

# 台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：工程學

作品名稱：材料新國界－介電陶瓷之電容器

學 校：高雄縣立路竹中學

作 者：蘇德輝 陳人豪

## 作者簡介



我是蘇德輝，平日喜歡讀歷史書籍，閱讀科技雜誌，參加各類活動，不過體力不好，但有時會打打羽球，寫寫新詩、散文，偶爾還會投稿，不喜歡一成不變的事物，堅信創造力可影響往後的世界，並且改變自己的生活可培養自己的創造力，而且幾乎每天都會上網蒐集新知，進而學習自己所不知的知識。

## 作者簡介



我是陳人豪，高雄縣人，現在是高二的學生，我的興趣下象棋，專長是畫素描，喜歡看一些課外書籍，個性上可以算是溫和，很少在發脾氣的。我喜歡的科目是一些靠理解而不是死背的科目。我雖然不懂籃球的規則，但我卻很喜歡打籃球，而我比較不喜歡的運動是游泳，因為我不會游，如果我會游泳的話，應該就不會不喜歡了。

## 摘

## 要

本研究以高頻阻抗分析儀，針對自製的電容器，以不同比率的三氧化二鐵加二氧化矽混合後所製成的電容器，對頻率、電容值及正切損耗能量值從事研究。實驗結果發現，在低頻率值 0 到 60Hz 以內，其  $C_p$  及  $D$  值變化非常大，明顯的下降，60Hz 到 1000Hz  $C_p$  及  $D$  值變化很小。由參考資料中電容器中的損失因數是介電材料是否適合於絕緣材料用途之最基本的準則，一般均希望具有低介電率。即使在最小的空間內也希望有高電容值，如電視、收音機中在介電材料的高頻應用。是故我們所製作的電容器以二氧化矽添加三氧化二鐵後高頻值其  $C_p$  值、 $D$  值較小，是適合於高頻需求的應用上。

## Substract

We report on the study of high frequency dielectric spectra.on the capacitance, it is made by myself .at various mixed ratio value of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  plus  $\text{Sio}_2$

In order to understand the frequency capacitance value  $C_p$  and tangent loss energy analysisD. The results of our work provide a large of low frequency in 0 Hz TO 60 Hz in  $C_p$  and D. it is obviously descend a small various frequency is 60 Hz to 1000Hz

From reference. we know capacitance energy loss factor is a purpose of suitable an insulator rule. in dielectric constant.

We hope a low dielectric value and high capacitance. Even it is a small distance.

For example TV .Radio.etc.it is used to high frequency.so we made a capacitance in difference of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  plus  $\text{sio}_2$ .to provide the  $C_p$  and D. the value is small.so it can be used in high frequency demand.

## 材料新國界——介電陶瓷之電容器

### 一、研究動機：

我們家裡的鐵門每次一過下雨,鐵門就開始生鏽,爲了更深入了解「鐵鏽」對生活的影響,進一步閱讀了關於鐵鏽的書籍,也更進一步發現了鐵鏽原來有分很多類,例如:四氧化三鐵(黑色)、三氧化二鐵(紅色)等,經與傅教授交談後,發現了早期的電視、收音機,和現在的手機也和它有些相關,也談到了介電陶瓷,此時我們已經深感好奇,想知道介電陶瓷的多樣性與可利用性,同時更激發了,我們要研究介電陶瓷的興趣,所以我們就決定以三氧化二鐵爲我們研究的起步。首先我們將製作介電陶瓷的電容器,而電容器中的損失因數是介電材料是否適合於絕緣材料用途之最基本的準則,若爲此目的,一般均希望具有低介電率以及非常小的損失角(Loss Angle)  $\delta$ 。即使在最小的空間內也希望有高電容值之用途中,雖然必須採用高介電率材料,但具有小的散失因數(Dissipation Factor)  $\tan \delta$  仍然是十分重要的。在介電材料的高頻應用如電視、收音機中,工程師有時將損失正切的倒數,稱爲品質因數(Q Factor),  $Q = 1 / \tan \delta$  作爲材料優劣的指標。

