



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I529746 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 04 月 11 日

(21)申請案號：099143559

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 12 月 13 日

(51)Int. Cl. : H01B13/06 (2006.01)

H01B17/64 (2006.01)

H01B19/04 (2006.01)

C08K9/02 (2006.01)

(30)優先權：2009/12/14 美國

61/286,247

(71)申請人：3 M新設資產公司(美國) 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY (US)
美國(72)發明人：索瑪西里 娜娜雅卡拉 利耶娜吉 鄧 SOMASIRI, NANAYAKKARA LIYANAGE
DON (US)；蔣鵠 JIANG, GE (CN)；拜倫 吉米 瑞 二世 BARAN, JIMMIE RAE,
JR. (US)；維瑞瑞葛文 巴特里 VEERARAGHAVAN, BADRI (US)；羅堤斯 安
琪拉 查理斯 LOTTES, ANDREW CHARLES (US)；修恩 保羅 維 HUYNH,
PAUL VAN (US)；高許 迪潘卡爾 GHOSH, DIPANKAR (IN)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 200621892A

US 4726991

US 6251513B1

審查人員：郭炎淋

申請專利範圍項數：18 項 圖式數：9 共 30 頁

(54)名稱

彈性體組合物，電應力控制裝置及製造電應力控制裝置之方法

ELASTOMERIC COMPOSITION, ELECTRICAL STRESS CONTROL DEVICE AND METHOD OF
MAKING THE ELECTRICAL STRESS CONTROL DEVICE

(57)摘要

本發明提供一種包含聚合物材料、分散於該聚合物材料中之填充材料及分散於該聚合物材料中之導電材料之組合物，該填充材料包括無機粒子及非連續排列之導電材料，其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸。

Provided is a composition comprising a polymeric material, a filler material dispersed in the polymeric material, the filler material comprising inorganic particles and a discontinuous arrangement of conductive material wherein at least a portion of the conductive material is in durable electrical contact with the inorganic particles, and conductive material dispersed in the polymeric material.

指定代表圖：

I529746

TW I529746 B

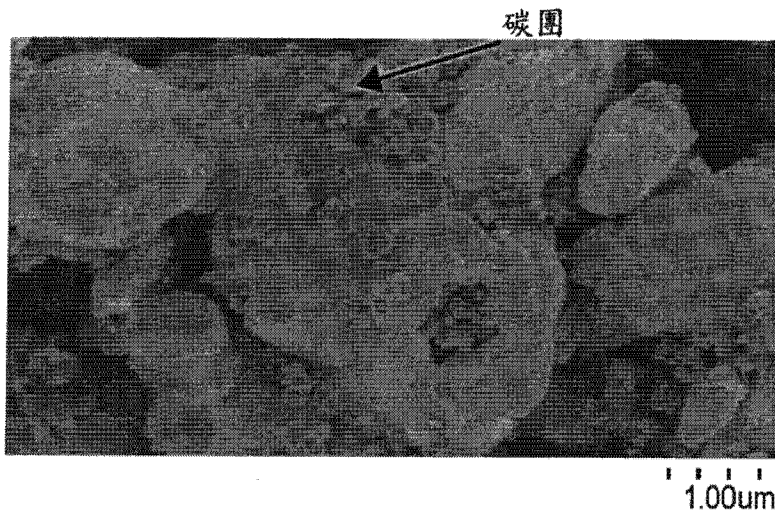


圖 1

發明專利說明書

中文說明書替換頁(104年6月) 5B

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：099143559

H01B 13/06 (2006.01)

※ 申請日：99年12月13日

※IPC 分類：C08L

17/64 (2006.01)

19/04 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

C08K 9/02 (2006.01)

彈性體組合物，電應力控制裝置及製造電應力控制裝置之方法

ELASTOMERIC COMPOSITION, ELECTRICAL STRESS CONTROL
DEVICE AND METHOD OF MAKING THE ELECTRICAL STRESS
CONTROL DEVICE

二、中文發明摘要：

本發明提供一種包含聚合物材料、分散於該聚合物材料中之填充材料及分散於該聚合物材料中之導電材料之組合物，該填充材料包括無機粒子及非連續排列之導電材料，其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸。

三、英文發明摘要：

Provided is a composition comprising a polymeric material, a filler material dispersed in the polymeric material, the filler material comprising inorganic particles and a discontinuous arrangement of conductive material wherein at least a portion of the conductive material is in durable electrical contact with the inorganic particles, and conductive material dispersed in the polymeric material.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

(無元件符號說明)

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種具非線性介電常數及其他適用於電應力消除之特性之介電材料。

本申請案主張2009年12月14日申請之美國臨時專利申請案第61/286,247號之權利，其揭示內容以全文引用的方式併入本文中。

【先前技術】

高介電常數(Hi-K)彈性體複合材料常用於電纜附件中，以控制電場應力在接合及終端位置上之形成。通常，此等材料係經碳黑填充之彈性體，如EPDM及聚矽氧，其提供用於消除應力之一定範圍的介電(K)值。此等彈性體複合材料亦含有鈦酸鋇(BT)或具有極高介電常數(Hi-K)之無機填料。爲了獲得此等高介電常數之複合材料，通常需要高填料含量(>50體積%)。此等高含量大幅降低所得複合材料之可加工性及機械特性。對於諸多聚合物基質而言，此等程度之含量並不很實用。對於填充碳之複合材料而言，碳粉之體積含量應接近滲濾臨限值，其非常難以控制。對於某些基於聚矽氧之系統而言，已使用Hi-K聚合物添加劑(如表氯醇)，以提高所得複合材料之介電常數。此等類型之複合材料一般具有高介電損失(耗散因子)。因此，該複合材料可導致介電材料之溫度上升，其可能超過連接器及電纜之熱負載能力。

【發明內容】

本發明之一實施例之特徵為一種新穎組合物，其包括：聚合物材料；分散於該聚合物材料中之填充材料，該填充材料包括無機粒子及非連續排列之導電材料，其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸；及分散於該聚合物材料中之導電材料。

本發明之另一實施例之特徵為一種新穎物件，其包括：一包括分散於聚合物材料中之填充材料及分散於該聚合物材料中之導電材料之電應力控制裝置，該填充材料包括無機粒子及非連續排列之導電材料，其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸。

本發明之另一實施例之特徵為一種製造電應力控制裝置之新穎方法，其包括：

形成包括無機粒子及非連續排列之導電材料之填充材料，其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸，

將該填充材料摻合至聚合物材料中，以形成聚合物組合物，及

使該聚合物組合物形成應力控制裝置。

如本發明中所使用：

導電材料與無機粒子之間的「電接觸」意指該導電材料之一部份接觸或充分物理接近該無機粒子，以使得電荷可在該導電材料與該無機粒子之間傳導，藉此使電流直接或藉由在施加小於該聚合物材料之崩潰電壓之電壓場下形成歐姆接觸跳躍或穿隧效應而流動；

