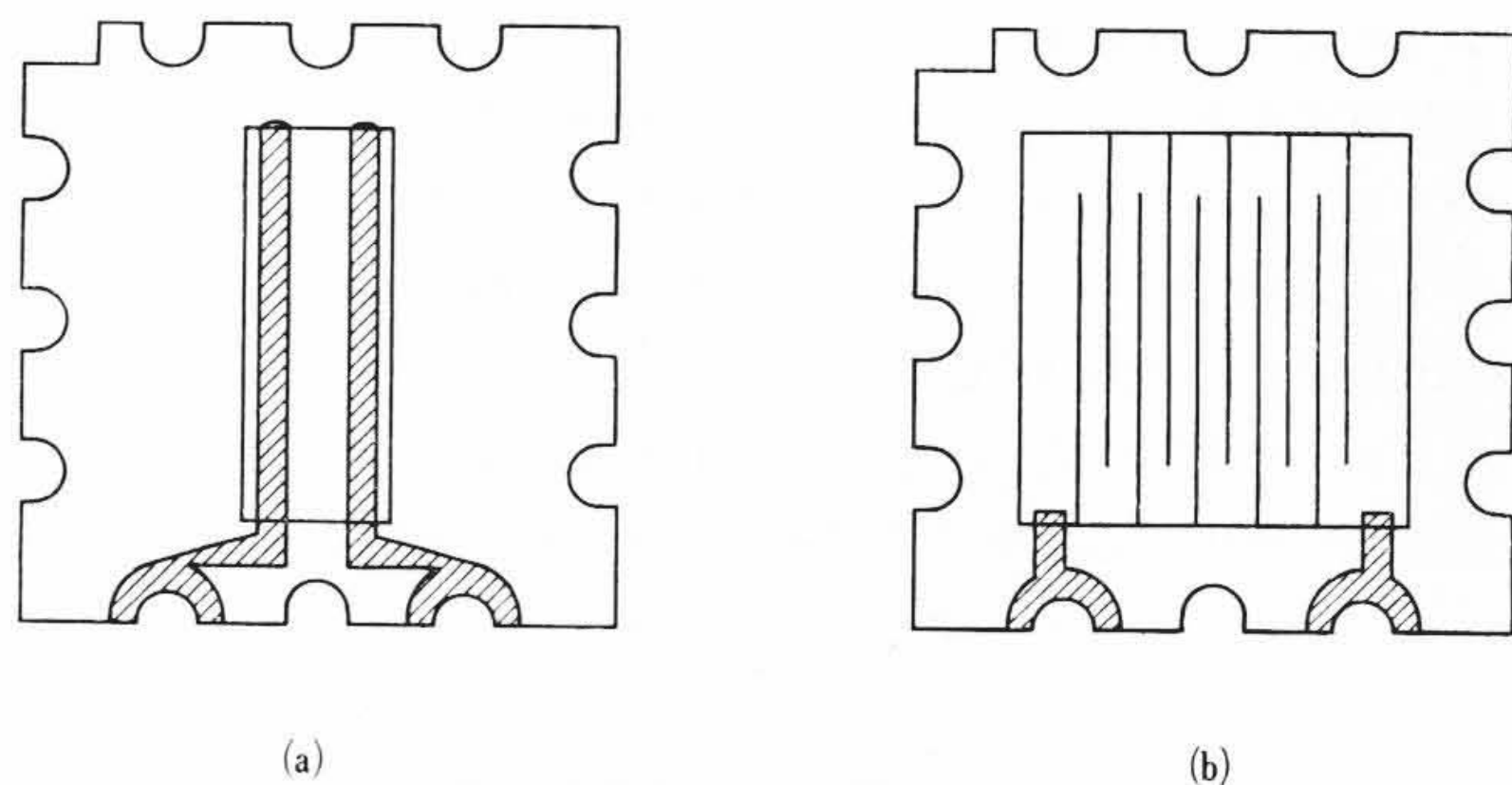
第4図 金属蒸着膜の面積抵抗値と抵抗温度係数

3.1.2 蒸着膜の厚さと抵抗値

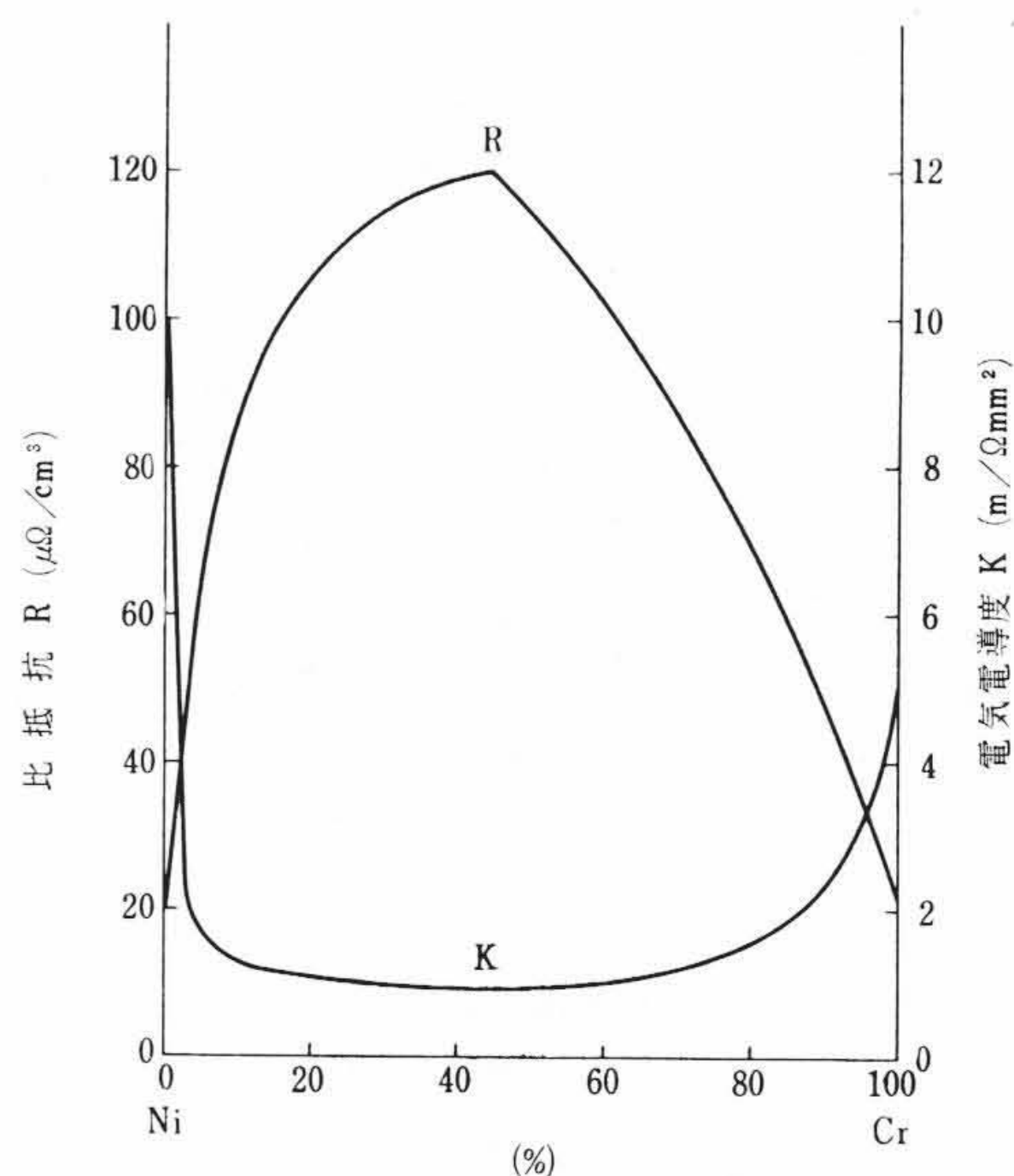
導電性物質の蒸着膜の比抵抗は、膜厚が小さくなると著しく増大する。これは自由電子の平均自由行程が制限されるために起こる現象として説明される⁽⁶⁾。膜厚(D)によって比抵抗(ρ)が変わることと膜厚の測定そのものが容易でないため、薄膜抵抗では普通、比抵抗の代わりに ρ/D に相当する面積抵抗 (Ω/sq) が用いられる。Ni-Cr 系の蒸着膜では、平滑な基板で $300 \Omega/\text{sq}$ 、アルミナのような面のあらい基板で $2 \text{ k}\Omega/\text{sq}$ 程度が高抵抗値の限度であって、これ以上面積抵抗値が高い場合、換言すれば膜厚が薄い場合には負荷特性や雑音電圧が問題となる。

3.1.3 膜厚と抵抗温度係数

一般に金属薄膜の抵抗温度係数は膜の厚い場合には正であるが、膜厚が減少するに従ってしだいに減少し、零を経て負の値をとるようになることが知られており、理論的な説明もある⁽⁶⁾。この膜厚によって温度係数が変化する例を第4図に示す。この図では膜厚の代わりに、その関数である面積抵抗値を目盛っている。抵抗温度係数の単位 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ は $10^{-6}/^\circ\text{C}$ である。蒸着材料は市販のニクロム合金 (Ni: 77.26%, Cr: 18.02%, Fe: 0.56%), 基板は前述のアルミナ磁器で蒸着後、強制酸化処理を施したものである。この図から市販のニクロム合金を用いた場合、温度係数を $200 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下に押えるには面積抵抗値を $300 \Omega/\text{sq}$ 以上に、 $50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下に押えるには $2 \text{ k}\Omega/\text{sq}$ 以上にすることがわかる。ところで、アルミナ基板の場合 $3 \text{ k}\Omega/\text{sq}$ 以上の面積抵抗値を示す蒸着膜は不安定であるため、使用できる面積抵抗値範囲はかなり狭い。ただし第5図に示すように端子間隔を短縮したり (a), 抵抗膜にみぞ切りを施したり (b) することによって、製作しうる抵抗値範囲は面積抵抗値の $1/20 \sim 100$ 倍程度に広がるので、第3表に示すような抵抗値範囲が製作可能と考えられる。しかし、ここで問題となるのは、抵抗器1個当たりの消費電