### 二、研究目的：

嘗試的瞭解依不同比率的三氧化二鐵加二氧化矽混合後所製成的電容器的介電性質。

### 三、研究問題：

依研究目的，擬探討下列兩個問題

1. 不同比率的三氧化二鐵加二氧化矽混合後所製成的電容器,其電容值與頻率的關係。
2. 不同比率的三氧化二鐵加二氧化矽混合後所製成的電容器,其損失因素的損耗正切與頻率的關係。

### 四、研究原理：

介電陶瓷通常具有相當高的電阻係數,因此在某些狀況屆電陶瓷也常被視為絕緣體,但是它與絕緣不同的地方在於介電陶瓷在電場的作用下,會產生介電分極 (Polarization, 亦稱極化),利用它介電分極特性而製成的電容器 (Capacitors),將阻止直流電流,卻容許交流電流通過其間,由此看來,介電陶瓷與絕緣陶瓷有相當區別。

電容最主要的特性,就是可以儲存電荷量為為  $Q$  的電荷在其中,一個電容器上的電荷量為

$$Q = CV \text{ ----- (1)}$$

其中  $V$  是所加的電壓而  $C$  則是電容值；電壓與所儲存電荷量成正比,而電容器所流通的電流  $I$ ,則為

$$I = dQ/dt = C dv/dt \text{ ----- (2)}$$

若所施加於電容器的是一正弦曲線交流電壓

$$V = V_0 \exp i \omega t \text{-----} (3)$$

將 (式 3) 交流電壓代入 (式 2), 可獲得一充電電流

$$I_c = i \omega C V \text{-----} (4)$$

此一電流的相位 (Phase) 領先所加交流電壓  $90^\circ$ , (式 3) 與 (式 4)

中的  $i$  式虛數符號等於  $\sqrt{-1}$ , 而  $\omega$  是角數度, 單位為弧度/秒, 又  $\omega = 2 \pi$

, 為頻率, 其單位為赫 (Hz)。

電容值  $C$  的大小是由其幾何形狀與材料介電特性所共同決定的, 若對一個具有面積為  $A$ 、厚度為  $d$  的大型平板電容器, 置於真空中, 則其電容值  $C_0$  便由幾何形狀來決定

$$C_0 = \epsilon_0 A/d \text{-----} (5)$$

其中  $C_0 = (36 \pi)^{-1} \times 10^{-9} = 8.854 \times 10^{-12}$  法拉/米, 係真空的允入係數

(Permittivity) 又稱介電率。若在上述的平板電容器的兩個平板電極中, 插入一個介電率為  $\epsilon^1$  的介電陶瓷, 則因為材料而改變新的電容值

$$C = C_0 \epsilon^1 / \epsilon_0 = C_0 k^1 \text{-----} (6)$$

稱為相對介電率 (Relative Dielectric Constant), 這也就是一般電子陶瓷業者最為關切的, 決定電容值大小的材料特性。

在外加電場的作用下, 介電材料的反應與自由空間不同。因為介電材料內所含的電荷載子被電場移動, 此一介電材料內的電荷位移可以中和外加電場的一部份, 由於  $V = Q/C$  而且  $C = k^1 C_0$ , 所以含有介電材

料的電容器

$$V = (Q/k^1) / C_0 \text{-----} (7)$$

也就是說只有一部份自由的電荷  $Q/k^1$  可以建立電場,其餘的束縛電荷,則被介電材料中的分極所中和,由圖 13-1 中可見,正方形內的束縛電荷 (Bound Charge) 都被介電材料內分極產生的偶極子 (Dipole) 所中和,只有圓圈內的自由電荷可以產生上負下正的電壓。

