

420724

420724

申請日期	86 年 4 月 26 日
案 號	86105584
類 別	C ₂₃ C ₁₆ / 30, 16 / 50

公告本
A4
C4

Int. Cl⁶

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、發明 名稱	中 文	改良之鑽石狀毫微複合物組成物
	英 文	Improved diamond-like nanocomposite compositions
二、發明 創作人	姓 名	(1) 多明尼克·尼瑞克 Neerinck, Dominique (2) 亞文·高爾 Goel, Arvind
	國 籍	(1) 比利時 (2) 美國
	住、居所	(1) 比利時賀茲堡維拜町街二十一號 Verbindingsstraat 21, B-8020 Hertsberge, Belgium (2) 美國紐約州巴夫洛高門大道一五六號 156 Highgate Avenue, Buffalo, NY 14214, U. S. A.
三、申請人	姓 名 (名稱)	(1) 貝卡爾特股份有限公司 N.V. Bekaert S.A.
	國 籍	(1) 比利時
	住、居所 (事務所)	(1) 比利時日威費勤·柏克街2號 Bekaertstraat 2, B-8550 Zwevegem, Belgium
	代 表 人 姓 名	(1) 里歐·雷克鮑爾 Ryckeboer, Leo

裝

訂

線

420724

(由本局填寫)

承辦人代碼：
大 類：
I P C分類：

A6

B6

本案已向：

國(地區) 申請專利，申請日期：

案號：

，☐有 ☐無主張優先權

歐洲

1996 年 4 月 22 日 96 201 070.8

☒無主張優先權

有關微生物已寄存於：

，寄存日期：

，寄存號碼：

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

五、發明說明(1)

發明領域及背景

本發明係關於一種鑽石狀之毫微複合物(DLN)組成物，其具有改良之(較低之)摩擦性質，結合以或不結合以改良之(較高之)硬度。本發明亦處理一種在真空下在一修飾之電漿輔助化學蒸汽澱積(PACVD)方法中用此一組成物之層或膜覆蓋基材之方法。

鑽石狀毫微複合物(DLN)材料與鑽石狀之碳(DLC)有關或類似。DLC膜(a-C:H, a-c, i-c)顯出高硬度和彈性之結合，高的耐磨損性和低的摩擦係數。再者，因其化學惰性，低的表面能量及固有之平滑性，這些膜會有引人興趣的工業應用，如硬而自我潤滑的膜，如供磁碟及媒介保護之用者，馬達中之滑動零件，空間應用，光學元件等。然而，經澱積之DLC膜比DLN膜(200-400 GPa)顯現有高出甚多之內應力(高於1 GPa)，因此妨礙了對基材之良好黏附。在基材上之DLC膜因此可能需要中間黏附促進層之使用，對於DLC卻無此需要。DLC妨礙快速商業化的另一缺點是：當相對濕度提升至高於50%時，DLC在空氣中之摩擦係數增加至約0.2至0.3。

DLC及其澱積在基材如玻璃，金屬或矽乾膠片上之方法描述於美國專利5,352,493及5,466,431中。藉使用此專利中所揭示之澱積方法，產生鑽石狀之毫微複合物，其由(不定形)a-C:H鑽石狀網絡及(不定形)a-Si:O玻璃狀網絡組成

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明(2)

。這些網絡交互滲入彼此且可能存在 $\text{Si} : \text{C}$ 鍵。此專利大抵描述澱積方法之廣的參數範圍。所得塗覆層之物理特性因此亦處於大的界限間。鑑於達成某種預定且令人感興趣之性質，如澱積層（具有極高度之硬度及／或甚至在高於 50% 相對濕度之濕空氣中或在水或水溶液或水乳劑中具有極低的摩擦係數）之產製上，如何選擇這些參數並不明顯。

發明之目的及摘述

本發明現在已成功地設計一種比現今可得者有改良之鑽石狀毫微複合物組成物且特別地在最高 90% 相對濕度（= RH）之空氣中或水中有小於 0.1 之針對鋼的摩擦係數。供測定此係數之摩擦測試描述於下。此組成物包括 $\text{a} - \text{C} : \text{H}$ 及 $\text{a} - \text{Si} : \text{O}$ 網絡，其中 H 濃度較佳是 C 濃度之 40 至 80% 間。此異於美國專利 5,466,431 中所申請之組成物。