第5図 抵抗値調整法



第6図 Ni-Cr 合金の比抵抗、電気伝導度とCr含有量の関係⁽⁷⁾

第3表 抵抗温度係数と製造可能抵抗値範囲

抵抗温度係数	理論上製造できる抵抗値範囲
50 ppm/°C	100Ω~300 kΩ
200 ppm/°C	15Ω~300 kΩ

力が等しい場合、第5図(b)に比し(a)は抵抗膜の単位面積当たりの消費電力が大きくなり、その結果、局所的な温度上昇をもたらし、抵抗器の寿命を短縮する恐れがあることである。次に、金属皮膜抵抗器は時間の経過にしたがって抵抗値が増大する傾向をもつが、その最大の原因は抵抗膜に酸化反応などの化学反応が起こり、有効膜厚が減少することにあると考えられる。したがって膜が薄い場合には、厚い場合に比較して抵抗値の変化率が大きくなる。

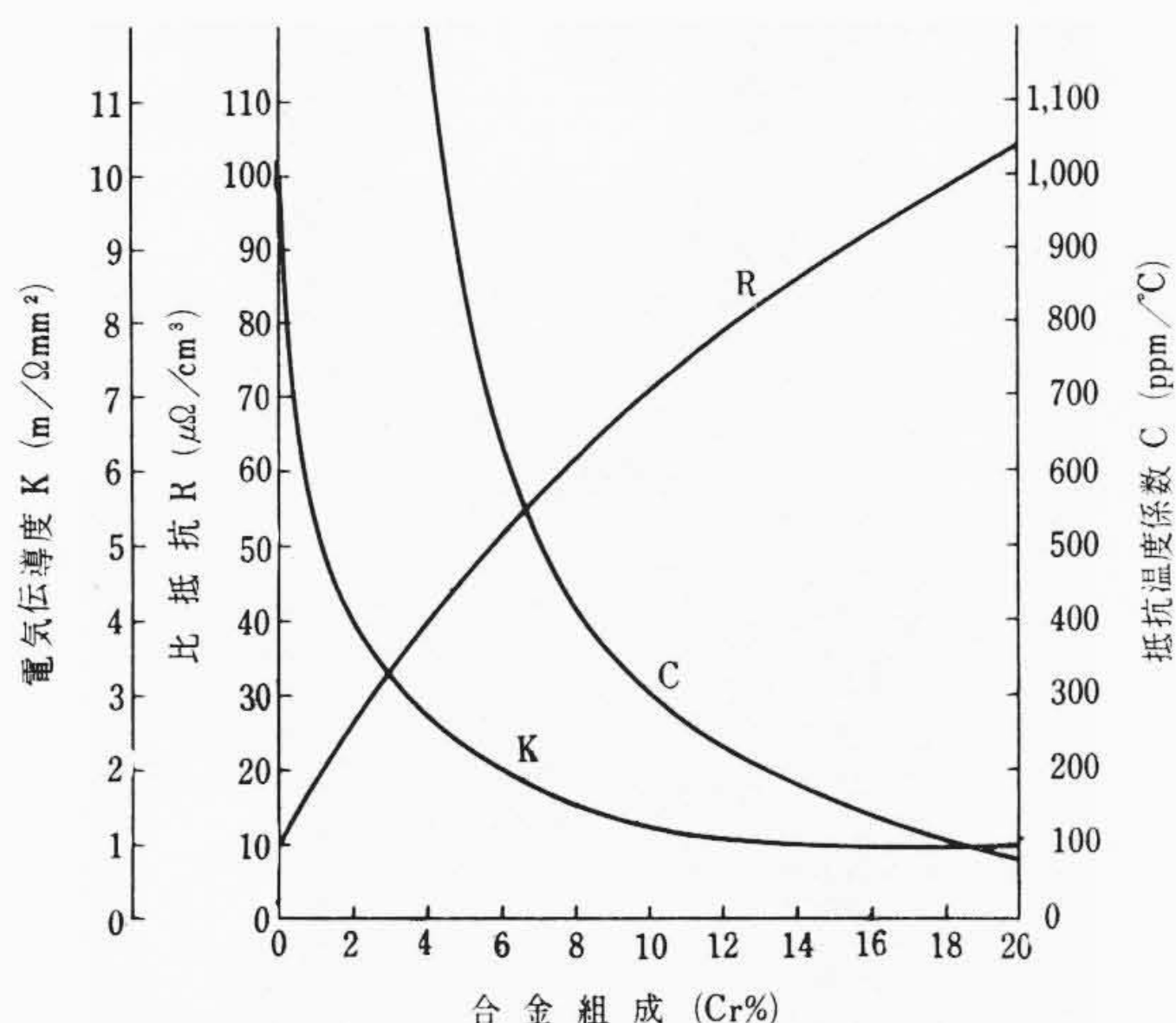
以上述べたように市販のニクロム合金を用いる場合に、抵抗温度係数を低下させるためには膜をかなり薄く(面積抵抗値を高く)しなければならない。したがって低抵抗値で低温度係数かつ高信頼度の抵抗器の製作は困難である。この対策としてわれわれは次に述べるように蒸着源金属の組成を変えることを試みた。

3.2 組成比の検討

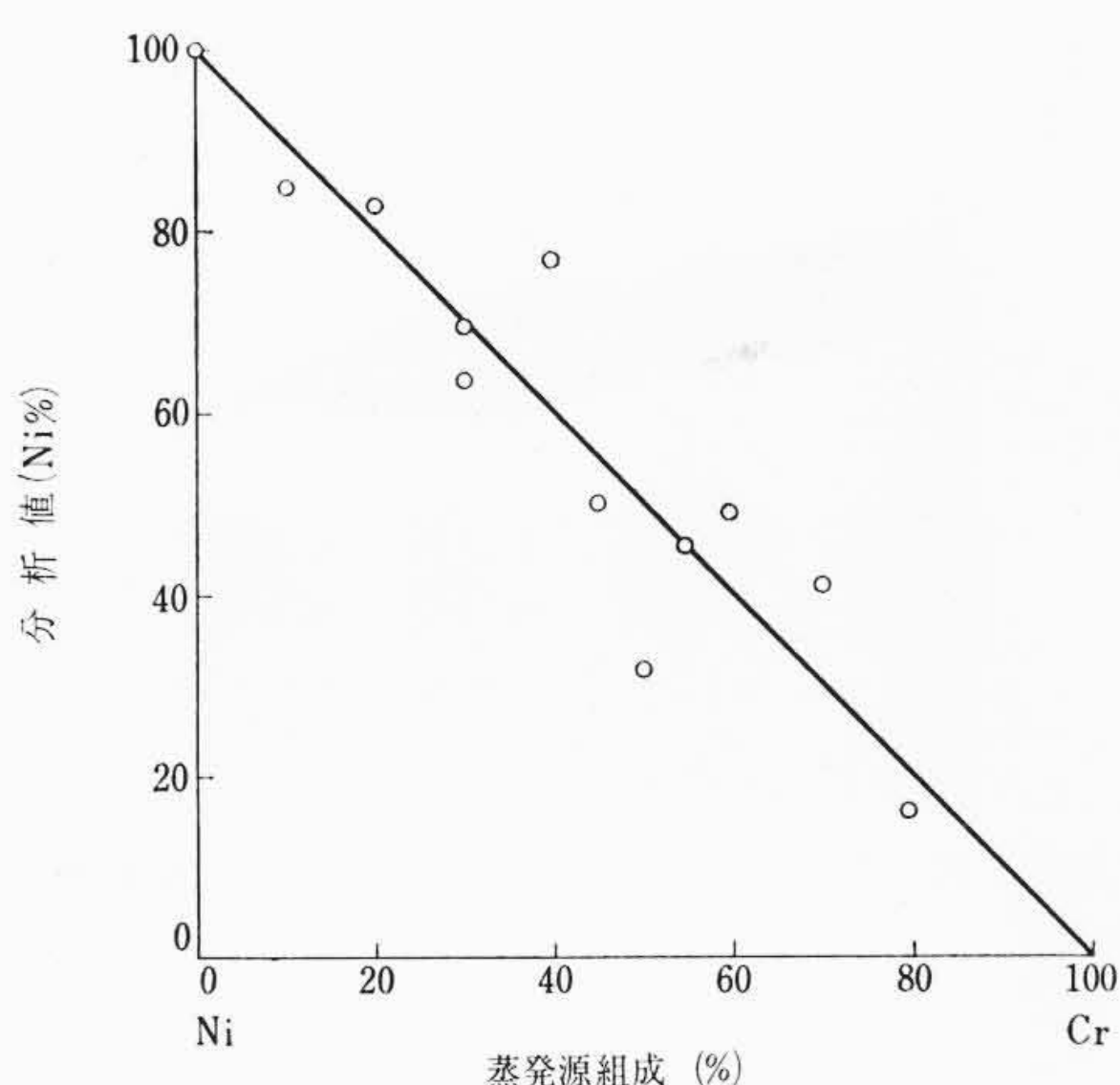
3.2.1 Ni-Cr 系の組成比と比抵抗、抵抗温度係数

文献⁽⁷⁾によれば塊状の(ここでは薄膜でないという意味で使う)Ni-Cr 系二元合金の比抵抗とCr含有量との関係は第6図のようであり、比抵抗はCr 44%において最大となる。一般に市販されているCrの組成範囲での電気伝導度、比抵抗、抵抗温度係数とCrの含有量との関係は第7図のようである。

