

クリテジスタ

Critical Temperature Resistor

二木久夫*
Hisao Futaki

内容梗概

バナジウム酸化物と酸性酸化物 (B, Si, P 酸化物) および塩基性酸化物 (Mg, Ca, Sr, Ba, La, Pb 酸化物) の混合酸化物を適当な還元性ふん囲気中で熱処理すると, 68°C 付近で2~4けたの急激な負性抵抗変化をする安定な半導体を得られることを発見した。この特性を得るためには適当な還元条件と焼結条件が必要であり, これら条件を適当に選ばば200°Cの連続加熱で数十年の寿命が期待できることがわかった。この新しい材料の急変域の温度係数は従来のサーミスタの30倍で, これを利用して特定温度の温度定点, 赤外線デテクタ, 温度警報器などの装置ができる。またこの素子の電流-電圧特性が完全な負性抵抗特性を示すことを利用して, 各種論理素子, 低周波および高周波の発振素子とすることができる。

1. 緒言

系統的なサーミスタ材料の研究⁽¹⁾の一環としてV酸化物と酸性酸化物である B, Si, P 酸化物, または塩基性酸化物である Mg, Ca, Sr, Ba, La, Pb 酸化物との複合酸化物の性質を調べているうちに, これらの複合酸化物を弱還元性ふん囲気中で焼結し, 急冷したものが65~75°Cで第1図に示すように2けた以上の急激な電気抵抗の変化を持つことを発見し, クリテジスタ (Critesistor-Critical Temperature Resistor) と名づけた^{(10)~(21)}。引き続きV酸化物と酸性酸化物, 塩基性酸化物より成る3成分系について測定を続行したところ, 電気抵抗急変の割合, 急変部分の温度係数, 高温における安定性, 加工性などの諸面で2成分系より3成分系のほうが多くの利点を持っていることがわかった。

従来からも Morin 氏らによって低原子価バナジウム酸化物のうち, V₂O₄ について65~70°Cで2けた程度の急激な電気抵抗の変化は測定されているが^{(2)~(6)}, 筆者がこの材料と上記2~3成分系材料と比較した結果, 多成分系のほうが電気抵抗の急変度, 高温における安定性の面ではるかにすぐれており, 各種の温度検知素子, 電気回路素子として十分実用可能であることが明らかになった。クリテジスタの性質を示す組成は非常に広いがこの報告ではそのうちの代表例として, V-A-Ba (A: B, Si, P), V-P-R (R: Mg, Ca, Sr, Ba, La, Pb) の各3成分系についての電気的特性について述べる。

またクリテジスタを作るときには適度の還元ふん囲気で焼結し, 焼結後急冷する必要があることが明らかとなったので, これら焼結条件についても細かく検討した。

クリテジスタの安定度についても, 筆者が従来のサーミスタについて適用した寿命の早期判定法⁽⁴⁾が適用できることを認め, 200°Cで数十年以上の寿命を持つことがわかった。さらにこの応用についても二, 三考察した結果, 従来のサーミスタではとうてい得られない多くの新しい特性や現象をつかんだのでここにその一部を報告する。

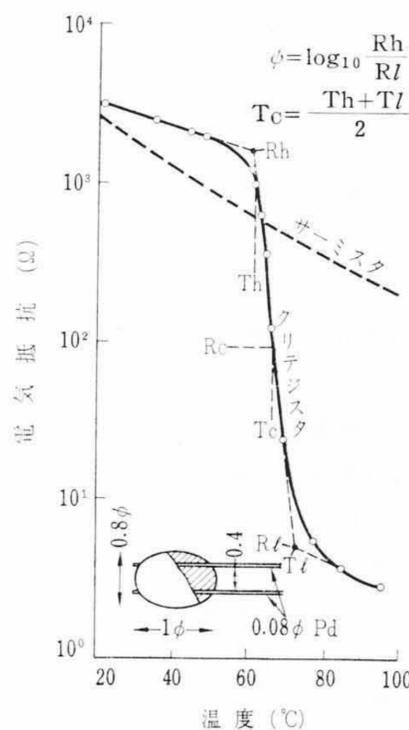
2. クリテジスタ試料の製法と予備実験

2.1 試料の製法

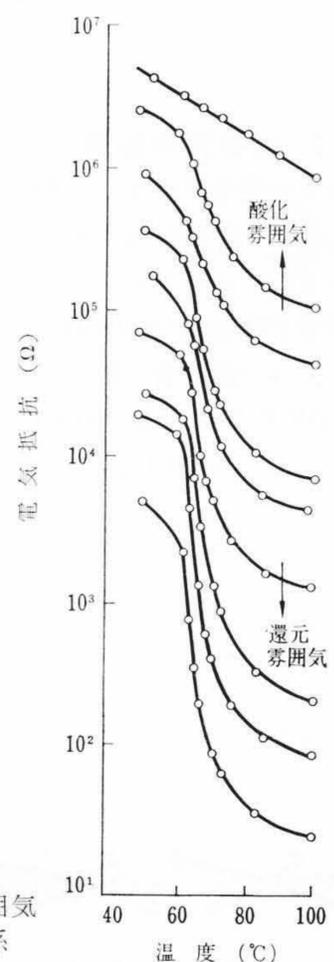
クリテジスタは普通のサーミスタと同様に, 複合酸化物の粉末をビード状またはディスク状に加工することができるが, ここでは, 第1図のような標準ビード形に加工して用いた。このビード形クリテジスタの製法の大略を次に述べる。

(1) 原料を酸化物または炭酸塩などの形で湿式で混合し, 乾燥

* 日立製作所武蔵工場 工博



第1図 クリテジスタの温度特性符号, および標準ビードの構造



第2図 焼結時のふん囲気状態と温度特性の関係

する。

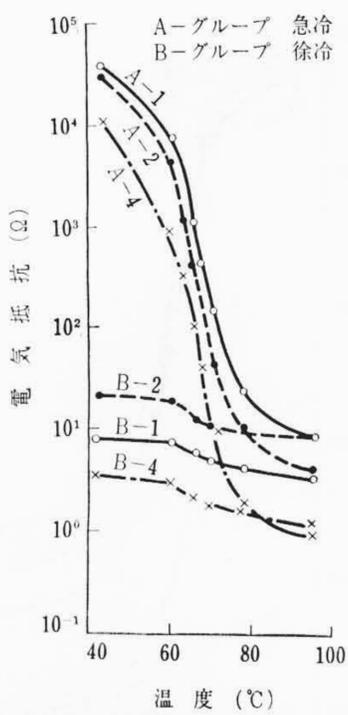
- (2) 弱還元性ふん囲気で800~900°Cに熱処理し放冷後微粉碎する。
- (3) この粉末を水でペースト状にし, 普通のサーミスタと同様に平行に張った2本の0.08φのパラジウム線または白金線の上に塗布し, 乾燥後弱還元性または中性ふん囲気中で約1,000°Cで焼結し, 急冷する。
- (4) 焼結後, 第1図のように切断して測定試料とする。

