

105年度學界協助中小企業科技關懷計畫

診斷計畫結案報告

計畫名稱：新型光波導溫度感測元件之開發

廠商名稱：富智光電股份有限公司

專家姓名：李偉裕

所屬單位：中華科技大學電機系

計畫期程：105年05月~105年10月

計畫編號：PT105160448

廠商編號：TF1020342

專家編號：TP1020150

中華民國 105 年 10 月 25 日

壹、計畫摘要

專家基本資料					
專家姓名	李偉裕		職稱	教授	
現職	學校	中華科技大學		系所	電機系
	電話	02-27851154237		傳真	0226534518
		0912258818			
	E-mail	wylee222@yahoo.com.tw			
地址	台北市台北市南港區研究院路三段245號				
專長領域	光電工程				
廠商基本資料					
廠商名稱	富智光電股份有限公司		創立日期	民國89年08月11日	
統一編號	70834384		負責人	李政哲	
通訊地址	台北市臺北市信義區忠孝東路5段669號3樓之2				
連絡方式	聯絡人	朱淑美		職稱	經理
	電話	02-87850039		傳真	02-87850031
	E-mail	sherrychu5518@yahoo.com.tw			

計畫成果摘要

雖然目前的電阻式溫度計靈敏度高，卻容易受環境因素，如碰撞和濕度的影響，使得感測器的電阻值隨時間漂移，因此需要昂貴且耗時的校準。為解決上述問題，光學式溫度感測器因此成為重要得研究技術。

光纖感測器雖具備體積小、重量輕、不受電磁干擾、傳輸損耗低、靈敏度高、安全性高、以及特有的多工性質可以組成監測網路之優點；但是其製程比較複雜，穩定性較差，並且材料的老化變質對於感測器的性能影響較大。

在本計畫，我們製作表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件，以解決傳統光纖光柵溫度感測器之缺陷。本計畫擬研製之光波導式溫度感測元件，係為通道波導(channel waveguide)之布拉格光柵結構，目前國內外研發團隊對此少有研究。

工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，其中，各類型工業級感測器被列為優先發展的關鍵元件。本計畫開發光波導式溫度感測元件一直被視為重點發展領域，適合廣泛應用於智慧生產自動化之溫度感測。

本計畫擬透過微成形(micro-molding)技術及全像干涉(holographic interference)技術，快速製作具表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件。藉由這個製程，製作具備高解析度及高深寬比之表面起伏布拉格光柵結構，可提高溫度感測元件之穩定性與靈敏度。這個製程適合量產光波導式溫度感測元件，不需任何物理蝕刻就能在分子通道波導上製作表面起伏光柵，並解決在核心和覆蓋層的波導材料裡，因不同的熱膨脹係數所引起的殘餘應力。本計畫即是開發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵波導溫度感測元件。

經由本計畫製作表面浮雕布拉格光柵波導溫度感測元件光譜量測圖，可溫度量測範圍0-250攝氏度，靈敏度約為10 pm/攝氏度。實驗室量測報告達到預期技術指標。上述規格達成對解決商品化問題之具有實際功效。

執行本輔導計畫後，廠商可增加產值，減少開發成本，增加投資，增聘員工，提昇產業競爭力，培育相關技術人才並解決產業需求人力。

貳、計畫執行成果

一、主要工作項目

雖然目前的電阻式溫度計靈敏度高，卻容易受環境因素，如碰撞和濕度的影響，使得感測器的電阻值隨時間漂移，因此需要昂貴且耗時的校準。為解決上述問題，光學式溫度感測器因此成為重要得研究技術。

光纖感測器雖具備體積小、重量輕、不受電磁干擾、傳輸損耗低、靈敏度高、安全性高、以及特有的多工性質可以組合成監測網路之優點；但是其製程比較複雜，穩定性較差，並且材料的老化變質對於感測器的性能影響較大。

在本計畫，我們製作表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件，以解決傳統光纖光柵溫度感測器之缺陷。本計畫擬研製之光波導式溫度感測元件，係為通道波導(channel waveguide)之布拉格光柵結構，目前國內外研發團隊對此少有研究。

工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，其中，各類型工業級感測器被列為優先發展的關鍵元件。本計畫開發光波導式溫度感測元件一直被視為重點發展領域，適合廣泛應用於智慧生產自動化之溫度感測。

本計畫透過微成形(micro-molding)技術及全像干涉(holographic interference)技術，快速製作具表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件。藉由這個製程，製作具備高解析度及高深寬比之表面起伏布拉格光柵結構，可提高溫度感測元件之穩定性與靈敏度。這個製程適合量產光波導式溫度感測元件，不需任何物理蝕刻就能在聚合物通道波導上製作表面起伏光柵，並解決在核心和覆蓋層的波導材料裡，因不同的熱膨脹係數所引起的殘餘應力。本計畫即是開發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵波導溫度感測元件。

本計畫即是研發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵波導溫度感測元件。希望透過學界現有研發能量，提供企業短期程之技術輔導，協助業者排除急迫性之技術障礙，降低產品開發成本，提升附加價值與產品競爭力。

