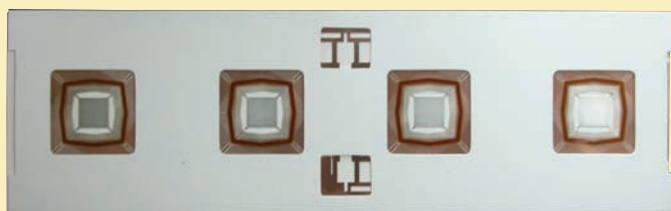


塗布加工技術

塗布技術可說是一種古老，但是又先進的加工技術，用比較淺顯的話說，就是把特定功能的薄層材料被覆在基材上。在生活中所看到、用到的，很多是塗布加工的產品，如膠帶、貼紙、油漆粉刷、甚至面膜等。

■ 劉大倏



封裝測試膠帶



數位相紙

塗布產品種類很多，加工方式也不盡相同。以世界知名的3M公司為例，在5萬種產品中，有相當數目和塗布加工技術息息相關的。國內膠帶業的龍頭四維膠帶公司也有上千種產品。

本文篇幅有限，無法對各類塗布加工技術作廣泛的探討，僅介紹基本塗布技術的發展，以及國內產業升級較為關鍵的兩大類塗布加工技術。目前主流的塗布加工技術，如同其他高科技產品及技術的發展，趨勢應是走向輕、薄、短、小。對塗布加工方式而言，愈塗愈薄絕對是最關鍵的課題。

塗布技術的分類

塗布加工技術因產品的特性不同，種類很多，大致可以分為乾式塗布及濕式塗布兩大類。望文生義，所謂的乾式塗布就是沒有液體出現在整個加工過程中，例如真空蒸鍍是在一真空環境中，以電能加熱固體原物料，經昇華成氣體後附著在另一個固體基材的表面上，完成塗布加工。日常生活中所看到裝飾用的金色、銀色或具金屬質感的包裝膜，就是以乾式塗布方式製造的產品。

但是在實際量產的考慮下，乾式塗布運用的範圍遠小於濕式塗布。濕式塗布一般的做法是把具有各種功能的成分混合成液態塗料，以不同的加工方式塗布在基材上，然後使液態塗料乾燥固化做成產品。在本文中僅討論濕式塗布技術。

濕式塗布技術

濕式塗布技術發展的歷史相當長，但是直到1940年代，才有比較嚴謹的基礎理論分析。從1940年代至今約70年，對於



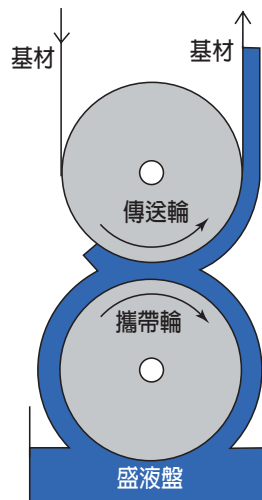
燈箱片

濕式塗布相關的物理現象，大致都已有所認知，以下介紹幾種常見的濕式塗布技術。

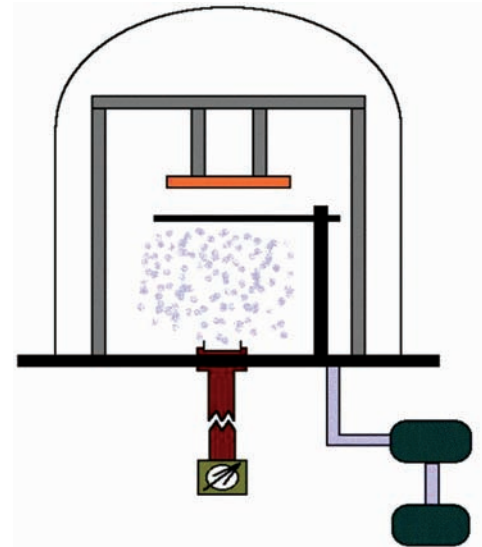
浸沾式塗布技術 浸沾式塗布是一種非常簡單的塗布方式，例如希望在水壺的表面塗上一層油漆，只要把有色塗料放在一個大缸子中，然後把要著色的水壺泡浸其中，取出後旋轉一下移去多餘的塗液，烘乾後即得到成品。浸沾式塗布可以用於幾何形狀複雜的基材，但是塗布厚度及均勻度的控制並不太理想，而且生產速度也快不了。

