

老材料 新使命：奈米纖維素的發展

◎林業試驗所木纖組(退休)·王益真

◎中興大學森林系·彭元興 (ysperng@mail.nchu.edu.tw)

奈米纖維素之目前狀況與最佳既有技術

於二十世紀，全球經濟發展驅動了八倍的材料應用，使得許多較長期材料的永續性值得真正關注。因此之故，蘊藏豐富的纖維素材料受到高度探討作為提供可再生材料、化學品與能源之來源。纖維素材料代表我們行星上最豐富之可再生資源並在因應全球對可再生材料日益擴增的需求上扮演重要角色。建構於既有與製漿廠相關之內部結構之上，纖維素奈米材料預期可以大量生產。林產工業在商業化實現木基材料透過生產系列對我們現代化生活方式很重要的廉價產品，從巨觀到微觀尺度之市場潛力已做出傑出的成果。

奈米技術代表在二十一世紀產生新產品以及新創與再活化產業的主要機會。可以觀看與施作材料下到原子尺度提供了前所未有發展新材料與產品的機會。預估美國奈米纖維素材料最大量應用層面是包裝、自動化應用、水泥與造紙。同時，纖維素奈米材料也預估可以在其他既有與新興市場產品有競爭力(例如，可撓式電子產品、光電產品、濾器、黏度調節劑、石油鑽探液體以添加劑製造等)。

目前作為與技術

纖維素奈米微晶(CNC) vs. 纖維素奈米纖維(CNF)

全世界生產數種形式的纖維素奈米材料形式，其中一種纖維素奈米微晶係完全由奈米尺度纖維素結晶所構成。另一種形式纖維素奈米

纖維，典型由晶態區段與非晶纖維素所構成。

纖維素奈米微晶(CNC)

從生質物製備纖維素奈米微晶一般依兩個主要階段發生。第一階段是生質物之純化以移除大多的非纖維素成分，這些包括木質素、半纖維素、抽出成分與無機污染物，這階段典型係依傳統製漿與漂白製程所達成。第二階段利用酸水解製程以解構純化之纖維素成為其晶態的成分。這點係透過移除纖維素微晶的非晶態區段，如此形成之細桿狀粒子(3~20 nm寬以及100~300 nm長)，是幾乎純100%纖維素並為高結晶度，視纖維素來源材料與量測方法，晶度達62至90%。

纖維素奈米纖維(CNF)

纖維素奈米纖維(CNF)通常係以機械處理生產，所產生之材料由許多不同尺度之微纖所構成。較小微纖或集合體之寬度通常約20至40 nm，而其長度可達數微米，奈米纖維具有高度分岔且可撓。

特色與應用

纖維素奈米材料之各種形式具有一些獨特之性質，配合他們源自可再生材料，適合廣範圍之應用。

纖維素奈米材料強度甚高，加上其低密度，容許開發廣範圍高強度、低比重複合材。可能的應用領域包括汽車車體鈹件、航太內裝材料、輕質建築材料兼具絕緣與隔音

纖維素奈米材料性質

材料	密度 (g/cm ³)	抗張強度 MPS	抗張模數 GPS	成本 \$/kg
高強度鋼	7.9	600	210	~1
鋁6061-TS	2.7	275	70	~2
E-玻璃纖維	2.5	3,500	80	~2
碳纖維	1.8	4,000	230	>20
奈米微晶*	1.5	7,500	135	4~10

*纖維素奈米材料潛在可作為主要或次要聚合物基質複合材之加勁材。

纖維素奈米材料之商業應用

高容積應用	低容積應用	新穎與新興應用
水泥	牆板覆被	感測器—醫用、環境與工業
汽車車體	絕緣材	加勁纖維—建築
汽車內裝	航太結構	水過濾
包裝塗料	航太內裝	空氣濾清
紙張塗布	石油與天然氣用空氣膠	純化處理
紙張填料	黏度調節劑	化妝品
包裝填料	塗料—建築用	賦形劑
取代塑膠包裝	塗料—特殊用途	有機發光二極體
塑膠膜取代		可撻電子零件
衛生與吸收性產品		光電應用
紡織纖維		可回收電子零件
		3-D列印
		光電膜

性質、以及有輕質與強化阻隔表現之紙與紙板包裝等。

有關纖維素奈米材料之乾燥與表面處理發展工作正在進行，以用於強化之塑膠複合材，取代更昂貴的碳纖維。纖維素奈米材料之尺度、外型與吸水性也容許在低固形分濃度下之觸變性凝膠應用於塗料、鑽油泥漿、化妝品與混凝土等。

纖維素奈米材料之應用

近期美國農部支助的纖維素奈米材料市場報告說明如下表。表中臚列最具潛力之應用項目，綜合說明如下：

高容積應用(排除紙類應用)

