

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

奈米孔隙活性碳薄膜可行性研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2218-E-002-049-

執行期間：92年11月01日至93年03月31日

執行單位：國立臺灣大學應用力學研究所

計畫主持人：陳發林

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 6 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

## 奈米孔隙活性碳薄膜可行性研究

計劃編號: NSC 92-2218-E-002-049

執行時間: 92/11/01 ~ 93/03/31

主持人: 陳發林教授

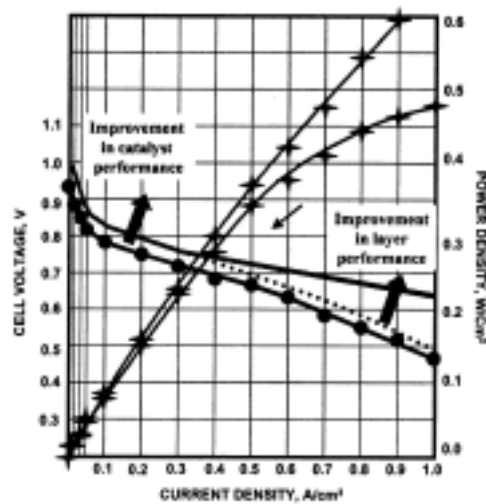
執行單位: 國立台灣大學 應用力學所

### 摘要

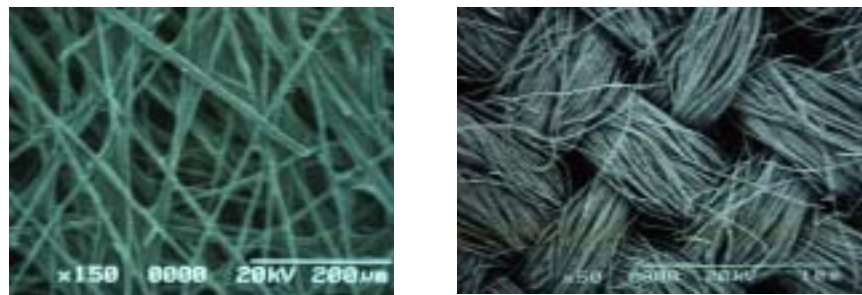
本計畫研發出一套創新的「生物製程」以生產高性能的多孔催化薄膜，可應用於高品質的工業級產品，如燃料電池、空氣濾清器、血液透析等需配有多孔催化薄膜之裝置。此生物製程主要內容是選擇適當的植物細胞，在可調控其生長方向及速度的環境下培養成預先設定好之薄膜尺寸與形狀，並在培養期間使其吸收奈米級之催化元素粉粒（大都為金屬）。培養形成的細胞薄膜再經高溫碳化處理，最後以特定機械製程將整體薄膜之機械性質加以強化，而製成工業級的高性能多孔催化薄膜。所製成之薄膜具均勻的孔隙及催化元素的分佈，是一般催化薄膜所難達到的規格。在發展此生物製程的過程中，將涉及到四項核心技術，與生物製程本身之技術配合，可搭配成許多不同的單項技術組合，以適合不同等級薄膜之製造，構成一套相當有彈性的「專利路徑圖」，也是本計畫的特色。

### 技術研究內容

具「化學反應」及「催化功能」的「可透析多孔薄膜」於工業產品上的應用相當廣泛，從化工製程的過濾裝置、分離裝置、透析裝置等，到燃料電池的催化電極層，醫療器具中的血液透析設備等等，皆需用到此類催化薄膜。這些薄膜大都是具有下列特性，如皆是以碳為薄膜主體元素，以利過濾或透析或導電之用，如需具多孔結構，以利流體之穿透，如需含有催化元素，以利化學反應之進行...等等。但以機械製程生產以碳為基底的多孔薄膜是相當繁瑣且品質不易控制的技術，更不易將催化元素均勻地分佈於整體薄膜之中。故目前普遍的作法是將催化元素塗佈於薄膜表層而已。其結果是，以燃料電池薄膜為例[1-5]，其催化元素（白金）用量大，但所產生的電流密度低（因氫原子不易碰到白金而反應，見圖一），而且比碳布或碳紙為基底的薄膜所生的內電阻過大，導致整體燃料電池的特性大量降低，見圖二和圖三之比較。其它用途的薄膜亦有類似的問題，在此不再逐一一列舉。本計畫即提出一生物製程，擬發展出能操控植物細胞成長方向及速度的技術，配合計畫中所研發出的奈米催化溶液之細胞培養環境及細胞吸收催化元素的相關技術，而長成含催化元素的細胞薄膜。再將此細胞薄膜在適當環境下加以碳化，最後再以適當的機械模製程序，強化其機械性質，同時也模製成所要的形狀與大小。



