

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：新型光纖式壓力感測元件之開發

廠商名稱：銓碁光電科技股份有限公司

專家姓名：李昆益

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：PT105120444

廠商編號：TF1040161

專家編號：TP0980607

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		李昆益		職稱	副教授
現職	學校	中華科技大學		系所	電機系
	電話	02-27851154237		傳真	0226534518
		0922615156			
	E-mail	kelvin119@gmail.com			
	地址	台北市南港區研究院路三段二四五號			
專長領域		光電工程			
廠商基本資料					
廠商名稱		銓基光電科技股份有限公司		創立日期	民國89年07月22日
統一編號		70584668		負責人	張順寶
通訊地址		台北市信義區忠孝東路5段669號5樓之2			
連絡方式	聯絡人	張順寶		職稱	董事長
	電話	02-77192352		傳真	0226534518
	E-mail	janechu2010@gmail.com			

目前全球包括美國、德國、日本及中國大陸等大國都在積極推動「工業4.0」，工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，集中控制變成分散式增強控制。工業4.0著重智慧自動化與機器人產業，未來智慧工廠之生產將會轉向人機協同合作模式。

臺灣在推動工業4.0方面，當務之急應優先發展智慧自動化與機器人產業環節中的關鍵元件——各類型工業級感測器（Sensor）與感測頭等相關先進技術。

由於具有不受電磁波干擾、光功率損耗小、重量輕、易佈放，且有一線多點量測等優點，使得光纖感測技術具有實用價值。加上光纖感測系統可用來測量各種物理量的微小變動，如聲音、溫度、壓力、磁場、振動等，尤其對於應變和溫度變化的量測。以布拉格光纖光柵（Fiber Bragg Grating, FBG）做成的感測頭，更具有高靈敏度及高動態範圍，因此成為近年各國重點發展之關鍵技術之一。2007年美國光感測器市場規模為2.35億美元，此後以30%的年複合增長速度增長，2014年已達到16億美元。

一般光纖布拉格光柵式感測器的型態大致可分成兩種類型：一種類型稱為標準型光纖布拉格光柵，其光柵的形成是在光纖的核心形成週期性的折射率變化。另一種稱為表面浮雕光纖布拉格光柵（Surface Relief Fiber Bragg Grating; SR-FBG），其主要是在光纖核心的表面製作週期性的高低起伏光柵，以達到布拉格反射條件。

由於標準型光纖布拉格光柵其光柵結構是埋入光纖的披覆層，當作為感測元件時，其外在的物理或化學變化必須穿透披覆層而進入核心層，較不易感測，其應用也受到某種程度的侷限。反觀表面浮雕光纖布拉格光柵，其光纖必須除去部分的披覆層，將光纖核心層週期結構製作在光纖核心層或靠近核心層的表面，較容易感測外在的物理及化學變化，較適合作為感測元件。

對於標準型光纖布拉格光柵壓力感測器的研製，國內外有相當多的研究機構投入。Raman團隊直接對裸光纖光柵施予不同壓力，因為光纖光柵的彈性模數較大，所以光纖光柵對於壓力反應靈敏度不佳。Zhang et al.修改Raman的研究中靈敏度不佳的問題，利用聚合物的彈性係數較小的特性，將光纖光柵封裝於聚合物中，此方式可以提高光纖光柵對於應變的靈敏度。Xu et al.發展出以球狀玻璃為外殼的壓力感測器，當玻璃球受壓時，該玻璃球內徑將隨著壓力的變化而改變，而黏貼於玻璃球直徑上的光纖光柵也會產生軸向應變。Zhang et al.發展出以聚合物為外襯加以封裝之壓力感測器，此感測器有鋁質外殼，光柵穿過鋁質圓桶的中心，並以軟性聚合物將光柵固結於鋁質圓桶中，藉外界壓力對聚合物產生擠壓變形時，聚合物會往軸向變形，進而帶動光柵的變形。唯此種方式可能造成光纖光柵產生非均勻的應變，使得感測器的量測誤差較大。

對於標準型布拉格光柵感測器的研製，國內外已有部分研究機構投入。然而，對於表面浮雕布拉格光柵感測元件，雖然具有潛力更適於感測運用，由於製程難度較高，目前較少國內外研究團隊投入。

本計畫即是研發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵光纖式壓力感測元件。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。

本計畫結合全像干涉與黃光微影製程技術製作布拉格繞射光柵母模以翻製軟模元件，進而完成光纖式壓力感測元件製作。經由光纖式壓力感測元件之特性模擬及實作光譜量測圖，可理論算出元件適用壓力量測範圍30~110 kPa，靈敏度約為0.133kPa，實驗所量測的靈敏度0.152kPa。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。

貳、計畫執行成果

一、主要工作項目

目前全球包括美國、德國、日本及中國大陸等大國都在積極推動「工業4.0」，工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，集中控制變成分散式增強控制。工業4.0著重智慧自動化與機器人產業，未來智慧工廠之生產將會轉向人機協同合作模式。

臺灣在推動工業4.0方面，當務之急應優先發展智慧自動化與機器人產業環節中的關鍵元件—各類型工業級感測器（Sensor）與感測頭等相關先進技術。

由於具有不受電磁波干擾、光功率損耗小、重量輕、易佈放，且有一線多點量測等優點，使得光纖感測技術具有實用價值。加上光纖感測系統可用來測量各種物理量的微小變動，如聲音、溫度、壓力、磁場、振動等，尤其對於應變和溫度變化的量測。以布拉格光纖光柵(Fiber Bragg Grating, FBG)做成的感測頭，更具有高靈敏度及高動態範圍，因此成為近年各國重點發展之關鍵技術之一。2007年美國光感測器市場規模為2.35億美元，此後以30%的年複合增長速度增長，2014年已達到16億美元。