主要工作項目：

- (1)對於新型光波導溫度感測元件之最佳化理論分析與設計，建立完整的研究架構，以期將此元件以學理與技術可行之論點進行研究，建立最佳製程條件。
- (2)建立工業級感測器與光波導溫度感測元件之間的整合，加強光波導感測相關元件之研發，並完成元件之封裝。
- (3)預計在計畫執行過程，其具體成果將可申請製作技術之發明專利，並可廠商技術移轉。
- (4)參與人員藉此計劃可熟悉微機電製程技術、光波導感測元件及系統量測技術之理論與實務，提供光電感測產業所欠缺的人力資源。
- (5)參與人員藉此計劃可熟悉光波導式溫度感測元件應用於工業4.0智慧生產自動化之溫度感測。感測之理論與實務技術。
- (6)完成商品化以微機電製程開發新型光波導式溫度感測元件1件。

二、 預定目標達成情形(應與原計畫書設定相呼應，並說明預定目標達成情形)

本計畫預定目標:

- (1)對於新型光波導溫度感測元件之最佳化理論分析與設計，建立完整的研究架構，以期將此元件以學理與技術可行之論點進行研究，建立最佳製程條件。
- (2)建立工業級感測器與光波導溫度感測元件之間的整合，加強光波導感測相關元件之研發，並完成元件之封裝。
- (3)預計在計畫執行過程，其具體成果將可申請製作技術之發明專利，並可廠商技術移轉。
- (4)參與人員藉此計劃可熟悉微機電製程技術、光波導感測元件及系統量測技術之理論與實務，提供光電感測產業所欠缺的人力資源。
- (5)參與人員藉此計劃可熟悉光波導式溫度感測元件應用於工業4.0智慧生產自動化之溫度感測。感測之理論與實務技術。
- (6)完成商品化以微機電製程開發新型光波導式溫度感測元件1件。
- (7)預計營業額增加2000萬元。
- (8)預計增加員工3人，經產學合作與政府相關補助的推動，希望協助公司培訓產品開發人才，以利公司後續發展。

本計畫預定目標達成情形:

1. 針對計畫相關之新型光波導溫度感測元件之開發，完成零組件選用及模擬驗證軟體分析。
2. 針對計畫相關之新型光波導溫度感測元件之開發，完成元件模擬，包括：適用溫度範圍0-250攝氏度，靈敏度約為10 pm/攝氏度。
3. 針對實體製作新型光波導溫度感測元件，完成樣品試作一份，有實體產出及照片呈現，實驗室量測報告預計達到預期技術指標含：適用溫度範圍0-250攝氏度，靈敏度約為10 pm/攝氏度。
4. 完成廠商訓練，含軟體模擬及樣品實作技術。軟體模擬及樣品實作達到元件適用溫度範圍0-250攝氏度，靈敏度約為10 pm/攝氏度。
5. 參與人員藉此計劃熟悉微機電製程技術、光波導溫度感測元件及系統量測技術之理論與實務，培養光電通訊產業所欠缺的人力資源。
6. 參與人員藉此計劃熟悉光波導溫度感測元件應用於機器人之溫度感測之理論與實務技術。
7. 增聘員工2人，後續研提政府研發補助計畫。

三、計畫執行成果說明

1、計畫執行成果

雖然目前的電阻式溫度計靈敏度高，卻容易受環境因素，如碰撞和濕度的影響，使得感測器的電阻值隨時間漂移，因此需要昂貴且耗時的校準。為解決上述問題，光學式溫度感測器因此成為重要得研究技術。

光纖感測器具備體積小、重量輕、不受電磁干擾、傳輸損耗低、靈敏度高、安全性高、以及特有的多工性質可以組合成監測網路，因此近年來被廣泛地應用在，如工業、軍事、生物、電子、航太、機械、化工、造船、土木等領域。

光纖感測是將物理量的變化如溫度、應變、加速度、位移、壓力等之變化，解調成在光纖內傳輸之光信號的改變。目前已研製成多種光纖溫度感測器，主要有光纖Fabry-perot干涉型溫度感測器、半導體吸收型光纖溫度感測器、光纖光柵溫度感測器。光纖Fabry-perot干涉型溫度感測器是利用溫度改變Fabry-perot干涉儀的干涉條紋來測量外界溫度，其製程比較複雜，穩定性較差，並且材料的老化變質對於感測器的性能影響較大。半導體吸收型光纖溫度感測器是利用半導體材料的吸收光譜隨溫度變化而變化的特性實現的。光纖光柵溫度感測器的工作原理是當光纖光柵所處環境的溫度發生變化時，光柵的週期或纖芯折射率將發生變化，從而使發射光的波長發生變化，通過測量溫度變化前後反射光波長的變化，就可以獲得溫度的變化情況。光纖光柵溫度感測器在高溫時的穩定性不佳，且其折射率變化型的光柵性質，在高溫時會被消除。

在本計畫，我們製作表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件，以解決傳統光纖光柵溫度感測器之缺陷。

由於低成本和製程簡單，高分子材料被廣泛使用於導波光學元件。以往在高分子薄膜製作光柵的技術包括全像微影技術，電子束蝕刻，雷射束直接寫，及相位光罩微影；然而，對於通道波導(channel waveguide)之表面起伏光柵，少有研究。最近有研究以偶氮苯(azobenzene polymer)作為蝕刻面罩，並藉由氧的反應離子蝕刻(reactive ion etching)，可將表面起伏光柵轉移至高分子波導上。但是物理蝕刻所造成的表面粗糙經常造成散射損失，而且也不易獲得高深寬比的光柵結構。電子束直接寫入法被用來製作具波浪狀布拉格光柵的高分子脊狀(ridge)波導。這種設計在控制有效折射率的調變上，是優於傳統的埋入式(buried)光柵。然而，其核心波導尺寸必須很小才有單模狀態。這種條件將引起波導和光纖間耦合的困難。Ahn等人使用奈米轉印技術(nanoimprint)來製造布拉格光柵結構。他們製作一個對紫外線透明的石英戳印和使用一台奈米轉印機器而成功地把光柵結構轉移至高分子層。但是，有一些缺點致使這種方法在製作布拉格光柵時受到限制。