圖一：燃料電池性能曲線[1]，在低電流密度時，提升電池電壓的方法是增進催化白金的反應能力，在高電流密度時，提升電池電壓的方法是減少電池內的內電阻。本計畫所提生物製程所做成之催化薄膜能同時增進此二能力。



圖二：（左）碳紙（右）碳布的內部纖維結構。從此二圖可看出，其內部纖維接觸相當不理想，導致其內電阻相當之大。

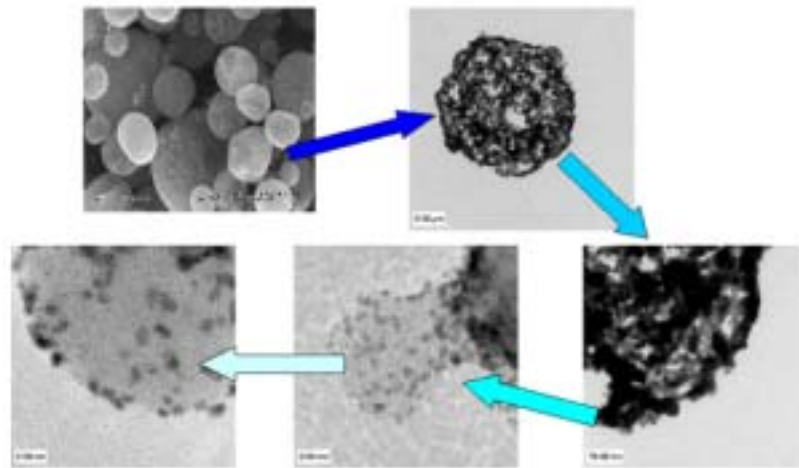


圖三：（左）竹炭細胞放大圖。細胞碳化後具多孔性，且其間之連結緊密，其內電阻相當小。（中）竹炭細胞多樣性，有大小不同和組織結構迥異的特性，可資本計畫選擇其中適合之細胞而培養之。（右）竹炭中微管束細胞的奈米孔隙也是可利用的細胞之一。

這套製程所生產的薄膜具有下列特性：

- (a) 薄膜上均勻分佈碳顆粒，其上皆均勻地承載奈米級之催化元素粉粒（見圖四）。
- (b) 薄膜具均勻分佈的孔隙，其孔徑大小與所培養之細胞大小有關。
- (c) 經適當的機械模製及強化過程後，此薄膜即成爲所預定之厚度與形狀的工業產品。

在開發此生物製程中，同時也會發展四項核心技術，以下即針對此四項核心技術加以說明，並對其所可能帶來的前瞻應用及其目前這些相關技術的發展現況，及本計畫的方法與現存方法之優劣比較等問題，作系統性的討論。



圖四：碳顆粒承載奈米白金粉粒之逐步放大圖。本計畫所提之生物製程能藉細胞整齊的結構經碳化後而產生均勻分佈的碳顆粒，又因細胞充份的吸收白金粉粒，故能將白金粉粒均勻地沾附於碳顆粒上 [2]。

### (1) 可建立的核心技術

在建立本計畫的生物製程以得到高性能的多孔催化薄膜的研究過程中，我們將建立以下四大核心技術：

#### (a) 細胞選擇與培養技術

此項技術著重於細胞成長方向及速度的操控，而這類的技術依細胞種類不同而有所變化。相關的文獻對這方面的探討並不充分[6-12]，但這在生物製程裏卻是關鍵的技術。如能達到預期目標，則這方面所建立起來的技術應能領先各科技先進國家。

#### (b) 催化元素奈米膠體溶液製造技術

此項技術則有許多現成的研究結果可資參考[13]。然本計畫爲配合細胞培養及吸收奈米膠體的技術，所製成之膠體溶液必需能符合細胞的成長與吸收的環境。故本計畫仍需自行發展此技術，以應特殊條件之需。

