

April 1981

3.4 CERAMIC CAPACITORの基本技術指導資料

CERAMIC CAPACITOR 技術資料 (No.1)

(講 義 用)

- (I) Ceramic Capacitor の規格と特性
- (II) Ceramic Capacitor の微細構造と誘電体組成
- (III) Ceramic Capacitor の材料
- (IV) Ceramic Capacitor の実用化配合例
- (V) Ceramic Capacitor 以外の他の Capacitor の特性例

By

Mikio NAISEI Japanese Expert

NAISEI Engineering Co, Ltd.

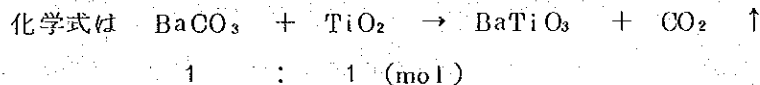
FUKUSHIMA — PREF JAPAN

§ Ceramic Capacitorの技術資料 (Ⅱ)

1. Ceramic Capacitorについて

(I) 一般に Ceramic Capacitor は下記の種類に分類され、EIA規格或はJIS規格等に基づき商品化されている回路用電子部品である。高誘電率系固定磁器コンデンサ及び温度補償用固定磁器コンデンサであり材料の特長から前者をHi-kと呼び、後者はT.C(又はHi-Q)と略称される。此れ等の磁器誘電体は、チタン酸バリウム(Barium Titanate、化学式： $BaTiO_3$)が主成分のものと、酸化チタン(Titanium Dioxide 化学式： TiO_2)のものに大別される。Ceramic Capacitorとしての基本的特性は Capacitorの品質を静電容量(Capacity)、誘電正接($\tan\delta$ 又はQ)、絶縁抵抗(Insulation Resistor)および絶縁耐力(Test Voltage)等で規定なされている。(別紙配布資料、EIA規格参照)

(II) $BaTiO_3$ 磁器は微細な $BaTiO_3$ 単結晶粒の集合した、いわゆる多結晶体で通常の原料は $BaCO_3$ (Barium Carbonate)と TiO_2 (Titanium Dioxide)の等モル比混合物を $1300\sim 1400$ ($^{\circ}C$)の高温で焼結してつくる。



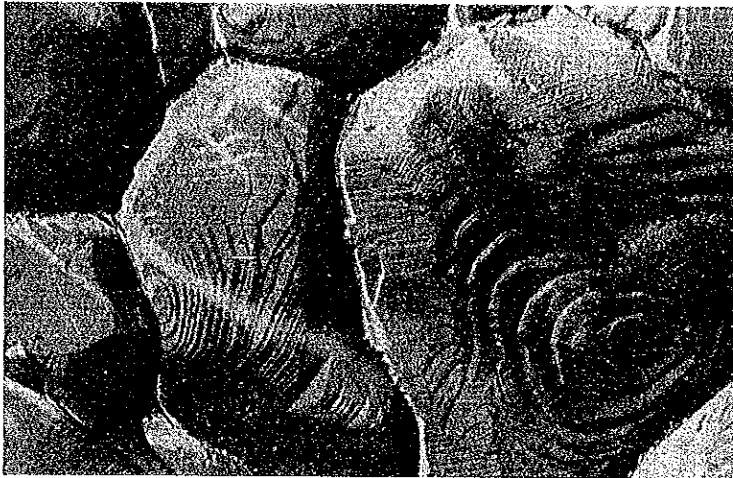
CERAMIC技術に於ける化学反応は固体粉末の $BaCO_3$ と TiO_2 とが反応して、固体の $BaTiO_3$ を生成するもので、固体反応(Solid reaction)に属するものである。粉末を加圧成型した試料を原形をとどめる範囲内で半熔融の状態では反応をとめる焼結(Sintering)現象が誘電体製法の基本である。実用に供される $BaTiO_3$ 磁器および TiO_2 系($SrTiO_3$ 、 $CaTiO_3$ 、 $MgTiO_3$ 或は $3MgO$ 、 $4SiO_2$)磁器表面の電子顕微鏡による微結晶粒の写真を一部示す。

$BaTiO_3$ 磁器の微結晶粒と分域はFig1で示す様に単結晶と粒界(grain bondany)で構成される。

焼結された $BaTiO_3$ 磁器に電極を両面に焼付しCapacitorを形成させCapacity ϵ (誘電率: Dielectric Constant)を測定すると、温度依存性が認められ、誘電正接(Dissipation Factor)も同様に变化する。Fig2に ϵ と $\tan\delta$ の温度依存性を示す。

誘電率 ϵ はCurie point付近で最高 $8000\sim 10000$ の鋭いピークを示し常温で約 1500 で、夫々の温度範囲に結晶形の特長がみられる。純粋な $BaTiO_3$ 磁器それ自体では実用に供する為の条件が満されない。従って常温付近の誘電率を高くする方法、或は実用温度範囲の温度特性を平坦にする為に他の固溶体を適正添加することによ

Photo 1



Composition

$\text{BaTiO}_3\text{-SrTiO}_3\text{-CaZrO}_3$ System

Magnification

$\times 4000$

Photo 2



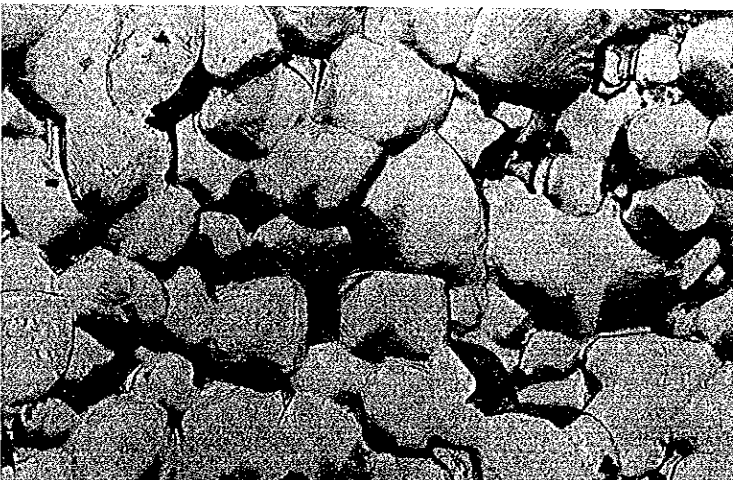
Composition

$\text{BaTiO}_3(\text{Pb.Sr.Ca})\text{SnO}_3$ System

Magnification

$\times 4000$

Photo 3



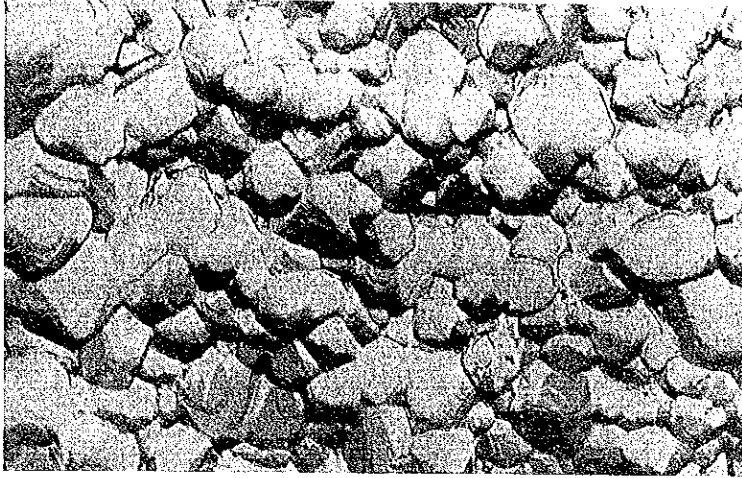
Composition

$\text{BaTiO}_3(\text{Ba.Sr.Ca})\text{SnO}_3$ System

Magnification

$\times 4000$

Photo 4



Composition

BaTiO_3 90 }
 BaSnO_3 $3\frac{1}{3}$ } System
 SrSnO_3 $3\frac{1}{3}$ }
 CaSnO_3 $3\frac{1}{3}$ }

Magnification
 $\times 4000$

Photo 5

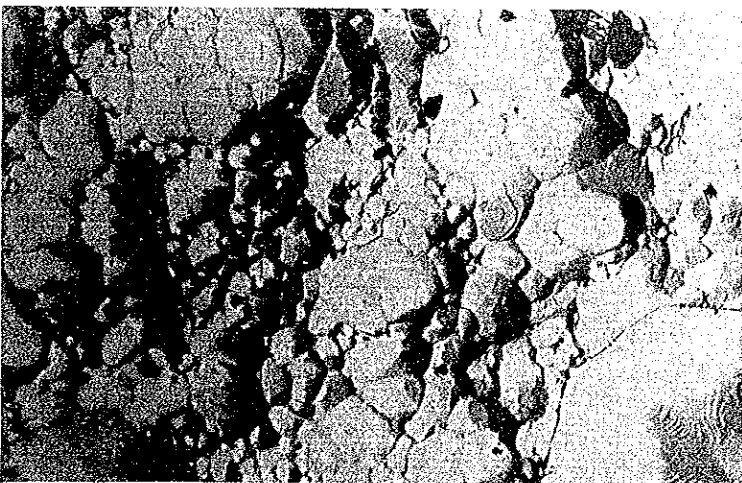


Composition

BaTiO_3 (pb. Sr. Ca) SnO_3 System

Magnification
 $\times 4000$

Photo 6

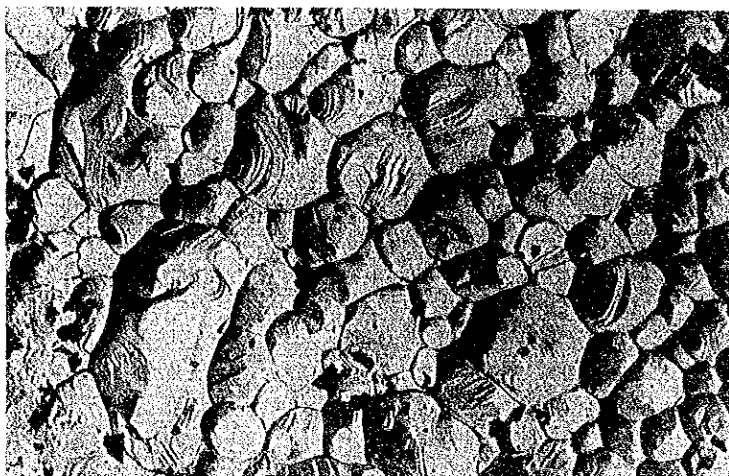


Composition

BaTiO_3 -Clay- MnO_2 System

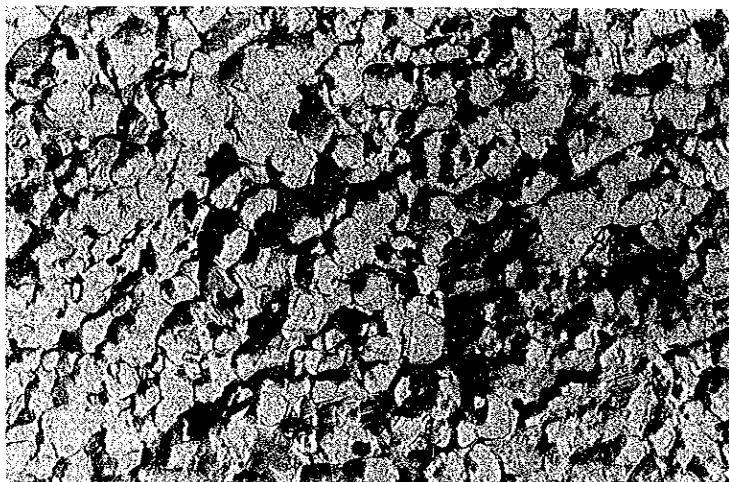
Magnification
 $\times 4000$

Photo 7



Composition
 CaTiO_3 -Clay System
Magnification
 $\times 4000$

Photo 8



Composition
 SrTiO_3 -Clay System
Magnification
 $\times 4000$

Photo 9



Composition
 CaCO_3 - TiO_2 -Clay System
Magnification
 $\times 4000$

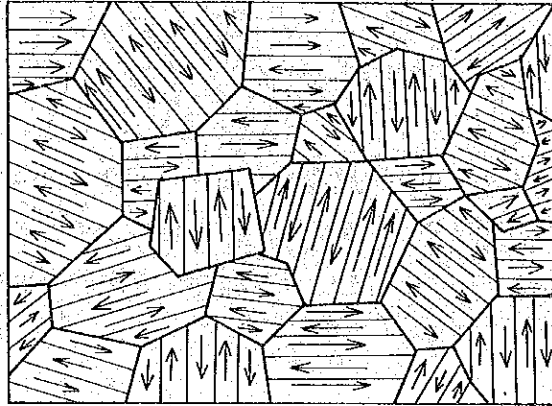


Fig 1
Microcrystal grains and domain structure
of BaTiO₃ ceramics.

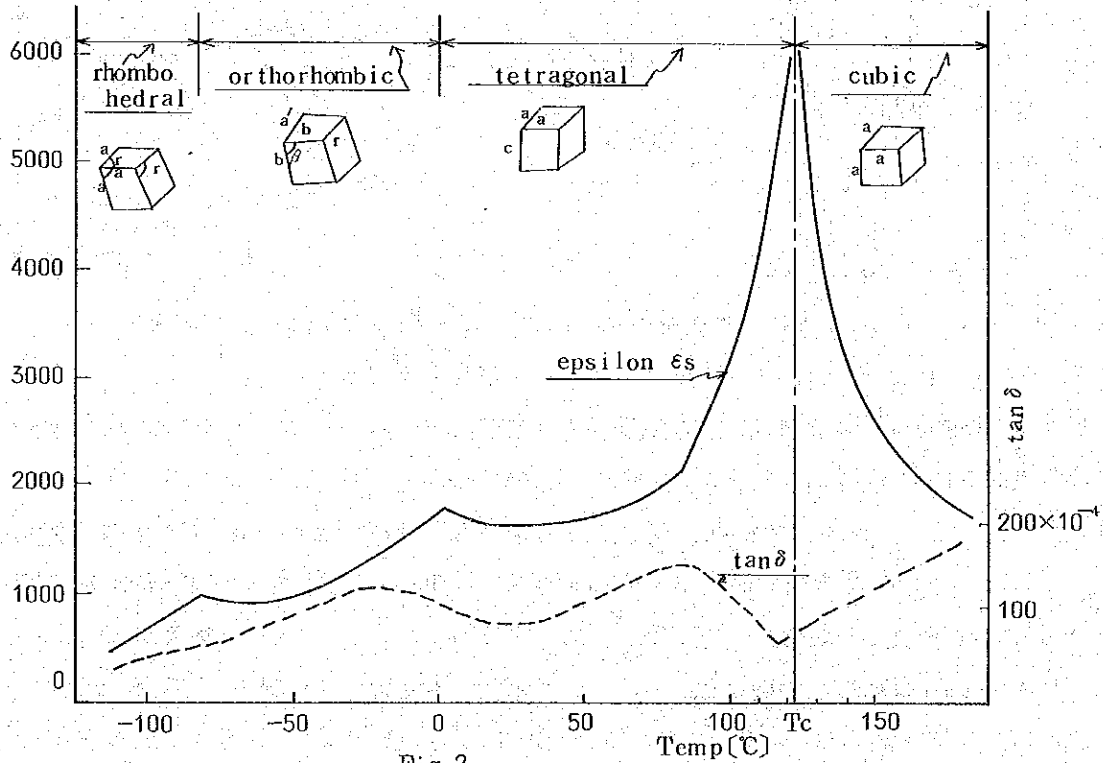


Fig 2
Temperature dependence of ϵ_s and $\tan\delta$ of BaTiO₃ ceramics.

り組成改良が必要となる。つまり Curie point を移動させることで任意な特性を得るのである。以下にそのいくつかの例を示す。

- (1) BaTiO₃ を主体とするもので、これに不純物として微量の化合物を含むもの。
- (2) BaTiO₃ と他のチタン酸塩 (CaTiO₃, SrTiO₃, MgTiO₃, 又は PbTiO₃等) との固溶体
- (3) BaTiO₃ とバリウムの錫酸塩、ジルコン酸塩との固溶体
- (4) それ等の混合物

つまり BaTiO₃ (1 : 1 Mol) 磁器は Fig 3 に示すような原子配列の結晶体である。その Ba イオン或は Ti イオンを他の元素で置換することによって Curie Point の位置及び誘電的特性の値に夫々著しい差異を示す特長を利用するものである。

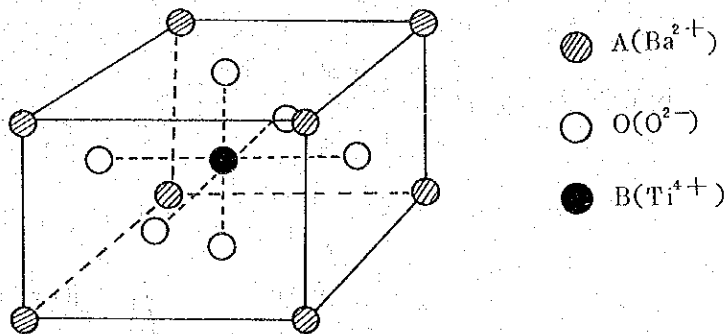


Fig 3

従って

- (2)は BaTiO₃ の結晶格子中の Ba を Ca, Sr, Mg および Pb 等で置換
- (3)は BaTiO₃ の Ti を一部 Sn, Zr 等で置換したものである。

BaTiO₃ の Ba 又は Ti と類似している元素で置換すれば、その量に応じて Curie Point は低又は高温の方へほぼ平行的に移動する。

BaTiO₃ の Ba 又は Ti を之と著しく性質を異にする (イオン半径、電子殻構造) 元素で置換する場合には、微量添加で Curie Point の影響を与えるが、或る程度以上の置換は ϵ (誘電率) を低下せしめるに止る。

Fig 4 はその代表例で BaTiO₃ - SrTiO₃ 系誘電特性を測定したものである。

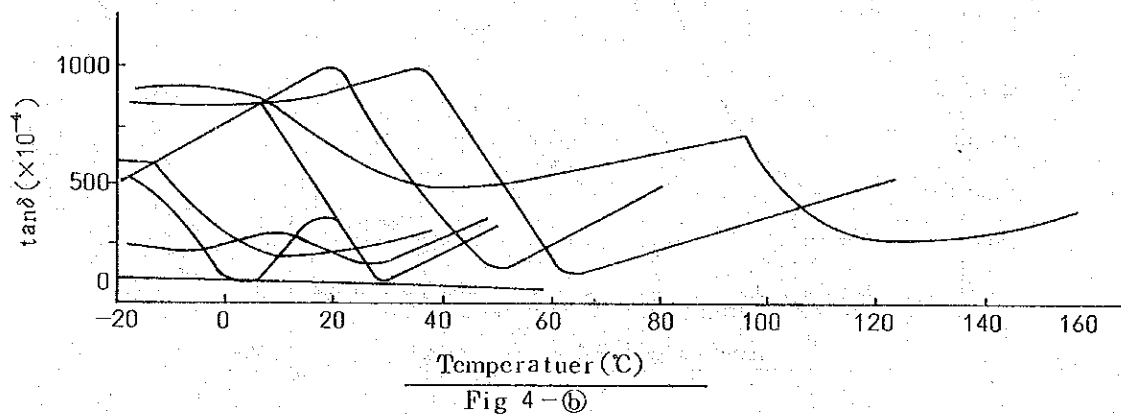
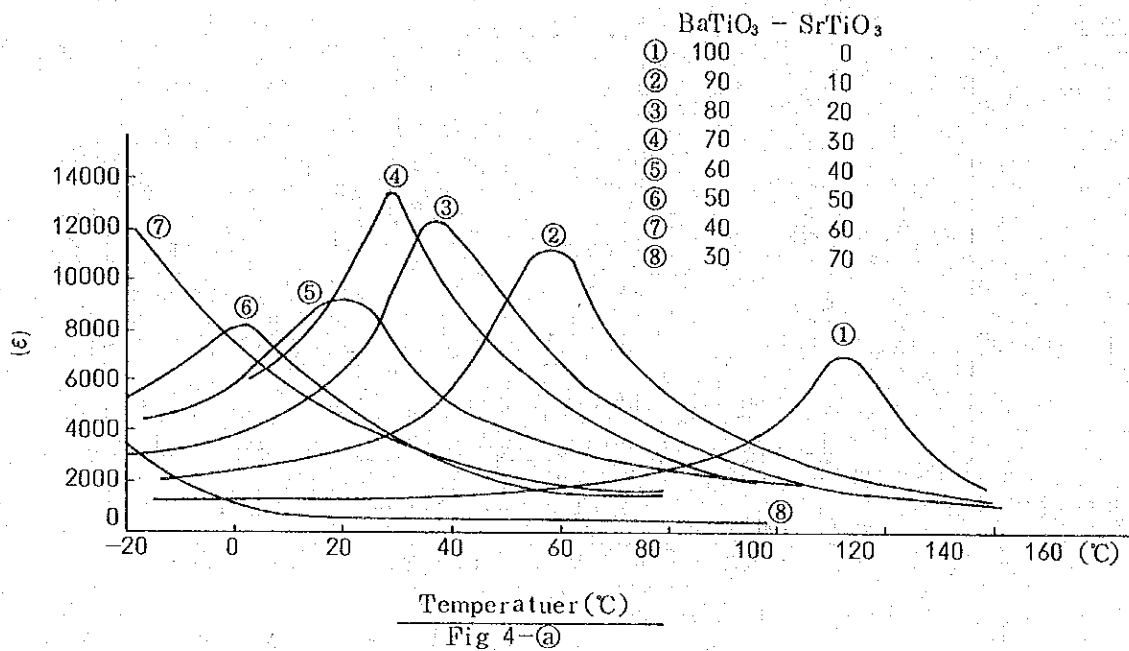


Fig 5 は BaTiO₃ の Ti の一部を Sn で置換した場合の実験結果でこの場合も Sn の増加と共に Curie Point が低温に移動する。Fig 6 は Ba を Pb で置換した例でこの場合は Pb の量と共に Curie Point が高温の方へ移動する。

Fig 7 は BaTiO₃ - MgTiO₃ の固溶体例で BaTiO₃ の格子に入り込んで Curie Point に影響を及ぼしているのは Mg のごく一部にすぎないことが理解される。Mg のイオン半径 0.78 Å は Ba (1.43 Å) に比して著しく小さく、BaTiO₃ と全く異なる結晶形に属するから、BaTiO₃ と MgTiO₃ との固溶体は BaTiO₃ を誘電率の低い物質で稀薄したに過ぎないことになる。

