

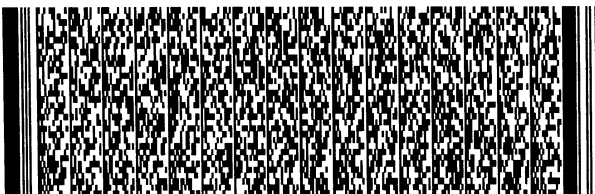
申請日期: 90.6.20	案號: 90113506
類別: G01N33/26	

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

507075

一、發明名稱	中文	伽瑪射線決定樣本容積密度之裝置與方法
	英文	Apparatus and Method for Gamma-Ray Determination of Bulk Density of Samples
二、發明人	姓名 (中文)	1. 林努斯·狄伯 2. 羅伯特·特洛克斯樂
	姓名 (英文)	1. W. Linus DEP 2. Robert E. TROXLER
	國籍	1. 斯里蘭卡 2. 美國
	住、居所	1. 美國北卡羅萊納州27516教堂山肯尼爾沃茨廣場105號 2. 美國北卡羅萊納州27605羅利薩西克斯路3218號
三、申請人	姓名 (名稱) (中文)	1. 特洛克斯樂電子實驗室股份有限公司
	姓名 (名稱) (英文)	1. Troxler Electronic Laboratories, Inc.
	國籍	1. 美國
	住、居所 (事務所)	1. 美國北卡羅萊納州27709研發三角園玉米牆路3008號
	代表人姓名 (中文)	1. 威廉·小特洛克斯樂
	代表人姓名 (英文)	1. William F. TROXLER, JR.



本案已向

國(地區)申請專利

申請日期

案號

主張優先權

美國 US

2000/06/29 09/606,645

有

有關微生物已寄存於

寄存日期

寄存號碼

無

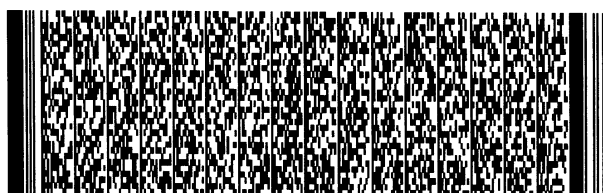


五、發明說明 (1)

本發明係有關於容積密度量測，且特別是有關於一種利用伽瑪射線量測樣本容積密度之裝置及方法。本發明尤其適於量測相當小"有限體積"樣本之容積密度，且特別是圓柱狀樣本，諸如：瀝青鋪砌材料之核子樣本或迴旋壓密樣品。

在瀝青鋪砌建造工業中，圓柱狀物係常見樣本幾何。在實驗室中，典型地是以迴旋壓密機(gyratory compactor)準備好圓柱狀樣本，並研究各種材料特性以決定用於鋪砌材料之最佳混合設計。在此領域中，圓柱狀樣本係取自測試機械零件、新建道路、或既存道路。隨後，這些樣本之材料特性便可用以評鑑此測試機械零件或此新鋪砌材料是否符合設計要求、或者此既存道路是否處於良善運作條件或需要修補。在圓柱狀瀝青樣本所研究之材料特性中，材料容積密度或容積比重係一重要特性。

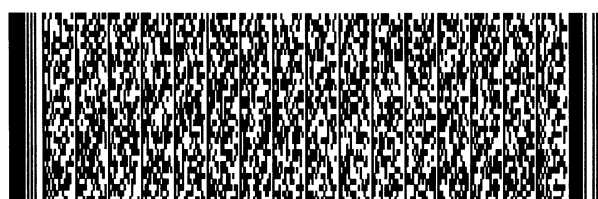
目前，量測圓柱狀樣本之密度有幾種方法，包括：尺寸分析方法(dimensional analysis method)、水位位移方法(water displacement method)、石蠟被覆方法(paraffin coated method)、及保護薄膜覆蓋方法(para-film covered method)。在每一個例子中，根據定義，樣本之容積密度係由乾燥之樣本質量除以預測之樣本體積以推導得到。所有方法均需要靈敏度0.1克之天平以量測樣本質量。在尺寸分析方法中，樣本體積是由半徑及厚度(高度)量測以決定。於此，半徑及厚度之許多讀數是使用游標卡尺所得。隨後，半徑及厚度之平均值則用以



五、發明說明 (2)

計算樣本體積。其他方法係使用阿基米德原理以決定樣本體積。這些方法需要裝滿清水之大容器。並且，容器內的水溫應予以監視、並控制於特定溫度，如：25°C。在測試之一階段中，樣本係保持浸入水中約4分鐘，並在水位靜止時記錄樣本高度。在"石蠟被覆"方法中，在決定樣本之乾燥重量後，施加薄石蠟被覆以覆蓋整個樣本表面。隨後，在空氣中再次對樣本秤重。最後，將樣本浸入水中再行秤重。"保護薄膜覆蓋"方法係類似於"石蠟被覆"方法，除使用薄膜包覆樣本以外。水位位移測試，其係所有三種阿基米德方法中最快者，需要花費約6分鐘。水位位移方法之單運算子精確度(Single operator precision)係 $0.0124\text{g}/\text{cm}^3$ ，而石蠟被覆方法係小於 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。更多細節可見於水位位移方法之ASTM D 2726標準及石蠟被覆方法之ASTM D 1188標準。

因為瀝青混合物係由自然界異質之粒狀物所組成，沒有單一密度測定方法可以涵蓋所有混合物設計。使用何種密度測定方法的決定係取決於粒料大小及其是否為開放或封閉之混合物設計。舉例來說，對於使用具有正常粒料大小9.5mm之粒料且空隙內容小於6%之混合物而言，水位位移方法可提供相當準確之密度。不過，對於具有較大粒料及較粗等級之開放等級混合物而言，水位位移方法則提供密度則會較實際密度為高。對於此類樣本而言，業界係推薦使用石蠟被覆或保護薄膜方法以達成密度測定。不過，石蠟被覆及保護薄膜方法係耗時且其密度測定之精確度亦



五、發明說明 (3)

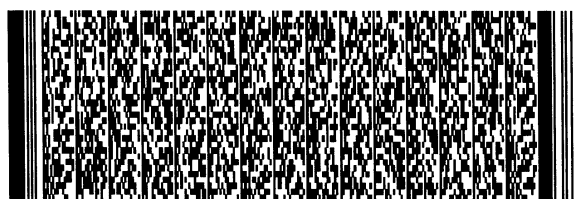
高度相關於使用者。尤有甚者，對於許多混合物設計而言，尺寸分析方法係高估體積、並且會導致低於其他方法之密度值。不過，文獻亦顯示尺寸分析方法可以對於高滲透性樣品提供較佳之密度預測。

隨著愈來愈多使用大粒料尺寸及/或開放等級混合物設計以建造之道路，發展決定圓柱狀瀝青樣本密度之技術乃成為產業需求。

過去數十年內，以伽瑪射線為基礎之核子量測儀器 (nuclear gauge) 已成功用於瀝青鋪砌材料之密度測定。這類量測儀器提供非破壞性測試方法、並且提供快速的密度量測(如：在1至4分鐘內)。

以伽瑪射線為基礎之表面量測儀器、深度探測儀器、及諸如此類之各種設計係報導於文獻內且可以商業方式取得。單系統表面密度量測儀器(如：可自申請人指定受讓人，Troxler Electric Laboratories, Inc. 取得、型號3400系列之表面濕度-密度量測儀器)即設計放置於一表面(如：瀝青鋪砌材料表面)，且密度測定係假設相當大或無限體積之樣本相關於量測儀器之視野。此類量測儀器並非設計以可靠地量測相當小或有限體積樣本(如：瀝青鋪砌材料混合物之圓柱狀樣本)之容積密度。

在公眾所有的美國專利US5151601中，係描述一系統，其中，核子瀝青內容量測儀器(如：Troxler 3200系統之瀝青內容量測儀器)可用以測定瀝青鋪砌材料混合物之圓柱狀樣本之瀝青內容。不過，現今市場中卻沒有商用



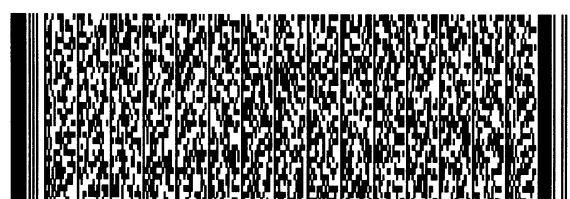
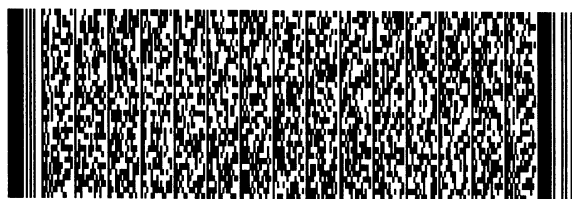
五、發明說明 (4)

核子量測儀器可用以測定圓柱狀樣品之密度。

本發明係提供一核子密度測試設備及方法，其適於量測相當小"有限體"樣本之容積密度，且特別適於量測圓柱狀樣品之容積密度，如：瀝青鋪砌材料混合物之核子樣本或迴旋壓密樣品。