本計畫透過微成形(micro-molding)技術及全像干涉(holographic interference)技術，快速製作具表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件。藉由這個製程，製作具備高解析度及高深寬比之表面起伏布拉格光柵結構，提高溫度感測元件之穩定性與靈敏度。

本計畫研製之光波導式溫度感測元件，係為通道波導(channel waveguide)之布拉格光柵結構，目前國內外研發團隊對此少有研究。此外，本計畫擬結合全像干涉、軟微影技術及微成形之微機電技術，製作具備高解析度及高深寬比之光波導式溫度感測元件。可提高溫度感測元件之穩定性與靈敏度，並解決在核心和覆蓋層的波導材料裡，因不同的熱膨脹係數所引起的殘餘應力。適合一般業界之量產發展，具有成本低廉等優點。

國內外有關本計畫之研究情況：

近年來歐、美、日各先進研究機構皆積極投入光學式溫度感測器之研究發展[1-4]。然而，目前各國研究機構對於表面浮雕光纖布拉格光柵溫度感測元件較少研究單位投入。因此，本計畫的研究有助於提昇我國在這個領域的研究基礎及技術。

以往在高分子薄膜製作光柵的技術包括全像微影技術[5]，電子束蝕刻[6]，雷射束直接寫[7]，及相位光罩微影[8]；然而，對於通道波導(channel waveguide)之表面起伏光柵，少有研究。最近有研究以偶氮苯(azobenzene polymer)作為蝕刻面罩，並藉由氧的反應離子蝕刻(reactive ion etching)，可將表面起伏光柵轉移至高分子波導上。但是物理蝕刻所造成的表面粗糙經常造成散射損失，而且也不易獲得高深寬比的光柵結構[9]。電子束直接寫入法被用來製作具波浪狀布拉格光柵的高分子脊狀(ridge)波導[10]。這種設計在控制有效折射率的調變上，是優於傳統的埋入式(buried)光柵。它也顯示在非常短的光柵長度下具有好的傳輸下降。然而，因為核心波導的折射率比周圍覆蓋層的折射率大得多，其核心波導尺寸必須很小才有單模狀態。這種條件將引起波導和光纖間耦合的困難。Ahn等人使用奈米轉印技術(nanoimprint)來製造布拉格光柵結構[11]。他們製作一個對紫外線透明的石英戳印和使用一台奈米轉印機器而成功地把光柵結構轉移至高分子層。其製程成本效益佳而且簡單。但是，有一些缺點致使這種方法在製作布拉格光柵波導時受到限制[12]。

參考文獻

1. G. Branbilla, "High-temperature fiber Bragg grating thermometer," *Electronics Letters* Vol. 38 No. 17 pp. 954-955 15th August 2002.
2. T. Mizunami, ; et al., "High-sensitivity cryogenic fiber Bragg grating temperature sensors using Teflon substrates," *Meas Sci Technol* 12 (2001), 914 - 917.
3. S. Gupta, ; et al., "Fiber Bragg grating cryogenic temperature sensors," *Appl Opt* 35 (1996), 5202 - 5205.
4. H. B. Liu, ; et al., "Strain and temperature sensor using a combination of polymer and silica fibre Bragg gratings," *Optics Communications* 219 (2003) 139 - 142
5. J. W. Kang, ; et al., "Polymeric wavelength filters fabricated using holographic surface relief gratings on azobenzene-containing polymer films," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, pp. 3823-3825, 2003.
6. H. Nishihara, et al., "Electron-beam directly written micro gratings for integrated optical circuits," in *Photo- and Electro-Optics in Range Instrumentation*, J. Water, et al., eds., *Proc. SPIE*, vol. 134, pp. 152-159, 1980.
7. L. Eldada, ; et al., "Laser-fabricated low loss single-mode raised-rib waveguiding devices in polymers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, pp.1704-1713, 1996.
8. L. Eldada, ; et al., "Integrated multichannel OADM using polymer Bragg grating MZIS," *IEEE, Photonics Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 1416-1418, 1998.
9. D. J. Kang, ; et al., "Simple fabrication of diffraction gratings by two beam interference method in highly photosensitivity hybrid sol-gel films," *Opt. Express*, vol. 12, pp. 3947-3953, 2004,
10. L. Zhu, ; et al., "Polymetric multi-channel bandpass filters in phase-shifted Bragg waveguide gratings by direct electron beam writing," *Opt. Express*, vol. 12, pp. 6372-6376, 2004,
11. D.-H. Kim, ; et al., "Tunable polymeric Bragg grating filter using nanoimprint technique," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 88, pp. 7-12, 2006.
12. A. Kocabas ; et al., "Polymeric waveguide Bragg grating filter using soft lithography," *Opt. Express*, vol. 14, pp.10228-10232, 2006 .
13. P. Nussbaum, I. Philipoussis, A. Huser, and H. P. Herzig, "Simple technique for replication of micro-optical elements," *Opt. Eng.*, vol. 37, pp.1804-1808, 1998.
14. A. Yariv, *Introduction to Optical Electronics*, 3rd edition, (H. Rinehart & Winston, New York, 1984).

