

第五章 結論與建議

本研究對於製作微機電系統化的模仁，以及在冷卻保壓階段模仁施予加熱功率對高深寬比的 PMMA 熱壓微結構的賦形性的影響已有初步瞭解，綜合以上研究可得出以下幾點結論：

1. 模仁特性：

- a. 模仁電熱線的阻值對溫度之效應方面，溫度越高時部份模仁會有電熱線的阻值下降之趨勢。當加熱溫度維持一定時，加熱時間的長短對阻值不會有太大的影響。持續加熱或週期性、重複性加熱後回至室溫，其阻值之變化並不大。
- b. 模仁電熱線的阻值對壓力之效應中，持續、重複性或週期性的對模仁施壓其阻值影響不大。
- c. 對具有同一阻值之電熱線在定電流模式下依功率計算： $P=IV$ ，其施加功率越大，模仁升溫速度越快，且所升溫度越高。
- d. 不同阻值之電熱線，其電阻值過小時即使施加功率高亦無法達到升溫效果，而電阻值高時其溫度持續上升無法達到穩定之溫度。

2. 熱壓成形效果

- a. 在熱壓成形的冷卻保壓階段當中比較對模仁施加加熱功率與否對於賦形性的影響顯示，未施加功率使模仁加熱時微結構易受夾持破壞，造成轉印性不佳，而有加熱時，整體而言能明顯改善熱壓成形時微結構脫模破壞之缺點。
- b. 施加功率時機係從熱壓溫度 140°C 降溫至開模溫度 70°C 時分四階段，以觀察不同的功率施加方式使模仁發熱對賦形性的影響。四個不同階段之施加功率皆能有效發熱，達到改善熱壓成形時轉印性不佳的缺點，而其中又以在接近熱壓材料之玻璃轉移溫度降至保壓結束前這段時間使模仁發熱能夠順利

脫模，且得到各處皆具有完好賦形性的結果。

- c. 施加功率大小及時間皆需控制：施加功率過大將會使材料過度軟化，以致於產生結構完全融熔。加熱時間過久，使試片未有足夠的降溫及保壓時間，亦會使結構融熔而無賦形效果。

在本實驗中，有一些待改進與檢討之處列舉如下：

1. 摻雜對矽基電熱線的阻值之影響

- a. 利用擴散法進行摻雜，其阻值可經由控制摻雜時製程的溫度與製程的時間來得到所需值。一般而言，製程溫度越高或製程時間越長，得到的阻值越低。但由於是使用擴散法，以氣體進行佈植，控制製程溫度與時間並不能保證在每片晶圓製作上各處獲得百分之百完全相同之阻值，甚至各片晶圓都或多或少的會有差異。對於模仁無法得到穩定之阻值解決之方法是可使用離子佈植法來製作導電區域，其性質會較為穩定，且阻值的要求上會更準確。
- b. 由模仁電熱線的阻值對溫度之效應看來，加功率使模仁加熱後，由於受溫度上升之影響，矽基電熱線的阻值會下降，且下降至一定值後會成定值，而其加熱之最高溫度也開始維持一穩定之溫度。若能同時監測其阻值變化，將其對電壓、電流或功率間的關係作多重線性回歸，將可以使我們更精確掌握導電區域的性質，對於控制施予功率會更為準確，例如在一開始即施加一極大功率瞬間加溫至所需溫度，然後將功率降低至用以維持此一溫度之功率。
- c. 設計電路時以連續 S 型導電線路環繞微結構，推測在通予電流後電路之轉折處累積電荷，造成此處之加熱溫度可能較高，所以在加熱時間過長時，由此處開始附近之結構都會呈現融熔狀，功率過高時甚至整片試片都會呈融熔狀。在設計製程考量時，可考慮將以離子佈植法將導電區域直接製作在微結構上，也許對於熱壓成形時的缺陷改善有更好的效果。

2. 熱壓成形之改進

- a. 以 SEM 觀察施加功率後發現其結構根部會有融熔之痕跡，至於是否會影響其他方面的應用尚待討論，若是有影響可考慮如何避免這種現象之產生。
- b. 在更高深寬比的結構成形方面可再尋找更適合、更精準之施加功率條件，未來發展則可考慮往更大面積化之熱壓面積做施加功率之試驗，對於成形脫模的影響上，可能會有更明顯的變化。

