



先進雷射微奈米可撓式電路板製作技術

Advanced Laser-Assisted Micro/Nanofabrication Technology for Flexible Electronics

¹ 劉誼凱 / ² 李明蒼 / ³ 黃萌祺 / ⁴ 王裕銘

¹ 國立中興大學機械所 碩士

² 國立中興大學機械系 副教授

³ 工研院機械所 先進製造核心技術組 先進封裝技術部 經理

⁴ 工研院機械所 先進製造核心技術組 印刷電子設備部 經理

摘要：雷射輔助精密製造技術的主要優點為無需光罩、非真空、低溫與對材料與加工區域的高選擇性。除了可精準且選擇性地對材料進行加工之外，對於無法承受一般製程環境與條件的基材，雷射加工可將製程對基材的熱影響大幅度降低；因此相當適合應用於可撓式基板的電路與元件製造，例如：雷射直寫(laser direct writing)技術。本文將主要介紹本團隊發展的雷射直析技術(laser direct synthesis and patterning)，除了保有雷射直寫技術的優點，同時有效降低製程設備成本與複雜度。除技術開發之外，亦深入探討雷射直析製程中的光、熱輻射能量轉換與熱質耦合傳遞現象。經由對製程微觀傳遞現象的了解，進一步提升技術層次與穩定性。

Abstract : Advantages of laser microfabrication include maskless, non-vacuum, selective and high-speed processing. Besides, for substrates which can't withstand general process environment conditions, Laser Direct Writing (LDW) can be adopted in circuit and device fabrication due to its low heat effect feature. In this paper we introduced a method called "Laser Direct Synthesis and Patterning (LDSP)". The developed Laser Direct Synthesis and Patterning technology utilizes reactive ion solution as the precursor instead of nanoparticles for the target material source. Comparing to the conventional LDW technology, this technology greatly reduces the complexity and improves the efficiency of laser assisted micro/nano manufacturing. The microscale heat, mass transfer, and chemical reactions coupled transport phenomena in the LDSP process were also investigated to improve the robustness of LDSP.

關鍵詞：雷射直析技術、雷射直寫技術、可撓式電路板

Keywords : Laser Direct Synthesis and Patterning, Laser Direct Writing, Flexible Printed Circuit Board

前言

雷射輔助工程技術在精密製造以及先進材料製備與處理上具有廣泛的應用，例如：雷射切割(laser cutting)、雷射鑽孔(laser drilling)、雷射燒結

(laser sintering)、雷射化學氣相沉積(laser chemical vapor deposition, LCVD)、脈衝雷射沉積(pulsed laser deposition, PLD)、雷射直寫(laser direct writing, LDW)、毛細力輔助雷射直寫(capillarity assisted laser



direct writing, CALDW) 雷射材料轉印(laser induced forward transfer, LIFT)等等[1]。近年來以雷射燒結為基礎的積層製造(additive manufacturing)是各先進工業國家競相發展的尖端技術；而應用奈米材料與微、奈米綠色技術製造可撓性、可穿戴式的電子產品更是目前國內外科技發展的重點趨勢[2]。對於微小尺寸與高精度的製造目標而言，使用雷射加工的重要優點在於其高選擇性(包括材料與空間的選擇性)與侷域性。除了可精準且有選擇性地對材料進行製造與加工，對於無法承受一般製程環境與條件而難以進行加工的基材，雷射加工提供一個可將製程對基材影響範圍與程度大幅度降低的製造技術[3]。例如對熱(溫度)或某個波長區段的光敏感的材料，可依其光學及其他物理性質選擇適合的加工雷射光源，利用高度聚焦的雷射以及其高頻率、短脈衝時間等特性，將加工的區域侷限在極小的範圍內，減少甚或避免基材上不需要加工的部分受到製程的熱效應。再者，奈米材料具有“melting point depression”的特性，亦即奈米材料的熔點隨幾何尺寸縮小而大幅降低。例如：Au 的熔點約為 1063 °C，而 5 nm 的 Au 奈米顆粒其熔點則降至約 150 °C [4]。此一特殊性質使得奈米材料可被運用在對熱處理耐受溫度有極大限制的可撓性(flexible)基材上加工，例如以雷射直寫技術製作圖樣化金屬線路，即是以聚焦雷射快速將塗佈於基板上的奈米金屬粒子燒結成型。雷射直寫基本上不需要一般微機電製程光蝕刻(photolithography)的光阻以及光罩等材料，可以有效降低製造成本、縮短製程及研發時間，此類技術亦可應用於捲對捲(roll-to-roll)的可撓式電子產品製程。因此，雷射輔助精密製造技術為發展前瞻綠色製造系統的一個可行且重要的方向。

然而，目前發展較為成熟的雷射輔助製造技術加工尺寸最小僅約可達到數百奈米至微米的等級，因此在某些實際應用上仍難以取代，例如：電子束微影技術(electron beam lithography)等現有的次微米—奈米製程。一般雷射輔助製造技術在加工尺寸

上的瓶頸主要來自於光的繞射極限(diffraction limit)以及雷射加工時材料中的熱傳效應。此外，欲以雷射輔助製造技術達到微米或數百奈米的製造尺寸與精度，在材料的選擇上經常侷限於使用特殊的材質，例如：使用個別實驗團隊特殊研發且成本昂貴的感光材質以光聚合作用(photopolymerization)進行製造加工。以上這些瓶頸大幅度地侷限了雷射輔助製造技術在微奈米工程上的應用範圍。超快脈衝雷射(例如：picosecond, femtosecond)與材料之間可產生特殊的交互作用與非線性光學校應，例如：多光子吸收(multi-photon absorption)即是將高密度與高能量的光子束以超快的速度射向目標材料，使目標材料中的電子受到光子連續快速的激發而能超越鬆弛時間(relaxation time)的限制，以非熱物理(non-thermal)的機制產生材料性質變化或分解。此一特殊技術使得超快脈衝雷射可以突破一般雷射加工的繞射與熱效應極限，推進最小加工尺寸。另一方面，利用近場(near field)光學技術，例如：近場掃描式光學顯微鏡(near-field scanning optical microscopes, NSOM)研究文獻已經實驗證明可以將超快脈衝雷射加工尺度提升至接近 10nm [1]。但是 NSOM 與超快脈衝雷射設備極為昂貴，同時其製程速度難以達成大面積且快速的實際工業製造需求。因此，次微米—奈米尺度的工業級雷射輔助製造技術仍待進一步的研究與發展。

然而，大部份的可撓式導電基板對於電路加工尺寸的要求為微米等級，因此目前發展較為成熟的雷射輔助製造技術已具有實際工業應用的可能性。另一方面，對於可撓式的光學電子元件而言，例如可撓式太陽能電池或觸控面板，其對於微奈米導電層或導電結構的要求除了高導電性之外，還必須具備良好的透光性。應用前述結合奈米材料的雷射直寫技術，可以同時達到製作高導電與高透光性可撓式電路基板的目標；主要方法包括以金屬奈米顆粒塗層進行雷射燒結製作超微細的金屬網格[3]，或是以雷射對金屬奈米線塗層進行微銲接[5]。與印刷電

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】414期・106年9月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw

機械工業雜誌信箱：jmi@itri.org.tw