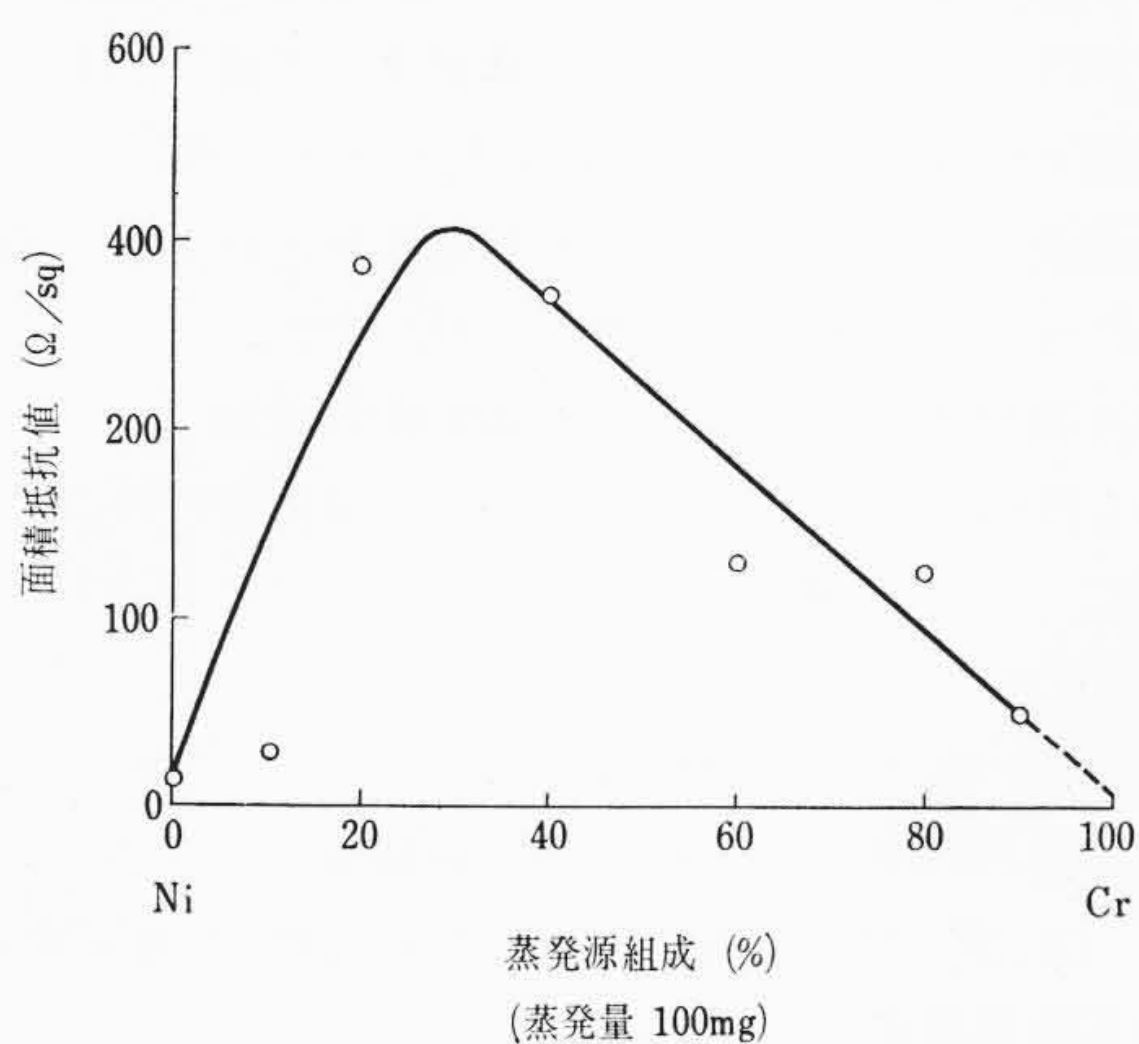
このようにNi-Cr合金の比抵抗は、Crの量が増加するにした



第7図 Ni-Cr合金の電気特性⁽⁷⁾



第8図 蒸発金属の組成と蒸着膜の分析結果



第9図 蒸発金属の組成と蒸着膜の面積抵抗値

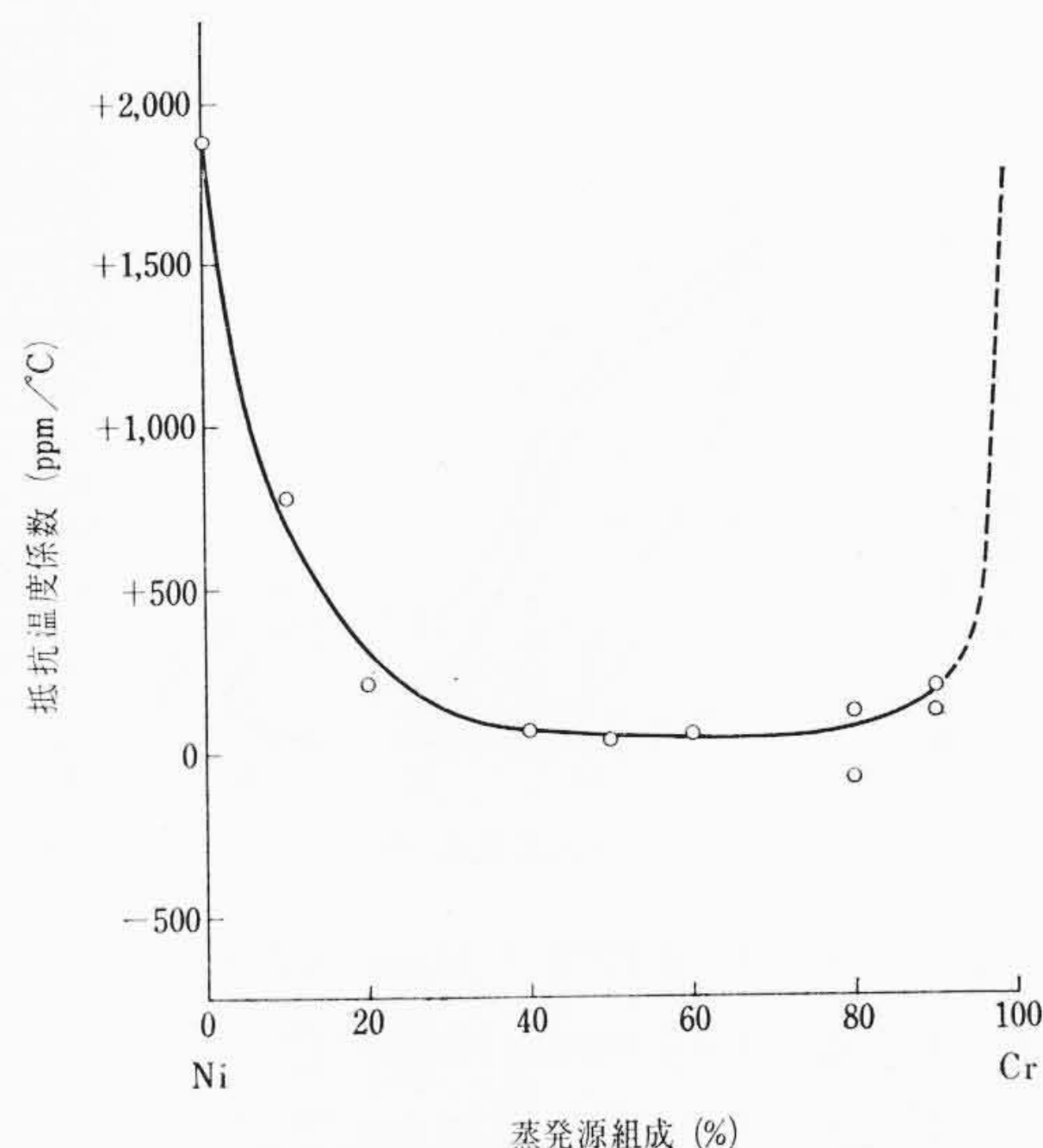
がって増大して極大を有し、また抵抗温度係数も第7図のCrの組成範囲ではCrの量にしたがって減少する。

Cr含有量10%以下のときは耐酸化性は純Niにわずかにすぐれるだけであるが、35%まではCrの増加にしたがって耐酸化性は次第に良好になる。化学薬品に対する耐腐食性もCr15%以上の合金ではNiよりすぐれ、またCr量の増加にしたがって酸化性状態における耐腐食性は大きくなる⁽⁷⁾。

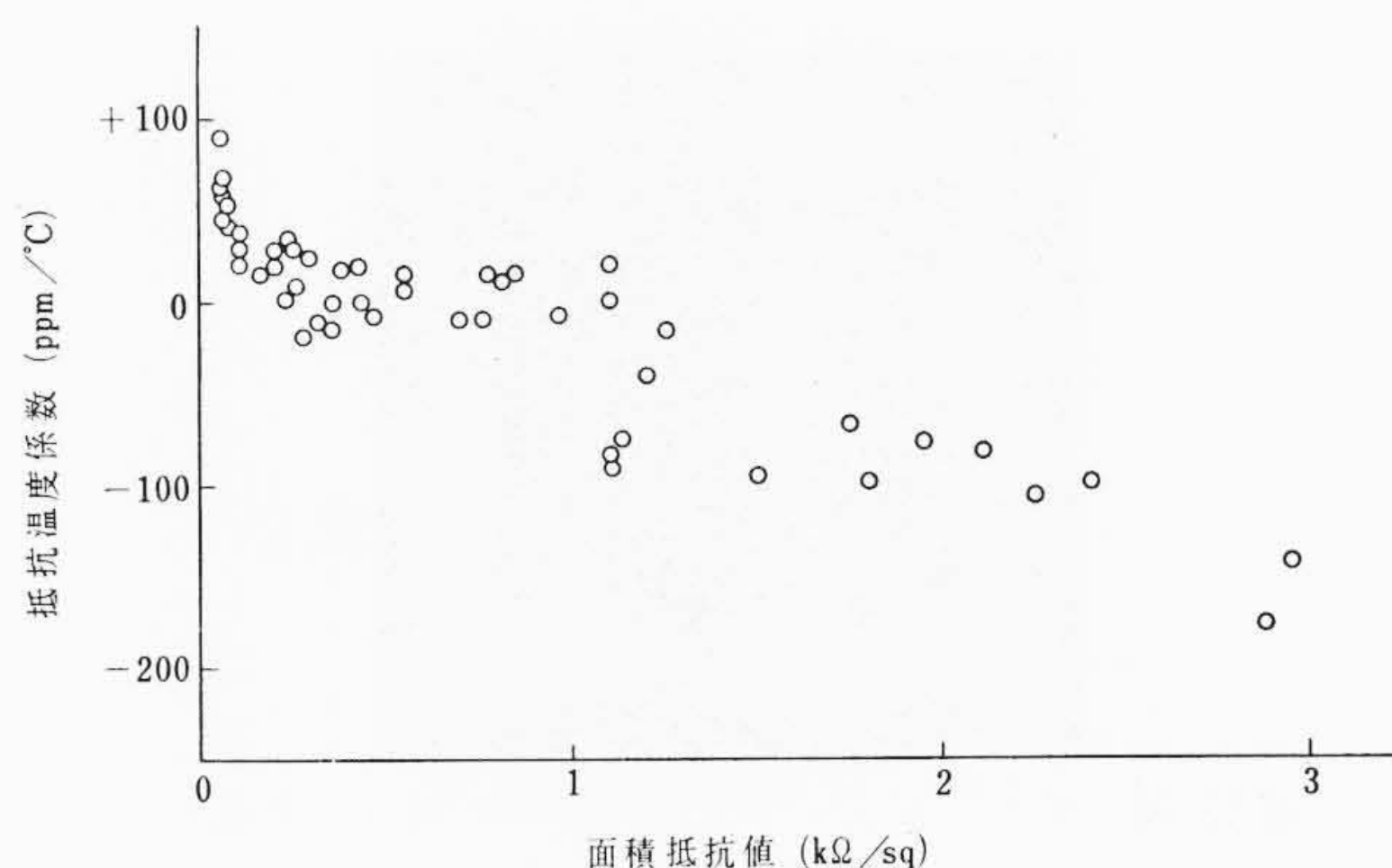
このような理由から合金皮膜の組成比をNi80-Cr20から変えることによって、抵抗温度係数その他の諸特性の向上することが期待される。