汽車—車身組件

因為纖維素奈米相對於其他複合材加勁纖維材較為廉價，應可用於廣尺度的結構材。它因為可再生、生物可生產及可分解等性質而提供額外的利益。

汽車內裝

CNC曾被加入聚乙烯、聚丙烯與生質聚合物而增加機械力與阻隔效果以及抗磨耗性。CNC可產生空氣膠與結構泡棉的能力，也可產生輕質裝飾與內裝板材像是儀表板與門板。

建築—水泥與預應力與預鑄混凝土

混凝土可用纖維素奈米材料與微纖維增加原本硬脆材料之韌度，降低材料與勞工成本且可減少碳排放。

包裝—纖維/塑膠取代

基於纖維素奈米材料泡棉可取代聚苯乙烯泡棉用於包裝應用上，取代從化石燃料產生的聚合物同時還減低重量。

包裝用膜

纖維素奈米材料之機械與光學性質使之成為加勁塑膠之有潛力材料，可用於塗料、

膜層、油漆、發泡材料與包裝材。

個人用品—衛生與吸收產品

纖維素奈米材料的超吸水性使它們成為理想的生物可分解保水填料，可用於尿墊與尿布，在輕、薄且天然產品的市場有極高的需求。

紡織—布料

近年科學家已開發一種高層次加工之纖維素奈米材料以製造布料，電紡絲技術的發展可從纖維素奈米材料產生連續纖維複合材料布料。

低容積與新穎/新興應用

空氣膠—石油與天然氣工業

一種新型如海綿之材料供分離油與水液體已可透過汽相沉積疏水性矽烷至超高孔隙度之纖維素奈米材料空氣膠上，產生的疏水性輕質空氣膠可從水中選擇性吸收油份，具有吸收其自身重量45倍之能力。吸收之油亦可從空氣膠流出，空氣膠用於第二個吸收循環。

航太—結構材

奈米複合材正在加速於汽車、航太、建築、醫藥與包裝的應用。這些綠色奈米複合材提供高強度與低密度、低重量與潛在低成本，尺寸安定性、結構強度、熱抗性、化學抗性、減重與電導度。

航太—內裝

輕質座椅可減低飛機重量，使用複合材於座椅以及小托架、夾子、盤碟、小柱與其他結構。

建築—石膏板貼面

纖維素奈米材料用於牆板貼面使乾牆板更輕、更強固且抗水，以致最終可抗霉菌生長。輕質也減低建材之生命週期能耗與材料衝擊、增加綠建物在能源與環境設計主導性(LEED)認證之優勢。

建築—絕緣與隔音

空氣膠是頂級絕緣材料之一，具有所有已知孔隙固體中最低之容積密度以及顯著之絕緣性。

工業—水純化

一家瑞典組織開發了新的水純化處理作法，結合物理濾過製程與吸附製程以充分利用纖維素奈米材料及/或奈米幾丁質之能力以選擇性，在通過高孔隙度可滲性膜層時，從工業用水與家庭飲用水吸附、儲存與脫附污染物。

油漆

纖維素奈米材料可修飾油漆與塗料之黏度性質。可改善塗層之耐久性。根據該研究，纖維素奈米材料改善塗裝耐久性並保護清漆與油漆免於紫外線之損耗。延長油漆與塗層之生命可減低取代塗層與底層材料之環境負擔。

個人照護—化妝品

纖維素奈米材料可用為保水劑、非過敏性流變修飾劑，以及例如頭髮、睫毛或指甲之化妝品複合材塗布劑。

醫藥—賦形劑

纖維素奈米材料藥劑載體可用以對抗各種致病細菌，像是抗防腐劑菌株。纖維素的

生物相容性與生物可分解性為用於藥劑輸送創新之重要因素。

感測器—醫藥、環境與工業

CNC膜層具親水性或吸水性，但其個別結晶在水中並不溶解或甚至膨潤。因此，可用之於涉及水分之應用，如濕度感測器或供零時差汙染物偵測。基於纖維素奈米材料之感測器可有助於監控與偵測如橋樑結構上增高之應力。以雙層壁碳奈米管與石墨碳奈米動力修飾之纖維素奈米材料可擴大感測器應用層面。這些材料的導電度在受到伸張應力時可對應變展示高靈敏度。

於造紙上之利用

濕端應用

纖維素奈米材料最廣泛之應用於紙與紙板者是CNF添加於紙機濕端以達成下列利益：

- (1) 增加強度—纖維素奈米材料產生性質強化之主要機制是透過纖維與纖維間之鍵結或紙匹之結合面積。CNF在弱度結合紙匹作為乾強劑表現最佳
- (2) 減低空氣滲透性或孔隙度—增加纖維與纖維間鍵結產生更緊實的紙匹，具以下的優點：
 - a. 改善之塗料托襯性，可用較少塗料達到相同之塗布目標。
 - b. 有較高的印刷品質。
 - c. 有較佳之阻隔性質供作紙類包裝之用。
- (3) 改善之平滑度—利用CNF於造紙濕端可改善平滑度。

表面處理

CNF已被用於傳統白土/碳酸鈣塗料之機能性添加劑。這些塗料施於紙匹一如其他塗料。

(1) 阻隔性質

- a. 氣體滲透性—CNF塗料因其封閉原紙中之孔隙顯示可改善空氣與氧的滲透性。
- b. 隔油性—CNF塗料可減低油滲入紙中。

(2) 塗料黏度

- a. CNF懸浮液在低濃度時具甚高之黏度。
- b. CNF懸浮液有助於減低塗料流入原紙並將之在塗布後留在紙面。

(3) 表面平滑度—平滑度隨CNF塗布而改善。

(4) 物理性質—CNF表面處理可稍增塗布紙之碎裂韌性與撓曲剛度。

(5) 印刷應用—抗剝離強度與紙之光澤度隨CNF用為膠合劑而降低。

纖維素奈米材料發展輿圖

在因應新且可永續作法及產品上纖維素奈米材料具極大的潛力。這些材料具有各種獨特且傑出的性質，包括高強度、高吸收性、低密度以及自我組合性質。它們可以永續且再生的方式生產。

纖維素奈米材料的潛在應用範疇廣且可以開發新穎生質的產品，可以補充產業傳統的紙漿、紙與紙板產品。發展纖維素奈米材料也與國家優先目標吻合，特別在開發新式製造技術與維持健康、有彈性的森林。

我們預見一項材料革命，其中從奈米纖維素製造的新市場項目源自可永續、可再生之森林資源將被廣泛應用，支持全球數百萬人口的生活。♻️