滾輪式塗布技術 滾輪式塗布技術最基本的結構是由3組零件組成：盛液盤、攜帶輪及傳送輪。盛液盤提供穩定的塗液量以進行加工，攜帶輪靠轉動把塗液帶起，然後傳遞給附著在傳送輪上一起轉動的基材上，完成塗布加工。

滾輪式塗布技術可以有許多變化，例如增加傳送輪的數目，可以減低塗布的厚度，或在滾輪表面上做些改變，用軟的材質，或挖些小洞、小溝槽，有利於不同狀況的塗布。滾輪式塗布造價不高，而且具操作彈性，是一項相當普遍的塗布技術。但是塗布均勻度有時不能達到要求，而塗液中如果含有有機溶劑，也會造成環保上



滾輪式塗布技術示意圖。整個裝置的基本結構由3組零件構成，包括盛液盤、攜帶輪及傳送輪。



乾式塗布—真空蒸鍍技術示意圖。

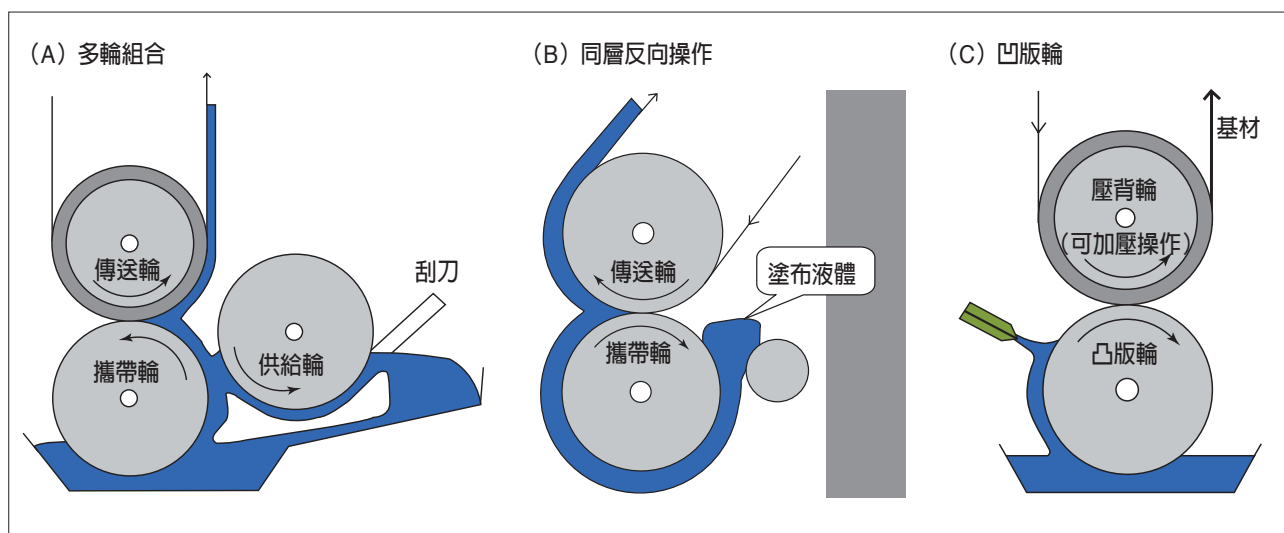
的一些問題。

刮刀式塗布技術 刮刀式塗布的基本架構和滾輪式塗布有點類似，也有一盛液槽，一攜帶輪把塗液帶起，但用一把刮刀來控制塗布量，以進行可達預期厚度的塗布。刮刀可以是硬的，也可以是軟的金屬片，也可以加壓來控制塗布量。

國內目前最流行的就是刮刀式塗布技術，業界所用的刮刀形狀像標點符號的逗點（comma），因此這一類的塗布設備稱為comma coater。刮刀式塗布適用於黏度高的塗液，國外造紙業發展了先進的刮刀式塗布技術，能夠以每分鐘千米（時速60公里）以上的極高速率進行塗布。

柯達公司的塗布技術 以上所介紹的是傳統的塗布技術。在1950~1970年間，執世界照相產品牛耳的美國柯達公司，開

所謂的乾式塗布就是沒有液體出現在整個加工過程中，但是在實際量產的考慮下，乾式塗布運用的範圍遠小於濕式塗布。濕式塗布一般的做法是把具有各種功能的成分混合成液態塗料，以不同加工方式塗布在基材上，然後使液態塗料乾燥固化做成產品。