由圖 13.1 可知道總電通密度 (Electric Flux Den-sity)  $D$  可以由電場  $E$  與偶極子電荷量  $P$ ,之和來表示

$$D = \epsilon_0 E + P + \epsilon E \text{-----} (8)$$

因為加入介電材料而產生的分極  $P$ ,就是束縛電荷的表面電荷密度,等於介電材料內單位體積的偶極矩 (Dipole Moment)

$$P = N \mu \text{-----} (9)$$

$N$  是單位體積內的偶極子數,而  $\mu$  則是平均偶矩,由於通常電偶極矩是對兩個不同極性、卻有相同電荷量  $+Q$ ,距離為  $a$  來討論:

$$\mu = Qd \text{-----} (10)$$

由於分極  $P$  也可以用表面束縛電荷密度計算,由 (式 8) 式

$$P = D - \epsilon_0 E = \epsilon^1 E - \epsilon_0 E = \epsilon_0 (k^1 - 1) \text{-----} (11)$$

由 (式 11) 式可以求出分極與電場的比值,稱為電順從性 (Electric Susceptibility,  $\chi$ ):

$$\chi = k^l - 1 = P / \epsilon_0 E \text{-----} (12)$$

電順從性就是束縛電荷密度與自由電荷密度的比值。圖 13.2 則在表示分別利用表面電荷密度與單位積偶極矩表示分極 P 之概念,圖上方為一平板電容結構,上下面為金屬電極可以分開表示於圖左方,至於圖右方所示則為電極間的介電材料,由於圖中所示為一單位立方體,因此不論用左邊上下電極的束縛電荷密度,或用右邊單位體積內的偶極矩來看,分極 P 是相同的。

在一介電材料中多種不同的分極機構,如圖 13.4 所示：在圖 13.4 最上方是所有材料均有的電子分極 (Electric Polarization),亦即在電場作用下,帶負電電子雲的重心偏移開帶正電的電子核,而造成分極；第二種分極機構是正負離子在電場作用下產生相互位移,這稱原子分極 (Atomic Polarization) 或離子分極 (Ionic Polarization)；第三種分極在陶瓷材料中並不常見,它與永久性電偶極子的存在有關,,縱然未加電場,此等偶極子依然存在,但再加上電場時,所有的永久偶極子傾向於沿著電場方向排列,這就是配向分極 (Orientation Polarization)；最後一種分極是空間電荷分極 (Space Charge Polarization),其機構是源自可移動電荷在電廠影響下移動而造成的分極,這些空間電荷的出現可能是因為受到介面的阻礙,或者被陷在材料中,同時它們既不是由電極供應亦不會經由電極而流出,對於外電路而言,空間電荷通常會使電容值

增加。總分極率（ $\alpha$ ）為上數不同分極機構所產生分極率的總和：

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_o + \alpha_s \text{-----} \quad (13)$$

其中  $\alpha_e$  電子分極率  $\alpha_i$  離子分極率  $\alpha_o$  配向分極率  $\alpha_s$  則係空間電荷分極率。

在一介電材料內,熱的產生速率與電壓和電流的乘積成正比。對一個理想介電材料而言,熱的產生率為零,但對任何介電材料,在有限的反應時間內,均有相當熱量產生。

若在一介電內材料上施加電壓如圖 13.6 中所指示,分極隨時間的變化將與電荷量隨時間的變化相同.這些變化可以用簡單的物理模型表示,對理想的介電質(圖 13.6(a))電壓加上時立刻產生電荷與建立分極,沒有時間延遲,而在電壓移去時,分極立刻消失電荷重歸於零,電流是電荷對時間的變量,因此只有在施加電壓與移去電壓時,產生一定值而方相相反的電流,但對一實際介電質而言,如圖 13.6(b)所示,在施加電壓(充電)時,部分可立即分極的機構如電子分極或離子分離,立刻建立一定電荷量,但其餘分極則可能隨時間逐漸建立,因此電荷量隨時間變化不再一定值,同理,當電壓移走時,部份分極電荷隨之立刻移去,但少數電荷則須較長時間才能移走,因此在電壓移走之後仍然有電流在介電質內流通,但其電流量則隨時間迅速衰減。