計畫分別採用之方法與原因。

(1) 全像干涉技術

全像干涉技術(如圖1所示)可藉由改變入射光束角度及輻射時間達到光柵週期及深度之製程彈性。此外，由兩相交作用光束所形成之干涉圖案頻率，理論上僅受限於入射光波長。因此，光柵週期僅受限於所使用之雷射波長。

(2) 高分子基板上的光柵結構製作

本計畫之高分子基板上的光柵結構，是透過微成形(micro-molding)技術及全像干涉(holographic interference)技術之三步驟的製程來完成(如圖2所示)。光柵結構是在一正光阻薄膜上以雙光束全像干涉曝光所形成。前述製程可產生一母模，稍後並被用來製作一個聚二甲基矽氧烷(PDMS)模仁。這個矽橡膠(PDMS)模仁又再被利用作為如同戳印一樣把光柵結構轉印到一個經紫外線硬化成型的環氧樹脂上。

(3) 具表面起伏高分子布拉格光柵波導溫度感測元件製作

為了製作具表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件，先將玻璃基板裁切成矩形。而後在已具有光柵結構的第一光阻上(如圖3(a)所示)，塗佈一層負光阻(SU-8)。再對聚乙烯對苯二甲酸酯(polyethylene Terephthalate, PET)光罩，使用紫外線光罩對準曝光系統對該負光阻進行曝光(如圖3(b)所示)，再浸入SU-8顯影劑內進行顯影步驟，使負光阻上形成一道溝槽(如圖3(c)所示)，且於溝槽底部形成光柵結構案。此一已有光柵結構的負光阻被用作為一個母模，再配合傳統的微成形技術[13]，就可以把負光阻上的光柵結構轉移一個PDMS薄膜上。一層被稀薄的PDMS薄膜被均勻地塗佈在已有光柵結構的負光阻母模上，經過烘烤之後，PDMS薄膜被催化，並且可容易地從負光阻上被剝離，進而獲得一個PDMS薄膜的模仁(如圖3(d), 3(e)所示)。該PDMS模仁的一面上具有與負光阻之溝槽形狀相配合的脊型波導，波導上具有光柵結構。而後，再利用UV複製製程，使PDMS模仁上波導之光柵結構再被轉移一個紫外線硬化高分子(OG146)上(如圖3(f)~(h)所示)。將一個間隔子(spacer)置放在前述的PDMS薄膜模仁及一個薄

的Pyrex玻璃基板之間，再於該漕溝內注入OG146高分子，然後，此高分子PDMS模仁及一個薄的Pyrex玻璃基板之間。此硬化高分子便很容易地從PDMS模仁被剝離，並形成一個具有槽溝的高分子模仁，且於槽溝底部形成光柵結構。此一具有光柵結構的OG146高分子模仁經過硬化後，可作為高分子波長濾波器的一個覆蓋層。

為製作核心波導，一混合OG154和OG169之高分子被注入前述之高分子模仁的溝槽內。在本計畫不使用旋轉塗佈技術，因為可能在核心波導外邊產生一個厚的非導光層，此一非導光層會導致光信號在從光纖輸入此高分子波長濾波器時的耦合損失。為了取代旋轉塗佈技術，本計畫提出另一方法(如圖3(i), 2(j)所示)。將PDMS高分子薄層塗覆在一玻璃載片上，該玻璃載片再被放置在高於具有光柵結構的OG146高分子模仁的溝槽上方，且使該玻璃載片與OG146高分子模仁間形成一條矩形並由該槽溝所形成的通道。為了把具有高黏性的OG154環氧樹脂注入該矩形通道內，本計畫採用另一OG169高分子來與OG154高分子混合而形成一混合高分子，以稀釋OG154環氧樹脂，並降低OG154高分子的黏性，而讓該混合高分子得以順利地被注入到該矩形通道內。混合OG154和OG169高分子被注入前述高分子模仁溝槽內之製程如圖2(i)所示。注入溝槽內液體的混合高分子，經過紫外光曝光而被硬化定型。在玻璃載片被除去之後，PDMS層也被自然地從這個樣品上剝離(如圖3(j)所示)。為了防止因為波導模態的不存在所造成的光學損失，一個上覆蓋層被使用。其作法係採用與覆蓋層相同的OG146高分子作為上覆蓋層的材料(其製程請參看圖3(k)~(n))。最後製得一個具表面起伏高分子布拉格光柵波導溫度感測元件(如圖3(n))。

(4) 高分子布拉格光柵波導波導性質，包括模態及有效折射率將使用射束傳播法(beam propagation method)來模擬。波導溫度感測元件的傳輸特性，如傳輸下降損失，將以耦合模態理論(coupled mode theory)[14]計算。其結果將與經由光頻譜分析儀測量結果做比較。

(5) 溫度靈敏度的理論分析

通道式表面起伏高分子布拉格光柵波導其折射率沿光柵波導軸向週期分佈，只有滿足布拉格條件的光波才能被光柵反射。布拉格反射波長如公式1所示。

高分子布拉格光柵波導周圍溫度場的變化對光柵常數 Λ 和有效折射率 n_{eff} 均有影響，使得布拉格反射波長 λ_B 出現漂移。溫度的變化對波長的影響如公式2所示。