一般光纖布拉格光柵式感測器的型態大致可分成兩種類型：一種類型稱為標準型光纖布拉格光柵，其光柵的形成是在光纖的核心形成週期性的折射率變化。另一種稱為表面浮雕光纖布拉格光柵(Surface Relief Fiber Bragg Grating; SR-FBG)，其主要是在光纖核心的表面製作週期性的高低起伏光柵，以達到布拉格反射條件。

由於標準型光纖布拉格光柵其光柵結構是埋入光纖的披覆層，當作為感測元件時，其外在的物理或化學變化必須穿透披覆層而進入核心層，較不易感測，其應用也受到某種程度的侷限。反觀表面浮雕光纖布拉格光柵，其光纖必須除去部分的披覆層，將光纖核心層週期結構製作在光纖核心層或靠近核心層的表面，較容易感測外在的物理及化學變化，較適合作為感測元件。

對於標準型光纖布拉格光柵壓力感測器的研製，國內外有相當多的研究機構投入。Raman團隊直接對裸光纖光柵施予不同壓力，因為光纖光柵的彈性模數較大，所以光纖光柵對於壓力反應靈敏度不佳。Zhang et al修改Raman的研究中靈敏度不佳的問題，利用聚合物的彈性係數較小的特性，將光纖光柵封裝於聚合物中，此方式可以提高光纖光柵對於應變的靈敏度。Xu et al. 發展出以球狀玻璃為外殼的壓力感測器，當玻璃球受壓時，該玻璃球內徑將隨著壓力的變化而改變，而黏貼於玻璃球直徑上的光纖光柵也會產生軸向應變。Zhang et al. 發展出以聚合物為外觀加以封裝之壓力感測器，此感測器有鋁質外殼，光柵穿過鋁質圓桶的中心，並以軟性聚合物將光柵固結於鋁質圓桶中，藉外界壓力對聚合物產生擠壓變形時，聚合物會往軸向變形，進而帶動光柵的變形。唯此種方式可能造成光纖光柵產生非均勻的應變，使得感測器的量測誤差較大。

對於標準型布拉格光柵感測器的研製，國內外已有部分研究機構投入。然而，對於表面浮雕布拉格光柵感測元件，雖然具有潛力更適於感測運用，由於製程難度較高，目前較少國內外研究團隊投入。

本計畫即是研發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵光纖式壓力感測元件。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)對於新型光纖式壓力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纖感測元件之間的整合，加強光纖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、光纖感測元件及系統量測技術之理論與實務，提供光電通訊產業所欠缺的人力資源。

(5)參與人員藉此計劃可熟悉光纖式壓力感測元件應用於機器人之觸覺壓力感測之理論與實務技術。

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)對於新型光纖式壓力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纖感測元件之間的整合，加強光纖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)參與人員藉此計畫可熟悉微機電製程技術、光纖感測元件及系統量測技術之理論與實務，提供光電通訊產業所欠缺的人力資源。
- (5)參與人員藉此計畫可熟悉光纖式壓力感測元件應用於機器人之觸覺壓力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纖式壓力感測元件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. 針對計畫相關之光纖式壓力感測元件之開發，完成零組件選用及模擬驗證軟體分析。
2. 針對計畫相關之光纖式壓力感測元件之開發，完成元件模擬，包括：適用壓力範圍30~110kPa，靈敏度0.133kPa。
3. 針對實體製作光纖式壓力感測元件，完成樣品試作一份，有實體產出驗收及照片2張呈現，實驗室量測報告預計達到預期技術指標含：適用壓力感測範圍：30~110kPa，靈敏度：0.152 kPa。
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壓力感測範圍：30~110kPa，靈敏度：0.152 kPa。
5. 參與人員藉此計畫熟悉微機電製程技術、光纖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. 參與人員藉此計畫熟悉光纖式壓力感測元件應用於機器人之觸覺壓力感測之理論與實務技術。
7. 完成將計畫具體成果申請製作技術之發明專利。

三、計畫執行成果說明

1、計畫執行成果

目前全球包括美國、德國、日本及中國大陸等大國都在積極推動「工業4.0」，工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，集中控制變成分散式增強控制。工業4.0著重智慧自動化與機器人產業，未來智慧工廠之生產將會轉向人機協同合作模式。

臺灣在推動工業4.0方面，當務之急應優先發展智慧自動化與機器人產業環節中的關鍵元件—各類型工業級感測器（Sensor）與感測頭等相關先進技術。

由於具有不受電磁波干擾、光功率損耗小、重量輕、易佈放，且有一線多點量測等優點，使得光纖感測技術具有實用價值。加上光纖感測系統可用來測量各種物理量的微小變動，如聲音、溫度、壓力、磁場、振動等，尤其對於應變和溫度變化的量測。以布拉格光纖光柵(Fiber Bragg Grating, FBG)做成的感測頭，更具有高靈敏度及高動態範圍，因此成為近年各國重點發展之關鍵技術之一。2007年美國光感測器市場規模為2.35億美元，此後以30%的年複合增長速度增長，2014年已達到16億美元。

一般光纖布拉格光柵式感測器的型態大致可分成兩種類型：一種類型稱為標準型光纖布拉格光柵，其光柵的形成是在光纖的核心形成週期性的折射率變化。另一種稱為表面浮雕光纖布拉格光柵(Surface Relief Fiber Bragg Grating; SR-FBG)，其主要是在光纖核心的表面製作週期性的高低起伏光柵，以達到布拉格反射條件。

由於標準型光纖布拉格光柵其光柵結構是埋入光纖的披覆層，當作為感測元件時，其外在的物理或化學變化必須穿透披覆層而進入核心層，較不易感測，其應用也受到某種程度的侷限。例如：對於氣體及液體的變化就無法感測。反觀表面浮雕光纖布拉格光柵，其光纖必須除去部分的披覆層，將光纖核心層週期結構製作在光纖核心層或靠近核心層的表面，較容易感測外在的物理及化學變化，較適合作為感測元件。