此組成物可以包括（摻雜以）至少一 1b 至 7b 及 8 族之過渡性金屬，如美國專利 5,352,493 中所述者。在 DLN 結構中金屬之經控制的併入導致高的可訂製之光學及電性質，同時大幅地保持機械和熱安定性。作為一實例，可以變化膜之電阻。較佳是金屬 Zr ， Ti 及 W 。依本發明之鑽石狀毫微複合物組成物，摻以或不摻以過渡性金屬，包括 30 至 70 原子%之 C，20 至 40 原子%之 H，5 至 15 原子% Si 及 5 至 15 原子% O，特

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明(3)

別地 45 至 70 原子% C, 20 至 35 原子% H, 5 至 10 原子% 之 Si 及 5 至 10 原子% 之 O。

本發明之一目的亦是要提供一種包括 0.5 至 5 原子% 之惰性氣體的鑽石狀毫微複合物組成物。確實已發現：藉離子撞擊以併入如 Ar 或 Kr 或 N 可以增加組成物之硬度，甚至在以上所指明之 C, H, Si 及 O 之特定範圍或比例之外者。如藉下述之毫微鑑定測試所測量者，此硬度量達 10 至 21 GPa 間。

此組成物通常藉澱積在一基材上而形成，該基材是任何形狀且由玻璃，陶瓷，金屬，塑膠或半導體作成。因此，本發明之另一目的是要提供一種至少部分被一層鑽石狀毫微複合物組成物所覆蓋之基材。雖然可以高於 $10\ \mu\text{m}$ ，此層厚度通常是介於 $0.01\ \mu\text{m}$ 及 $10\ \mu\text{m}$ 間。特別地已發現：本發明之 DLN 組成物比 DLC 更會黏在玻璃上。

本發明亦訂定方法參數以供製造一種用具有上述摩擦和硬度性質之鑽石狀毫微複合物組成物覆蓋之基材。依本發明之供製造一經覆蓋之基材的方法是在一改良之真空中實施且包括以下步驟：

(a) 在該室中引入一含有元素 C, H, Si 及 O 而欲以合適比例澱積之液態有機先質，

(b) 藉一電子輔助 DC 放電，使用一具有 50 - 150 A 之纖維絲電流，50 - 300 V 之負纖維絲斜切 DC 電壓及 0.1 至 20 A 之電漿電流之纖維絲，自經引入之先

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明(4)

質形成一電漿，且

(c) 澱積此組成物於基材上，對此施以200-1200V之負DC斜切或負RF自身斜切電壓以吸引在電漿中形成之離子。

為要加速和／或較佳控制此澱積方法，先質可以在引入期間或之後，較佳藉加熱其至30℃至150℃間而在該室中在步驟(a)中蒸發。此蒸發步驟對於澱積C，H，Si及O在上述比例之外的其它DLN組成物亦是有用的。在步驟(c)中，電壓較佳介於250至1000V間且RF電壓之頻率最佳是選擇在介於30至1000KHz間。

先質較佳是有基機矽酮化合物，如聚苯甲基甲矽氧烷如三甲基九甲基戊矽氧烷。

當一惰性氣體被引入真空室以併入此經澱積之DLN層中時，其藉成長之毫微複合物層之離子撞擊而離子化且合併。最終，當在澱積方法期間至少一過渡性金屬被共澱積在組成物層中時，則此舉藉離子濺射(如用氬氣)或藉熱蒸發來達成。

本發明亦關於一種如下述之供實施此澱積方法的裝置。特別地，新系統已被相信是供饋入精細分割型之先質至真空室，如以蒸汽或霧形式且任意地包括供先質之預熱組件。

詳細描述，實例

(請先閱讀背面之注意事項)

寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明(5)