2.2 焼結ふん囲気の問題

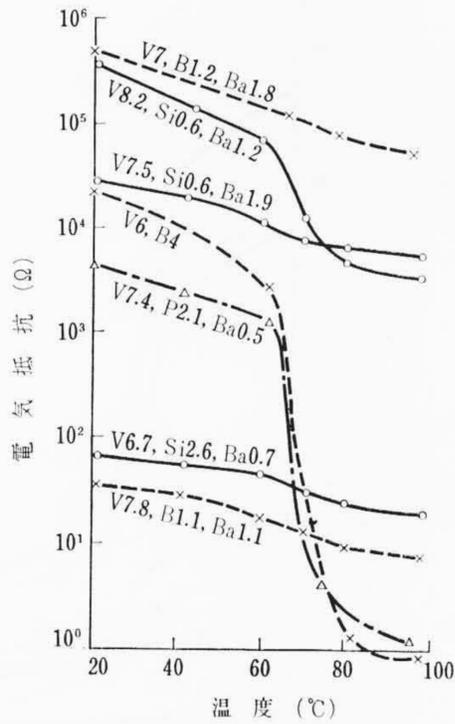
試料を還元ふん囲気で焼結するときの還元度は特性に大きい影響を与え, 第2図のように温度特性が大きく変化する。

またこの試料は焼結後急冷することを必要とし, 第3図のように徐冷したものは温度によって電気抵抗はあまり変化しないが, 急冷したものでは大きい変化が認められる。

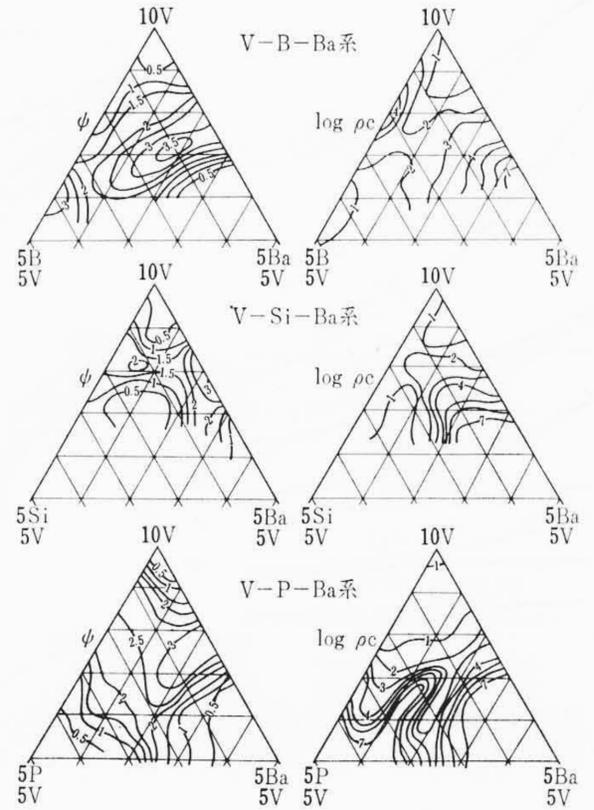
これらふん囲気および急冷の問題については項を改めて詳細に述べることにするが, 次に述べる各組成と特性の関係の実験では, これらの条件のうちクリテジスタの特性を最も顕著に現わす条件を用いた。また第1図に示すようにクリテジスタの特性上の符号を定め