對於標準型布拉格光柵感測器的研製，國內外已有部分研究機構投入。然而，對於表面浮雕布拉格光柵感測元件，雖然具有潛力更適於感測運用，由於製程難度較高，目前較少國內外研究團隊投入。

本計畫即是研發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵光纖式壓力感測元件。希望透過學界現有研發能量，提升企業核心技術能量，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。

國內外有關本計畫之研究情況：

對於標準型光纖布拉格光柵壓力感測器的研製，國內外有相當多的研究機構投入。Raman團隊直接對裸光纖光柵施予不同壓力，因為光纖光柵的彈性模數較大，所以光纖光柵對於壓力反應靈敏度不佳。Zhang et al修改Raman的研究中靈敏度不佳的問題，利用聚合物的彈性係數較小的特性，將光纖光柵封裝於聚合物中，此方式可以提高光纖光柵對於應變的靈敏度。Xu et al. 發展出以球狀玻璃為外殼的壓力感測器，當玻璃球受壓時，該玻璃球內徑將隨著壓力的變化而改變，而黏貼於玻璃球直徑上的光纖光柵也會產生軸向應變。Zhang et al. 發展出以聚合物為外觀加以封裝之壓力感測器，此感測器有鋁質外殼，光柵穿過鋁質圓桶的中心，並以軟性聚合物將光柵固結於鋁質圓桶中，藉外界壓力對聚合物產生擠壓變形時，聚合物會往軸向變形，進而帶動光柵的變形。唯此種方式可能造成光纖光柵產生非均勻的應變，使得感測器的量測誤差較大。Liu et al. 利用特殊的聚合物封裝，發展出一壓力感測器，運用兩個光柵會發生不同的應變量，藉此得到壓力值。Heo et al. 發展出微型光纖光柵壓力感測器，其感測物件由一圓形板所構成，光纖光柵穿過於圓板中，當壓力由物件的上方施加時，光纖光柵會被拉伸。Zhao et al. 利用雙FBG 方式製作感測器，此感測器的感測原理為將兩條光纖光柵分別黏貼於懸臂樑上下兩相對應的位置，當懸臂樑變形時，兩個光纖光柵會分別承受拉應力與壓應力。國內各大專院校，如：台灣大學、清華大學、交通大學、成功大學等皆有研究實驗室進行相關的研究。

然而，目前各國研究機構對於表面浮雕光纖布拉格光柵壓力感測元件，由於製程難度較高，目前較少國內外研究團隊投入。因此，本計畫有助於我國在這個領域的產品開發與技術提昇。

參考文獻

1. Luis Rodriguez-Cobo; et al. (2015). "Embedded compaction pressure sensor based on Fiber Bragg Gratings". Measurement 68 257-261.
2. Pachava, VR; et al (2015). "Fiber Bragg grating-based hydraulic pressure sensor with enhanced resolution". OPTICAL ENGINEERING 54(9) 257-261.
3. Chiang, CC . ; et al (2015). "Novel Optical Fiber Pressure Sensor Using mbeded Fiber Bragg Grating in Acrylonitrile Butadiene Styrene Structure ". SENSORS AND MATERIALS 27(8) 787-792

4. Alan D.Kersey, Michael A.Davis et al. "Fiber Grating Sensors," J.Lightwave Technol., 15(8), p1442, 1997.
5. Meltz, G.; et al. (1989). "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method". Opt. Lett. 14: 823.
6. Tyson L. Lowder, Kevin H. Smith, Benjamin L. Ipson, Aaron R. Hawkins, Richard H. Selfridge, and Stephen M. Schultz, High-Temperature Sensing Using Surface Relief Fiber Bragg Gratings, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 17, No. 9, 2005.
7. K.O.Hill and Gerald Meltz, "Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview," J.Lightwave Technol., 15(8), p.1263, 1997.
8. Simpson, A. G. (2005). "Optical Fibre Sensors and Their Interrogation". Ph.D. Thesis, Aston University.
9. Simpson, A. G.; Kalli, K.; Zhou, K.; Zhang, L.; Bennion, I. (2003). "An ideal method for the fabrication of temperature compensating IA-I strain sensors". OFS16: postdeadline paper PD4.
10. Dong, L.; Archambault, J. L.; Reekie, L.; Russell, P. S. J.; Payne, D. N. (1993). "Single-Pulse Bragg Gratings Written During Fibre Drawing". Electronics Letters 29 (17): 1577-1578.
11. Archambault, J. L.; Reekie, L.; Russell, P. S. J. (1993). "100-Percent Reflectivity Bragg Reflectors Produced in Optical Fibres By Single Excimer-Laser Pulses". Electronics Letters 29 (5): 453-455.
12. Xie, W. X.; Niay, P.; Bernage, P.; Douay, M.; Bayon, J. F.; Georges, T.; Monerie, M.; Pommellec, B. (1993). "Experimental-Evidence of 2 Types of Photorefractive Effects Occurring During Photo inscriptions of Bragg Gratings Within Germanosilicate Fibres". Optics Communications 104 (1-3): 185-195.
13. Niay, P.; Bernage, P.; Legoubin, S.; Douay, M.; Xie, W. X.; Bayon, J. F.; Georges, T.; Monerie, M.; Pommellec, B. (1994). "Behaviour of Spectral Transmissions of Bragg Gratings Written in Germania-Doped Fibres - Writing and Erasing Experiments Using Pulsed or CW UV Exposure". Optics Communications 113 (1-3): 176-192.
14. Erdogan, Turan (August 1997). "Fiber Grating Spectra". Journal of Lightwave Technology 15 (8): 1277 - 1294. doi:10.1109/50.618322.
15. Gang-Chih Lin, Likarn Wang, C. C. Yang, M. C. Shih, and T. J. Chuang, "Thermal Performance of Metal-Clad Fiber Bragg Grating Sensors", IEEE Photonics Technology Letters, Vol 10, No.3, March 1998.
16. Kevin P. Chen, Ben Mcmillen, Michael Buric, Chuck Jewart, and Wei Xu, "Self-heated fiber Bragg grating sensors," Appl. Phys. Lett. 86, 143502, 2005.
17. H. Nishihara, Masamitsu Haruna and Toshiaki Suhara, Optical Integrated Circuits, McGraw-Hill Company, Inc., 2001.
18. Alan D.Kersey, Michael A.Davis et al. "Fiber Grating Sensors," J.Lightwave Technol., 15(8), p1442, 1997.
19. K.O.Hill and Gerald Meltz, "Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview," J.Lightwave Technol., 15(8), p.1263, 1997.
20. Laser and Holography, edited by P. C. Mehta and V. V. Rampal, World Scientific, Singapore, 1993.
21. T. V. Galstyan, B. Saad, M. M. Denariez-Roberge, J. Chem. Phys., 107, 22, p9319-9325, 1997.
22. Chung-Yen Chao, Cheng-Yen Chen, and Cgee-Wee Liu, "Direct writing of silicon gratings with highly coherent ultraviolet laser," Graduate Institute of Electro-Optical Engineering and Department of Electrical Engineering, National Taiwan University, Taipei 116, Taiwan.
23. Schmahl, G., and D. Rudolph, "Holographic diffraction grating," In: Progress in Optics, E. Wolf, ed., North-Holland, Amsterdam, 14, pp.195, 1976.
24. Nishihara, H., Y. Handa, T. Suhara, and J. Koyama, "Electron-beam directly written micro gratings for integrated optical circuits," Proc. SPIE, 239:134, 1980.
25. Liu, X.; De La Rue, R. M.; Krauss, T. F.; Thomas, S.; Hickd, S. E.; Atchison, J. S.; "Electron Beam Production of Phase Masks for Direct Writing of Photo-Induced Gratings," Lasers and Electro-optics Europe, 1996. CLEO/Europe., Conference on, 8-13 Sept. 1996.
26. Y. Cheng, T. Huang, C.-C. Chieng, "Thick-film lithography using laser write,"

