

明新科技大學 校內專題研究計畫成果報告

奈米級雲母片之介電特性研究

Dielectric properties of nano-mica

計畫類別： 整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-97-自然-03

執行期間：97年3月1日至97年9月30日

計畫主持人：梅瑞國

共同主持人：丁逸

計畫參與人員：蔣大鵬

處理方式：除涉及專利或其他智慧財產權外得立即公開，
唯必要時本校得展延發表時限。

可立即對外提供參考

(請打√) 一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

執行單位：通識部自然科學組

中華民國 97年10月28日

中文摘要

本研究計畫將片狀雲母製作成奈米級雲母片樣品，利用精密阻抗分析儀，量測樣品在不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數。

從實驗中可以發現：

1. 摻雜比例雜質 20%以下的奈米雲母樣品，其介電常數與各類奈米雲母樣品密度成正比，介電常數依頻率從低到高呈現下降驅勢。
2. 相同密度、不同成份奈米雲母樣品，其介電常數隨摻雜物濃度增加而降低。

關鍵詞： 奈米雲母、介電常數

ABSTRACT

The nano-mica nanostructures were fabricated with layer mica composites. The dielectric properties including dielectric constants (real part and loss tangent) and permittivity were measured using LCR (Inductance Capacitance Resistance) meter . The dielectric measurements were performed within the frequency range from 40 Hz to 30 MHz at room temperature.

The findings were summarized as follows.

1. In the samples containing impurities below 20 wt%, the dielectric constants (real part and loss tangent) were proportional to the density; it decreased with the increasing of frequency.
2. In the samples with identical density but different compositions, dielectric constants decreased with the increasing of concentration of impurities.

Keywords: Nano-mica, Dielectric constants

中文摘要	I
ABSTRACT	II
目錄	IV
圖目錄與表目錄	V

目錄

一、研究動機與目的	1
二、原理	2
三、研究方法	7
四、結果與討論	11
五、結論	15
參考文獻	16

圖目錄

圖 1 奈米雲母之層狀結構	1
圖 2 水氣穿越奈米複合材料路徑圖	2
圖 3 混合物的相關模型	4
圖 4 瓶裝雲母樣品	7
圖 5 平行板式的量測方法	8
圖 6 以保護電極(Guard electrodes)的方式避免邊緣電容(Edge capacitance)的效應	8
圖 7 接觸式量測方法示意圖	9
圖 8 Airgap effects	10
圖 9 Aligent 4294A	11
圖 10 Aligent 16451B	11
圖 11 以分析天平量測樣品圖	11
圖 12 樣品置入壓克力模具圖	11
圖 13 NM-959 及 NM-977 在不同密度下介電常數隨頻率變化關係圖	12
圖 14 NM-957 及 NM-955 在不同密度下介電常數隨頻率變化關係圖	12
圖 15 NM-953 及 NM-952A 在不同密度下介電常數隨頻率變化關係圖	12
圖 16 NM-959 及 NM-977 在不同密度下損耗角正切隨頻率變化關係圖	13
圖 17 NM-957 及 NM-955 在不同密度下損耗角正切隨頻率變化關係圖	13
圖 18 NM-953 及 NM-952A 在不同密度下損耗角正切隨頻率變化關係圖	13
圖 19 六類奈米雲母樣品在頻率 15MHz 下介電常數隨密度變化關係圖	14
圖 20 六類奈米雲母樣品在密度相同時介電常數與頻率變化關係圖	15

表目錄

表 1 Airgap 產生的誤差	10
------------------	----

一、研究動機與目的

上個世紀末至本世紀初，由於奈米材料相關科技產品發展快速，對人類生活的改善，起了非常大的作用。

奈米雲母(Nano Mica)是 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$ 的片狀結構體，其層狀結構如圖 1 所示

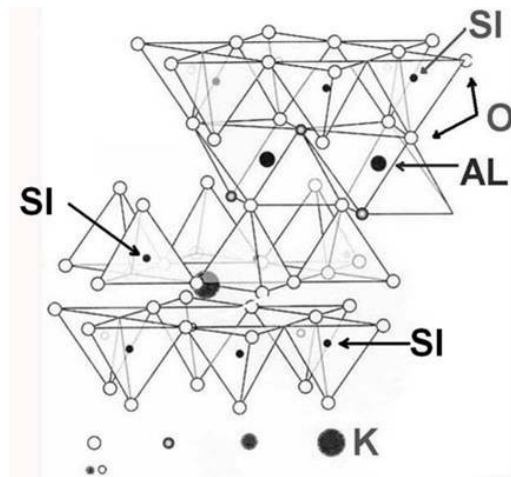
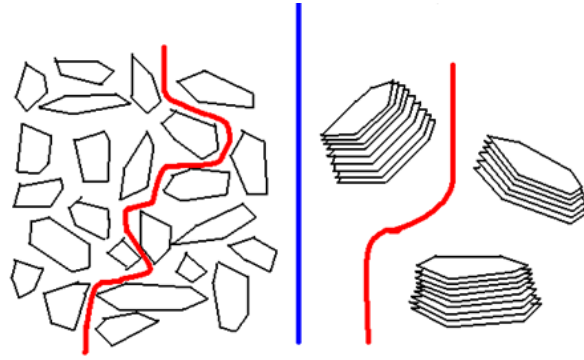


圖 1 奈米雲母之層狀結構

它是二維的片狀結構，單分子層的厚度是 1 nm (奈米)，直徑為 100~1000 nm (主要落點為 300~600 nm)。

特性如下

1. 具有高縱橫比，使得 Nano Mica 和有機高分子材料之間，有較大接觸面積的作用，創造出 Nano Mica 比其他零維、一維的奈米材料更優越的物理特性。
2. Nano Mica 上、下層表面都是負電荷。
3. 已經達到完全脫層分散 (不需要插層再脫層)，在有機/無機混合材料中，有效形成三度空間網狀結構。
4. Nano Mica 所形成的三度空間網狀結構，可以產生阻水(圖 2)、阻氣的功能，並且具有抗 UV、抗氧化、破裂強度增加、抗張強度增加、耐燃、提高熱變型溫度等功能。



奈米雲母脫層分散

雲母粉微米化

圖 2 水氣穿越奈米複合材料路徑圖

本研究目的是將片狀雲母製作成奈米級雲母片樣品，利用精密阻抗分析儀，量測樣品在不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數，藉此對樣品的介電性質作進一步的了解。