「持久電接觸」意指該電接觸不會因在組合物處理步驟期間所遇到之混合及剪切力而實質上改變；及

「滲濾臨限值」意指必須填充以首先形成無限連續之導電通路之晶格點之臨限分率。

以上發明內容不意欲描述本發明之各揭示實施例或各項實施。以下圖表及詳細描述更特定地例舉說明性實施例。

【實施方式】

在以下較佳實施例之詳細描述中，可參考形成本文之部份之附圖。該等附圖示例顯示可實現本發明之具體實施例。應瞭解，在不偏離本發明之範疇下，可使用其他實施例，且可進行結構或邏輯變化。因此，不應將以下詳細描述視為限制性，且本發明之範疇係由所附申請專利範圍所限定。

本發明實施例包括新穎填充材料，如彼等圖1中所示者。該填充材料包括無機粒子，及以持久電接觸形式固定於其上之導電材料(如導電粒子)。如下文中將更詳細解釋，該導電材料係以如下方式施加至該等無機粒子上：其在該等無機粒子與導電材料之間提供足夠的電(例如，靜電)或化學引力，以抑制在操作及隨後之材料處理步驟期間該導電材料自該等無機粒子分離。隨後，可將與該導電材料以持久電接觸固定之無機粒子添加至聚合物材料中，以形成介電組合物。此等組合物具有顯著優於傳統填充碳之聚合物之電學特性。

在某些實施例中，如圖2所示，藉由首先使鈦酸鋇(無機

鐵電體陶瓷)粒子之表面與具有高空隙體積及高導電率之高度結構化形式之導電碳粉(其標稱粒徑為40 nm)(如可以商標名 ENSACO 250 G 購自 TimCal Graphite & Carbon Corp., Bodio, Switzerland者)以持久電接觸固定,且隨後分散於聚矽氧聚合物(具有SiO骨架之聚合物)基質中來製備該等組合物。所得之彈性體組合物經固化後,具有高介電常數(>20)、低損失(<0.04)及高介電崩潰強度(>140 V/mil),且意外地顯示電場依賴性電容率(非線性)。此等不導電(低損失)組合物顯示隨著電場增加,介電常數逐漸增加之獨特非線性特性。在某些較佳實施例中,該組合物中之鈦酸鋇體積含量係大於20體積%且鈦酸鋇對碳之體積%比例係在約6與約12之間。然而,此等組合物之斷裂延伸率係小於約150%,所以其最適用於無需優越機械特性之應用。

在本發明之其他實施例中,獲得良好的機械特性及獨特的非線性電學特性。在此等實施例中,該組合物包括由含於聚矽氧橡膠基質中之以下物質組成之彈性體複合材料:
(a)高介電常數填料,如經奈米矽石(即,奈米尺寸的矽石顆粒)改質之鈦酸鋇(25體積%), (b)碳粉(3.0體積%)及(c)聚矽氧油(包含具有SiO骨架之寡聚物之油)(10體積%)。經奈米矽石改質之鈦酸鋇與該聚矽氧油添加劑之獨特組合實質上提高利用聚矽氧基質之填料(鈦酸鋇)分散及加固性。因此,此組合物顯示改良的機械(斷裂延伸率 $>300\%$ 、抗拉強度372至520 psi)及電學(介電常數23至30,耗散因子 <0.05)

及崩潰強度180至210 V/mil)特性，且具有較佳的改善脈衝性能之導電性曲線。此等改良的特性使本發明組合物及物件之至少某些實施例尤其適用於需要優越的機械特性之高壓電纜附件(如，冷收縮應用)中之應力控制。

某些改善特性係藉由使用經奈米矽石改質之填料(鈦酸鋇)與聚矽氧油添加劑之獨特組合改善利用聚矽氧橡膠之填料分散及加固性而實現。該經奈米矽石改質之填料之一實例係示於圖3中。如圖4所示，該複合材料顯示整個矽氧基質中之均質粒子分佈，且亦具有實質上改善之電學特性。

適用於本發明無機粒子之材料包括(例如)BaTiO₃粒子、BaSrTiO₃粒子、CaCu₃Ti₄O₁₂粒子(包括例如在800°C之溫度下經煅燒或燒結之粒子)、及SrTiO₃粒子、或其混合物。此等粒子可係純的或可藉由(例如)摻雜或添加其他成分經改質。較佳地，該等無機粒子之相對介電常數大於80。該等無機粒子可具有任何適宜的形狀，如球體、板形、片狀體、立方體、針狀體、扁球狀、類球體、金字塔形、棱柱體、絮片體、棒形、纖維、碎片、晶鬚等、或其混合物。該等無機粒子之適宜尺寸(例如直徑)之下限為約0.7 μm至約1.0 μm，且上限為約0.8 μm至約2.1 μm。

本發明者發現，本發明組合物之至少某些實施例之機械特性可藉由利用奈米矽石修飾該等無機粒子來增強。例如，已發現經奈米矽石改質之鈦酸鋇與聚矽氧油之組合實質上增強鈦酸鋇在聚矽氧聚合物材料基質中之分散及加固

性。藉由於甲苯中將該鈦酸鋇與經疏水性改質之奈米粒子混合，並蒸發甲苯來實現用奈米矽石修飾該鈦酸鋇。利用陶瓷大理石搖晃經乾燥之材料，以減少粒子聚結。隨後，將該經奈米矽石改質之鈦酸鋇與碳粉一起研磨。奈米矽石粒子對無機粒子之適宜重量%係約0.5至約1.0，較佳係約0.75。該等奈米矽石粒子之適宜尺寸係約1至約50 nm，較佳係約5 nm。通常，其上施加有該等奈米矽石粒子之無機粒子之直徑為約0.8 μm 至約2.1 μm 。

適用於該導電材料之材料包括(例如)碳黑、碳奈米管、具有導電塗層之絕緣顆粒、金屬及金屬粉末，例如鋁、金、銀、鉻、銅、鈮、鎳及其合金。該導電材料可呈任何可塗佈或沉積於該等無機粒子上之適宜形式，如團狀(例如碳粒子團)、個別顆粒、及氣化固體。如果該導電材料係顆粒狀，其可具有任何適宜的形狀，如球體、板形、片狀體、立方體、針狀體、扁球狀、類球體、金字塔形、棱柱體、絮片體、棒形、纖維、碎片、晶鬚等、或其混合物。

