

綜 報

將 來 の 電 氣 材 料

阿 部 清

Future Electrical Engineering Materials

Kiyoshi Abe

(Abe Laboratory)

Properties and present applications of recently developed electrical engineering materials, for instance, metallic titanium, conductive plastics, semiconductors, organic insulating materials and dielectric substances, are explained. Moreover suggestions as to future applications are given.

最近の電氣材料の發達は全く驚異的でこの状態で進歩すると近い將來電氣工學界に一大變革が起るのではないかと想察される。然し外國文獻に發表されたものの中その製法の發表されたものは殆んどなく、何れもその材料の性質が報告されているに過ぎぬ。従つてこの種の材料に關してはその性質と應用とに就てのみしか紹介出來ぬ。

1. 導 體

(A) 可鍛性金屬チタン¹⁾⁻³⁾

チタンは周知の通りルチル (TiO_2) 又はイルメナイト (FeTiO_3) として天然に產出し而もその埋藏量は極めて多い。然しその還元が極めてむづかしいため今日まで金屬として市場に出なかつたが最近米國で可鍛性金屬チタンの製法に成功した結果斯界の注目を引くようになって來た。現在行はれている製法の一例を示すと次の通りである。先づ原鑛に炭素を混じて $500\sim 700^\circ\text{C}$ に加熱しそれに鹽素を通じて四鹽化チタン (TiCl_4) となし、この TiCl_4 をヘリウム又はアルゴンガス中で熔融したマグネシウムに加えてこれを還元して金屬チタンの粉末とする。次にこの粉末を粉末冶金法或は熔融法でインゴットとなしそれを壓延又は線引して板又は線とする。

以上の如くして得た金屬チタンは常溫で稠密六方格子の結晶構造を持ち α と稱される。その格子常數 $a=2.593\text{\AA}$, $c=4.729\text{\AA}$ である。 885°C で α から β に變態し體中心立方格子の結晶となる。

第 1 表

密 度	4.51gr/cm ³
原 子 量	47.9
原 子 番 號	22
熔 融 點	1725±10°C
沸 騰 點	3000°C
比 熱	0.125cal/°Cgr
線膨張係數 (20~300°C)	8.2 × 10 ⁻⁶ /°C
比 抵 抗	42 × 10 ⁻⁶ Ωcm
抵 抗 溫 度 係 數	5.46 × 10 ⁻³ /°C

その格子常數 $a=3,32\text{\AA}$ である。次の第1表はこの可鍛性金屬チタンの諸性質を示すものである。第1

第 2 表

材 料	高炭素鋼 (0.8%C)	超 ジ ュ ラルミン	エレクトロ ン 壓 延 材	金屬チタン
抗張力 (kg/mm ²)	100	50	19	88
比 重	7.8	2.8	1.8	4.5
抗 張 力 比 重	12.8	17.8	10.5	19.5

表から明な通りこの金屬の比重は鉄の 0.57倍、アルミニウムの 1.67倍で、その抗張力と比重の割合は第2表に示す如く極めて大である。

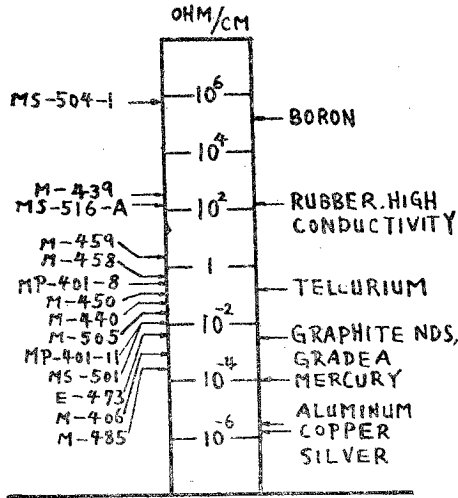
更に腐蝕抵抗も極めて大で硝酸、王水、稀鹽酸、硫酸、苛性ソーダ等の酸或はアルカリに侵されず海水又は鹽水中に於ける抵抗は普通の工業用金屬中で最も高い。又ゲッター作用の強いことも既に知られている性質である。可鍛性金屬チタンは以上の如き優秀な性質があるから將來多方面に用いらるゝと想像されるが電氣工學方面への應用としては電解⁴⁾電器と眞空管の陽極を擧げることが出来る。即ち現在の電解蓄電器のアルミニウム箔の代りにチタン箔を用いその表面を電解で酸化さすと酸化チタンの誘電率は極めて大であるから小容積で大なる靜電容量を持つ蓄電器が得られる。又眞空管の陽極としてモリブデン或はニツケルの代りにチタンを用いると特別なゲッターが不用となり製作工程が簡單になる。その他腐蝕が問題となる場所の構造材料としても將來性が多い。問題は如何にして廉價に而も多量に製産し得るかで今後の重大な課題である。

(B) 導電性合成樹脂

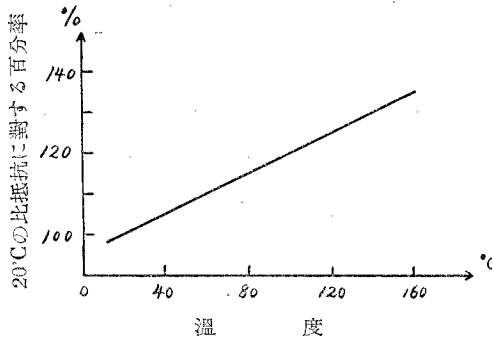
最近電氣工學方面の諸問題解決のため金屬とプラスチックとの兩方の性質を兼備する材料の出現が要求される様になつた。この様な目的のためプラスチックに電鍍を行ふ方法が試みられたが普通のプラスチックは絶縁物であるため鍍金を行うにはその表面を導電性にせねばならぬ。然し金屬と合成樹脂とは熱膨張係數が異なるから上記の方法で作つたものは溫度變化があると鍍金が剥がれて使用し得なくなる。