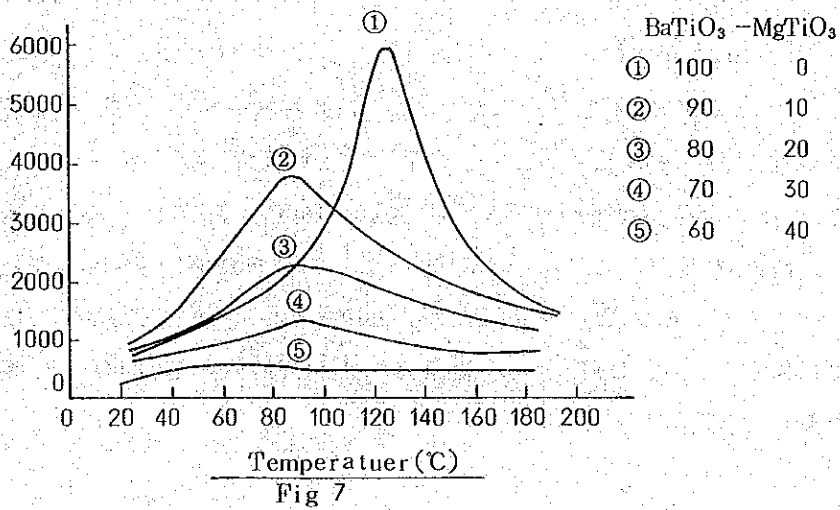
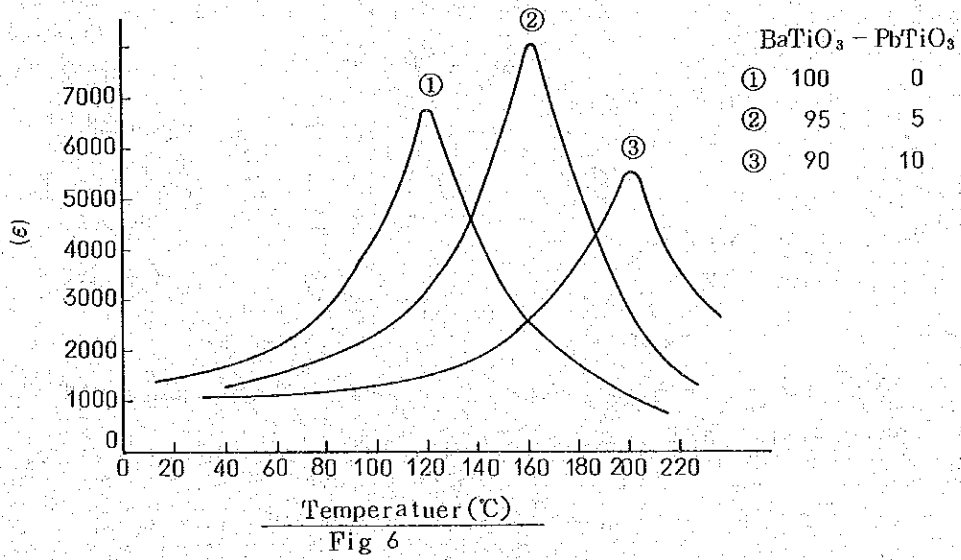
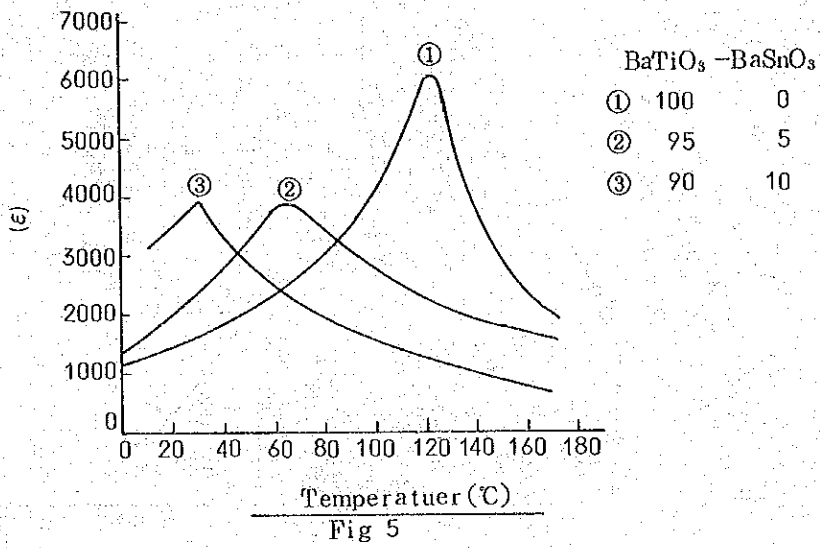


Fig 8はBaTiO₃ - CaTiO₃ で置換した実験例でFig 4 と Fig 7の中間の結果を得ている。

固溶体(又は混合体)に於ては材質の変化に伴って多少変化するがCurie Point が移動しその温度特性が平行移動する様な場合には tanδ の温度特性も大体それに伴って移動する。尚 tanδ の絶対値は添加物の種類と量ばかりでなく焼成条件に於てもおおいに左右されるので実験による改善も重要である。

BaTiO₃ 誘電的異常性はTiO₂ のTi とOの形成する、Dipoleの相互作用に基づくものと考えられるから、その特性は不純物(又は他の元素)の格子介入によって著しい影響を受けることは当然である。この点 Semiconduction と同様に構造に敏感(Structuer semisitive)な特性と言える。それ故に Semiconduction と同様に格子欠陥(lattice defect)の存在もその特性に影響を与えることが考えられるから焼成条件の僅かの変化又はその後の熱処理によっても影響を受ける。例えば同一原料を用い、焼成条件を変化しただけでその特性に大きな差異が認められる。Fig 9はその一例である。焼成が完全な場合と不完全な場合の比較である。当然なことながら②、③のものを熱処理を施せば①の特性は得られる。

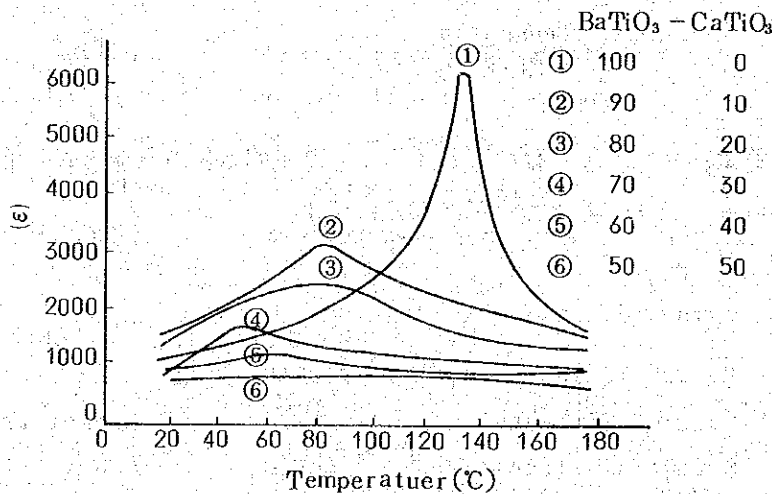


Fig 8

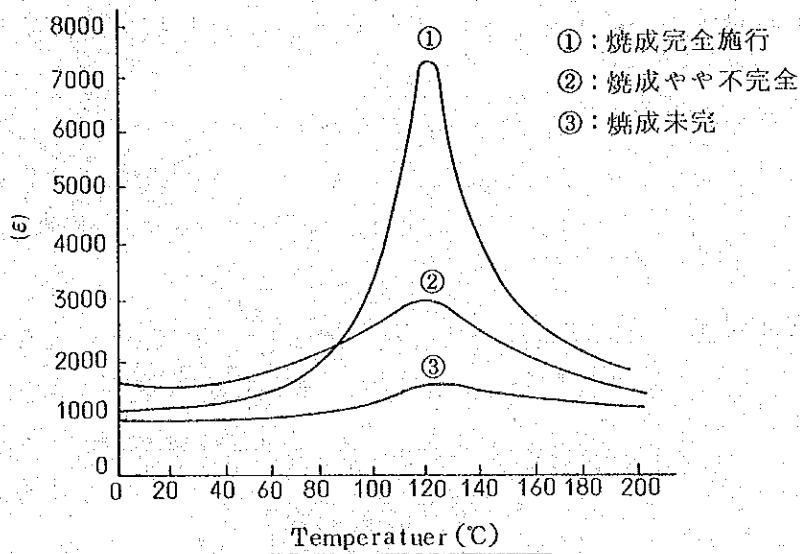


Fig 9-a

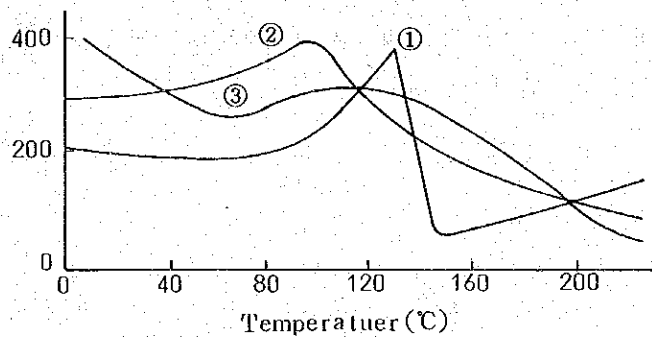


Fig 9-b

(Ⅲ) 次に一般的磁器コンデンサ材料として利用される固溶体の種類と近年特に改良され有用視されているビスマス化合物の例を下記に示す。

(A) Titanium Compound

BaTiO ₃ : Barium Titanate	ZnTiO ₃ : Zinc Titanate
CaTiO ₃ : Calcium Titanate	NiTiO ₃ : Nickel Titanate
SrTiO ₃ : Strontium Titanate	CoTiO ₃ : Cobalt Titanate
MgTiO ₃ : Magnesium Titanate	Bi ₂ (TiO ₃) ₃ : Bismuth Titanate
PbTiO ₃ : Lead Titanate	La ₂ (TiO ₃) ₃ : Lanthanum Titanate

(B) Zirconium Compound

BaZrO ₃ : Barium Zirconate	SrZrO ₃ : Strontium Zirconate
CaZrO ₃ : Calcium Zirconate	MgZrO ₃ : Magnesium Zirconate
PbZrO ₃ : Lead Zirconate	ZnZrO ₃ : Zinc Zirconate

(C) Tin Compound

BaSnO₃ : Barium Stannate ZnSnO₃ : Zinc Stannate
CaSnO₃ : Calcium Stanate La₂(SnO₃)₃ : Lanthanium Stannate
SrSnO₃ : Strontium Stannate
MgSnO₃ : Magnecium Stannate
PbSnO₃ : Lead Stannate

(D) Bismuth Compound

BaBi₂Nb₂O₉ : Barium Bismuth Niobate
PbBi₂Nb₂O₉ : Lead Bismuth Niobate
CdBi₂Nb₂O₉ : Cadmium Bismuth Niobate
CaBi₂Nb₂O₉ : Calcium Bismuth Niobate
MgBi₂Nb₂O₉ : Magnesium Bismuth Niobate
SrBi₂Nb₂O₉ : Strontium Bismuth Niobate
Bi₃TiNb₂O₉ : Bismuth Titanium Niobate
SrBi₂Ta₂O₉ : Strontium Bismuth Tantanate
CaBi₂Ta₂O₉ : Calsium Bismuth Tantanate
BaBi₂Ta₂O₉ : Barium Bismuth Tantanate
PbBi₂Ta₂O₉ : Lead Bismuth Tantanate
BaBi₄Ti₄O₁₅ : Barium Bismuth Titanate
PbBi₄Ti₄O₁₅ : Lead Bismuth Titanate
Bi₅Ti₃CaO₁₅ : Bismuth Titanium Gallium
Sr₂Bi₄Ti₅O₁₈ : Strontium Bismuth Titanate
Pb₂Bi₃Ti₅O₁₈ : Lead Bismuth Titanate
*PbSb₂Nb₂O₉ : Lead Antimony Niobate
*PbSb₂Ta₂O₉ : Lead Antimony Tantanate

(E) Oxide

MnO₂ : Manganese Dioxide Sm₂O₃ : Samarium Oxide
Cr₂O₃ : Chromium (III) Oxide Ta₂O₃ : Tantalum Oxide
Cu₂O₃ : Copper (III) Oxide Dy₂O₃ : Dysprosium Oxide
Fe₂O₃ : Iron (III) Oxide Yb₂O₃ : Ytterbium Oxide
Co₂O₃ : Cobalt (III) Oxide UO₂ : Uramium Oxide
WO₃ : Tungsten Trioxide PbO : Lead Monoxide
V₂O₅ : Vanadium Oxide ZnO : Zinc Oxide
Al₂O₃ : Alminium Oxide Sb₂O₃ : Antimony Trioxide
SiO₂ : Silicon (IV) Oxide La₂O₃ : Lanthanum Oxide
CeO₂ : Cerium (IV) Oxide

Nb₂O₅: Niobium Oxide
 Bi₂O₃: Bismuth Trioxide
 CdO : Cadmium Oxide

上記の酸化物グループは化合物としないで単身で基本組成に添加し利用されるものである。微量な金属酸化物の添加によって高誘電率磁器コンデンサの温度特性および経時変化の改善或は焼結助剤として著しい効果をもたらす。一般には殆んどの市販配合原料には添加されている。

元来 BaTiO₃ が純粋であることで焼結を困難ならしめ空孔が残ることもあり、対耐電圧の劣化の原因となる。どんな鉍化剤をどの程度加えるかは、各メーカーが最も苦心することであり、日本国内に於てもそれ等の改善特許が数多く提案されている、つまり有益な不純物と逆に有害な不純物の作用効果をもたらす両者の工夫が CERAMIC 技術のポイントとも言える訳である。上記 (E) に示した夫々の酸化物 (希土類元素も含む) の作用は実験に於いて確認せねばならず、1種又は多種類を同時に添加しその割合も実用化開発研究の結果に於いて決定される。優れた誘電体を焼結させるには最も重要な配合技術の要因のひとつである。

(V) 次に実際に CERAMIC CAPACITOR として配合されている BaTiO₃ 系誘電体の例を上げて説明する。

(1) 高誘電率 CERAMIC CAPACITOR COMPOSITIONS

Table 1

基本成分	仕 様		
	BaTiO ₃	894 mol %	Dielectric constant K. 18,000(at 1KHZ) Temp. Characteristics Z 5 V Curie Temperature 20 °C Fired Temperature 1390 °C (25 Hr)
BaSnO ₃	395 mol %		
CaSnO ₃	360 mol %		
SrSnO ₃	20 mol %		
添加物	※ Li ₂ Si ₂ O ₃	1.8 weight %	Fired Temperature 1390 °C (25 Hr)
	※ MnO ₂	1.07 weight %	
※ 主成分 total 100 mol % の総重量に対して重量比率で添加する焼結助剤であり全体としては微量加えて効果をはたす。			

Table 2

基本成分	BaTiO ₃	81 mol %	仕 様 Dielectric Constant K 6000 (at 1KHZ) Temp. Characteristics Y 5 U Curie Temperature 25 °C
	SrTiO ₃	10 mol %	
	CaZrO ₃	7 mol %	
	MgZrO ₃	2 mol %	
添加物	Fe ₂ O ₃	0.5 weight %	Fired Temperature 1360 °C (25 Hr)
	MnO ₂	0.3 weight %	
	CeO ₂	0.2 weight %	

Table 3

基本組成	BaTiO ₃	89 mol %	仕 様 Dielectric Constant:K 4500 (at 1KHZ) Temp. Characteristic : Y 5 T Curic point : 25 °C
	CaZrO ₃	10 mol %	
	MgTiO ₃	1 mol %	
添加物	Al ₂ O ₃	total	Fired Temperature : 1370 °C (2Hr)
	SiO ₂	15 weight	
	MnCO ₃	(%)	

Table 4

基組 本成	BaTiO ₃	※90 weight %	仕 様 Dielectric Constant : K 1800 (at 1KHZ) Temp. Characteristic : Y 5 P Curie Point : 120 °C Fired Temperature : 1280 °C (2Hr)
	PbBi ₂ Nb ₂ O ₉	10 weight %	
※	分子量は関係無く2種類の固熔体を重量割合で配合した例		

NOTE: 表1から表4までは実用化されたほんの一部で、後で述べる市販配合原料各種類の組成比については、それぞれのメーカーの秘密部分であって一般には公表されていない。従って参考までに記載したものである。

(2) 酸化チタン系温度補償用 CERAMIC CAPACITOR

BaTiO₃系誘電体が発見される以前に、TiO₂(Titanium Dioxid)磁器は有用なCAPACITOR材料として研究され、特に誘電体損失(D.F)が非常に少ないこと、つまりQ値が高く高周波用電子回路に重要なCAPACITORとして利用されていた。CERAMIC CAPACITORは高温で焼結されている為、化学的に非常に安定であり又長時間経時変化に於いても他種、コンデンサに比較し静電容量の安定性が大きい。更に特長としては、負の温度係数を具備していることである。一般に通信機用回路部

品は、コイル、抵抗器或は真空管の内部容量も総て正の温度係数をもつから、それを補償する部品として極めて有用である。

TiO₂系 CERAMIC CAPACITOR は誘電率こそ BaTiO₃系磁器に比較して低いけれど、配合比率を調整することにより任意な温度係数をもつ優れた特徴があって例えば +100 P.P.M/°C ~ -7500 P.P.M/°C までの範囲が実用化され、使用温度 -30°C ~ +85°C の範囲で、ほぼ直線的に変化する利点がある。他のコンデンサに類をみない。

以下に使用例として携帯用 FM 無線機の場合を次に説明する。

(1) アンテナ回路 (2) 中間周波増幅段 (3) 同 (2) (4) ディスクリミネータ

(1) アンテナ回路

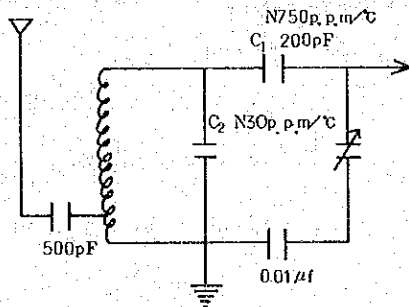


Fig 10

(2) 中間周波増幅段

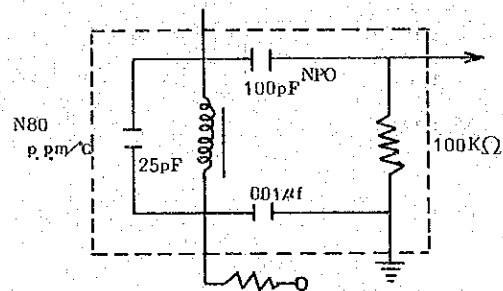


Fig 11

(3) 中間周波増幅段

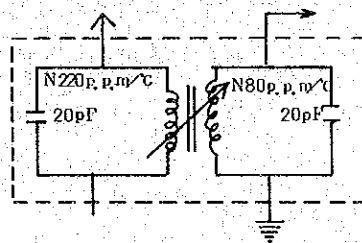


Fig 12

(4) ディスクリミネータ

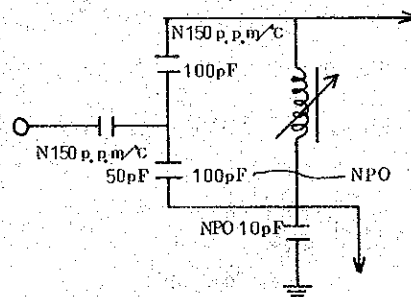


Fig 13

上記のように温度係数を適切に利用すれば無線機全体の温度変化による周波数の“ずれ”を補正され瞬時的な周囲温度の変化に対して1～3〔min〕で応答出来る。尚実用上必要な温度係数については別添付EIA規格に詳しく制定されているので規格に添って説明する。

(注) J I S規格も独自に制定されているが英文規格が出来次第送付する。今回はE I A規格に準拠する)

- (3) 温度補償用磁器コンデンサとして利用される誘電体材料の種類及び配合組成の具体例を次に示す。先のBaTiO₃系組成に於いても、各メーカーがそれぞれ苦心して実用化研究の末開発しているので、必ずしも次の組成が総てでは無く数多い研究成果発表が公知されているので次回の好機にそれ等の実施例特許公告をもって説明に当たる所存である。

温度補償用 CERAMIC CAPACITOR 組成表

Table 5

T. C p. p. m/°C	Composition (weight%)		Epsilon (ε) (at 25°C)	Q (at 25°C)
	MgTiO ₃	CaTiO ₃		
P 1 0 0	100	0	13.6	3000 ≥ 50 pf
P 3 0	97.5	2.5	14.7	3000 //
N P 0	95.0	5.0	15.5	3000 //
N 3 0	94.0	6.0	16.4	3000 //
N 8 0	91.2	8.8	17.7	3000 //
N 1 5 0	88.0	12.0	19.6	3000 //
N 2 2 0	85.0	15.0	21.3	3000 //
N 3 3 0	79.0	21.0	24.1	3000 //
N 4 7 0	74.0	26.0	28.6	3000 //
N 7 5 0	64.0	36.0	38.3	3000 //

(注) 添加物 MnO₂ 0.05 ~ 0.5 weight % の範囲で Q 値の改善が出来て粘土 (Clay) を微量添加することにより焼結し易い Element が得られる。

Table 6

T. C p. p. m/°C	Composition (mol %)			Epsilon (ε) (at 25°C/1MHZ)	Q (at 25°C/1MHZ)
	TiO ₂	La ₂ O ₃	Bi ₂ O ₃ (wx%)		
P 1 0 0	33.5	66.5	※ 7.5	60	5000 ≥ 100 pf
P 3 0	42.0	58.0	7.0	54	5000 //
N P 0	45.0	55.0	7.0	51	5000 //
N 3 0	46.0	54.0	6.6	50	5000 //
N 8 0	48.0	52.0	6.5	49	5000 //
N 1 5 0	53.0	47.0	5.8	46	5000 //
N 2 2 0	57.0	43.0	5.3	46	5000 //
N 3 3 0	64.0	36.0	4.7	52	5000 //
N 4 7 0	73.0	27.0	3.9	63	5000 //
N 7 5 0	88.0	12.0	2.6	87	5000 //

(注) Bi₂O₃ の添加量は TiO₂ / La₂O₃ に対し総重量の weight % 添加した例である。

次に温度係数が負に多く傾斜する組成、つまり温度係数が大きいグループの配合例を表 7 ~ 8 に示す。

尚参考迄に付記すれば TiO₂ / La₂O₃ を TiO₂ / ThO₂ (Thorium) に変えて例比毎の実験に於いても表 6 に近似な値を得ることが出来ている。

Table 7

T. C p. p. m/°C	Composition (weight %)		Epsilon (ε) (at 25°C)	Q (at 25°C 1MHz)
	CaTiO ₃	SrTiO ₃		
N 1200	100	0	160	3000 ≥ 100 pf
N 1500	79.5	20.5	178	3000 #
N 2200	34.5	65.5	210	3000 #

(注) 添加物 MnO₂, Clay および La₂O₃

Table 8

T. C p. p. m/°C	Composition (mol%)			Epsilon (ε) (at 25°C)	Q (at 25°C 1MHz)
	SrTiO ₃	PbTiO ₃	BaTiO ₃		
N 3300	87	3	10	375	3000 ≥ 100 pf
N 4700	80	10	10	540	3000 #
N 5500	73	10	17	600	2000 #
N 7500	60	10	30	1100	2000 #

(注) 添加物 MnO₂, Clay および CeO₂

以上は比較的一般用として利用されている量産用配合割合であって温度係数が少く、更に誘電率を高める試みとして、次の表9に示す BiTiO_{3.5} を活用した例もある。このことはより小形で大容量の CERAMIC CAPACITOR を得るべく研究開発なされたものである。但し Q (1 MHz) 値を高めることが残された課題であろう。

Table 9

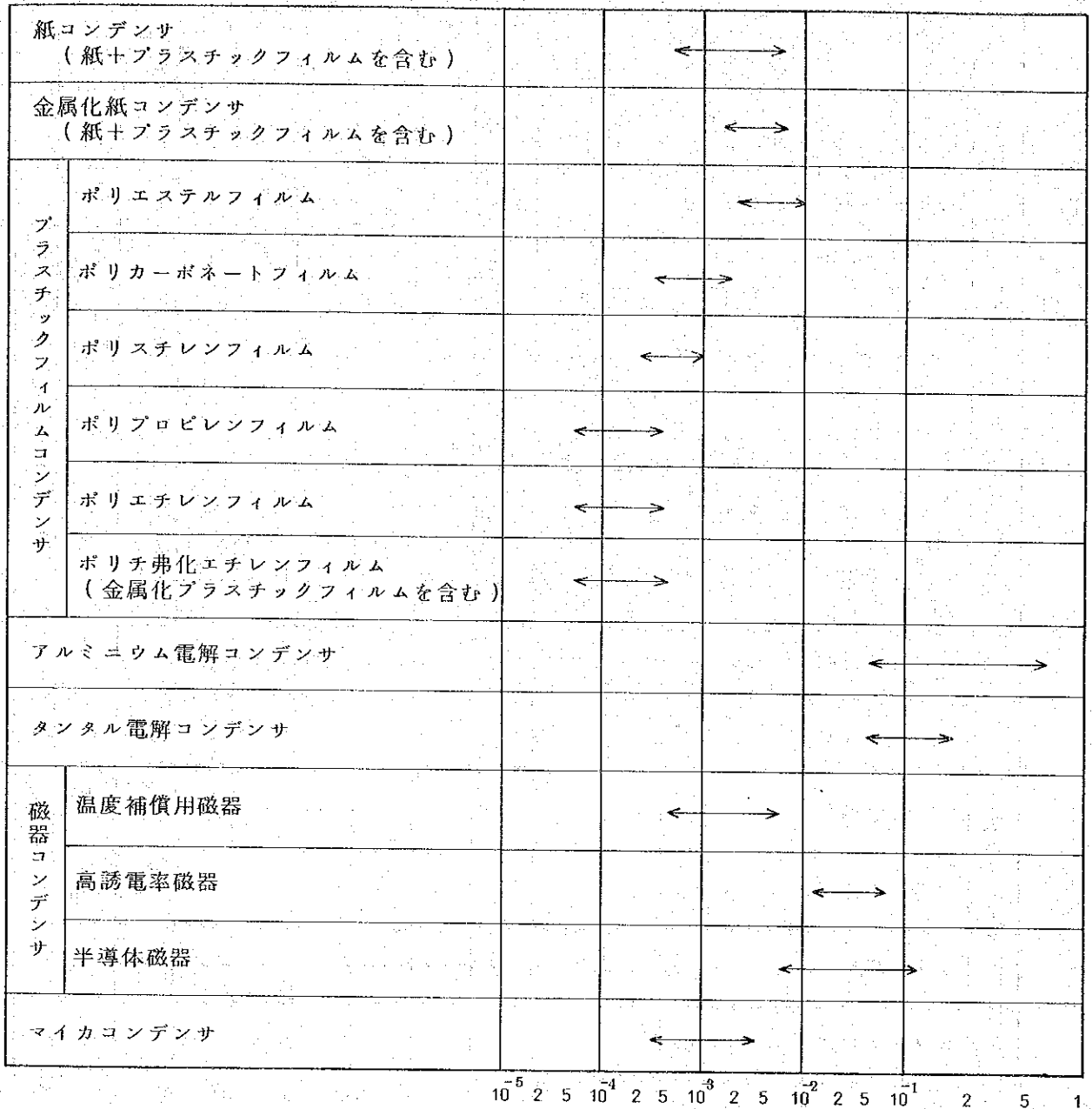
T. C p. p. m/°C	Composition (mol %)	Epsilon (ε) (at 25°C)	Q (at 25°C 1MHz)
	SrTiO ₃ -CaTiO ₃ -BiTiO _{3.5}		
N 600	75CaTiO ₃ + 25BiTiO	260	1000 ≥ 100 pf
N 1400	75(Sr _{0.5} Ca _{0.5})TiO ₃ + 25BiTiO _{3.5}	500	800 #
N 2200	75(Sr _{0.8} Ca _{0.2})TiO ₃ + 25BiTiO _{3.5}	990	600 #
N 3200	75SrTiO ₃ + 25BiTiO _{3.5}	1100	500 #