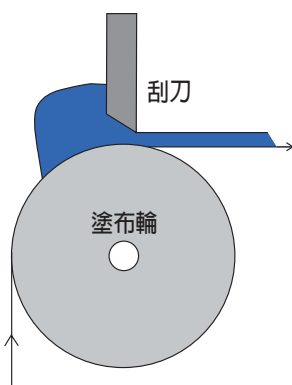
滾輪式塗布的變化：(A) 多輪組合，(B) 同層反向，及 (C) 凹版輪。

發出一系列極具突破性的塗布技術，以下介紹3項由柯達公司發明的塗布技術。

1954年柯達公司發明了狹縫式塗布技術，發明者是貝衰 (Beguin)。這項发明的特色是利用一模具擠出一液膜，塗布於移動的基材上。這項塗布技術能否成功，關鍵因素有二：一是模具要能提供一寬度大，厚度及均勻度合於產品要求的液膜；二是液膜必須完整無缺地塗布在移動基材上，這必須依靠各種力的平衡，如重力、表面張力、液體黏滯力等，才能達到預期的效果。

這種技術最大的特點是模具提供的液膜流量是固定的，基材移動的速度也是固定的，如果塗布加工可以平順進行，塗膜厚度可由流量及塗速直接估計出來。這一類的技術又稱為預調式塗布技術，優點是塗布膜的均勻度相當好，塗布速度可以相當快。塗液由模具中流出塗在基材上後迅速進入烘箱，由於大致上是密閉式的操作方式，如果塗液中有揮發性成分，可以減少揮發所造成的污染、品質不良等問題。

貝衰有一項重大的發現，就是在模具下方裝上一抽真空的裝置，利用一點抽氣



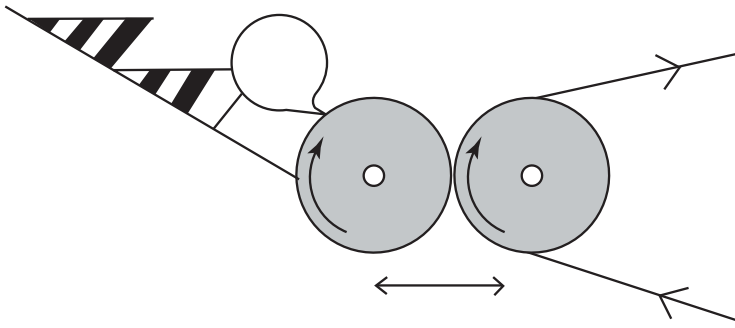
刮刀式塗布技術示意圖

的力量，在塗液被基材帶走之前稍微後拉一下，使得塗布更為穩定，如此可以塗得更薄、更快。

柯達公司當年製作傳統的照相軟片，必須塗上顯示各種顏色的感光材料，可能有6~8種塗層。如果每次塗一層，在乾燥後再塗一層，則花費的功夫極大，而且如果每一層的生產良率不高，幾層塗下來產品的良率就可能極低。羅素 (Russell) 等人便發明了一種一次可同時進行多層塗布的技術。雖然把單層狹縫式塗布技術改成同時進行二層塗布的技術是可行的，但是如果同時塗二層以上，以狹縫式塗布技術而言，各塗層間模具的安排並不容易。

羅素想到一個非常巧妙的方法，他把每層模具直立起來，塗液由下而上，流到出口時因重力會沿斜板流下，因此這項技

隨著高科技產業的發展，對塗布加工產品的規格要求日益嚴格。例如每一塊液晶面板都必須用到各種功能不同的光學膜，而這些光學膜大多數是塗布產品。這些光學膜所要求塗布加工的規格極高，除了塗布均勻度的高要求外，最大的挑戰是塗層極薄。



逗點式塗布技術示意圖

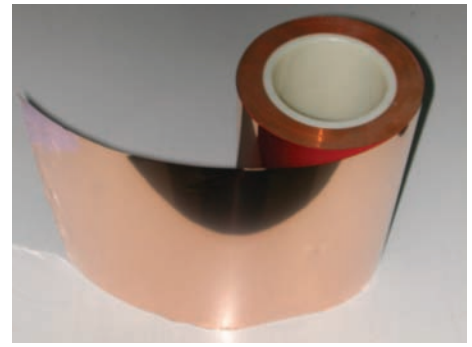
術又稱為斜板式塗布技術。如此安排使得多塗層塗布的困難度大幅降低，事實上最高可以同時塗15層。這項技術的限制是塗液黏度不可太高，否則難以自斜板流下。多層塗布技術是一個極有效率的生產方式，也具有極高的技術門檻，不是一般塗布公司可以輕易掌握的。