最近米國で發明された導電性プラスチックはその商品名を Markite と稱え米國海軍の Ordnance 研究所と NewYork の Markite 會社の共同研究で完成したものでその分子構造、製造法等に關しては何等の發表もない。然しそれ自體導電性を持つている點で從來のものと全く違つたプラスチックであると想像される。既に熱硬化性のもの熱可塑性のものゴム狀弾性の大きいもの等從來のプラスチックと同様な形態のものが製造され、その外觀も透明、半透明、黒色、褐色、半金屬的なもの等がある。第1圖は現在既に製作されている各種の Markite の比抵抗と周知の材料とのそれを比較したものでこれ等の内 MP-491-8, MP-401-11, E-473, M-485は熱可

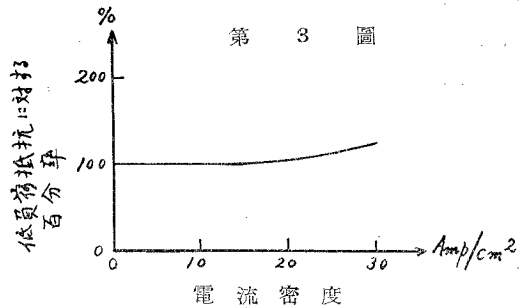
第 1 圖



第 2 圖



塑性でその他は何れも熱硬化性である。但し E-473 は顯著なゴム類似性を持つている。第1圖から明な通り現在の Markite は $10^{-2} \sim 10^{-6} \Omega\text{cm}$ の比抵抗を持つているが將來 $10^{-5} \Omega\text{cm}$ 即ち鉍或はニッケルと同程度のもも出来る可能性があると報告されている。第2圖は MS-501 の比抵抗と溫度との關係を示すものでこれから明な通り抵抗溫度係数は $2 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ で銅、銀等のその約 $1/2$ である。抵抗溫度係数が正で而も大であることはこの種のプラスチックの導電が自由電子に依くことを意味し半導體の導電機構と全然違つてゐることを示すもので極めて重視すべき問題である。又第3圖は電流密度の比



抵抗に及ぼす影響を示すもので $16\text{amp}/\text{cm}^2$ までは抵抗が不變で完全にオームの法則を満足している。 $16\text{amp}/\text{cm}^2$ 以上に電流密度を上げると抵抗が増加するがその原因は分解が起るためと云われている。次に周波数特性であるが直流から 40Mc まで抵抗は周波数に無關係である。尙この樹脂に他の絶縁性樹脂を混合することも可能で従つてその比抵抗を廣範圍に變えることが出来る。最後にこの樹脂の熱的性質であるが比熱は $0.3 \sim 0.4$ で普通の樹脂のそれと大同小異であり變形溫度はベークライトのそれより多少高く熱伝導度は MS-501 で $21 \times 10^{-4} \text{cal}/\text{cm}.\text{sec}.\text{C}^\circ$ でベークライトの約 4 倍、熱膨張係数は 3.8×10^{-5} 程度で普通の樹脂と同程度である。

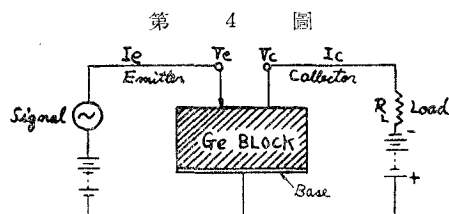
以上の諸性質から考へてこの材料は同周波抵抗、立體回路、導波管、遮蔽板等に對する利用が考へられる。殊に成形法が利用出来るから寸法の精度を高め得ると共に生産費の低下が期待出来る。

2. 半 導 體

(A) ゲルマニウムトランジスタ

半導體に整流作用のあることから類推して半導體を用いて三極真空管と同様な作用をなすものが得られるのではないかという想像はこの方面研究者の誰もが持つていたことである。この夢が Bell 研究所の Bardeen 及び Brattain 兩氏によつて實現されたのは今から約4年前である。爾來電気工學方面は勿論各方面の注目的となり各國で盛んに研究されるようになった。現在多くの研究者が多大の關心を示している點はトランジスタ作用の原理が如何なるものであるかにある。最近の文献から大體の機構は明になつた様に思うが未だ究明せねばならぬ問題が多い。その詳細は文献に譲りトランジスタの構造並にその特性の概要を紹介する。

トランジスタに用いるゲルマニウムは高逆耐電壓の Ge 検波器に使用しているものと同一で抵抗約10Ω程度のn型半導體である。その構造には二重表面型、圓軸型等色々あるが第4圖に最初に考案されたA型トランジスタを増巾用に使用する時の結線圖を示す。A型のGe塊の厚さは0.05~0.2cmでエミッタ(Emitter)及びコレクタ(Collector)の兩極は径0.005~0.0125cm