二、原理

1. 介電常數(dielectric constant)和損耗角正切(loss tangent)

從電磁學的基本知識^[1]，當介電質極化時會產生極化電荷密度 ρ_p ，其在介電質內產生的電場，與在真空中產生的不同，靜電學中有關電場的散度公式必須修正：

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} (\rho + \rho_p) \quad (1)$$

體電荷密度 ρ_p 為

$$\rho_p = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P} \quad (2)$$

\vec{P} 為極化向量，結合式(1)及式(2)，得到

$$\vec{\nabla} \cdot (\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) = \rho \quad (3)$$

式(3)中將 $(\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P})$ 定義成另一個基本場量 \vec{D} ：電通密度(electric flux density)或稱電位移(electric displacement)，即

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (\text{C/m}^2) \quad (4)$$

結合式(3)及式(4)，得到下式

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (\text{C/m}^3) \quad (5)$$

其中 ρ 為自由電荷的體密度。

當介質的介電特性是線性(linear)且各向同性(isotropic)時，極化向量正比於電場強度，比例常數和電場的方向無關，寫成

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E} \quad (6)$$

其中 χ_e 是一個無因次量，稱為電極化率(electric susceptibility)。若 χ_e 和 \vec{E} 無關，則介質的介電性為線性，若和空間座標無關，則介質的介電性為均勻的(homogeneous)。結合式(4)與式(6)，得到下式

$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} = \epsilon \vec{E} \quad (7)$$

$$\text{其中 } \epsilon_r = 1 + \chi_e = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (8)$$

這是一個無因次的常數，稱為此介質的相對介電係數(relative permittivity)或介電常數(dielectric constant)。係數 $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ 則為絕對介電係數(absolute permittivity，通常簡稱為介電係數)，其單位為法拉/公尺(F/m)。空氣的介電常數約為 1.00059；此與真空中的介電常數極接近。

在外加時變電場於介質物體上，便會使物體內的束縛電荷發生微小的位移，而產生極化。極化向量的變化頻率將和外加電場的變化頻率相同。然而當頻率增加時，荷電粒子的慣性將阻止該粒子隨電場做出相同的變化，即會產生一個導致功率消耗的摩擦阻尼機制，此時必須作功以克服阻力。可以用複數的電極化率來描述這種相位不匹配的極化現象，所以便產生複數的介電常數。通常把阻力及歐姆損耗之效應同時歸在複數介電常數的虛部內，即：

$$\epsilon = \epsilon' - i\epsilon'' \quad (\text{F/m}) \quad (9)$$

其中 ϵ' 及 ϵ'' 都可以是頻率的函數。

介電常數虛部與數實部比值: ϵ''/ϵ' ，可以用來衡量介質中功率損耗，故稱之為損

耗角正切(loss tangent，或稱損耗因數)，即

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (10)$$

式中的 δ 稱之為損耗角。

2. 介電常數跟頻率的關係^[2]

介電體材料的極化可分為下類四種，電子極化(electronic polarization)、離子極化(ionic polarization)、方位極化(orientation polarization)和界面極化(interface polarization)，在考慮外加直流電場於介質時。極化因正負電荷分別朝相反方向移位而產生，外加電場至極化產生需耗費某些時間。而外加交流電場時，則每隔半週期移位之方向會改變。然而提高交流電場的頻率時，移位速度無法跟上電場的變化，極化 P 減少。由此可知頻率愈高則介電常數越低，此種現象稱為介電分散(dielectric dispersion)。

3. 與介電常數、損耗因數相關的理論模型

過去許多研究嘗試以各種模型方法^{[3][4]}，發展出介電材料與其他種材料的混合物，最佳化其介電特性，因此便發展出介電材料與其他種材料的混合物，通常以混合物材料的分佈型式，可以歸類出四種類別，如圖 3 所示

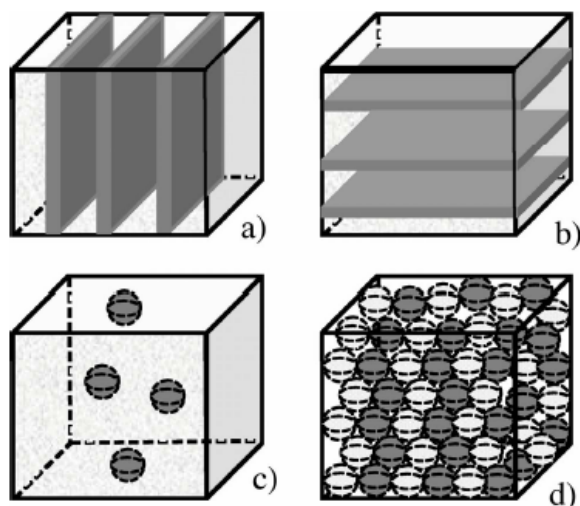


圖 3 混合物的相關模型 (a)圓柱模型，(b)層狀模型，(c) 球型嵌入式模型，
(d)彼此隨機分佈的模型

(1).圓柱模型(columnar model)，此種結構是由不同的物質依層狀構造來排列組成，其外加電場與其界面方向成平行。

(2).層狀模型(layered model)，此種結構也是由不同的物質依層狀構造來排列組成，然其

外加電場與其界面方向成垂直。

(3).球型嵌入式模型(spherical inclusion model)，此種結構則是由一物質成球狀嵌入在另一物質中。其中兩物質體積比，球狀嵌入的物質遠小於另一個物質。

(4).彼此隨機分佈的模型(random distribution of the components)，此種結構是由兩物質彼此互相隨機分佈，通常會用另一性質相近的物質來模擬近似。

在此針對層狀模型做進一步的探討，關於層狀結構的模型，從靜電學的觀點來看，我們可以把它想像成近似於由不同的電容來串連所組成的。因此它的介電常數跟損耗角正切可由公式推導來加以計算，公式如下：

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (11)$$

C 為電容， ε 是介電常數，A 是面積，d 是厚度。當電容串聯時

$$\frac{1}{C_{eff}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (12)$$

C_{eff} 為混合物的電容， C_1 跟 C_2 分別代表兩物質的電容。結合上述公式(11)和公式(12)，並且引入一個參數 q，q 為其中一物質的體積濃度。則公式(12)可以改寫為

$$\frac{1}{\varepsilon_{eff}} = \frac{(1-q)}{\varepsilon_1} + \frac{q}{\varepsilon_2} \quad (13)$$