供 D L N 膜在基材 (S i 乾膠片，玻璃片或鋼片) 所作之多種澱積作用已在一由 SINVACO N.V. (Belgium) 所製之改良真空反應器來實施。相對於美國專利 5,352,493 所示之反應器，此新的真空室並未細分於電漿產生室及真空澱積室中，欲是此二功能在單一室中實施。這是本發明之另一方面。平的基材 (具有至多 75 cm 之直徑) 排列在一可轉動的載體上 (在真空室之上端)，其方式類似於美國專利 5,352,493 中所示者。球形和其它形狀之基材同樣可被覆蓋。在真空室中之基礎壓力是 3×10^{-7} m b a r 且典型的工作壓力藉擴散泵 (以節流閥來控制) 保持在 1×10^{-4} 至 1×10^{-3} m b a r 下。基材可以藉一原位 (A r -) 電漿蝕刻方法，在澱積前且持續 3 至 30 分鐘而清潔。在澱積方法期間，基材溫度通常不超過 200 °C。膜厚度常在 0.1 至 3 μ m 間變化且藉始帝洛斯 (stylus) 輪廓計來測定。在少於約 1 μ m 之膜厚度下，經澱積膜仍是透明的 (甚至是當著色時)。透明度亦依在澱積期間應用至基材的斜切電壓而定。澱積速率或膜成長速率大部分在 0.5 至 2 μ m / h r 間變化。

鑑於澱積 - 如申請專利範圍第 2 項中所定義之組成物，較佳的液態介質是三苯基九甲基戊矽氧烷。在釋放於室中之前或期間，較佳預熱至高於 30 °C。先質經由如一具有如 30 至 50 % 孔隙度之耐熱多孔體來遞送至真空室。先質可以小量地經由一管而連續地計量入，該管遞送蒸汽

(請先閱讀背面之注意事項)

裝

訂

線

五、發明說明(6)

或霧形式之先質至多孔體。否則，先質可以在一開的儲存槽中分批地引入，該儲存槽在室抽真空前被置於室中。此儲存槽可以在澱積方法開始前在室中用電加熱以形成蒸汽。

一束合金鎢纖維以陰極形式，典型地在約 -150 V (DC 斜切電壓) 下以陰極形式置於土製多孔體前。在多孔體後側上具有先質之入料管的多孔體本身可以安置在室之較低部分。纖維束凸起地在一垂直面上彎曲成如一長 15 至 30 公分之半圓形。在陰極纖維中之電流較佳介於 50 至 120 A (AC)。電漿電流 (在纖維束和土製多孔體間測量) 而後典型地可以達約 0.5 至 3 A 。預熱先質可以提供以下優點：稍後在陰極纖維中所需之電流 (供產生電漿) 可以減低。

彎曲陰極束之最上端區域和基材間之距離是至少約 20 公分。澱積由底部往頂部經由電漿離子被基材載體之吸引而發生，該基材載體置於典型於 400 V 之負 RF 自身斜切電壓下。並且，RF 頻率較佳遠低於依美國專利 $5,352,493$ 所用者；亦即介於 100 至 500 KHz 且特定地約 200 至 300 KHz 。

當使惰性氣體如 Ar, Kr 或 N_2 進入真空室中時，除了有較佳之低摩擦性之外，亦可澱積具有較高硬度的膜。而後，由於使用一熱纖維束和 RF 或 DC 斜切電壓於基材上之 DC 放電的結合，此另外之惰性加工氣體被離子化。較佳在 250 至 700 V 範圍中之基材斜切或自身斜切

(請先閱讀背面之注意事項)
裝
訂
線

五、發明說明(7)

電壓吸引 A r , K r 或 N 離子至基材。此現象導致成長之鑽石狀毫微複合物膜之同時惰性氣體離子撞擊。結果，因這共濺射，濺積速率減低，但濺積膜之毫微硬度則增加。典型地，在濺積期間，藉增加室中之惰性氣體含量（同時在基材上保持相同之斜切或自身斜切電壓）以自 0.8 至 6.0×10^{-4} m b a r 間增加總工作壓力至 0.5 至 5.0×10^{-3} m b a r 間，則會增加毫微硬度，如由一“Nano-test 500”毫微穴計（indenter）所測量者，由 $10 - 15$ G P a 增至約 $13 - 20$ G P a。惰性離子撞擊導致數原子%惰性氣體併入鑽石狀毫微複合物之原子結構中。對毫微成穴實驗而言，滲透深度介於 100 至 300 n m 間且每樣品平均是 10 成穴滯後曲線。滯後曲線依 Oliver & Pharr 方法（W.C. Oliver and G.M. Pharr, Journal of Materials Research 7(1992), p.1564）來測定且資料被標準化成在相同滲滲深度下所得之 S i (111) 乾膠片之資料。