#### (c) 細胞吸收催化元素技術

此項技術也是最新發展的重要領域[14-22]。發展這類技術的主要目的是希望利用細胞生物技術來形成金屬粉粒之奈米結構。而本計畫則利用此技術使奈米粉粒能均勻地被吸收於細胞內，再因細胞均勻分佈於薄膜中，使催化元素能

均勻地分佈於整體薄膜上。這套技術的優勢是目前市面上催化薄膜所難以達成的，亦即這些薄膜中的催化元素並無法均勻地分佈於薄膜內（大都只在表層）[1,5]，但本計畫所提出之生物製程卻可。而不同細胞吸收不同催化元素之過程與條件均有可能不同，這些條件均勻需有系統的研究而得，這過程將建立一系列的技術，而這些技術目前在世界上的公開文獻中所沒有的。

#### (d) 細胞薄膜碳化與強化技術

此項技術在許多文獻上也有類似的記載[23-27]，只要有系統的深入研究，並無預期的困難，但研究的程序可能相當繁瑣，需費許多人力與設備才能執行。故也可能發展出獨特的碳化技術或薄膜強化的製程技術。

## (2) 這些核心技術可能帶來的前瞻應用

本計畫的四項核心技術中，有兩項很可能發展成具工業生產價值的前瞻技術，其大方向是將生物材料製成工業成品，現說明如下：

### (a) 細胞培養技術

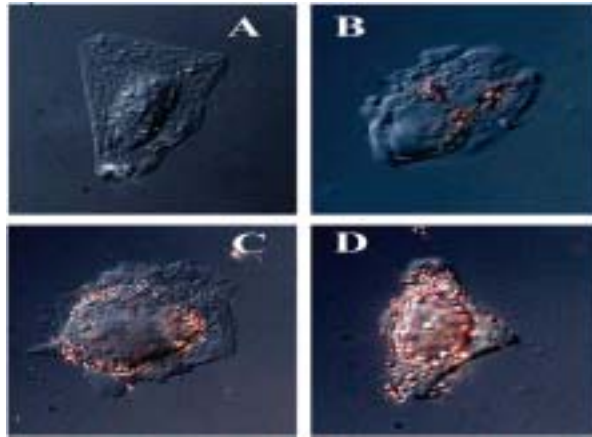
無論是動物或植物細胞，其培養技術均是多年來生物界研究重點，但大都僅限於實驗室培養階段[6-10]。如今此計畫會將此技術發展成適合應用於工業材料的大量制式生產，因此這技術所考量的因素就可能與實驗室的培養技術很不一樣。這套新技術將可推廣在許多不同的用途，而其大方向即「以生物材料加工成工業成品」。本計畫所提出的工業成品是具催化功能的多孔薄膜，它需具多孔可透析性，且能含特殊催化元素而具化學反應功能。目前市面上的這類薄膜皆以碳布和碳紙等纖維類的結構為基底，再於表層塗佈上催化元素溶液。如此形成之薄膜之孔隙大小、薄膜厚度、催化元素的分佈等都將不如本案之成品均勻，其製造過程中也較不易操控。本計畫之細胞培養技術的特色即「控制細胞成長的方向與速度」，這技術若能成熟應用，則其應用可能不止於薄膜製品，其它工業製品只要與碳元素有關且具多孔性之工業材料均可應用之。

### (b) 細胞吸收金屬催化元素技術

長久以來，已知植物對不同之重金屬如 Cd、Cu、Ni、Zn、Se 等具有吸收能力。尤以最近工業發達後所造成之土地、水源污染，植物復育法（phyto remediation）[22]遂應運而生。簡單而言，此法即是利用植物細胞作為一抽取重金屬之幫浦，將環境中的污染元素清除。在另一方面，不同之金屬元素亦是構成植物生長營養元素之有效成分，亦是吾人食物攝取中礦物質之主要來源。是以如何調控植物對金屬元素之吸收，明瞭其機制，不論在學術或應用上皆有其價值。

另外，利用細胞吸收金屬元素，再將細胞培養成適當組織形成奈米金屬結構的技術是現在熱門的奈米科技之一。但此技術大都需利用金屬元素切入DNA結構鏈中，是一項相當複雜且培養條件十分嚴苛的技術[17]。本案則提出細胞在奈米膠體溶液中培養，使其均勻地吸收金屬奈米膠體於細胞中，再將其長成所欲形狀後再碳化之，留下金屬元素均勻地沾附於整齊的碳顆粒結構上[14-16]。這類產品不會產生完美的奈米結構，但其整齊性或均勻性對工業產品而

言已是相當優越，且其製程及所需條件均相當寬鬆，相當符合工業量產的特性。我們相信這類技術也能推廣於其它工業產品的生產技術上。



圖五：植物細胞吸收黃金奈米粉粒成功之例[14].