柯達公司開發的這兩項塗布技術，模具非常靠近基材，通常有兩個問題必須克服。一是如果稍有不慎，會造成撞擊或出現其他操作不易的因素；二是塗液必須在很小空間裡作大幅度的轉移，有時會造成塗液不穩定而在液面產生波浪。1970年柯達公司提出淋幕式塗布技術，這項技術是把模具組合拉高，然後利用邊導桿讓液體形成類似瀑布的淋幕，直接衝擊到移動的基材上完成塗布加工。淋幕式塗布目前是世界上生產速度最快的方式之一。

以上介紹柯達公司開發的3大類塗布方式，都必須用到塗布模具，這類技術目前在國內逐漸有廠商採用。

微米尺度濕式塗布技術

隨著高科技產業的發展，對塗布加工產品的規格要求日益嚴格。以國內當紅的液晶面板產業而言，每一塊面板都必須用到各種功能不同的光學膜，而這些光學膜大多數是塗布產品。這些光學膜所要求塗布加工的規格極高，除了塗布均勻度的高



銅箔

要求外，最大的挑戰是塗層極薄。利用先前介紹的技術要達到微米級的塗層厚度並不容易，尤其是模具塗布，雖是最先進的技術，但其塗層厚度不易達到10微米以下。

清華大學化工系得到國科會的補助，也建造了一條實驗塗布線，進行微米尺度塗布的研究。實驗塗布線的架構基本上包含了4個單元，即：（1）放捲部分—把基材架上去後慢慢放出，以便進行塗布；（2）塗布頭—可取換式的塗布頭用於測試不同的塗布方式；（3）烘箱—塗上去的液態塗膜可利用加熱或紫外線照射二大種