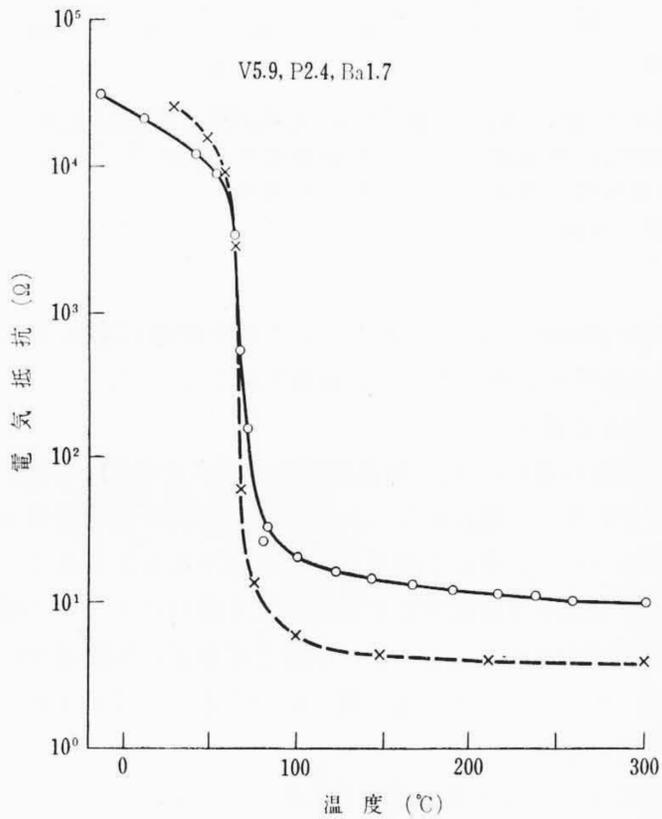
第3図 急冷と徐冷による温度特性の変化



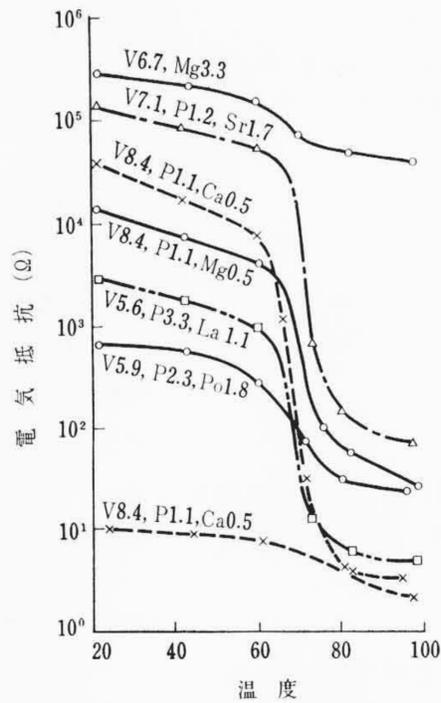
第4図 V-(B, Si, P)-Ba系クリテジスタの代表温度特性



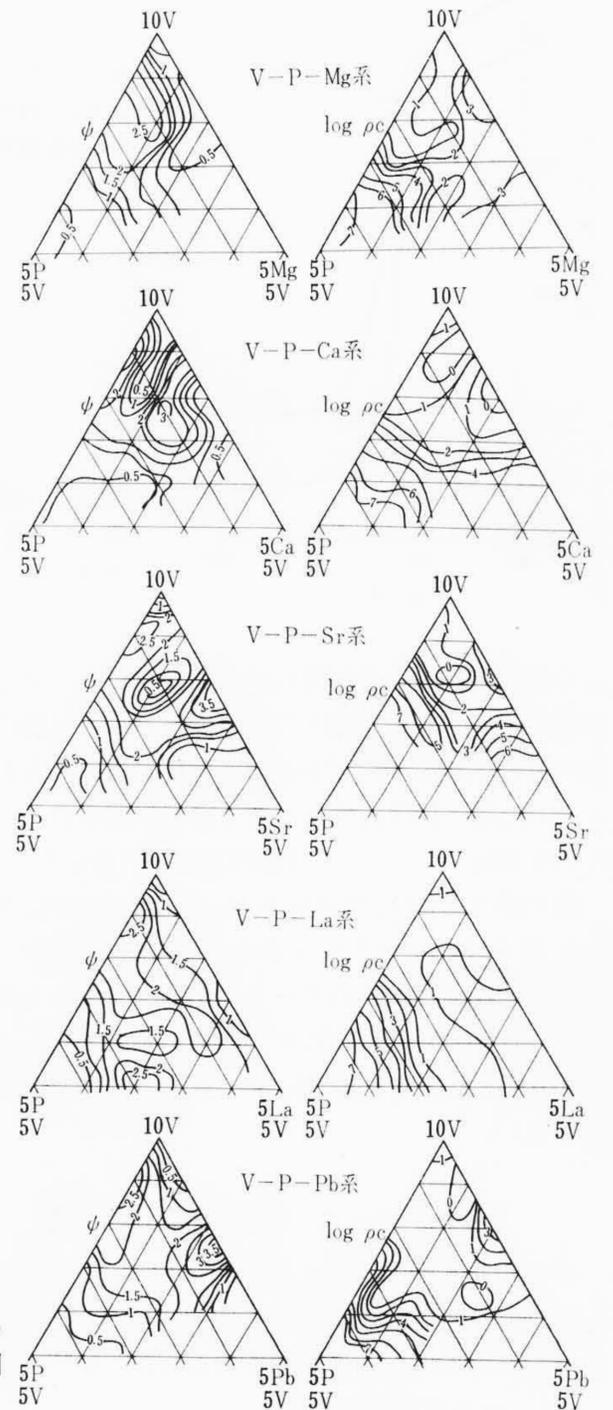
第5図 V-(B, Si, P)-Ba系のphiおよびrho_cの三角図



第6図 V-P-Ba系クリテジスタの0~300°Cの温度特性



第7図 V-P-(Mg, Ca, Sr, La, Pb)系クリテジスタの代表的温度特性



第8図 V-P-(Mg, Ca, Sr, La, Pb)系のphiおよびrho_cの三角図

ることとする。

3. 材料組成と特性の関係

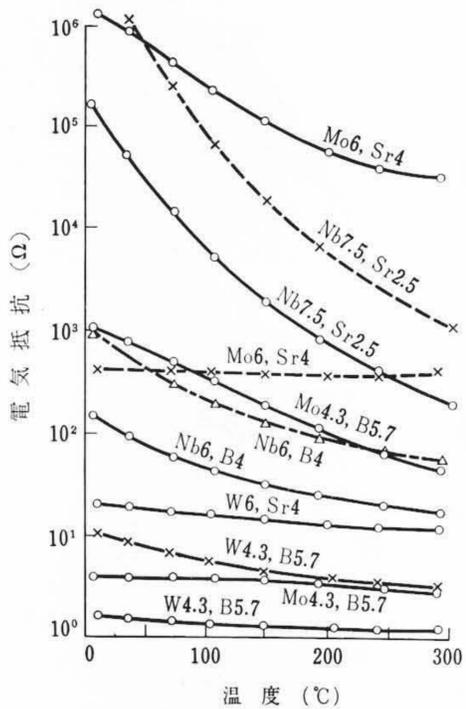
まずV-Ba 酸化物系に B, Si, P 酸化物を組み合わせた3成分系について系統的に温度-抵抗特性を測定し、 ϕ および R_c の三角図をつくった。第4図はその代表例について温度-抵抗特性を示したものの、第5図は ϕ , R_c を示す三角図であってVについて50 mol%以上の組成領域についてのみ示してある。組成によって ϕ , R_c は大幅に変化し、3以上の ϕ を示す組成は非常に狭い範囲に限られている。

V-P-Ba 系のクリテジスタについて、100°C以上の温度-抵抗特性を測定したが、第6図に代表例を示すように、100~300°Cではわずかな負の温度係数を持っており、クニックは現われずまたヒステリシスも認められなかった。

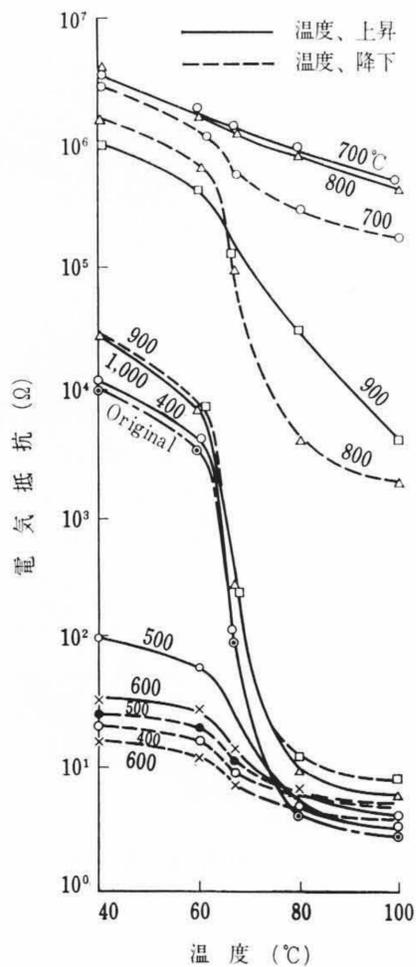
上記の結果から、クリテジスタの性質を出すためにはVは必要であるが、他のエレメントは特定のものに限らないことが明らかになったので、V-P-Ba 系のBの代わりに Mg, Ca, Sr, La, Pb をおきかえた3成分系について実験を行なった結果、さらにすぐれた特性を