在一實施例中，本發明之密度量測儀器包括複數個伽瑪射線源，位置成彼此間隔之關係，用以由複數個彼此間隔之位置放射伽瑪射線至一放置於附近之樣本，以及一探測器，固定以接收穿透該樣本之伽瑪射線。一裝置係提供以與該探測器配合，藉以依據該探測器得到之伽瑪射線數計算該樣本之容積密度。在一實施例中，各該等伽瑪射線源最好是一點射線源(point source)，且該等射線源最好固定於一射線源平板。該等射線源之數目最好至少有三個，且排列於一相同平面。於一更明確之特徵中，該量測儀器具有一樣本支架，安裝以支持一圓柱狀樣本，該樣本支架固定相鄰於該射線源平板，藉以將該等彼此間隔之射線源定位於相對該圓柱狀樣本之一第一端。

更佳者，該探測器一能源選取探測器，安裝以探測於一既定能量頻譜中之伽瑪射線，其最好是在0.1MeV至2MeV之範圍內。該探測器可包括一火花探測器(scintillation detector)，且該系統可以具有一分析儀，連接於該火花探測器，藉以探測於該既定能量頻譜內之伽瑪射線。於一明確實施例中，各該等射線源係一具有一0.662MeV主要能量之¹³⁷Cs伽瑪射線源，且該量測儀器所量測之該既定能量



五、發明說明 (5)

頻譜係落於0.25MeV至0.73MeV之範圍內。

圖式之簡單說明

本發明之部分特性及優點係說明如上，其他部分則以下列文字、配合所附圖式予以說明，其中，所附圖式係包括：

第一圖係根據本發明一實施例之一量測儀器之一正視圖；

第二圖係該量測儀器之一射線源平板之一俯視圖，其顯示有五個 $10 \mu\text{Curie}^{137}\text{Cs}$ 射線源；

第三圖係一射線圖，其顯示由該等五個射線源位置經由該樣本體積至該探測器之路徑，其中，未散射伽瑪射線之路徑係顯示為實線，且散射伽瑪射線之路徑係顯示為虛線；

第四圖係顯示一穩定頻譜之一圖表；

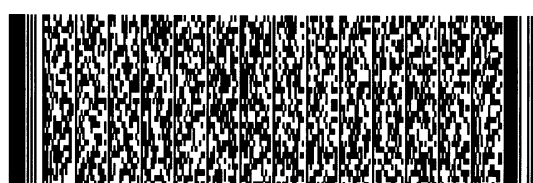
第五圖係一圖表，其顯示一密度校正曲線；

第六圖係一圖表，其比較由該伽瑪射線方法測定密度及由水位位移方法得到密度；以及

第七圖係一圖表，其顯示碎石或石塊之量測瀝青等同正規化因子。

本發明之詳細說明

本發明現在將以較佳實施例，配合所附圖式更詳細地說明如下。不過，本發明可以具有許多不同形式實施例，亦不應被限制於揭露之實施例。更確切地說，這些實施例係提供以使本說明得以徹底而完整，並充分傳達本發明之



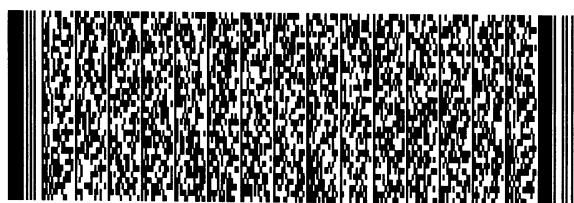
五、發明說明 (6)

範圍給熟習此項技藝之人士。文中，類似編號係表示類似元件。

[原理]

本發明係依據伽瑪射線對物質之散射及吸收特性。對於能量小於2MeV之伽瑪射線而言，與物質間具有兩種決定性之交互作用機制。在0.1至2MeV之能量範圍中，決定性之機制係無彈性之散射(Compton散射)。對於能量小於0.1MeV之伽瑪射線而言，決定性之機制係光電吸收。在0.1至2MeV之能量範圍中，伽瑪射線散射(能量降級)之數量係材料電子密度之函數，且因此為基本量測特性。這會導致每單位長度-質量密度(length-mass density)之核子衰減。由此，吾人可知：同質樣本之實際體積並不若其位於體積為基礎之系統時同等關鍵。這個結果可使容積密度量測不為樣本之表面特性或紋路所嚴重影響。當能量小於0.1MeV時，伽瑪射線之光電吸收係對於材料原子數非常靈敏，且因此對於材料之化學(元素)組成非常靈敏。因此，當足夠能量之伽瑪射線源放置於材料附近，且能量選取伽瑪射線探測器用於伽瑪射線探測時，主要進行Compton散射之伽瑪射線可被專門計數。利用適當校正，伽瑪射線計數可以轉換為絕對密度。另外，未散射伽瑪射線亦可以計數，其亦為材料容積密度之函數。

根據本發明之特定實施例，係使用具有主要能量0.662MeV之 ^{137}Cs 伽瑪射線源。不過，具有不同主要能量位準之其他伽瑪射線源亦可以應用，舉例來說，如： ^{60}Co 。



五、發明說明 (7)

與樣本交互作用之伽瑪射線係由探測器探測，最好是能量選取探測器，其安裝以探測於既定能量頻譜中之伽瑪射線。伽瑪射線探測器可以各種方式安裝，藉以對要求之能量頻譜具有選擇性。舉例來說，吾人可使用習知具有適當濾波器，如鎘(cadmium)，之Geiger-Mueller探測器管子，藉以濾除低能量之伽瑪射線。在圖式及所述之實施例中，係使用能量選取火花探測器，特別是固定於倍光管(photo-multiplier tube, PMT)之碘化鈉晶體(NaI crystal)。特別是，當使用 ^{137}Cs 射線源時，具有0.25至0.73MeV能量範圍且交互作用或穿透於樣本之伽瑪射線係予以計數。由於這些伽瑪射線包含Compton散射伽瑪射線及非散射伽瑪射線，導因於與材料交互作用且為伽瑪射線探測器所接收之計數係材料容積密度之良好指標。本技術係使用0.25MeV作為低能量界限以選取伽瑪射線。此能量選取可避免計數到具有與材料化學組成相關之能量之伽瑪射線。因此，化學組成錯誤可以最小化。選擇0.73MeV作為上限係用以大體包括所有具有特徵值0.662MeV主要能量之伽瑪射線。如第五圖所示，由於探測器之有限解析度，0.662MeV峰值之高斯(Gaussian)分佈具有大約0.73MeV之上基部(upper base)。對於 ^{137}Cs 以外之伽瑪射線源而言，上限亦可以依據選擇特定射線源之能量分佈、以類似方法選定。

根據本發明，此射線源-樣本-探測器結構係設計以提供異質及粒狀樣本之最佳密度預估。由於此種樣本之點密



五、發明說明 (8)

度係一密度分佈，大樣本體積可用以預估容積密度。由於瀝青混合物之圓柱狀樣本係相當小尺寸(或"有限體積")，探測顆粒，在這個例子中為光子(伽瑪射線)，應該要求儘可能橫跨全部範圍，藉以交互作用及取樣於有限尺寸樣本之大部分。為達此目的，係使用複數個彼此間隔之點伽瑪射線源。在介紹實施例中，係使用五個分隔之射線源且其排列於平板上以覆蓋大致對應於樣本尺寸之體積。在圖示實施例中，其係設計以量測圓柱狀瀝青樣本，五個射線源係排列以使伽瑪射線經由樣本體積之大部分直接橫跨幾條路徑。為覆蓋未被伽瑪射線直接橫跨之剩餘體積，探測器係計數能量小於 0.662MeV 之伽瑪射線。這些能量之伽瑪射線係該樣本反覆散射之結果，且如此填滿整個樣本體積。

[裝置]

第一圖係顯示量測儀器之一實施例。此實施例係設計以操作於直接傳輸模式。此量測儀器大體由參考字元10表示。此量測儀器具有一基台12，其具有複數個直立支持桿14由基台12向上突出。一圓碟形式之射線源平板16係支持於該等支持桿14。一樣本支架18，安裝以接收及夾住一測試樣本20，係固定於該射線源平板16正上方之該等支持桿14。在此介紹實施例中，該測試樣本係由瀝青鋪砌材料混合物形成，其壓密成直立圓柱狀，且該樣本支架具有一直徑之一圓形凸緣，其適以接收及支持該圓柱狀樣本之平面圓形端之一。一探測器支持平板22，固定於該等支持桿14，懸掛一碘化鈉(NaI)火花探測器24於該樣本20上部平



五、發明說明 (9)