(3) 本計畫所提技術在世界上目前發展現況：

本計畫提出的核心技術含母技術及四項子技術，其在世界上之發展現況分別說明如下：

(a) 母技術：生物製程

本計畫之生物製程，即利用生物細胞培養並製成工業級薄膜產品，是屬首創，目前世界上並無類似製程。這部份構想應先申請成專利。

(b) 四項子技術：

A. 細胞培養技術

目前細胞培養技術，動物或植物細胞皆然，均止於實驗室培養階段[6-10]，其主要目標仍在做細胞生理研究，並無工業級量產之培養技術。此技術的重大關鍵有三：(a) 培養的環境條件不能過於嚴苛；(b) 能控制細胞成長方向；(c) 能控制細胞成長速度。這三大關鍵均需突破才能達成計畫目標，以目前學術界對大多數細胞的生理行為已有充分的了解來看，要突破這三大關鍵技術不無可能[11-12]。

B. 細胞吸收催化元素技術

目前研究細胞吸收金屬元素的目的大致有二，一是環保用途，希望利用植物細胞吸收重金屬以減少土壤中重金屬污染的程度[18-22]。另一是將金屬元素切入細胞 DNA 鏈中，利用其分裂增殖而將金屬元素排列成完美的奈米結構[17]。本計畫所提的技術與前者有關。此項細胞吸收重金屬的研究目前著重於不同植物吸收不同重金屬能力的判定，對於其間的相互作用及基本的細胞生理行為研究較少涉及。尤其目前的研究大都用整顆植物

的生長為背景，與本計畫所提將細胞從植物系統中獨立出來培養有很大不同。在本計畫的獨立培養環境中，其吸收金屬的行為將會與在植物系統內的行為有很大程度的差異，而此將是本計畫有待突破的關鍵技術。

#### C. 奈米膠體溶液製造技術

這類技術目前已發展相當成熟[13]，但商品的單價都很高，不利於本案之研發。而且商品所用之溶液不一定適合植物細胞之培養與吸收，故獨立發展此套技術以調製程適合細胞增殖的水溶液環境是本案所要突破的另一關鍵技術。

#### D. 細胞薄膜碳化及強化技術

植物細胞碳化技術已有多年研究，所衍生出來的知識及文獻相當齊全[23-27]，故本案在這方面的研究並不預期會碰到難以解決的困難。只是針對不同細胞在不同空間的限制下，碳化條件仍難預料，故一系列有系統的研究仍屬必需。這部份所待克服的困難是人員需長時間投入及構置或研發一合適的碳化機械窯。將碳化之細胞薄膜再做強化機械性質的模製處理，這方面的技術也是有許多現成的機械製程可資參考，然實際可行的做法仍需做有系統、細心且有耐心的實際操作才能竟其功。

### (4) 創新機會和現存做法的比較：

為使此項比較之內容具體化，我們以燃料電池之多孔催化薄膜為對象[1-5]，來比較現存做法與本計畫做法之優劣性：

現存做法：以碳布或碳紙為基底，塗佈奈米催化白金元素於表面。

優點：製程較為簡單。

缺點：內電阻大，催化元素不能均勻分佈，白金用量大，產生之電流密度低。

本計畫做法：培養生物細胞吸收催化元素並長成所欲之形狀及尺寸，再模製成具優越的機械及電化學性質之薄膜產品。

優點：內電阻小，催化元素均勻分佈，白金用量小，產生之電流密度高。

缺點：製程需有系統的研究而訂定之，可能比現存作法複雜。

值得一提的是，這種能產生高電流密度及小內部電阻的催化薄膜是製成小型燃料電池（如DMFC，三C產品之用）的必備要件。欲使用目前市面上的薄膜而製成性能符合三C產品要求的燃料電池，目前仍無成功之例。