可以任何適宜的方式，例如一起研磨、球磨、衝擊塗佈、及磁輔助性衝擊塗佈該導電材料與無機粒子，塗佈、溶劑塗佈、氣相沉積及液相分散該導電材料於該等無機粒子上，或使用任何其他已知之適宜方法，將該導電材料塗佈或固定至該等無機粒子上，使得該導電材料形成非連續排列，其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸。可將該等導電材料施用至該等無機粒子之表面

之小或大區域。施用至該等無機粒子之導電材料之適當數量之確定係取決於各種因素，如該組合物中之材料之組合(例如，導電材料、無機粒子、聚合物、添加劑)、及該材料之預期用途。

該基礎聚合物材料可選自大範圍之聚合物。在某些情況下，需要兩種或多種聚合物之摻合物，且所選擇之聚合物至少在一定程度上將取決於該材料之用途。單獨或以摻合物形式存在之適宜聚合物之實例包括彈性體材料(例如，聚矽氧或EPDM)；熱塑性聚合物(例如，聚乙烯或聚丙烯)；黏合劑(例如，彼等基於乙烯醋酸乙烯酯者)；熱塑性彈性體；凝膠；熱固性材料(例如環氧樹脂)；或此等材料之組合，其包括共聚物，例如聚異丁烯與非晶形聚丙烯之組合、表氯醇聚合物、氟彈性體聚合物、及表氯醇與氟彈性體聚合物之摻合物。

該等組合物亦可包括其他用於此等材料中已熟知之添加劑，以(例如)提高其針對特定應用之可加工性及/或適用性。就後者而言，例如，用作電纜附件之材料可能需要承受戶外的環境條件。因此，適宜的添加劑可包括處理劑、安定劑、抗氧化劑及增塑劑，例如油(如聚矽氧油)。本發明組合物係藉由將其上固定有導電材料之無機粒子與聚合物及任何所需添加劑混合製得。在該等組合物之諸多實施例中，導電材料(其係與塗佈於該等無機粒子上之導電材料相同或不同)將分散於該聚合物材料中。

在本發明之至少一實施例中，該組合物包括在該等無機

粒子上與該等無機粒子電接觸之非連續排列之導電材料，且另外包括分散於該聚合物材料中之導電材料。該組合物中之導電材料之總量係占達到該組合物之滲濾臨限值所需之導電材料含量的約40至約70體積%。

在本發明之至少一實施例中，該組合物之相對介電常數大於約15，較佳係大於約18，且介電損耗小於約0.12，較佳係小於約0.05。

在本發明之至少一實施例中，該組合物之介電崩潰強度大於約4千伏特/毫米(kV/mm)，較佳係大於約7.2 kV/mm。

在本發明之至少一實施例中，如圖5至9中所示，該組合物之相對介電常數值在施加電壓變化時以非線性方式變化。

在本發明之至少一實施例中，該聚合物材料係彈性體材料且該組合物之斷裂伸長率大於約150%，較佳係大於約300%，且永久形變(根據ASTM D 412-06a)小於約25，較佳係小於約20，更佳係小於約10。

在本發明之至少一實施例中，該組合物之彈性模量大於約150磅/平方英吋，較佳係大於約230磅/平方英吋，且更佳係大於約300磅/平方英吋。

本發明組合物可用於各種應用中之各種物件中，例如噴劑、塗料、膠黏劑、膠帶、及具有限定組態之成形主體。本發明組合物尤其適用於應力控制元件或裝置，如高壓電纜附件，其中可利用該等組合物之非線性特性。可如下製造介電應力控制裝置：根據其介電特性及其幾何組態(根

據在各應用位置所存在之電場之所需改良)進行設計。此等應力控制裝置係至少部份由本發明組合物組成。特別適用的係由成形主體(較佳係套管)組成之介電應力控制裝置或元件，其可置於電纜絕緣體及/或屏蔽物之末端上。具有其他幾何組態之應力控制裝置或元件可用於避免過高的局部電場集中，例如，在斷裂彎頭、轉變或貫通頭接、高壓電纜之饋通及分支處。

在至少一實施例中，該組合物具有彈性體特性。此允許冷收縮待製造之介電應力控制裝置，其係適於電結構組件之不同尺寸或大小。例如，在套管之情況下，同樣可具有足以可應用於電纜絕緣及/或各種厚度之尺寸之彈性。

本發明物件可用於(例如)以下應用中：

- (i) 用於電纜之絕緣，其中此絕緣係位於導體與主要介電質之間或該電纜之屏蔽物與該主要介電質之間。
- (ii) 用於電纜之絕緣，如美國專利第3,666,876號中所述之層化結構。
- (iii) 用於電纜終端之應力控制覆蓋物。根據需要，此等應力控制構件可呈噴劑、塗料、膠黏劑、模製部件、管道或膠帶形式，且可與外部保護層一起使用或不使用該保護層。
- (iv) 用於機器中之定子柱末端或絕緣電導體(例如電機繞組)之兩端之應力控制覆蓋物。
- (v) 避雷器中之應力控制組件。

(vi) 作為絕緣體主體之組件，其中該材料可係外層或內部組件，限制條件為其在使用中係非追蹤性，因此其可用於遮蔽物或管材，以提供用於張力暫停之絕緣體、柱形或套管絕緣體。

雖然本文已闡述及描述特定實施例以描述較佳實施例，但是熟習此項技術者應瞭解在不偏離本發明之範疇下，各種替代及/或等效實施可代替該等所示及所述之特定實施例。本申請案希望涵蓋本文所論述之較佳實施例之任何調整或變化。因此，顯然希望本發明僅限於申請專利範圍及其等效物。

實例

提供以下實例及比較例以助於理解本發明且不應視為限制其範圍。除非另有說明，否則所有份數及百分比係以重量計。以下測試方法及步驟係用於評估以下說明例及比較例：

材料列表

表 1

成分	產品	命名來源
鈦酸鋇	219-6A鈦酸鋇 (0.8-2.1微米)	Ferro Corporation , Cleveland , OH
碳粉	ENSACO250 G (40 nm)	TimCal Graphite & Carbon Corp. , Bodio Switzerland
膠體矽石	NALCO 2326	Nalco , Bedford Park , IL
異辛基三甲氧基矽烷		Gelest , Morrisville , PA
甲基三甲氧基矽烷		Gelest , Morrisville , PA

乙醇80:20		EMD , Gibbstown , NJ
甲醇		VWR , West Chester , PA
液體聚矽氧橡膠	ELASTOSIL LR 3003/30 A/B	Wacker Chemie AG , Munich , Germany
聚矽氧油 (聚二甲基矽氧烷)	DOW CORNING 200 FLUID	Dow Corning Corporation , Midland , MI
矽石		
二氧化鈦		
鈦酸鈣		Alfa Aesar , Ward Hill , MA
鋁粉		Alfa Aesar , Ward Hill , MA
甲苯		Alfa Aesar , Ward Hill , MA