面圓形端之正上方。如此，該樣本20係位置於伽瑪射線源及伽瑪射線探測器之間。

如第二圖及第三圖所示，該射線源平板16包含五個 $10\ \mu\text{Curie}$ 之 ^{137}Cs 射線源26，其位置於該射線源平板上之凹陷(recess)或井區(well)。該等 ^{137}Cs 射線源，相對於此裝置之整個尺寸，可能是相當小尺寸之顆粒形式，且可能如此視作"點射線源"。或者，該等射線源可以要求製造以佔據較大表面積，相對於其厚度，藉以增加伽瑪射線與樣本之交互作用。在任何事件中，該射線源平板中各射線源之位置係選擇以使伽瑪射線由該等射線源至該探測器之直接路徑橫跨該樣本體積之大部分，如第三圖所示之射線圖。該伽瑪射線探測器係固定於倍光管(PMT)28上之碘化鈉晶體(NaI crystal)。該探測器系統係由探測器支持平板22所夾住。所示之實施例具有簡易支架，其可以圓柱軸垂直方向、容納直徑150mm及厚度110mm之圓柱狀樣本。此裝置係設計使該射線源平板及該探測器支持平板間之距離可以改變，若有需要。此量測儀器亦具有另一 $1\ \mu\text{Curie}$ ^{241}Am 之伽瑪射線源30，其固定於該探測器附近，藉以作頻譜穩定之用。

此NaI/PMT探測器系統係可自Beachwood, Ohio之Rexon Component, Inc. 商業取得。一高電壓電源供應器、預放大器(preamplifier)、放大器、類比/數位轉換器、數位頻譜穩定儀(digital spectrum stabilizer)及多頻道分析儀(multi-channel analyzer, MCA)，其可以



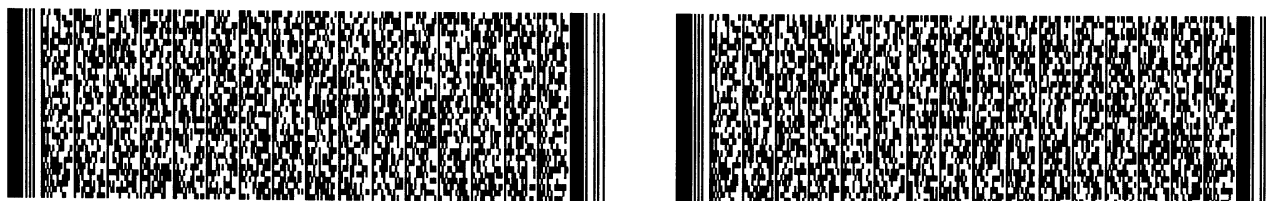
五、發明說明 (10)

由下列製造商取得，如：Canberra Industries, Inc, Meriden, CT, 及EG&G ORTEC, Oak Ridge, TN, 則接收及處理來自此探測器系統之信號。該多頻道分析儀(MCA)係可以安裝於一般執行Microsoft作業系統之個人電腦之電腦卡。

[頻譜穩定]

火花探測器係靈敏於溫度波動。在經由多頻道分析儀MCA(如第四圖)產生之數位頻譜中，x軸係表示伽瑪射線之能量，且y軸係表示對應特定伽瑪射線能量之計數。當溫度波動時，頻譜會沿著x方向波動。因此，曾經中心於一頻道之峰值最後可能會中心於另一頻道。若吾人欲找出能量介於 E_{lower} 及 E_{upper} 間之伽瑪射線數量，由於這些波動，經由利用"正常"頻譜所得到之計數便會具有相當大之不確定性。此不確定性係導因於溫度靈敏度。數位頻譜穩定儀係用以穩定因NaI探測器中溫度波動所造成之頻譜漂移。兩伽瑪射線峰值係用於頻譜穩定：由 $1 \mu\text{Curie}^{241}\text{Am}$ 射線源之 0.056MeV 峰值係放置於該探測器附近，由 $50 \mu\text{Curie}^{137}\text{Cs}$ 射線源之 0.662MeV 峰值係放置於該射線源平板中。

在4分鐘計數時間內，多頻道分析儀MCA係1分鐘遞增地收集計數。隨後，每1分鐘頻譜係針對信號振幅波動校正並儲存於緩衝器。在計數結束時，多頻道分析儀MCA係得到兩個頻譜：正常頻譜，其係收集於未經過信號表幅調整之頻譜；穩定頻譜，其係利用緩衝器中校正之1分鐘頻譜以建構得到。第四圖係鎂(Mg)圓柱體之正常頻譜及穩定



五、發明說明 (11)

頻譜之例子。值得注意的是，在正常頻譜中0.056MeV峰值之質量中心係位於頻道數值23，而在穩定頻譜中0.056MeV峰值之質量中心則位於頻道數值19。在正常頻譜中，取決於環境溫度，質量中心可能會在頻道間漂移。然而，當使用數位頻譜穩定儀時，質量中心則會永遠保持在頻道數值19。此校正係適用於整個頻譜。在48小時測試期間內，穩定儀係維持0.662MeV¹³⁷Cs峰值之質量中心於±0.075頻道數值(1-sigma)內。

[校正方法]

如同其他核子量測儀器，該量測儀器必須校正以將伽瑪射計數轉換成材料容積密度。初步校正必須利用鎂(Mg)及鋁(Al)金屬圓柱體及瀝青圓柱體以實施。當經由頻譜得到計數時，係計數能量介於0.25MeV至0.73MeV間之伽瑪射線。對於10分鐘之計數而言，密度量測精確度在2.35g/cm³時係0.0015g/cm³(1-sigma)。對於4分鐘之計數而言，在相同密度下，精確度則降低至約0.0045g/cm³(1-sigma)。值得注意的是，1b/ft³(PCF)=0.01602 g/cm³。由此方法決定之密度係與樣本方向無關。這些方向係：(1)透過樣本支架繞垂直軸之旋轉，以及(2)樣本以正面或背面放置於樣本支架上。

該量測儀器係用以決定數種樣本之密度。樣本係以隨機方向放置於支架上，其圓柱軸接近於穿透樣本支架中心之垂直線。對每個樣本而言，數種量測係於不同日子完成。利用相同校正，密度係由10分鐘計數(表一)決定。10



五、發明說明 (12)

分鐘計數之量測重覆性係約 $0.002\text{g}/\text{cm}^3(1-\text{sigma})$ 。

12個瀝青圓柱體(表二, 樣本數目1至12)係用以校正原型(propotype)量測儀器。所有樣本係直徑150mm、高度115mm之圓柱體樣本, 以具有額定尺寸9.5mm及12.5mm之北加州花岡岩為粒料類型。所有樣本之密度係由水位位移方法(G_{mb})決定。樣本高度係利用游標卡尺量測。來自樣本及其環境之背景放射線係量測當射線源平板上沒有五個點 ^{137}Cs 伽瑪射線源時之計數以得到。由0.25至0.73MeV能量間隔中之背景平均值係用以決定由五個點 ^{137}Cs 伽瑪射線源於該探測器之真實伽瑪竹私線計數。該等樣本之部分特性係列於表二。每個樣本之計數比(Count Ratio, CR)係由下式決定:

$$CR = (Cnt - Bgd) / Std$$

其中

Cnt=10分鐘伽瑪射線計數,

Bgd=10分鐘平均背景計數, 以及

Std=鎂(Mg)圓柱體減去Bgd之10分鐘伽瑪射線計數。

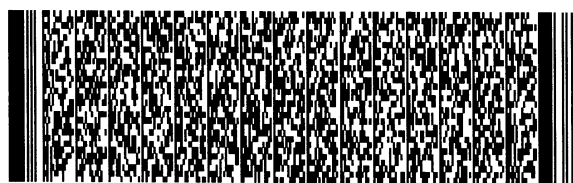
第五圖係顯示所有樣本之計數比(CR)對面積密度(Area Density, D')。

這裡,

$$D' = G_{mb} h$$

這裡, h 係圓柱體之高度。第五圖之曲係下列資料形式之最佳匹配(best fit)

$$CR = A e^{-BD'} - C$$



五、發明說明 (13)

其中，A，B及C係匹配係數或校正常數。該最佳匹配之三個校正常數，其數量如下：

$$A=2.675,$$

$$B=0.0479\text{cm}^2/\text{g}, \text{ 以及}$$

$$C=6.36\text{E}-10.$$

該匹配之決定係數， R^2 ，係0.996。

利用密度校正，21種未知瀝青圓柱體之容積密度係量測(表二，樣本數值13至33)。該等密度係利用校正常數A，B及C，標準計數Std，平均背景計數Bgd，圓柱體高度h，及計數比CR以計算。密度D之計算公式係：

$$D=(-1/Bh)\text{Ln}((CR+C)/A)$$

隨後，所有樣本之密度係以水位位移方法(G_{mb})決定。

第六圖係顯示利用水位位移方法及利用伽瑪射線方法決定之未知瀝青樣本之密度之比較。本圖線條係 R^2 為0.998之回歸線(regression line)。所有樣本(表列於 C_{mb} -D欄)之密度差值係揭示於表三。瀝青樣本之密度差值係 $0.006 \pm 0.011\text{g}/\text{cm}^3$ (1-sigma)，其最小差值 $-0.015\text{g}/\text{cm}^3$ 且最大差值 $0.033\text{g}/\text{cm}^3$ 。

隨後，所有瀝青圓柱體，校正用圓柱體及當作未知之圓柱體係用以決定由花岡岩粒料(第七圖)組成之瀝青混合物之校正係數。根據此最佳曲線，正規化因子可以計算得到，藉以將碎石及石塊樣本之重量密度轉換為"瀝青等同"密度。這些因子係與Troxler核子表面量測儀器慣用之正規化因子揭示於表四。



五、發明說明 (14)