の燐青銅或はタングステン織條で兩者の距離は0.005~0.025cm程度である。一方底部は接觸抵抗を僅少にするためロヂウムを鍍金して第3極としている。この様な構造のものを圓筒型容器内に収めて使用するのであるが容器の直徑は0.5cm, その長さ1.6cmで現在のサブミニユエチア管より更に小さい。この場合第4圖に示す如くエミッタには檢波として使用する時の正方向の偏倚電壓が、コレクタには逆方向の偏倚電壓が加えられている。次にエミッタ電流を I_e , コレクタのそれを I_c 又その電壓を夫々 V_e , V_c とし Ge に流入する電流の方向を正に基板の電壓を基準にとると I_e , V_e は普通正で I_c , V_c は負となる。實驗の結果によると

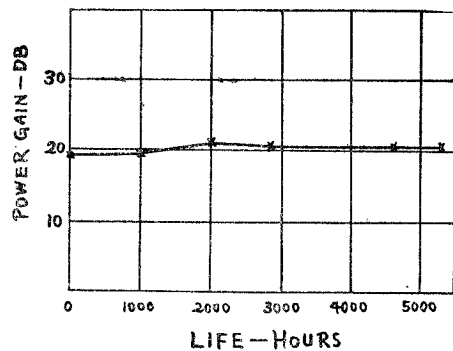
$$\alpha = - \left(\frac{\partial I_c}{\partial I_e} \right) V_c = \text{const.} \dots \dots \dots (1)$$

で定義される電流増巾率は2~3程度である。然らば何故に電流増巾が可能であらうか。これに對し次の如く考えると一應説明がつく。即ちエミッタから流れ出た正孔電流がコレクタの堰層内の空間電荷を變化させる結果ポテンシャルの障壁の高さが變化しコレクタから Ge に向う電子流を變化して I_e より I_c が大となるのである。尙この場合負荷抵抗 R_L の價をコレクタ抵抗とマツテする價(大體40,000Ω)にすると電力利得は21db程度となる。次にこのトランジスタの特性に影響するものとしては(1)エミッタとコレクタ間の距離 S , (2)周圍溫度, (3)周波數等がある。 S が増加する程 α はほぼ直線的に減少し0.015cmより大になると $\alpha < 1$ となる。又-50°Cから+50°Cに亘る溫度變化に亘り α の全變化は大體50%で溫度上昇と共に α は増加する。但し電力利得は逆

に下る。尚 α は 1Mc まで殆んど一定であるが 1~10Mc の間で下り初めそれ以上の周波数では急に低下する。

トランジスタは上記の如き優秀な性質を持つているがこれを實用化する場合一番問題となることは壽命と信頼度とである。この點に關しては最近まで發表がなかつたが RCA Review 1951年 12月號にトランジスタの電氣的及び機械的安定度の改良法と題する B. N. Slade 氏の論文が掲載され壽命の點も解決した様である。以下同氏の研究の概要を紹介する。トランジスタの動作が不安定となる原因として、(1) 等價基板抵抗の變化、(2) エミッタ及びコレクタ接觸部の濕氣並びに大氣中の化學藥品による汚染、(3) 接觸點の機械的移動、(4) 周圍溫度の過度の變化等が擧げられる。第 1 の原因を除くには比抵抗の低い Ge を使用するは勿論 Ge 表面の仕上を充分綿密に行うと共にエミッタ、コレクタ間の間隔 S を可能な範圍で大にすると宜い。第 2 以下の原因を除去するには主要部を吸濕性少なく接着力の大きい樹脂で包埋すればよい。この場合使用する樹脂としては (a) S 並びに接觸壓力に變化を起さぬため硬化時の收縮が少ないものであること (b) 重合過程中揮發物を出さぬこと、(c) 熱傳導率が高いこと等の條件を満足するものでなければならぬ。Slade 氏は以上の諸條件を満足するものとして後述するアラルダイト (Araldite) 樹脂を使用した。第 5 圖はアラルダイトで主要部を包埋したトランジスタの壽命試驗結果である。即ち 6000 時間動作せしめて α の變化は全然認められない。これでトランジスタが實用の域にまで發達したと云ふことが出来る。

第 5 圖



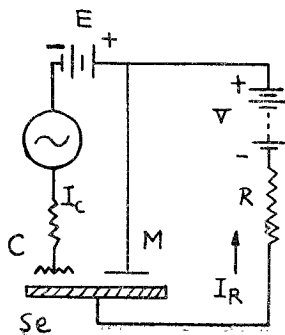
(B) セレニウムトランジスタ⁽¹³⁾⁻⁽¹⁶⁾

この研究は浪大助教授吉田洪二君と筆者とが目下研究中のものであるがゲルマニウム或は珪素を使用せずセレンを用いてトランジスタ作用をなすものが出来た點に意義があると思う。既に電氣關係の學會で數回中間報告を發表したがこ

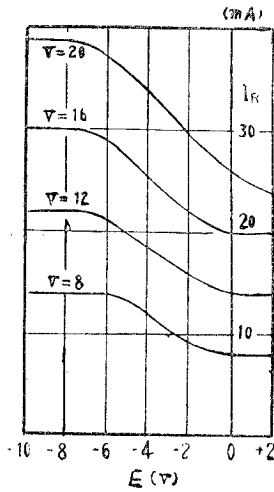
ゝには最近の研究概要を紹介する。

通常のセレニウム整流體の製法と同様な方法に依つて得たセレニウム基板上に錫又はアンチモンを蒸着して主極(Geの時のコレクタに相當する)とする。この上に濾紙を挟んでアルミニウム板を壓着して制御極(Geの時のエミッタに相當する)とする。濾紙には多少導電性を持つ液體を含浸し制御電流の通路とする。第 6 圖はこの場合の結線圖で圖示の如く主極をセレニウムに對し正電位(整流器の時の逆方向)に制御極を主極に對し負電位に保つとその靜特性が第 7 圖に示す如くなり制御作用を呈する。但し第 7