光柵週期的變化是由熱膨脹效應引起的, 如公式3所示。

有效折射率的變化是由熱光效應引起的, 如公式4所示。

溫度靈敏度係數如公式5所示。

若忽略溫度對熱膨脹係數 α 和熱光係數 ζ 的影響，則高分子布拉格光柵波導溫度靈敏係數 K_T 為一常量，波長的變化與溫度的變化呈線形關係。當溫度變化不大時，一般認為 α 和 ζ 是常數。但實際上，熱光係數 ζ 對溫度存在依賴性[15]。對本計畫中製作表面起伏布拉格光柵之高分子材料在50~ 350K 溫度範圍內的折射率變化 $d n / dT$ 規律如公式6所示。

(6) 具表面起伏高分子布拉格光柵波導溫度感測元件之量測系統

本計畫所研製之具表面起伏高分子布拉格光柵波導溫度感測元件之量測系統如圖4所示。

量測系統用於測量布拉格中心反射波長，過程中，高低溫箱內的溫度每變化 50C 保持一段時間的恆溫，採集記錄一次資料。量測步驟可以取一基準溫度 T_0 ，將與其相應的中心反射波長記

為 λ_{B0} ，則波長變化量 $\Delta \lambda_B = \lambda_B - \lambda_{B0}$ 溫度變化量 $\Delta T = T - T_0$ 。由上述量測步驟，可得到布拉格波長與溫度的關係曲線圖。

在相關的參考文獻中大都將波長與溫度的關係作為常係數線性方程來處理。然而，當用於高溫區域或低溫區域時，會產生不可忽略之誤差。因此，當高分子布拉格光柵波導溫度感測元件應用在高低溫環境下時，對其進行溫度的非線性校正是很重要的。

(7) 元件量測結果

本計畫所研製之具表面起伏高分子布拉格光柵光柵波導溫度感測元件之元件周圍溫度變化對布拉格反射波長 λ_B 影響如圖5所示。

經由本計畫製作表面浮雕布拉格光柵波導溫度感測元件光譜量測圖及，可推導元件溫度量測範圍0-250攝氏度(如圖6所示)，靈敏度約為10pm/攝氏度。實驗室量測報告達到預期技術指標。上述規格達成對解決商品化問題之具有實際功效。

本計畫所研製之新型光波導溫度感測元件如圖7所示。

執行本輔導計畫後，廠商可增加產值，減少開發成本，增加投資，增聘員工，提昇產業競爭力，培育相關技術人才並解決產業需求人力。

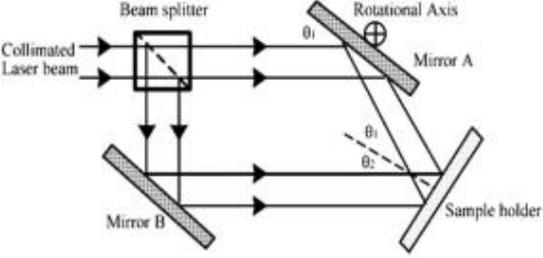
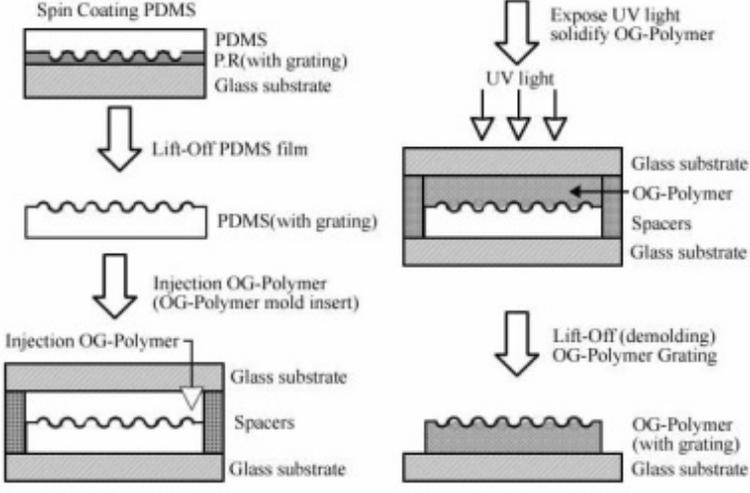
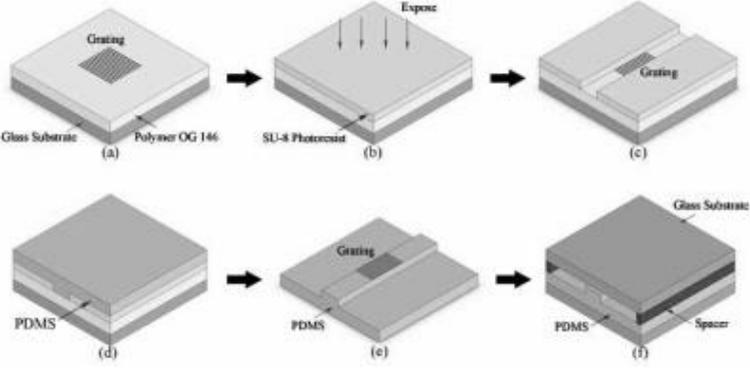
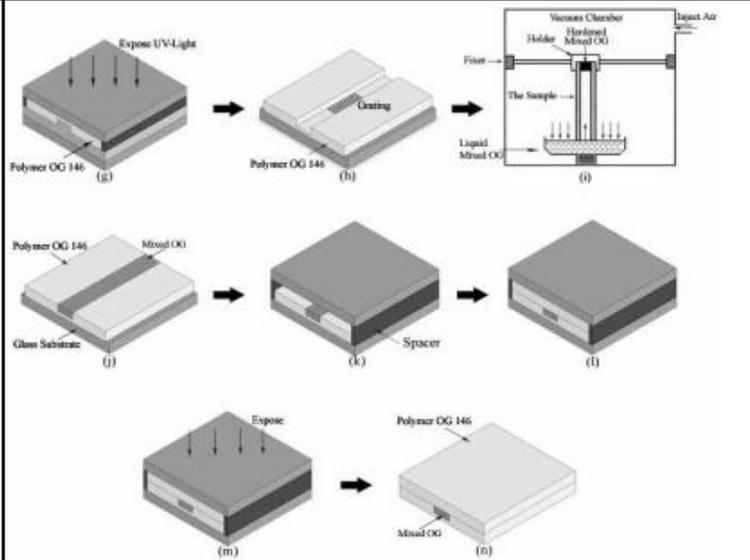
附件	
附件說明	附件
圖1、全像干涉技術之實驗架構	 $T = \frac{\lambda}{\sin \theta_1 + \sin \theta_2}$
圖2、以微機電翻模技術製作高分子光柵波導	
圖3-1. 具表面起伏高分子布拉格光柵波導溫度感測元件的製程	