當校正此量測儀器時，吾人可利用三種具有"瀝青等同"密度之碎石或石塊圓柱體，而不必使用大量由實際瀝青混合物組成之圓柱體。

表一：樣品數目與密度之可重覆性

樣本	01/03/00	01/05/00	01/11/00	01/13/00
Mg (1762 kg/m ³)	1761	1765	1763	1767
	1762		1762	1768
				1763
				1768
Al (2574 kg/m ³)	2573	2575	2575	2578
	2576		2574	2578
RT-03-01 (2141 kg/m ³)	2141	2139	2141	2143
			2143	2145
BAZ-01-01 (2487 kg/m ³)	2463	2463	NA	NA
CAY-09-01 (2451 kg/m ³)	NA	NA	2458	2463
			2461	2458

NA-- 無法取得



五、發明說明 (15)

表 二

樣本編號	樣本 I.D.	直徑 (in)	高度 (in)	M/V (g/cc)	Gmb (g/cc)	尺寸	AC (%)	Gmm (g/cc)
1	RT-01-01	5.911	4.575	2.342	2.357	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
2	RT-01-02	5.911	4.573	2.343	2.359	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
3	RT-02-01	5.913	4.549	2.234	2.259	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
4	RT-02-02	5.906	4.550	2.238	2.261	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
5	RT-03-01	5.914	4.551	2.113	2.141	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
6	RT-03-02	5.916	4.544	2.115	2.143	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
7	BAZ-01-01	5.908	4.496	2.454	2.487	SP 9.5 mm	5.4	2.531
8	BAZ-02-01	5.906	4.497	2.357	2.401	SP 9.5 mm	5.4	2.531
9	BAZ-03-02	5.907	4.528	2.240	2.303	SP 9.5 mm	5.4	2.531
10	BAZ-04-01	5.930	4.486	2.146	2.218	SP 9.5 mm	5.4	2.531
11	H-1	5.910	4.534	2.476	2.527	SP 12.5 mm	5.2	2.593
12	H-2	5.912	4.537	2.471	2.525	SP 12.5 mm	5.2	2.593
13	CAY-08-04	5.914	4.584	2.352	2.448	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
14	CAY-08-05	5.912	4.582	2.354	2.451	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
15	CAY-08-06	5.901	4.501	2.408	2.445	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
16	CAY-09-01	5.913	4.546	2.445	2.504	CCM 19.0 mm	4.5	2.597
17	CAY-09-02	N/A	4.558	N/A	2.502	CCM 19.0 mm	4.5	2.597
18	CAY-09-03	N/A	4.576	N/A	2.498	CCM 19.0 mm	4.5	2.597
19	759-05	N/A	4.599	N/A	2.302	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
20	759-07	N/A	4.606	N/A	2.292	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
21	759-08	N/A	4.583	N/A	2.303	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
22	771-01	N/A	4.512	N/A	2.441	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
23	771-03	N/A	4.490	N/A	2.445	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
24	771-04	N/A	4.514	N/A	2.438	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
25	772-01	N/A	4.508	N/A	2.437	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
26	772-02	N/A	4.489	N/A	2.444	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
27	772-03	N/A	4.503	N/A	2.438	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
28	223-02	N/A	4.598	N/A	2.396	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
29	223-03	N/A	4.617	N/A	2.384	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
30	223-04	N/A	4.558	N/A	2.409	CCM 9.5 mm	5.4	2.531
31	746-01	N/A	4.582	N/A	2.309	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
32	746-02	6.011	4.576	1.762	2.309	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409
33	746-03	N/A	4.570	N/A	2.310	RI-2 9.5 mm	6.3	2.409

NA-- 無法取得

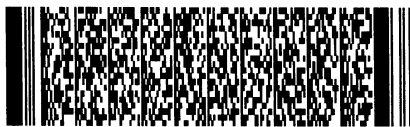


五、發明說明 (16)

表三：本發明所測得之密度與水位位移方法所測得者之比較

樣本 編號	樣本 I.D.	G_{mb} (g/cc)	高度 (in)	計數 (10 min)	Bgd (10 min)	淨計數 (10 min)	比率	D (g/cc)	$G_{mb}-D$ (kg/m ³)
1	RT-01-01	2.355	4.575	1743280	64000	1679280	0.720	2.358	-2.6
2	RT-01-02	2.35	4.573	1743317	64000	1679317	0.720	2.359	-8.6
3	RT-02-01	2.26	4.549	1843631	64000	1779631	0.763	2.266	-6.2
4	RT-02-02	2.257	4.55	1840810	64000	1776810	0.762	2.269	-11.5
5	RT-03-01	2.141	4.551	1973188	64000	1909188	0.819	2.138	2.7
6	RT-03-02	2.147	4.544	1963662	64000	1899662	0.815	2.151	-3.6
7	BAZ-01-01	2.487	4.496	1669048	64000	1605048	0.688	2.482	5.4
8	BAZ-02-02	2.401	4.497	1738441	64000	1674441	0.718	2.404	-2.7
9	BAZ-03-02	2.303	4.528	1836585	64000	1772585	0.760	2.284	19.1
10	BAZ-04-01	2.218	4.486	1930013	64000	1866013	0.800	2.211	6.8
11	H-1	2.527	4.534	1610913	64000	1546913	0.663	2.528	-0.7
12	H-2	2.525	4.537	1613565	64000	1549565	0.664	2.523	2.1
13	CAY-08-04	2.448	4.478	1720589	64000	1656589	0.710	2.434	14.4
14	CAY-08-05	2.451	4.474	1720816	64000	1656816	0.710	2.436	15.5
15	CAY-08-06	2.445	4.501	1700748	64000	1636748	0.702	2.443	1.8
16	CAY-09-01	2.504	4.546	1645141	64000	1581141	0.678	2.481	22.5
17	CAY-09-02	2.502	4.558	1650293	64000	1586293	0.680	2.469	32.9
18	CAY-09-03	2.498	4.576	1628947	64000	1564947	0.671	2.484	14.3
19	759-05	2.302	4.599	1784293	64000	1720293	0.738	2.302	-0.1
20	759-07	2.292	4.606	1788908	64000	1724908	0.740	2.294	-1.9
21	759-08	2.303	4.583	1787279	64000	1723279	0.739	2.307	-4.1
22	771-01	2.441	4.512	1699848	64000	1635848	0.701	2.438	2.8
23	771-03	2.445	4.49	1710575	64000	1646575	0.706	2.438	6.8
24	771-04	2.438	4.514	1700193	64000	1636193	0.702	2.437	1.2
25	772-01	2.437	4.508	1709851	64000	1645851	0.706	2.429	7.7
26	772-02	2.444	4.489	1709257	64000	1645257	0.705	2.440	3.8
27	772-03	2.438	4.503	1709436	64000	1645436	0.706	2.432	5.6
28	223-02	2.396	4.598	1710967	64000	1646967	0.706	2.381	15.5
29	223-03	2.384	4.617	1694632	64000	1630632	0.699	2.388	-4.5
30	223-04	2.409	4.558	1716174	64000	1652174	0.708	2.396	13.3
31	746-01	2.309	4.582	1782925	64000	1718925	0.737	2.312	-3.1
32	746-02	2.309	4.576	1781946	64000	1717946	0.737	2.316	-7.2
33	746-03	2.31	4.57	1776317	64000	1712317	0.734	2.325	-15.1
34	Mg	1.784	4.531	2393211	61148	2332063	1	1.762	21.6
35	石灰石	2.2	4.541	1877033	59481	1817552	0.779	2.229	-29.5
36	花崗岩	2.625	4.56	1536033	81564	1454469	0.624	2.639	-14.5
37	Al	2.713	4.528	1536514	58580	1477934	0.634	2.628	85.2

Bgd -- 背景



五、發明說明 (17)

表四：瀝青等同密度正規化因子

樣本	正規化因子		
	“瀝青圓柱體”	“土壤” (for M34XX)	“瀝青” (for M3450 & M4640)
鎂	0.9931	0.988	0.988
石灰石	1.0142	1.01	--
花崗岩	1.0022	0.99	--
鋁	0.9650	0.964	0.949

依據本發明之說明書及所附圖示，熟悉此技藝之人士當可據以得到許多更動及其他實施例。因此，雖然本發明已以較佳實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作各種之更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。



圖式簡單說明

- 10 : 量測儀器大體
- 12 : 基台
- 14 : 支持桿
- 16 : 射線源平板
- 18 : 樣本支架
- 20 : 測試樣本
- 22 : 探測器支持平板
- 24 : 碘化鈉(NaI)火花探測器
- 28 : 倍光管(PMT)
- 30 : 伽瑪射線源

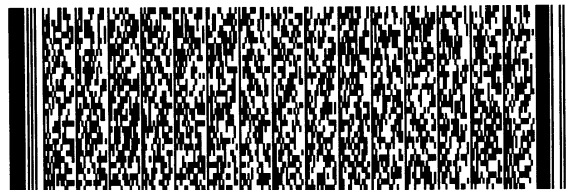


四、中文發明摘要 (發明之名稱：伽瑪射線決定樣本容積密度之裝置與方法)