もつ材料を見いだすことができた。第7図はこの系の代表例について、温度-抵抗特性を示したもので、第8図はこの ϕ , R_c を示す三角図である。

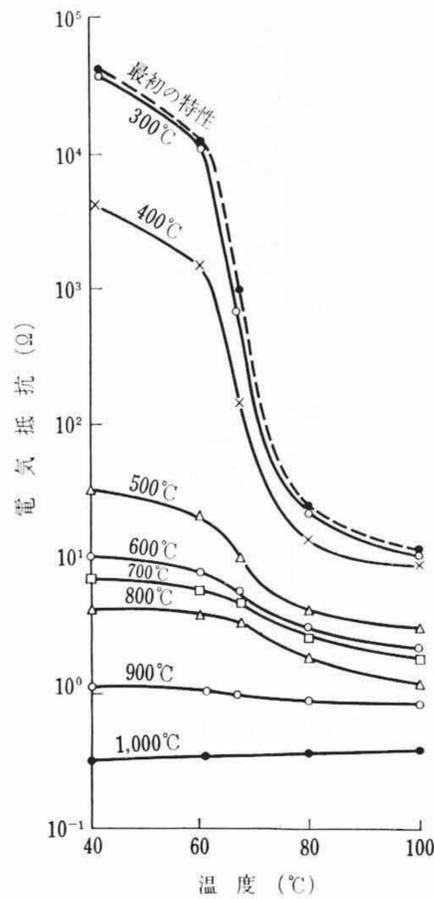
上記いろいろなデータより、クリテジスタの特性はV酸化物によ



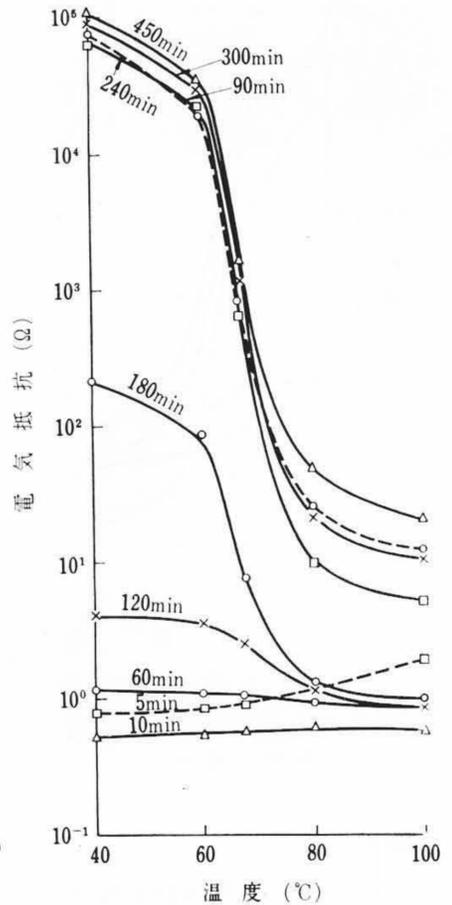
第9図 Nb, Mo, Wを主成分とする酸化物半導体の温度特性



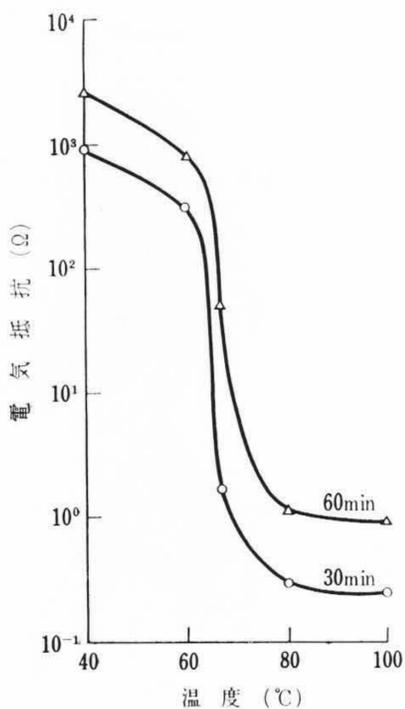
第10図 400~1,000°CのN₂中の熱処理によって生じる温度特性の変化



第11図 CH₃OHを含むN₂中で300~1,000°Cに熱処理して生じる温度特性の変化(処理時間は各2分間)



第12図 CH₃OHで還元した試料を再酸化する間に生じる温度特性の変化



第13図 NH₃で還元した原料をN₂中で焼結、急冷した試料の特性

って支配されることが明らかとなったが、このことはTcはほとんど動かないことを裏付けたことになる。もし他の金属酸化物でも類似の現象が起こり、しかもTcを移動することができればクリテジスタの応用分野は拡大されることが予想されるので、Vと性質の似たNb, Mo, Wについて同様の実験を行なった。

第9図はNb₂O₅, MoO₃, WO₃の一つを60%, SrO, B₂O₃の一つを40%組み合わせた2成分系の酸化物を上記クリテジスタと同様に焼結して作った試料のデータである。これらのおおの特性はまったくクニックは見当たらず、むしろ一般のサーミスタ同様の性質であった。またW-Sr, Mo-B系では電気抵抗の温度依存性はほとんどない。

4. 熱処理条件と特性

さきに述べたようにクリテジスタの製造工程には適度の還元条件と急冷が必要である。この条件を定量的に確認するために、いろいろな還元条件を用いて実験を行なった。

4.1 急冷温度の問題

V: 7.5, Sr: 2.5の試料を用い、あらかじめφ≒3のビード形クリテジスタをつくっておき、これをN₂ガス中、各温度で各2分ずつ熱処理し、急冷した試料について温度特性を測定すると第10図のようになる。この図からクリテジスタは600°C付近と800°C付近に変

態点を持つ三つのphaseがあり、クリテジスタの焼結に際しては900°C以上から急冷する必要があることが明らかとなった。

4.2 CH₃OHによる還元

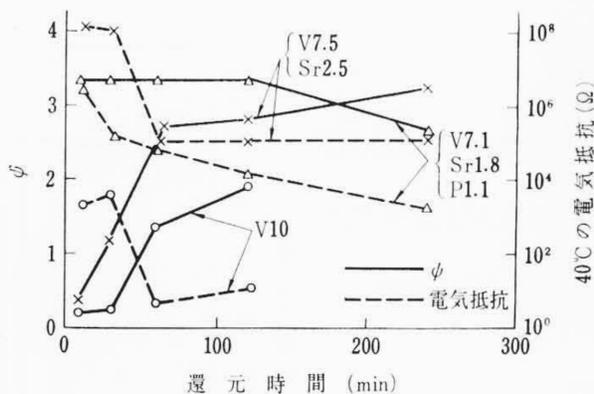
バナジウム酸化物の還元には、触媒関係を中心とするH₂, NH₃, SO₂ガスなどによる多くの報告がみられ⁽⁷⁾、比較的弱い還元性のガスを用いれば4価のバナジウムを作るとは容易であるとされている。クリテジスタの特性を支配する主役元素は4価のバナジウム酸化物であることは、Morin氏などのデータおよび後述の実験結果から明らかであり、クリテジスタを常に均一につくるには還元条件の制御が重要な課題となる。

まずCH₃OHによって還元条件を検討した。ふん囲気として7.5 vol%のCH₃OH蒸気を含むN₂ガスの中で、φ≒3の特性をもつビード形クリテジスタを各温度で2分間熱処理急冷すると、第11図のように処理温度が高温になるにしたがって温度特性に大きい変化が現われ、900°Cではφはなくなり、1,000°Cでは温度係数は反対に正になり、しかも40°Cの電気抵抗は最初の値の1/10⁵になってしまう。900°C, 1,000°Cの処理ではおそらくVが4価よりさらに低原子価の3価にまで還元されたものと考えられる。

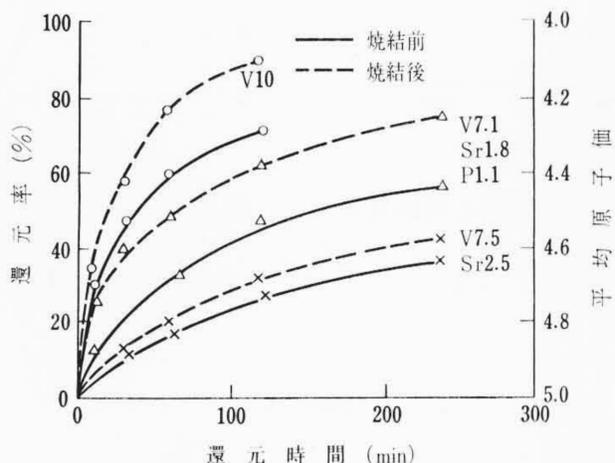
次にこの強く還元された試料を空气中400°Cで酸化し、さらにN₂ガス中で1,000°Cから急冷してもとの温度特性に復帰するか確かめてみたところ、第12図のように120分間の処理でφが現われはじめ、240分でほとんどもとの状態にもどることが認められ、還元の度合いが重要な要素を持つことを確認できた。

引き続きNH₃による還元の実験を行なったが、CH₃OHと同様な結果を得た。

さらに原料粉末を400°Cで30, 60分間還元してからN₂中で焼結したところ、第13図のようにN₂中でクリテジスタの特性を得た。このことから焼結時には還元ふん囲気を用いなくてもよく、焼結前の原料を適度の還元状態にしておき、中性ふん囲気で焼結、急冷すればよいことが明らかとなった。