計畫進行方法、步驟

(1) 元件結構

本計畫擬研發的新型光纖式壓力感測元件結構如圖1所示。

當寬頻光源由光源輸入端(Source Input)輸入後，受到D形光纖上表面光柵的影響，達到布拉格反射條件後，特定波長的光就會反射，反射波長滿足圖2方程式的條件。

因此，如果外界的物理或化學變化改變了等效折射率的值，就可以得到不同的反射光譜，由光譜中反射波長來判斷外界物理量的改變大小，具備感測功能。

整個計畫分成理論分析的部分、D形光纖製作的部分、光柵模仁製作及壓模製程，最後元件特性量測及應用。以下就各個部分說明：

(2) 理論分析

本計畫所採用的理論為模態耦合理論，如果光波導因為感光或是表面皺褶而造成介電常數在傳播方向形成週期性的變化，或是介電常數在 z 方向形成週期性的微擾，那模態和模態之間就會互相耦合，也就是說它們之間就會有能量的交換，而這樣週期性的結構也被廣泛的應用在光纖光柵、光學濾波器、分佈反饋式(DFB)雷射等元件上。

根據耦合模態理論分析，可以得到我們所需要的光柵週期及反射量大小，也可以決定其反射量的頻寬。

波長漂移量與應力的關係

根據文獻，可知布拉格光纖光柵反射波長的偏移量 $\Delta\lambda_B$ 與所受壓力 ε 的變化量有關，把系統放在恆溫的狀態下，可得到其關係式如圖3所示。

(3) D型光纖製程

本計畫所使用的D型光纖係使用單模光纖來加工製成，但是在利用研磨技術對單模光纖進行研磨時，必需確保整個研磨過程，只侷限在需要做出D型光纖的線段範圍內，因此我們先利用UV高分子材料在玻璃基板上製作凸型結構，再同樣利用UV高分子材料將單模光纖固定在凸型結構上，這樣便完成了光纖研磨元件，利用這擁有凸型結構的玻璃基板，我們可以把需要進行加工的光纖線段以突出的方式獨立出來。之後再將固定上光纖的光纖研磨元件以熔接的方式固定在研磨盤上，接著便拿到研磨機台上進行研磨，在研磨過程中，會將單模光纖的兩端分別接上SLD(Super Luminescent Diode)寬頻光源及光功率量測器(optical power meter)，藉由這兩台儀器，可以很清楚的觀察到單模光纖的研磨進度。最後待研磨深度達到D型光纖標準之後，再以拋光絨布及氧化鋁粉進行拋光，結束後即可完成D型光纖的製作。

光纖研磨元件的製作方式如下：

步驟一：

先使用玻璃切刻機將玻璃片裁成我們所需要的大小，為確保玻璃表面上的髒汙及裁切玻璃時造成的細微玻璃碎片不會對之後的製程造成不利因素，在裁切出所需要的尺寸後，便會拿到超音波震洗機(DELTA, Model: DC400)進行震洗，清潔玻璃表面的任何雜質；最後使用去離子水把剩餘有機溶劑去除乾淨，以氮氣槍吹去玻璃基板上殘留水珠後，送進烤箱去除玻璃基板上水氣，烤完後將玻璃基板取出並放置室溫下冷卻。

步驟二：

將清潔完畢的玻璃基板，覆蓋上事先準備的具有凹形槽的模型，之後在兩者之間的空隙內，以滴管吸取高分子材料，利用毛細現象的方式將高分子材料從側面滴入空隙內，再放置到UV燈具下進行曝光，曝光結束後再將凹形模具拿開便能夠得到具有凸型結構的玻璃基板，如圖4所示。