第 6 圖



第 7 圖



圖から明な通り第6圖に示す極性を逆にすると制御作用は消失する。次に制御極の偏倚電壓と直列に變壓器に依つて交流電壓を加え、負荷抵抗 R の端子に現われる交流出力電壓を測定して交流の出力電流及び電力を計算すると第3表に示す通りとなる。

第 3 表

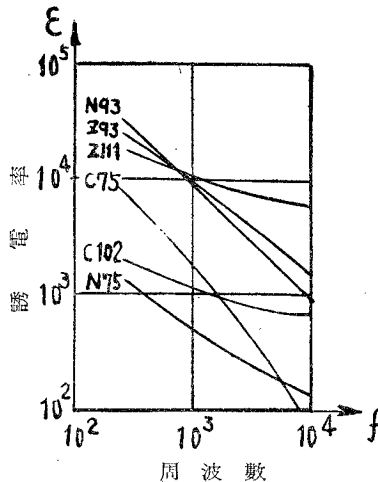
周波數 (c/s)	入力電壓 (V)	入力電流 (mA)	入 力 (mW)	出力電壓 (V)	出力電流 (mA)	出 力 (mW)
60	0.5	0.02	0.01	0.72	1.80	1.29
100	0.5	0.10	0.05	0.57	1.42	0.81

但しこの場合 $V=20$ V, $E=-2$ V, $R=400 \Omega$ 一定である。この表から明な通り60 ω での電力利得は20db以上で Ge のそれと同程度である。但し周波數特性が悪い上に壽命も短い。目下これ等の點に就て研究中である。

(C) スピネル型半導體

M 及び N を Fe, Ni, Co, Zn 等の金屬, 又 O を酸素として MN_2O_4 なる分子式を持つスピネル型結晶の焼成物は熱的, 化學的に安定で, その電氣抵抗は組成により $10^{-1} \Omega \text{cm}$ から絶縁物の範圍に亘る種々なものが存在しその抵抗溫度係数は極めて大なる負の價を持つている。従つてサーミスタとして使用され自動利得制御, 極超短波電力計等に應用されている。又 Fe を主體とするこの種の結晶が高周波磁心として用いられていることも周知のことである。従つてこれ等に關することは文献に譲つて筆者の研究室で田中哲郎教授が中心となり助手の神原, 三浦兩君が目下研究中のこの種半導體の誘電特性を簡単に記述する。

第 8 圖



第8圖は直径10mm, 厚さ1mmの圓板狀試料に就て求めた見掛けの誘電率でその組成は第4表の通りである。以

第 4 表

試料番號	組 成	試料番號	組 成	試料番號	組 成
C 75	Fe_7Co_5	N93	Fe_9Ni_3	Z 93	Fe_9Zn_3
C102	$\text{Fe}_{10}\text{Co}_2$	N75	Fe_7Ni_5	Z111	Fe_{11}Zn

上の結果から明な通りこの種の材料の誘電率 ϵ は極めて大である。多くの組成の試料に就て實驗した結果によると一般に ϵ の大きいものはその固有抵抗 ρ が低く ρ の高いものは ϵ は小である。但し ρ の低いもの必ずしも ϵ が大とは限らない。第8圖から明な通り ϵ と周波數 f との間には近似

的に

$$\epsilon f^x = \text{const} \dots\dots\dots (2)$$

なる關係が成立する。この場合 x は 1 より小なものが多いが 1 に近いものもある。今假りに $x=1$ とすると

$$f\epsilon = \text{const} \dots\dots\dots (3)$$

となり容量リアクタンス一定と云う興味ある結果となる。以上の性質から明な通りこの種の材料は繼電器等の火花を減少するために用いる蓄電器の材料に適している。既に米國では通信方面の繼電器に極めて小型の蓄電器が用いられていると聞いたが多分この種の材料を利用しているものと想像される。

3. 絶縁物

(A) 有機珪素化合物 ¹⁸⁾⁻³³⁾

筆者の研究室では數年來豊田講師が中心となり有機珪素化合物即ちシリコン(Silicone)の諸性質並びにその應用に就て研究中で既に本誌にも數回その研究概要を發表したがこゝには今日までに得た結果の概要を總括的に記述する。

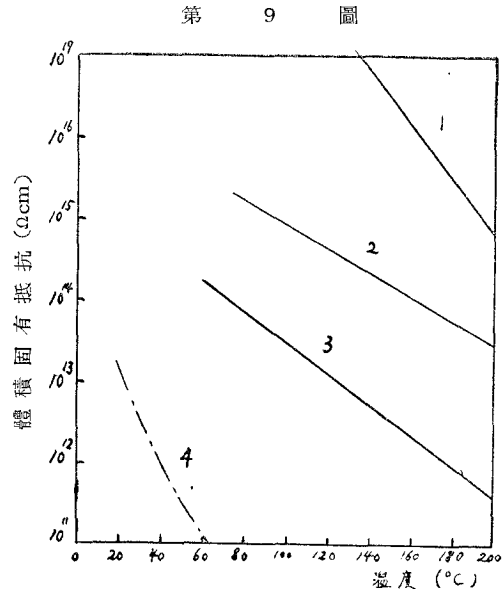
周知の通り普通の有機物は C-C 結合がその骨格となつているのであるがシリコンは Si-O が基礎結合でこれにメチル、エチル、フェニル等の有機基が結合した無機と有機の中間體で天然に類似物のない分子構造を持つた化合物である。即ち有機基を R として RSi(OH)_3 , $\text{R}_2\text{Si(OH)}_2$, R_3SiOH の三種の單量體が色々な混合割合で縮重合した高分子である。そして上記三種の單量體全部を混合して縮重合させると網狀分子構造の樹脂となる。これが珪素樹脂である。又 $\text{R}_2\text{Si(OH)}_2$ と R_3SiOH との混合物とから鎖狀分子の油即ち珪素油が出来る。更にこの鎖狀高分子に充填材を加え賦形した後酸化劑から出た酸素による架橋(天然ゴムの加硫に相當する)を行うと珪素ゴム即ちシリスタックス(Silastics)となる。又上記鎖狀高分子に金屬石鹼を加えると珪素グリースとなる。扱てこれ等の有機珪素化合物に共通な特性は耐熱性並びに耐濕性の強いことである。耐熱性の高いのは Si-O 結合の結合エネルギーが C-C 結合のそれの約 1.5 倍もあるためであると考えられる。一方 C, H からなる有機基の撥水性はパラフィンに見る通り極めて大である。シリコンは上述の如く Si-O 骨格を C, H からなる有機基で包んでいるため撥水性が大であると考えるところこの種材料の耐吸濕性が大である理由が説明出来る。