3.2.2 蒸着膜の組成

蒸発源の組成を変えた場合に、蒸着膜の組成がどのような



第10図 蒸発源金属組成と蒸着膜の抵抗温度係数



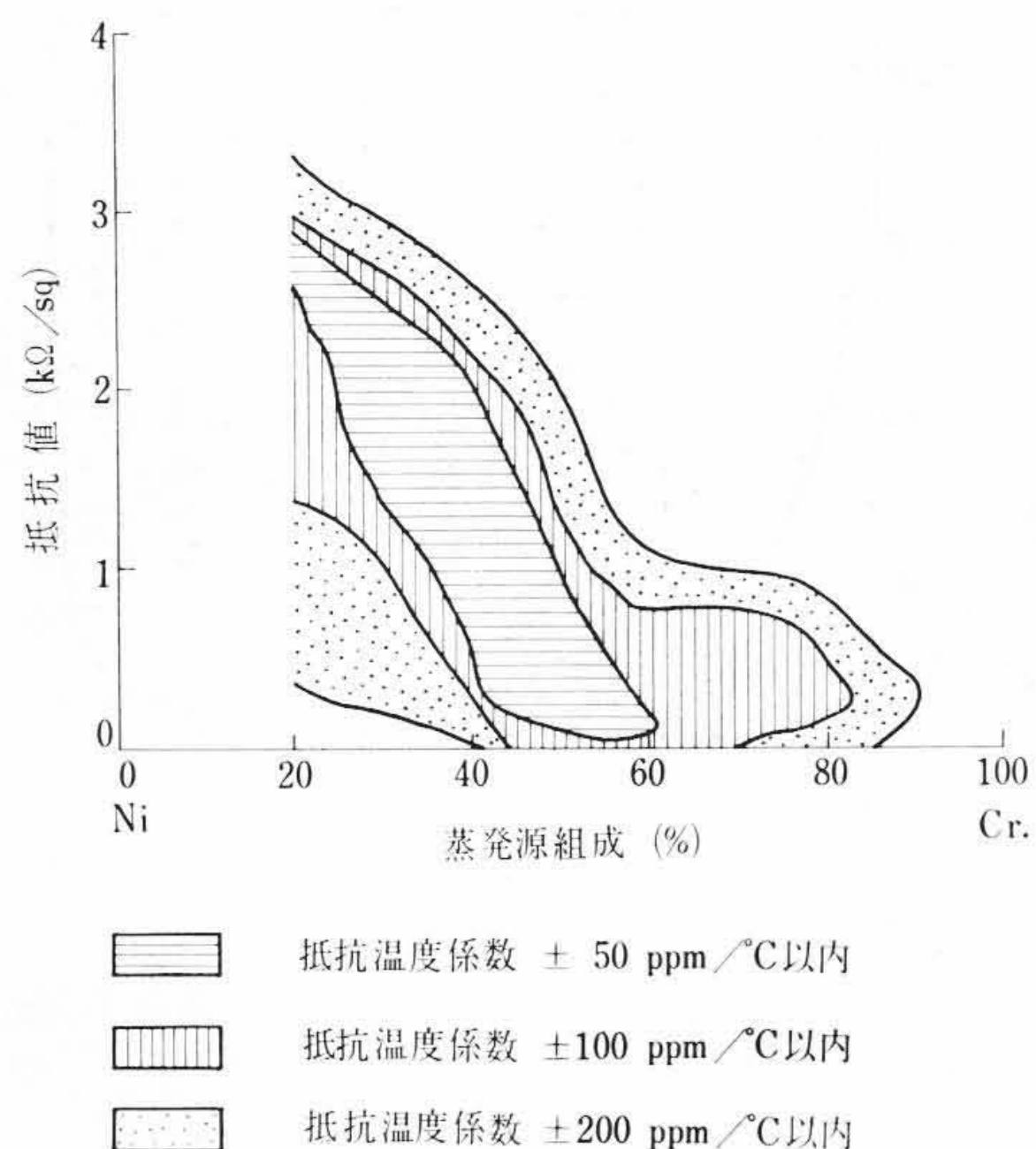
第11図 蒸着膜の面積抵抗値と抵抗温度係数 (Ni50-Cr50)

かがまず問題である。実験の結果、第8図に示したように蒸発源の組成比と蒸着膜の組成比は厳密には一致しないが、ほぼ等しいことがわかった。

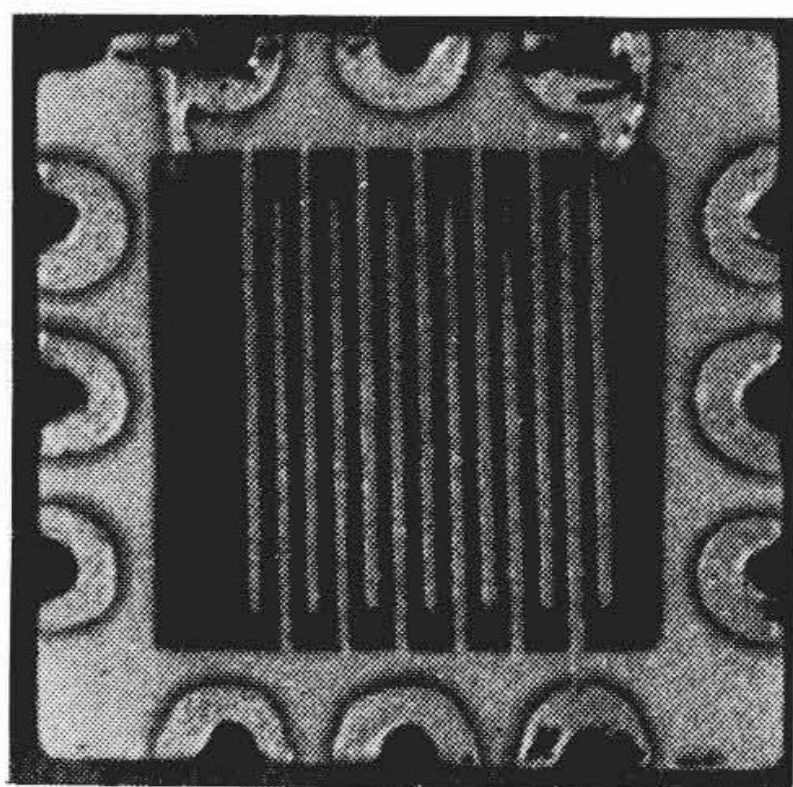
3.2.3 蒸着膜の組成と抵抗諸特性

第9図に蒸発量を100mgとした場合の組成と蒸着膜の面積抵抗値の関係を示す。この薄膜の抵抗値の組成による変化曲線は第6図に示した塊状合金の抵抗変化曲線にかなり似ている。蒸着薄膜の構造は、単にNiとCrの混合物ではなく、塊状合金と同様に固溶体を形成しているものと考えられる。固溶体の形成は電子線回折の測定結果からも推察された。第10図は第9図と同一試料について抵抗温度係数を測定した結果である。予想したように抵抗温度係数はCrの割合が増すにつれて減少する。この実験で金属の組成比を変えることにより100~200 Ω/sq 程度の低い面積抵抗値をもった抵抗皮膜でも抵抗温度係数を50 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以下の非常に小さな値にすることがわかった。第11図に抵抗温度係数の非常に小さい値を示したNi50-Cr50の組成比の蒸発源を用い、蒸発量をいろいろ変えた場合の面積抵抗値と抵抗温度係数との関係を示す。この図からみられるように面積抵抗値と抵抗温度係数は密接な関係にあるので、種々の面積抵抗値のものについて抵抗温度係数が十分小さくなるような蒸発源組成比を求める必要がある。

第12図は第11図を得たと同様の実験を蒸着源の組成比を種々変えて行ない、抵抗温度係数が $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以内、100 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以内および200 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以内となるような蒸発源組成比と蒸着面積



第 12 図 蒸発源金属の組成，蒸着膜の面積抵抗値および抵抗温度係数の関係



第 13 図 ダイヤモンドペンシルでみぞ切りしたもの

抵抗値との関係を示したものである。このように面積抵抗値で， $7\Omega/\text{sq}$ から $2.7\text{k}\Omega/\text{sq}$ の広い範囲にわたって，抵抗温度係数を目的とする $50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以下の低い値にすることが可能となった。

3.3 抵抗値調整

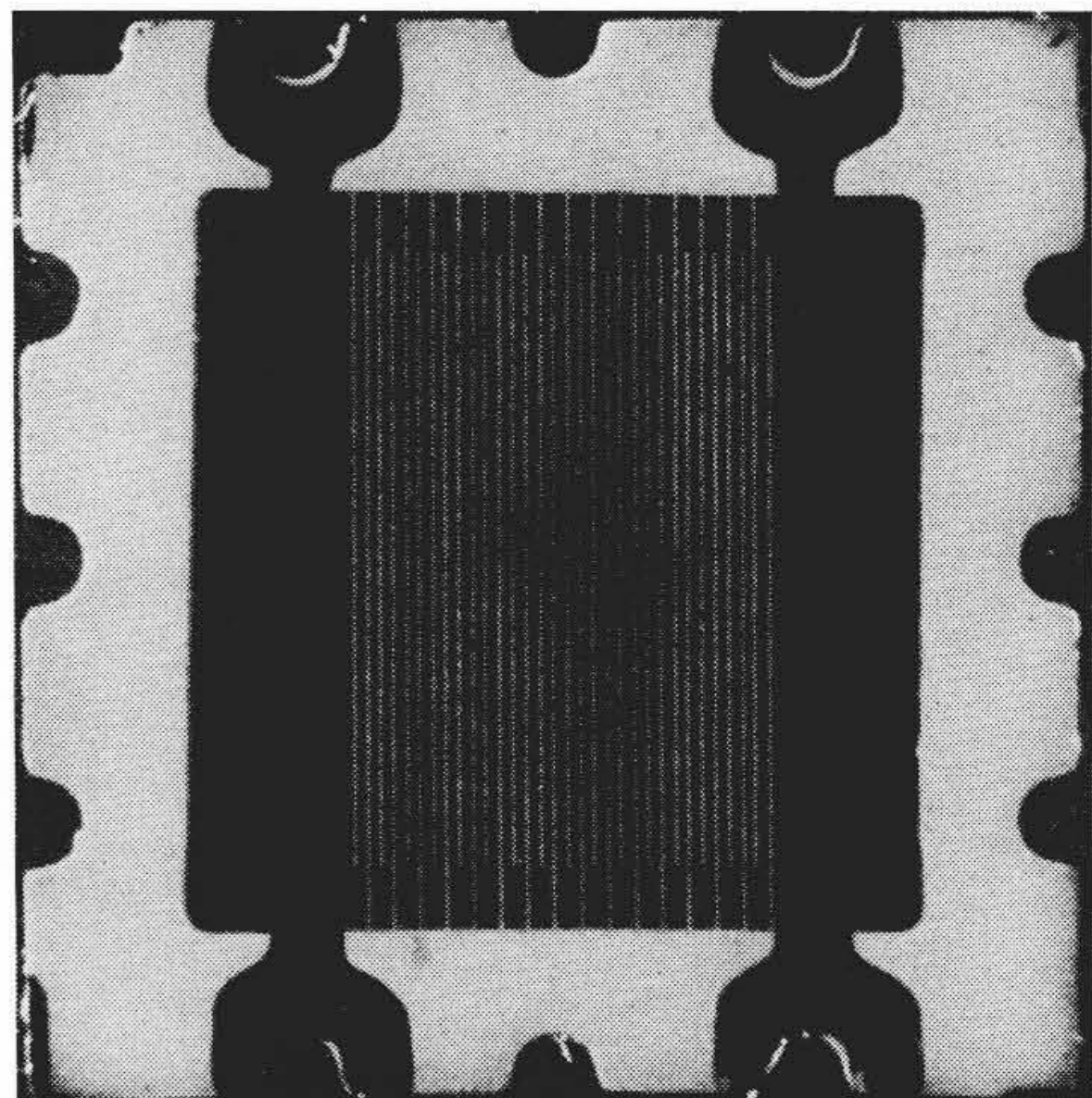
抵抗器の寿命特性を良好にするためには，できる限り抵抗皮膜の面積を広くし，膜厚を大きくする必要がある。したがって，抵抗皮膜に可能なかぎり多くのみぞ切りを施して，はじめて所要の抵抗値に達するような作り方が望ましい。