本實驗只能經由單一模仁不斷的嘗試錯誤之後，施予某一特定功率來對單一材料做微熱壓實驗。雖然結果粗糙的證明此方法可解決脫模破壞，但在其細項的設定參數皆不完善，若能改善模仁電阻均勻性及穩定性不佳的問題，不但可以得到更準確的結果，也能克服量產上所遇到的難題。對有著不同玻璃轉移溫度之材料亦可在製作模仁時經由製作不同的電熱線阻值，以及熱壓時設定不同成形參數值與加熱功率，來達到對不同材料熱壓時避免收縮夾持所造成之破壞。



參考文獻

- [1] 詹前疆,“微機電系統”, 產業調查與技術, Vol. 138, pp.87-102, 民國 90 年 7 月.
- [2] 吳清沂,鍾震桂,“微機電系統技術簡介”, 科儀新知, Vol. 18, No. 3, pp.26-40, 民國 85 年.
- [3] S. Fatikow and U. Rembold, “Microsystem Technology and Microrobotics.”, Sprigner, pp. 1-5, 1997
- [4] 黃財丁,“微機電技術之世界趨勢”, 行政院國家科學委員會科學技術資料中心, pp.1-25, 民國 89 年 3 月.
- [5] 周敏傑,“LIGA 製程技術發展現況”, 機械工業雜誌, pp. 131-147, 民國 85 年 1 月.
- [6] E. W. Becher, W. Ehrfeld, P .Hagmann, A. Maner, and D. Munchmeyer, “Fabrication of microstructures with high aspect ratios and great structural heights by synchrotron radiation lithography, galvanofforming, and plastic moulding (LIGA process)”, Microelectronic Engineering. Vol. 4, pp. 35-56, 1986.
- [7] 楊啟榮, 強玲英, 郭文凱, 林暉雄, 張哲瑋, 謝佑聖, 李育德,“微系統類 LIGA 製程與應用技術”, 電子月刊, Vol.66, pp. 114-121, 民國 90 年 1 月.
- [8] C. R. Lin, R. H. Chen, and C. Huang, “Preventing non-uniform shrinkage in open-die hot embossing of PMMA microstructures” J. of Materials Processing Technology, Vol. 140, pp. 173-178, 2003.
- [9] M. Heckeke, W. Bacher, and K. D. Muller, “Hot embossing – The molding technique for plastic microstructures”, Microsystem Technologies, Vol. 4, pp. 122-124, 1998.
- [10] O. Rotting, W. Ropke, H. Becker, and C. Gartner, “Polymer microfabrication technologies”, Microsystem Technologies, Vol. 8, pp. 32–36, 2002.
- [11] Y. Hirai, S. Yoshida, and N. Takagi, “Defect analysis in thermal

- nanoimprint lithography”, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.21, pp. 2765-2770, 2003.
- [12] M. Harmening, W. Bacher, P. Bley, A.El-kaholi, H. Kalb, B. Kowanz, W. Menz, A. Michel, and J. Mohr, “Molding of threedimensional microstructure by LIGA process”, Proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Systems, pp.202-207,1992.
- [13] C. Harris, Y. Desta, K.W. Kelly, and G. Calderon, “Inexpensive, quickly producable X-ray mask for LIGA”, Microsystem Technologies, Vol.5, pp. 189-193, 1999.
- [14] W. Bacher, K. Bade, B. Matthis, M. Saumer, and R. Schwarz, “Fabrication of LIGA mold inserts”, Microsystem Technologies, Vol.4, pp. 117-119, 1998.
- [15]H.Becker and U.Heim, “Silicon as tool material for polymer hot embossing”, Proc. MEMS’99, Orlando, pp.228-232, 1999.
- [16]H. Becker and U. Heim, “Polymer high aspect ratio structures fabricated with hot embossing,” Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems, pp. 214-217, 1999.
- [17] L. Weber, W. Ehrfeld, H. Freimuth, M. Lacher, H. Lehr, and B. Pech, “Micro molding – A powerful tool for the large scale production of precise microstructure”, SPIE. 2879, pp. 156-167, 1996.
- [18] L. Lin, C.J. Chiu, W. Bacher, and M. Hecke, “Microfabrication Using Silicon Mold Inserts and Hot Embossing”, Micro Machine and Human Science, pp.67-71, 1996.
- [19] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, “Nanoimprint lithography”, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.14, pp. 4129-4133, 1996.
- [20] S. Y. Chou and P. R. Krauss, “Imprint lithography with sub-10nm feature size and high throughput”, Microelectronic Engineering, Vol.35, pp.237-240, 1997
- [21] R. W. Jaszewaki, H. Schiff, J. Gobrecht, and P. Smith, “Hot

