

智慧鍍膜之技術佈局與應用發展策略

MIRDC-104-S201



作者：黃自啟、陳仲宜

審稿：台灣區表面處理工業同業公會

吳文蘭總幹事

金屬中心精微成形研發處處處理組

張凱傑組長



中華民國 104 年 11 月

財團法人金屬工業研究發展中心

文目錄

第一章 緒論	1
第一節 研究動機與目的	1
第二節 研究範圍與架構	3
第三節 研究方法與流程	4
第四節 研究時程與限制	5
第二章 智慧鍍膜發展概況	7
第一節 智慧材料概說	7
第二節 智慧鍍膜概說	11
第三節 智慧鍍膜系統發展動向	19
第三章 應用市場分析	41
第一節 智慧鍍膜整體市場規模分析	41
第二節 智慧鍍膜應用市場分析	42
第四章 智慧鍍膜技術發展動向	95
第一節 智慧材料結構設計關鍵技術	95
第二節 仿生設計技術	106
第三節 關鍵先進鍍膜技術	110
第五章 發展前景與技術佈局分析	131
第一節 產業發展前景	131
第二節 智慧鍍膜技術發展的環境面挑戰課題	139
第三節 智慧鍍膜應用市場發展布局	142
第四節 智慧鍍膜技術佈局分析	145
第六章 結論與建議	147
第一節 結論	147
第二節 建議	150
參考資料	155
附錄	157

圖目錄

圖 1-1	智慧鍍膜技術發展概念	2
圖 1-2	本專題報告之研究範圍與架構	4
圖 1-3	本專題報告之研究方法及流程	5
圖 1-4	本專題報告之研究時程	6
圖 2-1	智慧材料工作原理	9
圖 2-2	柔順壁面減阻示意圖	22
圖 2-3	鯊魚鱗片的 V 形結構	22
圖 2-4	奈米鍍膜相較傳統鍍膜之變革	24
圖 2-5	變色鏡片	28
圖 2-6	表面自我修復示意圖	30
圖 2-7	微膠囊自修復膜作用示意圖	36
圖 2-8	中空纖維自修復膜作用示意圖	37
圖 2-9	環境友好型鈍化鋼板結構示意圖	38
圖 3-1	2015~2022 年智慧鍍膜全球市場規模	42
圖 3-2	SAGEGLAS 電致變色玻璃運作原理	46
圖 3-3	2015~2022 年智慧自動調光窗戶市場預估	47
圖 3-4	自清潔玻璃與普通玻璃比較	48
圖 3-5	2015~2022 年建築業採用自清潔鍍膜玻璃市場預估	49
圖 3-6	自修復混凝土	50
圖 3-7	2015~2022 年自修復混凝土市場預估	50
圖 3-8	2015~2022 年應用於建築業之防腐蝕鍍膜市場預估	52
圖 3-9	NG 1314/D 太陽能電池保護鍍膜	59
圖 3-10	2015~2022 年應用於太陽能發電之自清潔鍍膜市場預估	60
圖 3-11	2015~2022 年應用於風力發電機之保護鍍膜市場預估	62
圖 3-12	陶瓷鍍膜的不銹鋼雙極板	64
圖 3-13	2015~2022 年應用於燃料電池之智慧鍍膜市場預估	64
圖 3-14	密西根大學研發出油水分離濾材	66
圖 3-15	2015~2022 年應用於油污去除之智慧鍍膜市場預估	66
圖 3-16	日產汽車展示刮痕自體修復烤漆功能	74
圖 3-17	ALTEOS 互動窗系統	75
圖 3-18	奈米碳管智慧除冰系統	76
圖 3-19	CONTIPRESSURECHECK 智慧輪胎系統	79