ε_{eff} 為混合物的有效介電常數， ε_1 跟 ε_2 分別代表兩物質的介電常數。如此便可由公式(13)來計算混合物的有效介電常數。

此外關於外加電場大小與介電常數對物質的關係，在此定義一個參數調變率(tunability)，即

$$n = \frac{\varepsilon(0)}{\varepsilon(E)}, \quad (14)$$
$$n_r = \frac{\varepsilon(0) - \varepsilon(E)}{\varepsilon(0)} = 1 - \frac{1}{n}$$

公式(14)中， n 為調變率， n_r 為相對的調變率， $\varepsilon(0)$ 、 $\varepsilon(E)$ 分別為零外加電場與非零外加電場時的介電常數。

另外關於損耗角正切的方面，我們知道在介電物質中，其能量的消散(energy dissipated)是正比於介質複數介電常數的虛數部份：

$$W_1 + W_2 = W_{eff} \quad (15)$$

其中 W_1 、 W_2 跟 W_{eff} 分別是兩物質跟混合物的能量消散。而能量消散

$$W = \frac{\omega}{2} \varepsilon'' \langle E \rangle^2 V \quad (16)$$

公式(16)中， ω 為頻率， $\langle E \rangle$ 為當外加交流電場於物質時的平均電場強度， V 為物質體積。結合上述公式(15)和公式(16)，並且引入體積參數 q ，可以把(15)式重新改寫為

$$\frac{\omega}{2} \varepsilon_1'' E_1^2 (1-q)V + \frac{\omega}{2} \varepsilon_2'' E_2^2 qV = \frac{\omega}{2} \varepsilon_{eff}'' \langle E \rangle^2 V \quad (17)$$

這裡 E_1 跟 E_2 分別表示外加交流電場於物質時，兩物質的電場強度。另外由於 loss tangent $\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon'$ ，加上電位移的連續性(continuity of electric displacements)，且電場的變化對於介電物質影響很小，把上述條件帶入，公式(17)可以改寫成

$$\tan \delta_{eff}(q) = \frac{\tan \delta_1 \varepsilon_2 (1-q) + \tan \delta_2 \varepsilon_1 q}{(1-q)\varepsilon_2 + \varepsilon_1 q} \quad (18)$$

因此便可算出混合物的損耗角正切。

三、研究方法

樣品

奈米雲母樣品共有六類，代號及其成份如下所示

1. **NM-959** (100% nanomica)
2. **NM-977** (95% nanomica, 5% $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)
3. **NM-957** (85% nanomica, 15% $\text{SiH}_4(\text{A})$)
4. **NM-955** (85% nanomica, 15% $\text{SiH}_4(\text{B})$)
5. **NM-953** (85% nanomica, 15% SiO_2)
6. **NM-952A** (80% nanomica, 20% quaternary ammonium chlorides)

每類樣品約 50g 置於 600ml 瓶中，載體為空氣，如圖 4 所示



圖 4 瓶裝雲母樣品

量測儀器

利用 Agilent Technologies 公司的阻抗量測裝置，即 Agilent 4294A 和 16451B 介電量測製具，來量測樣品的介電常數^[5]。此裝置是利用平行板電容的原理，如圖 5 所示。

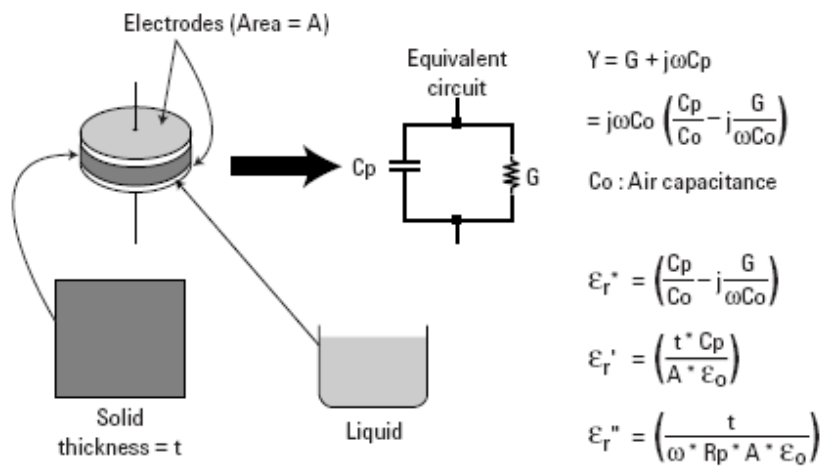


圖 5 平行板式的量測方法

利用三明治夾層方式，在上、下兩電極中間夾入一薄的固體材料或液體材料，然後量測其電容，並用來計算其介電常數。在實際的量測過程中，先將兩電極跟一介電物質建構成三明治夾層的構造，接著利用阻抗量測裝置來量測其電容的向量組成及其能量消散。最後利用電腦軟體來計算其介電常數(Dielectric constant)與損耗角正切(Loss tangent)。

在實際量測過程中，電場的分布如圖 6 所示。當我們在兩電極中間量測介電物質時，在兩電極的邊緣會產生邊緣電容(Edge capacitance)的效應，如此將會造成實驗上的量測錯誤。因此利用保護電極(Guard electrodes)的方式以吸收邊緣電極所產生的邊緣電容，如此可以避免量測上的誤差。