- embossing in polymers as a direct way to pattern resist”,
Microelectronic Engineering.41/42, pp.575-578, 1998.
- [22] H.-C. Scheera, H. Schulz, T. Hoffmann, and C. M. Sotomayor Torres, “Problems of the nanoimprinting technique for nanometer scale pattern definition”, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.16, pp. 3917-3921, 1998.
- [23] S. Y. Chou, L. Zhuang, and L. Guo, “Lithographically induced self-construction of polymer microstructures for resistless patterning”, Applied Physics Letters, Vol. 75, pp. 1004-1006, 1999.
- [24] H. Schiff, L. J. Heyderman, M. Auf der Maur, and J. Gobrecht, “Pattern formation in hot embossing of thin polymer films”, Nanotechnology, Vol.12, pp. 173-177, 2001.
- [25] N. Huber and Ch. Tsakmakis, “Finite element simulation of microstructure demolding as part of the LIGA process”, Microsystem Technologies, Vol.2, pp. 17-21, 1995.
- [26] Y. Hirai, M. Fujiwara, T. Okuno, and Y. Tanaka, “Study of the resist deformation in nanoimprint lithography”, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 19, pp. 2811-2815, 2001.
- [27] A. D. McConnell, S. Uma, Member, IEEE, and K. E. Goodson, Associate Member, IEEE, “Thermal Conductivity of Doped Polysilicon Layers”, Journal of Microelectromechanical systems, Vol.10, pp. 360-368, 2001.
- [28] C. C. Huang and K. Najafi, Fellow, IEEE, “Fabrication of Ultrathin p++ Silicon Microstructures Using Ion Implantation and Boron Etch-Stop”, Journal of Microelectromechanical systems, Vol.10, pp. 532-537, 2001.
- [29] 黃重凱, “智慧型模仁的初步開發”, 國立交通大學碩士論文, 民國 92 年.
- [30] F. Volklein and H. Baltes, Member, IEEE, “A Microstructure for

- Measurement of Thermal Conductivity of Polysilicon Thin Films”,
Journal of Microelectromechanical systems, Vol.1, pp. 193-196,
1992.
- [31] P. Eriksson, J. Y. Andersson, and G. Stemme, “Thermal
Characterization of Surface-Micromachined Silicon Nitride
Membranes for Thermal Infrared Detectors”, Journal of
Microelectromechanical systems, Vol.6, pp. 55-61, 1997.
- [32] T. Toriyama and S. Sugiyama, Member, IEEE, “Analysis of
Piezoresistance in p-Type Silicon for Mechanical Sensors”, Journal
of Microelectromechanical systems, Vol.11, pp. 598-604, 2002.
- [33] A. A. Geisberger, Member, ASME, N. Sarkar, M. Ellis, and G. D.
Skidmore, “Electrothermal Properties and Modeling of Polysilicon
Microthermal Actuators” Journal of Microelectromechanical
systems, Vol.12, pp. 513-523, 2003.
- [34] R. C. Luo and C. S. Tasi, “Thin Film PZT pressure/Temperature
Sensory Arrays for On-line Monitoring of Injection Molding”, IEEE
Industrial Electronics Society, pp. 375-380, 2001.
- [35] S. A. Campbell, S. N. Port, and D. J. Schiffrin, “Anisotropic and the
Micromachining of Silicon”, semiconductor Micromachining, pp. 2,
1998.
- [36] J. Electrochem. Soc. Vol.137, pp. 3612-3632, 1990.
- [37] H. Schiff, C. David, M. Gabriel, J. Gobrecht, L. J. Heyderman, W.
Kaiser, S. Koppel, and L. Scandella, “Nanoreplication of polymers
using hot embossing and injection molding”, MicroElectronic
engineering, Vol.53, pp. 171-174, 2000.
- [38] 林威宇, “動態熱壓控制對微結構熱壓特性的影響暨加工過程中
聚丙烯的結晶特性的初步探討”, 國立交通大學碩士論文, 民國
92 年.