(V) CERAMIC CAPACITOR 以外の各 CAPACITOR とその特長

CERAMIC CAPACITOR の他には紙コンデンサ、プラスチックフィルムコンデンサ、タンタルコンデンサ、マイカコンデンサ、電解コンデンサおよび薄膜コンデンサ等が電子回路部品として多用され量産なされている。これ等各種のコンデンサはそれぞれ

静電容量帯域或は適用周波数範囲又は、適用電圧に特長をもち、用途によって区別され使用される。

以下に各種コンデンサの特性例を示す。



← 誘電力率 →

Fig. 14 各種コンデンサの誘電力率

紙コンデンサ (紙+プラスチックフィルムを含む)		DC AC			←	→				
金属化紙コンデンサ (紙+プラスチックフィルムを含む)		DC AC			←	→				
プラスチックフィルムコンデンサ	ポリエステルフィルム	DC AC			←	→				
	ポリカーボネートフィルム	DC AC			←	→				
	ポリスチレンフィルム				←	→				
	ポリプロピレンフィルム	DC AC			←	→				
	ポリエチレンフィルム	DC AC			←	→				
	ポリチ弗化エチレンフィルム (金属化プラスチックフィルムを含む)				←	→				
アルミニウム電解コンデンサ		DC AC	←		→					
タンタル電解コンデンサ			←		→					
磁器コンデンサ	温度補償用磁器				←	→				
	高誘電率磁器				←	→				
	半導体磁器		←		→					
マイカコンデンサ					←	→				

1 2 3 5 10 20 30 50 100 200 300 1000 2K 5K 6K 10⁴ 20K 30K 50K 10⁵ 200K 300K 500K

← 定格電圧 (V) →

Fig 16 各種コンデンサの適用電圧範囲

3.5 CERAMIC CAPACITOR の製造技術指導資料

CERAMIC CAPACITOR 製造技術資料 (№ 2)

(講 義 用)

- (I) パキスタン中央電気通信研究所に於ける CERAMIC CAPACITOR の
実験内容および使用誘電体の仕様
- (II) 実験用携帯資材および機材
- (III) Ceramic Capacitor の試作実験方法スライド説明書
- (IV) Ceramic Capacitor 製造技術解説
- (V) Ceramic Capacitor の製造工程の解説
- (VI) Ceramic Capacitor の設計
- (VII) 円板形 Ceramic Capacitor の一般市販品例
- (VIII) 試作品の電気特性および使用原料の試験成績書
- (IX) E I A 規格

§ Ceramic Capacitor の技術資料 (№ 2)

2. Ceramic Capacitor の試作実験に関して

(1) パキスタン中央電気通信研究所 PAKISTAN CENTRAL TELECOMMUNICATION RESEARCH LABORATORIES (C. T. R. L) に於ける Ceramic Capacitor の実験について

C. T. R. L で行ひ Ceramic Capacitor の実験は凡そ下記の内容による。
Ceramic Capacitor の全てを 1 ヶ月間で完了させることは、困難であるが、短期間実習で実りある成果を修る為には、材料の基本組成の研究と文献 Date の確認に及ぶことは、次の機会にすると先づ用意された市販の原材料を用い、既設の実験設備を利用して初期の試験成績を得る様、実習に於いて理解することが必要である。斯様な理由から短期専門家が予め、日本国内で準備した原料および資材機具を基に、別配布試験研究方法のテキストを順守し用意したスライドを見ながら、手順や要領を会得し指導者の Now How を覚え込むことを主眼とされたい。先の講義で説明した通り Ceramic Capacitor は粉末を成型し焼結させることが基本であるから実験を通してその成果を希待したい。

尚前回来バされ指導なされた専門家とは幾分その指導方法或は諸条件等相違する点があるけれど、このことは、夫々の会社および研究所に於ける製造方法に工夫改善の特長があるからで、予め予解して頂きたい。

1. 実験に準備した誘電体材料および試料

既設機械器具に対し今回の短期専門家自身が確認試作を行っていない為、渡バ前に次の試料を準備した。

(1-1) Spray Dried Peueting Powder

Table 1

1	BT-203	BLot № 1A111	5	Kg (BaTiO ₃ 系誘電体)
2	BT-303	BLot № 9L121	5	Kg (同 上)
3	NPOB	Lot № 9B118	5	Kg (TiO ₂ 系誘電体)
4	N750B	Lot № 9C144	5	Kg (同 上)

上記 4 点の原料は何れも成型しやすく調整された、市販原料であり量産なされているものより調達した。従ってプレス工程以降から取扱える利点と既に量産化され試験 Date も添付されている為比較試験を行ひのに容易である。

(1-2) 成型素子

自動タブレット成型機による成型素子をそれぞれの原料毎に用意したそれ等の内訳は下記の通りである。

Table 2

	原料名	製造 Lot. №	成型品数量	成型寸法 (直径および厚さ)	
1	BT-203B	(Lot № 1A111)	1,000PCS	Dia 15 _{mm} φ	Thicness 0.50 _{mm}
2	BT-303B	(Lot № 9L121)	1,000PCS	Dia 15 _{mm} φ	Thicness 0.58 _{mm}
3	NPOB	(Lot № 9B118)	1,000PCS	Dia 15 _{mm} φ	Thicness 0.61 _{mm}
4	N750B	(Lot № 9C144)	1,000PCS	Dia 15 _{mm} φ	Thicness 0.61 _{mm}

(1-3) 焼結素子

Table 3

	素子材料	製造 Lot. №	焼成品数量	素子寸法 (直径および厚さ)	
1	BT-203B	(Lot № 1A111)	300PCS	Dia 12.2 _{mm} φ	Thicness 0.425 _{mm}
2	BT-303B	(Lot № 9L121)	300PCS	Dia 12.2 _{mm} φ	Thicness 0.485 _{mm}
3	NPOB	(Lot № 9B118)	300PCS	Dia 12.4 _{mm} φ	Thicness 0.42 _{mm}
4	N750B	(Lot № 9C144)	300PCS	Dia 12.5 _{mm} φ	Thicness 0.525 _{mm}

(※)上記表1～表3の試料は総て富士チタン工業株式会社に於いて準備なされたものである。特に担当下された代田勲氏には前述したスライド製作も依頼致し協力頂いた。

(II) 実験用携帯資材および機材

Table 4

№	品名	仕様	数量	メーカー
1	金型	Dia 8.2 _{mm} φ Dia 11.7 _{mm} φ 成型用	2組	三備精機(株)
2	Sagger(匣鉢)	アルミナ質耐火物	10個	富士チタン工業(株)
3	Zirconia Cetter	ジルコニヤ質耐火物	20枚	ナイセイエンジニアリング
4	銀ペースト	SP-100 筆塗用	500g	新日本化金(株)
5	半田ペースト	Solder Paste(S60)	1Kg	千住金属工業(株)
6	リード線	半田引軟導線	1000本	(株)コンド電機製作所
7	塗料	Dureze resin	2Kg	長嶋塗料(株)
8	ワックス	含浸用クリスタリンWAX	5Kg	(株)コンド電機製作所
9	机上ロクロ	銀塗手動ロクロ	1台	(株)白岩製作所
10	毛筆	銀塗布用筆	10本	ナイセイエンジニアリング
11	メスリング	焼成温度測定用	22個	富士チタン工業(株)

(III) CERAMIC CAPACITOR 試作実験方法

スライド説明書

THE SLIDES OF THE TESTING PROCEDURES OF THE CAPACITOR

1. Binder Making

This slide shows how to make binder. Binder consists of PVA 10% solution. It is made of 90% of water and 10% of PVA. PVA powder is mixed with hot water and dissolved.

2. Weighing of Powder

300 grams powder is generally measured.

3. Mixing Machine

300 grams powder and 60 ml 10% PVA Binder are mixed. This mixture is dried at 120°C.

4. Mixing Machine

In this slide the mixing machine is shown with detailed expansion.

4.1 Granulation procedure

After drying, these mixed-dried raw material is roughly grinded in mixing machine for 2 minutes. Then 80 mesh stainless made sieve is used. 80 mesh is about 150 micro-meter in granular size.

4.2 This sieved granular under 80 mesh is used for press. Nowadays this kind of sieved granular is usually sold to many condensor manufacturing companies.

5. 5.1 Press Machine

Dry press type of machine. Its maximum pressure is six tons.

5.2 Pressing Procedure

The size of this pressed tablet is 15 mm in diameter, from 0.4 mm to 0.6 mm in thickness.

6. These tablets are set on the zirconium oxide plate (Zirconia) which is supported by sagger. As Zirconia oxide has very high melting temperature,

the bottom tablets can be prevented its diffusion, in other words, sintering with sagger.

7. 7.1 The whole scene of the Electric furnace for sintering.

7.2 The front figure of the electric furnace.

7.3 Inside of the electric furnace. Firstly, the sagger which support zinconia oxide plate for tablets is set inside of the furnace.

Then, sintering procedure is started.

From R.T to 1000°C, its rate of rising temperature is normally 150 to 170°C/HR and from 1000°C to at sintering temperature is 100°C/HR.

Namely, usual sintering temperature is set from 1200°C to 1370°C.

Cooling procedure is held by natural cooling.

7.4 Sintering

8. 8.1 The painting procedure of silver electrode

A small brush, the solution mixing silver powder are used in the painting procedure. Front side and back side of each sintered tablet is painted one by one.

8.2 Up sight of the silver painting procedure

9. The front view of the furnace for silver firing.

furnace electric power source and controller

The silver painted tablets which are supported by Si_2O_3 boat, are set in furnace and fired at 740°C for 3 minutes in air.

10. The welding procedure of a lead wire, solder, lead wire, holder, copper plate and heater. The temperatures of and samples should should be adjusted at almost same temperature in order to prevent making crack. If temperature difference is so high, the tablet is cracked, due to heat strain.

11. 11.1 The measurement of the electrical character of the samples, take capacity, $\tan \delta$, temperature coefficient. You can see L,C,R meter on the right side, and on the left side.

11.2 The operation scene of L.C.R. Meter

11.3 L.C.R. meter, this type is TAP 4261 A.

12. Measurement of Insulation Resistance

The Meter and Condenser on the supporter can be shown.

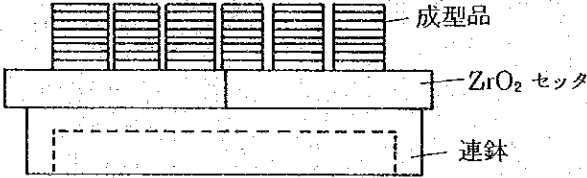
13. The electron microscopic machine

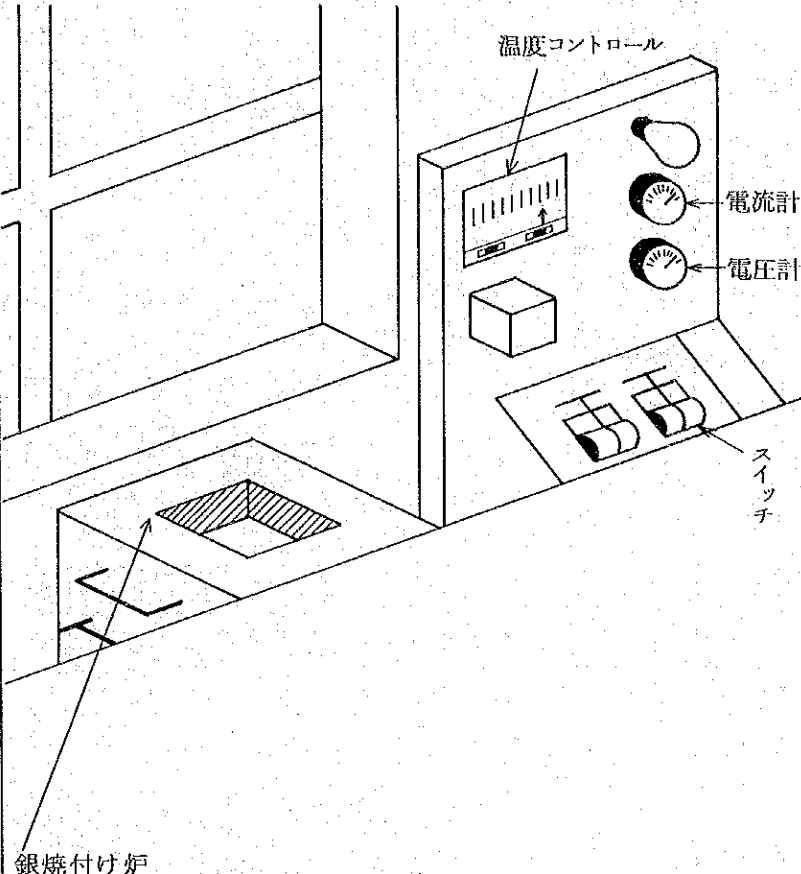
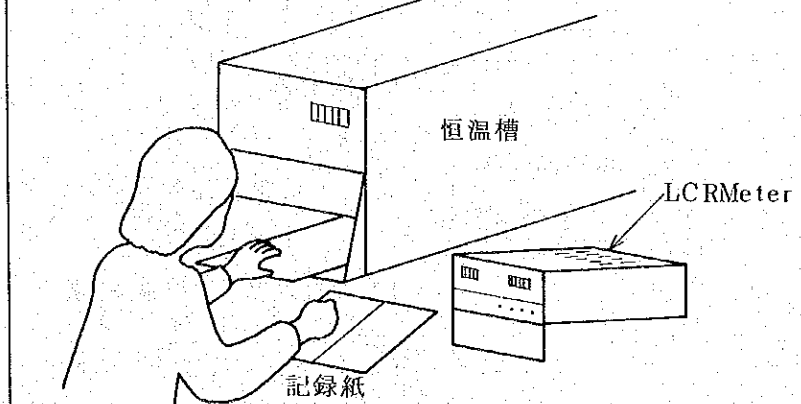
You can measure the grain size, surface features of the crystallite of the samples. These samples are directly multiplied by 4,000. If necessary, you can multiply 10 times more by photography.

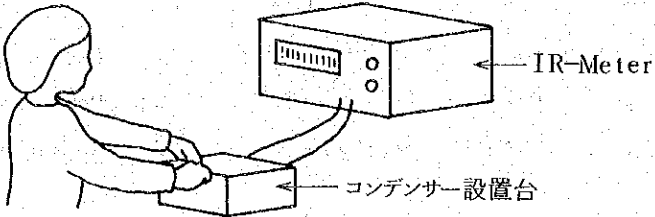
14. The measurement room of the various kinds of electrical characters

2. 製品試験法のスライド

スライド №	工 程	内 容
1	BINDER作製	
2	粉の秤量	天秤 (50.0g) を使い、ポリエチレン袋に300g秤量
3-1	BINDER添加	<p>播潰器に粉300gを入れて、粉を広げ、注射器でBINDER (10% Soln) を6.0ml注入し、BINDER均一に混合する。</p> <p>乾燥器120℃±10℃で乾燥する約12分。</p> <p>再びBINDER3.0ml注入し、混合する。均一に混合後再び乾燥器120℃±10℃で乾燥する。水分0.5%を終点とする。</p> <p>(手で触って、湿っぽく感じる点)</p>
3-2	BINDER添加	アップ
4-1	造 粒	<p>使用器具 ・ 80 mesh 篩 (オールステンレス)</p> <p>・ ステンレスバット (4つ切り)</p> <p>・ 播潰器</p> <p>1. 乾燥終了後、播潰器で粗砕する、約2分間程度</p> <p>2. 播潰器より試料を80 mesh 篩にうつし、手でおし篩分ける。</p> <p>3. 篩上に残ったものは再び粗砕し、再び80 meshで篩る。</p> <p>(成型に必要な量約200~250gあればよい)</p>
4-2	造 粒 品 (注)	<p>1. 80 mesh を通過したものを造粒品と成型用試料とする。</p> <p>2. 粗砕時粒を小さくしすぎると流動性が悪くなり</p> <p>2-1 成型品の強度が出ない</p> <p>2-2 厚みが不均一になる</p> <p>2-3 焼結した時クラックが入りやすい</p>

スライド No.	工 程	内 容
5-1	成型機	玉川工機 (乾式プレス機 6 TON)
5-2	成型中 スライドなし 成型密度	<p>成型をしているところ</p> <p>富士試験寸法 $\phi 15.0 \times 0.4 t \sim 0.6 t$</p> <p>Hi-K機: -K材 TC材</p> <p>成型 : $1.7 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^3$</p> <p>成型終了後 成型品の密度を t 厚み ϕ 径と重量より算出する。</p>
6	匣鉢に成型品を並べる	<p>使用器具 匣鉢 (シャモット質)</p> <p>ZrO₂ セッター</p> <p>成型品を 15 枚重ねて並べる</p>  <p>匣鉢は逆にして底の平面上に ZrO₂ 板を乗せてその上に成型品を並べる。</p>
7-1	焼結電気炉	使用器具 マッフル炉 (東海高熱製) 発熱体 : エレマ
7-2	焼結電気炉の前蓋を開けた	
7-3	焼結電気炉中	<p>匣鉢を奥にセット</p> <p>昇温 : $0^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C} : 150 \sim 170^\circ\text{C}/\text{HR}$</p> <p>$1000^\circ\text{C} \sim$ 焼結温度 : $100^\circ\text{C} \text{ }^\circ\text{C}/\text{HR}$</p> <p>焼結 : $1200^\circ\text{C} \sim 1370^\circ\text{C}$</p> <p>冷却 : 自然冷却</p>
7-4	焼 結	前蓋を閉め焼結
8-1	銀塗り	<p>使用器具 ・小筆 ・ロクロ</p> <p>・銀液 (新日本化金研究所 SP-100KB)</p> <p>・ジャーレ</p> <p>1 枚 1 枚表裏小筆で銀液を塗布する。</p>
8-2	銀塗り	アップ

スライド No.	工 程	内 容
9	銀焼付け炉 写真が悪いので図 示する	 <p>銀焼付け炉</p> <p>銀焼付け炉中に銀液を塗布した後、Al_2O_3 ボードに乗せ炉中に入れ、$740^{\circ}C \times 3\text{min}$ 焼付ける。</p>
10	リード線付け	<p>使用器具 ・半田コテ ・半田 ・リード線 ・ピンセット ・銅板 ・ヒーター</p> <p>半田コテの温度と試料の温度の調整をすること 温度差がありすぎると半田コテをあてた時破損（クラック）する。</p>
11	電気特性測定 Cap tan δ T.C	 <p>恒温槽</p> <p>LCRMeter</p> <p>記録紙</p>

スライド No.	工 程	内 容
11-2	2. G. R. Meter	操作 Cap. $\tan\delta$ 測定
11-3	L. C. R. Meter	(YAP 4261A)
12	IR測定 (東亜電波 SM-5E)	 <p>The diagram illustrates a person using an IR-Meter to measure a component on a condenser stand. The IR-Meter is a rectangular box with a scale on the front and two circular indicators on the side. A label 'IR-Meter' points to it. The condenser stand is a smaller rectangular box with a label 'コンデンサー設置台' pointing to it. A person is shown from the side, holding the condenser stand and pointing the IR-Meter towards it.</p>
13	顕 微 鏡	(grain - Size, 導体検査
14	測 定 室	

(IV) CERAMIC CAPACITOR の製造技術解説

Purpose

To make PVA 10 WT % Binder Solution which needs for testing BaTiO₃ Ceramics.

Instruments

- 1) Small Stiver
- 2) Water Bath
- 3) Heater (1 KW)
- 4) Porcelainized Beaker (10 l)
- 5) 325 mesh Sieves (sus 27)
- 6) Spatula

Materials and others

- 1) PVA (#*117)
- 2) Water (to get rid of extraneous substance through 325 mesh sieve)

Order	Description of Working	Notes
1)	To put water Bath on Heater, put porcelainized Beaker (10ℓ) into the Bath and Pour water 7 l into it	To get rid of extraneous substance from water through 325 mesh sieve
2)	To stir water in the Beaker by Stiver	Not to touch stiver with Beaker.
3)	To switch on Heater and heat	
4)	To put PVA (*117) 780g into Porcelainized Beaker little by litter	If put PVA into in one time, it is not dissolve perfectly and make ceramic characteristics worse.
5)	To take care not to run out of water	
6)	To stir till solution becomes transparent and till not to feel solid body touching with finger.	
7)	After finished dissolving, switchoff and cool naturally. At the time of 40°C maximum of Solution, sift them through 325 mesh sieve.	To force into cool is also good.

Mixing Binder Solution and Granuation

Purpose

Mixing Binder Solution and Granuating for good Molding of ceramic Instrument

- 1) Balance (500g)
- 2) Spatula
- 3) Mixer
- 4) Stainless Bat C
- 5) Electric Drier
- 6) 80 mesh sieve (sus 27)
- 7) Injector (50 cc)

Materials and others

- 1) PVA 10% Solution
- 2) BT-203 Powder

Order	Description of Working	Notes
1)	To balance 300g BT-203 powder	
2)	To put 300g powder into Mixer and losen	
3)	To add 40 ml of PVA 10% solution with Injector	
4)	To switch on Mixer and mix enough Binder and Material for the equal dispersion of Binder	
5)	After Binder Solution is equally mixed with Material, remove them to stainless Bat and dry at $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, To finish drying at the point of Water 0.3 - 0.5 WT % (about 15 minutes) and reduce to powder again by Mixer.	
6)	After crashing material, add 20 ml of PVA 10% solution, and mix them till equal dispersion. After mixing, put them again into dryer.	
7)	To dry at $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ till to be water 0.3 - 0.5 WT%.	
8)	After drying, put them into Mixer. This time not to reduce finally to powder but to losen, then sift them through 80 mesh sieve. Remain must losen by Mixer and sift through 80 mesh sieve and repeat this process.	
9)	After sifting, dry them for 3 minutes by Drier.	
10)	After drying, sift through 80 mesh sieve. These materials are for molding.	

Molding

Purpose

Disk Molding and preparing for firing for BaTiO Ceramic Test.

Instruments

- 1) Powder Molding Machine (Tablet Machine)
- 2) Vacuum Pump
- 3) Electric Cleaner
- 4) Chemical Balance

Materials and others

- 1) Dial Gauge (1/100 mm)
- 2) Sagger
- 3) Zirconia Ceramic Setter

Order	Description of Working	Notes
1)	To switch on Vacuum Pump	To make clean
2)	To set Material Holder and fix with Holder fix with spring.	inner of Holder
3)	To fasten lower Punch in upper fix point and confirm the same level of lower punch and surface of Table.	
4)	To put the granulated Materials into Holder.	
5)	To switch on and mold; to check thickness of some pieces of molded Disk and pressure Molding condition; thickness 0.42 ± 0.01 m/m diameter 15 m/m pressure $2,000 \text{ kg/cm}^2$	
6)	To compensate the condition to be pertinent in case of irrelevant condition.	
7)	After compensating, mold 100 pieces.	
8)	To measure Molding Density	

Molding Density (g/cm^2) = $\frac{\text{Weight of 10 pieces of Ceramic}}{(15/2)^2 \times 3.14 \times \text{thickness of ceramic}}$

Firing

Purpose

To fire Molded Material BT-203 and make ceramics.