圖3-2. 具表面起伏高分子布拉格光柵波導溫度感測元件的製程



公式1. 布拉格反射波長公式

$$\lambda_{Bragg} = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

公式2. 溫度的變化對波長的影響公式

$$\frac{\Delta \lambda_B}{\Delta T} = 2 \left[\frac{n_{eff} \Delta \Lambda}{\Delta T} + \frac{\Lambda \Delta n_{eff}}{\Delta T} \right] \quad (2)$$

公式3. 光柵週期變化與熱膨脹效應關係式

$$\frac{\Delta\Lambda}{\Lambda} = \alpha \cdot \Delta T \quad (3)$$

式中， α 為高分子布拉格光柵波導的熱膨脹係數。

公式4. 有效折射率變化與熱光效應關係式

$$\frac{\Delta n_{\text{eff}}}{n_{\text{eff}}} = \zeta \cdot \Delta T \quad (4)$$

式中， ζ 為高分子布拉格光柵波導的熱光係數。

公式5. 溫度靈敏度係數公式

$$K_T = \frac{1}{\Lambda_B} \cdot \frac{\Delta\Lambda_B}{\Delta T} = \alpha + \zeta \quad (5)$$

溫度靈敏度係數反映了波長相對漂移量 $\Delta\lambda/\lambda_B$ 與 ΔT 之間的變化關係。當材料被確定後， K_T 是與材料係數相關的常數。

公式6. 布拉格光柵高分子材料折射率隨溫度變化之關係式

$$\frac{dn}{dT} = -1.13 \times 10^{-6} + 6.74 \times 10^{-8}T - 1.12 \times 10^{-10}T^2 \quad (6)$$