上述狀況可用公式表示之,若在充電時,分極的變化率與其最終

值和實際值之差成正比

$$d(P_t - P_\infty)/dt = (1/\tau) [(P_s - P_\infty) - (P_t - P_\infty)] \text{----- (14)}$$

所以積分求得

$$P_t - P_\infty = (P_s - P_\infty)(1 - e^{-t/\tau}) \text{----- (15)}$$

$P_t$ 係時間為  $t$  之分極,  $P_\infty$ 則是施加電壓時之瞬間分極,  $P_s$ 為分極之最終值,  $\tau$ 為具有時間單位之常數, 稱為弛緩時間 (Relaxation Time)。

由(式 15)式亦可以推知圖 13.6 中之充放電電流均有指數型之弛緩。

由上述的分極弛緩現象可知, 對應於一交流電場, 分極的建立對充電電流有一相位上的阻礙, 亦即此時充電電流不再領先外加交流電壓 (就相位而言)  $90^\circ$ , 而是  $90^\circ - \delta$ , 其中  $\delta$  就是因為弛緩而落後之相角 (Phase Angle), 若將交流電場以複數 (Complex) 表示, 則電場  $E$  與對應產生之電通密度(位移) $D$  可分別寫成下式:

$$E = E_0 e^{i\omega t} \text{----- (16)}$$

$$D = D_0 e^{i\omega t} \text{----- (17)}$$

利用下列關係式

$$D = \epsilon^* E \text{----- (18)}$$

可得複數介電率

$$k^* = k_s e^{-i\delta} = k_s (\cos \delta - i \sin \delta) \text{-----} (19)$$

其中  $k_s = D_0 / E_0$  是靜介電率 (Static Dielectric Constant), 將介電率寫成

$$k^* = k' - ik'' = \epsilon^* / \epsilon_0 = (1 / \epsilon_0) (\epsilon' - i \epsilon'') \text{-----} (20)$$

由 (式 19)

$$k^1 = k_s \cos \delta \text{-----} (21)$$

$$k'' = k_s \sin \delta \text{-----} (22)$$

將兩式相除, 可得損失正切 (Loss Tangent)  $\tan \delta$

$$\tan \delta = k'' / k' = \epsilon'' / \epsilon' \text{-----} (23)$$

由於外加電壓與生成電流間的時間落後而產生的相移 (Phase Shift),

將使交流電路在不需電荷載子移動的狀況下, 導致損失電流 (Loss

Current) 與能量散逸. 若在一簡單的平板電容上施加一正弦電壓, 則

其充電電流  $I_n = i\omega \epsilon' E$ , 而損失電流則為  $I_e = \omega \epsilon'' E = \sigma E$ , 其中  $\sigma$  是導

電係數 (Electric Conductivity), 這兩個電流分量的合成電流  $I$  如圖

13.7 所示為

$$I = (i\omega \epsilon' + \omega \epsilon'') (C_0 / \epsilon_0) V = i\omega . k^* \text{-----} (24)$$

它所對應的每一個循環的能量消耗為

$$W = 2\pi \epsilon' (V^2 / 2) \tan \delta \text{-----} (25)$$

每秒所損失的能量則為

$$\begin{aligned}\sigma (V^2/2) &= \omega \varepsilon'' (V^2/2) = \omega \varepsilon' (V^2/2) \tan \delta \\ &= 2\pi \varepsilon' (V^2/2) \tan \delta \text{-----} (26)\end{aligned}$$

在上述各式中之  $V_0$  代表最大電壓值。

由（式 25）與（式 26）可知介電材料中,決定其能量損失的因素為介電率與損失正切的乘積。在（式 23）中所表示的損失正切就稱為損失因素（Relative Loss Factor）。

損失因數是介電材料是否適合於絕緣材料用途之最基本的準則,若為此目的,一般均希望具有低介電率以及非常小的損失角（Loss Angle） $\delta$ ,即使在最小的空間內希望有高電容值之用途中,雖然必須採用高介電率材料,但具有小的散失因數（Dissipation Factor） $\tan \delta$  仍然是十分重要的。在介電材料的高頻應用如電視、收音機中,工程師有時將損失正切的倒數,稱為品質因數（Q Factor）, $Q=1/\tan \delta$  作為材料優劣的指標。