3.3.1 みぞ切り方式

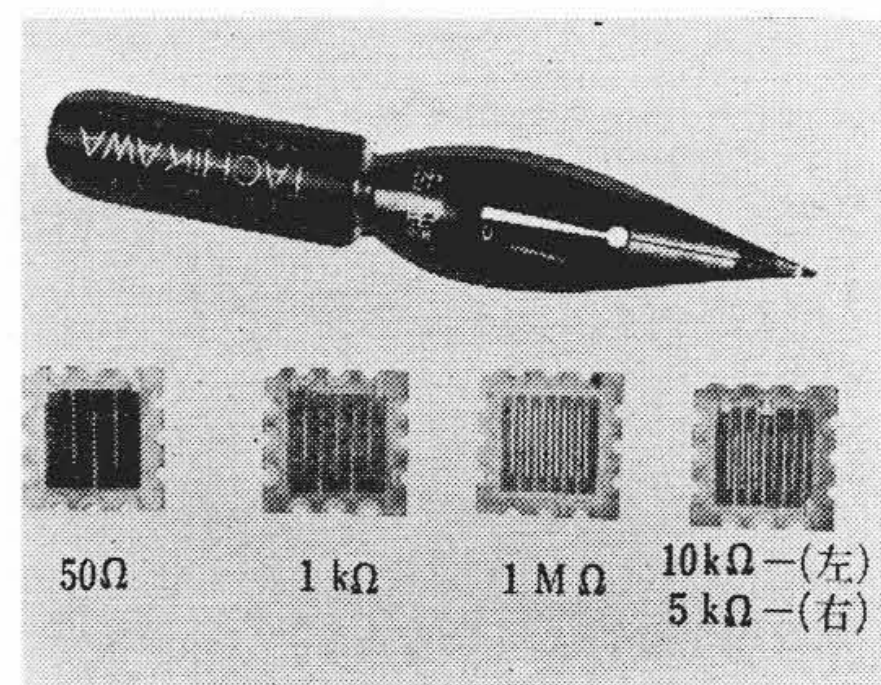
抵抗皮膜の幅や長さの調整法は多数あるが，おもなものは次のとおりである。

- (1) 食刻によって不要部を取り去る
- (2) 超音波加工によるみぞ切り
- (3) 放電加工によるみぞ切り
- (4) サンドブラストによるみぞ切り
- (5) ダイヤモンドペンシルによるみぞ切り
- (6) 電子線加工によるみぞ切り

これらのうち(1)は腐食液の抵抗膜の寿命に及ぼす悪影響に問題があり，(2)は未検討，(3)はガラスなどの平滑基板にはよいが，アルミナ基板には不適當である。(4)は細いみぞ幅のものが得がたい。(5)の例を第13図に示す。この場合みぞ間隔は 0.3 mm 程度まで狭くできるが，量産的ではない。(6)の例を第14図に示す(日立製作所中央研究所開発の加工機による)。この図のみぞ幅は 15μ である。みぞ間隔は 100μ 以下にすることも容易であるが，あまり狭くすると基板のピンホールなどの悪影響が現われる。



第 14 図 電子ビームでみぞ切りしたもの



第 15 図 Ni-Cr 系マイクロモジュール用抵抗

3.3.2 マスク方式

抵抗値を高めるにはくし形マスクの使用も一方法である。写真食刻法で製作したマスクを通して蒸着する方法，あるいは写真食刻法で基板上に Cu などの材料によるマスクを設けておき，抵抗材料を蒸着後マスク材料を除去する方法などがある。抵抗値微調整のためにみぞ切り方法を併用するのがよい。