圖 3-20	AEGIS MICROBE SHIELD 抗菌鍍膜殺菌機制	86
圖 3-21	DUNKABLE 防水鍍膜	87
圖 3-22	HZO 公司展示水封鍍膜性能	88
圖 3-23	TIXEL 觸控面板模擬岩石表面觸感	89
圖 3-24	NANOSPHERE 奈米鍍膜	91
圖 3-25	GREENSHIELD 自清潔鍍膜	92
圖 4-1	形狀記憶效應示意圖	98
圖 4-2	壓電複合材料組成示意圖	101
圖 4-3	形態的分類	108
圖 4-4	以生物為學習範本的表面處理方法	110
圖 4-5	傳統複合材料與奈米級混成材料之結構差異比較	112
圖 4-6	自組裝分子膜成膜示意圖	117
圖 4-7	原子層沉積的基本步驟	122
圖 4-8	各種鍍膜技術的階梯覆蓋率	123
圖 4-9	原子層沉積設備	125
圖 5-1	日本智慧鍍膜技術發展動向	132
圖 5-2	表面處理產業高值化與技術創新系統協同發展機制	139
圖 5-3	我國表面處理業者轉型與升級所需求的協助	141
圖 5-4	智慧鍍膜應用市場預測	143
圖 5-5	智慧鍍膜技術發展藍圖	146
圖 6-1	2015 及 2022 年全球智慧鍍膜技術市場分佈比重	148
圖 6-2	我國業者切入之智慧鍍膜市場機會分析	151

表目錄

表 2-1	智慧鍍膜之主要功能	12
表 2-2	不同應用領域中智慧鍍膜系統的材料組成	14
表 2-3	奈米功能性鍍膜的種類及應用	25
表 2-4	不同類型的摩擦成膜自修復	33
表 3-1	智慧鍍膜在建築市場的潛在應用	43
表 3-2	智慧防蝕鍍膜廠商及產品	52
表 3-3	智慧鍍膜在能源市場的潛在應用	54
表 3-4	智慧鍍膜在交通運具產業的應用	67
表 3-5	智慧鍍膜在生醫產業的應用	80
表 3-6	智慧鍍膜在消費性電子產業的應用	84
表 3-7	智慧鍍膜在智慧織品的應用	90
表 4-1	具金屬防護功能的分子自組裝膜系統	120
表 4-2	原子層沉積薄膜材料	126

摘要

智慧鍍膜(Smart coatings)是一種二維尺度的智慧材料，其有別於傳統意義上的鍍膜，是以鍍膜的形式製備於目標工件上，能夠對環境產生選擇性作用或者對環境變化作出回應，並即時改變自身的一種或多種功能參數，朝適應環境方向調整的材料、複合材料或材料的組合。易言之，過去對於鍍膜的印象，多停留在對環境毫無反應的被動表層材料。智慧鍍膜材料及其系統的出現正顛覆傳統的認知，該材料不僅能夠感測環境狀態的變化，且能夠以可預測及可察覺方式反應變化的主動式表層材料。

隨著先進材料與鍍膜技術日新月異及創新應用領域不斷地拓展，以鍍膜形式應用的所謂「智慧材料」種類越來越多，智慧鍍膜發展的廣度與深度正逐步擴大，其功能特徵亦逐漸顯著。智慧鍍膜所應俱備的主要功能範圍包括有：(1)感知；(2)回饋；(3)資訊識別與積累；(4)刺激響應；(5)自診斷；(6)自修復；(7)自調節。此一類型的主動式材料科技正在改變一切，且將帶來無限的可能性，未來將會有更多元的智慧鍍膜應用誕生。值此關頭，正需要更多的創新動能，其發展有助於促進產業價值提升，增加廠商獲利。

根據美國 NanoMarket 公司最新發表的報告指出，全球智慧鍍膜產業整體產值在 2015 年總計為 6 億美元，2016 年可達 9.5 億美元，到了 2022 年可望至 107 億美元，從 2015 到 2022 年平均複合成長率(CAGR)為 50.6%。智慧鍍膜應用市場主要應用領域為建築、能源、交通運具、生醫、消費性電子、紡織、軍事。未來 10 年的成長動能的主要來自於建築、車輛、軍事以及生醫產業的需求。從技術難易度與市場發展潛力等指標來進行綜合考量，自清潔鍍膜與變色鍍膜是現階段我國業者應優先投入之智慧鍍膜產品市場。

智慧鍍膜具備有辨識、判斷、行動等能力，可視環境變化之刺激而產生回應。鍍膜材料與膜層結構較傳統的功能鍍膜更為複雜，其製備技術更要跳脫傳統的思維模式。具體來說，智慧鍍膜首先必須洞悉應用情境而進行功能