Instruments

- 1) Electric Furnace
- 2) Programmed Automatic Control Thermometer
- 3) Thermorecorder

Materials and others

- 4) Sagger
- 5) Zirconia Ceramic Setter

Order	Description of Working
1)	To arrange total 45 pieces in 3 lines 15 pieces for each on
2)	After arrangement of moded ceramics, set them into Electric Furnace.
3)	To switch on the Programmed Automatic Control Thermoregulator of Electric Furnace.
4)	To switch on Thermorecorder. (Refer to Firing Condition written on another sheet.)
5)	To take out them when the temperature in Furnace falls upto 400°C and cool naturally upto room temperature.

Ceramic Density and Electrode Painting

Purpose

To measure ceramic Density of BT-203 and paint electrode for measurement of electric characteristics.

Instrument

- 1) Dial Gauge (1/100 mm)
- 2) Potter's Wheel
- 3) Silver Paint
- 4) Thinner for Silver Paint

Material and others

- | | |
|------------|---------------------|
| 1) Acetone | 2) Brush |
| 3) Nonius | 4) Chemical Balance |

Order	Description of Working
1)	To measure thickness of Ceramics by Dial Gauge and select 10 pieces of same thickness to check diameter by
2)	To weigh the weight of 10 pieces ceramics by chemical balance and calculate the ceramic Density as follows, $\text{Density (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Weight of 10 pcs(g)}/10}{\text{thichness(cm)} \times (\text{radius})^2 \text{(cm)} \times 3.14}$
3)	To paint Silver Paste on the surface of same thick ceramics by potter's wheel.
4)	To take out Silver Paint on plate as you need and dilute them up to surtable viscosity by thinner.

Electrode Firing and Soldering Lead Wires

Purpose

To fire Silver Electrode painted on BT-203 Ceramics and solder Lead Wires on Electrode.

Instruments

- 1) "ELEMA" Electric Furnace (hand-made)
- 2) Alumina Ceramic Boat
- 3) Case (for firing Silver Paint)
- 4) Electric Heater (200W)

Material and others

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1) Lead Wires | 2) Copper Plate |
| 3) Electric Soldering | 4) Pincette |

Order	Description of Working
1)	After drying Silver Paint, arrange as fig. 5.

Fig. 5 Arrangement of Ceramics on boat for firing

- 2) To put Alumina Ceramic Boats arranged ceramics into Furnace.
- 3) To switch on Electric Furnace and fire firing condition.
 - 1) Firing temperature 740°C 3 min.
 - 2) Elevating condition 0°C - 740°C about 40 min. of temperature
 - 3) Cooling naturally
- 4) To take the ceramic out at the point of 300°C max. and cool up to room temperature.
- 5) Lead Wires are soldered on fired Ceramics as fig. 6.

Fig. 6 Soldering method of Lead Wires

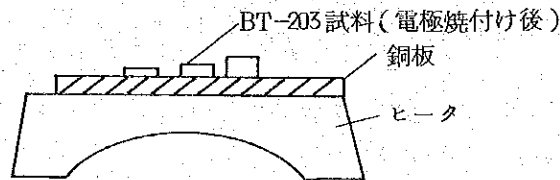
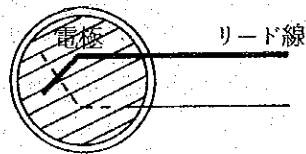


Fig. 7



Notes

Temperature of copper plate and solder must be almost same, otherwise ceramic Elements are easy to break.

Measurement of Electric Characteristics

Purpose

To measure various Electric Characteristics of BT-203 Ceramic Elements and judge the quality whether BT-203 can be used for Hi-K material or not.

Instruments

- 1) Digital L.C.R. meter - Dielectric constant & Dielectric loss tangent.
- 2) Resistance Meter - Insulation Resistance
- 3) Oven - Temperature Curve
- 4) Electric characteristics

4)-1 Materials and measuring method

After printing Silver Paint on both sides of Ceramic Elements

mentioned above, fire them at 800°C in 5 minutes for making electrode. To solder Lead Wires to both sides of electrode and make ageing for 24 hours, then measure electric characteristics.

4)-2 Dielectric Constant

Instrument

Di Digital Capacity Meter

Method

To put ceramics soldered Lead Wires into and operate at decided temperature, to measure capacity by connected capacity Meter. The other side, measure thickness of Ceramics and diameter of Silver electrode by , then calculate dielectric constant by following formula,

$$\text{Dielectric Constant } E = \frac{144 \times t \times c}{D^2}$$

t : Thickness of Ceramics (mm)

c : capacity (PF)

D : electrode diameter (mm)

If precisely speaking this E mentioned here is specific inductive capacity, so it has no unit.

4)-3 Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)

Instrument

Digital capacity meter

Method

This can be measured at the same time when 4)-2 Dielectric constant is done.

4)-4 Temperature Variation Rate

Instrument

Digital capacitance meter

Method

To put Ceramics soldered Lead Wires into and operate at decided temperature and measure capacity at some temperature. Temperature Variation Rate can be calculated as follows using

these capacities and ones at standard temperature.

$$\text{Tem. Variation Rate (\%)} = \frac{C_T - C_s}{C_s} \times 100 (\%)$$

CT: Capacity (PF) at test temperature

Cs: Capacity (PF) at standard temperature

4)-5 Insulation Resistance (IR)

Instrument

Resistance Meter Super-Megohm Meter

Method

To hold ceramics soldered Lead Wires on Resistnace Meter and go on 500 Voltage, and measure it in 15 minutes.

4)-6 Q Value

Instrument

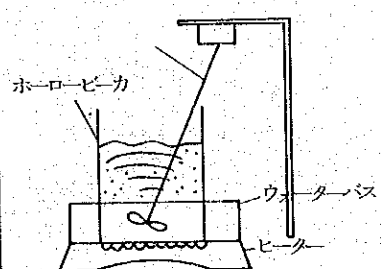
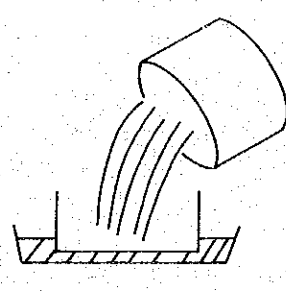
Q Meter

Method

To hold ceramics soldered Lead Wires on Q Meter and measure at room temperature. At first to tune Coil and Variable Capacitor without holding ceramics on Q Meter, then connect ceramics in parallel with variable capacitor.

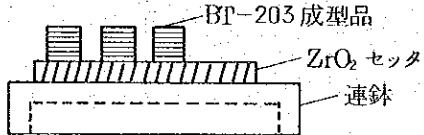
To calculate Q Value as follows:-

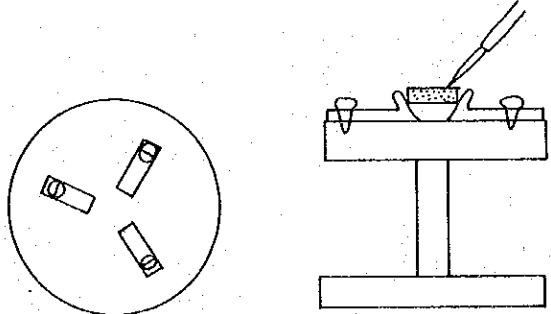
$$Q \text{ Vale} = \frac{Q_1 \cdot Q_2 (C_2 - C_1)}{Q \cdot C_1}$$

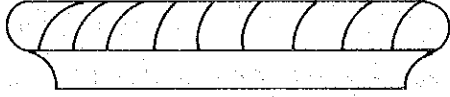
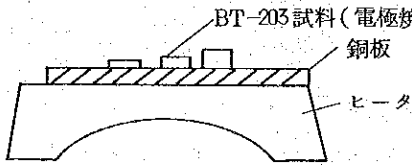
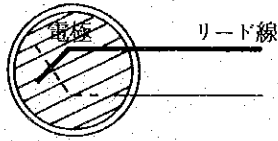
規格名	製品試験法 (配合材 Hik BT-203)	
品名	Binder 液の作成 (PVA 10 % 液)	
作業目的	BaTiO ₃ セラミック試験に必要な PVA 10 wt % Binder 液を造る。	
使用器具	使用原料 其他	
① 小型攪拌装置	④ ビーカー 10 l	① PVA (倉敷レーヨン # 117)
② ウォータバス	⑤ 325 mesh 篩 (SUS 27)	② 水 (325 mesh 篩 で異物除去したもの)
③ ヒーター (1 KW)	⑥ スパチュラ	
順序	作業内容	注意事項
①	ヒータ上にウォータバスを乗せる。そして ビーカー (10 l) をウォータバス中に浸し、 ビーカー中に水を 7 l 入れる。	・ 水は 325 mesh を通し異物除去した水であること
②	ビーカー中の水は小型攪拌装置で攪拌する	・ 攪拌機とビーカーが接触しない程度に底におろす
③	ヒータのスイッチを入れ加熱を始める	
④	PVA (倉敷レーヨン # 117) 粉末 7.80 g 秤量し、その後 ビーカー中に少量ずつ投入する。	・ PVA 粉末を一度に入れると完全溶解が出来ず、粒が残ること、セラミックの時性劣化となる。
⑤	加え終わったら、ウォータバス中の水がなくなる様 に注意する。	
⑥	溶液が透明になるまで加熱攪拌する。終点は液をスパチュラですくい、指で未溶解の固形物が感じられるようになった時	
⑦	溶解終了後ヒーターのスイッチを切り自然冷却する。 液温 40℃ 以下になったら 325 mesh 篩 に溶解液を通す。	冷却時、強制的に行ってもよい
	 fig-1 Binder 作成	 fig-2 Binder 液 通し

品名		Binder液混合及び整粒	—
作業目的			
成型機で成型する際の成型性を良くするためBinder液を混合し整粒する。			
使用機器		使用原料 その他	
①上皿天秤(500g) ⑤電気乾燥機		①PVA 10%液	
②スパチュラ ⑥80 mesh篩(SUS27)		②BT-203製品	
③播潰機 ⑦注射器(50CC)			
④ステンレス製バット(皿切り)			
順序	作業内容		注意事項
①	BT-203製品を天秤(500g)で300g秤量する。		
②	試料300gを播潰器に入れ、ほぐす。		
③	PVA 10%液を注射器で40mlとり、添加する。		
④	播潰機のスイッチを入れ、Binder液が試料と均一に分散する様に良く混合する。		・ Binderが乳棒にクツツキ のでスパチュラで落としてやる。 この時廻しながらするので スパチュラが乳棒にとられない様注意する。
⑤	Binder液と試料が均一に混合されたら、ステンレス製バットに移し、乾燥器に入れ、100℃±10℃で乾燥する。 乾燥終点は水分0.3~0.5wt%(約15分)になったら再び播潰機に入れ粉砕する。		・ バット全面に試料を広げること ・ 温度が高過ぎるとBinderがこげて成型困難となる。
⑥	試料が粉砕されたら注射器でPVA 10%液20mlとり添加する。均一に分散出来るまで混合する。 混合終了後再び乾燥器に入れる。		・ 水分0.3%は手で触ってみて少し湿っぽく感じる程度
⑦	乾燥温度100±10℃で水分0.3~0.5wt%に乾燥する。		
⑧	乾燥終了後、播潰機に入れる。今度は乾燥試料を微粉砕しないでほぐす程度に粉砕し、80 mesh篩に通してやる。 上に残った試料は再び播潰機にてほぐし粉砕し、80 mesh篩に通し必要量この操作をくり返す。		・ ほぐし粉砕は30秒程度の粉砕である。 余り時間を掛けた粉砕は微粉となり、成型品がもろくなる。
⑨	80 mesh篩通し終了後、乾燥器に入れ約3分乾燥する。		
⑩	乾燥後80 mesh篩通しをする。 この試料を成型用とする。		・ 固まりをほぐす。

品名		成型	—
作業目的			
BaTiO ₃ セラミック試験の為に円板形に成型し焼結の準備をする。			
使用機器		使用原料・その他	
①粉末成型プレス(タブレットマシン、玉川工機6TOH)		⑤ダイヤルゲージ(1/100mm)	
②真空ポンプ		⑥本焼成用鉢(シャモート質160mm×90mm×18mm)	
③電気掃除機		⑦ZrO ₂ セッター(95mm口)	
④化学天秤(島津製)			
順序	作業内容		注意事項
①	真空ポンプのスイッチを入れる。		試料ホルダー内はきれいであること。
②	洋式ホルダーをセットし、ホルダー固定アームで固定後スプリングでとめる。		
③	下パンチを上止点で止め、下パンチとテーブルの面が同一レベルであることを確認		
④	試料(造粒品)をホルダー内に投入する。		
⑤	スイッチを入れ、成型する。2~3枚の成型品の厚みと圧力をチェックする。 成型条件 厚み 0.42±0.01(mm) 径 15(mm) 圧力 2,000(Kg/cm ²)		
⑥	成型条件外にある時は補正する。		
⑦	補正後100枚成型する。		
⑧	成型密度の測定をする。 成型密度(g/cm ³)= $\frac{\text{成型品10枚の重さ(g)}}{(15/2)^2 \times 3.14 \times \text{成型の厚み(mm)}}$		

品名		焼結
作業目的		
BT-203 成型品を焼結しセラミックスを造る。		
使用機器		使用原料 その他
①電気炉（東海高熱製CE20型20KW） ②プログラム自動調整温度計（千野製作所E505里） ③温度記録計（千野製作所Class 0.5）		④本焼成用 鉢（シャモット質160mm×90mm×18mm） ⑤ZrO ₂ セッタ（95mm口）
順序	作業内容	注意事項
①	fig-3 の様に成型品1.5枚ずつ3列で計4.5枚 鉢に配列する。  fig-3 成型品の配列	
②	成型品が配列されたら電気炉中にセットする。	
③	電気炉のプログラム自動温度調整計のスイッチを入れる	
④	温度記針計のスイッチを入れる。 焼結条件、別紙御参照下さい。	
⑤	炉内温度400℃以下になったら、取り出し室温まで自然冷却する。	

品名		焼結密度、電極塗り	—
作業目的			
BT-203セラミック素体の焼結密度を測定すると共に電極付を行い電気特性測定を可能にする。			
使用機器		使用原料・その他	
①ダイヤルゲージ (1/100 mm) ②ロクロ ③銀液 (新日本化金KB-100E) ④銀液稀釈液 (ミネグオイル) ⑤時計皿		⑥アセトン ⑦小筆 ⑧ノギス ⑨化学天秤 (島津製作所)	
順序	作業内容	注意事項	
①	試料の厚みをダイヤルゲージで測定し、厚みの同じものを10枚選別する。径をノギスで測定する。		
②	試料10枚の重さを化学天秤で秤り、次式で焼結密度を出す。 $\text{焼結密度 (g/cm}^3\text{)} = \frac{10 \text{ 枚の重さ (g)}}{\text{厚み (cm)} \times (\text{径}/2)^2 \text{ (cm)} \times 3.14}$		
③	試料、同じ厚みのものをロクロを用いてAg液を塗布する。		
④	銀液は時計皿に必要量取り出し、ミネグオイルで適当な粘土に稀釈する。 小筆でもって塗布する (表裏塗布する)	銀液の粘土はガラス棒でAg液をすくった時、一本の糸を引く程度	
			
fig-4 ロクロを用いて銀塗布			

品名		電極焼付け、リード線付け	—
作業目的		BT-203セラミック素体に塗布したAg液の焼付けを行い電極にリード線を付け粗コンデンサーとする。	
使用機器		使用原料 その他	
①エレマ電気炉		⑤リード線	
②Al ₂ O ₃ 磁性ポート		⑥銅板	
③サヤ(銀焼付用)		⑦電気コテ、半田	
④電気ヒータ(200W)		⑧ピンセット	
順序	作業内容	注意事項	
①	銀液が乾いたら fig-5 の様に配列する  fig-5 焼付用ポントに試料の配列仕方		
②	試料の配列された Al ₂ O ₃ 磁性ポートを焼付炉中にセットする。		
③	電気炉のスイッチを入れて焼付けをする。 焼付条件 ①焼付け温度 740℃ × 3 min ②温度上昇 0℃~740℃ 約40 min ③冷却 自然冷却		
④	300℃ 以下に温度が下がったら、炉外に出し室温まで冷却する。	500℃ で炉外に出すと素体にクラックが入る。	
⑤	焼付け終了後の試料は fig-6 の様にしてリード線付けをする。  fig-6 リード線の付け方	銅板の温度と、半田の温度が合わないと素体の破損が生じる。	
	 fig-7 粗コンデンサー		

品名	電気特性測定	-
作業目的	BF-203素体の電気特性を測定し、その測定値よりBF-203Hi-K用配合材料としての合否を判定する。	
使用機器	①デジタルL・C・Rメータ（横河ヒューレットパカード社製、4260A 1V×1KHZ） ……誘電率、誘電正接 ②抵抗計（東亜電波SM-5E） 100V × 60秒 ……絶縁抵抗 ③恒温槽（矢嶋製作所BF10 -30℃ ~ 25℃ ~ 85℃） ……温度曲線	

4. 電気的特性

4-1 試料及び測定

方法 前項の磁器試料（素地）に銀ペーストを塗布した後、800℃、5分間焼き付けを行い電極とする。電極にリード線をハンダ付けした後24時間エージングを行い、電気的特性の測定を行う。

4-2 誘電率

機器 デジタル容量計（横河ヒューレットパカード社製）
 4270A型 1V 1KHZ（H・K）
 1MHZ（T・C）

恒温槽（矢嶋製作所製）BT-10型

方法 リード線付き試料を恒温槽内に装着し、所定の温度とする。接続してある容量計にて静電容量を測定する。

他方、試料の厚み、銀電極の径をノギスにて測定し、次式により誘電率を算出する。

$$\text{誘電率 } \epsilon = \frac{144 \times t \times C}{D^2}$$

t : 試料の厚み (mm)

C : 静電容量 (PF)

D : 銀電極の直径 (mm)

注 ここでいうε（誘電率）とは正しくは比誘電率のことである。

従って単位は無い。

4-3 誘電正接 (tan δ)

機器 デジタル容量計（横河ヒューレットパカード社製）

4270A型 Hi-K 1V × 1KHZ

恒温槽 (矢嶋製作所製) BT-10型

方法 4-2項誘電率を測定する時、同時に測定することができる。(値を直読できる)

4-4 温度変化率

機器 デジタル容量計 (横河ヒューレットパッカード社製)

4270A型 Hi-K 1V × 1KHZ

TC 1MHz

恒温槽 (矢嶋製作所製) BT-10型

方法 リード線付き試料を恒温槽内に装着し所定温度とする。

各温度における静電容量を測定し、これと標準温度での静電容量の値を用いて次式により温度変化率を算出する。

$$\text{温度変化率}(\%) = \frac{C_T - C_S}{C_S} \times 100(\%)$$

C_T : テスト温度での静電容量 (PF)

C_S : 標準温度での静電容量 (PF)

4-5 絶縁抵抗 (IR)

機器 抵抗計 (東亜電波工業製) スーパーメグオームメーター

方法 抵抗計にリード線付き試料を装着し、500V (製品100V × 60 sec^{ec}) の電圧をかけ、15秒後に測定する。

4-6 Q 値

機器 Qメーター (横河ヒューレットパッカード社製)

4342A型 TC: 1MHz

方法 リード線付き試料をQメーターに装着し室温にて測定する。

最初、試料を装着しない状態にて装置のコイル及び可変コンデンサの同調をとる。ここで得られた各数値を用い、次式に従って試料のQ値を算出する。

$$\text{試料Q値} = \frac{Q_1 \cdot Q_2 (C_2 - C_1)}{\Delta Q \cdot C_1}$$

Q_1 : 試料を装着せず同調をとった時のQ値

C_1 : " 静電容量

Q_2 : 試料を装着し同調をとった時のQ値

C_2 : " 静電容量

ΔQ : $Q_2 - Q_1$ (直読できる)

SPECIFICATION CHART

GRADE: 203 (B) Lot No.: 9B126 2t

1. Power Characteristics

Moisture Content	%
Loss on Ignition	%
Residue on Sieve 325 Mesh	%
Average Particle Size	μ
Bulk	(ml/100g)
Water Absorption	(ml/100g)
Compressed Density	(g/cm ³)

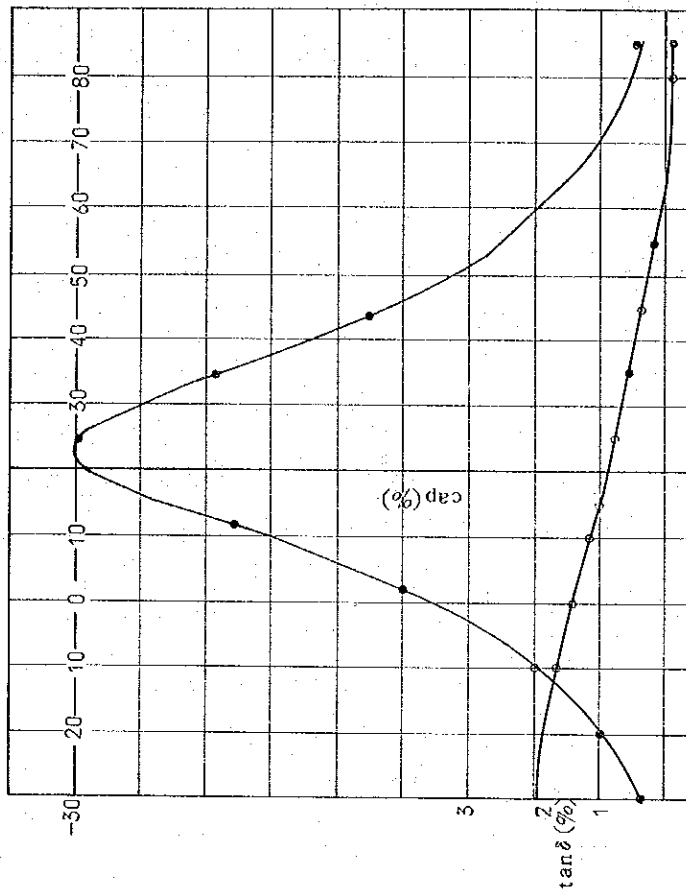
2. Forming Condition

Forming Pressure	kg/cm ²
Weight of Formed Body	g
Size of Formed Body	ϕ_0 mm t_0
Density of Formed Body	g/cm ³