3.4 Ni-Cr 系マイクロモジュール用抵抗の性能

第15図に Ni-Cr 系マイクロモジュール用抵抗の一例を示す。

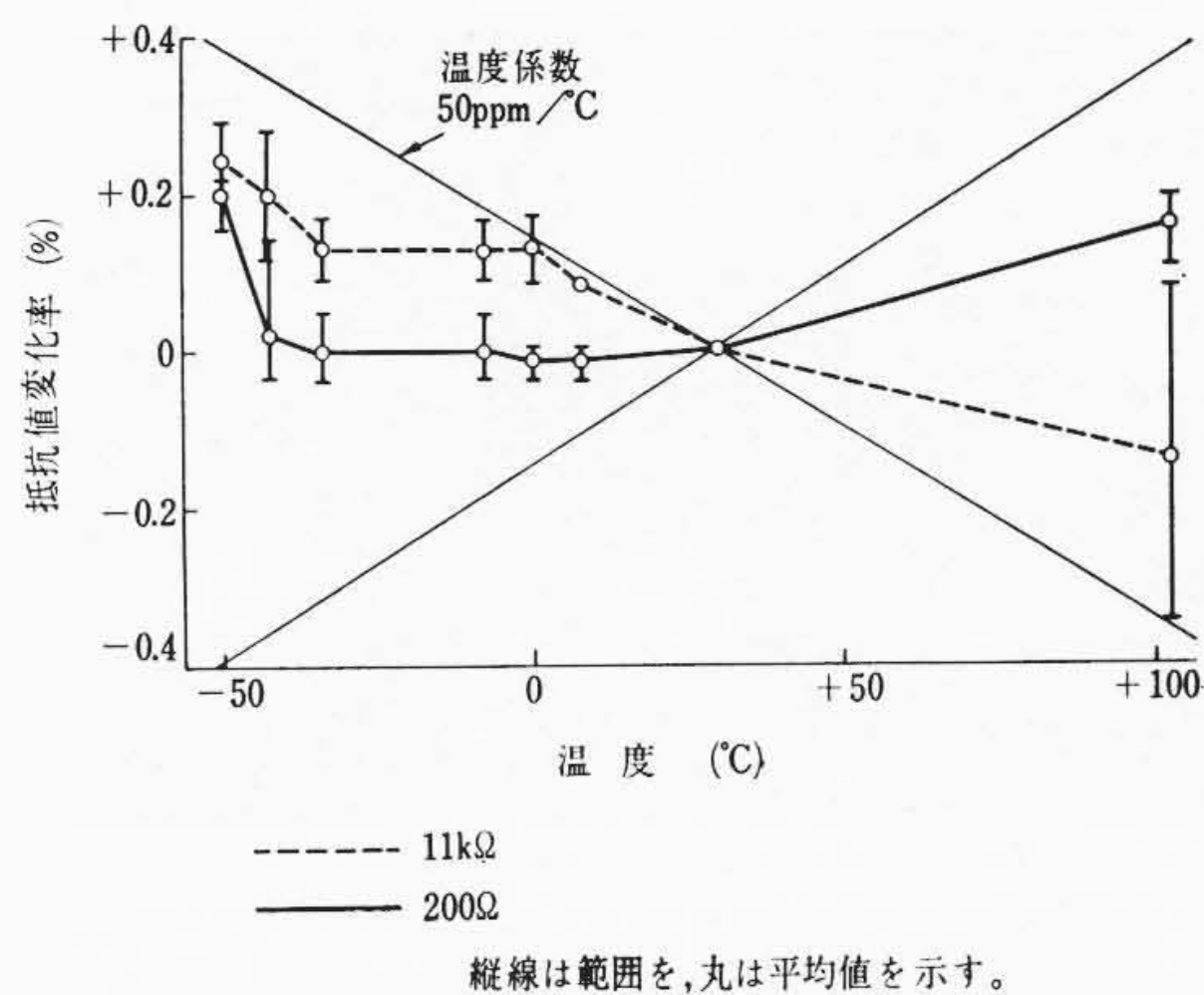
3.4.1 仕様

仕様は次のとおりである。

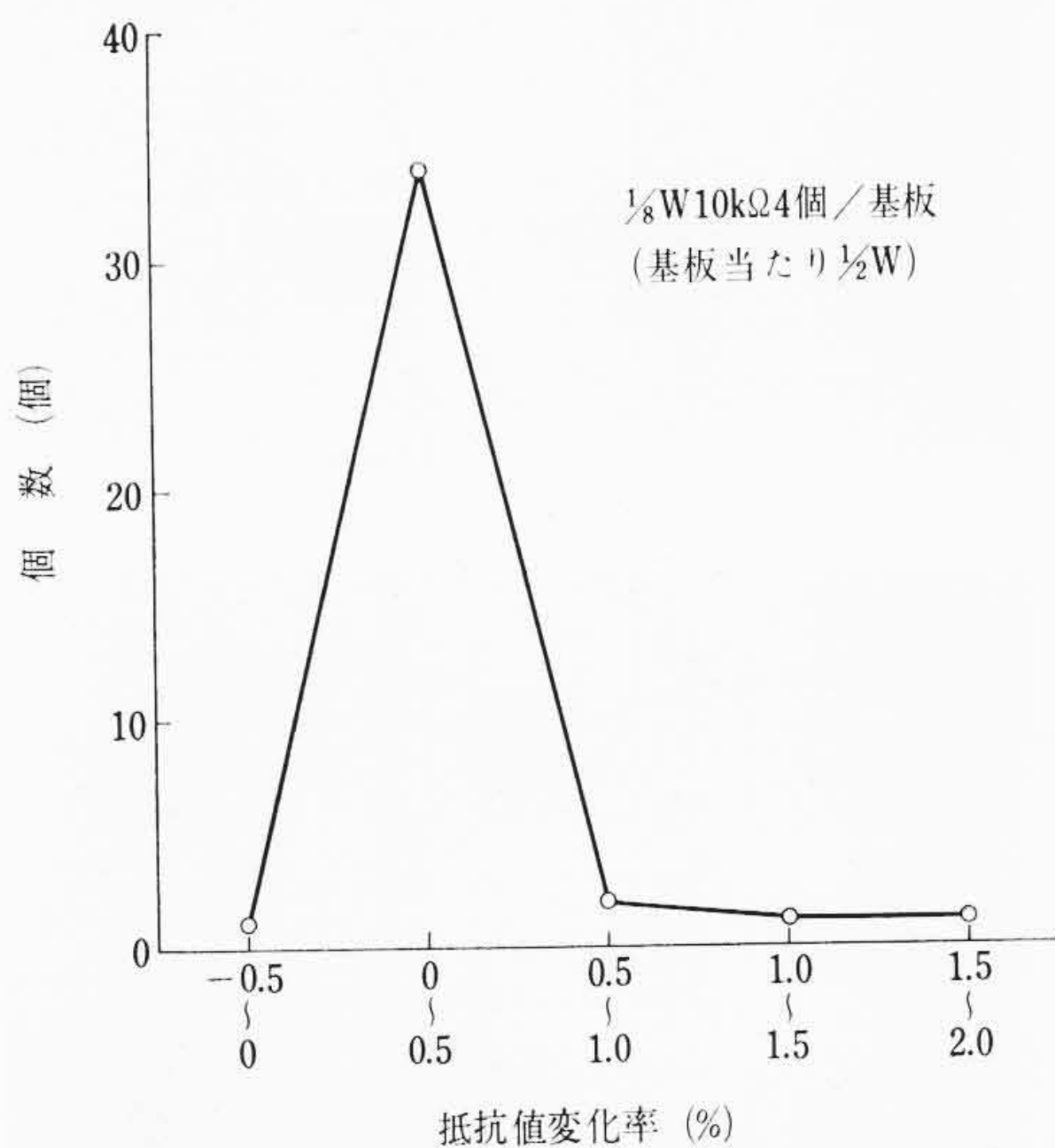
- (1) 抵抗値範囲 $1\Omega \sim 1\text{ M}\Omega$
- (2) 抵抗値許容差 $\pm 2, \pm 5, \pm 10\%$
- (3) 負荷電力 抵抗1個当たり $1/8\text{ W}$ ($1/4\text{ W}$ も可)
- (4) 最高使用電圧 100 V
- (5) 抵抗数/基板 $1 \sim 4$ 個
- (6) 基板寸法 $7.88 \times 7.88 \times 0.25\text{ mm}$

3.4.2 性能

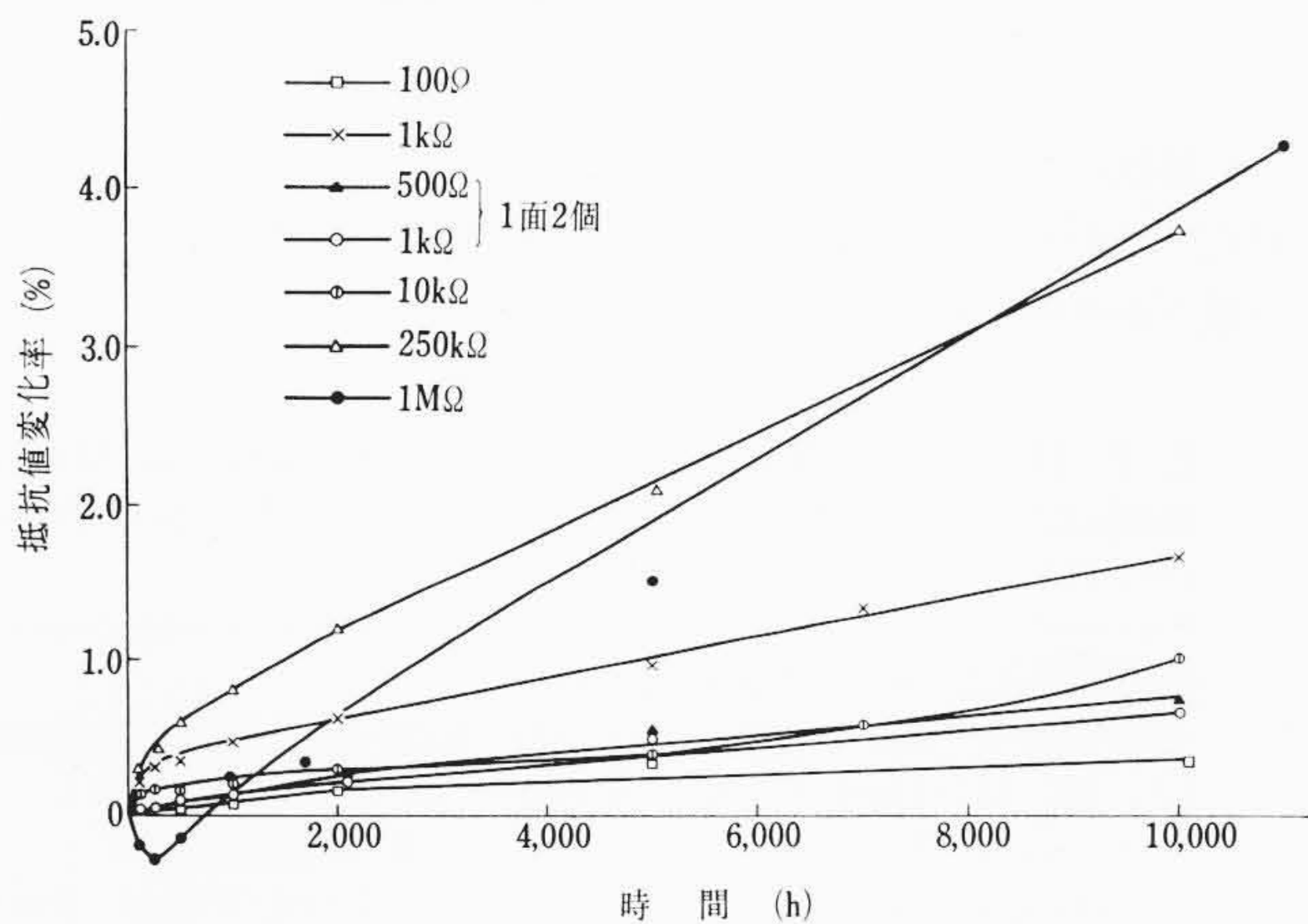
- (1) 温度係数 $-50 \sim +100^\circ\text{C}$ で $\pm 200\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 以内(抵抗値変化率の測定例を第16図に示す)
- (2) 温度サイクル 室温 $\sim -55^\circ\text{C} \sim$ 室温 $\sim 85^\circ\text{C}$ ，5サイクル後1%以内 ($47\text{ k}\Omega$ 4枚をモールドしたものについての測定例では全部0.04%以内であった)
- (3) 雑音電圧 $1\mu\text{ V/V}$ 以下
- (4) 負荷寿命 周囲温度 70°C ，500時間後1%以内 ($1/8\text{ W}$ ， $10\text{ k}\Omega$ の抵抗を基板1枚当たり4個つけた場合の負荷寿命試験1,000時間後の変化率を第17図に示す。また，長



第16図 温度による抵抗値の変化



第17図 負荷寿命試験結果 (70°C, 1,000時間)



第18図 負荷寿命試験結果 (70°C, 10,000時間)

時間 [10,000時間] 試験の結果を第18図に示す。

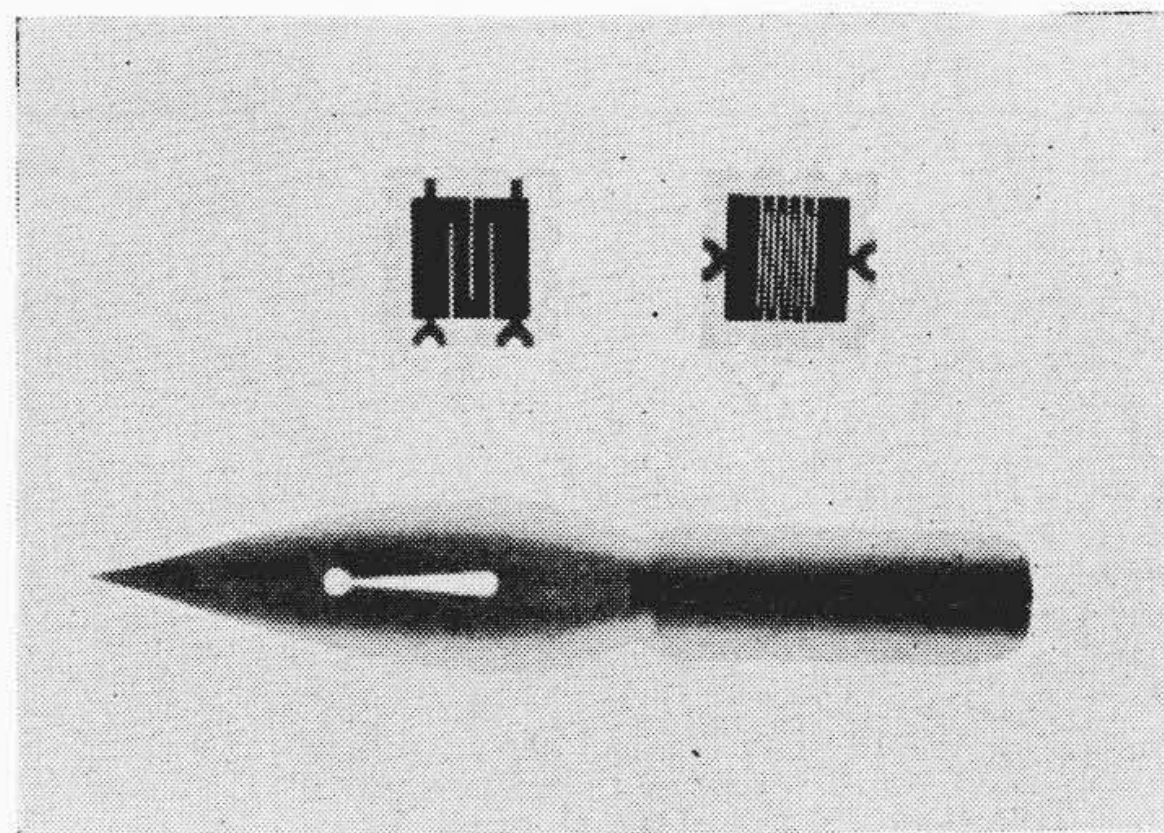
3.5 新しい抵抗

金属と無機絶縁物の混合皮膜（サーメット皮膜）の形成により、著しく高い面積抵抗値を有し、しかも性能のすぐれたものが得られた。これを高負荷（1/2W）抵抗に応用したものを第19図に示す。Ni-Cr系抵抗の1/3のみぞ切り数でよりすぐれた性能を有している。