圖4. 光柵波導溫度感測元件之量測系統

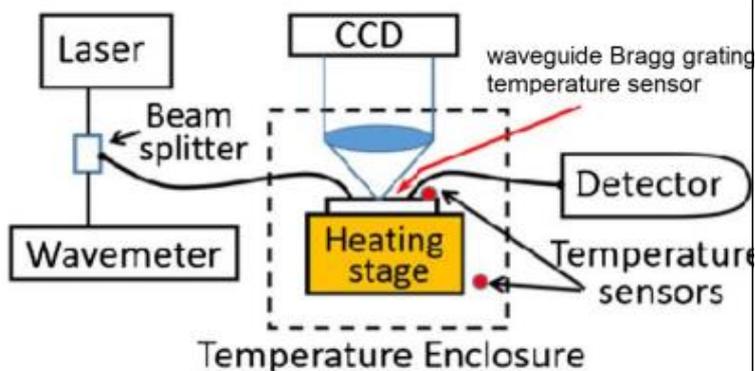


圖5. 光波導溫度感測元件之溫度變化光譜圖

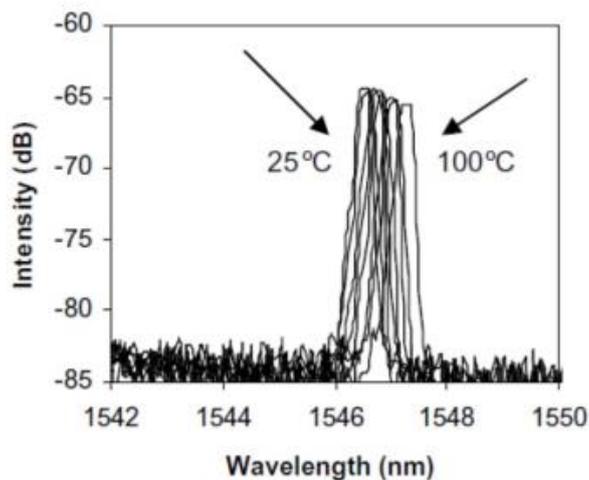


圖6. 光波導溫度感測元件之
溫度量測範圍

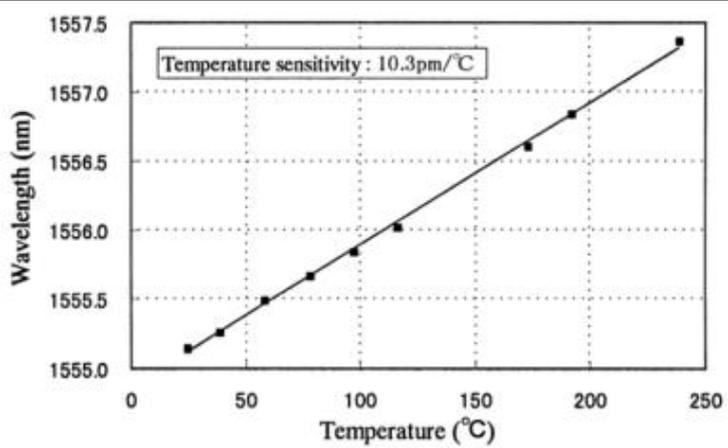
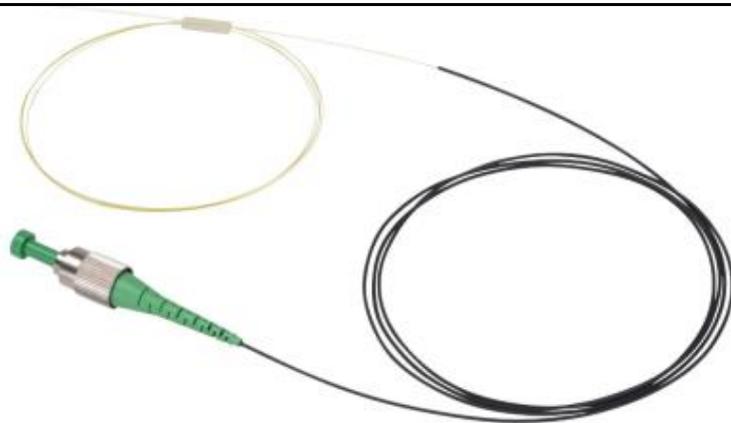


圖7. 新型光波導溫度感測元
件



2、 量化目標達成情形：(請說明計畫執行量化目標達成情形)

解決即時問題12件	研發新產品或技術服務共1項
促成研發計畫申請或通過0案	投入研發費用1800千元
促成投資額0千元	產值增加金額0千元
增加就業人數2人次	專利應用/申請共0件

說明：(請將重要績效情形加以說明，包括投資項目、訂單爭取情形或專利證號及應用情形等)

量化目標達成情形說明：

1. 解決即時問題12件

- (1)完成新型光波導溫度感測元件之零組件選用
- (2)完成新型光波導溫度感測元件之結構設計
- (3)完成新型光波導溫度感測元件之元件模擬
- (4)完成新型光波導溫度感測元件之製程:全像干涉技術實驗裝置
- (5)完成新型光波導溫度感測元件之製程:高分子基板上的光柵結構製作
- (6)完成新型光波導溫度感測元件之製程:翻模技術製作高分子光柵波導
- (7)完成新型光波導溫度感測元件之製程:光柵模仁製作及壓模製程
- (8)完成新型光波導溫度感測元件之製程:光波導溫度感測元件封裝
- (9)完成新型光波導溫度感測元件之量測系統建置
- (10)完成新型光波導溫度感測元件之元件量測
- (11)研提政府研發補助計畫
- (12)完成診斷計畫結案報告書

2. 研發新產品或技術服務一項
新型光波導溫度感測元件

4. 投入研發費用1800千元
增聘研發人員2位, 薪資1200千元
購置機構及材料費用600千元

7. 增加就業人數2人次
增聘研發人員2位

3、質化指標(核心能量建立與研發投入、升級轉型、參與研發聯盟…等)

雖然目前的電阻式溫度計靈敏度高，卻容易受環境因素，如碰撞和濕度的影響，使得感測器的電阻值隨時間漂移，因此需要昂貴且耗時的校準。為解決上述問題，光學式溫度感測器因此成為重要得研究技術。

光纖感測器雖具備體積小、重量輕、不受電磁干擾、傳輸損耗低、靈敏度高、安全性高、以及特有的多工性質可以組合成監測網路之優點；但是其製程比較複雜，穩定性較差，並且材料的老化變質對於感測器的性能影響較大。

近年來歐、美、日各先進研究機構皆積極投入光學式溫度感測器之研究發展。然而，目前各國研究機構對於表面浮雕光纖布拉格光柵溫度感測元件較少研究單位投入。因此，本計畫的研究有助於提昇我國在這個領域的研究基礎及技術。

本計畫透過微成形(micro-molding)技術及全像干涉(holographic interference)技術，快速製作具表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件。藉由這個製程，製作具備高解析度及高深寬比之表面起伏布拉格光柵結構，提高溫度感測元件之穩定性與靈敏度。

工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，其中，各類型工業級感測器被列為優先發展的關鍵元件。其中，溫度感測元件一直被視為重點發展領域，適合廣泛應用於智慧生產自動化之溫度感測。