(i) 珪素油

この油の誘電率 ϵ は 0°C で 2.85, 100°C で 2.55, 又誘電體力率 $\tan \delta$ は 10MC 室温で 1×10^{-4} 以下で極めて小さく、その絶縁耐力は普通の變壓器油と大差なく少し高い。但し温度による粘度の變化は普通の油に比し遙に僅少で又その蒸氣壓も非常に低い。

(ii) 珪素樹脂

第9圖は珪素樹脂の體積固有抵抗の溫度特性で圖中(1)及び(2)は珪素樹脂で(1)は充分乾燥したもの(2)は乾燥度の低いものの特性である。又(3)は無アルカリガラス、(4)は5%アルカリ含有ガラス、(5)はW-25ワニスの何れも抵抗-溫度特性である。これから明な通り100°Cに於けるW-25の比抵抗 ρ は $10^{-11}\Omega\text{cm}$ にまで下るが珪素樹脂では200°Cで $10^{-15}\Omega\text{cm}$ 近くもあり耐熱性が極めて高い。次に第10圖は絶縁耐力と皮膜の厚さとの関係で(A)(B)は交流60 Hz による測定値で(A')は銅板上に珪素樹脂を塗布乾燥して得られた皮膜の上に平面電極を置いた時の、又(B)は前記皮膜の上に球電極を置いた時の測定結果で何れ



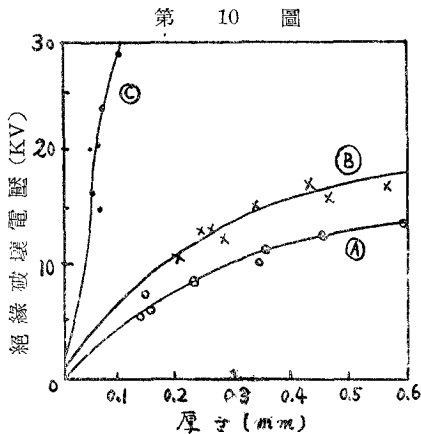
も絶縁破壊電圧 V (kv)がほぼ皮膜の厚さ d (mm)の $1/2$ 乗に比例している。即ち

$$V = kd^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

な関係が成立し k は大體24~32 kVである。尙この場合(A)が(B)より低いのは弱點が電極下に存在する確率が多くなるためであること明である。次に(C)は直流電源を使用した時の破壊電圧で交流の場合より遙に高い。最後にこの樹脂の誘電特性であるが誘電率 ϵ 誘電體力率 $\tan \delta$ 共に組成及び乾燥度によつて變る。例へばメチル、エチル珪素樹脂で充分乾燥すると $\epsilon=3.0$ で周波数による ϵ の變化は極めて小である、又 $\tan \delta$ の最大値は 20×10^{-4} 以下で $\tan \delta$ が最大となる周波数は常溫で10~100kCの間である。こゝで特筆せねばならぬことは $\tan \delta$ の溫度特性に從來の樹脂に見る様なV曲線が現はれぬことである。これは200°Cの高温に於てもイオン導電にもとずく $\tan \delta$ の増加が起らぬことを示すものでこれ亦この樹脂の耐熱性が高いことを物語する證左である。

(iii) 珪素ゴム(シラスチツクス)

このゴムは260°Cから-50°Cまでの廣い溫度範圍で天然ゴム類の性質を持つていてその上化學的に安定である。第5表は米國 Dow Corning 社製のシラスチツクスの誘電的性質を示すものである。



第 5 表

商品番號	絶縁耐力 (V/mil)	誘電率 ϵ			誘電體力率 $\tan \delta$		
		10^2 (c/s)	10^3 (c/s)	10^6 (c/s)	10^2 (c/s)	10^3 (c/s)	10^6 (c/s)
122	1000	3.6	3.5	3.2	2.0	1.8	0.6
125	1100	6.7	6.6	6.3	0.7	0.3	0.2
160	500	8.8	8.8	8.1	0.5	0.4	2.5