使用上述方法參數界限和設備特徵，未摻以或摻以金屬之很多 D L N 複合物用以上設定之範圍的組成物來濺積。使用標準之球盤（ball-on-disk）測試實施在室溫下（ 25°C ）之摩擦測試以測定耐磨損性和摩擦係數 μ 。供這些測試，在室溫下，在 C S E M 摩擦計，在 5 N（摩擦係數測試）或 10 N（耐磨損性／壽命測試）之正常負荷下，使用具有 6.35 m m 直徑之 100 C r 6 鋼圓荷球。在多次循環期間於一圓形途徑中以 0.2 m / s 之速度，

（請先閱讀背面之注意事項）

裝

訂

線

五、發明說明(8)

球未潤滑地滑過此澱積在基材上之膜表面上。在測試期間連續地測量摩擦係數 μ 。相對濕度藉此在50%RH或90%RH之恆定值下偵測。當 μ 達到0.5之值時，停止測量。經澱積之毫微複合物膜的耐磨損性(壽命)以循環數除以膜厚度來表示。典型的壽命是在100000至300000循環/ μm 膜厚度間。

所測試之平均組成(單位是原子%)在以下表1中給予。在整個膜厚度中真實組成可以在高達這些平均組成之10%間振盪。此意謂：對於例如25原子%之H的平均含量而言，真實濃度可以在22.5至27.5原子%H間變化。

表 1

樣品	H (at%)	C	Si	O	Zr	Ar	硬度 (GPa)
A(圖1)	32	52	10	6	---	---	13
B(圖2)	30.5	44	12.5	7.5	4.1	1.4	14.4
C	27.2	56.6	8.2	6.4	---	1.5	17

線 1 (在圖 1 中) 相當於一種在具有 RH 50 % 之空

(請先閱讀背面之注意事項，填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明(9)

氣中及於 5 N 正常球負荷下對表 1 中之樣品 A 之測試的摩擦係數的發展。線 2 相當於對樣品 A 之相同測試，但是在具有 R H 90 % 之空氣中。在較高 R H 下之測試顯示一甚至較佳的摩擦效能。

在圖 2 中，線 3 顯示在 90 % R H 空氣中之摩擦行為且線 4 顯示對表 1 中之樣品 B 而言在 50 % R H 空氣中之有點較佳的摩擦行為。摩擦係數在此在以 5 N 球負荷之 10,000 摩擦循環測試期間通常在 0.05 至 0.08 間振盪。樣品 B 摻以 4.1 原子 % Zr，使用金屬含量高達 20 原子 % 之摻以金屬的膜會得到類似行為。

在圖 3 中，如線 3 (亦參見圖 2) 中所繪製之樣品 B 的摩擦行為 (在 90 % R H 下) 與對一典型之 DLC 膜之相同測試來比較。此 DLC 膜之硬度通常是在 15 至 21 GPa 間且其氫含量通常是在 20 至 50 原子 % 間。DLN 樣品 B 之行為 (摩擦係數) 顯著較佳。亦發現：樣品 B 之行為亦比一具有約 10 至 15 原子 % 矽之 Si-DLC 膜更佳。

最終，在圖 4 中，在水下，對一具有在所請範圍間之組成且具有 0.86 μ m 厚度及 10 N 球負荷之類似之未摻雜 DLN 層進行長期測試 (100,000 循環)。令人驚訝地，此導致約 0.05 之 μ 值。

具有 1.3 μ m 厚度且具有 15 GPa 硬度之相同種類的未摻雜之 DLN 層在 50 % R H 之空氣中及在水下均顯示約 0.05 之摩擦係數 (如在以 6.35 mm 直徑之