第14図 還元時間とφおよび電気抵抗の関係

第15図 還元時間とV₂O₅の還元率および平均原子価の関係

5. 配合組成と還元条件の関係

クリテジスタの組成はさきに述べたように、非常に広い範囲にわたっているため、還元条件は配合組成によっていくぶん違ってくるものと考えられる。そこでV₂O₅単成分のものとV₂O₅:SrO=6:4の2成分系、V₂O₅:P₂O₅:SrO=6:1:3の3成分系の三つの試料について、還元条件と特性の関係および生成したV₂O₄の量を調べた。

5.1 還元条件と特性の関係

第14図は上記3種の試料を400°CのNH₃ふん囲気中で一定時間熱処理(還元)し、さらに1,000°CのN₂中で焼結、急冷したビード形クリテジスタの還元時間とφおよび40°Cの電気抵抗の関係を示すものである。V₂O₅単成分のものは、60分以上の還元時間のものがφを持つが、 $R_{40}=10^0\sim 10^2\Omega$ で2~3成分系に比べて3~4けた低くφも小さい。この値は単結晶で測定したMorinの結果とだいたい一致した値である。30分までのものは $10^3\sim 10^4\Omega$ の電気抵抗を持ち、Baynton氏⁽⁸⁾などがつくったV₂O₅の、多結晶試料のデータ $R_{40}=6.5\times 10^2\Omega\text{-cm}$ に比較的近い。

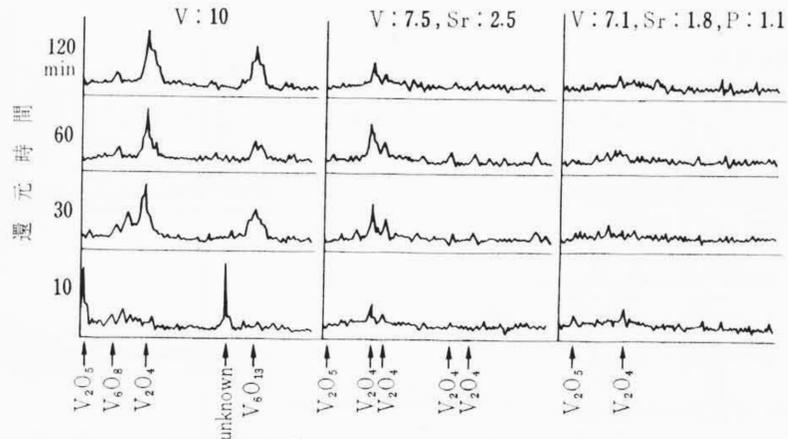
2成分系では10分熱処理したものは全然クリテジスタの特性を示さず、60分以上の処理ではクリテジスタ化する。

3成分系では10~120分のすべての処理時間に対して、φ≒3のクリテジスタが得られるが、 R_h は処理時間が長くなるほど下がり、10分と120分の間には2けたのちがいがでている。

このように成分組成の違いによって熱処理条件に大きい違いが現われ、特に2成分系より3成分系のほうが熱処理条件に対して鈍感になることは、この実用面および物性面で非常に興味のあることである。

5.2 還元条件とバナジウムの原子価の関係

Morin氏の実験および上記の筆者の実験によってクリテジスタの特性は低原子価のバナジウムに依存することはほぼ明らかであるので次に還元ふん囲気における熱処理条件によって、バナジウムの原子価がどのように変化するかを明らかにするために、化学分析とX線回折法によって検討を行なった。



第16図 還元過程におけるX線回折像の変化(還元粉末試料)

第15図の実線は上記試料(焼結前)の中のV₂O₄の生成率を時間に対してplotしたものである。組成が異なるとVの含有率は違ってくるので、すべてVを100としてV₂O₅がV₂O₄に還元される百分率で示した。三つの試料を比較すると、多成分系のほうが単成分系より還元速度は小さくなり、2成分系は単成分系に比べて約1/3の還元速度である。これは第14図の多成分系になるほどわずかな処理時間でクリテジスタの性質が現われることと相反するように思われる。この実験結果からクリテジスタの特性をきめるバナジウムの原子価の範囲はかなり広いことが明らかとなった。

上記化学分析と同時に粉末法によるX線回折を行ない、結晶phaseの確認を行なった。その結果第16図に示すように単成分の場合、最初V₂O₅のpeakがあるが、還元が進むにつれてなくなってしまい、ASTMカードやその他の文献に一致しないpeakが時間とともに増大し、V₂O₄に相当するpeakは正確には現われなかった。(図中V₂O₄*とあるのはV₂O₄よりわずか還元が進んだphaseを示す)。また2成分系、3成分系では単成分系よりamorphousとなり、還元の度合いと回折線の間に関係を見いだすことはできなかった。

5.3 焼結試料による測定

上記のデータはいずれも焼結前の試料によるもので、これをN₂中で焼結急冷したとき、内部構造的にいくらか変化が起こることが予想される。そこでこの試料を用いて、ビード形クリテジスタをつくり同様に原子価の変化をしらべた。

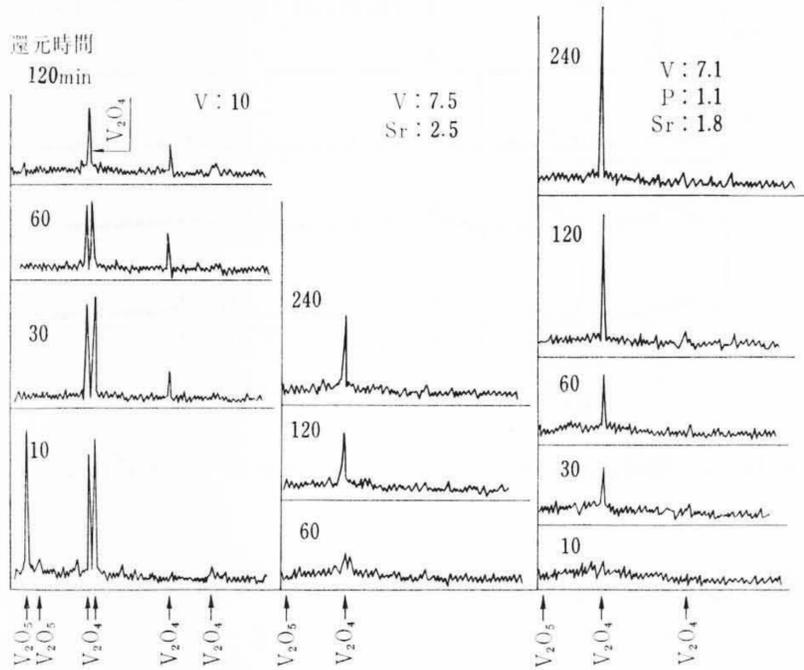
まずV₂O₄の生成率を5-2の実験と同じ方法で行なったところ、第15図点線のようにどの試料についても未焼結のものに比べて、還元率がそれぞれ20%ほど多く測定された。この原因としてはNH₃を使用して還元するために、バナジウムのアンモニウム塩が一部生成しており、これがN₂中で焼結するときV₂O₅とV₂O₄に分かれること、V₂O₅はN₂中でも高温でV₂O₅→V₂O₄にいくぶん還元されることなどが考えられるが明確でない。

次にX線回折を行なって焼結後のPhaseの変化を調べた。第17図に回折像を示す。焼結によって焼結化が進むため、焼結前の回折像に比べめいりようなV₂O₄のpeakが現われている。