(iv) 應 用

以上の如く有機珪素化合物は極めて優秀な諸性質を持つているので種々な方面に利用し得る理であるが以下電気工學に關係ある應用に就て簡単に記述する．先づ珪素油であるが $\tan \delta$ が極めて小であるから高周波，高電壓機器の絶縁油として最適であるのみならず蒸氣壓が低いから擴散ポンプ用油として利用される．實驗の結果では冷却用トラップを用いないで水銀柱 5×10^{-7} mm の眞空度が得られる．次に樹脂の應用であるが筆者の研究室では珪素エナメル線の製法に成功し浸水試験を行つたが普通のエナメル線より遙に耐水性が大であることが明となつた．又珪素樹脂を使用した積層品，成型品，紙等をも試作したが何れも耐熱性，耐濕性共に高く耐電弧性も大である．第6表は試作積層品，成型品の諸性質と比較のため G. E 社及び D. C. 社の積層品並にベ-

第 6 表

性 質 \ 材 料	試作積層品	試作成型品	G. E. 社積層品	D. C. 社積層品	ベークライト積層品
比 重	2.9	1.53	1.68	—	—
吸水量 (24時間後%) [*]	0.77	1.00	0.63	0.21	1.25
抗 張 力 (lbs/in ²)	12,000	2,200	16,000	15,000	9,000
絶縁耐力 (V/mil) ^{**}	300	256	300	250	200
誘電體力率 (1MC)	0.0045	0.0035	0.0015	0.0051	0.10
誘電率 (1MC)	4.9	5.0	2.88	3.8	6.0
損失率 (1MC)	0.0220	0.0175	0.0043	0.0195	0.60
絶縁抵抗 (M Ω)	5×10^6 (220°C)	2×10^5 (220°C)	2×10^5 (?)	1.2×10^5 (濕)	2.5 (濕)
耐電弧性 (sec. ASTM)	420	360	360	300	10

ークライト積層品の同様諸性質を表示したものである．又シラスチックスが耐熱，耐濕を要求される電線の被覆，パッキングその他に適していること説明する迄もない．最後にグリースであるが廣い溫度範圍でグリース状を保つので潤滑剤として理想的である．

(B) 弗化炭素化合物^{34) 35)}

炭化水素の水素を弗素で置換して得られる弗化炭素は化學的並びに物理的に極めて安定である．然し最近まではその製法が複雑多段階の化學工程を必要としたため非常に高價で他の材料を使用し利よい様な例へば原子エネルギー關係の場所のみに用いられていた．最近 Pennsylvania 大學

相當高い。但し $\tan \delta$ は餘りよくない。この樹脂の最も大なる特徴は接着力が極めて大であることである。第9表はこの樹脂で輕合金を接着した時の離脱強度を示すもので從來の接着劑と桁違

第 9 表

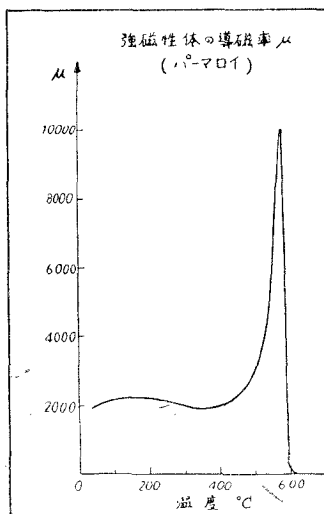
板の厚さ (mm)	重ね合せの長さ (mm)	離 脱 強 度 (kg/mm ²)
0.5	3.0	3.4
1.0	3.0	4.7
2.0	3.0	5.5
3.0	3.0	5.8
1.0	13.0	2.0
8.0	13.0	4.5
1.0	21.0	1.5(試験6回の内2回は接 着部以外の部で切れた)
1.0	30.0	1.1(板が切れた)

に大きい接着力を持つている。而も單に金屬のみでなく陶磁器、木材等の接着にも適している。米國に於て前述の如くゲルマニウムトランジスタの電極接着に使用して成功したことは誠に興味ある事實である。

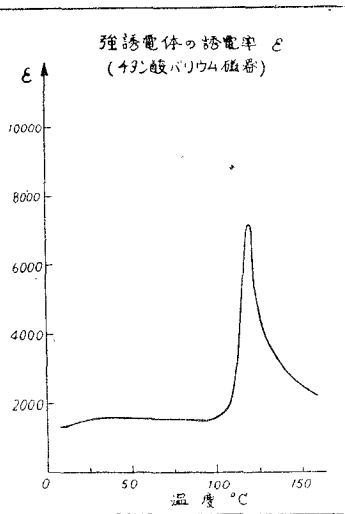
4. 強誘電體 (チタン酸バリウム磁器)³⁷⁾⁻⁴⁹⁾

電氣及び磁氣がクーロンの法則で律せられることは万人の知るところであるが最近まで誘電率 ϵ と導磁率 μ との間には數值的に大なる差があつた。ところが1944年日、米、ソ三國で殆んど同時に發見されたチタン酸バリウム(BaTiO_3)磁器の ϵ は極めて大でその溫度特性は第11圖に示す