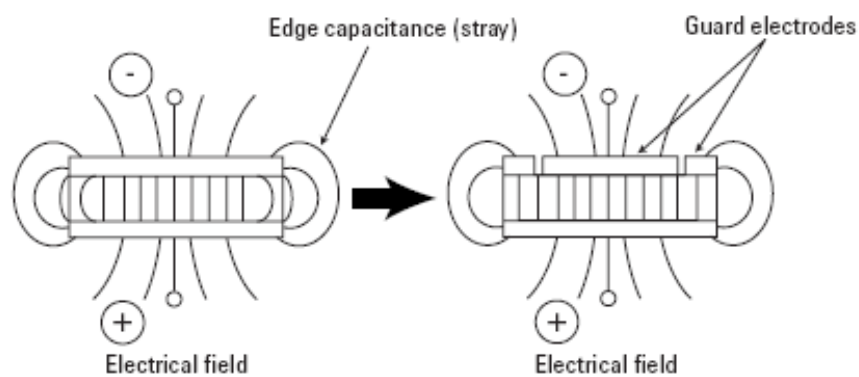


圖 6 以保護電極(Guard electrodes)的方式避免邊緣電容(Edge capacitance)的效應

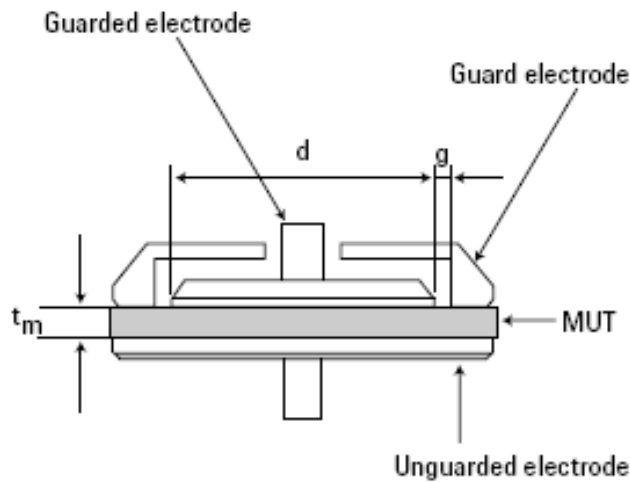


圖 7 接觸式量測方法示意圖

在量測介電材料時，我們利用的是接觸式的方法，如圖 7 所示，這方法是利用兩電極與介電材料的直接接觸來求得介電常數與損耗角正切。而介電常數與損耗角正切，可以經由公式(19)求得：

$$\epsilon_r = \frac{t_m \times C_p}{A \times \epsilon_0} = \frac{t_m \times C_p}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \epsilon_0} \quad (19)$$

C_p ：待測物的平行板電容(F)

D ：消散因子(量測值)

t_m ：待測物的平均厚度(m)

A ：保護電極的表面面積(m²)

d ：保護電極的直徑(m)

ϵ_0 ：自由空間的介電常數 8.854×10^{-12} (F/m)

接觸式的方法，因為並不需要事先對待測樣品進行前置準備，因此這是一個利用範圍非常廣泛的方法。然而由於在量測會產生空氣間隔效應(Airgap effects)，如圖 8 所示，如果不把此加以考慮的話會產生重大的誤差。而此空氣間隔的效應可以利用薄膜電極來量測樣品，進行排除。因此額外的製作一薄膜電極是必要的，而藉此可以來進行更精確的量測。表 1 列出由空氣間隔效應所產生的量測誤差。

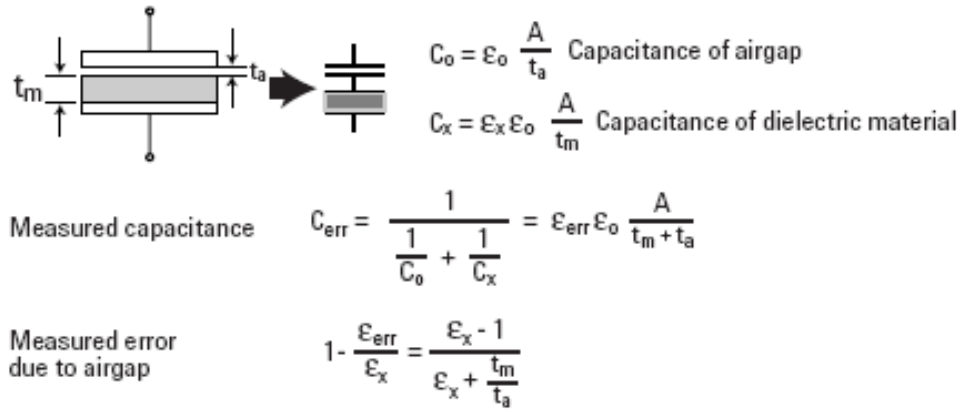


圖 8 Airgap effects

表 1 Airgap 產生的誤差

$\epsilon_r' / \frac{t_a}{t_m}$	2	5	10	20	50	100
0.001	0.1%	0.4%	1%	2%	5%	9%
0.005	0.5%	2%	4%	9%	20%	33%
0.01	1%	4%	8%	16%	33%	50%
0.05	5%	16%	30%	48%	70%	83%
0.1	8%	27%	45%	63%	82%	90%

圖 9 及圖 10 為 aligent 4294A 與 16451B。

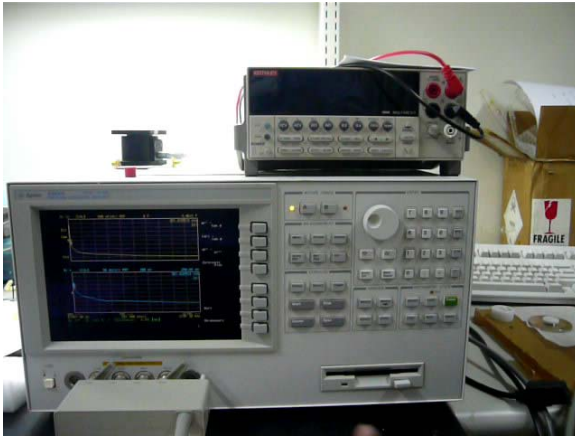


圖 9 Aligent 4294A



圖 10 Aligent 16451B

本研究使用的奈米雲母樣品皆為極小之粉狀物，先以分析天平量測質量(圖 11)後置入精確規格之壓克力(PMMA)模具中(圖 12)，利用 Aligent 4294A 及 16451B 測量各種樣品在不同密度下介電常數與損耗角正切隨頻率變化關係圖，並對相關的物理量作圖，比較分析，以了解其物性。



