



# 飛秒雷射之精微加工技術

Material Micro Processing  
with Femtosecond Laser Pulses

鄭中緯

工研院南分院  
積層製造與雷射應用中心  
積層創新部  
經理

## 關鍵詞(Keywords)

- 飛秒雷射      Femtosecond Laser
- 精微模具      Precision Mold
- 奈米粒子燒結      Nano Particles Sintering

## 摘要(Abstract)

飛秒雷射是指雷射脈衝寬度在飛秒(femtosecond, fs= $10^{-15}$ s)等級，材料在此超短脈衝寬度照射下，加工機制有別於長脈衝雷射(如奈秒)，具有幾個主要加工特點，如極低熱影響區、具非線性光學吸收特性，可在材料表面及透明材料內部進行微米或奈米尺度的超精密加工、單光束可直接製作奈米或微奈米混和結構。本文主要

介紹飛秒雷射在精微模具、機械元件、感測器、與奈米粒子燒結與奈米材料製作之創新應用，希望能進一步促使國內產業找到相關應用契機，以協助國內產業之雷射高值化。

The pulse width of femtosecond laser is in the domain of femtosecond (fs= $10^{-15}$  sec) and has the capabilities of ultra-fast, ultra-intense, ultra-small. This ultra short pulse processing mechanism of material is different from the long pulsed laser ( $10^{-9}$  sec). Due to the properties of low heat affected zone and the nonlinear multi-photon absorption are usable on sub-wavelength ultra-precision machining on different materials. The goal of this technique is to develop advanced process applications such as micro-drilling, micro/nanometer, three-dimensional structure, which can be applied to precision molds, mechanical devices, sensors, nanoparticles sintering,



and nanoparticles production to build high-value and innovative laser process techniques.

## 1. 介紹

飛秒雷射的雷射脈衝寬度在飛秒( $10^{-15}$  秒)等級，材料在此超短脈衝寬度照射下，可在照射區域產生超強功率密度(peak power density = energy intensity / pulse duration,  $>10^{12}$  W/cm<sup>2</sup>)，在此超強功率密度作用下，飛秒雷射對材料之作用機制有別於長脈衝雷射，具極低熱影響區(minimal heat affected zone)、非線性多光子吸收(nonlinear multi-photon absorption)特性，可在材料表面及透明材料內部進行微米或奈米尺度的超精密加工，以及單光束可直接製作奈米或微奈米混和結構，可突破傳統加工的極限，提供一般製程做不到的能力。

工研院南分院之飛秒雷射精微加工技術以開發雷射源、光路模組、深化飛秒雷射的材料作用機制、與創新應用等為技術開發主軸，以提升精微加工、透明材料內部改質、微奈米結構製作等核心技術能力，並與國外(日本東北大學、美國 UC Berkeley、Missouri University of S&T、University of Missouri)等進行技術合作，以及連結學研團隊(台大、成大、中正、中興、中山、屏科大等)，進行相關創新研發應用，以提升產業技術層級為目標。

本文將針對飛秒雷射之材料加工機制與量測研究，以及各種創新應用之實現做介紹，如功能性微奈米結構之快速製作，含抗沾黏模具、具抗摩擦特性之創新軸封、高靈敏度之電化學電極

等，以及奈米金屬粒子之飛秒雷射快速燒結與奈米材料製備。

## 2. 飛秒雷射之材料加工機制與量測

透過材料改質後特性分析與量測技術，建立飛秒雷射與材料之作用機制，為進行各種工程應用之核心基本技術。

在材料改質後特性分析部分，本文以飛秒雷射技術對非晶氧化銦錫(Indium Tin Oxide, ITO)做多晶圖案成型的可行性，並建立飛秒雷射的材料作用機制模型[1-5]。以光電產品製程為例，對於一些功能層需要做熱處理使之結晶化，以改善其工作特性，如需將 a-ITO(amorphous-ITO)轉變成 poly-ITO(polycrystalline-ITO)，以增加導電性和透光度。傳統的高溫爐熱處理技術，屬於全面性的高溫製程，容易破壞其他低溫的功能層，因此使得雷射圖案成型技術的低溫特性逐漸受到重視。一般雷射技術的解析度因光繞射極限之故僅能達  $1/2$  波長，且熱效應區域還是較大，因此在解析度上仍有待改善。飛秒雷射是屬於非線性光子吸收原理，因此光斑解析度可以小於  $1/5$  波長，且雷射脈衝寬度小於材料熱擴散時間，因此產生的熱影響區極低。圖 1 為分別透過低重複頻率(1 kHz)及高重複頻率(80 MHz)之飛秒雷射，在透明 ITO 薄膜材料之照射結晶實驗結果。可以觀察到當雷射重複頻率 1 kHz 時，由於相鄰雷射脈衝時間大於一般玻璃材料熱擴散時間(約 21  $\mu$ s)，不會產生熱累積效應，使得材料在相鄰雷射脈衝之間產生熱循環(thermal cycling effect)，導致結晶後 ITO 薄膜產生龜裂現象。但透過高重複頻率(80 MHz)的

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】359期・102年2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](http://www.automan.tw)