在一理想電容器中,電荷可以隨電壓的改變而做瞬間的調整,但在實際狀況,電荷的傳輸將面臨一克服電荷移動惰性所需的弛緩時間,由圖 13.8 中分極率與頻率間之關係曲線可見,電子分極是唯一可隨外加需場在可見光譜頻率下作快速分極的機構,離子分極可以隨高頻電界動作,因此對紅外線附近頻率的介電值仍有貢獻,配向與空間電荷分極

的弛緩時間隨系統與程序有關,通常僅在較低頻率下有可能發生。

由上可知對於不同弛緩現象的介電材料,使用的頻率具有極為重要的影響,最大的介電損失也如同機械能一樣,最大的損失發生再弛緩週期與外加電場週期相同時,與何種弛緩方式無關。當弛緩時間比外加電場週期為長時,損失比較小,同樣的,若弛緩比外加電場頻率更快速時,損失也較小。圖 13.9 所示極爲界電率  $k'$ 、導電係數  $\omega k''$  與損失因數隨頻率的變化情形。雖然在圖 13.9 (a) 中介電率在低頻時,由已弛緩的高值逐漸降至高頻下未遲緩的低質 (因爲低頻時總分極率較大,高頻時則有部份分極無法產生而降低),但其介電導電係數 (Dielectric Conductivity) 隨頻率變化曲線則與上圖成鏡像對稱,由低頻的零點增加到高頻下的數值。

若將頻率甚高於  $1/\tau$  時知介電分極定爲  $P_\infty$ ,所對應的介電率爲  $\epsilon_\infty$ ,則複數介電率可以表示成爲：

$$\epsilon^* = \epsilon_\infty + (\epsilon_s - \epsilon_\infty)/(1 + i\omega\tau) \text{-----} (27)$$

將 (式 27) 分成實數與虛數部份,

$$\epsilon' = \epsilon_\infty + (\epsilon_s - \epsilon_\infty)/(1 + \omega^2\tau^2) \text{-----} (28.1)$$

$$\epsilon'' = (\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega/(1 + \omega^2\tau^2) \text{-----} (28.2)$$

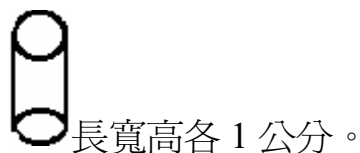
則可求出損失正切,

$$\tan \delta = \epsilon''/\epsilon' = (\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega/(\epsilon_s + \epsilon_\infty\omega^2\tau^2) \text{-----} (29)$$

(式 27) 到 (式 29) 通常稱之為 Debye 方程式與  $\epsilon''$  隨頻率變化的情形已在圖 13.9 中表示為  $k'$  與  $k''$ , 對於  $k''$  損失因數 (對應於  $\epsilon''$ ) 其最大值發生在  $\omega_{\max} = 1/\tau$ , 亦即弛緩時間與所加電場週期相同的地方, 而且以  $1/\tau$  為中點呈左右對稱。

#### 五、實驗器材：

- 1、電子天秤一個。
- 2、三氧化二鐵粉少許。
- 3、二氧化矽粉少許。
- 4、瑪瑙鉢一個。
- 5、空心圓柱十六個



(圖一)