圖 11 以分析天平量測樣品圖

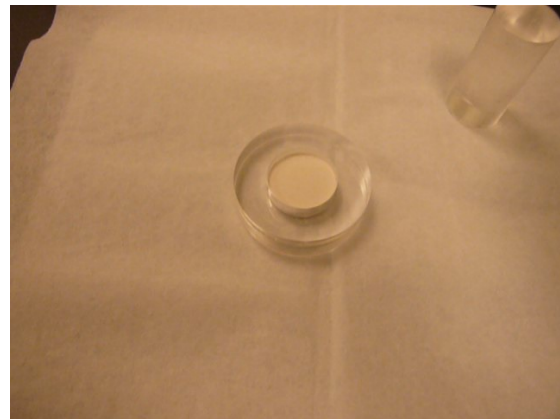


圖 12 樣品置入壓克力模具圖

四、結果與討論

六類奈米雲母樣品，成份如下所示

1. **NM-959** (100% nanomica)
2. **NM-977** (95% nanomica, 5% $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)
3. **NM-957** (85% nanomica, 15% $\text{SiH}_4(\text{A})$)
4. **NM-955** (85% nanomica, 15% $\text{SiH}_4(\text{B})$)
5. **NM-953** (85% nanomica, 15% SiO_2)
6. **NM-952A** (80% nanomica, 20% quaternary ammonium chlorides)

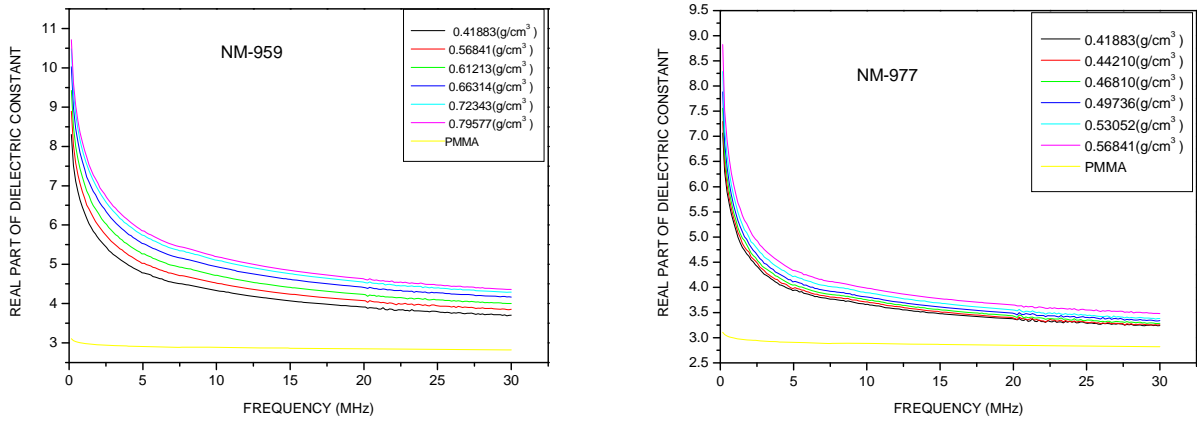


圖 13 NM-959 及 NM-977 在不同密度下介電常數隨頻率變化關係圖

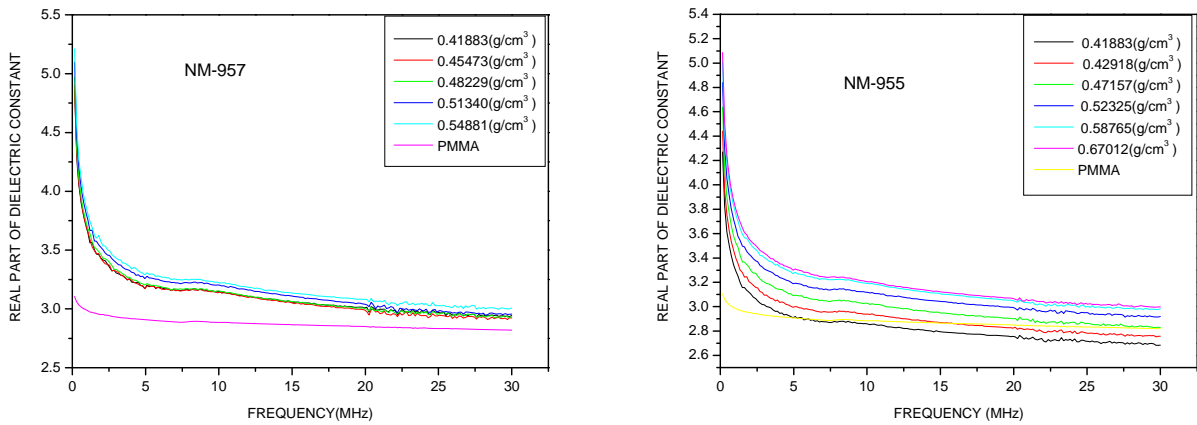


圖 14 NM-957 及 NM-955 在不同密度下介電常數隨頻率變化關係圖

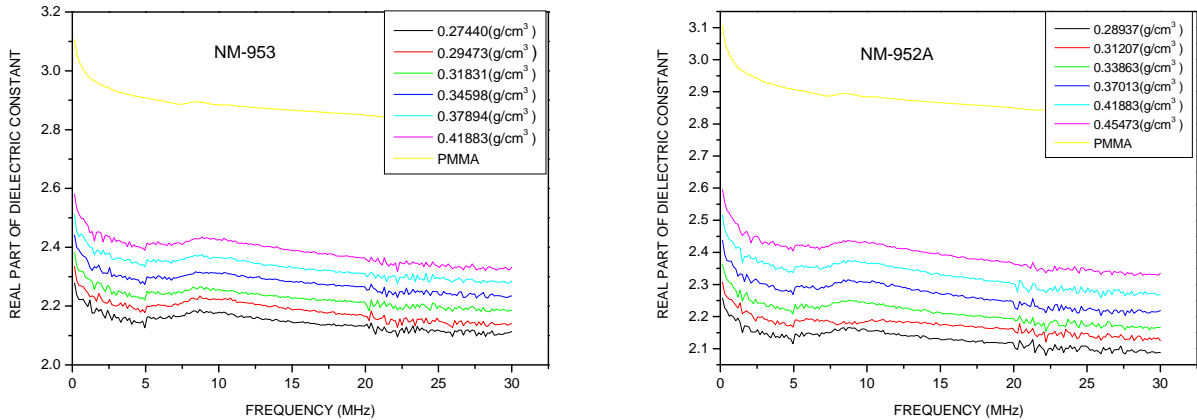


圖 15 NM-953 及 NM-952A 在不同密度下介電常數隨頻率變化關係圖

從圖 13~15 中我們可以看到六類奈米雲母樣品，其介電常數與樣品密度成正比，介電常數依頻率從低到高而有下降驅勢，PMMA 為本實驗所使用的壓克力模具，其介電常數依頻率分布在 3.10~2.82。