(請先閱讀背面之注意事項，填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明(10)

1 0 0 C r b 鋼負荷球之 1 0 N 正常負荷下，在 1 0 0, 0 0 0 循環期間，於球盤實驗中所記錄的)。由磨損痕跡面積之輪廓計測量所計算之塗層磨損因子 K 在 5 0 % R H 空氣中是 $2 \times 10^{-7} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ 且在水下僅 $3.5 \times 10^{-8} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ 。由鋼球之磨損體積所計算之球磨損因子在二情況下皆在 $1 \times 10^{-8} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ 以下。

在矽乾膠片上之樣品 C 的膜(參見表 1)顯出 1 7 G P a 之硬度且在 R H 5 0 % 空氣中之 1 0 0 0 0 循環摩擦測試(負荷 5 N)中 μm 在 0.05 至 0.06 中變化，該測試如同供樣品 A 和 B 者(圖 1 和 2 中)。

在表 1 中之原子濃度可以經由 Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS) 及 Elastic Recoil Detection (ERD) 來間接地得到。R B S 及 E R D 產生面積濃度(單位是原子 / cm^2)之絕對數值。對以下表 2 中之樣品 C 而言，其以原子面積密度：A A D (單位是 10^{15} 原子 / cm^2)表示。表 2 亦陳列相關之 X P S 值(X 光之光電子光譜術)，其指明在樣品 C 中之元素(除了 H 和 A r 之外)的濃度(%)的相對值。對此實驗資料所校正之真實值列於“真實”列中。這些“真實”值當然是相當於在表 2 中對樣品 C 所列之原子 % 濃度。

(請先閱讀背面之注意事項)

裝

訂

線

線

五、發明說明(11)

表 2, 樣品 C

	H	C	Si	O	Zr	Ar
ADD	2230	4641	672	525	---	123
XPS	--	78	14	8		
Real	27.2	56.6	8.2	6.4	---	1.5

C, Si 及 O 和 Ar 之原子濃度 (藉 RBS) 精確至其值的約 5%, 然而 H 之原子% 預期被校正至其值的 10%。

依本發明之 DLN 膜當然極適於任何應用或用途, 其中特別在極濕環境中或水中同時需要極低摩擦係數及高硬度的存在。本申請案因此有用以作為供腰或膝聯結代替之彌補術中之低摩擦塗層, 供手術刀, 刮鬍刀片及導線之低摩擦塗層。其亦有用以作為電腦硬碟上及磁帶上之保護塗層。

圖之簡述

圖 1 是一作圖, 顯示未摻雜之 DLN 膜 (或塗層) 分別在 50% RH 及 90% RH 空氣中之低摩擦係數。

(請先閱讀背面之注意事項
再寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (12)

圖 2 是一供摻以約 5 原子 % Zr 之 D L N 膜的類似作圖。

圖 3 是一作圖，比較與圖 2 中相同之經摻雜之 D L N 膜相對於 D L C 膜，在 90 % R H 空氣中之摩擦係數。

圖 4 是一作圖，呈現在常時間之水中測試期間，未摻雜之 D L N 膜之摩擦係數的變化。

(請先閱讀背面之注意事項
再寫本頁)

裝

訂

線

四、中文發明摘要(發明之名稱：)

改良之鑽石狀毫微複合物組成物

本發明係關於一種包括 a - C : H 及 a - S i : O 之網絡的改良之鑽石狀毫微複合物組成物，其中 H 濃度是介於 C 濃度之 40 % 至 80 % 間且在最高 90 % 相對濕度之空氣中或水中具有小於 0.1 之針對鋼之摩擦係數。本發明亦關於一種在真空室中澱積此組成物於基材之方法。

此組成物較佳包括 30 至 70 原子 % 之 C，20 至 40 原子 % 之 H，5 至 15 原子 % 之 S i 及 5 至 15 原子 % O 且可摻雜以過渡性金屬。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

英文發明摘要(發明之名稱：)

IMPROVED DIAMOND-LIKE NANOCOMPOSITE COMPOSITIONS

The invention relates to an improved diamond-like nanocomposite composition comprising networks of a-C:H and a-Si:O wherein the H-concentration is between 40 % and 80 % of the C-concentration and having a coefficient of friction against steel which is smaller than 0.1 in air with a relative humidity up to 90 %, or in water. The invention relates also to a process for depositing the composition on a substrate in a vacuum chamber.