清華大學的塗布實驗線

UV硬化設備

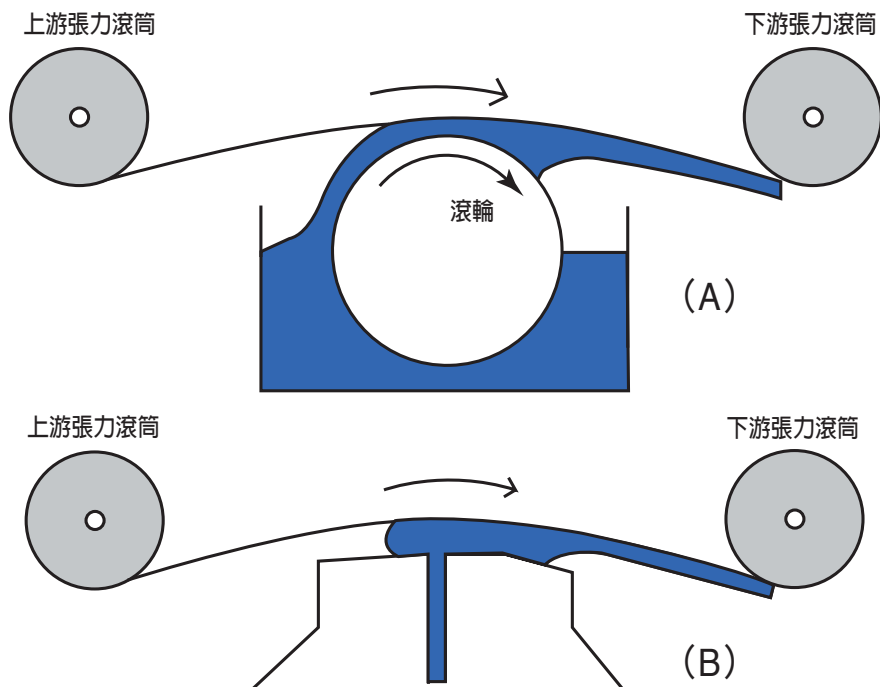
空浮式熱風烘乾機構

塗布機構

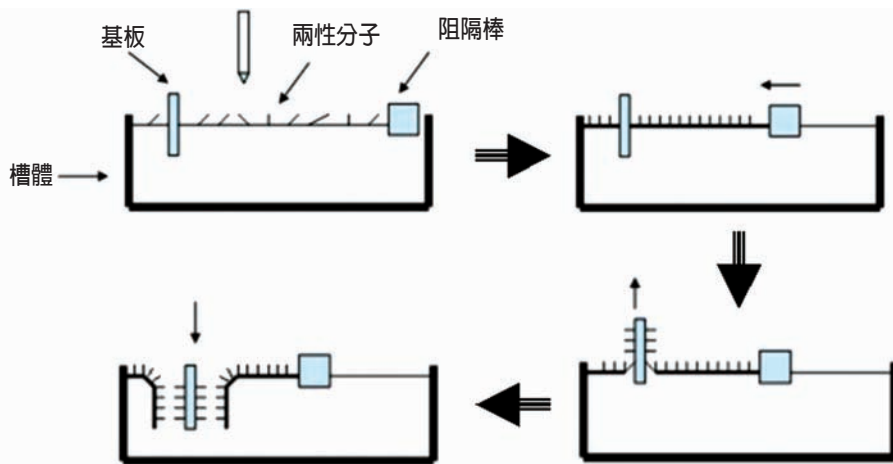
單軸捲曲機構與
捲取自動張力控制機構

電控系統

單軸卸捲機構與
卸捲自動張力控制機構



微米級薄層塗布：(A) 輕觸式滾輪方式及 (B) 輕觸式模具方式。



L-B 塗布的示意圖

式，使塗膜乾燥或固化；(4) 收捲部分一把塗好並已乾燥固化的塗膜基材收起來成爲半成品。

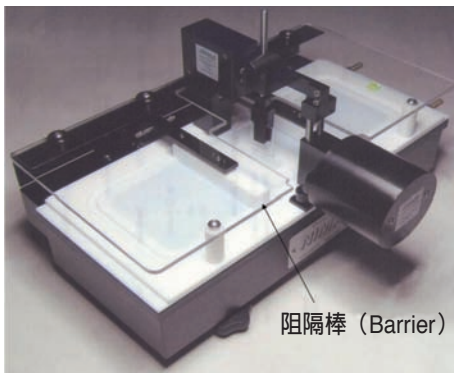
目前有2種具有量產潛力的微米尺寸塗布技術。一種是採用輕觸滾輪或微凹

版，利用一表面上刻有細微溝槽或小洞的滾輪在一盛液盤中轉動，使溝槽或小洞中填滿塗液，再利用刮刀貼著滾輪的表面刮掉凸出於溝槽或小洞之外的液體。基材與滾輪輕輕接觸，如輕吻一般，使溝槽或小洞內的塗液部分轉移到移動基材上完成塗布。

另一種方式與輕觸式滾輪不同之處，在於供料方式改用一狹縫式塗布模具，如此可以保持密閉式操作，也可以完全確定塗布量與塗布厚度。這個方式與傳統狹縫式塗布最大的區別，在於模具頂到一可變形的移動基材，傳統模具則頂到一固定轉動的背輪。由於基材可變形，可以塗得更薄，但是模具的形狀至爲關鍵，如有不適當的銳角，會刮到基材，因此模具外唇的設計是這項技術成功與否的關鍵。目前清華大學化工系正在發展一系列模具最適化設計的工具，期望未來能對產業界有所助益。

奈米尺度濕式塗布技術

塗布技術在塗層厚度上的發展極限，就是塗布單分子層的厚度，可能因物性的需要，至多塗上數十層分子，如此塗布的厚度大概在100奈米以下。這種奈米尺度的濕式塗布技術在1930年代就有實驗室的研究成果，但是到目前爲止尚無量產的技術。隨著奈米科技的發