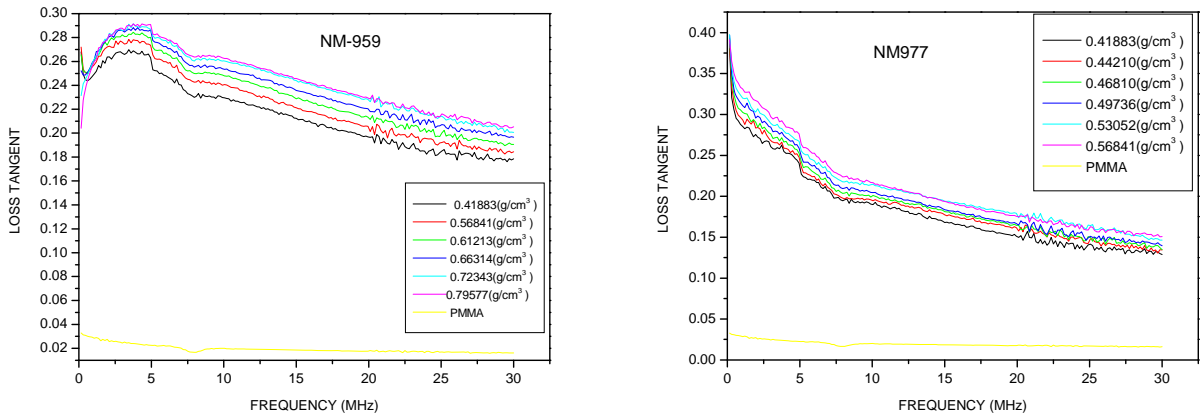


圖 16 NM-959 及 NM-977 在不同密度下損耗角正切隨頻率變化關係圖

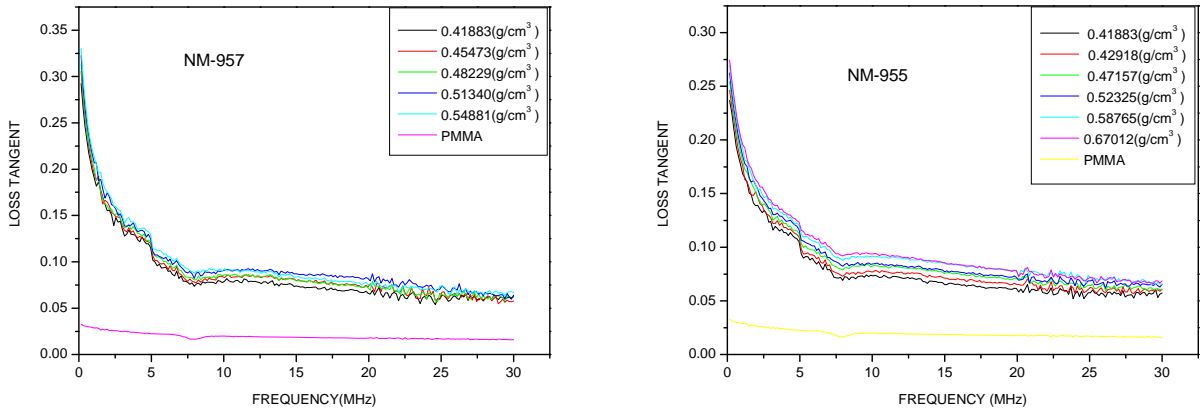


圖 17 NM-957 及 NM-955 在不同密度下損耗角正切隨頻率變化關係圖

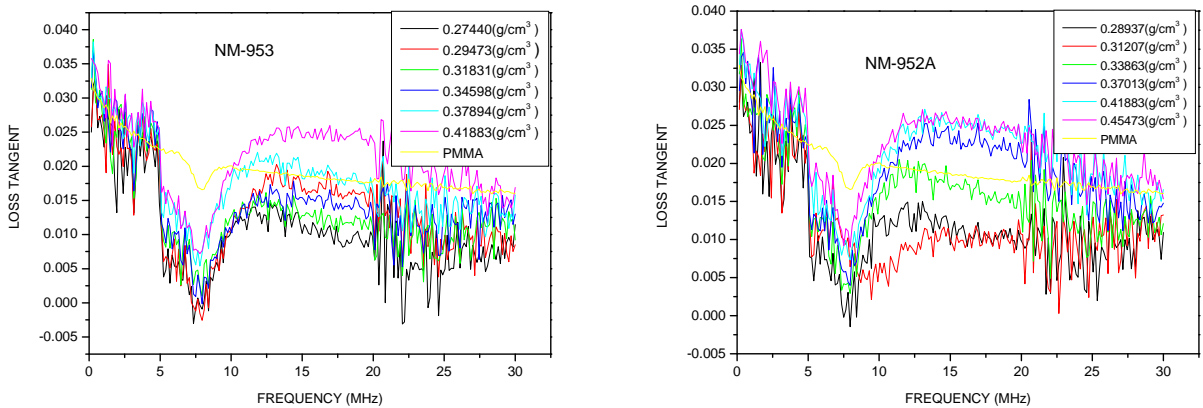


圖 18 NM-953 及 NM-952A 在不同密度下損耗角正切隨頻率變化關係圖

由圖 16 及 17 說明樣品 NM-959、977、957 及 955 的 loss tangent 比 PMMA 高，且隨著頻率上升而有下降的趨勢，圖 18(樣品 NM-953 及 NM-952) loss tangent 與 PMMA 接近。從上述六類奈米雲母樣品的介電常數與 loss tangent 兩者來看。介電常數方面有隨著頻率

上升而下降的趨勢, loss tangent 大致上亦有隨著頻率上升而下降的趨勢。此這一現象剛好可以與我們在原理第 2 點所討論做一驗證，隨著頻率的上升，某些極化現象無法跟上頻率的變化，因而導致極化現象的消失。隨著某些極化的消失，總極化量減少，介電常數也隨之下降。而本實驗結果中的介電常數隨頻率上升而下降的現象，剛好符合原理第 2 點所作的討論。