一種核子密度量測儀器及測試方法係提供以量測容積密度，特別是圓柱狀樣本(如瀝青鋪砌材料)之容積密度。此量測儀器包括：一基台；一樣本支架，由該基台承載且具有接收及夾持圓柱狀樣本之第一平面端之表面結構；一平板，固定於該樣本支架附近；及至少三個伽瑪射線源，位置於鄰近該樣本支架之該平板中。這些射線源係位置成彼此間隔關係，藉以由至少三個彼此間隔之位置發射伽瑪射線至該樣本一端。這些射線源各包括具有一特徵主能量之同位素。一探測器係固定於該基台且位置於該圓柱狀樣本之相對端附近，藉以接收穿透於該樣本之伽瑪射線。一裝置係提供以配合此探測器，藉由探測器得到之伽瑪射線計數以計算該樣本之該容積密度。較佳者，此探測器包括

英文發明摘要 (發明之名稱：Apparatus and Method for Gamma-Ray Determination of Bulk Density of Samples)

A nuclear density gauge and test method is provided for measuring bulk density, especially of a cylindrically shaped sample such as asphalt paving material. The gauge comprises a base; a sample holder carried by the base and having a surface configured for receiving and holding a first generally planar end of the cylindrically shaped sample; a plate mounted in proximity to said sample holder; and at least three sources of gamma radiation located in said plate adjacent the

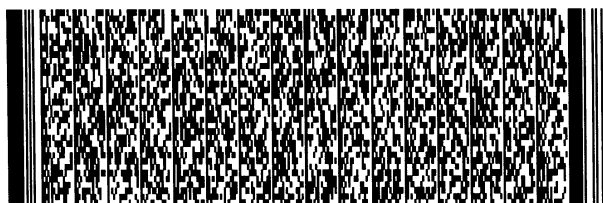


四、中文發明摘要 (發明之名稱：伽瑪射線決定樣本容積密度之裝置與方法)

一火花探測器，且計算該樣本容積密度之裝置具有一分析儀，連接於該火花探測器以探測於既定能量頻譜內之伽瑪射線，其最好是落於0.1MeV至2MeV之範圍內。

英文發明摘要 (發明之名稱：Apparatus and Method for Gamma-Ray Determination of Bulk Density of Samples)

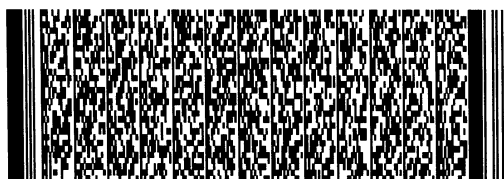
sample holder. The sources are positioned in spaced-apart relation from one another for emitting gamma radiation from at least three spaced-apart locations into said one end of the sample. Each of the sources comprises an isotope having a characteristic primary energy. A detector is mounted to the base and is positioned adjacent the opposite end of the cylindrically shaped sample for receiving gamma radiation which has penetrated the sample. Means is provided



四、中文發明摘要 (發明之名稱：伽瑪射線決定樣本容積密度之裝置與方法)

英文發明摘要 (發明之名稱：Apparatus and Method for Gamma-Ray Determination of Bulk Density of Samples)

cooperating with the detector for calculating the bulk density of the sample based upon the gamma radiation counts by the detector. Preferably the detector comprises a scintillation detector, and the means for calculating the bulk density of the sample includes an analyzer connected to the scintillation detector for detecting gamma radiation in a predetermined energy spectrum, which preferably falls within the range of 0.1 MeV to 2 MeV.



六、申請專利範圍

1. 一種量測一樣本之容積密度之裝置，包括：

複數個伽瑪射線源，位置以彼此間隔之關係，藉以由複數個彼此間隔之位置發射伽瑪射線至一放置於附近之樣本；

一探測器，固定以接收穿透該樣本之伽瑪射線；以及
一裝置，配合該探測器，依據由該探測器取得之伽瑪射線計數以計算該樣本之該容積密度。

2. 如申請專利範圍第1項所述之裝置，其中，各該等伽瑪射線源係一點射線源。

3. 如申請專利範圍第1項所述之裝置，更包括一射線源平板，該射線源固定於該射線源平板。

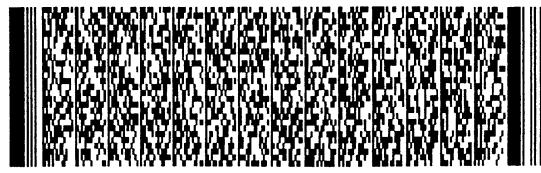
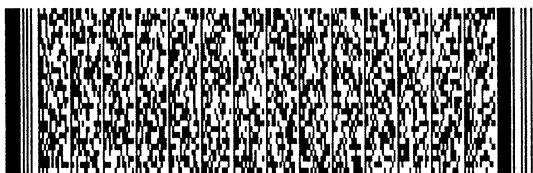
4. 如申請專利範圍第3項所述之裝置，其中，該等射線源之數量至少有三個且被排列於一共同平面。

5. 如申請專利範圍第4項所述之裝置，更包括一樣本支架，安裝以夾持一圓柱狀樣本，該樣本支架係固定於該射線源附近，藉以使該等射線源指向相對於該圓柱狀樣本之一第一表面之間隔位置。

6. 如申請專利範圍第5項所述之裝置，其中，該探測器係固定以由該第一表面指向該樣本之相對側。

7. 如申請專利範圍第1項所述之裝置，其中，該探測器係安裝以探測於一既定能量頻譜內之伽瑪射線。

8. 如申請專利範圍第7項所述之裝置，其中，該探測器係包括一閃爍探測器，且其中，用以計算該樣本之該容積密度之該裝置係包括一分析儀，連接於該閃爍探測器，藉以



六、申請專利範圍

探測於一既定能量頻譜內之伽瑪射線。

9. 如申請專利範圍第7項所述之裝置，其中，該既定能量頻譜係落於0.1MeV至2MeV之範圍內。

10. 如申請專利範圍第9項所述之裝置，其中，該既定能量頻譜係落於0.1MeV至一最大數值之範圍內，其選擇以基本上包括所有具有該等射線源之特徵主要能量之伽瑪射線。

11. 如申請專利範圍第9項所述之裝置，其中，各該等射線源係包括一具有一0.662MeV主要能量之 ^{137}Cs 伽瑪射線源。

12. 如申請專利範圍第11項所述之裝置，其中，該既定能量頻譜係落於0.25MeV至0.73MeV之範圍內。

13. 一種量測一樣本之容積密度之裝置，包括：

一樣本支架；

一平板，固定於該樣本支架附近；

複數個伽瑪射線源，位置於相近於該樣本支架之該平板中；該等射線源係位置以彼此間隔之關係，藉以由複數個彼此間隔之位置發射伽瑪射線至位於該樣本支架中之一樣本，各該等射線源包括具有一特徵主能量之一同位素；

一探測器，固定以接收穿透該樣本之伽瑪射線；以及

一裝置，配合該探測器，依據該探測器得到之伽瑪射線計數以計算該樣本之容積密度。

14. 如申請專利範圍第13項所述之裝置，其中，該樣本支架係一平面、大致圓形之結構，藉以接收一圓柱狀樣本之



六、申請專利範圍

一 第一端。

15. 如申請專利範圍第14項所述之裝置，其中，該平板係一大致圓形結構，且固定於該樣本支架附近，使其中彼此間隔之該等射線源位相對於該樣本之該第一端。

16. 如申請專利範圍第15項所述之裝置，其中，該探測器係固定以指向相對於該圓柱狀樣本之一第二端。

17. 一種量測一圓柱狀樣本之容積密度之裝置，包括：

一基台；

一樣本支架，由該基台承載且具有一表面，安裝以接收及夾持該圓柱狀樣本之一第一大致平面端；

一平板，固定於該樣本支架附近；

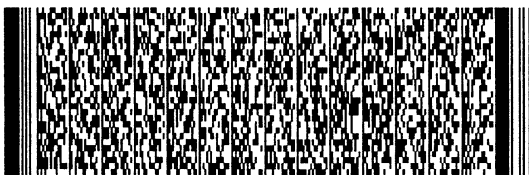
至少三伽瑪射線源，位置於相鄰該樣本支架之該平板中，該等射線源係位置以彼此間隔之關係，藉以由至少三個彼此間隔之位置發射伽瑪射線至該樣本之該一端；各該等射線源係包括一具有一特徵主能量之同位素；

一探測器，位置於相對於該第一端之該圓柱狀樣本之一第二大致平面端，藉以接收穿透該樣本之伽瑪射線；以及

一裝置，配合該探測器，依據該探測器得到之伽瑪射線計數以計算該樣本之該容積密度。

18. 如申請專利範圍第17項所述之裝置，其中，該探測器包括一閃爍探測器，且其中，計算該樣本之容積密積之該裝置係具有一分析儀，連接該閃爍探測器，藉以探測於一既定能量頻譜中之伽瑪射線。