4. Ceramic Characteristics

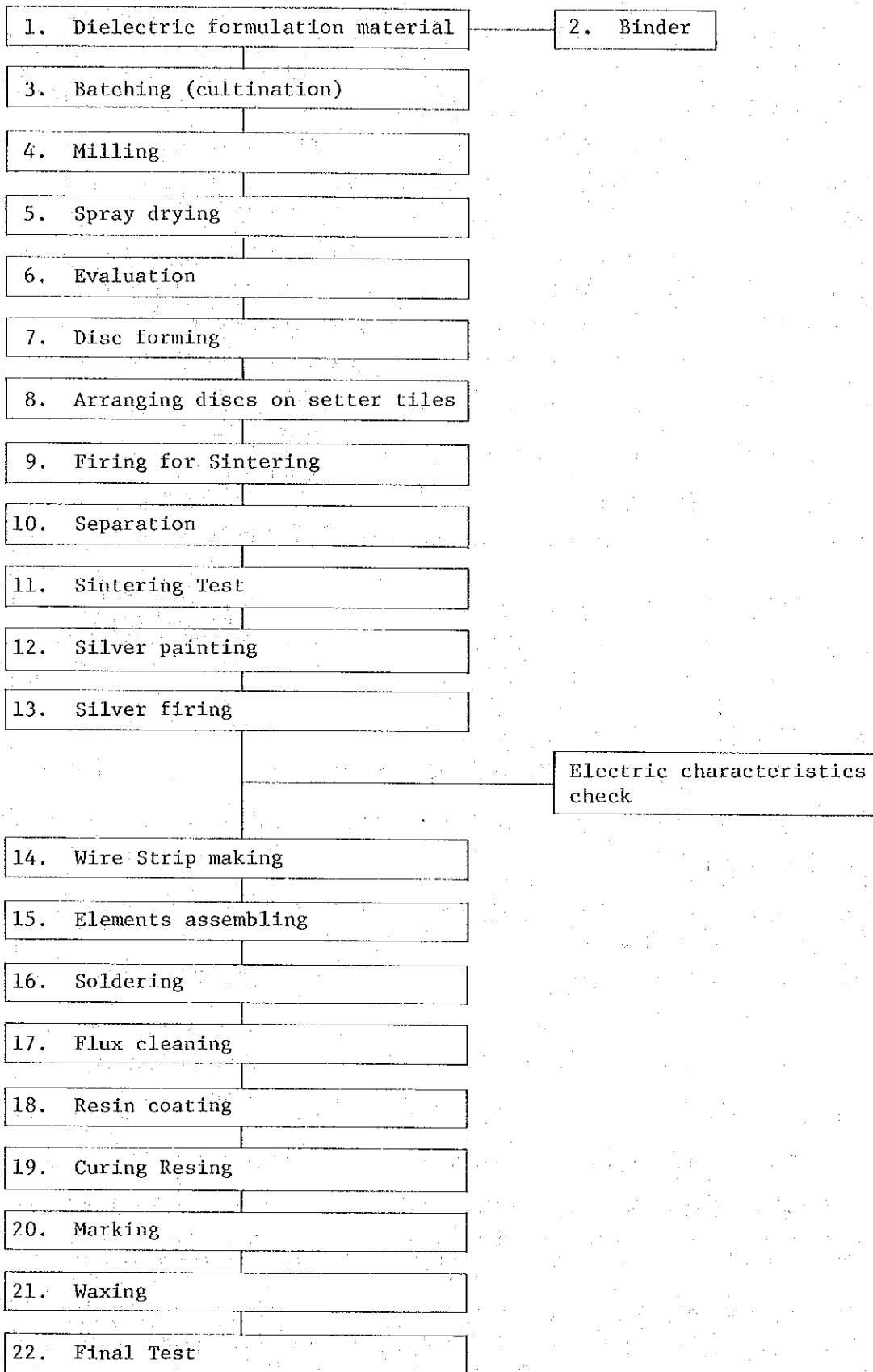
Firing Condition	Size of Fired Body		Shrinkage $\phi_0 - \phi_s \times 100(\%)$ ϕ_0	Density of Fired Body (g/cm ³)	Electric Characteristics (20°C)				Curie Point (°C)	T.C.	
	ϕ_s (mm)	t_s (mm)			Electrode Cap. Diameter (ϕ mm)	K	tan δ (%)	I.R. ($M\Omega$)		20°C \sim 85°C	-30°C \sim 20°C
1. 1370 °C 2.5 hr	12.31	0.35	1.219 17.93	5.82	10.04	18000	1.25	8×10^4	22.5	-83.6	-82.5
2. 1340 °C 2.5 hr		0.34			10.11	17200	1.30	8×10^4	22.5	-82.7	-83.0

3. Temperature Characteristics



(V) CERAMIC CAPACITORの製造工程の解説

FLOW CHART FOR CERAMIC DISC CAPACITORS MANUFACTURE



MANUFACTURE PROCEDURE
(Ceramic Disc Capacitors)

Hi-K		TC	
EIA Standard	K Value	EIA Standard	K Value
* Z5V	17000	M7G P100 PPM	17
* Z5U	10000	* COH NPO	8
Y5U	6000	UIG N 80 PPM	60
Y5T	4000	P2H N150 PPM	75
Y5S	3800	R2H N220 PPM	80
Y5R	3300	S2H N330 PPM	90
Y5P	2600	T2H N470 PPM	100
Y5E	1300	* U2J N750 PPM	130
		SL P350 PPM	300
		~N1000 PPM	

NOTE: * Only these materials are available in CTRL this time.

1. Select the granular powder material available in CTRL Circuit Component Lab. according to the design of capacitors for the above Hi-K and TC (Temperature coefficient) values.
2. Add Binder solution to the above.
3. Batching (cultivation) process to make material solid state.
4. Milling (crushing & mixing) process to obtain fine wet granules by a pot mill.
5. Spray drying process by a spray drier.

NOTE-I. Material available in the market is already processed up to this stage.

NOTE-II. For experimental manufacturing the material in the Circuit Component Lab. is simply processed by a sieve.

6. Powder characteristics are checked at this stage.
7. Discs formed by a cold press die.
8. The discs are on setter tiles made of Zirconia plate or Alumina plate.
9. The setter tiles are placed on sagger (tray) in the oven for firing. The oven temperature is started from room temperature upto 1150°C --

1380°C according to the material chart, after this the oven is switched off and discs in the oven are naturally cooled about 24 hours.

10. The setter tiles are taken out of the oven. The discs which are now sintered are separated and are now called capacitors ceramic dielectric elements, if the elements are sticking together, they are put into the hot water turn by turn two cycles and vibrated. If still the elements are sticking hard, repeat the process several times to get them separated, then the elements are dried by blowing hot air.
11. Selection of good elements
 - i) Checking by putting a drop of ink on the element if the drop expand the element is not properly sintered.
 - ii) Element density check (g/cm^3) according to specification chart
12. Silverment of electrodes by screen printing (potters wheels by hand) on both sides of these ceramic elements. (Silver cream or silver paste is used to prepare ink for printing.)
13. Fire the elements in the oven at about 750°C -- 850°C for 3 minutes -- 20 minutes. Check and reject the shorted capacitor elements.
14. Prepare the lead wires on the strips.
15. Assemble the elements on wire strips.
16. Solder the wires by using solder cream or dip solder method.
17. After the lead wire properly soldered on to the capacitor units clean flux by using trichlor ethelene and high frequency cleaner bath.
18. Dip the units into insulation coating Resin Paint for encapsulation. (Trade name of this phenol formaldehyde is Dureze Resin) and keep 24 houts before curing.
19. Cure the units according to Dureze chart in the oven at about 140°C -- 150°C for 30 minutes and then switch off the oven and cool naturally.
20. Mark capacity, tolerance, working voltage and temperature characteristics and trade mark.
21. Dip capacitors into the molten crystalline wax (at 120°C approximately) and cool for 15 minutes. (Preferably this process is done in a vacuum chamber.)
22. Remove the capacitors from the strips and tested for:-
 1. Capacity denomination PF, nF and UF.

2. Tolerance $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ and $+80\% - 20\%$.
3. Dissipation factor ($\tan \delta$) and loss angle (Q value = $1/\tan \delta$)
4. Insulation resistance at DC voltage.
5. Temperature coefficient. (for these tests 10 pcs are picked & used)
6. Break down voltage (about ten pieces are used for this test).
7. Leads wire strength is tested (5 pieces).

For mass production another 2 process may be required further.

23. Packing & shipping

24. 100% sorting

DETAILED CHECKS FOR PROCESS

Disc forming

1. Size of the Die. Diameter check and thickness
Design of the capacitor.
2. Pressure gauge check and duration
3. Checking die of good form
4. Lubrication of die and cleaning oil coating, frequently
5. Looking for cracks in the prepared pellet
6. Weight of formed body (g)
7. Size of formed body ($\text{mm}\phi$ t_0)
8. Density of formed body (g/cm^3)
(Please see item 7 on page I.)

Arranging pellets

1. Piling up the pellets on setter tiles should be according to their thickness. 5 -- 10 pieces.
2. Zirconia setter and sagger (Tray) should be checked for cleanliness. Each Zirconia setter should always be used for only one type of material pellets. (Please see item 8 on page I.)

Firing for sintering

1. Special method devised by Mr. Niesai for CTRL working time schedule, is see the photo copy of the chart.
2. This is to vaporize binder solution, therefore slowly temperature is increased and then kept 250°C -- 500°C in four hours.
3. Making the programme design sheet for firing & checked.
4. Automatic graph is checked.
5. The sagger (Tray) should be placed exactly in the centre of the oven for best sintering results. (Please see item 9 on page I.)

Evaluation

1. Powder characteristic check.

2. Moisture content (%)
3. Loss in Ignition (%)
4. Residue on sieve mesh (%)
5. Bulk ml/100g
6. Water absorption ml/100g
7. Compressed density (Please see item 6 on page I.)

Sintering Test

1. Firing condition checked by automatic graph.
2. Fired body size (ϕ ts)
3. Shrinkage of fired body $\frac{\phi_0 - \phi_s}{\phi_s} \times 100$ (%)
4. Density of fired body (g/cm^3)
(Please see item 11 on page I.)

Silverment Check

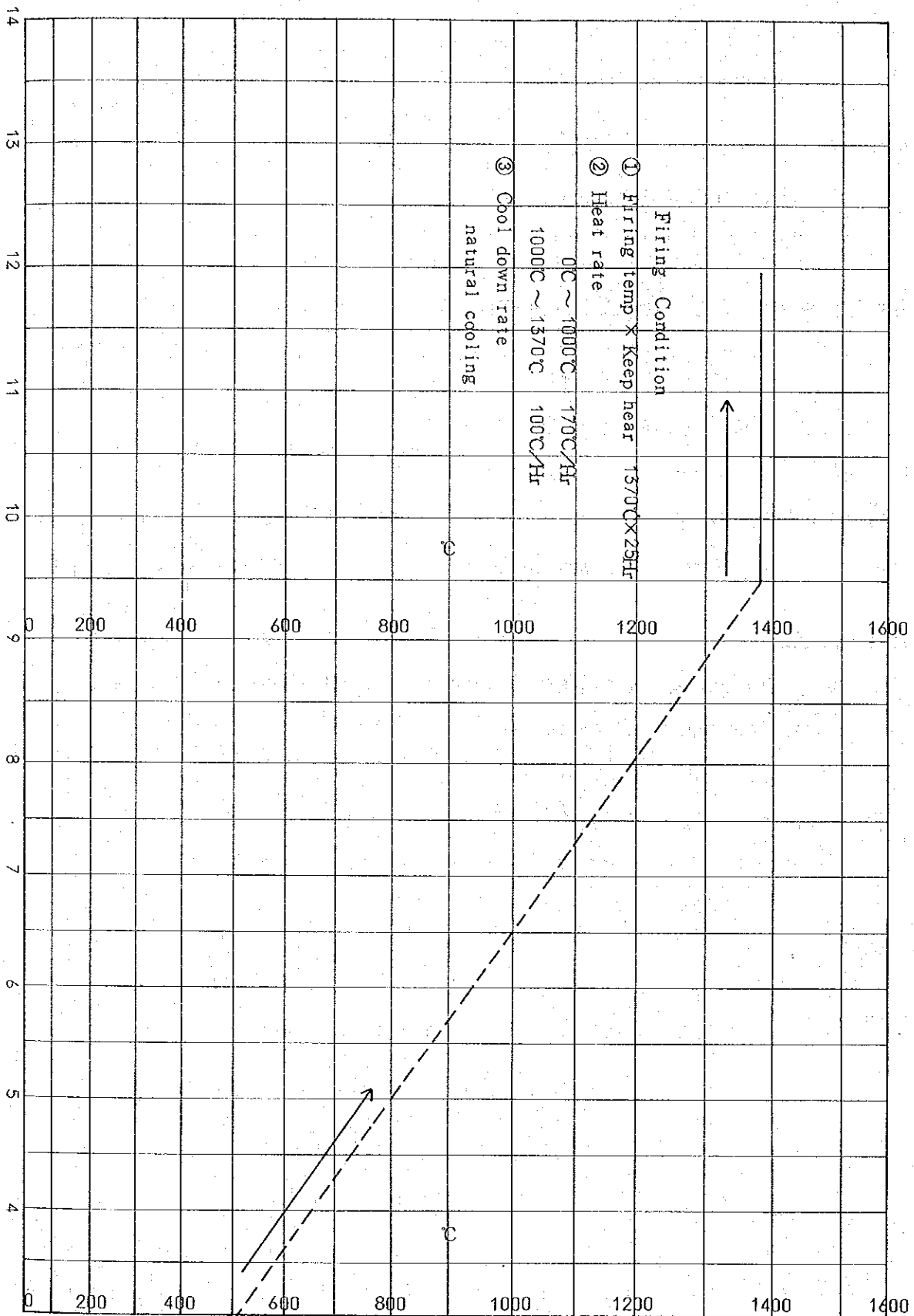
1. Silver paint name check
2. Viscosity of silver paint & thinner after mixing
3. Coated silver diameter check using vennai calipper
4. Checking of silver centre
(Please see item 12 on page I.)

Silver Firing

1. Fired time and duration check
2. The speed of increase of temperature should be slow for large & thick elements to avoid cracks.
3. Similarly the elements are slowly cooled down to avoid cracks.
(Please see item 13 on page 2.)

Electric Characteristic at Room Temperature

1. Electrode Diameter (mm ϕ)
2. Capacity (PF, nF, UF)
3. Dielectric constant (K value)
4. Dissipation factor ($\tan\delta$ %)



5. Insulation resistance (MΩ)
6. Curie point degree (°C)
7. Temperature coefficient (TC)

Checking Wire Strips

1. Spring action of lead wires
(Please see item 14 on page 2.)

Placing the capacitors element in centre

(Please see item 15 on page 2.)

Soldering slowly heating up to avoid cracking

(Please see item 16 on page 2.)

Check for dry joint

Check for too much or too less solder.

Resign Coating

1. Check viscosity for different size of capacitors by practice.
2. Coating on lead minimum is better (1 mm -- 3 mm)
3. Coating should be even all sides.
4. Naturally dried for 24 hours approximately.
(Please see item 18 on page 2.)

3. 6 (V) CERAMIC CAPACITOR の設計

CONSIDERATIONS FOR CERAMIC CAPACITOR DESIGN

- I.
1. Capacitance and tolerance
 2. Working Voltage DC & AC
 3. Characteristics (T.C.)
 4. Material (Epsilon, K value)
 5. Element Firing (Dia, thickness)
 6. Silverment electrode Dia mm ϕ
 7. Shrinkage after firing Dia & thickness
 8. Fired temperature & keep time

II. Formulae:

(Please see design formulae in the attached sheet.)

III. Consideration for Ceramic Capacitor

- 1) To have high Dielectric Constant and to be stable for temperature, frequency and voltage, especially to have flat temperature characteristics of Dielectric Constant.
- 2) Disipation Factor: the smaller, the better ($\tan \delta$)
- 3) Aging Effect: the smaller, the better
- 4) Insulation Voltage: the higher, the better
- 5) To be possible to produce thin plate ceramic by malleable material and suitable firing condition.
- 6) Good consistency and stable quality.

DESIGN OF DISK TYPE CAPACITOR

$$C_{pF} = \frac{E \times S \times 0.00885}{T} \dots\dots\dots I$$

E = Dielectric of ceramic material
 S = Silver coated area = πr^2
 T = Thick of disk in m.m
 0.00885 is constant.

$$E = \frac{144 \times C \times t}{D^2} \dots\dots\dots II$$

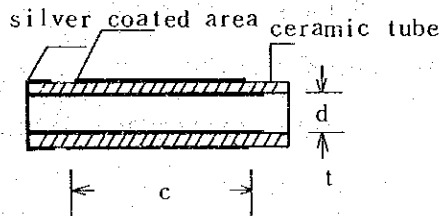
C = Capacitance in PF
 t = Thickness of disk
 D = Dia of silver coated area

$$E = \frac{11.3 \times C \times t}{S} \dots\dots\dots III$$

TUBLER TYPE CAPACITOR DESIGN

$$C_{pF} = \frac{d\pi\ell \times E \times 0.00885}{t} \dots\dots\dots IV$$

d = Inside diameter of tube (ceramic element)
 ℓ = Length of silver coated area in m.m.

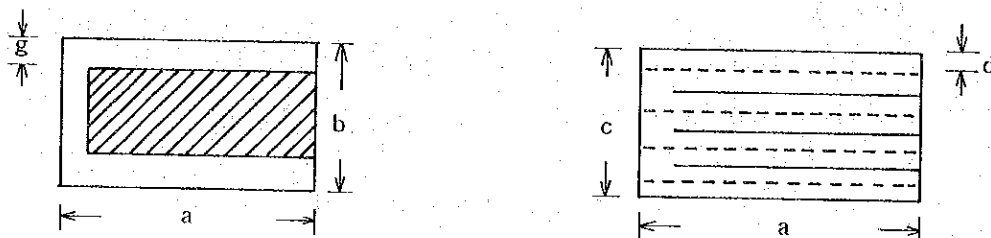


Note: Calculation of silver coated diameter of disk type

$$\text{Silver } D = \sqrt{\frac{4(11.3 \times C \times t)}{\pi E}} \dots\dots V$$

MULTI-LAYER CERAMIC CAPACITOR DESIGN FORMULA

$$CV = \frac{E(4-2g)(b-2g)(n-2)}{4(c/n-d) \times a + b \times c} \times \frac{10}{9} = PF/(m.m)^3$$



- E = Dielectric constant of ceramic material
- g = Leakage path
- a+b = Size of element
- c = Total thickness of capacitor
- d = Thickness of one sheet element
- n = No. of laminations

WORKING VOLTAGE DESIGN ELEMENT THICKNESS AND SILVERMENT ELECTRODE DIA.

D.C. Working voltage V	Element thickness in t m.m	Leakage path m.m	Brak down voltage D.C. V
50 V	0.15 -- 0.3	0.3 -- 0.5	500 V
150 -- 250 V	0.25 -- 0.4	0.5 -- 1.0	1000 V
500 V	0.5	0.8 -- 1.0	2000 V
1000 V	1.0 -- 1.5	1.0 -- 1.5	3 -- 4 KV
2 -- 3 IV	2.0	1.0 -- 2.0	* 3 KV A.C.

* Brak down voltage is 5 KV DC change range in A.C.V.

COMMERCIAL CERAMIC CAPACITOR DESIGNING

Example

A. Temperature coefficient ceramic capacitor

I. Feature

1. Temperature Characteristics Flat.
2. Frequency response Flat
3. Q very high
4. Protection against moisture and heat

II. Uses

1. Negative temperature coefficient
2. Tuning circuit
3. Trapping circuit
4. Coupling circuit
5. By pass

B. High Dielectric Ceramic Capacitor

I. Feature

1. Large capacity and small size-
2. Its Q is low compared to TC style ($\tan \delta$)
- 3.

II. Uses

1. By pass circuit
2. Coupling circuit

一般市販固定磁器コンデンサの標準仕用

DISC TYPE CERAMIC CAPACITOR

DC 50 WV

Hi-Q

Temperature Coefficient T.C. PPM/c°	CH NPO	LH N80	RH N150	RH N220	SH N330	TH N470	UJ N750
Color Code	Black	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Violet
Capacity (PF)	1 - 27	1 - 12	1 - 15	1 - 18	2 - 18	2 - 22	2 - 27
Hi-Q Type	33 - 56	15 - 22	18 - 27	22 - 33	22 - 39	27 - 30	33 - 56
	39 - 56	27 - 39	33 - 47	39 - 56	47 - 56	47 - 68	68 - 82
	68 - 100	47 - 68	56 - 82	68 - 100	68 - 100	82 - 120	100 - 150
	120 - 150	82	100	120	120 - 150	150	180 - 220
	180	100 - 120	120 - 150	150 - 180	100	180 - 220	270
	220 - 270	150	180	220	220 - 270	270 - 330	330, 390

Temperature Coefficient T.C. PPM/c°	SL +350 -1000	Size (m.m) Dia (m.m)	Capacitance tolerance
Color Code	No. Mark		
Capacity (PF)	1 - 47	4.5	MAX. 10PF
Hi-Q Type	56 - 100	5.0	C±0.25PF
	120 - 150	6.0	D±0.5 PF
	180 - 270	7.5	F±1.0 PF
	330 - 390	8.5	MIN. 10PF
	470 - 560	9.5	J± 5%
	680	11.0	K±10%
			M±20%

WV (Working Voltage) (DC 50V)
 IR (Insulation Resistance) (10,000 MΩ min.)
 Q ≥1000 (at 30PF min.) ≥ 1000 at 30PF min.
 W (Working temperature) (-25°C~85°C)

30PF MAX. Q ≥ 400 + 20C C = Capacity
 30PF MIN. Q ≥ 1000

WV (Working Voltage) (DC 50V)

Hi-K

DC 50 WV

Temperature characteristic capacity	Y5P (+10%)	Y5P (+22% -33%)	Z5V (+22% -82%)	Size in m.m. Dia m.m.	Capacitance tolerance
(PF)	270, 330, 340 470, 560, 680	1000	1000, 2200	4.5	K±10% M±20% Z=+80% -20% P=+100% 0
Hi-K Type	820, 1000, 1200 1500, 1800, 2200 2700, 3300, 3900 4700	1500, 2200 3300 4700, 6800 8200	4700 10000 18000 22000	5.0 6.0 7.5 8.5	GMV Granted minimum Value
	5600, 6800 8200, 10000 22000	10000 15000 33000	33000 47000 100000	9.5 11.0 15.0	

WV (Working Voltage) DC 50V

IR (Insulation Resistance) 10,000 MΩ min.

Tan δ (Y5P, Y5T) = 2.5% MAX.
25V = 5.0% MAX.