## 四項核心技術

### (1) 細胞培養技術

植物組織培養的研發已經有百年以上的歷史，許多種類的植物細胞可以在試管內培養，進行快速大量的繁殖，並且可以利用培養條件來控制生長發育。近年來因為分子生物學的進步，找到許多與生長發育有關的基因[6-8]，因此更可藉由基因的調控來改變細胞的分裂、極性、大小、結構、細胞壁成分等，使細胞的生長可以依照預定的設計來進行塑造[9,10]，產生非常多樣性的變化。本

研究即擬根據過去的基礎，進一步將細胞培養製作成扁平薄膜構造，預定採用策略說明如下：

A: 細胞大量培養：

選擇適當植物細胞種類進行液態懸浮培養（suspension culture），調整培養基組成分、荷爾蒙濃度、培養條件等，以促進細胞分裂增生速度，使細胞快速大量培養[6]。

B: 加強細胞結構：

當細胞增生到足夠量時，將改變培養基組成分及荷爾蒙濃度等，以促進細胞分化，形成次生細胞壁及木質素（lignin）等，可以強化細胞結構[7]。

C: 培養扁平薄膜狀細胞：目前有以下構想：

(a). 細胞平台培養：

將細胞置於支撐平台上，添加特殊物質促進細胞黏附，並嘗試添加適量展著劑等改變細胞結構，或以電場、磁場或力場等刺激細胞生長，將控制細胞分裂方向。如圖九所示，只有 X 與 Y 向延展，沒有 Z 向延展，使細胞形成扁平薄膜狀[8-10]。

(b) 利用 Fibracel® Disks 培養細胞：

Fibracel® Disks 是 polyester mesh，具有 polypropylene support，可以支持細胞平面生長[11]。

(c) 細胞固定化培養：

將細胞固定於支撐平面中間，包捲後置於培養槽內，利用細胞生長空間的限制，使細胞進行平面生長[12]。

D: 將細胞分散生長再加工成薄膜：

這個策略與前述者不同，是將培養細胞儘量分離，形成單細胞，並使細胞大小均一，將細胞集中平埋於薄膜中，平埋的介質將採用植物性膠體，同樣具有含碳結構，可以協助細胞之間的聯繫。將測試介質種類、濃度、細胞種類、密度等[12]。

以上列舉四個策略步驟，其中第C、D步驟中的細胞平面與分散培養均具有相當程度的創新與挑戰性，其成果將視試驗過程中所碰見的問題並解決後，才能決定採用何種培養方法是最適當的處理。

## (2) 奈米膠體溶液技術

發展此奈米膠體溶液技術是要調配此含有奈米膠體於特製溶液中，以適合與細胞培養一起操作，也使溶液的化學性質能促進細胞吸收奈米膠體的速度與



穩定性。現市面上也有相關奈米膠體溶液可採購[1]，但其溶液之化學性質可能與細胞培養及其吸收能力會有所衝突，故需於本計畫內獨立發展此技術。奈米膠體或俗稱奈米粉體的製作大致分成「由下而上」及「由上而下」兩種方法，為配合工業製程之大量生產特性，本研究只探討「由上而下」的方法。目標是製程粉徑大小均勻，分散性良好及粒子型態均一的奈米膠體，並選擇適當溶液將膠體懸浮於其內。目前適合工業量產的方法大致有下列四項[13]：

**A: 沉澱製程：**

此製程是在含某特定陽離子的溶液中，加入沉澱劑使離子沉澱，再將此溶液利用低溫乾燥，然後置於高溫爐中作熱分解及相關反應，而製成粉體材料。再選擇適當溶液和介面活性劑，使粉體溶入溶液中，均勻且自由地懸浮於溶液內，形成奈米膠體溶液。

**B: 水熱高壓製程：**

此製程式將含有特定離子的水溶液製於耐高溫及高壓的不銹鋼瓶中，由外部加熱。因溫度升高時，內部水氣量增加而使溫度及壓力均變大。經一段反應時間後，奈米膠體會溶液中逐漸形成。反應完後，將此溶液取出加以過濾清洗乾燥而製成奈米粉體，再將此粉體加入介面活性劑而溶入適當溶液中。

**C: 溶膠或凝膠製程：**

此製程需先將特定元素製成溶膠或凝膠，再於適當時機加入水以進行水解反應及綜合反應，使奈米級逐漸形成。再將此膠質經高溫加熱處理，就能製成奈米級膠體粒子。再加入介面活性劑而將其溶入溶液中。