The composition comprises preferably 30 to 70 at% of C, 20 to 40 at% of H, 5 to 15 at% of Si and 5 to 15 at% of O and can be doped with transition metals.

訂

線

六、申請專利範圍

1. 一種改良之鑽石狀毫微複合物組成物，其包括 a - C : H 及 a - S i : O 之網絡，其中 H 濃度是介於 C 濃度之 40 % 至 80 % 間且在具有最高 90 % 之相對濕度的空氣中或水中對鋼具有小於 0.1 之摩擦係數。

2. 如申請專利範圍第 1 項之組成物，其包括 30 至 70 原子 % 之 C，20 至 40 原子 % 之 H，5 至 15 原子 % 之 S i 及 5 至 15 原子 % 之 O。

3. 如申請專利範圍第 2 項之組成物，其包括 45 至 70 原子 % 之 C，20 至 35 原子 % 之 H，5 至 10 原子 % 之 S i 及 5 至 10 原子 % 之 O。

4. 如申請專利範圍第 1 項之組成物，其摻以至少一過渡性金屬。

5. 如申請專利範圍第 4 項之組成物，其中該過渡性金屬是 Z r，T i 或 W。

6. 如申請專利範圍第 1 或 4 項之組成物，其包括 0.5 至 5 原子 % 之惰性氣體。

7. 如申請專利範圍第 6 項之組成物，其中氣體是 A r 或 K r 或 N。

8. 如申請專利範圍第 1 項之組成物，其具有介於 10 至 21 G P a 之硬度，如藉毫微成穴作用所測量者。

9. 一種基材，其至少部分地覆以一層如申請專利範圍第 1 項之組成物，其中此層厚度介於 0.01 μ 至 10 μ m。

10. 一種在一真空室中製造如申請專利範圍第 9 項

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

之經覆蓋基材的方法，其包括以下步驟：

(a) 在該室中引入一含有元素 C, H, Si 和 O 而欲以合適比例澱積的液態有機先質，

(b) 藉電子輔助 DC 放電，使用一具有 50 - 150 A 纖絲電流 50 - 300 V 之負纖絲 DC 斜切電壓及介於 0.1 至 20 A 之電漿電流之纖絲，自經引入之先質形成一電漿，且

(c) 澱積此組成物於基材上，對此施以 200 - 1200 V 之負 DC 斜切或負 RF 自身斜切電壓以吸引在電漿中形成之離子。

11. 如申請專利範圍第 10 項之方法，其中在步驟 (a) 中，在引入期間或之後在該室中蒸發先質。

12. 如申請專利範圍第 11 項之方法，其中該先質在 30 °C 至 150 °C 間加熱而蒸發。

13. 如申請專利範圍第 10 項之方法，其中在步驟 (c) 中電壓是介於 250 至 1000 V。

14. 如申請專利範圍第 10 項之方法，其中先質是有機基矽酮化合物。

15. 如申請專利範圍第 14 項之方法，其中化合物是聚苯基甲基甲矽氧烷。

16. 如申請專利範圍第 15 項之方法，其中化合物是三苯基九甲基戊矽氧烷。

17. 如申請專利範圍第 10 項之方法，其中 RF 電壓之頻率是介於 30 至 1000 KHz。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

18. 如申請專利範圍第10項之方法，其中在澱積期間，惰性氣體被引入室中，藉成長之毫微複合物層的離子撞擊而被離子化且合併。

19. 如申請專利範圍第10或18項之方法，其中在澱積方法期間，至少一過渡性金屬藉離子濺射或藉熱蒸發而共澱積在組成物層中。

(請先閱讀背面之注意事項，填寫本頁)