步驟三：

裁剪兩條單模光纖，使用光纖剝線鉗將兩條光纖的中間處剝去其披覆層，之後將兩條單模光纖中間沒有披覆層的部分，對準玻璃基板上的凸型結構處並將兩條光纖作簡單的固定，接著用同樣的手段將高分子材料注入其中並且曝光使材料硬化，這樣光纖研磨元件就算完成了。基板上的凸型結構會將單模光纖缺少披覆層的部分突出，同時也能在研磨時給予光纖足夠的保護使其可以承受研磨製程時可能造成的多餘損害。

研磨製程

利用水砂紙對單模光纖的纖殼進行研磨，將表面持續磨損破壞直到幾乎接近纖芯為止，這是以研磨技術製作D型光纖的製程原理，其步驟如下：

步驟一：

一般研磨機的懸臂無法將研磨元件固定住，所以我們將事先準備的光纖研磨元件，固定在能夠與研磨機懸臂耦合的研磨盤上。先將研磨盤加熱至足以將臘融化的高溫，再將光纖研磨元件以蠟熔接在研磨盤的研磨面上。

步驟二：

在開始研磨之前，我們會將單模光纖的兩端以熔接機接上跳線，一端接上寬頻光源，另一端接上光功率計，這兩台儀器能夠讓我們一邊進行研磨，一邊觀察單模光纖的研磨深度，以確保不會有研磨深度不足或是研磨過頭造成纖芯破損的情形，如圖5所示。

(4)光柵模仁製作及壓模製程

其次以光學全像干涉技術與黃光微影製程技術製作出布拉格繞射光柵母模，或稱為布拉格表面光柵；其所應用到的光學架構及原理說明如下：

首先探討研究中所應用的光學架構與原理：“全像干涉原理”，此利用兩束雷射光束干涉製作光柵之方法亦稱為“全像干涉微影(Holographic Interference Lithography)”，其傳統全像干涉架構如圖6所示。

光柵母模微影製程如下：

本計畫利用全像干涉技術與黃光微影製程技術製作布拉格繞射光柵母模以翻置軟模，其製作流程參考如圖7所示。

布拉格光柵模型翻印

上述布拉格光柵還需要翻印到軟模上面，才能夠和D型光纖組裝成具表面浮雕光柵，實現以微機電製程製作光纖式壓力感測元件。本計畫選擇H-PDMS(Hard-Polydimethylsiloxane)作為光柵材料，另外還會在上面追加製作一層聚二甲基矽氧烷(PDMS)，與H-PDMS結合成布拉格光柵，其製程如圖8所示。

(5)光纖式壓力感測元件製作

光纖式壓力感測器是以圓柱型中空鋼材為外殼，內部含有一光纖光柵與作為感測元件的金屬薄片組成，如圖9所示感測器的構造圖，此感測器的設計原理採用等週期式光纖光柵波長與壓力間之關係來設計。含有光纖光柵的光纖之一端固定於壓力計下方，此部分視為固定不動點，而另一端則黏著於一彈性金屬模上，當壓力計內部壓力改變時金屬模隨之變形，因此光纖光柵所感受的應變也隨之變化。在彈性金屬膜的線彈性範圍內，此設計的光纖光柵波長做等週期式之變化，因此光纖光柵波峰值與壓力有一線性關係。

光纖式壓力感測元件的製作流程如下：

(a)先以機械加工製作感測器鋼製封裝外殼，外殼封閉端中心鑽有3mm 的小孔，另一端為開口設計；在外殼側邊鑽一1/8NPT孔，用以安裝管線接頭連接加壓裝置。

(b)以光柵中心部分為基準，把光柵兩端各 25mm 的光纖外襯剝除，再將光纖穿過鋼製外殼，並置於預拉裝置上，利用此裝置把光纖光柵微微拉緊，使得光纖能夠位於外殼小孔的中心，在小孔內注膠約略4mm 左右，將整組裝置放置在烤盤上，以1300c 加熱1 小時，接著劑開始固化，自此完成感測器的固定端。

(c)接著處理作為感測元件的金屬薄片，金屬薄片已於事先在圓心位置鑽直徑1mm 的小孔，使用前先把金屬薄片用丙酮擦拭乾淨；在製作光纖式壓力感測元件的感測端部分，需要將光纖有一1nm 的預拉量，不然會因為光纖仍在做彎曲的變形，產生量測上得盲區，而黏著金屬薄片與光纖的黏著劑power3077，流動性較高所以無法採用預拉裝置的方式，因此使用直立感測元件的方式來施作，首先將完成固定端的感測元件直立於光學桌上，把金屬薄片置於圓筒的開口端上端，把光纖繞過一PCV管，利用重力的方式來拉伸光纖，待光柵讀數穩定後，開始上膠並盡量使膠的範圍在直徑為5mm 的小圓內，再以催化劑塗抹於黏貼範圍內，約1小時固化完成。

(d)將感測元件的上蓋鎖上，把光纖熔上接頭，光纖式壓力感測元件製作完成，如圖10所示。

(6)具表面浮雕高分子光柵光纖式壓力感測元件之量測系統

光纖式壓力感測元件的特性量測：

為驗證光纖式壓力感測元件在壓力與光柵波長變動量的關係，實驗配置圖如圖11所示，光纖式壓力感測元件被附著至一T型橡膠管，一T型管出口連接至電子式壓力感測器及資料擷取系統以記錄壓力改變量，T型管另一出口則連接至壓力增量系統。將可調式寬頻超高亮度雷射光源(SLD)的輸出端接上光循環器的Port1，Port2則是接上光纖式壓力感測元件，Port3則是接上光頻譜分析儀(OSA)。藉由分析符合布拉格光柵條件的反射光，可獲得一跟所施壓力有關之關係函式。實驗開始後先記錄初始讀數，之後增加壓力，待光纖光柵讀數穩定後紀錄讀數，再增加其壓力值，待壓力施加達容許變形極限後，再逐步返回壓力值。量測採用光柵的中心波長飄移，如圖12所示為量