**D: 噴霧熱分解製程：**

此製程式將含特定離子的溶液，以高壓送入特製噴嘴噴出形成霧狀液粒，再經高溫反應將溶劑部分除去而留下奈米級粉體。再以相同方法加入介面活性劑將此奈米粉體溶入特定溶液中，形成奈米膠體溶液。

以上列舉四種現行的奈米膠體溶液製造方法。本計畫將評估各種現行方法以決定最適合本案之方法。最主要的考量是如何將此溶液製成能配合細胞培養及吸收奈米膠體，而有別於現有市面上的商品。不同用途之薄膜具不同之催化元素，故有不同之奈米膠體溶液。本案暫以單價最高的燃料電池催化薄膜為主要目標，故奈米膠體將是白金元素。

### **(3) 細胞吸收金屬催化元素技術**

本計畫擬利用植物可吸收金屬元素之特性，以生物製程之方法製造含催化元素之薄膜，作為工業、醫療、燃料電池產業之用。催化元素種類繁多，依使用目的不同而異。因為以白金(Pt)為催化元素的應用很多，故在此我們以其為例說

明之。在自然界中 Pt 的產生累積主要來自汽車化油器 (Catalytic converter) 所產生之 Pt 及氧化鉑。另外尚有醫院之污染物如作為抗癌物質的鉑碳化合物等。此些物質散入空氣或滲漏於土壤中可形成部分水溶性之 Pt 化合物，經由植物之葉、根等部分吸收，但總體而言，目前植物細胞對 Pt 金屬之吸收並不甚清楚 [19-22]。由 Verstraete 等人 [20] 之研究顯示，將黃瓜幼苗以水耕液含不同量 (1~100  $\mu\text{g/l}$  之  $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4$ )  $(\text{NO}_2)_2$  進行培養，根比起地上部葉、莖有較佳之吸收能力。其 Pt 金屬之累積倍率 (accumulation factor) 在根部高達 1700~2100  $\mu\text{g/l}$  左右，且吸收程度會隨溶液中 Pt 含量之增加而遞升(見表一)。此外大部分之 Pt 金屬可取代鉛及其他元素在細胞壁上累積。雖然植物具有吸收 Pt 金屬之能力，但在 Salt 等人 [18] 對多種植物之研究結果中指出 Pt 金屬對植物具有毒害而會引起型態上之分化，無法長久持續的藉由生質量之累積吸收更多 Pt 金屬。是以如何優化植物細胞吸收 Pt 金屬的能力，確定其最佳培養條件是有待克服，且極待繼續深入研究的課題。另外 Zhang [17] 之研究則指出若以奈米級之金粒子結合上生物性合成之短肽，可有效改變金屬粒子進入細胞之途徑，而使大部分之奈米金粒子最後存於細胞核內。此項研究為未來之細胞吸收催化金屬元素技術奠定了可行性之管道。本計畫擬就長遠之目標，發展細胞吸收金屬催化元素之技術，進行如下之實驗探討：

1. 決定不同細胞吸收金屬元素之能力：在此我們可能將以菸草、竹子及水稻之懸浮培養細胞為材料，測試金屬元素在其中累積之倍率 (accumulation factor)。
2. 不同金屬元素化合物對細胞吸收能力之影響：在此我們將試著以固態之奈米級金屬微粒或含金屬元素膠體之水溶液加入細胞培養基中，觀察細胞之吸收及毒害情形。
3. 不同劑量 (dosage) 對細胞生長之影響：為求大量之細胞內或細胞壁上 Pt 金屬之累積，將逐漸提高環境中金屬元素之含量；但太高量的金屬則具毒性，容易殺死細胞或造成其不當之分化，所以有必要決定適當的金屬溶劑之添加量。
4. 金屬元素化合物添加於培養細胞之時期：原則上以早期盡量累積植物細胞之 Biomass (生質量)，再以特定時間誘導分化次生細胞壁，待於收穫前 1~3 天加入金屬，待細胞吸收累積後收集作為生物薄膜製造用。
5. 以 ICP-MS 決定細胞吸收金屬之含量：在優化上述細胞培養之生長條件即決定金屬添加時間，極其重要的是以誘導式耦合電漿質譜儀分析細胞內金屬之含量，決定其累積倍率，希望達到細胞中含有最大量金屬之目的。
6. 以甲殼素或金屬螯合蛋白添加於培養細胞中增加其對金屬之吸收能力。