測試方法

1. 相對介電常數及耗散因子(損耗)測量：ASTM D150-98 (2004)
2. 崩潰強度：ASTM D149-09
3. 非線性相對介電常數：藉由將電壓源轉變成1.2微秒/50微秒之脈衝波形所改良之ASTM D150-98 (2004)。
4. 斷裂延伸率：硫化橡膠及熱塑性彈性體之標準拉伸測試法，ASTM D 412-06a，2007年1月出版
5. 永久形變：橡膠之永久拉伸形變-在100攝氏度下22小時—電氣產品標準，3M測試法TM-86D，頒予日期：11/22/1994
6. 體積電阻率(導電率之倒數)：ASTM 257-07。

實例1至5及比較例C1至C5

對於實例1至5而言，首先，藉由將導電粒子分佈於無機

粒子(此情況下係鐵電陶瓷材料)之表面上製備無機填充材料。在此等實例中，使用鈦酸鋇(BT)作為該無機粒子(粒度為0.8至2.1微米)，並使用高度結構化碳粉(ENSACO 250 G)(C)作為該導電材料。藉由在研鉢及研杵中，一起混合及擠壓或研磨5至10分鐘，將該碳粉分佈於該鈦酸鋇粒子之表面上，直至獲得均質分散體(由肉眼確定)。隨後，於液體聚矽氧橡膠基質中摻合所得之填充材料。各實例之最終混合物中之BT與C之體積百分比及BT:C比例係示於表2中。

將所得混合物倒入模具腔(100密耳深及1.25英吋內徑)中，並於壓力機中，在160°C下，部份固化8分鐘。隨後，將其自該模具中移除，並於200°C之對流烘箱中進一步固化4小時。隨後，在環境條件下，測量此等模製圓盤之電學特性，如介電常數、耗散因子及介電崩潰強度。實例C1描述不含碳粉之鈦酸鋇(40體積%)對照樣品。實例C2及C3描述不含鈦酸鋇且含兩種填充量之碳粉(3及5體積%)之對照樣品。使用「加速混合器」(可以商標名稱DAC 150FVZ購自FlackTek, Inc., Landrum, SC)，於液體聚矽氧橡膠中，以3000 rpm分別摻合該鈦酸鋇及碳粉30秒。以與實例1至5相同之方式模製所得之混合物。

在實例C4中，將鈦酸鋇與碳粉混合在一起，但是未研磨。在實例C5中，將碳分散於聚矽氧橡膠基質中，接著添加該等鈦酸鋇粒子。如實例1至5中所述，將所有比較例模製成圓盤並固化。

實例 1 至 5 及比較例 C1 至 C5 之所得模製圓盤之電學特性
係示於表 2 中。

表 2

實例	鈦酸 鋇(體 積%)	碳黑 (體 積%)	BT/C 比	在100 Hz下 之複合材料 介電常數(K)	在100 Hz 下之耗散 因子(D)	介電崩潰強度	混合方法
1	24.5	3	8.17	24.1	0.0346	5.79 kV/mm (147.1 V/mil)	BT/C 研磨
2	27.5	3	9.12	21.1	0.0165	7.25 kV/mm (184.2 V/mil)	BT/C 研磨
3	30.0	3	10	21.7	0.0139	7.10 kV/mm (180.4 V/mil)	BT/C 研磨
4	20.0	3	6.67	14.5	0.0066	9.05 kV/mm (230 V/mil)	BT/C 研磨
5	24.5	2	12.25	9.8	0.0016	11.69 kV/mm (296.9 V/mil)	BT/C 研磨
C1	40.0	0	40	13.5	0.0057	11.58 kV/mm (294.2 V/mil)	NA
C2	0.0	3		5.4	0.0020	12.87 kV/mm (327 V/mil)	NA
C3	0.0	5		188.9	0.6565	3.20 kV/mm (81.4 V/mil)	NA
C4	30.0	3	10	40.6	0.0381	3.84 kV/mm (97.6 V/mil)	BT/C未研 磨
C5	24.5	3	8.17	62.5	0.1415	2.60 kV/mm (66 V/mil)	先分散 C，接著 添加BT

藉由使用非線性相對介電測試，測量表 2 中選定實例之
介電常數隨電場之變化(非線性特性)。此等測試結果係示
於圖 5 中。如圖 5 中所示，實例 1 及 3 顯示介電常數值隨著電
場增加之非線性增加。隨著場強度增加至 5.5 kV/mm，介

電常數值自 24.1 增加至 140(實例 1 中)及自 21.7 增加至 120(實例 2 中)。在彼等實驗條件下，比較例 C1、C2 及 C3 未顯示非線性介電特性。

圖 6 顯示實例 1、3、4、及 5 之介電常數數據。如圖 6 中所示，在所施加電場之範圍內，實例 4 及實例 1 與 3 顯示一些非線性介電特性，而實例 5 未顯示非線性介電特性。

如表 2 中所示，實例 C4 及 C5 之介電崩潰強度值均低於實例 3 及 1，其等分別具有相同的 BT 及 C 含量。實例 C4 之崩潰強度為 3.84 kV/mm (97.6 V/mil) 且實例 C5 之介電崩潰強度為 2.60 kV/mm (66 V/mil)。此外，此等實例中介電常數隨電場之增加比實例 1 及 3 中更快。相比之下，實例 1 及 3 顯示介電常數逐漸增加且在達到該材料之介電崩潰(實例 1 之介電崩潰係 5.79 kV/mm 且實例 3 之介電崩潰係 7.10 kV/mm)之前，可承受顯著更高的場強度。

實例 6 至 8-具有不同 K 值之填料

在此等實例中，用矽石、二氧化鈦、鈦酸鈣、及鈦酸鋇粒子代替鈦酸鋇粒子。如實例 1 至 5 所述般，在研磨 30 體積 % 之各類型無機粒子及 3 體積 % 之碳粉後製備聚矽氧橡膠圓盤。隨後分別測量此等圓盤之電學特性。測試結果與實例 3 之測試結果一起匯總於表 3 中。此外，測量實例 6 至 8 之非線性介電特性。測試結果係示於圖 8 中。

表 3

實例	無機粒子	無機粒子介電常數	複合材料介電常數	耗散因子(D)	介電崩潰強度(V/mil)
6	矽石	3	8.9	0.032	268
7	二氧化鈦	70至80	11.9	0.005	205
8	鈦酸鈣	200至300	18.4	0.014	217
3	鈦酸鋇	2000至4000	21.7	0.0139	180.4