3.6 可変抵抗

3.6.1 可変抵抗

可変抵抗を大別すると、半固定用とそうでないものとに分けられる。音量調節などに用いられるときには、常に可変でなければ



左：混合皮膜抵抗 右：Ni-Cr系皮膜抵抗

第19図 高負荷 (1/2W) 用抵抗

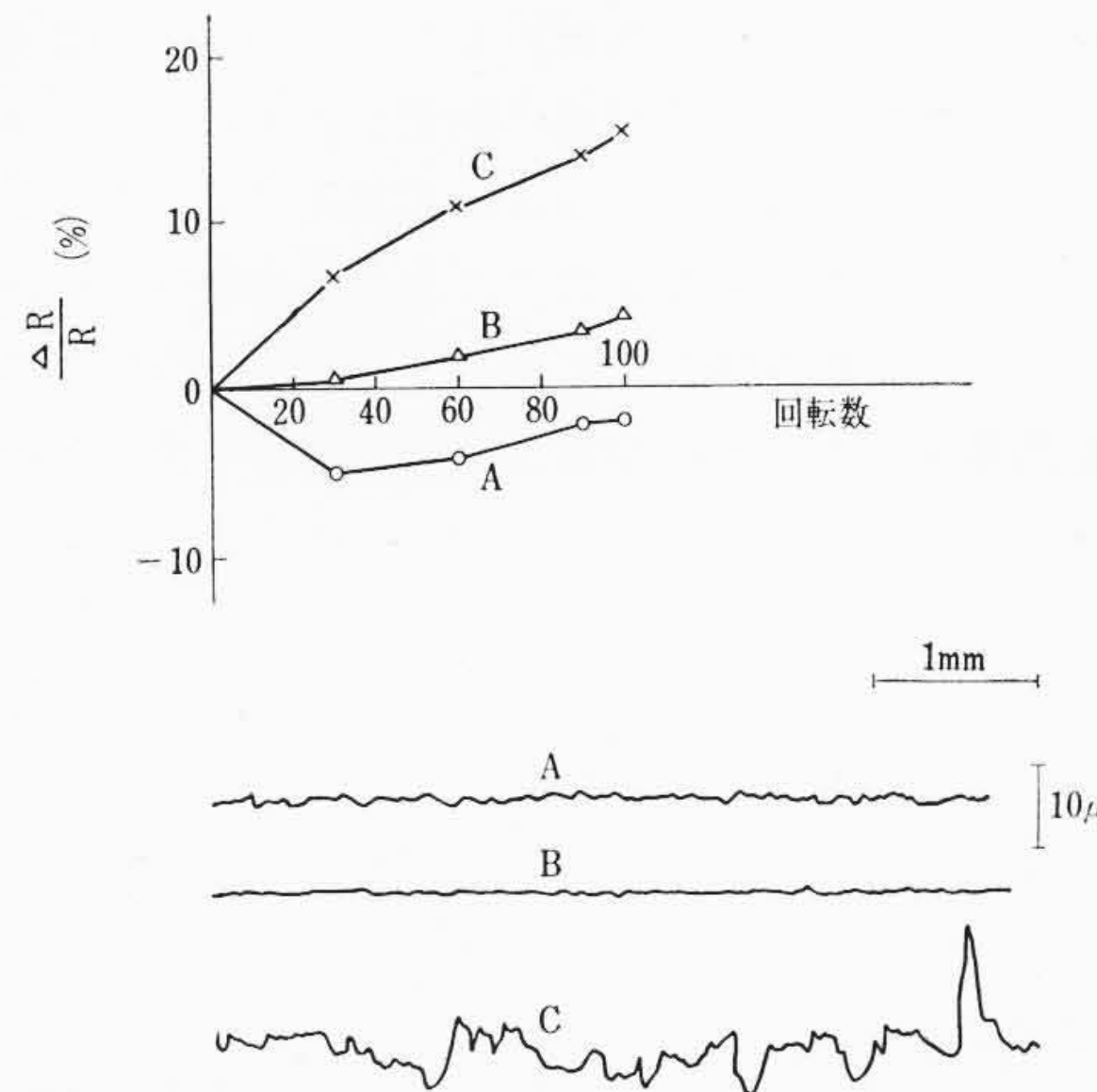
ならないが、回路の時定数の調節とか、トランジスタの動作点の調整などに用いられるときには、回路に組み込まれ調節された後では固定されてしまう場合が多い。電子装置の超小形化という立場からみると、前者は必要上あまり小さくすることはできないが、半固定のほうは調整時に適当な治具を必要とするとしても、できるだけ小さくすることが望まれる。われわれは以上のような立場からまず半固定用の可変抵抗を開発したので、これについて述べる。

可変抵抗としては、従来の機械的しゅう動機構を有する形のほかに、温度可変形、電圧可変形、電磁可変形、ピエゾ抵抗形などいろいろある。温度可変形を除きその他の中には小形化に有望なものもあるが、まだ実用の域に達していない。まずここでは機械的しゅう動機構を有する半固定抵抗について述べる。

3.6.2 マイクロモジュール用半固定可変抵抗

マイクロモジュールに要求される超小形化と高信頼性ことから、材料、構造および製造法に関しては慎重な検討が必要である。

抵抗材料としては、絶縁性基板上に真空蒸着したNi-Cr系合金の薄膜を用いているが、基板材料としては、機械的強度の大きいことと熱伝導の良いことから高アルミナ磁器とかベリリヤ磁器が適している。抵抗薄膜の製造条件は一般の固定抵抗の場合とまったく同一である。基板の表面あらさは、要求される消費電力や抵抗値のほうからある程度はあらいほうがよいが、あまりあらすぎると抵抗値のばらつきが大きくなり、またしゅう動子と抵抗体との接触不良による抵抗値の不連続変化を起こし、電流雑音の増大をもたらす、また回転寿命を劣化させる。これらの間の量的関係はしゅう動子の接点形状、接触圧、しゅう動子のバネ性などにより違ってくる。第20図は基板表面のあらさの効果をみるために、かなり大きい一定圧力でしゅう動子の接点をしゅう動させたとき



第20図 基板の表面あらさと抵抗変化率の関係

第 4 表 各種しゅう動子による抵抗値変化率および雑音

項目 しゅう動子	抵抗値変化率 (%)		抵抗体雑音 ($\mu\text{V/V}$)			接点を介した雑音 ($\mu\text{V/V}$)		
	100 回	500 回	0	100 回	500 回	0	100 回	500 回
I	-2.6 ~-1.7 (-2.0)	-0.9 ~-0.4 (-0.7)	0.5 ~-0.6 (0.57)	1.5 ~-5.6 (2.9)	1.0 ~-10.0 (4.2)	0.3 ~-1.5 (0.73)	0.7 ~-8.0 (3.4)	0.8 ~-15 (6.4)
II	0.27 ~-0.89 (0.64)	0.69 ~-1.9 (0.87)	0.14 ~-0.70 (0.43)	0.18 ~-2.5 (1.1)	0.14 ~-1.6 (0.87)	1.0 ~-5.5 (3.0)	2.0 ~-13 (7.2)	2.0 ~-10 (6.0)
III	-0.26 ~-0.93 (-0.53)	-0.19 ~-0.31 (-0.25)	0.3 ~-1.0 (0.53)	1.0 ~-3.0 (1.67)	0.8 ~-3.0 (1.9)	0.5 ~-3.1 (1.6)	0.9 ~-3.0 (1.9)	2.2 ~-3.0 (2.6)

() 内は平均値

のしゅう動回数に対する抵抗値の変化状況を示したものである。

しゅう動子の形状、寸法、材質も重要である。接触部は抵抗体とのしゅう動により摩耗してゆく。したがって、この摩耗があっても十分接触圧が保たれるよう、しゅう動子はバネ性を有していなければならない。第 4 表に燐青銅板を材料とした各種の形状のしゅう動子を用いて同じ接触圧の下で組み立てられた可変抵抗の特性を示す。これから III 形のものが最も良好であることがわかる。

マイクロモジュールでは、各部品は実際にモジュールに組み込まれると樹脂でモールドされる。したがって可変抵抗もモールド樹脂が直接しゅう動子に接触しないようにキャップをかぶせてある。第 21 図 (a) に可変抵抗用抵抗基板、同図 (b) にキャップをつける前の状態、同図 (c) にでき上がった可変抵抗を示す。寸法は $7.88 \times 7.88 \times 2.0 \text{ mm}$ で、次に示すような特性を有している。