WT (Working temperature) (-25c° - +85c°)

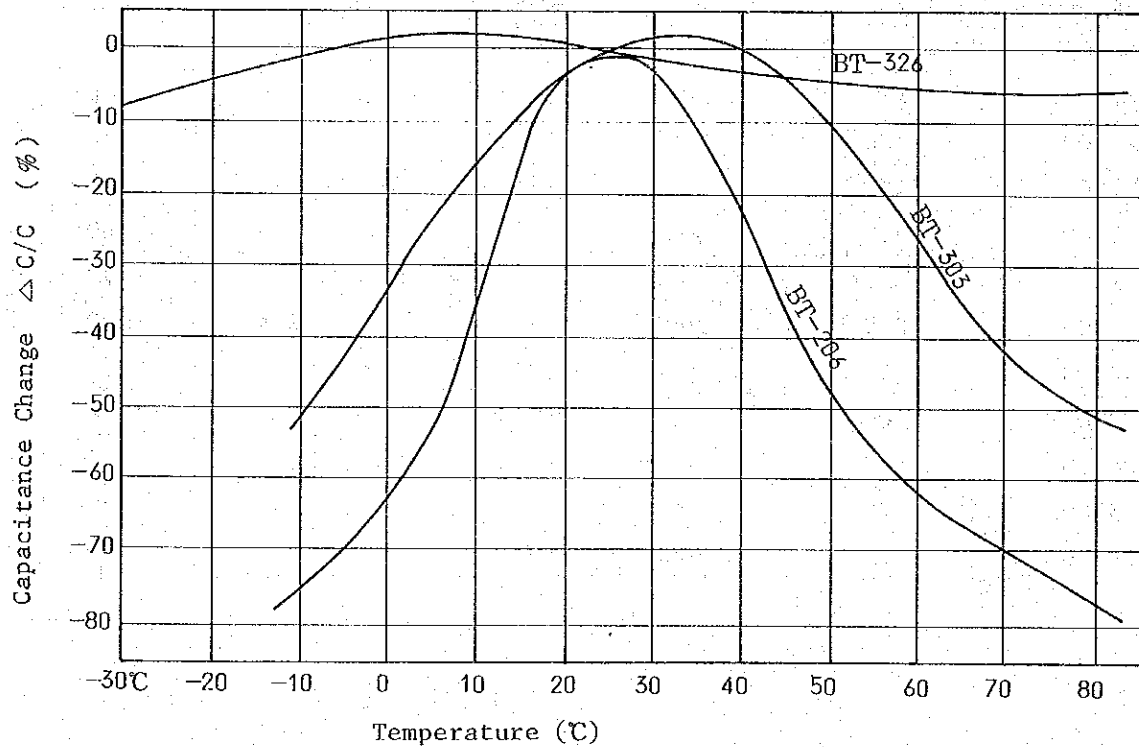
GMV = Granted minimum value

3.7 (VII) CERAMIC CAPACITORの一般市販原料例

Hi-K Type Formulation

Designation	Electric properties			Standard code		Firing Temp Range (°C)
	Dielectric constant 25°C	Tan δ Max %	IR Min. MΩ	JIS	EIA	
BT-201	16,500± 1,500	1.5	10 ⁴	ZF	Z5V	1330-1370
BT-203	17,000± 1,500	1.5	10 ⁴	ZF	Z5V	1320-1360
BT-204	30,000± 2,000	2.5	10 ⁴		Z4V	1360-1400
BT-206	16,500± 1,500	1.5	10 ⁴	ZF	Z5V	1340-1360
BT-221	13,000± 1,500	1.0	10 ⁴	YF	Y5V	1320-1350
BT-303	10,500± 1,500	1.0	10 ⁴	ZE	Z5U	1280-1320
BT-304	8,000± 1,000	1.0	10 ⁴	YE	Y5U	1280-1320
BT-305	7,000± 1,000	1.0	10 ⁴	YE	Y5U	1280-1320
BT-306	6,000± 1,000	1.5	10 ⁴	YE	Y5U	1280-1310
BT-313	4,000± 300	1.0	10 ⁴	YD	Y5T	1260-1300
BT-328	3,800± 300	1.5	10 ⁴	YD	Y5S	1220-1260
BT-327	3,300± 300	1.5	10 ⁴	YB	Y5R	1220-1260
BT-326	2,600± 200	2.0	10 ⁴	YB	Y5P	1250-1290
BT-335	1,300± 100	1.0	10 ⁴	YA	Y5E	1220-1270

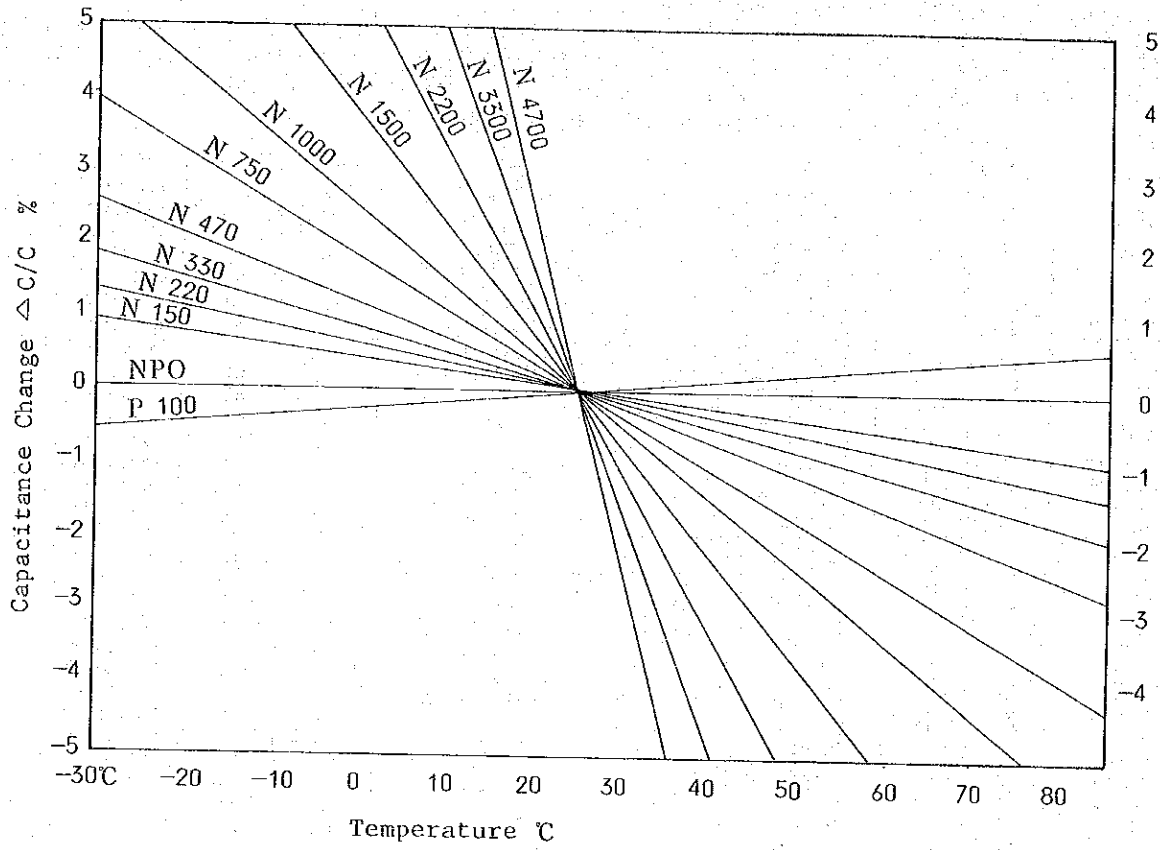
Some Characteristics of Hi K Formulations



Temperature Compensation Type Formulation

Designation	Electric properties			Standard code		Firing Temp Range (°C)
	Dielectric constant 25°C	Q Min.	IR Min. MΩ	JIS	EIA	
P 100	17	3000	10 ⁵	AG	M7G	1340-1380
NPO-L	8	3000	10 ⁵	CH	COH	1230-1250
NPO-N	16	3000	10 ⁵	CG	COG	1320-1360
NPO	40	3000	10 ⁵	CG	COG	1150-1220
NPO-M	55	2000	10 ⁵	CG	COG	1280-1330
N80-N	17	3000	10 ⁵	LG	U1G	1300-1340
N80	45	3000	10 ⁵	LG	U1G	1240-1280
N80-M	60	3000	10 ⁵	LG	U1G	1320-1350
N150-N	19	3000	10 ⁵	PG	P2G	1300-1340
N150	47	3000	10 ⁵	PH	P2H	1240-1280
N150-M	75	2000	10 ⁵	PH	P2H	1360-1380
N220-N	20	3000	10 ⁵	RH	R2H	1300-1340
N220	50	3000	10 ⁵	RH	R2H	1230-1270
N220-M	80	3000	10 ⁵	RH	R2H	1310-1340
N330	60	3000	10 ⁵	SH	S2H	1270-1300
N330-M	90	3000	10 ⁵	SH	S2H	1310-1340
N470	65	3000	10 ⁵	TH	T2H	1230-1260
N470-M	100	3000	10 ⁵	TH	T2H	1310-1340
N750	90	2000	10 ⁵	UJ	U2J	1200-1260
N750-M	130	3000	10 ⁵	UJ	U2J	1280-1320
N1000	180	3000	10 ⁵	VJ	M3J	1170-1230
N1200	185	3000	10 ⁵	TC-200	-	1180-1250
N1500	200	3000	10 ⁵	WJ	P3J	1180-1250
N1700	305	2000	10 ⁵	TC-200M	-	1170-1220
N2200	350	3000	10 ⁵	XK	R3K	1230-1250
N3300	400	3000	10 ⁵	YK	S3K	1270-1310
N3300M	1100	250	10 ⁴	YL	S3L	1210-1270
N4700	550	3000	10 ⁵	ZL	T3L	1270-1310
N5500	870	3000	10 ⁵	YN	-	1270-1310
SL300	315	2000	10 ⁵	SL	-	1280-1340

Some Characteristics of Temperature Compensation Formulations



原子量表(1979) Ar(12C)=12

多くの元素の原子量は不変ではなく、物質の起源と処理に依存している。脚注は個々の元素について考えられる変動の様式を詳細に示している。本表に記した原子量の値、Ar(E)は地球上に自然に存在する元素およびいくつかの人工元素に適用される。脚注に適切な考慮を払って用いれば信頼度は最後の桁で±1、米印を付けたものは±3までと考えてよい。()を付けた値は、起源の知識なしでは原子量を正確に示すことのできないいくつかの放射性元素に対するものであり、表の値はその元素の既知の最長半減期をもつ同位体の質量数である。

元 素 名	元素記号	原子番号	原子量	脚注	元 素 名	元素記号	原子番号	原子量	脚注
Hydrogen	H	1	1.0079	*	Iodine	I	53	126.9045	
Helium	He	2	4.00260	x	Xenon	Xe	54	131.29*	x,y
Lithium	Li	3	6.941*	x,y	Caesium	Cs	55	132.9054	
Beryllium	Be	4	9.01218		Barium	Ba	56	137.33	x
Boron	B	5	10.81	x,y	Lanthanum	La	57	138.9055*	x
Carbon	C	6	12.011	x	Cerium	Ce	58	140.12	x
Nitrogen	N	7	14.0067		Praseodymium	Pr	59	140.9077	
Oxygen	O	8	15.9994*	x	Neodymium	Nd	60	144.24*	x
Fluorine	F	9	18.998403		Promethium	Pm	61	(145)	
Neon	Ne	10	20.179	y	Samarium	Sm	62	150.36*	x
Sodium	Na	11	22.98977		Europium	Eu	63	151.96	x
(Natrium)					Gadolinium	Gd	64	157.25*	x
Magnesium	Mg	12	24.305	x	Terbium	Tb	65	158.9254	
Aluminium	Al	13	26.98154		Dysprosium	Dy	66	162.50*	
Silicon	Si	14	28.0855*		Holmium	Ho	67	164.9304	
Phosphorus	P	15	30.97376		Erbium	Er	68	167.26*	
Sulfur	S	16	32.06	x	Thulium	Tm	69	168.9342	
Chlorine	Cl	17	35.453		Ytterbium	Yb	70	173.04*	
Argon	Ar	18	39.948	x,x	Lutetium	Lu	71	174.967*	
Potassium	K	19	39.0983		Hafnium	Hf	72	178.49*	
(Kalium)					Tantalum	Ta	73	180.9479	
Calcium	Ca	20	40.08	x	Tungsten	W	74	183.85*	
Scandium	Sc	21	44.9559		(Wolfram)				
Titanium	Ti	22	47.88*		Rhenium	Re	75	186.207	
Vanadium	V	23	50.9415		Osmium	Os	76	190.2	x
Chromium	Cr	24	51.996		Iridium	Ir	77	192.22*	
Manganese	Mn	25	54.9380		Platinum	Pt	78	195.08*	
Iron	Fe	26	55.847*		Gold	Au	79	196.9665	
Cobalt	Co	27	58.9332		Mercury	Hg	80	200.59*	
Nickel	Ni	28	58.69		Thallium	Tl	81	204.383	
Copper	Cu	29	63.546*	*	Lead	Pb	82	207.2	x,y
Zinc	Zn	30	65.38		Bismuth	Bi	83	208.9804	
Gallium	Ga	31	69.72		Polonium	Po	84	(209)	
Germanium	Ge	32	72.59*		Astatine	At	85	(210)	
Arsenic	As	33	74.9216		Radon	Rn	86	(222)	
Selenium	SE	34	78.96*		Francium	Fr	87	(223)	
Bromine	Br	35	79.904		Radium	Ra	88	226.0254	x,z
Krypton	Kr	36	83.80	x,y	Actinium	Ac	89	227.0278	z
Rubidium	Rb	37	85.4678*	x	Thorium	Th	90	232.0381	x,y
Strontium	Sr	38	87.62	x	Protactinium	Pa	91	231.0359	z
Yttrium	Y	39	88.9059		Uranium	U	92	238.0289	x,y
Zirconium	Zr	40	91.22	x	Neptunium	Np	93	237.0482	z
Niobium	Nb	41	92.9064		Plutonium	Pu	94	(244)	
Molybdenum	Mo	42	95.94		Americium	Am	95	(243)	
Technetium	Tc	43	(98)		Curium	Cm	96	(247)	
Ruthenium	Ru	44	101.07*	x	Berkelium	Bk	97	(247)	
Rhodium	Rh	45	102.9055		Californium	Cf	98	(251)	
Palladium	Pd	46	106.42	x	Einsteinium	Es	99	(252)	
Silver	Ag	47	107.868	x	Fermium	Fm	100	(257)	
Cadmium	Cd	48	112.41	x	Mendelevium	Md	101	(258)	
Indium	In	49	114.82	x	Nobelium	No	102	(259)	
Tin	Sn	50	118.69*		Lawrencium	Lr	103	(260)	
Antimony	Sb	51	121.75*		(Unnilquadium)	(Unq)	104	(261)	
(Stibium)					(Unnilpentium)	(Unp)	105	(262)	
Tellurium	Te	52	127.60*	x	(Unnilhexium)	(Unh)	106	(263)	

脚注：W. 正常な地球物質における同位体組成の既知の変動により、より高い精度の原子量値を示し得ない元素。Ar(E)は、“正常な”物質すべてに適用されるものとする。X. その元素について異常な同位体組成をもつ地質学的試料が知られており、そのような試料中の当該元素の原子量と表に記した値との差が示された不確かさをかなりの程度こえるような元素。Y. 同位体組成が不注意あるいは不明な原因で変化し、そのため、市販品中におけるArが表記の値とかなり異なることがありうる元素。Z. Arが最長半減期の放射性同位体の値である元素。

この原子量表は、1979年9月のIUPAC原子量委員会資料にもとづき、日本化学会原子量小委員会が、従来の形式にならって作成したものである。

©日本化学会 原子量小委員会・化合物命名小委員会

元素周期律表

〔原子番号……¹H
1.0079……原子量〕

族 周期	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
1	¹ H 1.0079								² He 4.00260
2	³ Li 6.941	⁴ Be 9.01218	⁵ B 10.81	⁶ C 12.011	⁷ N 14.0067	⁸ O 15.9994	⁹ F 18.998403		¹⁰ Ne 20.179
3	¹¹ Na 22.98977	¹² Mg 24.305	¹³ Al 26.98154	¹⁴ Si 28.0855	¹⁵ P 30.97376	¹⁶ S 32.06	¹⁷ Cl 35.453		¹⁸ Ar 39.948
4	¹⁹ K 39.0983 ²⁹ Cu 63.546	²⁰ Ca 40.08 ³⁰ Zn 65.38	²¹ Sc 44.9559 ³¹ Ga 69.72	²² Ti 47.88 ³² Ge 72.59	²³ V 50.9415 ³³ As 74.9216	²⁴ Cr 51.996 ³⁴ Se 78.96	²⁵ Mn 54.9380 ³⁵ Br 79.904	²⁶ Fe 55.847 ²⁷ Co 58.9332 ²⁸ Ni 58.69	³⁶ Kr 83.80
5	³⁷ Rb 85.4678 ⁴⁷ Ag 107.868	³⁸ Sr 87.62 ⁴⁸ Cd 112.41	³⁹ Y 88.9059 ⁴⁹ In 114.82	⁴⁰ Zr 91.22 ⁵⁰ Sn 118.69	⁴¹ Nb 92.9064 ⁵¹ Sb 121.75	⁴² Mo 95.94 ⁵² Te 127.60	⁴³ Tc (98) ⁵³ I 126.9045	⁴⁴ Ru 101.07 ⁴⁵ Rh 102.9055 ⁴⁶ Pd 106.42	⁵⁴ Xe 131.29
6	⁵⁵ Cs 132.9054 ⁷⁹ Au 196.9665	⁵⁶ Ba 137.33 ⁸⁰ Hg 200.59	ランタノイド ⁵⁷ ~ ⁷¹ ⁸¹ Tl 204.383	⁷² Hf 178.49 ⁸² Pb 207.2	⁷³ Ta 180.9479 ⁸³ Bi 208.9804	⁷⁴ W 183.85 ⁸⁴ Po (209)	⁷⁵ Re 186.207 ⁸⁵ At (210)	⁷⁶ Os 190.2 ⁷⁷ Ir 192.22 ⁷⁸ Pt 195.08	⁸⁶ Rn (222)
7	⁸⁷ Fr (223)	⁸⁸ Ra 226.0254	アクチノイド 89~103	⁹⁰ (Th) 232.0381	(⁹¹ Pa) (P) 231.0359	(⁹² U) 238.0289			

ランタノイド ⁵⁷La 138.9055 ⁵⁸Ce 140.12 ⁵⁹Pr 140.9077 ⁶⁰Nd 144.24 (145) ⁶¹Pm ⁶²Sm 150.36 ⁶³Eu 151.96 ⁶⁴Gd 157.25 ⁶⁵Dy 162.50 ⁶⁶Ho 164.9304 ⁶⁷Er 167.26
⁶⁸Tm 168.9342 ⁷⁰Yb 173.04 ⁷¹Lu 174.967
 アクチノイド ⁸⁹Ac 227.0278 ⁹⁰Th 232.0381 ⁹¹Pa 231.0359 ⁹²U 238.0289 ⁹³Np 237.0482 (244) ⁹⁴Pu 244.0642 (244) ⁹⁵Am 243.0613 (243) ⁹⁶Cm 247.0763 (247) ⁹⁷Bk 247.0763 (247) ⁹⁸Cf 251.0833 (251) ⁹⁹Es 252.0833 (252) ¹⁰⁰Fm 253.0833 (253) ¹⁰¹Md 258.1037 (258) ¹⁰²No 259.1037 (259) ¹⁰³Lr 260.1037 (260)

(Ⅷ) 試作品の電気特性および使用原料の試験成績書

SPRAY DRIED PELLETING POWDER

1. BT-203 B Lot No. 1A111
2. BT-303 B Lot No. 9L121
3. NPO B Lot No. 9B118
4. N-750 B Lot No. 9C144

THE RESULTS OF INSPECTION

Material Spray Dried Pelleting Powder
Grade BT-203
Lot No. 1A111 (B)

1. Physical Characteristics

1) Sieve Analysis % Finer than Mesh

140	82.4 (%)
200	33.6 (%)
250	22.4 (%)
325	10.3 (%)

2) Bulk Density 1.33 (g/ml)

3) Angle of Repose 33°30'

4) Moisture 0.16 (%)

3. Ceramic Characteristics

1) Forming Condition

Diameter ϕ 15 (mm)

Thickness (at 20 ton) t_1 0.42 (mm)

2) Firing Condition

Firing Temp 1370 \times 2.5

Size of Fired Body ϕ 12.36 (mm)

t_2 0.36 (mm)

4. Electric Characteristics

Electrode Diameter ϕ 10.58 (mm)

Capacitance 35600 (pf)

K (at 20°C) 16500

DF 1.3

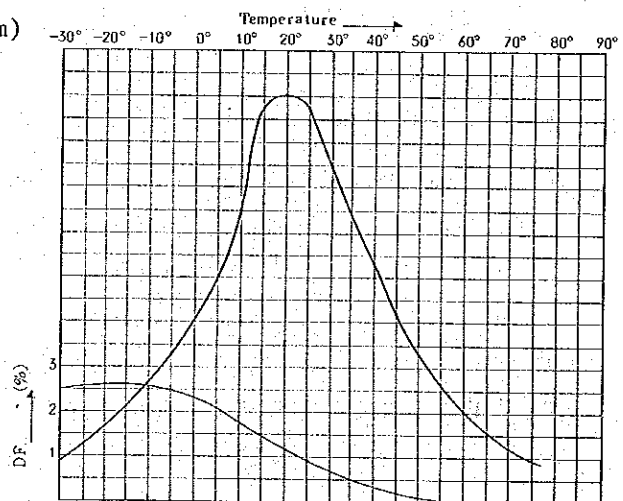
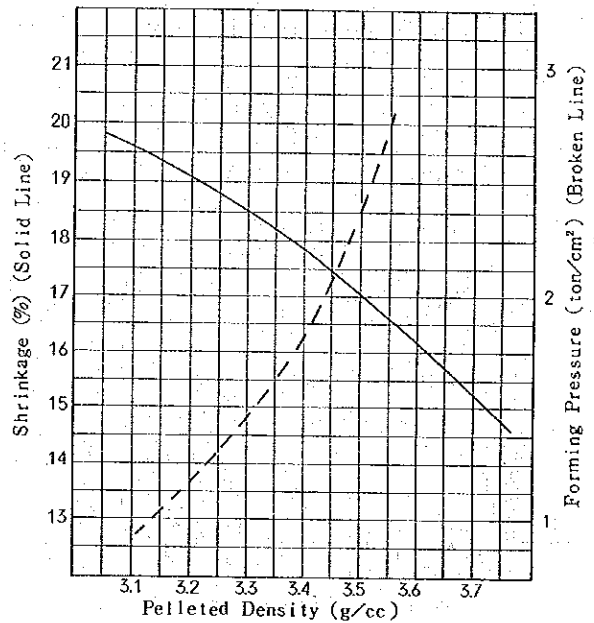
IR 2×10^4 (M Ω)

TC (20°C STD) -25°C 78.0 (%)

 85°C 83.7 (%)

See the right figure.

2. Shrinkage Pelleting Density Relationship



THE RESULTS OF INSPECTION

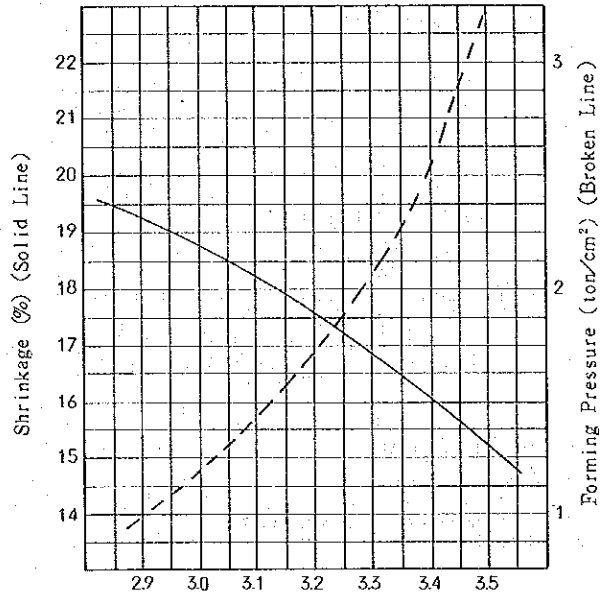
Material Spray Dried Pelleting Powder
Grade 303 (B)
Lot No. 9L121

1. Physical Characteristics

- 1) Sieve Analysis % Finer than Mesh

140	84.7 (%)
200	30.8 (%)
250	21.3 (%)
325	7.9 (%)
- 2) Bulk Density 1.23 (g/ml)
- 3) Angle of Repose 33°20'
- 4) Moisture 0.18 (%)

2. Shrinkage Pelleting Density Relationship



3. Ceramic Characteristics

- 1) Forming Condition

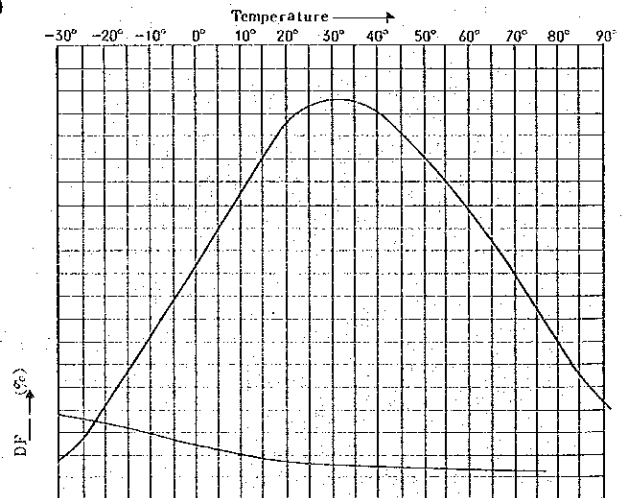
Diameter	φ	15 (mm)
Thickness (at 20 ton)	t ₁	0.57 (mm)
- 2) Firing Condition

Firing Temp	1310(°C) × 2.0(hr)
Size of Fired Body	φ 12.45 (mm)
	t ₂ 0.51 (mm)

4. Electric Characteristics

Electrode Diameter	φ	10.45 (mm)
Capacitance		15500 (pf)
K (at 20°C)		10400
DF		0.8
IR		2 × 10 ⁴ (M)
TC (20°C STD)	-30°C	-71.6 (%)
	85°C	-52.3 (%)

See the right figure.