在本計畫，我們製作表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件，以解決傳統光纖光柵溫度感測器之缺陷。

富智光電公司自民國102年起與中華科技大學李偉裕教授進行產學合作計畫，進行以微機電製程技術製作光波導式布拉格光柵元件之開發，透過學界現有研發能量，投入專利商品化研發，提升企業核心技術能量，提高公司產品附加價值。

四、計畫對廠商效益與影響性說明(請描述計畫執行期間之合作情形、協助或解決廠商問題及對廠商未來發展之建議…等，請以案例方式說明)

工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，其中，各類型工業級感測器被列為優先發展的關鍵元件。其中，溫度感測元件一直被視為重點發展領域，適合廣泛應用於智慧生產自動化之溫度感測。

雖然目前的電阻式溫度計靈敏度高，卻容易受環境因素，如碰撞和濕度的影響，使得感測器的電阻值隨時間漂移，因此需要昂貴且耗時的校準。為解決上述問題，光學式溫度感測器因此成為重要得研究技術。

光纖感測器雖具備體積小、重量輕、不受電磁干擾、傳輸損耗低、靈敏度高、安全性高、以及特有的多工性質可以組合成監測網路之優點；但是其製程比較複雜，穩定性較差，並且材料的老化變質對於感測器的性能影響較大。

在本計畫，我們製作表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件，以解決傳統光纖光柵溫度感測器之缺陷。

富智光電公司自民國102年起與中華科技大學李偉裕教授進行產學合作計畫，進行以微機電製程技術製作光波導式布拉格光柵元件之開發，透過學界現有研發能量，投入專利商品化研發，提升企業核心技術能量，提高公司產品附加價值。

計畫執行期間協助解決廠商相關問題包括：

新型光波導溫度感測元件之結構設計、元件模擬、全像干涉技術實驗系統設置、元件製作、元件封裝、元件量測系統建置、元件特性量測

五、研提政府研發補助計畫情形

申請狀態	申請/通過時間	計畫類別	計畫名稱	自籌款 (萬元)	政府補助款 (萬元)
計畫撰寫中		小型企業創新研發Phase 2計畫(SBIR)	新型光波導溫度感測元件之開發		

說明：

六、 診斷工作記要

1. 臨廠工作記要：

項次	訪廠日期	工作重點
1	105/06/20	新型光波導溫度感測元件之零組件選用
2	105/06/27	新型光波導溫度感測元件之結構設計
3	105/07/11	新型光波導溫度感測元件之元件模擬
4	105/07/18	新型光波導溫度感測元件之製程:全像干涉技術實驗裝置
5	105/08/01	新型光波導溫度感測元件之製程:高分子基板上的光柵結構製作
6	105/08/15	新型光波導溫度感測元件之製程:翻模技術製作高分子光柵波導
7	105/08/22	新型光波導溫度感測元件之製程:光柵模仁製作及壓模製程
8	105/09/05	新型光波導溫度感測元件之製程:光波導溫度感測元件封裝
9	105/09/19	新型光波導溫度感測元件之量測系統建置
10	105/09/26	新型光波導溫度感測元件之元件量測
11	105/10/03	研提政府研發補助計畫
12	105/10/17	撰寫診斷計畫結案報告書

2. 輔導重要事蹟說明：

富智光電公司自民國102年起與中華科技大學李偉裕教授進行產學合作計畫，進行以微機電製程技術製作光波導式布拉格光柵元件之開發，透過學界現有研發能量，投入專利商品化研發，提升企業核心技術能量，提高公司產品附加價值。

計畫執行期間協助解決廠商相關問題包括：

新型光波導溫度感測元件之結構設計、元件模擬、全像干涉技術實驗系統設置、元件製作、元件封裝、元件量測系統建置、元件特性量測

在本計畫，我們製作表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件，以解決傳統光纖光柵溫度感測器之缺陷。本計畫擬研製之光波導式溫度感測元件，係為通道波導(channel waveguide)之布拉格光柵結構，目前國內外研發團隊對此少有研究。

工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，其中，各類型工業級感測器被列為優先發展的關鍵元件。本計畫開發光波導式溫度感測元件一直被視為重點發展領域，適合廣泛應用於智慧生產自動化之溫度感測。

本計畫擬透過微成形(micro-molding)技術及全像干涉(holographic interference)技術，快速製作具表面起伏布拉格光柵波導溫度感測元件。藉由這個製程，製作具備高解析度及高深寬比之表面起伏布拉格光柵結構，可提高溫度感測元件之穩定性與靈敏度。這個製程適合量產光波導式溫度感測元件，不需任何物理蝕刻就能在分子通道波導上製作表面起伏光柵，並解決在核心和覆蓋層的波導材料裡，因不同的熱膨脹係數所引起的殘餘應力。本計畫即是開發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵波導溫度感測元件。

經由本計畫製作表面浮雕布拉格光柵波導溫度感測元件光譜量測圖，可溫度量測範圍0-250攝氏度，靈敏度約為10 pm/攝氏度。實驗室量測報告達到預期技術指標。上述規格達成對解決商品化問題之具有實際功效。

參、結案同意書

參、結案同意書

廠商同意書

本公司參與「學界協助中小企業科技關懷計畫」之(新型光波導溫度感測元件之開發)診斷計畫執行，經專家輔導本公司同意本結案報告及相關附件所述之內容並結案以備查。



公司及負責人印章欄位