- 6、木塞三十二個



(圖二) 淺藍色的部分為銅線, 棕綠色的部分為軟木塞, 紅色部分塗

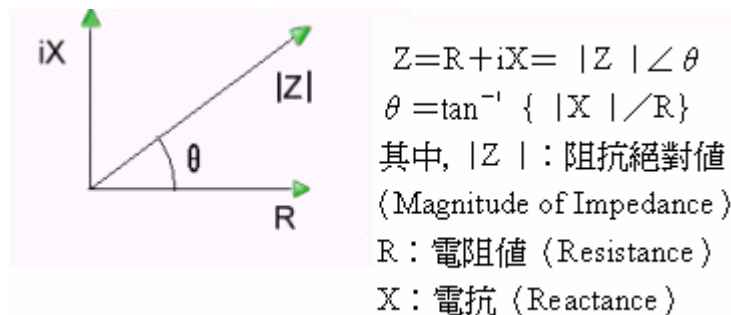
上銀膠加上 AB 膠, 黑色部分為薄銅片。

- 7、電容器十六個



(圖三) 空心圓柱和木塞結合而成,紅色部分為空心, 淺藍色的部分為銅線。

8、阻抗頻譜儀 (HP 4284A RLC Meter)：在實驗中,我們利用電感電容電阻量測儀 (HP 4284A RLC Meter) 來量測樣品的阻抗,電容值和耗損正切,爲了能精確量測樣品的阻抗和電容值,我們利用高頻電感電容電阻分析儀 HP 4284A (LCR analyzer) 來進行實驗,HP 4284A 可再同一測量週期中,同時測量負數阻抗的兩種成份,如 R (電阻) 與 X (電抗)、 $|Z|$  (阻抗絕對值) 與  $\theta$  (相位角) 等等,其量測頻率範圍可從 20Hz 至 1MHz,共有 8610 個量測點,測試電壓訊號  $5\text{mV} \sim 2\text{V}_{\text{rms}}$ ,測試電流訊號  $50 \mu\text{A} \sim 20\text{mA}_{\text{rms}}$ ,鑑別率爲六位,另外,HP 4284A 具有 GP-IB 標準介面,它讓我們能夠再實驗的過程中以電腦化取得所有的實驗數據。



(圖四) 阻抗定義圖

HP 4284A 的測量時間,可由下列兩個因素決定: INTEG TIME 與 AVG

RATE,INTEG TIME 指的是轉換類比信號至數位信號所耗費的時間,一般而言,比較長的轉換時間可以得到比較穩定及準確的結果,本實驗量測時設定的 INTEG TIME 為中等時間 (Medium),AVG RATE 指的是測量平均數,同樣的,比較多的測量平均數可以得到比較穩定及精準的結果,本實驗量測時設定的 AVG RATE 為 16 次,已獲得更精確的實驗結果,另外,在實驗過程中,為了補償一些由於雜散電導、殘留阻抗、電線長度及銀膠接點等原因所造成的量測誤差,在測量之前,必須先作校正:一種是在各頻率(20Hz~1MHz)作開路及短路校正,開路校正補償一些和待測原件平行的雜散電導,短路校正補償一些和待測原件平行的雜散電導,短路校正補償一些和待測原件串聯的殘留阻抗,校正資料是在所有預設的頻率點取得,HP 4284A 共有 48 個校正測試點,而所有量測頻率的校正資料則是利用內差的方法計算;另一種則是在指定的某一頻率作開路、短路及負載的校正,由於本實驗不只針對單一頻率作阻抗量測,而是作阻抗頻譜量測,因此我們採用上述第一種校正。

#### 六、研究步驟:

1、首先準備介電量測樣品,以電子天秤量測三氧化二鐵和二氧化矽的質量均勻混合為配料,以下表(表1)的比例混合配成配料,

(表一)

	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
編號 0	0.200	0
編號 1	0.200	0.004
編號 2	0.200	0.008
編號 3	0.200	0.012
編號 4	0.200	0.016
編號 5	0.200	0.020
編號 6	0.200	0.024
編號 7	0.200	0.028
編號 8	0.200	0.032
編號 9	0.200	0.036
編號 10	0.200	0.040
編號 11	0.200	0.044
編號 12	0.200	0.048
編號 13	0.200	0.052
編號 14	0.200	0.056
編號 15	0.200	0.060