TEST REPORT

THE RESULTS OF INSPECTION

Material Spray Dried Pelleting Powder
Grade NP-0 (B)
Lot No. 9B118

Electrical Characteristics

See attached sheet

Physical Characteristics

1) Sieve Analysis % Finer than Mesh

140	92.3 %
200	30.5 %
250	21.5 %
325	9.7 %

2) Bulk Density (untamped) 1.02 g/ml

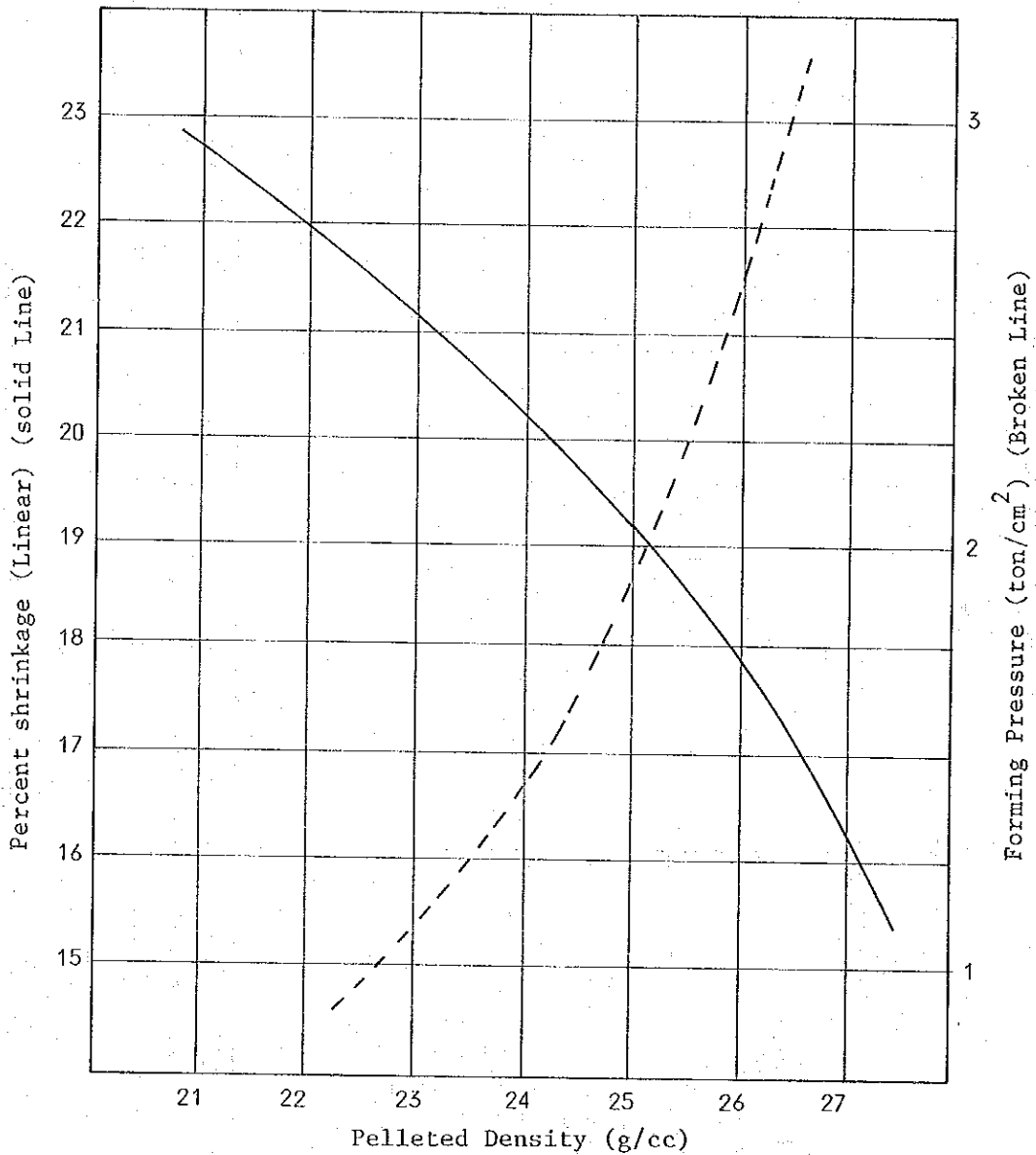
3) Angle of REpose 30°20'

4) Moisture 0.15 %

5) Shrinkage by Compression

See attached sheet

MEASURED RESULT SHEET
Spray Dried Pelleting Powder
NP-0(B) Lot No.9B118



SHRINKAGE PELLETING DENSITY RELATIONSHIP

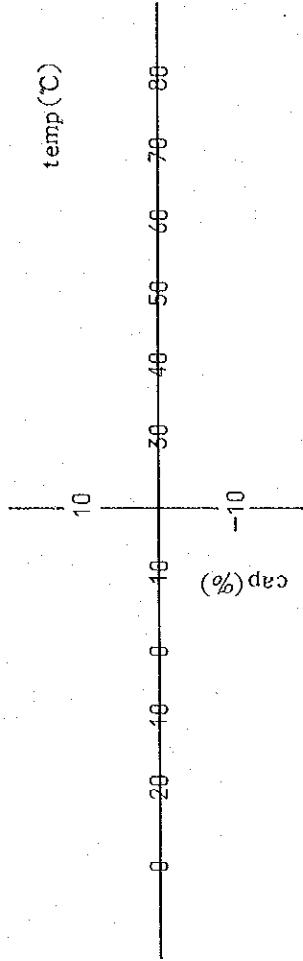
SPECIFICATION CHART

Grade NP-0 (B) Lot No. 9B118 (2t)

3. Temperature Characteristics

1. Powder Characteristics

Moisture Content	%
Loss on Ignition	%
Residue on Sieve 325 Mesh	%
Average Particle Size	μ
Bulk	(ml/100g)
Water Absorption	(ml/100g)
Compressed Density	(g/cm ³)



2. Forming Condition

Forming Pressure	kg/cm ³
Weight of Formed Body	g
Size of Formed Body	mm ϕ_0 t_0
Density of Formed Body	g/cm ³

4. Ceramic Characteristics

Firing Condition	Size of Fired Body		Shrinkage $\phi_0 - \phi_s \times 100 (\%)$	Density of Fired Body (g/cm ³)	Electric Characteristics (20°C)				Curie Point (°C)		
	ϕ_s (mm)	t_s (mm)			Diameter (ϕ mm)	Cap. (PF)	K	Q		I.R. (M Ω)	
1. 1140 °C 2.0 hr	12.15	0.44	1.235	4.49	10.22	63.11	38	11600	10 ⁷	20°C ~85°C	-30°C ~20°C
2. °C hr										-32	-49

TEST REPORT

The Results of Inspection

Material	Spray Dried Pelleting Power
Grade	N-750 (B)
Lot No.	9C144

Electrical Characteristics

See Attached Sheet

Physical Characteristics

1) Sieve Analysis	% Finer than Mesh
140	93.5%
200	32.4%
250	25.3%
325	11.6%

2) Bulk Density (untamped) 0.97 g/ml

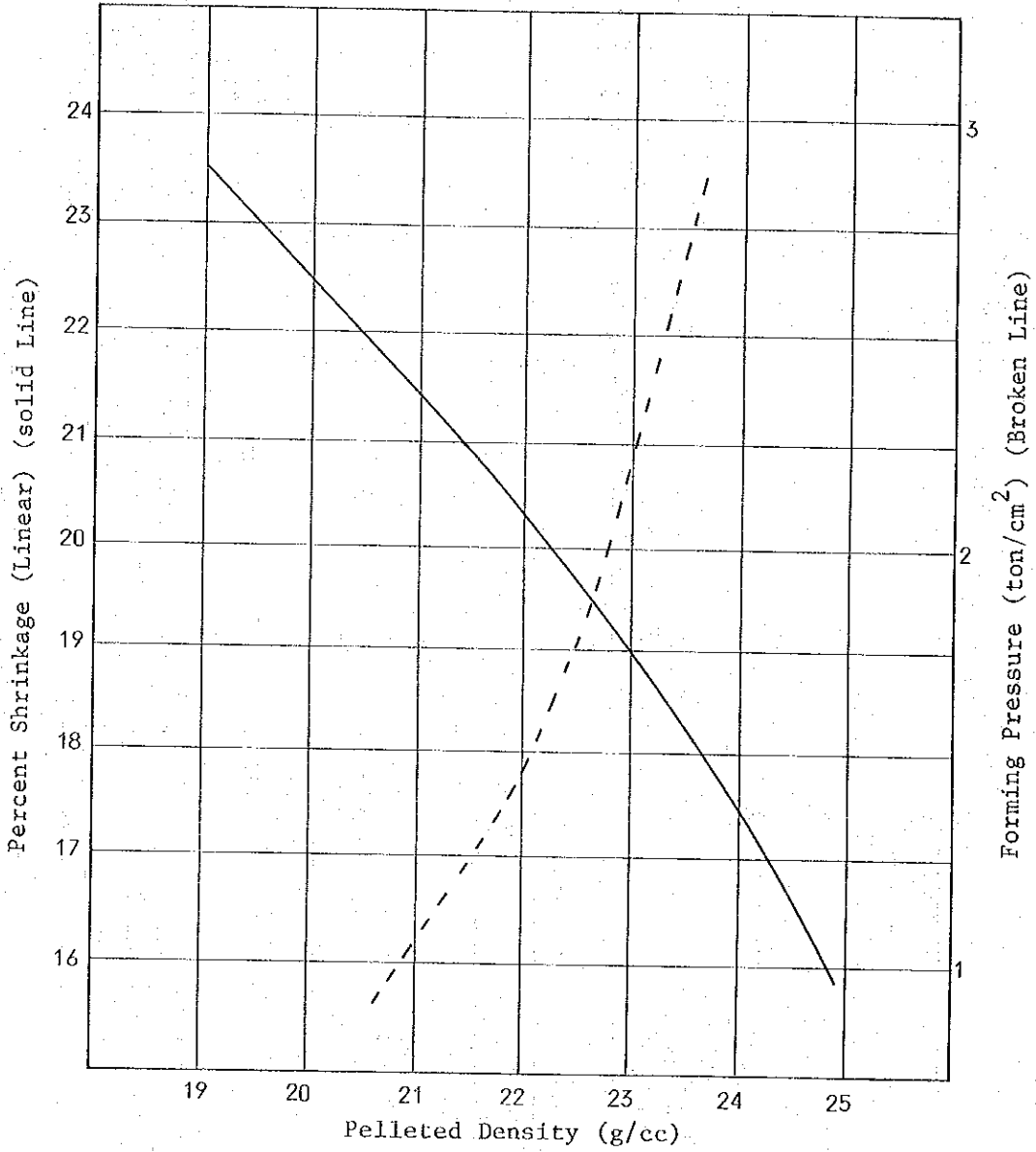
3) Angle of Repose 33°00'

4) Moisture 0.20 %

5) Shrinkage by Compression

See Attached Sheet

MEASURED RESULT SHEET
 Spray Dried Pelleting Powder
 N-750(B) Lot No. 9C144



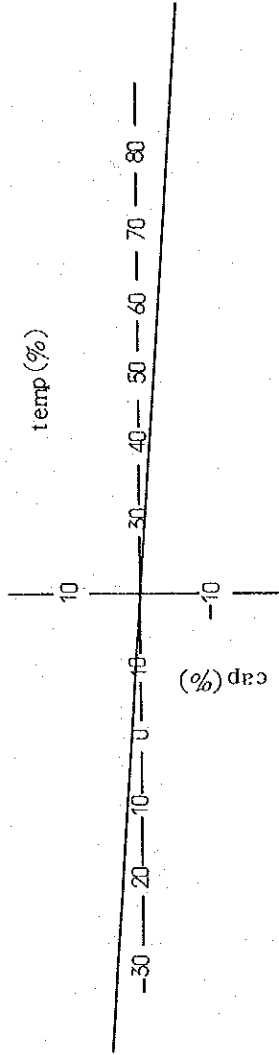
SHRINKAGE PELLETING DENSITY RELATIONSHIP

SPECIFICATION CHART

GRADE N-750(B) Lot of No. 9C144 (2t)

DATE

3. Temperature Characteristics



1. Powder Characteristics

Moisture Content	%
Loss on Ignition	%
Residue on Sieve 325 Mesh	%
Average Particle size	μ
Bulk (ml/100g)	
Water Absorption (ml/100g)	
Compressed Density (g/cm ³)	

2. Forming Condition

Forming Pressure	kg/cm ³
Weight of Formed Body	g
Size of Formed Body	mm ϕ_o t_o
Density of Formed Body	g/cm ³

4. Ceramic Characteristics

Firing Condition	Size of Fired Body ϕ_s (mm) t_s (mm)	Shrinkage $\phi_o - \phi_s \times 100$ (%) ϕ_o	Density of Fired Body (g/cm ³)	Electric Characteristics (20°C)				Curie Point (°C)	T.C.		
				Electrode Diameter ϕ (mm)	Cap. (PF)	K	Q		I.R. (M Ω)	20°C ~80°C	-30°C ~20°C
1. 1270 °C 2.0 hr	12.10 0.46	1,240 19.33	4.13	9.94	135.91	91	3200	2.5	$\times 10^5$	-777	-937
2. 1240 °C 2.0 hr	0.46			9.86	135.86	93	3300	2.5	$\times 10^5$	-782	-947

1 BT-203B LOT NO 1A111

- 1-1 FIRING TEMPERATURE V.S GRAIN SIZE
- 1-2 DIELECTRIC CONSTANT
- 1-3 DIELECTRIC CONSTANT V.S DENSITY OF FIRED BODY
- 1-4 CURIE POINT V.S FIRING TEMPERATURE
- 1-5 IR V.S FIRING TEMPERATURE