第 12 圖



第 11 圖



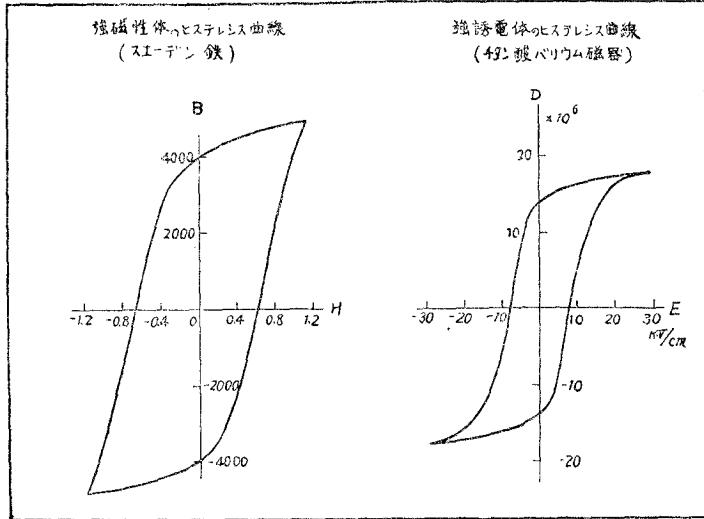
通りである。これを強磁性體であるパーマロイの初導磁率 μ の溫度特性(第12圖)と比較すると數值的にも亦その溫度による變化の状態も非常によく似ている。即ち BaTiO_3 の出現はクーロンの法則の正しいことを一層明確にしたもので電磁氣學上極めて意義深いものがある。筆者の研究室では田中教授が中心となり株式

會社村田製作所の協力を得てこの材料に關する基礎的並びに應用的方面の研究を行つていたので

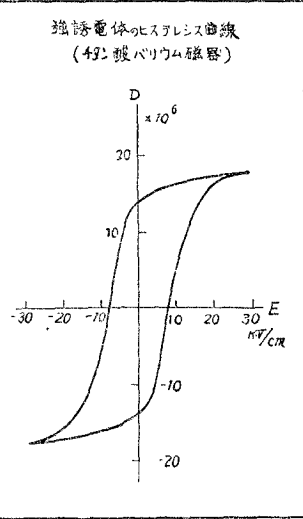
あるが研究の結果はその都度本誌並びに學術誌に發表しているのですその詳細は文献に譲りこゝには強磁性體との比較を中心に述べることにする。

扱て第11圖の特性から BaTiO_3 磁器は強磁性體で知られている諸特性と類似の性質を持つてい

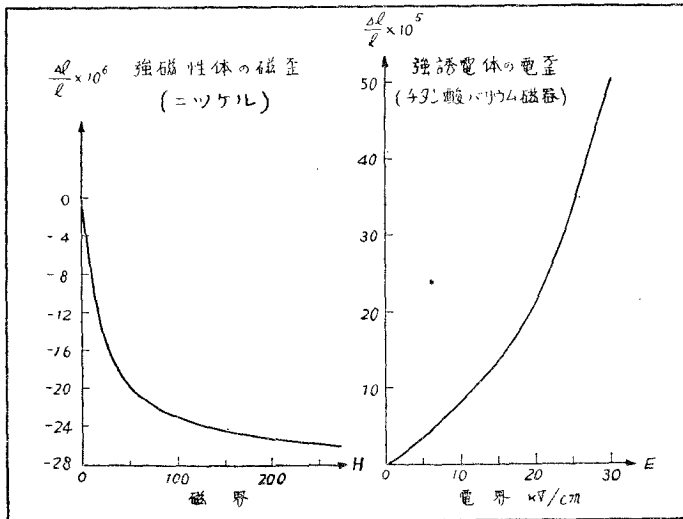
第 13 圖



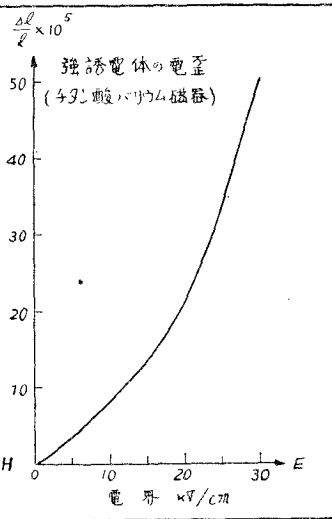
第 14 圖



第 15 圖



第 16 圖



るであろうと想像されるが實驗の結果はむしろ豫想以上の強磁性體との類似性が大きいのである。

周知の通り強磁性體には第13圖に示す如く磁界 H と磁束密度 B との間に履歴現象があるが、 BaTiO_3 磁器にも電界 E と電気變位 D との間に第14圖に示す如き関係がある。

又強磁性體には磁歪現象があるが BaTiO_3 磁器でも電界を加えるとその方向に伸びこれと直角の方向に縮む所謂電歪現象が起る。第15圖はニッケルの磁歪を第16圖は BaTiO_3 の電歪現象を示すもので磁歪よりも歪率が著しく大である。更に Curie 點(約 120°C)以上の溫度では誘電率と溫度との間に強磁性體に於ける Curie-Weiss の法則と同一の法則が成立すること、又強磁性體に於ける

Barkhausen 効果と類似の現象が BaTiO_3 に於ても現われること等が明となつた。以上の結果から BaTiO_3 は強磁性體と同様分域 (Domain) 構造を持つていると考えられるが實驗の結果はこれ亦その豫想の正しいことを裏書するのである。即ち分域の存在は偏光顯微鏡でこれを確認し

得るのみでなくその大きさが 2×10^{-4} cm程度であることもまで見出すことが出来た。

以上の如く BaTiO_3 は極めて特異な特性を持つているので種々な方面に利用出来る筈であるが現在既に實用されているものに蓄電器がある。εの大であることから當然考えられることであるが第11圖から明な通り Curie 點に近づくときεが急に増す。その上 $\tan \delta$ の價が非常に大でその溫度特性も良くない。従つてこの様な缺點が餘り問題にならぬような場所の蓄電器に用いられる。然し BaTiO_3 に他の金屬酸化物を混じて得られる固溶體の Curie 點は添加物の種類及びその分量で著しく變る。従つてこれ等の固溶體を適當に組合すとεの溫度變化が僅少である蓄電器が得られる。米國では既に斯様な原理で製作した蓄電器が市場に出ているとのことである。次に考えられる應用は電歪現象の利用である。 BaTiO_3 磁歪に交番電壓を加えると、その加えた周波數で磁器が伸縮するからこれを振動子として用いることが出来る。又逆にこの磁器に機械的振動を與えるとその周波數の電壓が発生するからこれをピツクアップとして利用することも可能である。而も磁歪振動子の如き線輪が不用であるから構造が非常に簡單になる。筆者の研究室では蓄音機のピツクアップ及び魚探或は測深儀用振動子等を試作し實驗したが何れも豫期通りの性能を示した。