解構，緊接著針對特定需求進行智慧化膜層結構設計，其兩大設計原則為多功能複合與仿生設計，最終結合原子/分子級操控的成膜工法方得以完成。製備智慧鍍膜的關鍵技術分為兩大系統，即智慧/仿生結構設計與鍍膜系統功能整合。

智慧鍍膜技術所引發的投資熱潮正席捲全球，無論是傳統工業的轉型升級，或者是 20 世紀中葉以來當紅的電子資訊產業期待再創另一個高峰，乃至於生醫產業渴望成為下一個明星產業，無一不在其中扮演著關鍵性的角色。從產業長期發展的角度來看，智慧鍍膜不啻為我國表面處理產業應儘速投入之高值化創新應用領域。目前在建置完整供應體系所面臨的挑戰課題包括有：產業整體創新意識長期被忽視、前瞻技術自主研發能力有待強化、應用產品與製程工法之創新發展不對稱、缺少實現工法創新的開發環境、基盤技術及跨領域創新人才匱乏，以及工法及應用創新所必要的資訊系統仍嫌不足。

智慧鍍膜技術是目前全球表面處理業者積極投入的聚焦所在，其開發涉及跨領域創新，需要整合不同的專業知識，透過精確的設計，目標明確的應用、以及大規模投資是成功必備的因素。因此，業者應隨時注意市場脈動，尋求跨領域別合作結盟，並積極網羅擁有跨領域創新能力之人才，更應建立緊密的上中下游關係，以及充分瞭解並利用政府、研發法人及學界之各種資源，達到利用整合創新來達到技術能量升級之目的。

Abstract

Smart coating is a two-dimensional smart material; it differs from traditional coatings. In the form of coating and as a material, composite material or combination of materials, it is used on the target workpiece, and is able to achieve selective effects on the environment, or respond to the surrounding environment, while making real-time changes to one or more of its function parameters to adapt to the environment. In short, coating in the past was mainly just passive surface material incapable of reacting to the environment. The emergence of smart coating material and its reactive quality is overturning the traditional perception. This active surface material can not only perceive the changes of environment, but also adapt to the environment in a predictable and perceptible way.

With the constant progress made in the innovation and application of advanced material and coating technology, the so-called "smart material" applied in the form of coating has become ever more diverse. The breadth and depth of smart coatings are being gradually expanded, with more evident functions and features. The major functions that smart coating should possess include: (1)perception, (2)feedback, (3)information identification and accumulation, (4)stimulus response, (5)self-diagnosis (6)self-repair and (7) self-adjustment. This type of active material technology is evolving and promises nearly infinite possibilities related to a vast array of applications. In the future, more diversified smart coatings will be invented. At this time, more innovations are needed to stimulate its development, which will prove conducive to industrial value enhancement and also increase profit.

According to the latest report released by NanoMarket, USA, the total output value of the global smart coating industry in 2015 was USD600 million and will reach USD950 million in 2016 and USD10.7 billion by 2022. From 2015 to 2022, the compound average growth rate (CAGR) should reach 50.6%. Smart coating is mainly applied to areas such as construction, energy, transportation, biomedicine, consumer electronics, textile, military, etc. Over the next 10 years, the growth momentum will mainly come from the demands

of construction, vehicles, the military and biomedicine. A comprehensive consideration of the indexes of technical difficulty and market potential, self-cleaning coating and color-changing coating are the priorities that Taiwanese manufacturers should invest in at the present stage.

Smart coating possesses the functions of identification, judgment, activity and so on, and could react to the stimuli stemming from the environment. Its coating material and film structure are more complex than traditional coatings. Its preparation technology is way above traditional conceptual patterns. Specifically, smart coating has to be clearly geared to the application situation before carrying out function deconstruction, followed by smart film structural design targeting specific demands, with multifunction and bionics design as its two major design principles. At the end, atomic/molecular level film-forming technique will be integrated to complete the whole process. The key technologies of making smart coating are classified according to two systems: smart/bionics structure design and coatings system function integration.