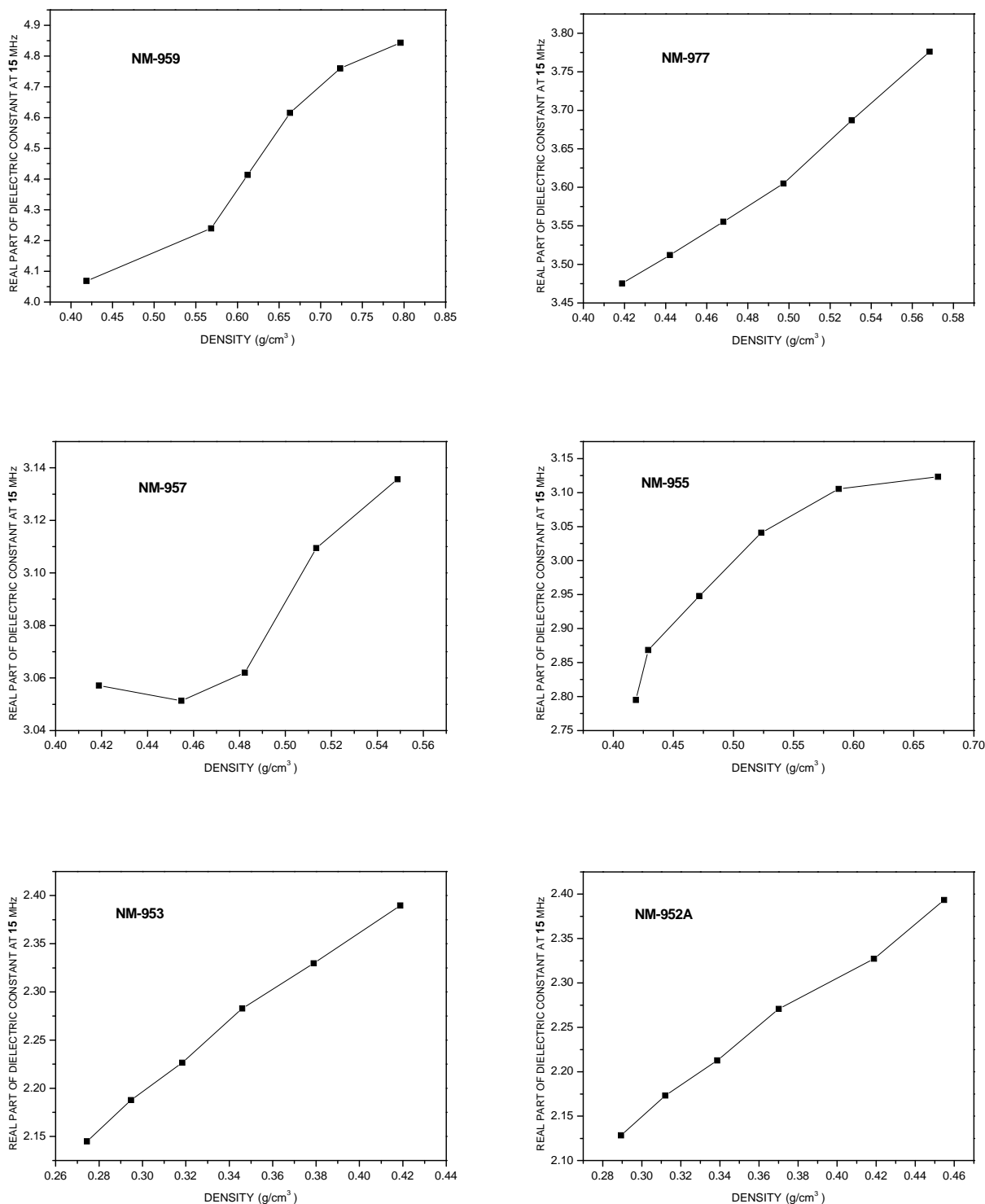


圖 19 六類奈米雲母樣品在頻率 15MHz 下介電常數隨密度變化關係圖

圖 19 說明不同成份奈米雲母樣品在頻率 15MHz 下介電常數大致與密度成正比。

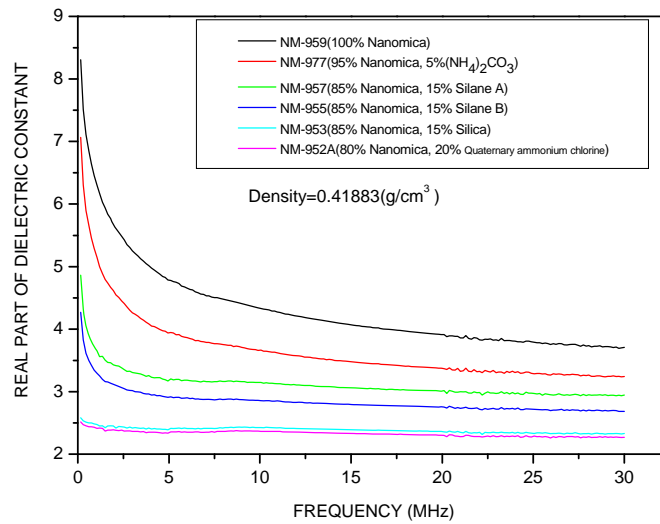


圖 20 六類奈米雲母樣品在密度相同時介電常數與頻率變化關係圖

圖 20 說明不同成份奈米雲母樣品在密度相同時($0.41883(\text{g}/\text{cm}^3)$), 介電常數隨摻雜物品濃度增加而降低。

五、結論

1. 摻雜低比例雜質(20%以下)的奈米雲母樣品, 其介電常數與各類奈米雲母樣品密度成正比, 介電常數依頻率從低到高呈現下降驅勢。
2. 相同密度、不同成份奈米雲母樣品, 其介電常數隨摻雜物品濃度增加而降低。

誌謝

感謝明新科技大學在研究過程中經費補助、中央研究院物理研究所姚永德教授的指導, 丁逸老師、蔣大鵬老師以及中央研究院物理所袁輔德博士的協助, 使專題研究計畫能順利完成。