7. 以電子顯微鏡或螢光分析儀觀察金屬經細胞吸收後進入細胞內之位置 (subcellular compartment)，期望在次生細胞壁或細胞間隙中見到金屬之大量累積。
8. 配合前項計劃，對長成平面狀之細胞層或以包埋技術及聚乙烯膠等物質將含金屬之細胞作成奈米級薄膜，碳化後供生物製程下游機械力、孔洞滲透能力、導電度等之測試。

綜合上述，在多年的研發過程中將先選取適宜之生物材料，對金屬有較高之吸收能力，優化 (optimize) 在不同培養條件下之生長及吸收金屬能力，包括金屬化合物的添加形式、添加時間、添加劑量及佐以輔助植物金屬吸收能力之化合物。同時整個研發過程中亦將逐步測定細胞吸收金屬之含量及金屬位於細胞中之位置。最後則發展細胞生長平面化之技術或懸浮細胞包埋之方法，製程細胞密集之生物性薄膜以供不同用途之所需。

Pt-concentrations in the roots and the shoot originating from sets of four plants, exposed to the same Pt-concentration level (ng/g)

Sample	Average $\pm$ 95% confidence limit for three determinations (ng/g)	Accumulation factors $\pm$ 95% confidence limit <sup>a</sup>
<b>Control plants</b>		
Roots	0.98 $\pm$ 0.13	
Shoot	0.25 $\pm$ 0.20	
<b>0.504 <math>\mu</math>g/l Pt<sup>b</sup></b>		
Roots	1019 $\pm$ 97	2020 $\pm$ 190
Shoot	5.52 $\pm$ 0.10	10.97 $\pm$ 0.20
<b>5.04 <math>\mu</math>g/l Pt<sup>b</sup></b>		
Roots	8700 $\pm$ 330	1728 $\pm$ 66
Shoot	114 $\pm$ 54	23 $\pm$ 11
<b>50.4 <math>\mu</math>g/l Pt<sup>b</sup></b>		
Roots	105 700 $\pm$ 2900	2098 $\pm$ 57
Shoot	2110 $\pm$ 510	42 $\pm$ 10

<sup>a</sup> Defined as the ratio of the Pt-concentration in the plant (ng/g) to the Pt-concentration in the nutrient solution ( $\mu$ g/l).

<sup>b</sup> Added to the nutrient solution.

表一、小黃瓜植株於水耕培養下不同部位吸收鉑金屬元素之能力[20]。

#### (4) 細胞薄膜碳化與強化製程

在第一項關鍵技術的細胞培養中，細胞長成薄膜有兩種方式，一是直接控制細胞成長的方向與速度而長成所要的薄膜形狀與厚度；另一是細胞分散培養成單細胞再經後處理結合成所欲之薄膜尺寸。經此二種方式所長成之薄膜皆需經下列兩道製程才能變成最終的成品。首先是將細胞薄膜碳化，再者是將碳化的細胞以適當的膠著方式以加強薄膜的機械性質。現分別對這兩道製程作詳細說明如下：

##### A: 碳化製程

細胞本身即以碳氫化合物為主體而形成，碳化製程是以高溫處理，將碳化以外的元素均汽化而脫離薄膜，留下的只是碳顆粒及附著在其上的催化奈米元素[23-27]。此碳化的製程中有許多條件需考慮，如高溫處理過程之溫度及加熱速度，又如週遭環境的氣流或是否需添加惰性氣體以防止其過度燃燒等，均需依細胞種類不同而改變。這些條件需有系統的測試才能訂出其正確數值與流

程。而且最好需有一標準碳化爐較易完成這一系列的測試，而此種標準爐在市面上已有商品可資採購。若無適當商品可資應用，則自行設計亦無不可，因大部份技術均已相當普遍。

#### B: 強化製程

細胞薄膜碳化後，整體薄膜的機械性質需再適當的加強，否則細胞間的聯結是無法承受實際應用環境中的應力行為。加強碳化細胞間的聯結目前並無制式的標準方法可供應用，故許多可能的方法均需在本計畫中測試。如以 EPOXY 或其他化學原料膠著的可行性，或將薄膜附著於碳布或碳紙上的可行性，或用高溫燒結等方法。