The investment boom caused by smart coating technology is spreading globally, playing a crucial role in the transformation and upgrading of traditional industry; it may achieve another expected peak in the electronic information industry, which has been popular since the mid-20th century, and even in the biomedicine industry, which is eager to become the next star industry. From the perspective of long-term industrial development, smart coating should be the high-value innovation and application sector in which the domestic treatment industry should invest as soon as possible. At present, the challenges in building a complete supply system include: the long neglect of overall innovation of the industry, the independent R&D capabilities of forward-looking technologies that need to be strengthened, unbalanced innovation development between application products and processing technique, the lack of a developmental environment suitable for technique innovation, the lack of fundamental technology and interdisciplinary innovation talents, and insufficiency in information systems needed for the innovation of various techniques and applications.

Right now, smart coating technology is the hotspot with active investment from the global surface treatment industry. Its development involves

interdisciplinary innovation and needs to integrate different professional fields of knowledge. Accurate design, clear application and large-scale investment are the essential factors for achieving success. Therefore, manufacturers should keep an eye on market trends at all times, find interdisciplinary cooperation opportunities, actively recruit talents with interdisciplinary innovation capabilities, establish close relationships in the upper, middle and lower reaches, and fully understand and utilize governmental, institutional and academic resources to achieve the goal of upgrading the technologies by integrating innovation.



第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

在綠色意識高漲以及工業產品演進日趨複雜的趨勢下，扮演重要角色的表面處理技術已產生革命性的變化，從早期僅賦予產品裝飾性，到後來的高強度、高韌性、耐磨耗，及防腐蝕等表面保護性能之提高，繼而演進成特定用途之功能性鍍膜，乃至於進一步發展出能夠對電流、壓力、酸鹼度、溫度或光線強度等變化的外部刺激作出回應，亦或是具有自選擇、自調整等功能的智慧型鍍膜。

智慧鍍膜理論與技術是針對既有鍍膜理論與技術的昇華，此外，有一大部分智慧鍍膜的概念及原理是來自於生物現象，隨人類對生物現象理解愈深而發展。因此，未來智慧鍍膜的研究將與材料科學及生命科學越來越緊密地連結在一起，其種類及範疇漸形擴大，膜層系統的智慧化程度亦將不斷進化，功能不斷提高。從先端科技領域到傳統產業，為達成節能、節材、降低成本、環保化、生態化、小型化、微型化、輕量化、便攜化等目的，智慧鍍膜技術的應用領域越來越廣泛。智慧鍍膜技術之興起已經成為現階段表面處理產業發展的重要顯學，全球表面處理產業具有舉足輕重地位的廠商已紛紛投入智慧鍍膜技術開發，如 3M、AkzoNobel、Dupont。

在智慧鍍膜技術的發展熱潮下.....

第二章 智慧鍍膜發展概況

第一節 智慧材料概說

生物體在受到損傷時，都具有自預警及自修復能力，這是很神奇複雜的自然現象。目前在許多應用領域中，無論是從仿生(Bio-mimetics)技術，亦或是從提高材料安全性、可靠性(Reliability)的角度出發，構思與設計材料在受到損傷時具有自檢知、自判斷(Self judgement)，甚至發揮自行動等智慧化功能，都是可行的。自檢知(如感知)功能實際上是感測器功能，是指特定材料對超出某強度值的刺激因素(溫度、應力、電磁場等)的敏感性。自判斷(又稱自診斷、自結論、自考慮)功能，相當於邏輯處理器的功能，本質上是材料刺激反應特性的微觀或次微觀機制。自行動又稱自反應功能，指材料在受到刺激後做出反應的能力，相當於驅動器(Actuator)功能，自行動功能又可分為自預警、自適應及自致動三種類型：(1)自預警功能即訊號功能，當材料有損傷或外界刺激因素的強度超出某臨限值時，材料會發出諸如變色、發熱、聲波、電磁異常等訊號；(2)自適應功能，指材料可透過自身內部結構的調整來適應刺激因素的變化。如自修復就是一種自適應功能。透過對材料進行設計與複合，使材料具有如下功能：比如當材料產生裂縫時，其內部可滲出某種物質填充裂縫並固化，從而抑制材料損傷的進一步發展；(3)自驅動功能，係指材料受刺激因素作用後可完成一定的機械動作等，如

第三章 應用市場分析

智慧鍍膜的應用發展相當蓬勃，在各個領域的應用都帶來極高的效益，部份的應用已在市場上相當普及，部份仍在技術發展階段，本研究主要針對最大市場潛力之應用作分析，以下依照產業別，說明智慧鍍膜在各領域的新興應用及市場。