,其中編號 0 的是對照組。

2、爲了更均勻混何配料,用瑪瑙鉢研磨配料,按上表(表一)用編號 0、

1、2.....15 的比例混合並且研磨一次約十到二十分鐘,且每磨完一次,瑪瑙鉢就要用丙銅清洗一次。

3、將放入實驗器材 7 中的空心部分,做成電容器。在用電極接出兩條銅線為導線,即可完成電容器的結構。

4、將夾具 (HP16047D) 接到 HP4284A 上如圖六。

5、設定 HP4284A 的量測參數:INTEG TIME 設定為 Medium,AVG RATE 設定為 16。

6、分別將兩條銅線的一端連接到夾具上,端點斷路,做開路校正,以補償和待測元件平行的雜散電導,端點相接,做短路校正,以補償和待測元件串聯的殘留阻抗。

7、將 GP-IB cable 從電腦上連接到高頻阻抗分析儀,以寫好的 GP-IB 程式控制實驗儀器。。

8、將樣品固定在自製的樣品座上。並將導線接上夾具。

9、開啓電腦進入 GP-IB 程式控制高頻阻抗分析儀。便開始進行量測。

10、量得樣品之電容值  $C_p$  和損耗正切  $D$ 。

11、用 Microsoft Excel 繪表製圖得  $C_p$  與頻率的關係圖及  $D$  與頻率的關係圖。

七、數據與處理

(表 2):

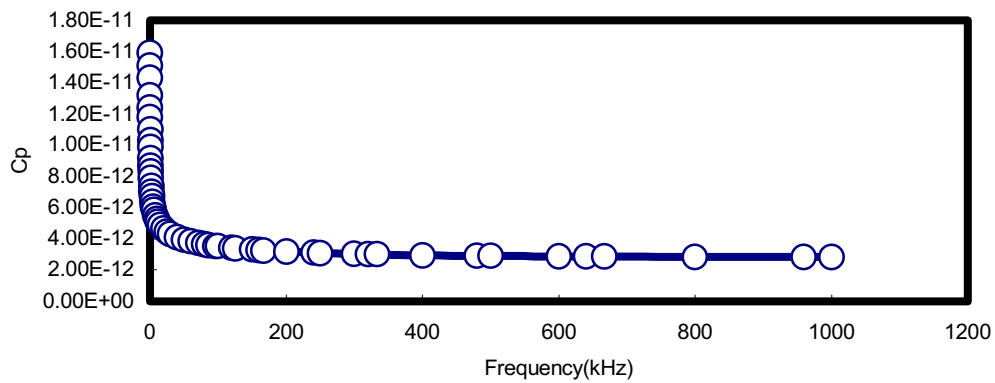
頻率	電容値	耗損値
0.1	1.59E-11	0.706379
0.12	1.51E-11	0.683643
0.15	1.43E-11	0.63758
0.2	1.32E-11	0.601758
0.25	1.24E-11	0.575066
0.3	1.18E-11	0.558234
0.4	1.10E-11	0.530921
0.5	1.03E-11	0.511905
0.6	9.86E-12	0.497765
0.8	9.17E-12	0.476255
1	8.69E-12	0.460896
1.2	8.31E-12	0.448873
1.5	7.88E-12	0.43525
2	7.37E-12	0.417921
2.5	7.01E-12	0.405287
3	6.74E-12	0.395415
4	6.34E-12	0.380462
5	6.05E-12	0.369156

6	5.83E-12	0.360391
8	5.50E-12	0.347407
10	5.27E-12	0.33801
12	5.09E-12	0.330793
15	4.89E-12	0.322605
20	4.64E-12	0.313002
25	4.45E-12	0.305978
30	4.31E-12	0.300242
40	4.10E-12	0.291217
50	3.94E-12	0.28375
60	3.82E-12	0.277254
71.4286	3.71E-12	0.270531
80	3.64E-12	0.265754
85.7143	3.60E-12	0.262645
96	3.53E-12	0.257425
100	3.51E-12	0.25544
120	3.41E-12	0.24653
125	3.39E-12	0.244323
150	3.30E-12	0.234291