2 BT-303B LOT NO 9L121

- 2-1 FIRING TEMPERATURE V.S GRAIN SIZE

3 NPOB LOT NO 9B118

- 3-1 FIRING TEMPERATURE V.S GRAIN SIZE

4 N-750B LOT NO 9C144

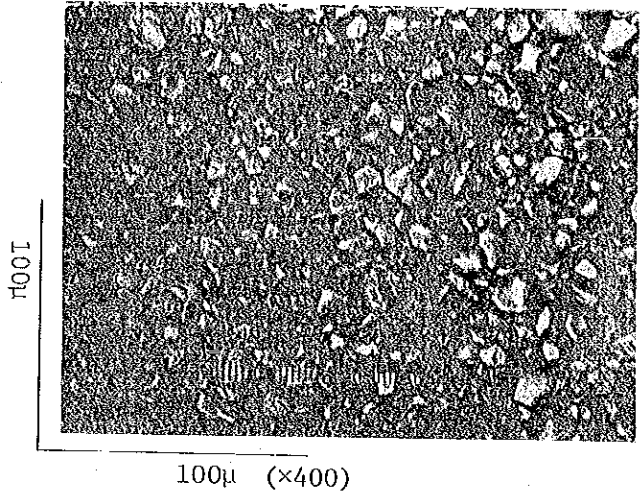
- 4-1 FIRING TEMPERATURE V.S GRAIN SIZE

FIRING TEMPERATURE VS. GRAIN SIZE

1. FIRING TEMP: 1360°C

K at 20°C : 15900

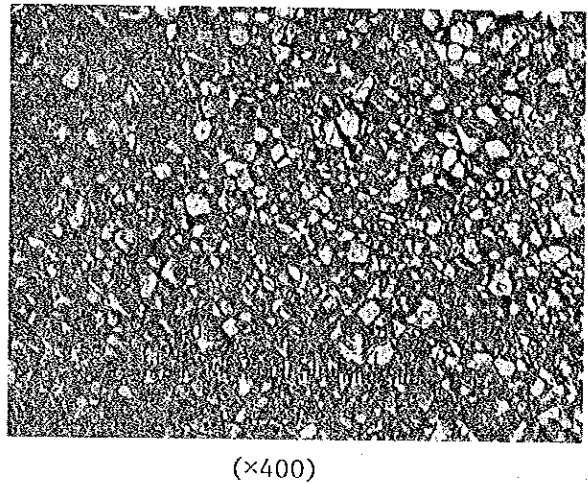
DF (%) : 1.5



2. FIRING TEMP.: 1330°C

K at 20°C : 16200

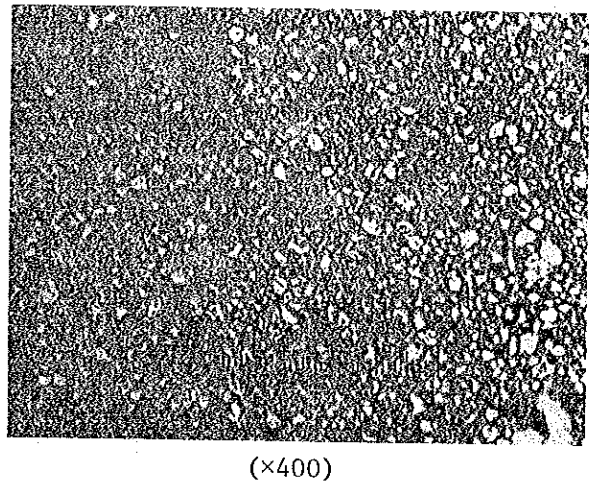
DF (%) : 1.5



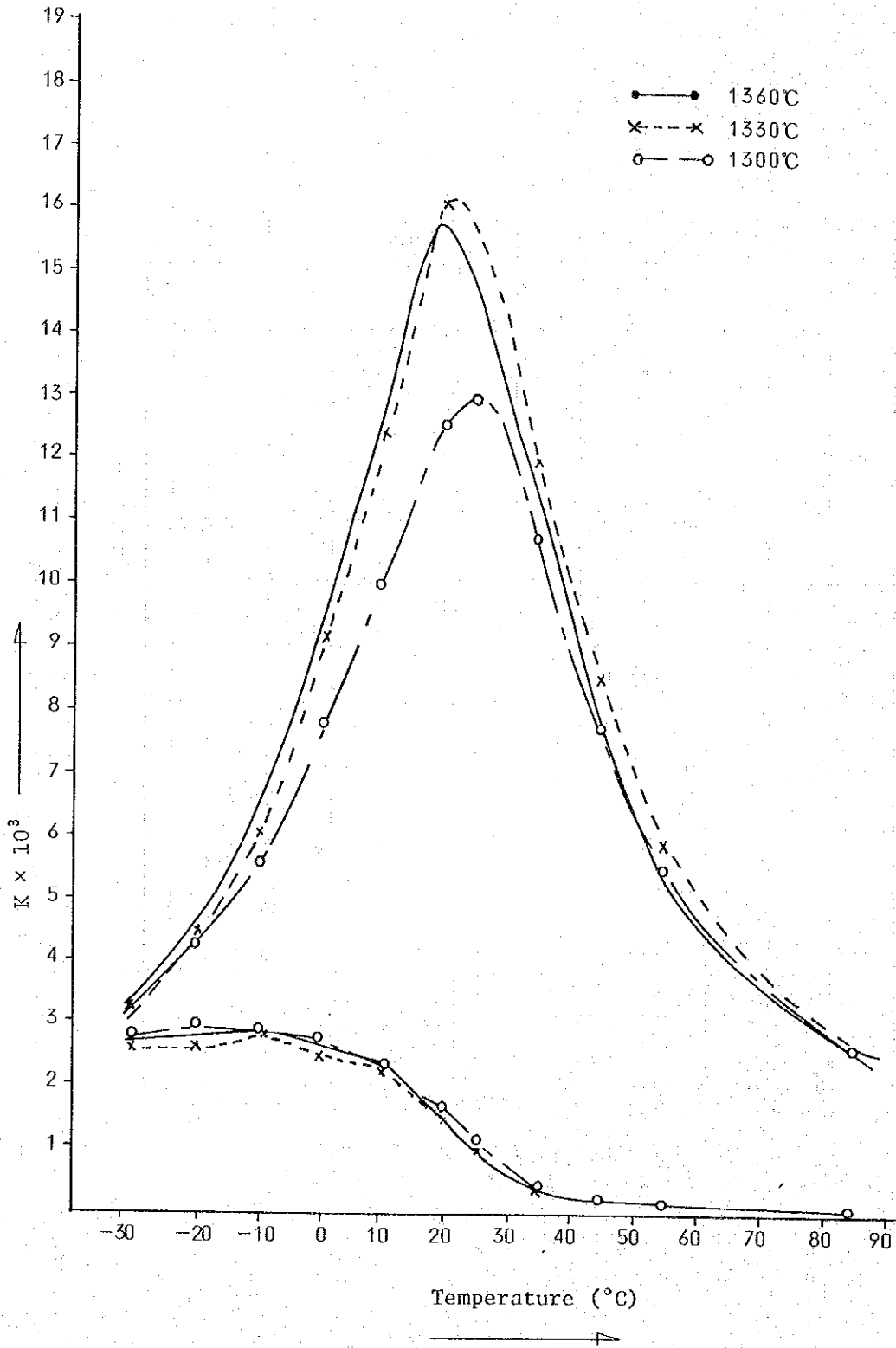
3. FIRING TEMP.: 1300°C

K at 20°C : 12600

DF (%) : 1.7

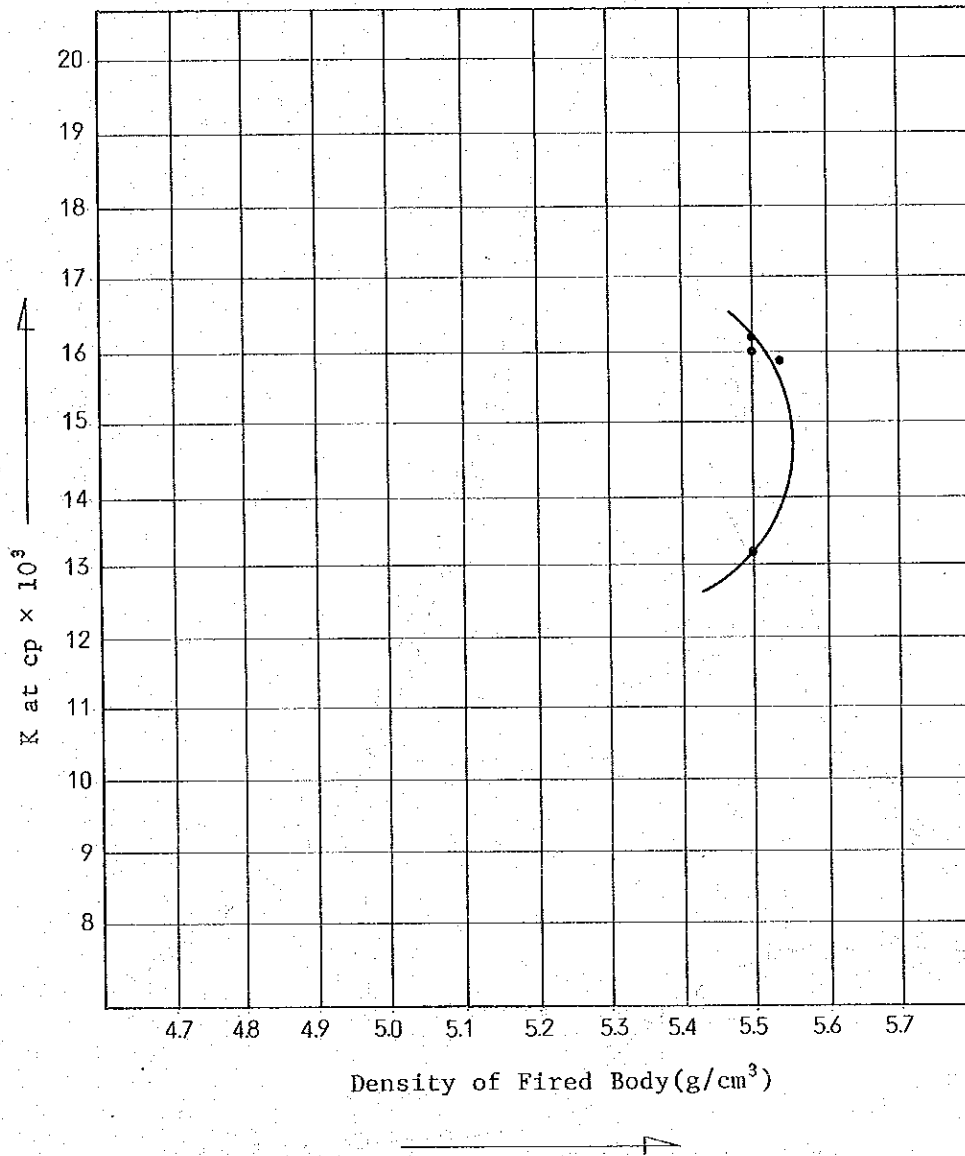


DIELECTRIC CONSTANT

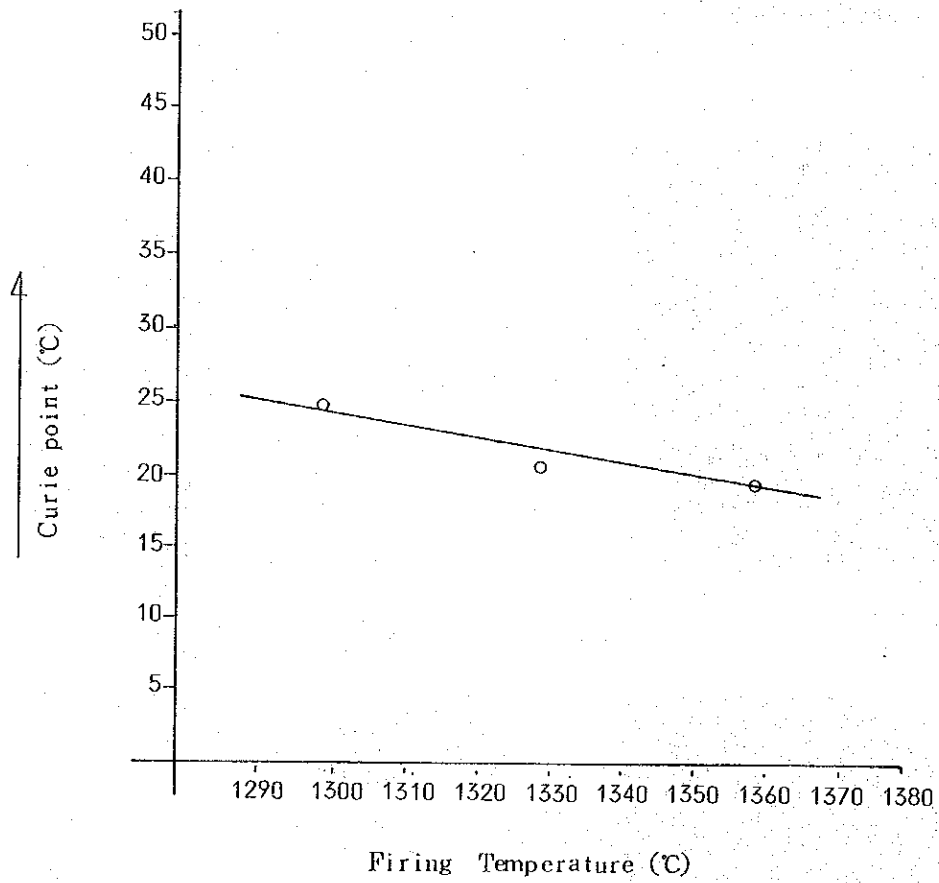


DIELECTRIC CONSTANT VS

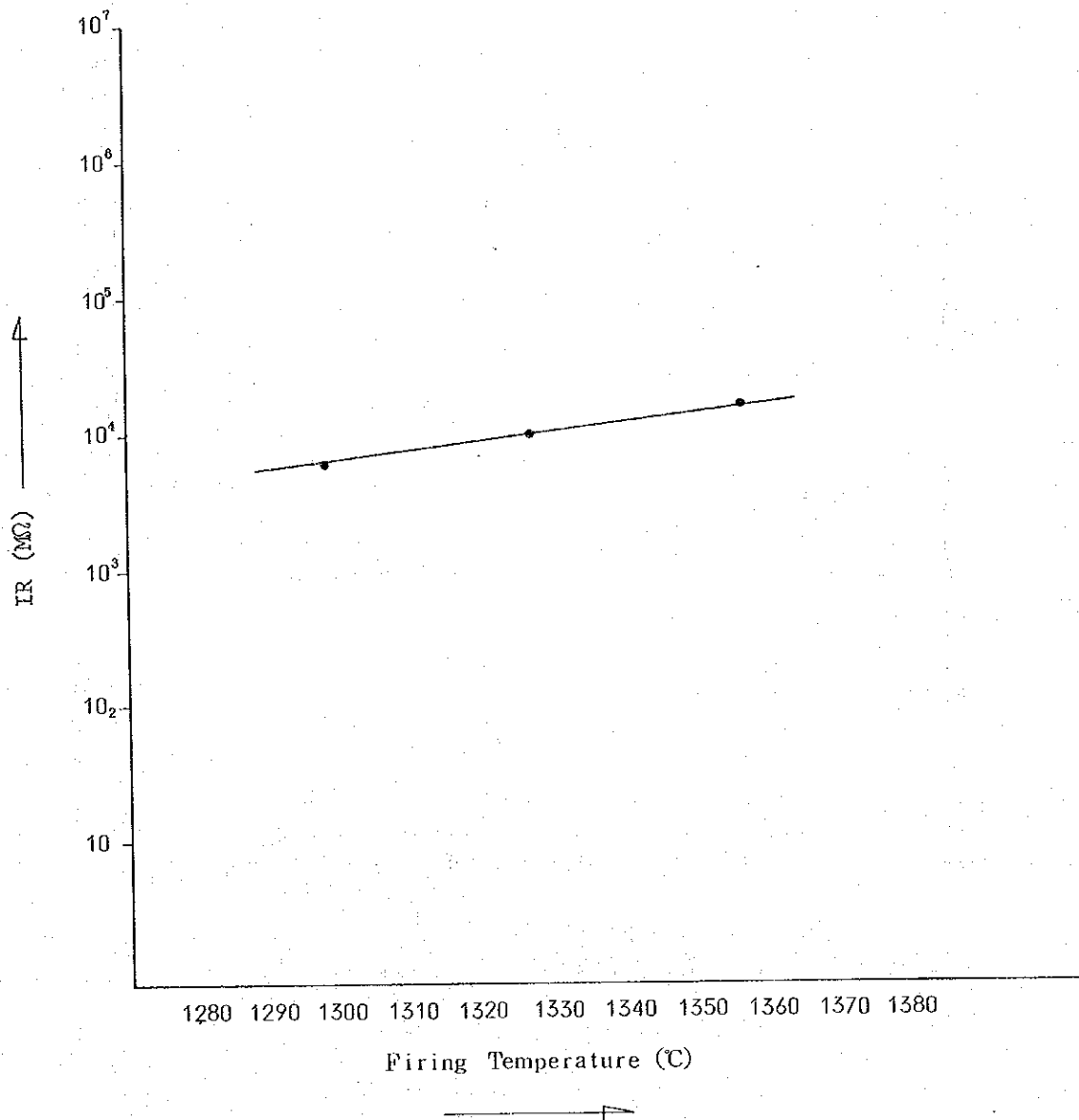
DENSITY OF FIRED BODY



CURIE POINT V.S FIRING TEMPERATURE



I.R.V.S FIRING TEMPERATURE



BT-303B LOT NO 9121

FIRING TEMPERATURE V.S GRAIN SIZE

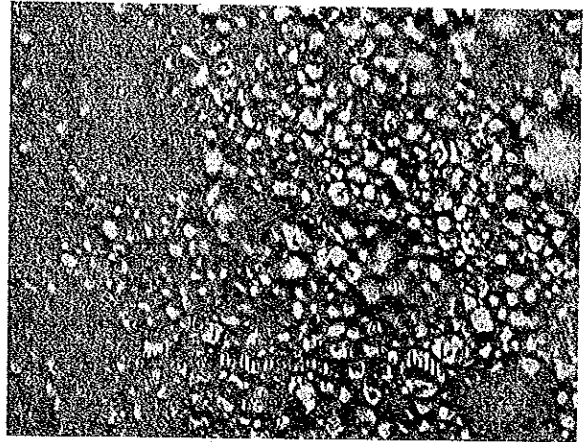
(×400)

Firing.TEMP: 1310°C

K : 10810

DF : 0.9

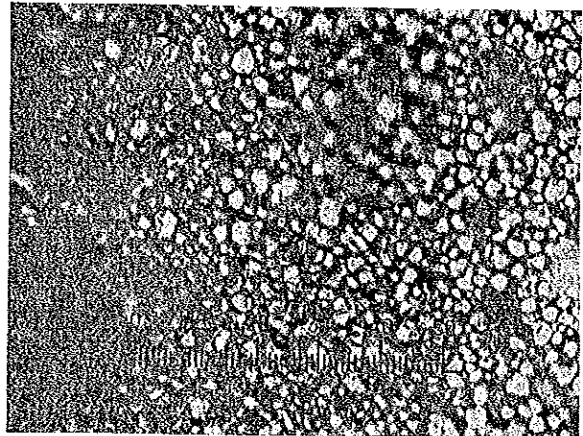
100μ



FIRING.TEMP: 1280°C

K : 10700

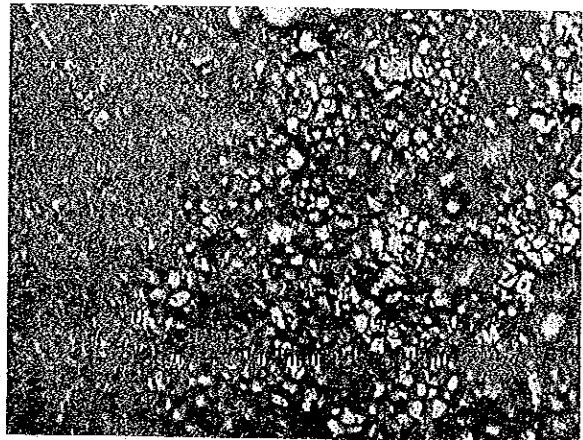
DF : 0.9



FIRING.TEMP: 1250°C

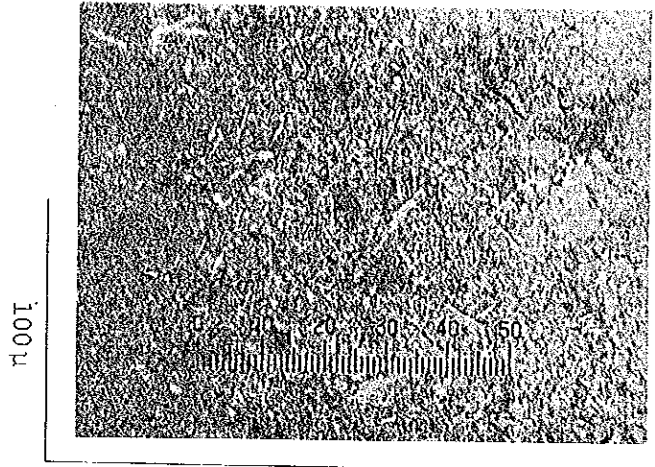
K : 10780

DF : 0.9

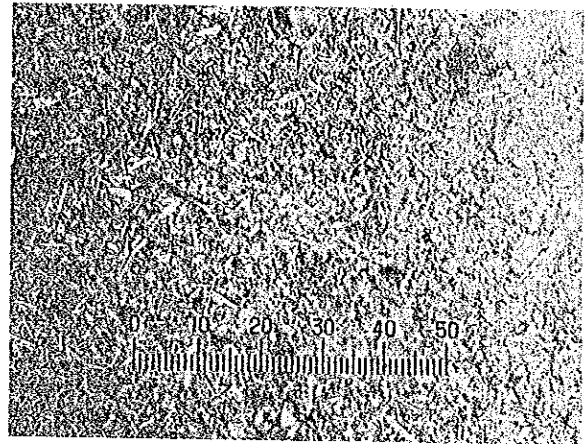


NPO_B LOT 9B118
FIRING TEMPERATURE V.S. GRAIN SIZE
(×400)

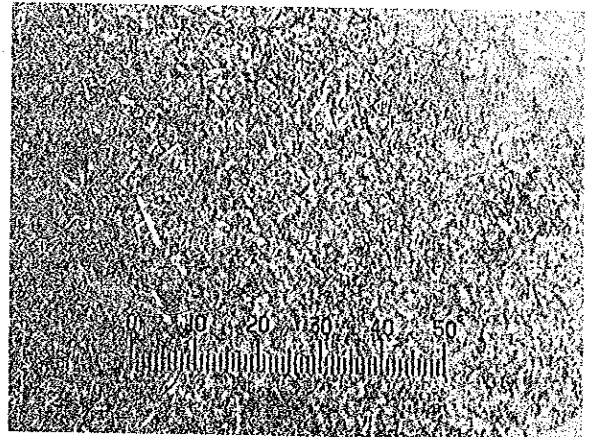
FIRING TEMP.: 1220°C
K : 39
Q : 19200
TC 85°C (ppm/°C): -32



FIRING TEMP: 1190°C
K : 39
Q : 20000
TC 85 (ppm/°C): -44



FIRING TEMP.: 1160 °C
K : -
Q : -
TC : -



N750_B LOT 9C144

FIRING TEMPERATURE VS.

GRAIN SIZE

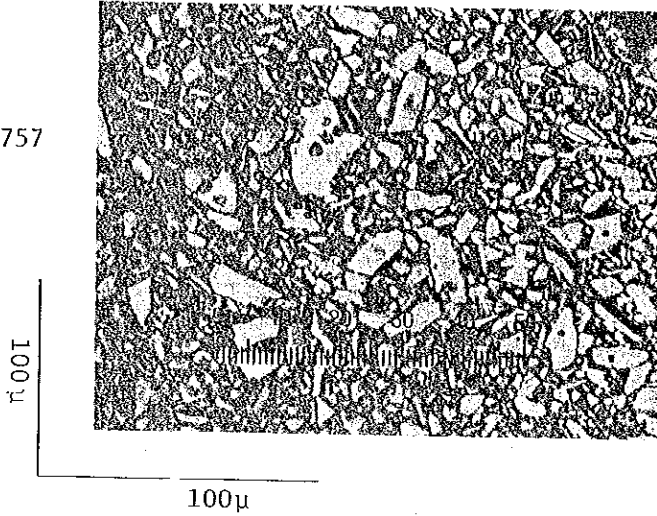
(×400)

FIRING TEMP: 1270°C

K : 96

Q : 3080

TC 85°C (ppm/°C): -757

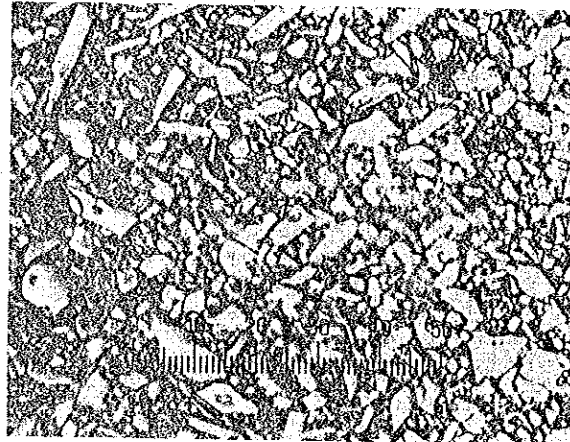


FIRING TEMP: 1250°C

K : 96

Q : 3120

TC 85°C (ppm/°C): -763



SPECIFICATION CHART

GRADE BT-203B Lot No. 1A111

DATE 56. 3. 10.

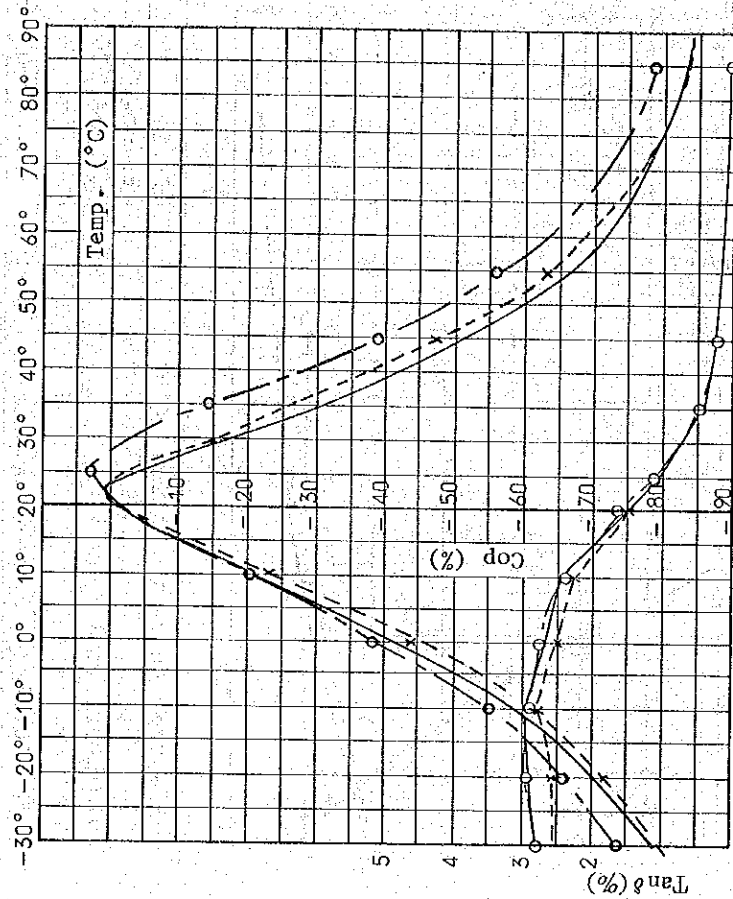
1. Powder Characteristics

Moisture Content	%
Loss on Ignition	%
Residue on Sieve 325 Mesh	%
Average Particle Size	μ
Bulk	(mg/100g)
Water Absorption	(ml/100g)
Compressed Density	(g/cm ³)

2. Forming Condition

Forming Pressure	kg/cm ³
Weight of Formed Body	g
Size of Formed Body	mm ϕ_o t_o
Density of Formed Body	g/cm ³

3. Temperature Characteristics



4. Ceramic Characteristics

Firing Condition	Fired Body ϕ_s (mm) t_s (mm)	Shrinkage $\phi_o - \phi_s \times 100$ (%)	Density of Fired Body (g/cm ³)	Electric Characteristics (20°C)			Curie Point (°C)	T.C. -25°C ~20°C ~85°C
				Electrode ϕ Diameter (mm)	Cap. (pF)	$\tan \delta$ I.R. (%) (M Ω)		
1 1360 °C 2.5 hr	12.40 0.38	ϕ_o 1.210 17.33	5.54	10.72	33400	15900 1.5×10^4 $2 \times$	20	-78.7 -82.9
2 1330 °C 2.5 hr	12.40 0.38	-	-	10.75	34200	16200 1.5×10^4	22	-79.8 -82.7
3 1300 °C 2.5 hr	12.41 ⁵ 0.38	-	-	10.85	27200	12600 1.7×10^3 $8 \times$	25	-73.9 -78.7

SPECIFICATION CHART

GRADE BT-303B Lot No. 9L121

DATE 56. 3 . 10.

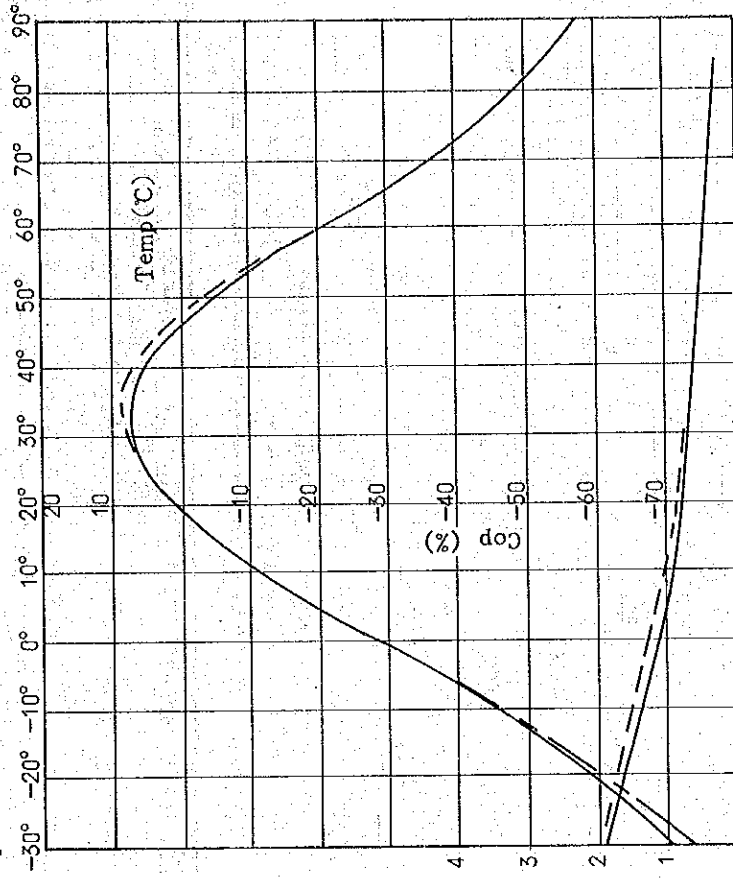
1. Powder Characteristics

Moisture Content	%
Loss on Ignition	%
Residue on Sieve 325-Mesh	%
Average Particle Size	μ
Bulk	(ml/100g)
Water Absorption	(ml/100g)
Compressed Density	(g/cm ³)

2. Forming Condition

Forming Pressure	kg/cm ³
Weight of Formed Body	g
Size of Formed Body	mm
Density of Formed Body	g/cm ³

3. Temperature Characteristics



4. Ceramic Characteristics

Firing Condition	Size of Fired Body ϕ_s (mm) t_s (mm)	Shrinkage $\frac{\phi_o - \phi_s}{\phi_o} \times 100$ (%) ϕ_o	Density of Fired Body (g/cm ³)	Electric Characteristics (20°C)				Curie Point (°C)	T.C. -25°C 20°C ~20°C ~85°C		
				Electrode ϕ Diameter (mm)	Cap. (pF)	K	$\tan \delta$ (%)			I.R. (M Ω)	
1 1310 °C 2.5 hr	12.51 0.50	1.199 16.60	5.08	10.63	15700	10810	0.9	3 \times 10 ⁴	32	-69.6	-52.8
2 1280 °C 2.5 hr	12.51 0.50	-	-	10.69	15700	10700	0.9	2 \times 10 ⁴	32	-69.6	-52.9
3 1250 °C 2.5 hr	12.57 0.50	-	-	10.82	15600	10780	0.9	10 ⁴	35	-72.2	-52.1

SPECIFICATION CHART

GRADE N-750 Lot No. 9C144

DATE 56 . 3 . 10.

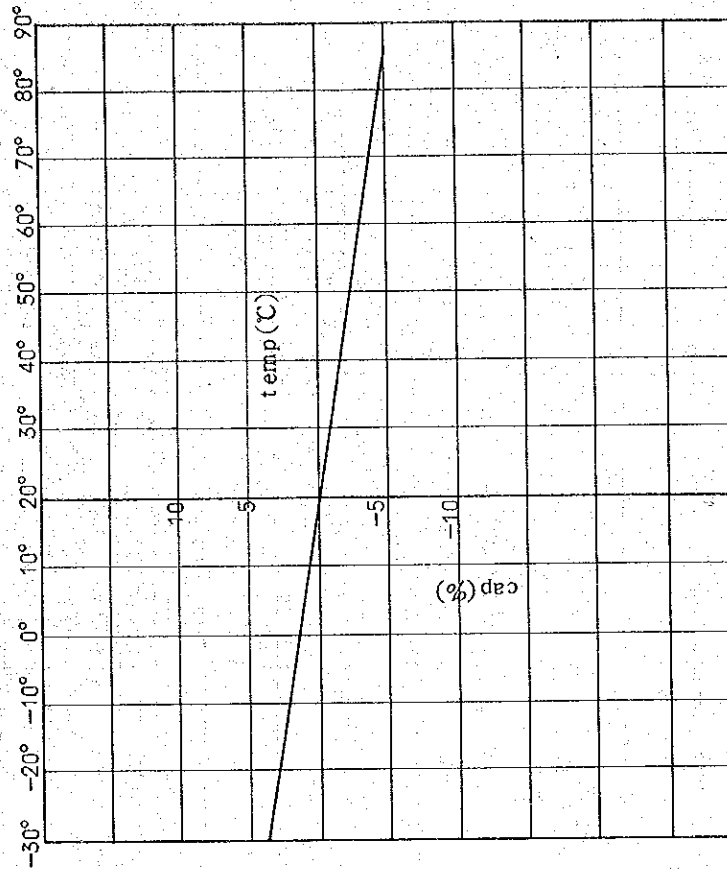
1. Powder Characteristics

Moisture Content	%
Loss on Ignition	%
Residue on Sieve 325 Mesh	%
Average Particle Size	μ
Bulk	(m ℓ /100g)
Water Absorption	(m ℓ /100g)
Compressed Density	(g/cm 3)

2. Forming Condition

Forming Pressure	kg/cm 3
Weight of Formed Body	g
Size of Formed Body	mm ϕ_o t_o
Density of Formed Body	g/cm 3

3. Temperature Characteristics



4. Ceramic Characteristics

Firing Condition	Size of Fired Body		Shrinkage $\frac{\phi_o - \phi_s}{\phi_o} \times 100 (\%)$	Density of Fired Body (g/cm 3)	Electric Characteristics (20°C)			T.C.				
	ϕ_s (mm)	t_s (mm)			Electrode ϕ Diameter (mm)	Cap. (pF)	K	Q	I.R. Point ($M\Omega$)	Curie Point (°C)	-25°C ~20°C 20°C ~85°C	
1 1270 °C 2.0 hr	12.17	0.475	ϕ_o 1.233 t_o 18.87	3.95	10.51	155.17	96	3080	2 \times 10 5	-	-866	-757
2 1250 °C hr	12.18	0.475			10.52	154.90	96	3200	2 \times 10 5	-	-902	-763
3												