第一節 智慧鍍膜整體市場規模分析

根據美國 NanoMarket 公司在 2015 年 1 月最新發表的報告指出，全球智慧鍍膜產業整體產值在 2015 年總計為 6 億美元，2016 年可達 9.5 億美元，到了 2022 年可望至 107 億美元，從 2015 到 2022 年平均複合成長率(CAGR)為 50.6%，如【圖 3-1】所示。智慧鍍膜應用市場主要應用領域為建築、能源、交通運具、生醫、消費性電子、紡織、軍事。以 2015 年來看

第四章 智慧鍍膜技術發展動向

由於智慧鍍膜具備有辨識、判斷、行動等能力，可視環境變化之刺激而產生回應。鍍膜材料與膜層結構較傳統的功能鍍膜更為複雜，其製備技術更要跳脫傳統的思維模式。具體來說，智慧鍍膜首先必須洞悉應用情境而進行功能解構，緊接著針對特定需求進行智慧化膜層結構設計，其兩大設計原則為多功能複合與仿生設計，最終結合原子/分子級操控的成膜工法方得以完成。為瞭解欲投入智慧鍍膜領域的優先佈局方向，以下將進一步探討前述之主要關鍵技術發展動向。

第一節 智慧材料結構設計關鍵技術

智慧材料是一種能夠判斷、處理從自身表層或內部獲取的關於環境條件及變化的資訊並做出反應、以改變自身結構與功能，使其很好地與外界協調的、具有自適應性的材料系統。而所謂智慧材料結構係泛指將感測元件、驅動元件，控制元件及相關的訊號處理與傳輸整合在材料結構中，透過力、聲、熱、光、化、電、磁等刺激及控制，不僅具有承受荷載的能力，而且具有識別、分析、處理及控制等多種功能，能進行自預警、自診斷、自我調整、自學習、自修復的材料結構。

智慧材料結構根基於兩大類功能材料，一類被稱為感知材料，其對來自外界或內部的刺激強度及變化

第五章 發展前景與技術佈局分析

智慧鍍膜潛力商機龐大，供應體系動態複雜。基於對未來的不確定，因此，本研究為掌握致勝先機，擬透過現有產業鏈未來五年內可持續性及可鏈結性之檢視角度，借鏡先進國家及標竿大廠的技術前瞻動向，最後藉由專家座談方式結合情境模擬方法，進行技術佈局分析，並整理出影響臺灣朝向智慧鍍膜技術及應用創新發展的內外部環境因素及其面臨之挑戰課題。

第一節 產業發展前景

一、產業發展前景

(一)日本智慧鍍膜技術發展趨勢

根據日本第十回技術前瞻的預測內容，展望智慧鍍膜的未來發展方向可以發現，許多先進的應用需仰賴智慧鍍膜技術的協助，相關技術實現的時程如【圖 5-1】所示，智慧鍍膜在環境能源、醫療、製造工藝、運輸載具等領域有需多值得注意的應用與發展。

從技術的可實現性分析，未來 1~3 年可能商業化的智慧鍍膜包括有醫療用抗菌鍍膜、燃料電池保護鍍膜、油污去除鍍膜、船舶防污鍍膜、航空用智慧感測鍍膜等。抗菌鍍膜在醫療領域的應用早已商業化，未來的發展方向主要是針對

第六章 結論與建議

第一節 結論

一、傳統功能鍍膜將進化成為



《2015 智慧鍍膜之技術佈 局與應用發展策略》

全本電子檔及各章節下載點數，請參考智網公告

電話 | 02-27326517

傳真 | 02-27329133

客服信箱 | itismembers@micmail.iii.org.tw

地址 | 10669 台北市敦化南路二段 216 號 19 樓

劃撥資訊 | 帳號：01677112

戶名：財團法人資訊工業策進會

匯款資訊 | 收款銀行：華南銀行—和平分行

(銀行代碼：008)

戶名：財團法人資訊工業策進會

收款帳號：98365050990013 (共 14 碼)

服務時間 | 星期一~星期五

am 09:00-12:30 pm13:30-18:00



經濟部技術處產業技術知識服務計畫

如欲下載此本產業報告電子檔，

請至智網網站搜尋，即可扣點下載享有電子檔。

ITIS 智網：<http://www.itis.org.tw/>