19. 如申請專利範圍第18項所述之裝置，其中，該既定能



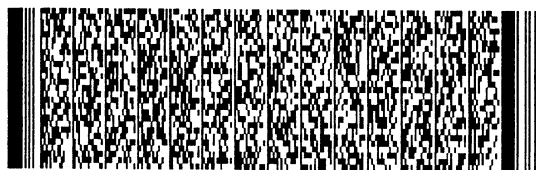
六、申請專利範圍

- 量頻譜係落於0.1MeV至2MeV之範圍內。
20. 如申請專利範圍第19項所述之裝置，其中，各該等射線源係包括一具有一0.662MeV主能量之 ^{137}Cs 伽瑪射線源。
21. 如申請專利範圍第20項所述之裝置，其中，該既定能量頻譜係落於0.25MeV至0.73MeV之範圍內。
22. 如申請專利範圍第18項所述之裝置，其中，各該等射線源具有一不超過20 μCurie 之射線活性。
23. 如申請專利範圍第18項所述之裝置，其中，所有該等射線源之總射線活性不超過10 μCurie 。
24. 如申請專利範圍第18項所述之裝置，更具有一數位頻譜穩定儀，其操作以補償於該閃爍探測器中之頻譜漂移。
25. 如申請專利範圍第24項所述之裝置，其中，該數位頻譜穩定儀係具有一參考伽瑪射線源，其具有一不同於該等射線源且超出該既定能量頻譜之主能量。
26. 一種量測一樣本之容積密度之方法，包括：
由複數個彼此間隔之伽瑪射線源位置發射伽瑪射線至一樣本；
探測穿透該樣本之伽瑪射線；以及
依據該探測器得到之伽瑪射線計數以計算該樣本之容積密度。
27. 如申請專利範圍第26項所述之方法，其中，該發射伽瑪射線之步驟係包括由複數個射線源發射伽瑪射線。
28. 如申請專利範圍第27項所述之方法，其中，該等射線



六、申請專利範圍

- 源之數目至少三個且被排列於一共同平面。
29. 如申請專利範圍第28項所述之方法，其中，發射射線之該步驟係包括發射伽瑪射線至一圓柱狀樣本之一第一端，且該探測步驟係包括探測於該圓柱狀樣本之該相對端之射線。
30. 如申請專利範圍第26項所述之方法，其中，該探測步驟係利用一閃爍探測器以實施，且其中，計算該樣本之該容積密度之該步驟係藉探測於一既定能量頻譜中之伽瑪射線以達成。
31. 如申請專利範圍第30項所述之方法，其中，計算容積密度之該步驟係包括依據於一既定能量頻譜中之伽瑪射線計數以計算該樣本之該容積密度，該既定能量頻譜係落於0.1MeV至一最大數值之範圍內，其該最大數值係對應於該等射線源之特徵主能量之基本能量(base)。
32. 如申請專利範圍第31項所述之方法，其中，各該等射線源係包括一具有一0.662MeV主能量之 ^{137}Cs 伽瑪射線源。
33. 如申請專利範圍第32項所述之方法，其中，該既能量頻譜係落於0.25至0.73MeV之範圍內。
34. 如申請專利範圍第31項所述之方法，其中，各該等射線源具有一不超過 $20\ \mu\text{Curie}$ 之射線活性。
35. 如申請專利範圍第31項所述之方法，其中，所有該等射線源之總射線活性不超過 $10\ \mu\text{Curie}$ 。
36. 一種量測一圓柱狀樣本之容積密度之方法，包括：



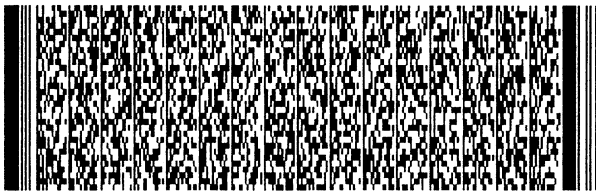
六、申請專利範圍

提供一圓柱狀樣本，其具有平坦、大致圓形之相對端；
定位該樣本之一端於至少三伽瑪射線源附近，該等射線源係被定位以彼此間隔之關係，藉以由三個彼此間隔之位置發射伽瑪射線至該樣本之該端，各該等射線源係包括一具有一特徵主能量之同位素；