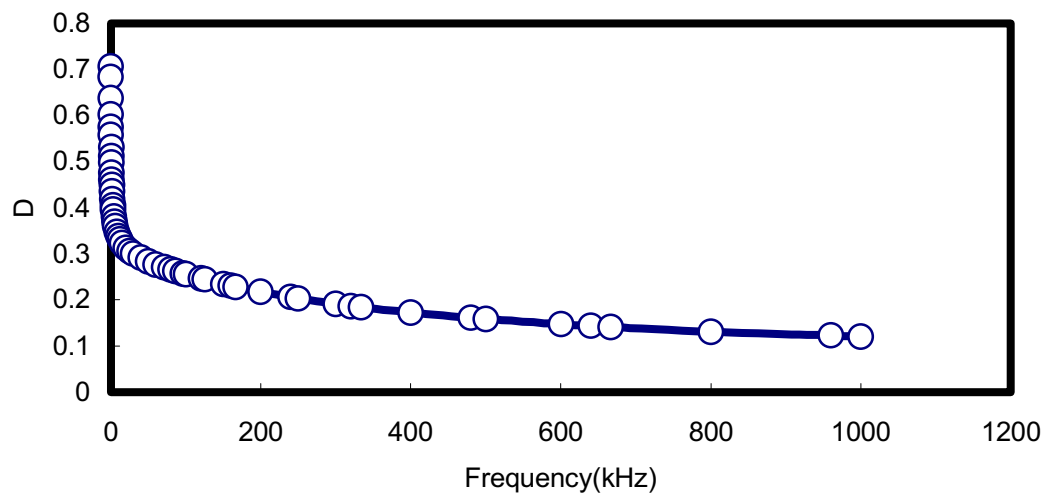
160	3.27E-12	0.230558
166.667	3.26E-12	0.228165
200	3.18E-12	0.217108
240	3.11E-12	0.205583
250	3.09E-12	0.202924
300	3.03E-12	0.191097
320	3.01E-12	0.186655
333.333	3.00E-12	0.184021
400	2.95E-12	0.172187
480	2.91E-12	0.160638
500	2.90E-12	0.158093
600	2.87E-12	0.14714
640	2.86E-12	0.143481
666.667	2.86E-12	0.141131
800	2.84E-12	0.131342
960	2.84E-12	0.122521
1000	2.84E-12	0.1207

:

(圖五) Cp 與頻率的關係圖：



(圖六) D 與頻率的關係圖：



## 六、討論：

1. 爲了瞭解  $C_p$  對頻率特性的影響，本研究對調製的電容器進行  $C_p$  對頻率的量測，如圖五及圖六所示：在低頻率值 0 到 60Hz 以內，其  $C_p$  值變化非常大，明顯的下降，60Hz 到 1000Hz  $C_p$  值變化很小。是故我們所製作的電容器以二氧化矽添加三氧化

二鐵後高頻值其  $C_p$  值較小，是適合於高頻需求的應用上。

2. 耗損值也是在低頻的時候變化大，在低頻率值 0 到 60Hz 以內，其  $D$  變化非常大，明顯的下降，60Hz 到 1000Hz  $D$  值變化很小，耗損值很小，也是適合於高頻需求的應用上。
3. 在製作電容器上，遭遇很多困難如距離會影響測量值，是故我們唯有求其的平均，但是其值就不是非常精確

## 七、結論：

由分析獲得電容值及損耗值隨頻率變化的特性，將有助於明瞭依二氧化矽添加三氧化二鐵後，所導致的介電性質  $C_p$ 、 $D$  等微觀機制，此分析結果可以提供製作材料之依據，進而獲得最佳的  $C_p$ 、 $D$  等頻率變化，成為具有應用潛力的高頻或電容元件。（本研究只是初步，目前還繼續測試中，待比賽時，再提供更完整的報告）。

## 九、參考資料：

參考「陶瓷技術手冊中第十三章傅勝利所著的介電陶瓷自 403 頁到 442 頁。