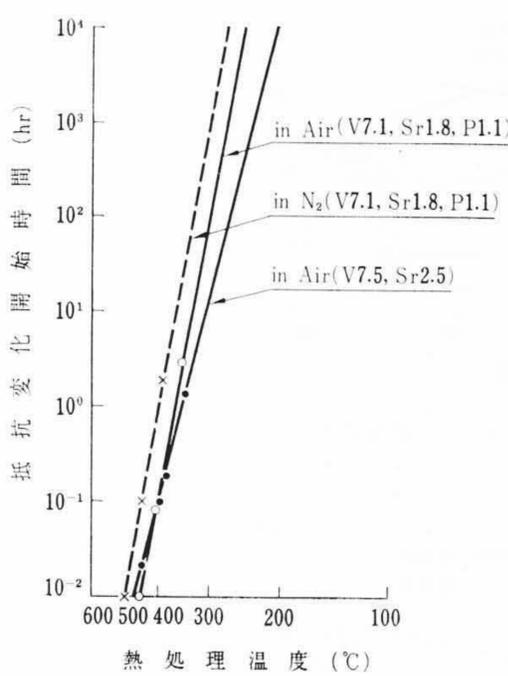
6. 安定度について

クリテジスタは高温から急冷し、高温の状態を凍結したものである以上、100~300°Cでそのrelaxationが起こって劣化する現象があることは従来のサーミスタに関連して類推できる。そこで筆者の考えた従来のサーミスタの寿命の早期判定法⁽⁹⁾に従って測定した。

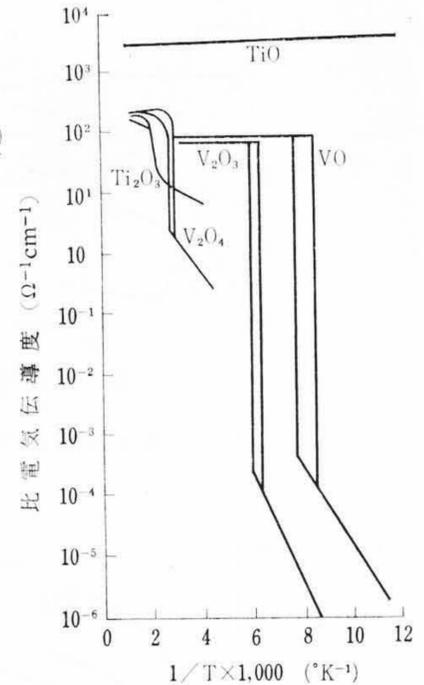
第18図は3成分系の試料の空气中350~450°Cにおける経時変化をそれぞれ60°C、80°Cの電気抵抗について描いたもので、最初ほとんど抵抗変化が認められない期間があるが、ある時間たつと一度電気抵抗が上がりはじめ、その後再び下がりφもしだいに減少してい



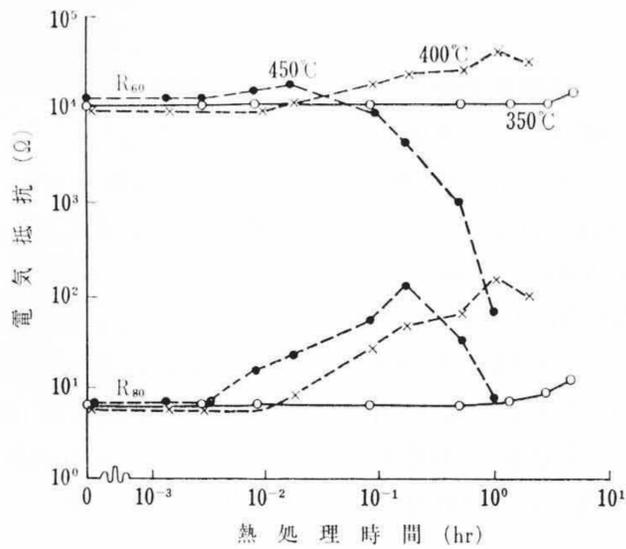
第17図 還元過程におけるX線回折像の変化 (焼結粉末試料)



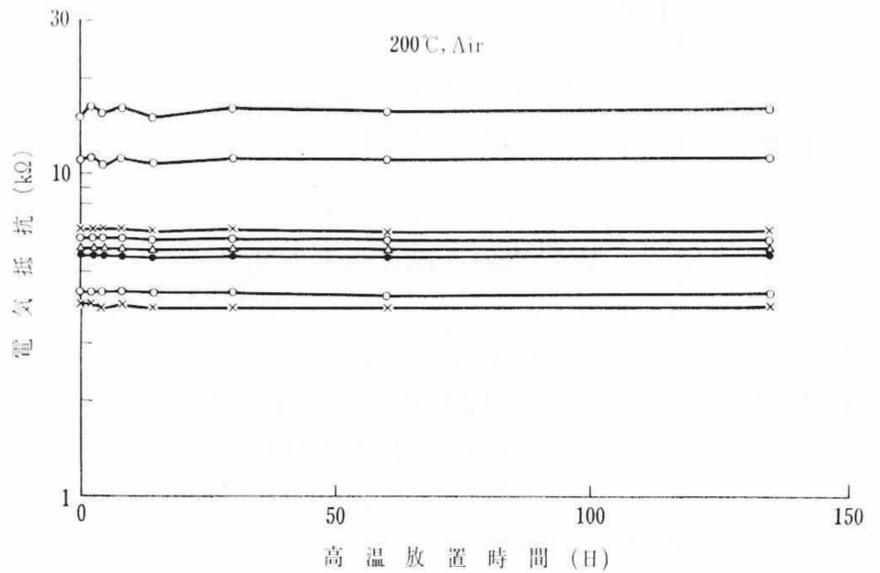
第19図 熱処理温度と抵抗変化開始時間の関係



第21図 バナジウム酸化物およびチタニウム酸化物の温度特性 (by F. J. Morin)



第18図 空气中各温度の熱処理過程における電気抵抗の変化



第20図 クリテジスタの寿命試験結果

く。この低温側のデータの最初のクニックを起こす時間、すなわち劣化開始時間は相対的な変態速度と逆比例の関係があると考え、処理温度の逆数に対して plot すると第19図を得る。この図から変態の活性化エネルギーおよび各温度における劣化開始時間が求まる。従来の Mn, Co, Ni 酸化物系サーミスタの変態の活性化エネルギーが、0.5~1.1 eVであったのに対して、このクリテジスタでは ≈ 2.5 eV という大きい値を示している。またこの図から、われわれがクリテジスタを実用化する際に対象となる温度 100, 150, 200°C における劣化開始時間を求めてみると、 6×10^7 , 3×10^4 , 50年というきわめて長い時間であり、実用上まったく問題ないことがわかった。また同じく N₂ 中で同様に求めてみると、第19図点線のようになり、空气中より1けた寿命が長いことがわかった。実際に空气中で200°Cに連続加熱して測定した経時変化は第20図に示すとおり、十分安定である。