裝

訂

線

420724

公告本

86/05584

825772

圖 1

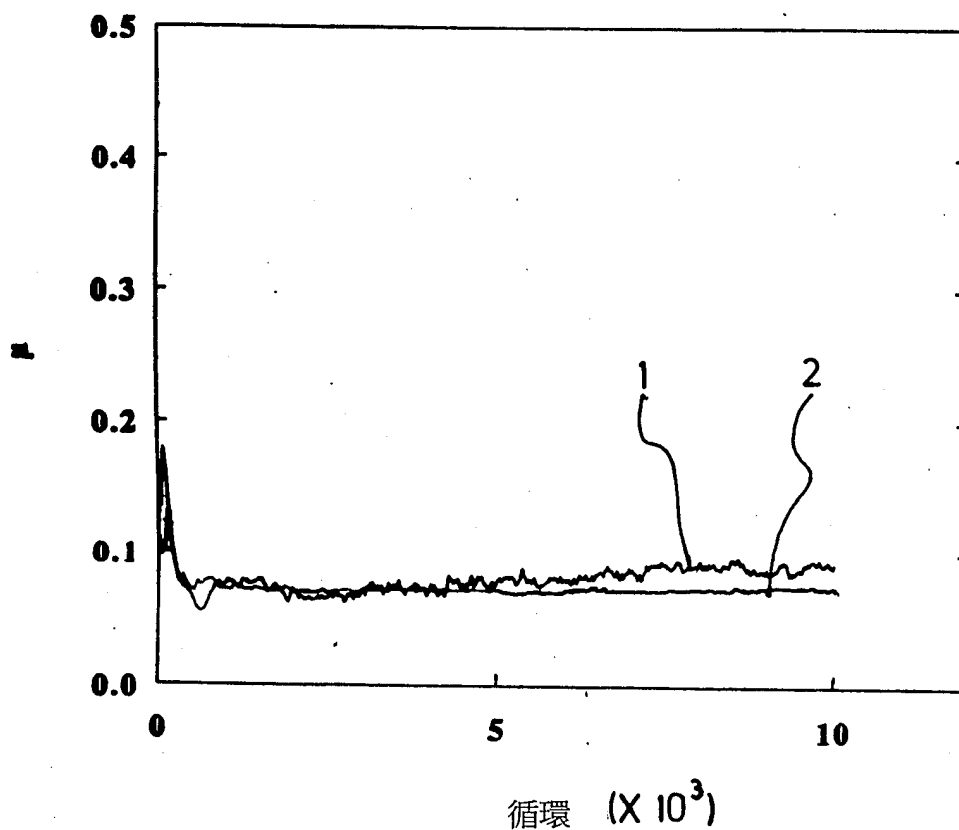
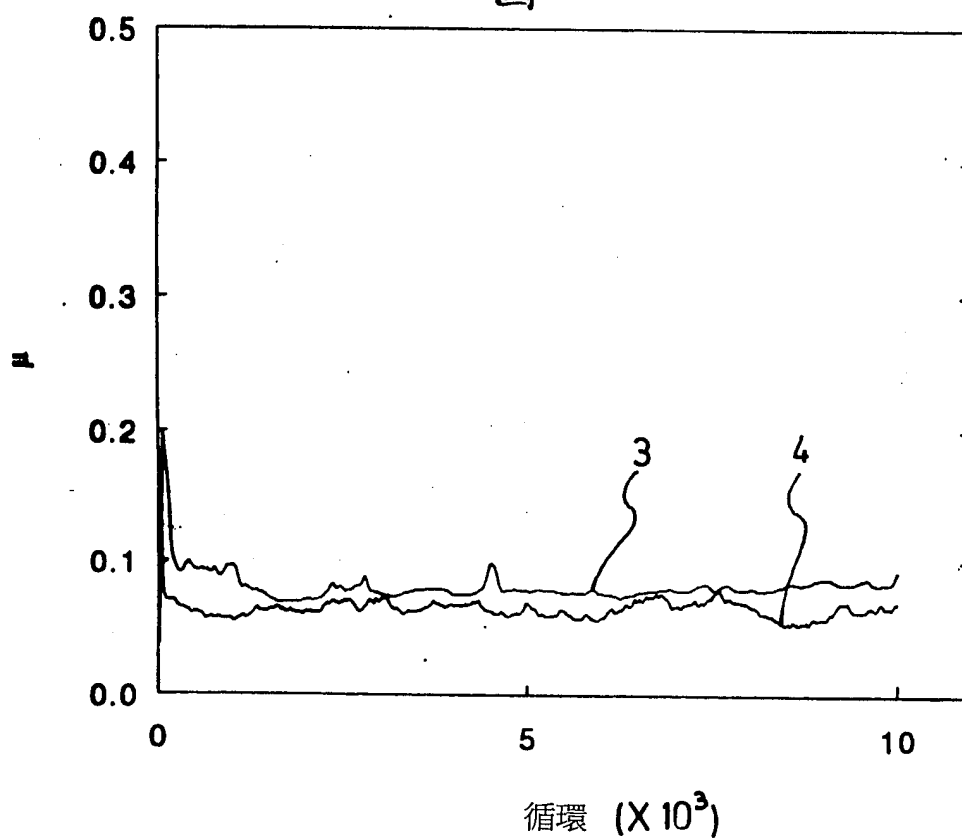