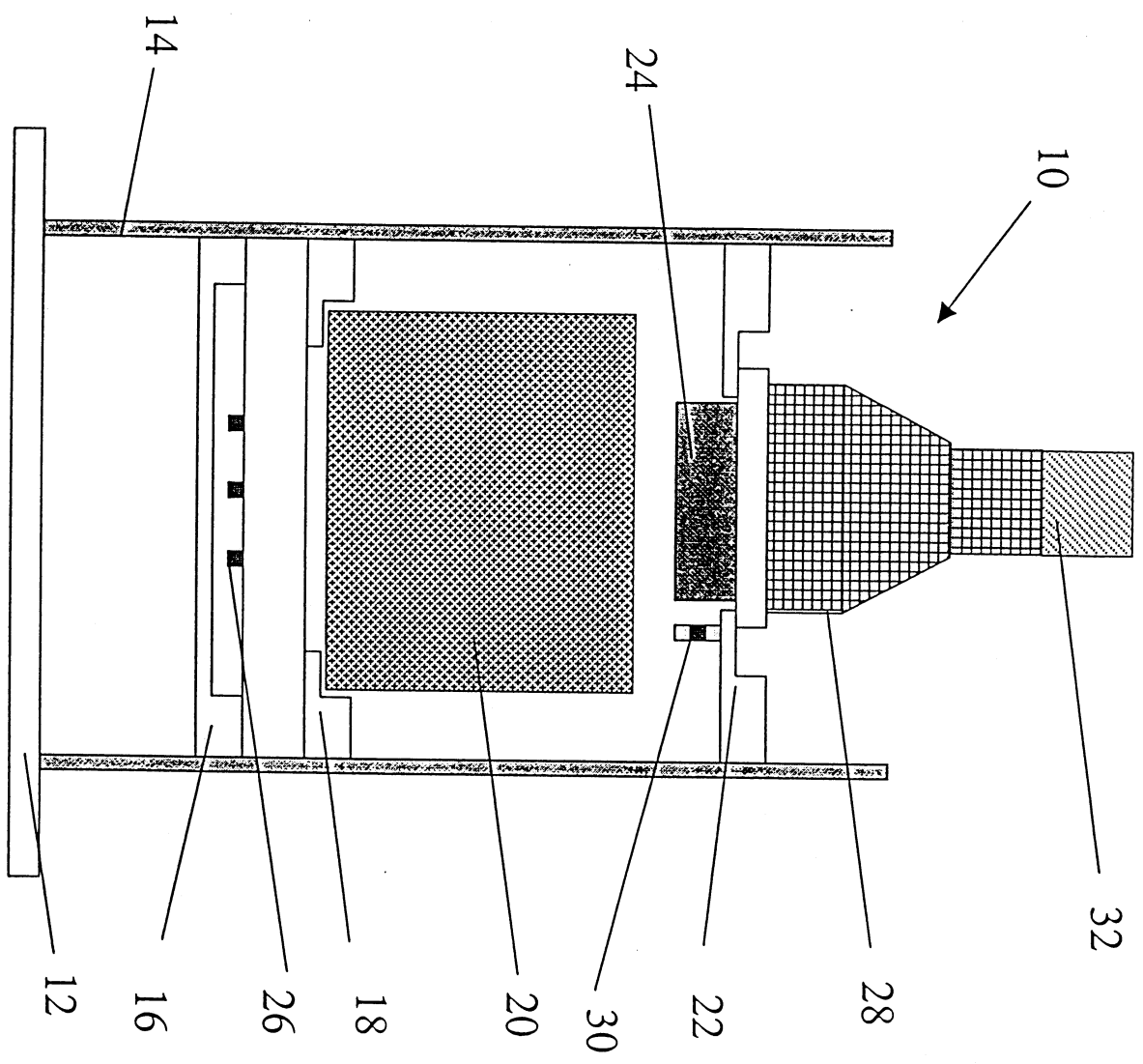
定位該樣本之該相對端於一探測器附近，藉以接收穿透該樣本之伽瑪射線；以及

依據該探測器得到之伽瑪射線計數以計算該樣本之該容積密度。

37. 如申請專利範圍第36項所述之方法，其中，計算該樣本之該容積密度之該步驟係包括探測於一既定能量頻譜中之伽瑪射線，其落於0.1MeV至2MeV之範圍內。

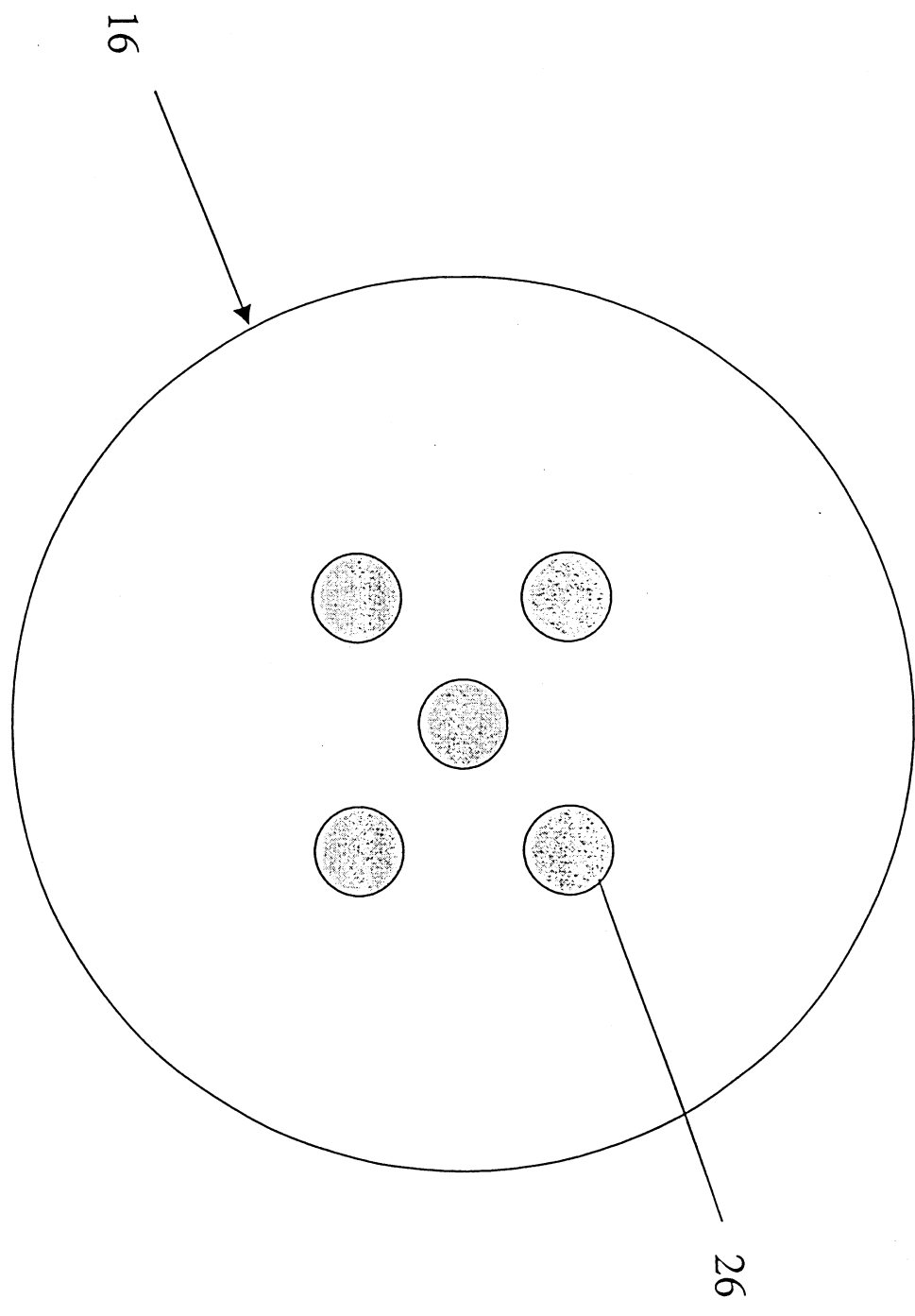


圖式



第一圖