7. 結果の考察

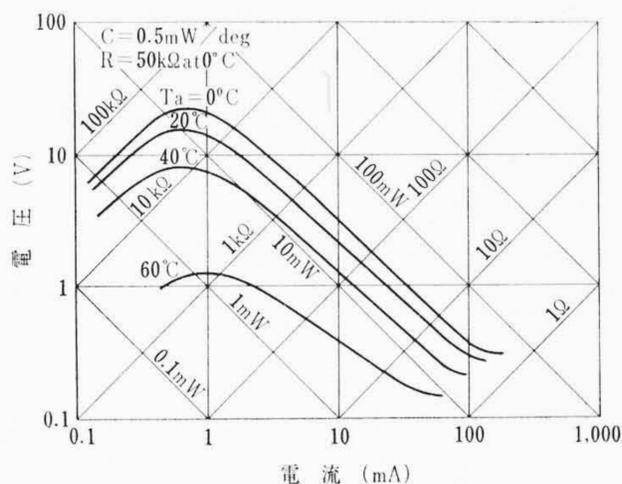
以上述べたように、クリテジスタは従来のサーミスタとまったく異なった温度特性を示す。この電気抵抗急変の現象について二、三考察してみよう。

従来 Morin 氏ら⁽²⁾⁻⁽⁴⁾は V 酸化物の実験で、V の各種原子価酸化物が特定の温度で電気伝導度が急変することを報告している。第21図はその実験の一つで、VO, V₂O₃, V₂O₄ のいずれもが電気抵抗の急変点 (Néel Temperature) を持っており、V₂O₄ の場合、電気抵抗急

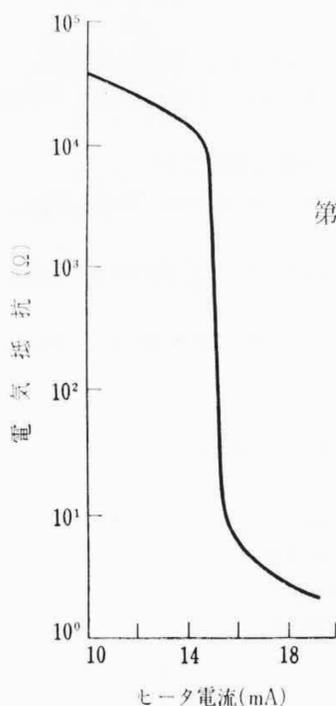
変温度 (われわれのいう T_c) は大きいヒステリシスを持ち、電気抵抗の変化率 ϕ はせいぜい2けたに止まっている。

しかしながらこの Néel Temperature はクリテジスタの T_c に完全に一致しないにしてもだいたい近いことと、クリテジスタの場合適度の還元が必要なことおよびクリテジスタの特性を得るためには必ず V が必要であることから、クリテジスタの電気抵抗急変の現象は、V₂O₄ または V₂O₃ に関する物質の性質によるものらしい。しかし注意しなければならないのは、Morin のデータには Néel Temperature にヒステリシスと個々の試料との間に約 10°C のばらつきが認められているのに対し、クリテジスタの T_c には組成が一定であればほとんどばらつきが認められず、ヒステリシスはほとんど測定されなかったこと、 ϕ が Morin の約 2 に対してクリテジスタでは最高 3.5 に達すること、V₂O₄ 単独の場合より、V₂O₄ に他の成分を組み合わせたもののほうがはるかに安定で、しかも大きい ϕ を与えるという事実である。

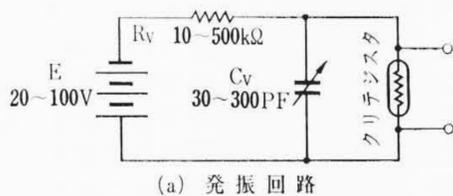
クリテジスタの熱処理工程において単成分のものより 2 成分系、さらに 3 成分系のほうが熱処理条件に対して鈍感である点および ϕ が大きくなる点は、内部構造的に重要な課題である。第15~17図のデータと第14図のデータを比較して検討するとき、3 成分系の場合、V₂O₄ の生成率はわずか数%でも、また X 線回折像が非常にブロードでも十分にクリテジスタの性質を出すことができることは、



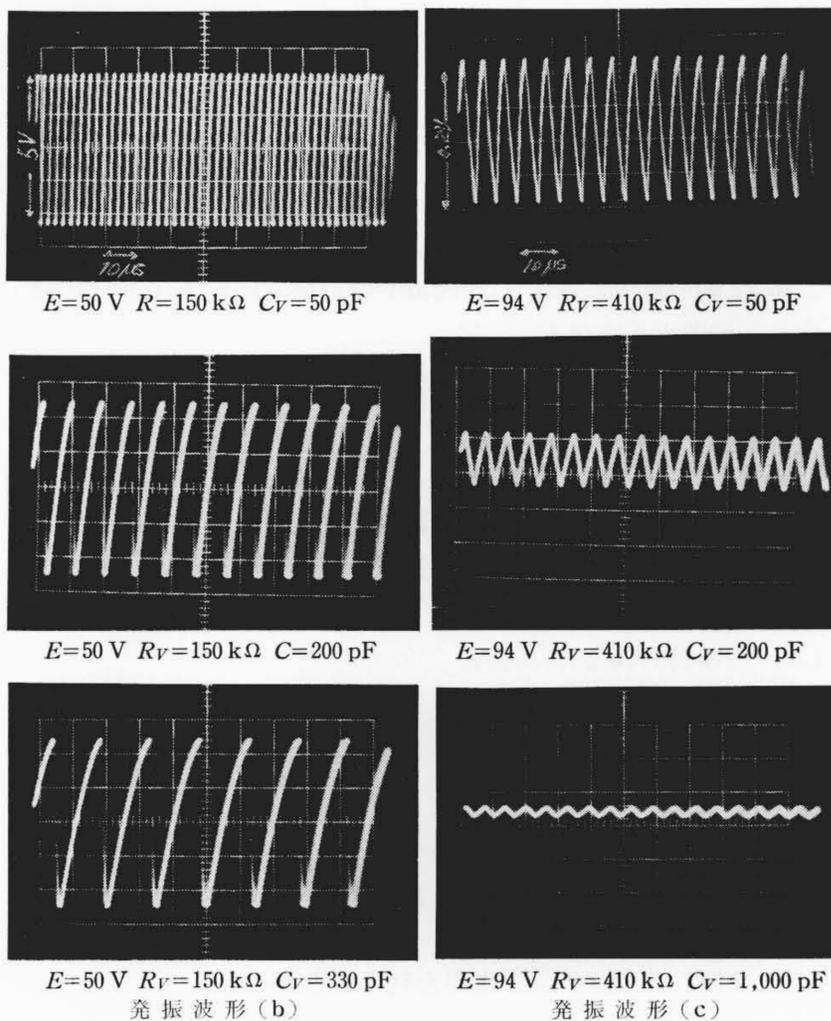
第22図 直熱形クリテジスタの代表的電流電圧特性



第23図 傍熱形クリテジスタのヒータ電流素子抵抗特性



第24図(a)



第24図 発振回路と発振波形

単に V_2O_4 だけがクリテジスタの性質に関与していることは考えにくく、V以外の element と何か複雑な構造の物質をつくっており、その一部がある程度の還元状態になっておればよいという考え方も成立しそうである。

また Bogdanova 氏⁽⁸⁾、Glossmann 氏⁽⁹⁾ らによって、温度—導電率特性、温度—磁化率特性が $VO_{1.5} \sim VO_2$ の範囲について測定されているが、Néel Temperature 付近で critical な変化を示す範囲は非常にせまく、 $VO_{1.915} \sim VO_2$ であることが報告されている。これに対してわれわれの実験の2~3成分系では、バナジウム酸化物に換算して $VO_{2.47}$ より低原子価であれば、critical な変化を示すことから、従来より研究されてきた $VO_{1.5} \sim VO_{2.5}$ のバナジウム酸化物の性質からだけでは、クリテジスタの特性を説明するのは困難なようで、これら多成分系クリテジスタの物理的な性質については、今後の研究に待つところが大きい。