實例 9

在此實例中，用18體積%鋁粉(10微米尺寸)(使用1.5 g/cc之密度算得)代替碳粉。如實例1至5中所述般，在研磨該鋁粉及24.5體積%鈦酸鋇之後，製備聚矽氧橡膠圓盤。所得圓盤之介電常數(K)為20.8且耗散因子為0.022。

實例 10

經疏水性改質之奈米矽石粒子之製法：

將100克膠體矽石(含於水中之16.06重量%固體；5 nm尺寸)、7.54克異辛基三甲氧基矽烷、0.81克甲基三甲氧基矽烷及112.5克乙醇：甲醇之80:20重量/重量%溶劑摻合物之混合物添加至500 ml之3頸圓底燒瓶(Ace Glass，Vineland，NJ)中。將含有該混合物之燒瓶置於設定在80℃下之油浴中，並攪拌4小時，以製備經疏水性改質之奈米矽石粒子。將該等經疏水性改質之奈米矽石粒子轉移至結晶盤中，並在150℃之對流烘箱中乾燥2小時。

鈦酸鋇填料之奈米矽石粒子修飾：

藉由與該等經疏水性改質之奈米矽石粒子(0.75重量%)

混合(使用刮刀)，並分散於過量甲苯中來修飾鈦酸鋇粒子(粒度0.8至2.1微米)。將該鈦酸鋇及奈米矽石粒子混合物搖動過夜，且然後在150°C下蒸發掉甲苯。將所得粉末轉移至大Nalgene瓶中，將四塊大的陶瓷大理石添加至該粉末中並手動搖晃數分鐘。此步驟產生粒子聚結顯著減少之填料組合物。該經奈米矽石粒子改質之鈦酸鋇之掃描電子顯微照片(SEM)示於圖3中。

實例 11：聚矽氧橡膠複合材料之製法：

如實例1至5中所述，用碳粉修飾經奈米矽石粒子改質之鈦酸鋇(NS BT)。用研鉢及研杵將約25體積% NS BT與3.0體積%碳粉一起研磨5至10分鐘，直至獲得均質分散體(由肉眼判定)。使用「加速混合器」(可以商標名DAC 150FVZ購自FlackTek, Inc., Landrum, SC)，於62體積%液體聚矽氧橡膠及10體積%聚矽氧油中，以3000 rpm摻合經研磨之粉末混合物30秒。隨後，將所得之聚矽氧橡膠複合材料倒入模具(3×6×.07英吋)中，並於壓力機中，在160°C下，部份固化10分鐘。隨後，將該部份固化之壓片自該模具移除，並在200°C下進一步固化4小時。該固化壓片之橫截面SEM顯示NS BT粒子在整個聚矽氧基質中均勻分佈(圖4)。

所進行之各測試使用三個樣品，以測定電學及機械特性。該三個樣品之測試結果之範圍係如下所示。

電學特性：

根據ASTM D150-98 (2004)測試步驟，在100 Hz下，測

量介電常數及耗散因子。根據ASTM 257-07測試步驟，在100 Hz下，測量體積電阻率。根據ASTM D149-09測試步驟，測量介電崩潰強度。測試結果之範圍係如下所示：

介電常數：23至30

耗散因子： <0.05

體積電阻率： $1.4 \text{ E}8\text{-E}9 \text{ Ohm/m}$

介電崩潰電壓強度：180至210 V/mil

在25 kV下，藉由使用非線性相對介電常數測試來測量脈衝條件下之電場依賴性相對介電常數。測試結果係示於圖9中。

機械特性：

藉由使用ASTM D412-06a測試步驟，測量抗拉強度、斷裂延伸百分比、模量及永久拉伸形變。測試結果之範圍係如下所示：

抗拉強度：372至498 psi

斷裂延伸率：320至410%

模量：在100%延伸率下為232至255 psi

在200%延伸率下為285至429 psi

在300%延伸率下為300至479 psi

永久拉伸形變：9.4至10.10%

相比於實例11之320至410%斷裂延伸率，未利用NS BT及聚矽氧油製成之實例3之斷裂延伸率為166%。

【圖式簡單說明】

圖1係根據本發明之一實施例之其上固定有碳粉之鈦酸

銀粒子之掃描電子顯微鏡(SEM)數位影像。

圖2係含有如圖1中所示之粒子之聚合物組合物之橫截面SEM數位影像。

圖3係根據本發明之一實施例之經奈米矽石粒子改質之鈦酸銀粒子之SEM數位影像。

圖4係含有如圖3中所示之粒子之聚合物組合物之橫截面SEM數位影像。

圖5顯示本發明材料及對照材料之介電常數隨電場之變化。

圖6顯示本發明材料之介電常數隨電場之變化。

圖7顯示本發明材料及對照材料之介電常數隨電場之變化。

圖8顯示本發明材料之介電常數隨電場之變化。

圖9顯示在25 kV電場下，本發明材料之介電常數隨電場之變化。

七、申請專利範圍：

1. 一種彈性體組合物，其包括：

彈性體材料，

分散於該彈性體材料中之填充材料，該填充材料包括無機粒子及非連續排列之導電材料，

其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸，及

分散於該彈性體材料中之導電材料，

其中該等無機粒子對導電材料之體積比係6至12，及

其中該等無機粒子係經奈米矽石修飾。

2. 如請求項1之組合物，其中該導電材料係選自由以下組成之群：碳黑、碳奈米管、碳粒子團、石墨、具有導電塗層之絕緣顆粒、金屬(如銀、金、鈹、及鋁)、及此等金屬之合金、及其組合。