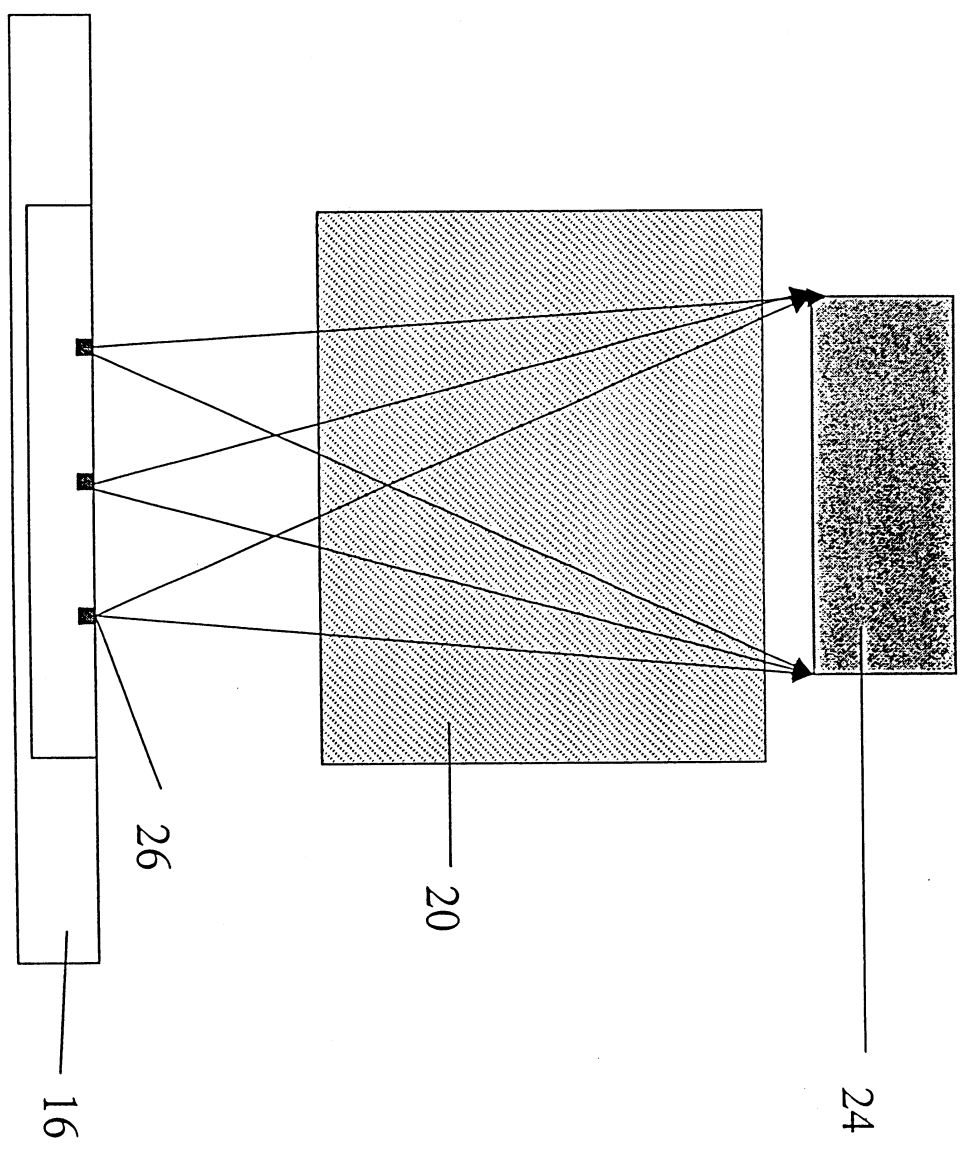
圖式



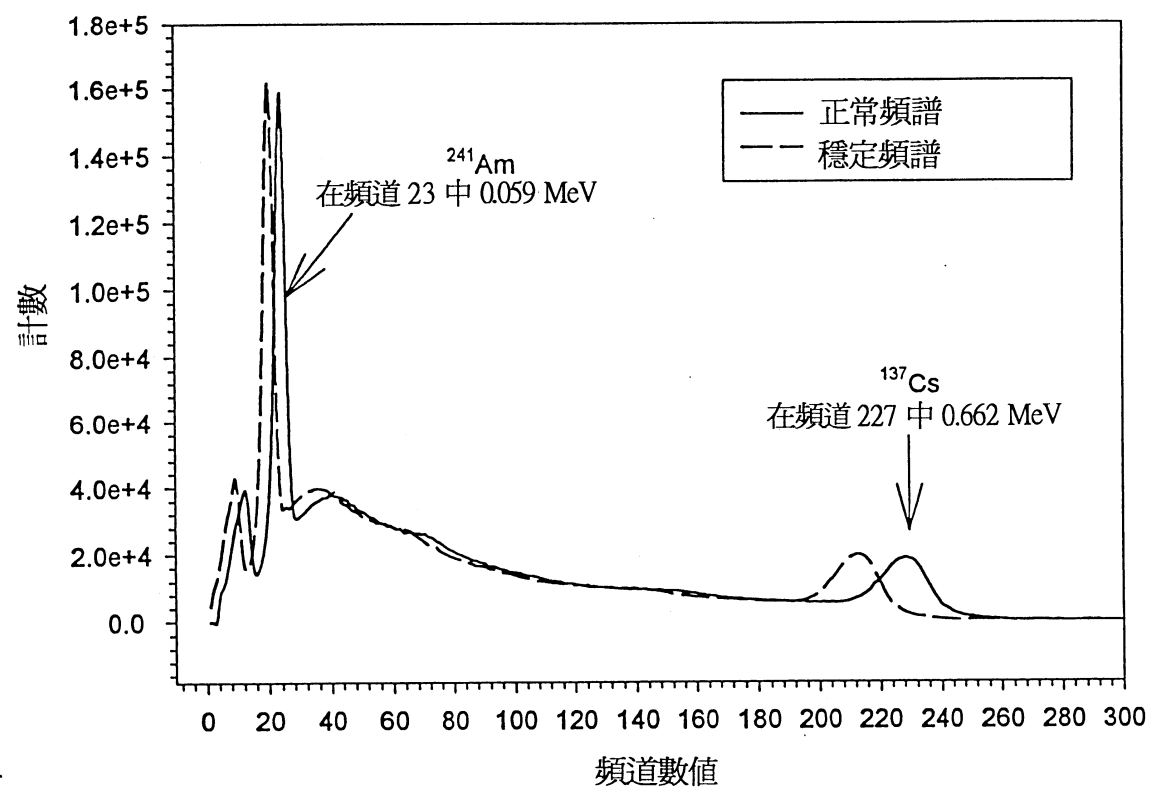
第二圖

圖式

第三圖

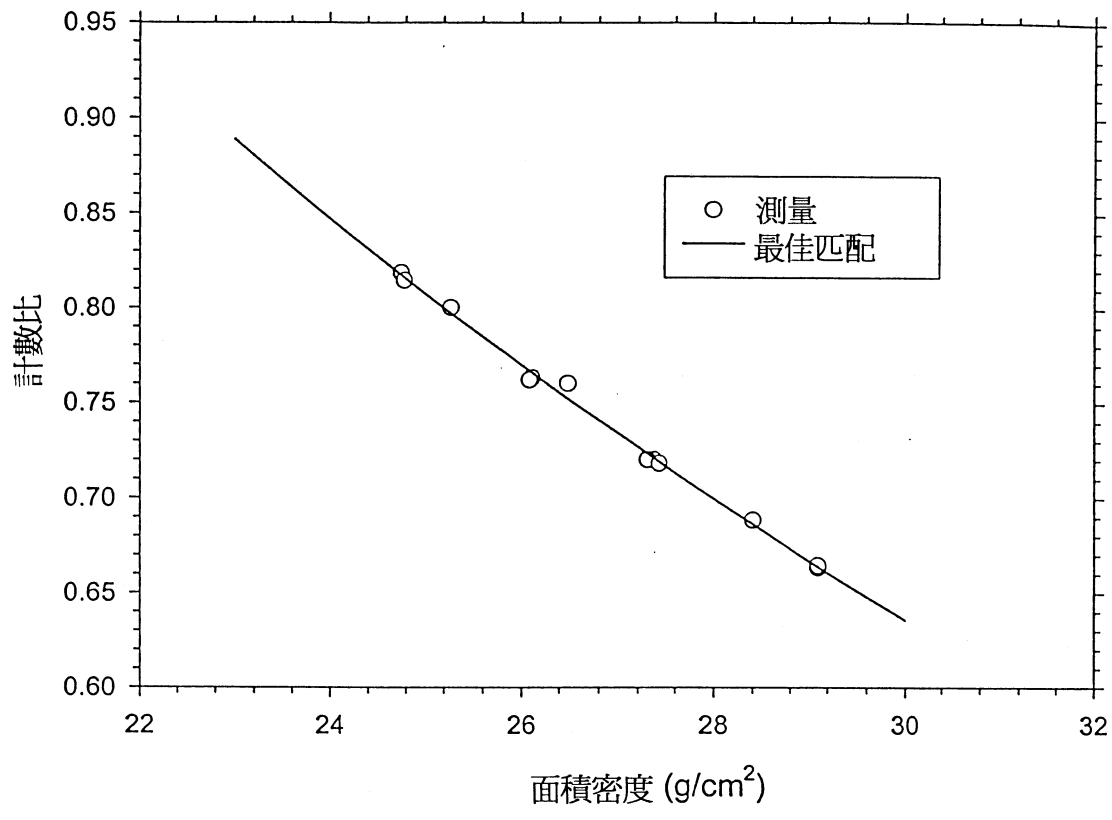


圖式



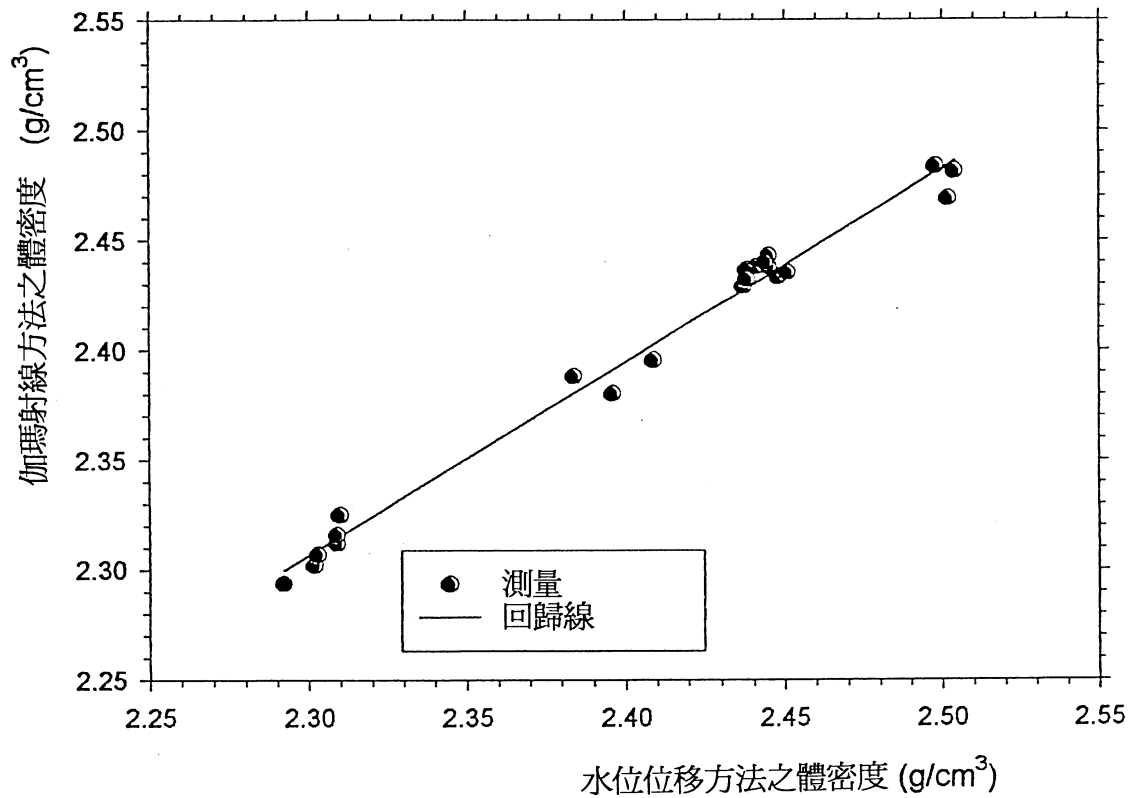
第四圖

圖式



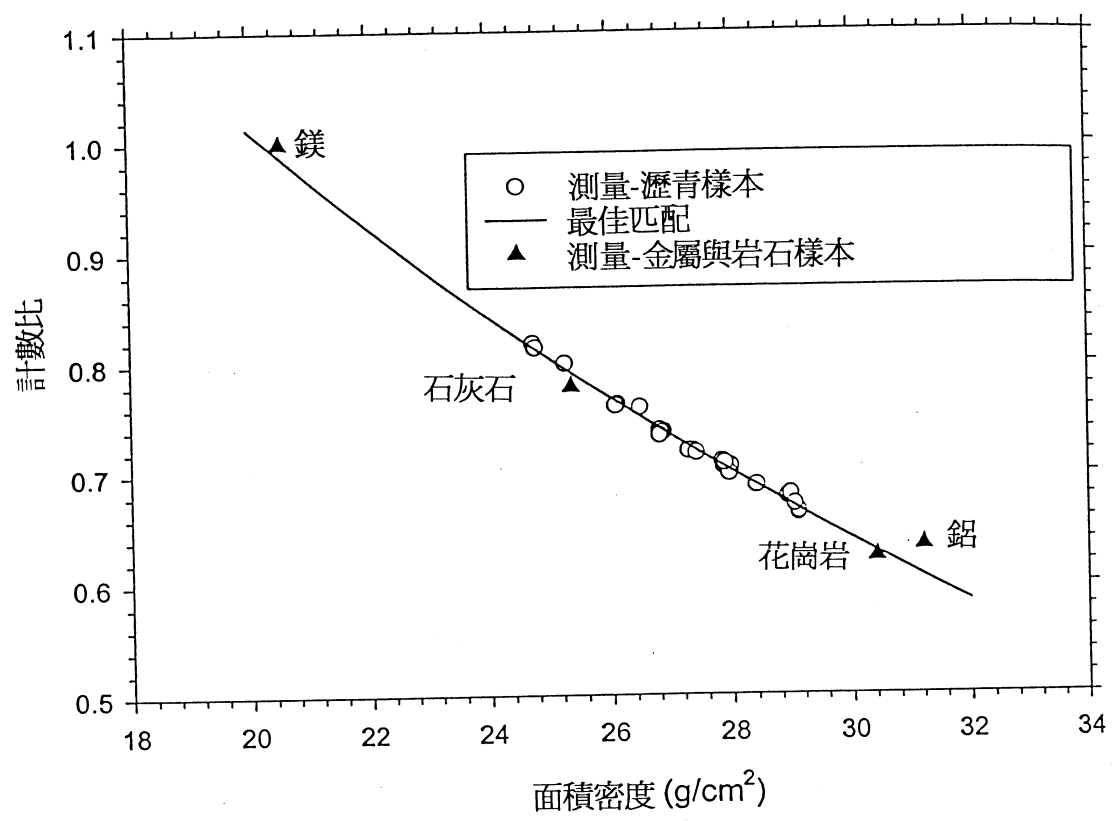
第五圖

圖式



第六圖

圖式



第七圖