參考文獻

- [1] David K. Cheng , “Field and Wave Electromagnetics 2/e”,(Addison-Wesley, 1998)
- [2] 白木靖寬, 吉田貞史, and 王建義編譯, “薄膜工程學”, (全華科技圖書館股份有限公司, 2006).
- [3] K.F. Astafiev*, V.O. Sherman, A.K. Tagantsev, and N.Setter, “Can the addition of a dielectric improve the figure of merit of a tunable material?”, Journal of European Ceramic Society 23, 2381-2386(2003).
- [4] V.O.Sherman, A.K. Tagantsev, and N.Setter, “Tunability and Loss of the Ferroelectric-Dielectric Composites”, Applications of Ferroelectrics, 14th IEEE International Symposium on (ISAF-04), 33-38 (2004)
- [5] “Agilent Solution for Measuring Permittivity and Permeability with LCR Meters and Impedance Analyzers”, (Agilent Technologies, 2006)

明新科技大學 97年度 研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input type="checkbox"/> 工學院 <input type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input checked="" type="checkbox"/> 人文社會科學院 執行系別：自然教學中心 計畫主持人：梅瑞國 職稱：專任助理教授 計畫名稱：奈米級雲母片之介電特性研究 計畫編號：MUST-97-自然-03 計畫執行時間：97年3月1日至97年9月30日					
計畫執行成效	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; vertical-align: middle;">教學方面</td> <td style="padding: 5px;"> 1. 對於改進教學成果方面之具體成效： <u>瞭解奈米級雲母片，在在不同密度、不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數與頻率關係。</u> 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>訓練學生如何使用精密阻抗分析儀量測奈米級雲母片的介電常數。</u> 3. 其他方面之具體成效： <u>任何材料的介電常數是頻率的函數，且隨材料的密度、摻雜物濃度不同而改變。</u> </td> </tr> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; vertical-align: middle;">學術研究方面</td> <td style="padding: 5px;"> 1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否 計畫名稱：_____ 2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/>已發表 <input type="checkbox"/>預定投稿/審查中 <input checked="" type="checkbox"/>否 發表期刊(研討會)名稱：_____ 發表期刊(研討會)日期：____年__月__日 3. 該計畫是否有衍生產學合作案、專利、技術移轉等，請說明： _____ _____ </td> </tr> </table>	教學方面	1. 對於改進教學成果方面之具體成效： <u>瞭解奈米級雲母片，在在不同密度、不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數與頻率關係。</u> 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>訓練學生如何使用精密阻抗分析儀量測奈米級雲母片的介電常數。</u> 3. 其他方面之具體成效： <u>任何材料的介電常數是頻率的函數，且隨材料的密度、摻雜物濃度不同而改變。</u>	學術研究方面	1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 計畫名稱：_____ 2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input checked="" type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱：_____ 發表期刊(研討會)日期：____年__月__日 3. 該計畫是否有衍生產學合作案、專利、技術移轉等，請說明： _____ _____
教學方面	1. 對於改進教學成果方面之具體成效： <u>瞭解奈米級雲母片，在在不同密度、不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數與頻率關係。</u> 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>訓練學生如何使用精密阻抗分析儀量測奈米級雲母片的介電常數。</u> 3. 其他方面之具體成效： <u>任何材料的介電常數是頻率的函數，且隨材料的密度、摻雜物濃度不同而改變。</u>				
學術研究方面	1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 計畫名稱：_____ 2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input checked="" type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱：_____ 發表期刊(研討會)日期：____年__月__日 3. 該計畫是否有衍生產學合作案、專利、技術移轉等，請說明： _____ _____				
成果自評	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center; vertical-align: middle;">成果自評</td> <td style="padding: 5px;"> <p>計畫預期目標：本研究計畫將片狀雲母製作成奈米級雲母片樣品，利用精密阻抗分析儀，量測樣品在不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數。樣品結構與組成以 X-ray 繞射儀及 EDS 來鑑定；樣品表面形貌以掃瞄式電子顯微鏡(FE-SEM)及原子力顯微鏡(AFM)來觀察。</p> <p>計畫執行結果：由於受限於補助經費，故只能分析樣品在不同密度及不同頻率範圍下的介電特性。</p> <p style="text-align: right;">預期目標達成率：70%</p> <p>其它具體成效：</p> 1. 摻雜比例雜質 20%以下的奈米雲母樣品，其介電常數與各類奈米雲母樣品密度成正比，介電常數依頻率從低到高呈現下降驅勢。 2. 相同密度、不同成份奈米雲母樣品，其介電常數隨摻雜物濃度增加而降低。 </td> </tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;">(若不敷使用請另加附頁繕寫)</p>	成果自評	<p>計畫預期目標：本研究計畫將片狀雲母製作成奈米級雲母片樣品，利用精密阻抗分析儀，量測樣品在不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數。樣品結構與組成以 X-ray 繞射儀及 EDS 來鑑定；樣品表面形貌以掃瞄式電子顯微鏡(FE-SEM)及原子力顯微鏡(AFM)來觀察。</p> <p>計畫執行結果：由於受限於補助經費，故只能分析樣品在不同密度及不同頻率範圍下的介電特性。</p> <p style="text-align: right;">預期目標達成率：70%</p> <p>其它具體成效：</p> 1. 摻雜比例雜質 20%以下的奈米雲母樣品，其介電常數與各類奈米雲母樣品密度成正比，介電常數依頻率從低到高呈現下降驅勢。 2. 相同密度、不同成份奈米雲母樣品，其介電常數隨摻雜物濃度增加而降低。		
成果自評	<p>計畫預期目標：本研究計畫將片狀雲母製作成奈米級雲母片樣品，利用精密阻抗分析儀，量測樣品在不同頻率範圍(40~30MHz)下的介電常數。樣品結構與組成以 X-ray 繞射儀及 EDS 來鑑定；樣品表面形貌以掃瞄式電子顯微鏡(FE-SEM)及原子力顯微鏡(AFM)來觀察。</p> <p>計畫執行結果：由於受限於補助經費，故只能分析樣品在不同密度及不同頻率範圍下的介電特性。</p> <p style="text-align: right;">預期目標達成率：70%</p> <p>其它具體成效：</p> 1. 摻雜比例雜質 20%以下的奈米雲母樣品，其介電常數與各類奈米雲母樣品密度成正比，介電常數依頻率從低到高呈現下降驅勢。 2. 相同密度、不同成份奈米雲母樣品，其介電常數隨摻雜物濃度增加而降低。				