3. 如請求項1之組合物，其中該填料之導電材料與分散於該彈性體材料中之導電材料不同。

4. 如請求項1之組合物，其中該組合物中之導電材料之總含量係占達到該組合物之滲濾臨限值所需之導電材料含量的40至70體積%。

5. 如請求項1之組合物，其進一步包括在改變施加電壓時以非線性方式變化之相對介電常數值。

6. 如請求項1之組合物，其中該組合物中之無機粒子之體積含量係20至40體積%。

7. 如請求項1之組合物，其中該彈性體材料係聚矽氧，該

填充材料係經奈米矽石改質之鈦酸鋇，該導電材料係碳，且該組合物進一步包括聚矽氧油。

8. 一種電應力控制裝置，其包括：

分散於彈性體材料中之填充材料，該填充材料包括無機粒子及非連續排列之導電材料，

其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸，及該導電材料之一部份係分散於該彈性體材料，

其中該等無機粒子對導電材料之體積比係6至12，及

其中該等無機粒子係經奈米矽石修飾。

9. 如請求項8之裝置，其中該彈性體材料係聚矽氧。

10. 如請求項9之裝置，其中該等無機粒子係經奈米矽石改質之鈦酸鋇。

11. 如請求項8之裝置，其中該填充料之導電材料與分散於該彈性體材料中之導電材料不同。

12. 如請求項8之裝置，其中該導電材料係選自由以下組成之群：碳黑、碳奈米管、碳粒子團、石墨、具有導電塗層之絕緣顆粒、金屬、金屬合金、及其組合。

13. 如請求項8之裝置，其中該裝置中之導電材料之總含量係占達到該裝置之滲濾臨限值所需之導電材料含量的40至70體積%。

14. 如請求項8之裝置，其進一步包括在改變施加電壓時以非線性方式變化之相對介電常數值。

15. 如請求項8之裝置，其中該組合物中之無機粒子之體積

含量係20至40體積%。

16. 如請求項8之裝置，其具有在施加電壓線性增加時，以非線性方式增加之電容值。

17. 一種製造電應力控制裝置之方法，其包括：

形成包括無機粒子及非連續排列之導電材料之填充材料，其中該導電材料之至少一部份係與該等無機粒子持久電接觸，

將該填充材料摻合至彈性體材料中，以形成彈性體組合物，其中該導電材料之至少一部份係分散於該彈性體材料，及

將該彈性體組合物形成為應力控制裝置，