測光柵中心波長的飄移。

元件模擬及量測結果：

圖13為光纖式壓力感測元件特性量測實驗結果與理論計算的結果比較，實線由理論計算所得，而圓形符號部分則為實際量測所得，由圖中可發現，理論所算出來的靈敏度約為0.133kPa，實驗所量測的靈敏度0.152kPa。實驗值略大於理論值，造成這種情形發生的原因可能為，黏著劑的影響，感測器所採用的黏著劑雖然強度很高，不易發生變形，但是在實際加壓情況下可能會產生一些微小的變形，使得光纖光柵的變形量大於僅考慮圓板的變形的理論值。

本計畫結合全像干涉與黃光微影製程技術製作布拉格繞射光柵母模以翻製軟模元件，進而完成光纖式壓力感測元件製作。經由光纖式壓力感測元件之特性模擬及實作光譜量測圖，可理論算出元件適用壓力量測範圍30~110 kPa，靈敏度約為0.133kPa，實驗所量測的靈敏度0.152kPa。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。

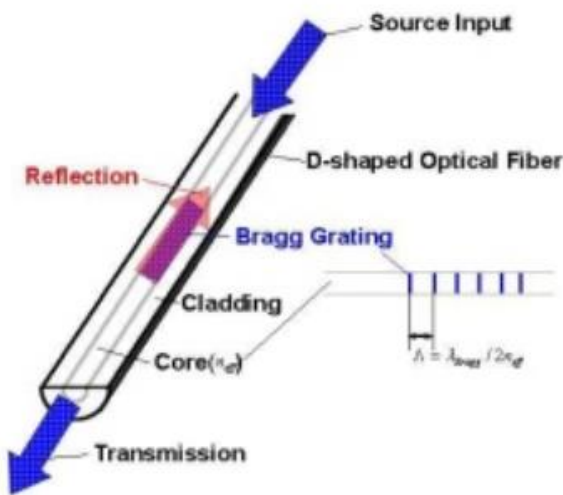
附件	
附件說明	附件
圖1. 新型光纖式壓力感測元件結構圖	
圖2. 布拉格反射波長	$\lambda_{Bragg} = 2n_{eff} \Lambda$

圖3. 光纖壓力感測元件之波長漂移量與所受壓力的關係式

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B \left(1 - \frac{n^2}{2} [p_{12} - \nu(p_{12} + p_{11})] \right) \epsilon \tag{7}$$

P_{11} 和 P_{12} 是光纖的應力光學係數， ν 是光纖的波松比(Possion's ratio)