抵抗値

10k Ω max

定格電力

1/10 W

抵抗変化特性

B 特性

雑音電圧

5 $\mu\text{V/V}$ 以下

回転寿命

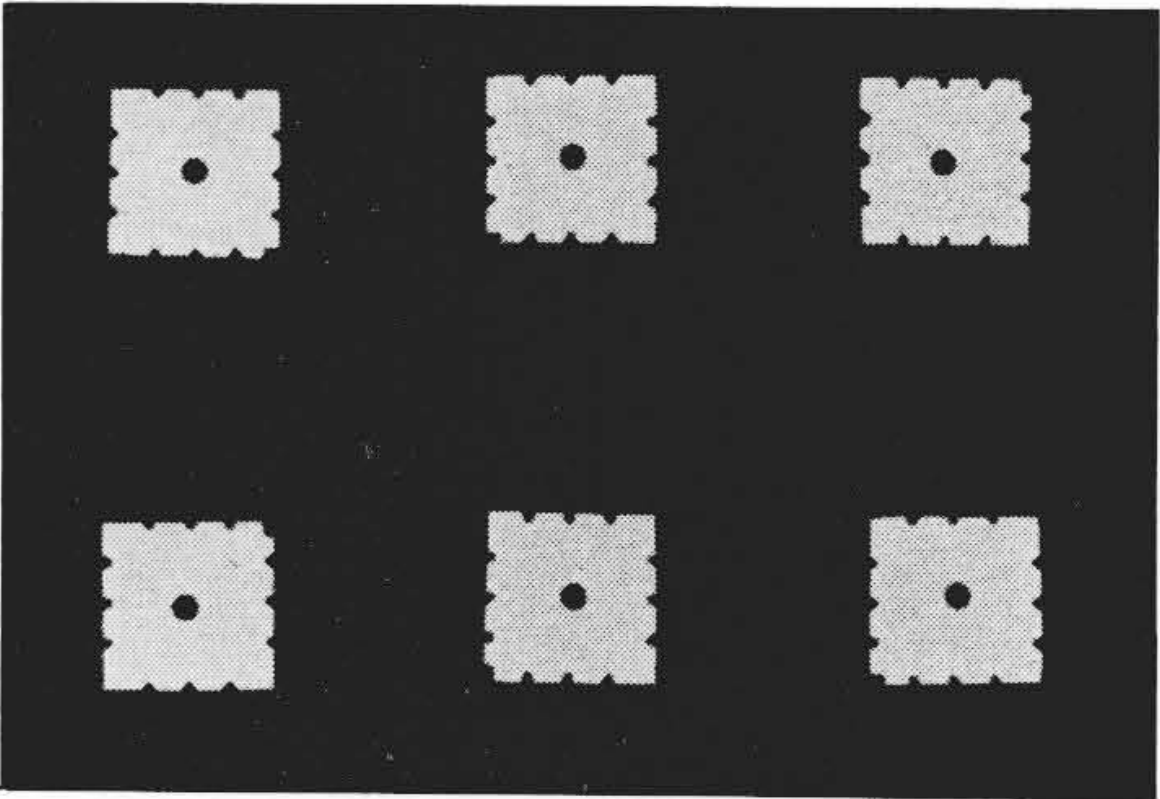
100 回以上

以上、一応機械的しゅう動機構を有する半固定可変抵抗について述べた。なお超小形化を進め、信頼度を高めるために機械的しゅう動機構を有しない可変抵抗の実用化が望まれる。

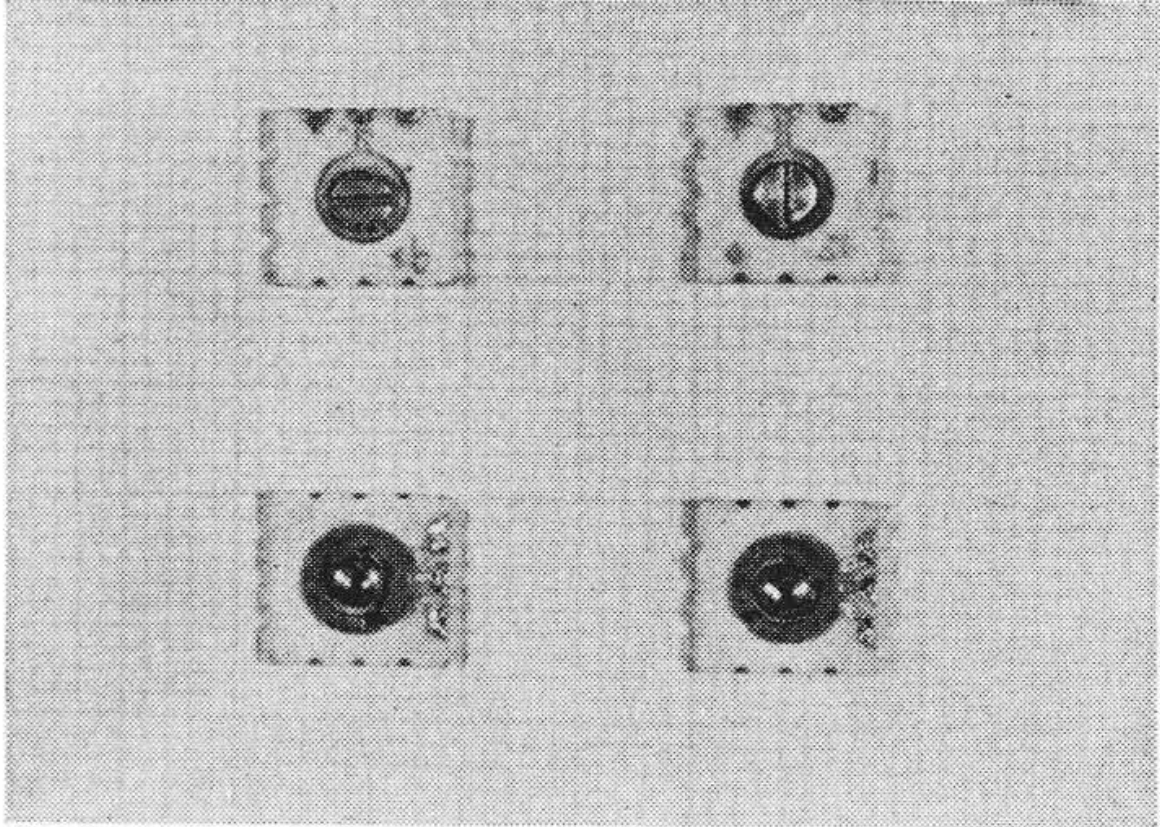
4. 結 言

以上述べたように、アルミナ素地にポリステレン樹脂などを加えてシート状に押し出し成形したものを打抜加工し、焼成することにより、マイクロモジュール用基板として十分な性能と信頼度を有するものを作り得た。この低ソーダ高アルミナ質磁器材料（商品名ハロックス）は今後ますます複雑化、超小形化していくエレクトロニクスの分野に広く寄与するものと確信する。

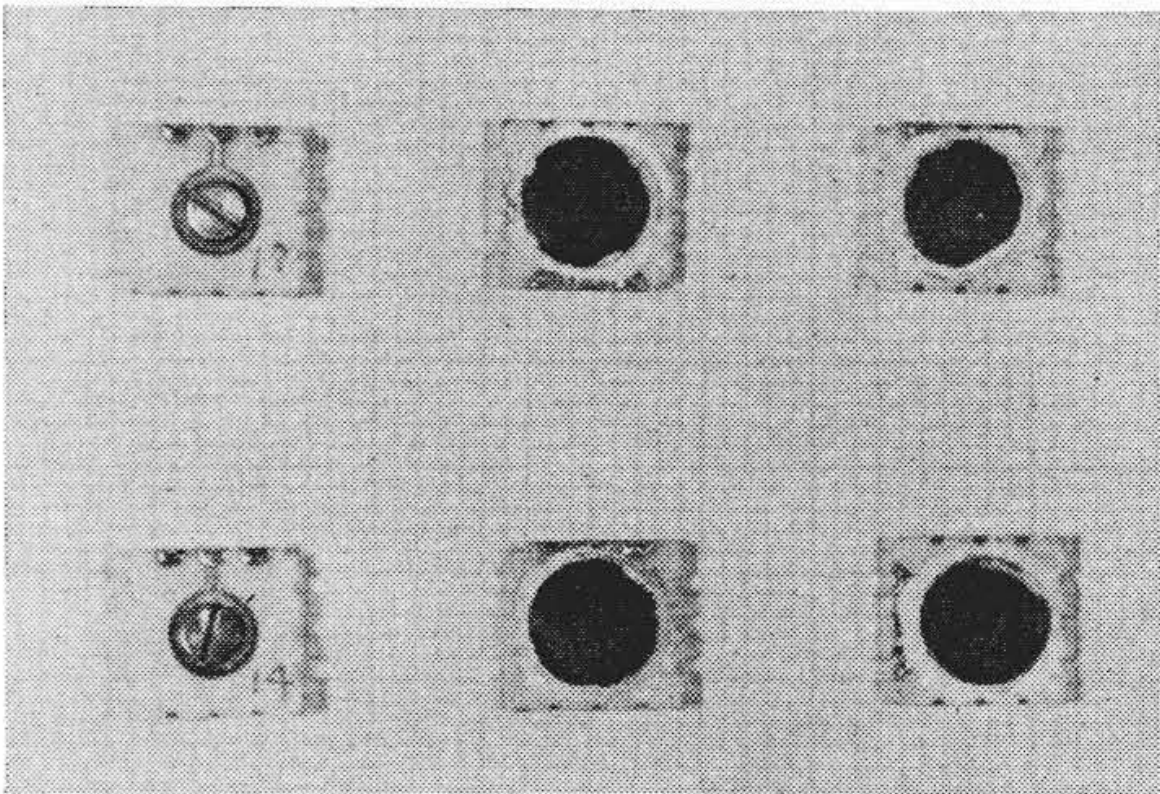
また、マイクロモジュール用抵抗として、Ni-Cr 系蒸着皮膜抵抗の製法について検討し、蒸発源の組成を従来のニクロム（Ni 80-Cr 20）から大幅に変えることにより、必要とする $1 \Omega \sim 1 \text{ M}\Omega$ の全抵抗値範囲にわたって低温度係数で、負荷寿命特性そのほかの諸特性のすぐれたものを作り得た。なお同一材料で $10 \text{ k}\Omega$ までの半固定可変抵抗を開発するとともに金属と無機絶縁物の混合皮膜を用いた



(a) 抵抗を蒸着させる可変抵抗器用基板



(b) キャップをはずした可変抵抗器



(c) キャップをつけた可変抵抗器

第 21 図 可 変 抵 抗

新しい抵抗についても研究を進めた。

終わりにのぞみ、本研究に関しご指導、ご協力いただいた関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

(1) E. F. Horsey: Proceedings of Symposium on Micro-miniaturization of Electronic Assemblies, Hayden Book Co., Inc., New York (1958)

(2) Proceedings 1960 Electronic Components Conference, May 10-12, 1960, Washington

(3) 茂木朝雄: 窯業協会誌 67, C 431 (1959-12); 67, 387 (1959-12); 68, 11 (1960-1); 68, 23 (1960-2)
日本特許第 293390 号, 第 290388 号, 第 284688 号

(4) L. Holland: Vacuum Deposition of Thin Films, John Wiley & Sons, Inc. (1958)

(5) R. H. Alderson, F. Ashworth: British J. Appl. Phys., 18, 205 (May 1957)

(6) R. A. Weale: Proc. Phys. Soc. London, A, 62, 135 (1949)

(7) 山本洋一郎: 金属材料便覧 (日刊工業新聞社 昭 25)