其中該等無機粒子對導電材料之體積比係6至12，及其中該等無機粒子係經奈米矽石修飾。

18. 如請求項17之方法，其中該彈性體材料係聚矽氧，該等無機粒子係經奈米矽石改質之鈦酸鋇，該導電材料係碳，且該彈性體組合物進一步包括聚矽氧油。

八、圖式：

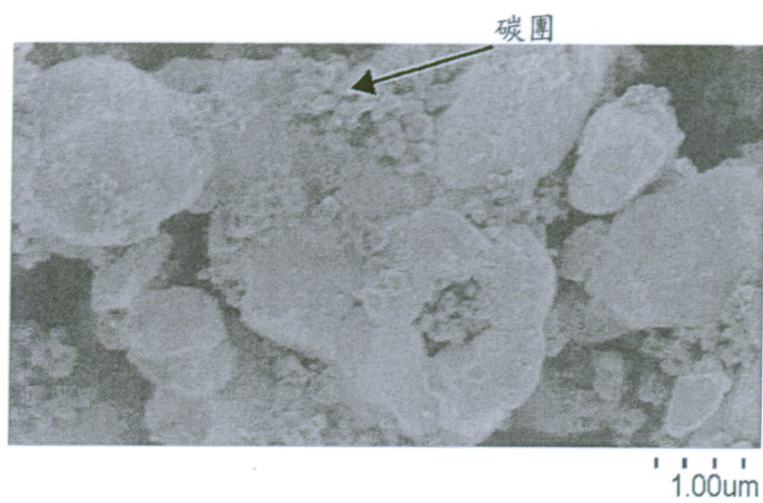


圖 1

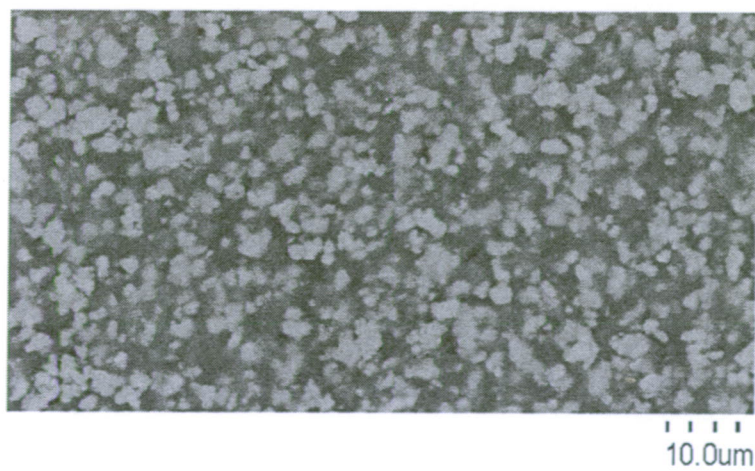


圖 2

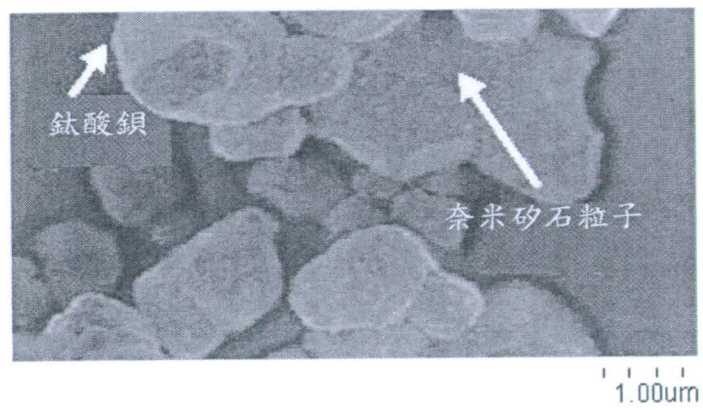


圖 3

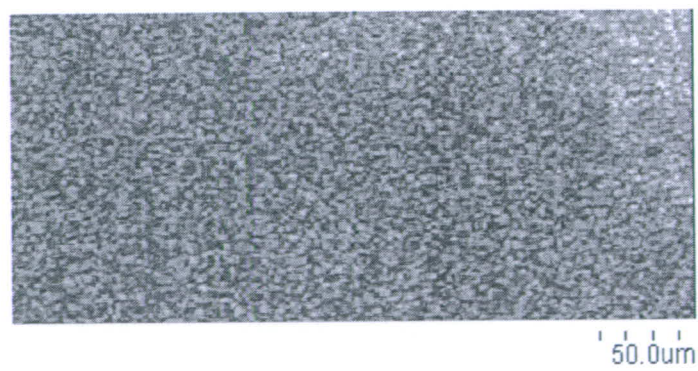


圖 4

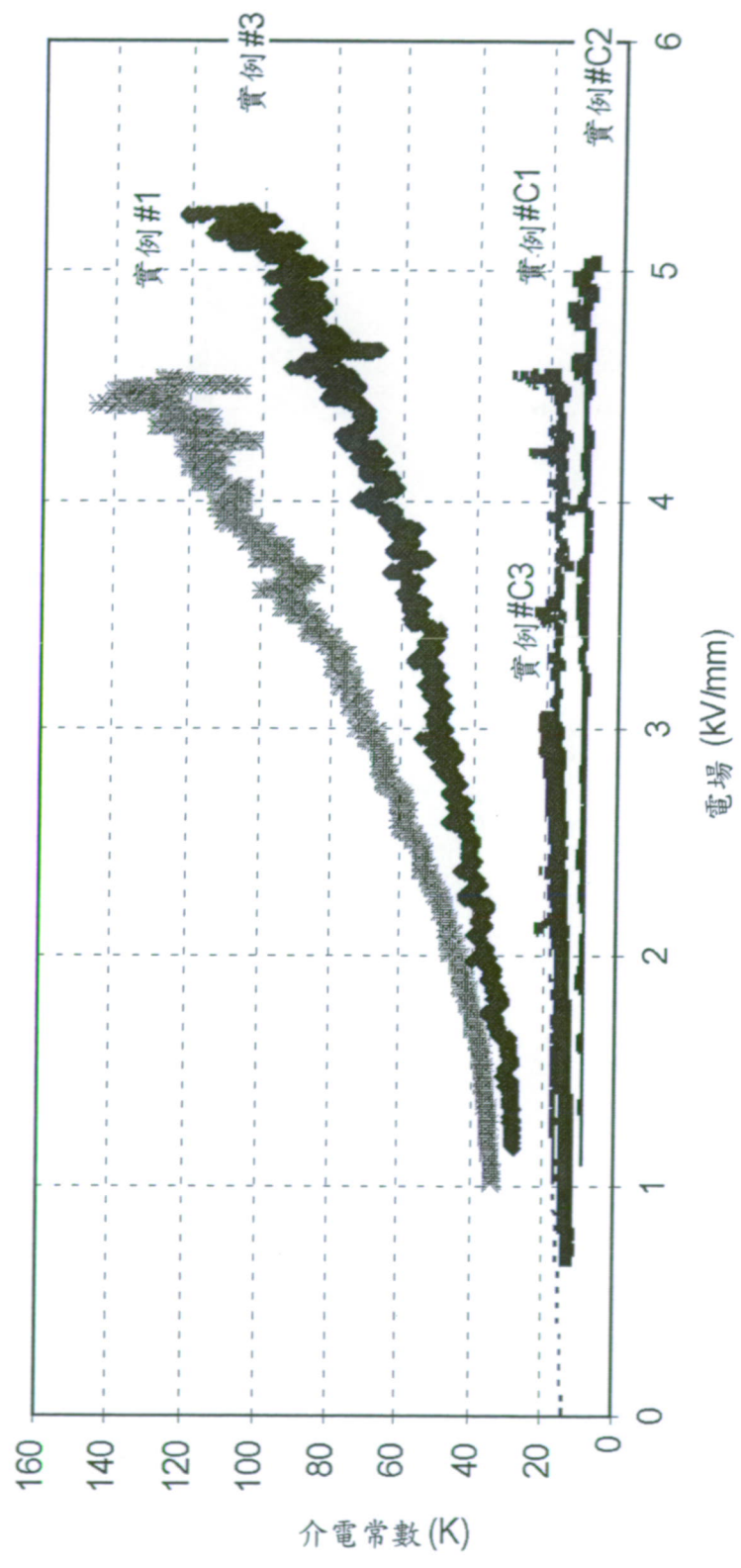


圖 5

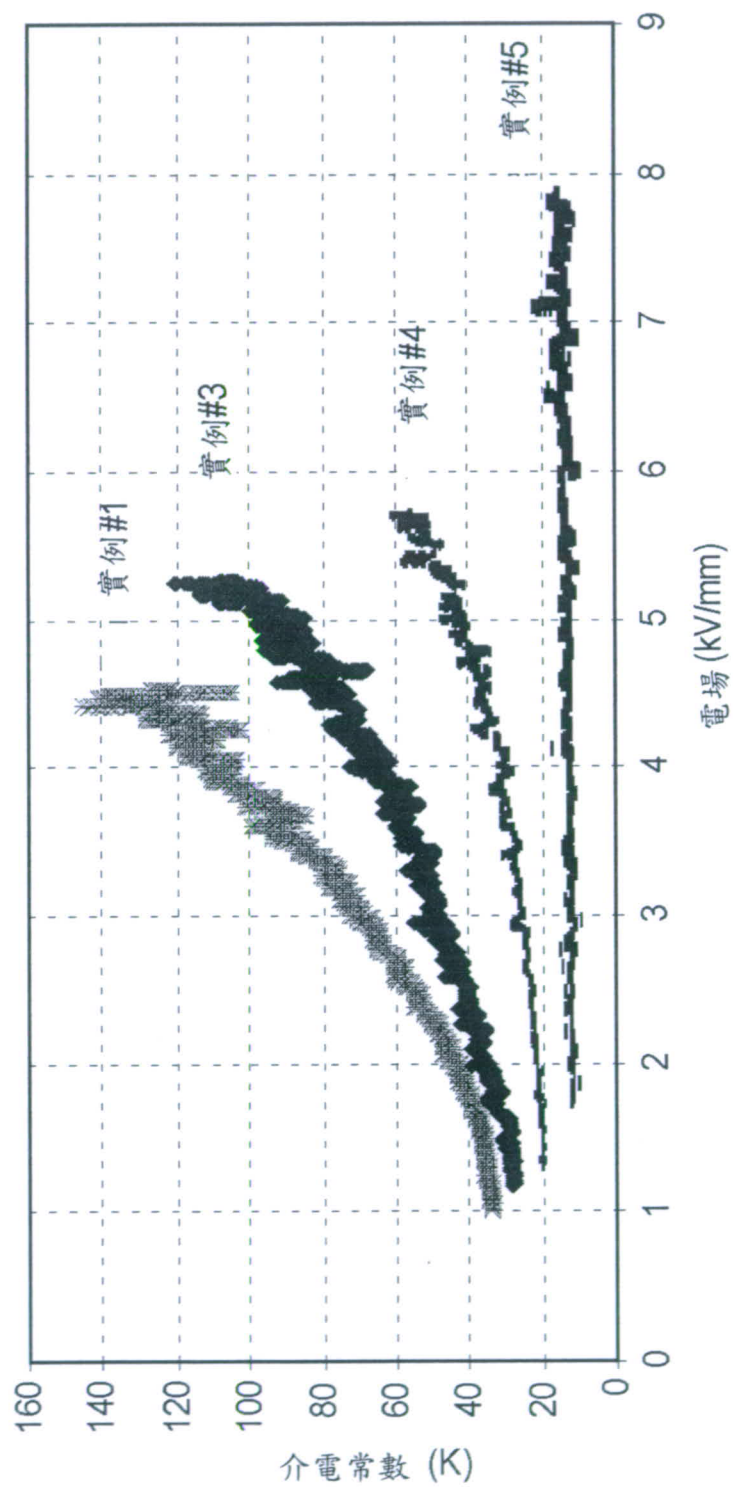


圖6

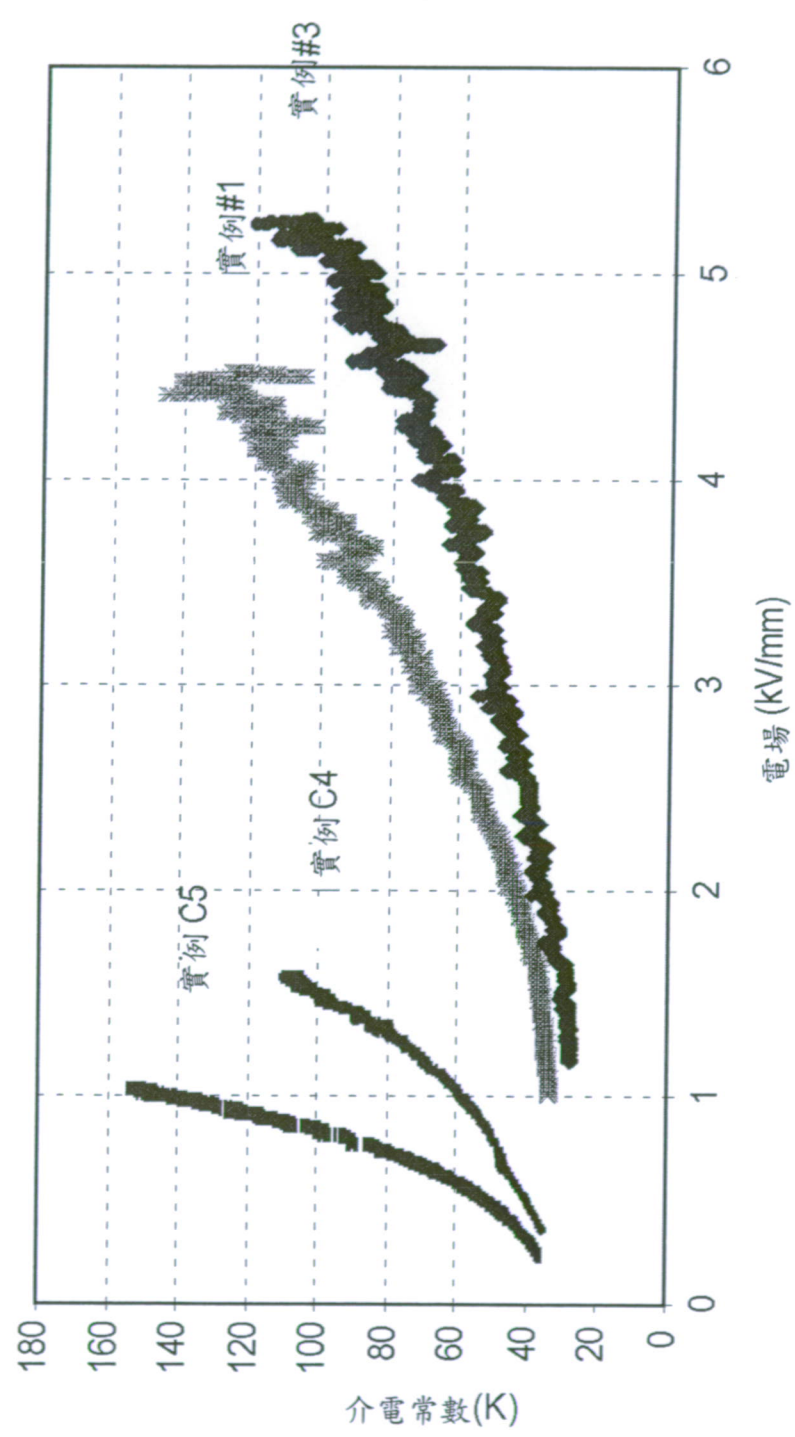


圖 7

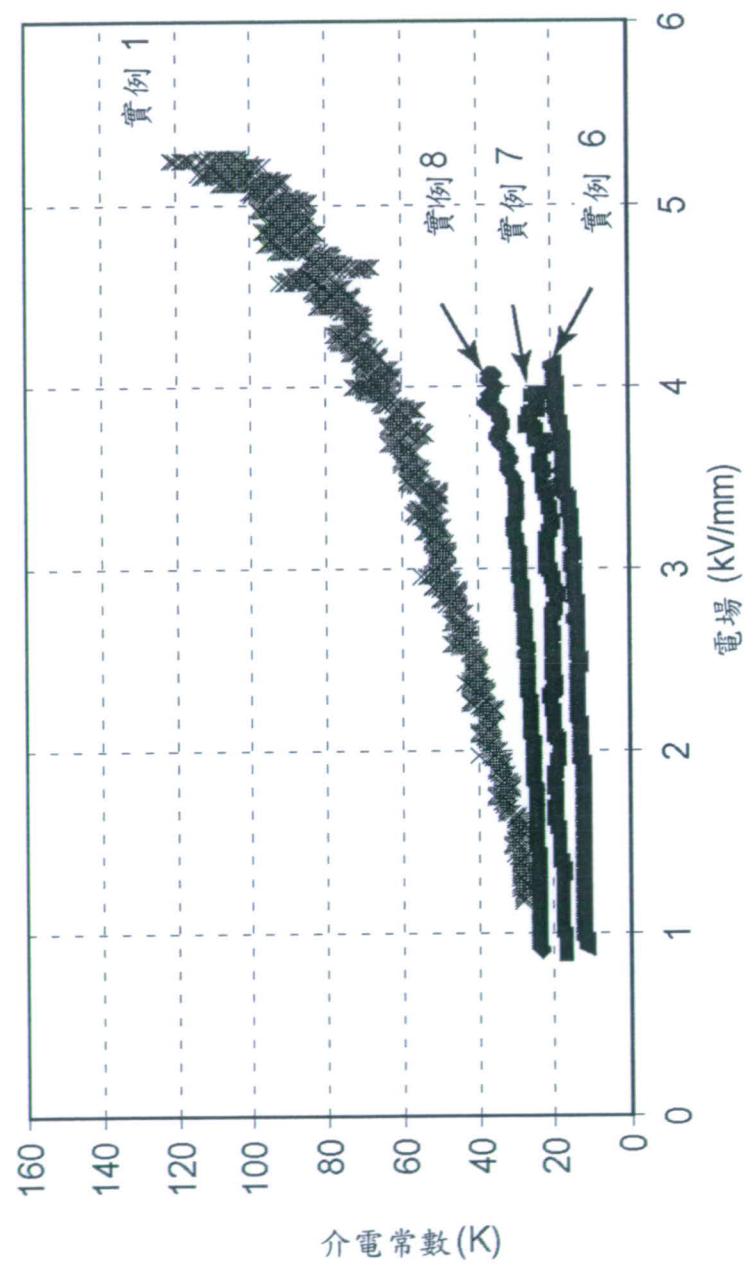


圖 8



圖 9