8. クリテジスタの応用の分野

クリテジスタは急変点では $-100\%/deg$ 程度の大きい温度係数をもっており、これは金属抵抗線の約 $+0.4\%/deg$ 、従来のサーミスタの約 $-3.5\%/deg$ に比べてそれぞれ $-250, 30$ 倍の大きい値を持っている。この大きい温度係数のために、これをサーミスタと同様に直熱形クリテジスタにすると、第22図のような電流—電圧特性となり、また傍熱形クリテジスタにすると第23図のようにわずかなヒータ電流の変化で、大幅なクリテジスタの電気抵抗の変化を得ることができる。これらの特性を利用して次のようないろいろな応用面が考えられ、従来サーミスタでも困難とされた問題の中で簡単に解決されるものも多い。

第24図aの回路でクリテジスタが2種類の $100 \sim 1,000 kc$ の発振

をすることを発見した。その一つは第24図bのように発振周期がCに比例し、しかも振幅はCに無関係な発振で、抵抗の温度係数が非常に大きいため、放電管と同様の charge-discharge による blocking oscillation が起こっていると考えられる。もう一つは第24図cのように発振周期がCに無関係で振幅がCに逆比例するもので、放電管の電極付近で起こるプラズマ振動に似たものである。

8.1 周囲温度による抵抗変化を利用するもの

(1) 温度計、温度調節器

$65 \sim 75^\circ C$ だけを特に精密に測定、制御するとき有効、Tcが一定しているので互換性の面で有利。特にトランジスタ、水晶の恒温槽、熱電対の冷点などを簡単につくることができる。トランジスタ1個で $\pm 0.5^\circ C$ の温度調節器をつくるのが可能であった。

(2) 赤外線デテクタ

高感度の検出器が期待できる。サーミスタに比べて30倍の出力があり画期的なものである。

(3) 温度スイッチ

バイメタルの代わりになる。温度警報器として、contactless の、しかも非常に簡単、確実なものにすることができる。

8.2 放熱係数の変化を利用するもの

(1) 真空計、真空警報、ガス分析

特に傍熱形の検知器を使用すればサーミスタに比べて格段の感度向上が期待できる。

(2) 風速計、流量計、レベル計にも同様の原理で応用できる。

8.3 熱慣性を利用するもの

(1) 継電器の遅延回路、サージ防止

サーミスタの場合より動作時の電気抵抗が低いので電圧ロスが小さく、大電流を流せる。

(2) 低周波発振器

C-Rと組み合わせて $2 \sim 0.1 c/s$ の発振器が簡単につくれる。

8.4 負性抵抗特性を利用するもの

(1) 自動利得調整装置

周囲温度の影響を避ける回路をつければ大きい gain が得ら

れる。

(2) 伸長器, 増幅器

同上

(3) 低周波発振器, 増幅器

放電管類似の動作を利用する。

(4) 負性抵抗回路素子

第22図の電流×電圧=constantの領域を回路素子として利用する。論理素子になる。

8.5 電圧の山を利用するもの

(1) 温度スイッチ

サーミスタに比べ第22図のようにTc付近における電圧の山が大幅に変化するので高感度の温度検知ができる。抵抗変化率が大きいので多点の検知が可能で抵抗変化率が大きいため、最大100点まで並列に接続できる。

(2) 共同加入電話秘話装置

動作時の減衰量をサーミスタに比べ小さくすることができる。

8.6 傍熱形としての応用

(1) 自動利得調整装置

伸長率を-100くらいにできるので大きいgainが得られる。

(2) 低周波発振器, 増幅器, 直流増幅器

同上

8.7 発振, スイッチング作用を利用するもの

(1) 高周波発振器

第24図の簡単な回路で小形高周波発振器ができる。

(2) フリップ, フロップ回路, デカトロン

発振現象が放電管によく似ており, 一種の固体内放電管現象あるいはスイッチング現象と考えられるので, これを利用した新しいDeviceが期待できる。

9. 結 言

クリテジスタは発見されてからまだ日も浅いが, 経年変化の問題

加工方法の問題はすでに解決し, 実用化の領域にはいった。最近, V酸化物に特殊な金属酸化物を組み合わせて, Tcを移動させることにも成功した。またこのクリテジスタとC, Rとを組み合わせた簡単な回路で1,000 kcのosillationが起こることは新しい半導体素子として注目すべきである。

稿を終わるに当たってこの研究に熱心にご協力いただいた青木, 小林, 下田, 長谷川の諸氏に感謝の意を表わすものである。

参 考 文 献

- (1) 二木: 日立評論別冊論文集, 日立製作所中央研究所創立20周年記念号 p.30 (1962)
- (2) F. J. Morin: Phys. Rev. Letter. 3, 34 (1959)
- (3) N. L. Bogdanova: J. General chem. USSR., 30, 1 (1960)
- (4) W. Rudorff, G. Walter et al: Z. Anorg. Allg. chem., 297, 1 (1958)
- (5) C. H. Newman et al: J. chem. Phys., 41, 1591 (1964)
- (6) H. Sasaki, A. Watanabe.: J. Phys. Soc. Japan, 19, 1748 (1964)
- (7) 多羅間, 寺西, 宮崎: 工化誌 55, 68 (1952)
- (8) P. L. Baynton, H. Rawson: J. Electro chem. Soc., 104, 237 (1957)
- (9) G. Grossman, O. W. Preskurenko et al: Z. Anorg. Allg. chem., 305, 121 (1960)
- (10) 二木ほか: サーミスタ応用ノート 日刊工業新聞社 (1963)
- (11) 二木: 電子材料 3(3)5 (1964)
- (12) 二木: 電子展望 (7) (1964)
- (13) 二木: エレクトロニクス 9(8)968 (1964)
- (14) 二木: 電子材料 3(9)26 (1964)
- (15) 二木: 応用物理学会予講集 (昭38-4)
- (16) 二木: 応用物理学会予講集 (昭38-10)
- (17) 二木: 応用物理学会予講集 (昭39-4)
- (18) 二木: 応用物理学会予講集 (昭39-11)
- (19) H. Futaki: J. J. Appl. Phys.
- (20) 二木, 増沢: 電子計測
- (21) 二木, 下田: 特公昭39-8583

クリテジスタ特性表

温度感知用クリテジスタ

品 名	25°Cの抵抗 (kΩ)		φ Tc (°C)	放熱係数 (mW/deg)	最高使用温度(°C)	構 造
	最 小	最 大				
CB-46F	9.7	31	2.5 以上 68±1	1.0 以上	120	A
CB-46G						B
CB-46J						C
CB-56F	29	103	2.5 以上 68±1	1.0 以上	120	A
CB-56G						B
CB-56J						C
CB-66F	97	310	2.5 以上 68±1	1.0 以上	120	A
CB-66G						B
CB-66J						C

直熱形クリテジスタ

品 名	4 mA通電時の端子電圧 (V)	伸張率 $\frac{d \ln E}{d \ln I}$ (4 mA)	最大許容電流(mA)		構 造
			連 続	瞬 間	
CN-2B	2.0±20%	-9±0.15	140	250	D
CN-4B	4.0±20%		100	180	
CN-6B	6.0±20%		70	120	