### 參考文獻

- [1] V. Mehta, J. S. Cooper, *Journal of Power Sources*, 114 (2003) 32-53.
- [2] D. Bevers, N. Wagner, M. Bradke, *Int. J. hydrogen Energy* 23 (1998) 57-63.
- [3] S. Srinivasan, A. Ferreira, R. Mosdale, S. Mukerjee, J. Kim, S. Hirnao, S. Lee, F. Buchi, A. Appleby, in: *Proceedings of the Fuel Cell—Program and Abstracts on the PEMFC For Space and Electric Vehicle Application*, 1994, 424-427.
- [4] E. Taylor, E. Anderson, N. Vilambi, *J. Electrochem. Soc.*, 139 (1992) L45-L46.
- [5] P. N. Ross, N. M. Markovic, T. J. Schmidt, V. Stamenkovic, 2000 Annual Progress Report, 2000, pp. 115-118.
- [6] A.H. Scragg, *Curr. Opin. Biotechnol.* 3 (1992) 105-109.
- [7] E. Pesquet, A. Jauneau, C. Digonnet, A.M. Boudet, M. Pichon, D. Goffner, *Physiol. Plant.* 119 (2003) 463-468.
- [8] F. Baluska, P. Wojtaszek, D. Volkmann, P. Barlow, *BioEssay* 25 (2003) 569-576.
- [9] J.C. Larkin, M.L. Brown, J. Schiefelbein, *Annu. Rev. Plant Bio.* 54 (2003) 403-430.
- [10] L.G. Smith, *Curr. Opin. Plant Bio.* 6 (2003) 63-73.
- [11] <http://www.nbsc.com/products/miscellaneous/fibracel/Default.asp>
- [12] [http://abe.www.ecn.purdue.edu/ABE/Research/research94/REPORT.94.Book\\_63.html](http://abe.www.ecn.purdue.edu/ABE/Research/research94/REPORT.94.Book_63.html)
- [13] E. Winfree, F. R. Liu, L. A. Wenzler, N. C. Seeman, *Nature*, 394 (1998) 539.
- [14] A. G. Tkachenko, H. Xie, D. Coleman, W. Glomm, J. Ryan, M. F. Anderson, S. Franzen, D. L. Feldheim, *J. Am. Chem. Soc.*, 125 (2003) 4700-4701.
- [15] B. Smith, S. Franzen, *Anal. Chem.*, 74 (2002) 3386-3391.
- [16] S. Schultz, D. R. Smith, J. J. Mock, D. A. Schultz, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97 (2000) 996.

- [17] S. Zhang, Fabrication of novel biomaterials through molecular self-assembly, Nature Biotech., 21 (2003) 1171-1178.
- [18] D. E. Salt, R. D. Smith, I. Raskin, Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49(1998)643-668.
- [19] D. Laschka, M. Nachtwey, Chemsphere34(8) (1997)1803-1812.
- [20] D. Verstraete, J. Riondato, J. Vercauteren, F. Vanhaecke, L. Moens, R. Dams, M. Verloo, The Science of the Total Environment, 218(1998)153-160.
- [21] J. G. Dubrovsky, Annals of Botany 72(1993)143-149.
- [22] J. Schafer, D. Hannker, J-D. Eckhardt, D. Stuben, The Science of the Total Environment, 215(1998) 59-67.
- [23] P. Mullinger, Am. Ceramic Soc. Bull. 72 (1993) 75-78.
- [24] Z. F. Sun, C. G. Carrington, Drying Tech. 17 (1999) 711-729.
- [25] T. A. G. Langrish, Drying Tech. 20 (2002) 1789-1802.
- [26] N. G. Evans, N. A. Hart, M. G. Hamlyn, British Ceramic Trans. 98 (1999) 93-99.
- [27] T. A. G. Langrish, R. B. Key, P. C. S. Kho, J. C. F. Walker, Chem. Eng. Sci. 48 (1993) 2211-2223.
- [28] <http://netcity7.web.hinet.net/UserData/valleypark/charcoal/>

## 致謝

本計畫有關細胞培養與成長之相關資料係由台大農藝系劉麗飛教授，張孟基助理教授，王淑珍助理教授共同提供，在此致表感謝。