これを要するに原理的には現在強磁體體を利用している殆んど總ての分野を BaTiO_3 磁歪で置換し得る筈で而も前者が電流で動作するに對し後者は電壓のみで動作するのであるから種々の點で非常に勝つた機密の出現が期待出来る。

結 言

以上極めて簡單であるが新興電氣材料に就て述べた。これから明な通り我國の電氣材料方面の研究は米歐のそれに比し著しく遅れている。この拙文が今後のこの方面の發達の一促進劑ともなれば作者に取り望外の喜びである。

文 献

- 1) E. A. Gee, 外2名: U. S. Bureau of Mines (1948).
- 2) J. P. Walker: Light Metal Age, Feb. April. (1950).
- 3) J. B. Sutton 外3名: Metal Progress, (1950) P. 716.
- 4) Electronics, Oct. (1949) P. 96.
- 5) J. Bardeen, W. H. Brattain: Phy. Rev. (1948) p. 230.
- 6) J. N. Shive: Phy. Rev. (1949) p. 689.
- 7) W. E. Kock, R. L. Wallage: Ele. Eng. (1949) p. 222.
- 8) W. Shockly, 外3名: B. S. T. J. (1949) p. 344.
- 9) W. Shockly: B. S. T. J. (1949) p. 435.
- 10) O. M. Stuetzger: I. R. E. (1950) p. 868.
- 11) 藪本: 通信學, (1950) P. 45.

- 12) B. N. Slade: RCA. Rev. Dec. (1951).
- 13) 阿部, 吉田: 電氣3學會關西支部講演要旨, (I) (1949) P. 93.
- 14) 阿部, 吉田: 同上, (I) (1950) P. 83.
- 15) 阿部, 吉田: 第25回電氣3學會連合大會講演要旨, (I) (1951) P. 133.
- 16) 阿部, 吉田, 飯田: 電氣3學會關西支部講演要旨, (I) (1951) P. 109.
- 17) 阿部, 田中, 三浦, 神原: 第25回電氣3學會連合大會講演要旨, (I) (1951) P. 142.
- 18) 阿部, 豊田, 西川: 電氣3學會關西支部講演要旨, (I) (1949) P. 34.
- 19) 阿部, 豊田, 飯田, 大野: 同上, P. 36.
- 20) 阿部, 豊田, 飯田: 同上, (I) (1950) P. 87.
- 21) 阿部, 豊田, 田華: 同上, P. 89.
- 22) 阿部, 中畑, 佐野: 同上, P. 91.
- 23) 阿部, 豊田, 西川: 電評, No. 1 (1950) P. 11.
- 24) 阿部, 豊田: 同上, No. 6 (1950) P. 7.
- 25) 同上: 同上, No. 9 (1950) P. 2.
- 26) 同上: 同上, No. 11 (1951) P. 8.
- 27) 阿部, 豊田, 飯田: 第25回電氣3學會連合大會講演要旨, (I) (1951) P. 110.
- 28) 阿部, 豊田, 佐野: 同上, P. 111.
- 29) 阿部, 豊田: 同上, P. 112.
- 30) 阿部, 小南, 佐野: 電氣3學會關西支部講演要旨, (I) (1951) P. 97.
- 31) 阿部, 豊田, 田華: 同上, P. 97.
- 32) 阿部, 豊田, 飯田: 同上, P. 101.
- 33) 阿部, 豊田: 同上, P. 103.
- 34) Popular Science, June, (1949) p.58.
- 35) 丹阪: 化學の領域, (1950) P. 125.
- 36) シバ社型録.
- 37) A. von Hippel; 外3名: Ind. Eng. Chem., (1946) p. 1097.
- 38) 小川: 物性論, 6 (1947) P. 1.
- 39) B. Matthias von Hippel: Phy. Rev., 73 (1948) p. 1378.
- 40) W. P. Mason, B. T. Matthias: Phy. Rev., 74 (1948) p. 1622.
- 41) 阿部, 田中: 電氣3學會關西支部講演要旨, (I) (1949) P. 70.
- 42) 阿部, 田中: 電評, 37, No. 4 (1949) P. 2.
- 43) 同上: 同上, 38, No. 4 (1950) P. 2.
- 44) 田中: 第24回電氣3學會連合大會講演要旨, (A) (1950) P. 66.
- 45) 阿部, 田中, 齋藤, 岡崎: 第25回電氣3學會連合大會講演要旨, (I) (1951) P. 144.
- 46) 阿部, 田中, 岡崎, 佐分利: 同上, P. 143.
- 47) 阿部, 田中, 齋藤, 平野, 三浦: 同上, (II) (1951) P. 177.
- 48) 阿部, 田中, 平野, 村田: 音響學會誌, 7, 1 (1951) P. 76.
- 49) 阿部, 田中, 平野, 齋藤, 岡崎: 同上, P. 20.

(昭和27年5月1日受理)