圖 2



420724

圖 3

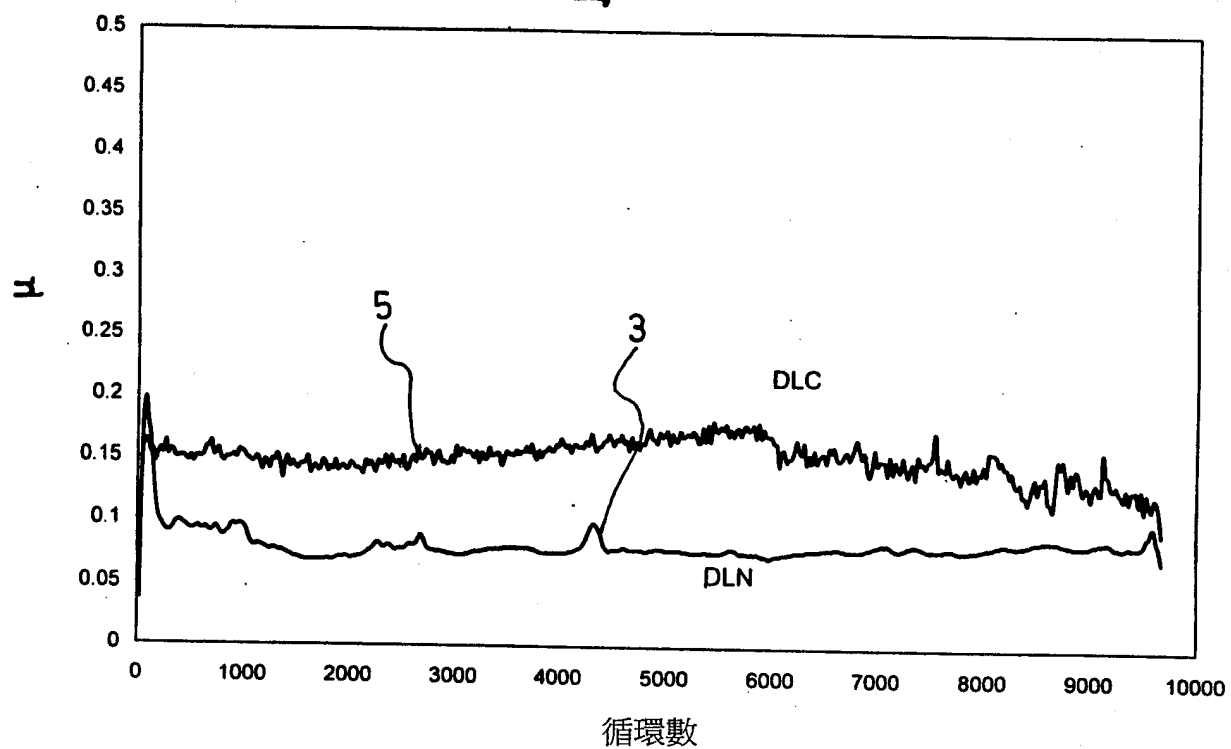


圖 4