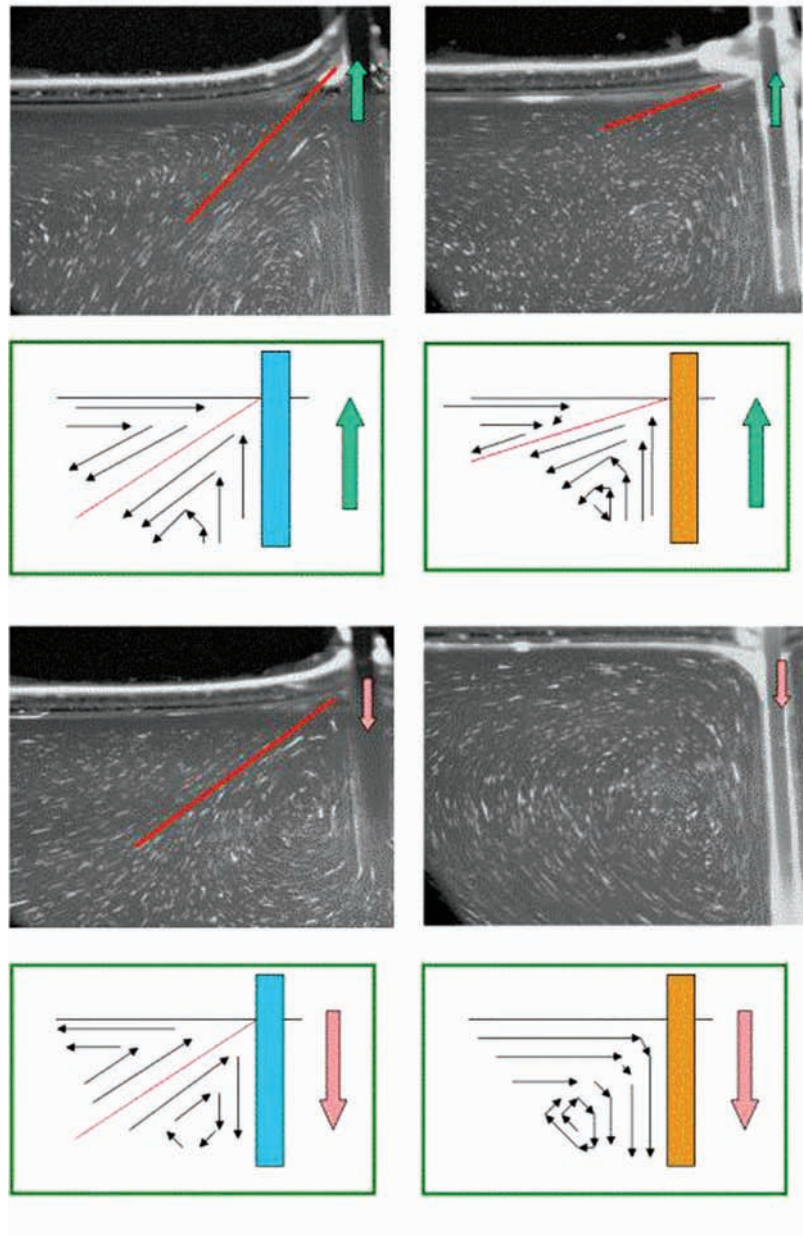
Nima公司的L-B鍍膜設備

展，塗布分子層的技术極具潛力，世界各國也投入大量資源在這一領域，以期取得先機。以下介紹一種深具潛力的奈米尺度塗布技術，即 Langmuir-Blodgett (L-B) 鍍膜技術。

Langmuir 是 1932 年諾貝爾化學獎得主。1935 年 Blodgett 利用 Langmuir 的發現，把兩性分子分布在空氣／水的界面上，分子便會如插秧一樣，親水基深入水中，而親油基伸出水面。這時可用阻隔棒推動水面上的兩性分子，使其靠得更密，同時量測水面上分子的表面壓 (surface pressure)。分子排列越緊密，表面壓就越大，當表面壓高到一定程度時，可以讓基材垂直於水面上上下下移動產生鍍膜的效果。上下鍍膜的次數可達數十次，即在基材上鍍上數十層分子膜。

清華大學購自英國 Nima 公司的 L-B 實驗塗布機，長寬僅數十公分，已建立了流場觀測系統，可以了解在塗膜過程中的流場變化，以充分了解塗膜的可行性。目前正在進行各項導電高分子的塗布研究，期望從工程的角度出發，逐漸發展出 L-B 塗膜的量產技術。

本文大致介紹了濕式塗布技術的發展沿革，期望讀者對這項技術有一基本的認



L-B 塗布過程的流場觀測

識。塗布是一項重要的生產技術，但國內投入研發的資源並不多，如能加速研發腳步，在微米及奈米尺度的塗布技術上積極發展，數年後可能在世界上占一席之地。□

劉大佼
清華大學化工系