圖4. 具有凸型結構的玻璃基板製程

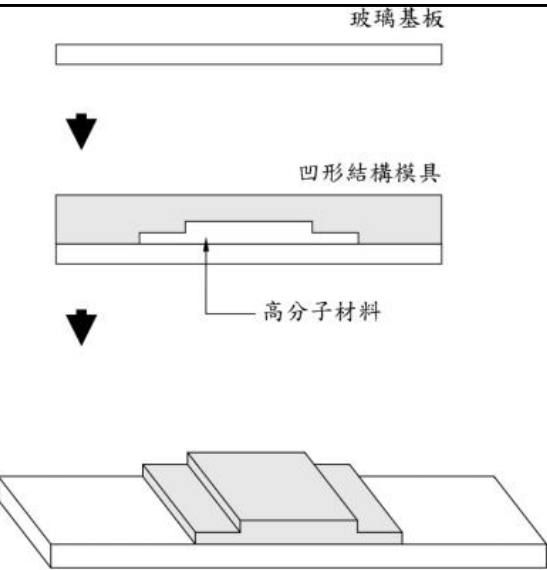


圖5. D型光纖研磨製程

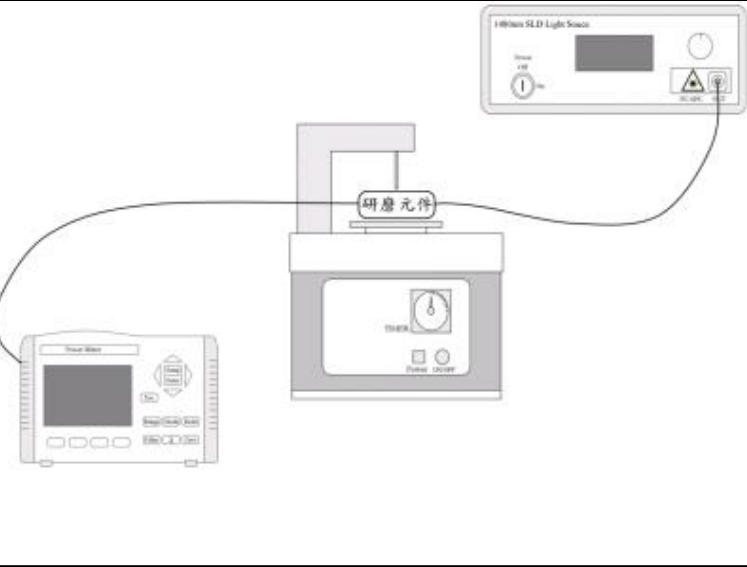


圖6. 全像術干涉微影架構圖

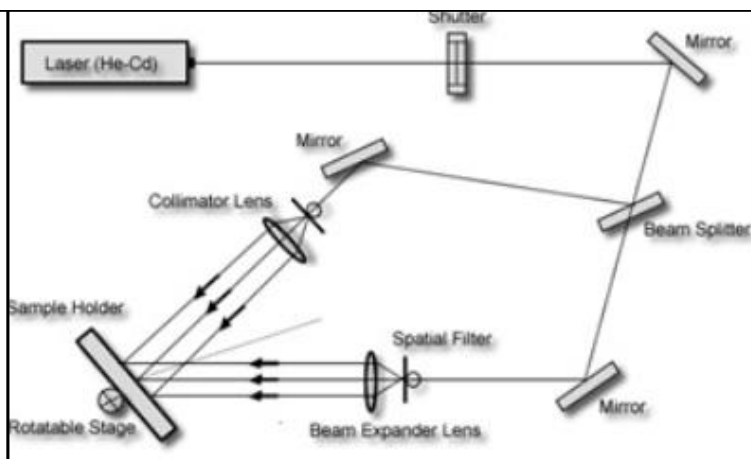


圖7. 光纖光柵母模微影製程

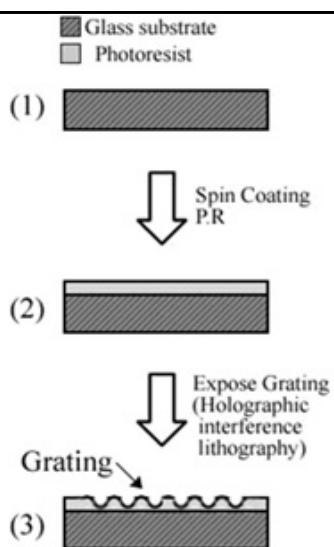


圖8. 新型光纖式壓力感測元件製程

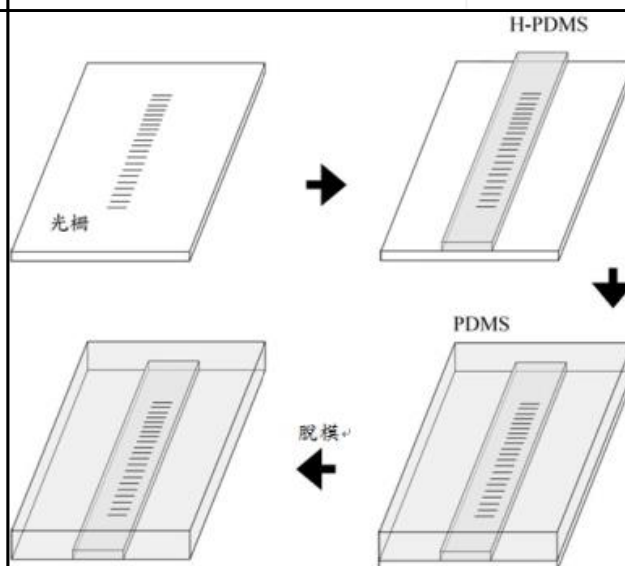


圖9. 光纖式壓力感測器構造圖

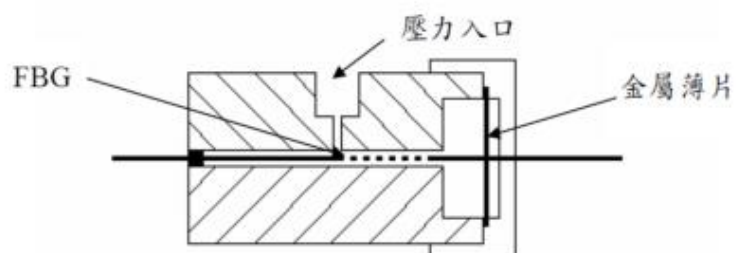


圖10. 光纖式壓力感測元件圖



圖11. 新型光纖式壓力感測元件之量測系統

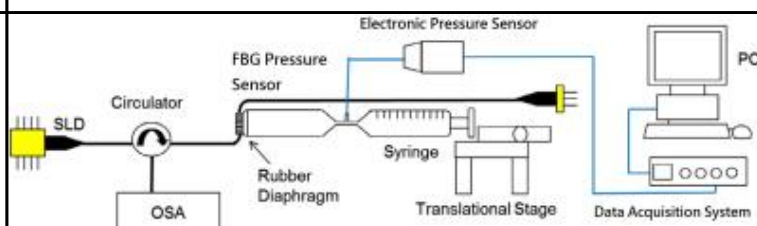


圖12. 光纖式壓力感測元件
中心波長飄移

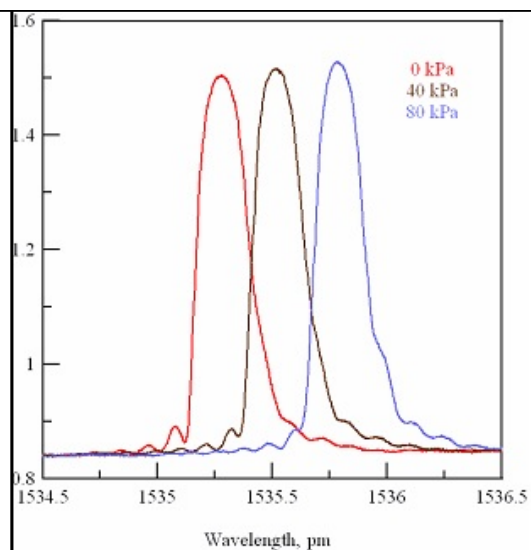
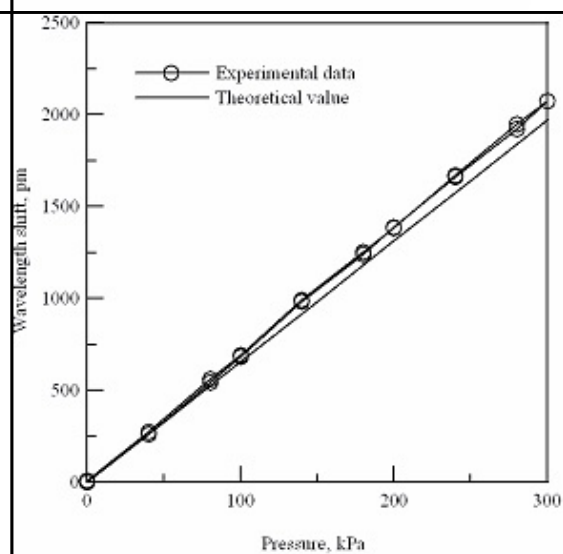


圖13. 光纖式壓力感測元件
特性量測實驗值與理論值比較圖



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1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)

1. 解決即時問題12件

- (1)完成光纖式壓力感測元件之零組件選用
- (2)完成光纖式壓力感測元件之結構設計
- (3)完成光纖式壓力感測元件之元件模擬
- (4)完成光纖式壓力感測元件之製程:光纖研磨元件的製作
- (5)完成光纖式壓力感測元件之製程:D型光纖的製作
- (6)完成光纖式壓力感測元件之製程:全像干涉技術實驗裝置
- (7)完成光纖式壓力感測元件之製程:光柵模仁製作及壓模製程
- (8)完成光纖式壓力感測元件之製程:光纖式壓力感測元件封裝
- (9)完成光纖式壓力感測元件之量測
- (10)完成光纖式壓力感測元件之專利撰寫
- (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
光纖式壓力感測元件

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

8. 專利申請1件
台灣發明專利:具表面浮雕布拉格光柵結構之高分子光波長濾波元件及其製造方法

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)

本計畫研發以微機電技術製作表面浮雕布拉格光柵光纖式壓力感測元件。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。

目前各國研究機構對於表面浮雕光纖布拉格光柵壓力感測元件，由於製程難度較高，較少國內外研究團隊投入。因此，本計畫有助於我國在這個領域的產品開發與技術提昇。

本計畫開發一套D型光纖元件研磨製程系統，我們會將單模光纖的兩端以熔接機接上跳線，一端接上寬頻光源，另一端接上光功率計，這兩台儀器能夠讓我們一邊進行研磨，一邊觀察單模光纖的研磨深度，以確保不會有研磨深度不足或是研磨過頭造成纖芯破損的情形。

本計畫設置光纖式壓力感測元件特性量測系統，驗證光纖式壓力感測元件在壓力與光柵波長變動量的關係。由元件模擬及量測結果發現，理論所算出來的靈敏度約為0.133kPa，實驗所量測的靈敏度0.152kPa。實驗值略大於理論值，造成這種情形發生的原因可能為，黏著劑的影響，感測器所採用的黏著劑雖然強度很高，不易發生變形，但是在實際加壓情況下可能會產生一些微小的變形，使得光纖光柵的變形量大於僅考慮圓板的變形的理論值。

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)

目前全球包括美國、德國、日本及中國大陸等大國都在積極推動「工業4.0」，工業4.0是以智慧製造為主導的第四次工業革命，著重智慧自動化與機器人產業，未來智慧工廠之生產將會轉向人機協同合作模式。

臺灣在推動工業4.0方面，當務之急應優先發展智慧自動化與機器人產業環節中的關鍵元件——各類型工業級感測器（Sensor）與感測頭等相關先進技術。

光纖感測器具有抗電磁干擾、輕巧、靈敏度高等優勢，將資訊傳感與信號傳輸合二為一，便於構成分散式網路，易於實現遠距離監控和多點即時監測。從美國發展經驗看，2007年美國光感測器市場規模為2.35億美元，此後以30%的年複合增長速度增長，2014年已達到16億美元。

銓基光電科技公司自民國101年起與輔導單位中華科技大學李昆益教授進行產學合作計畫。近期李昆益教授輔導公司進行以微機電技術製作光纖感測元件之開發，相關創新設計已獲得台灣發明專利審核通過，相關創新開發元件設計參加國際發明展獲得金牌。希望透過學界現有研發能量，投入專利商品化研發，提高公司產品附加價值。

本計畫開發光纖式壓力感測元件一直被視為重點發展領域，適合廣泛應用於機器人之觸覺壓力感測。本計畫結合全像干涉與黃光微影製程技術製作布拉格繞射光柵母模以翻製軟模元件，進而完成光纖式壓力感測元件製作。經由光纖式壓力感測元件之特性模擬及實作光譜量測圖，可理論算出元件適用壓力量測範圍30~110 kPa，靈敏度約為0.133kPa，實驗所量測的靈敏度0.152kPa。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。

執行本關懷計畫後，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。

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)	新型光纖式壓力感測元件之開發		

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	105/06/13	光纖式壓力感測元件之零組件選用
2	105/06/27	光纖式壓力感測元件之結構設計
3	105/07/11	光纖式壓力感測元件之元件模擬
4	105/07/18	光纖式壓力感測元件之製程:全像干涉技術實驗裝置
5	105/07/25	光纖式壓力感測元件之製程:光纖研磨元件的製作
6	105/08/08	光纖式壓力感測元件之製程:D型光纖的製作
7	105/08/22	光纖式壓力感測元件之製程:光柵模仁製作及壓模製程
8	105/09/12	光纖式壓力感測元件之製程:光纖式壓力感測元件封裝
9	105/09/19	光纖式壓力感測元件之量測
10	105/09/26	光纖式壓力感測元件之專利撰寫
11	105/10/03	研提政府研發補助計畫
12	105/10/17	診斷計畫結案報告書撰寫

2. 輔導重要事蹟說明：

銓基光電科技公司自民國101年起與輔導單位中華科技大學李昆益教授進行產學合作計畫。近期李昆益教授輔導公司進行以微機電技術製作光纖感測元件之開發，相關創新設計已獲得台灣發明專利審核通過，相關創新開發元件設計參加國際發明展獲得金牌。希望透過學界現有研發能量，投入專利商品化研發，提高公司產品附加價值。

本計畫開發光纖式壓力感測元件一直被視為重點發展領域，適合廣泛應用於機器人之觸覺壓力感測。本計畫結合全像干涉與黃光微影製程技術製作布拉格繞射光柵母模以翻製軟模元件，進而完成光纖式壓力感測元件製作。經由光纖式壓力感測元件之特性模擬及實作光譜量測圖，可理論算出元件適用壓力量測範圍30~110 kPa，靈敏度約為0.133kPa，實驗所量測的靈敏度0.152kPa。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。

執行本關懷計畫後，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。

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（新型光纖式壓力感測元件之開發）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