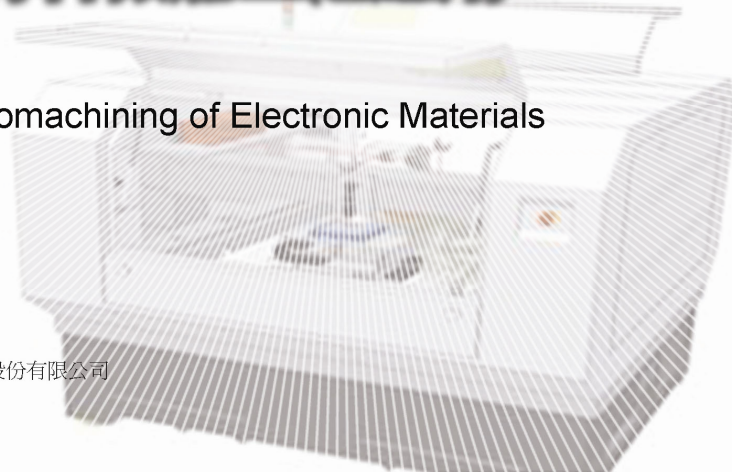


皮秒雷射與電子材料微加工之應用

Picosecond Lasers and Its Applications on the Micromachining of Electronic Materials



吳士傑

義守大學
動機系
助理教授

趙偉克

鈦昇科技股份有限公司
副總經理

周毓麒

鈦昇科技股份有限公司
經理

關鍵詞

- 皮秒雷射 picosecond laser
- 超快雷射 ultrafast laser
- 光纖雷射 fiber laser
- 固態雷射 solid state laser
- 微加工 micromachining
- 圓碟形雷射 thin disc laser
- 冷加工 cold ablation
- 鎖模雷射 mode locked laser
- 鈦藍寶石皮秒雷射 Ti:sapphire laser
- 再生放大器 regenerative amplifier
- 主振盪器光纖放大器
master oscillator fiber amplifier MOFA, MOPA

摘要

高功率皮秒雷射技術發展近幾年來有長足的進

步，價格也逐步滑落，功率的大幅增加及光學品質的提升讓工業界有了一個新的加工利器。尤其是在電子材料微加工，由於皮秒的時間長度可以相當於物質電子-光子鬆弛時間，雷射與材料之間的反應不僅是熱能的交換，而大部分是以原子交換，亦即快速的分子間鍵結崩離的方式進行，再加上簡單的可調倍頻轉換使其輕易的產生紫外光，使得“冷加工”的理想得以實現。除了熱應力效應外，加工所需的臨限能量也較以往奈秒雷射小飛秒雷射固然也有上述優點，但脈衝寬度延展及壓縮光路複雜不易產生有效功率而且昂貴，故而在現階段適合工業電子材料微加工皮秒雷射技術應是首選。本文將就皮秒雷射的設計原理、現今的發展及在電子材料微加工之應用作一簡單的介紹。

High power picosecond laser has significant improvement in the last few years with the steady down slope of price. The increase of laser power (>25W) and superior optical property provide the industry an effective tool in micromaching especially



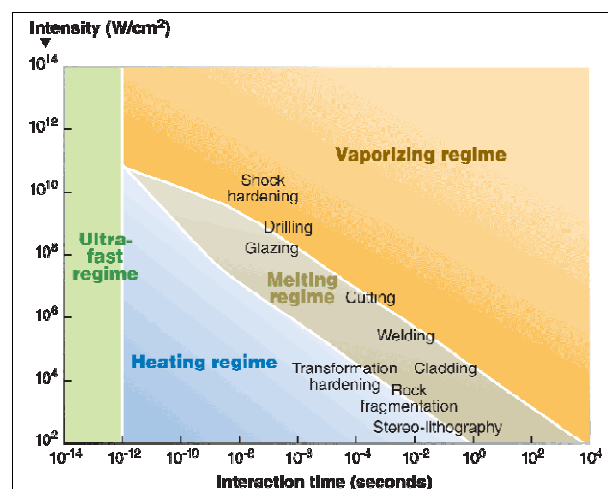
for the microelectronics. The photon-electron and lattice relaxation time of most materials including metal and dielectrics is within a few picoseconds or even down to femtoseconds. The picosecond pulse duration is comparable with the time of electron-phonon relaxation, and is short enough for “cold” ablation. An easy and effective conversion to UV opens new opportunities for adaptation to the material properties and process nature. The ablation threshold decreases as well, and lower pulse energy reduces mechanical and thermal stress on the workpiece. Furthermore, picosecond lasers have a number of advantages over the yet shorter (femtosecond) pulse ones. Without the need of pulse stretching and compression for amplification, picosecond lasers are less complicated in their design and thus more cost-effective and reliable, while their pulses are still sufficiently short for very precise and stress-less microprocessing. In this article we will make an concise introduction of the principle, different current designs, and the applications of picosecond lasers.

前言

皮秒雷射(picosecond laser)是脈衝長度介於1ps(10^{-12} second)與數拾 ps 的脈衝雷射，通常和飛秒雷射同歸於超快雷射(ultrafast laser)或超短脈衝雷射(ultrashort laser)。它可以提供上至100GHz重複頻率(repetition rate)的乾淨脈衝，波長範圍可由IR到UV，輸出功率則依設計可從數拾mW甚至到數佰瓦。以往只見於小功率的Excimer雷射或鈦藍寶石皮秒雷射(Ti:sapphire laser)，其材料處理應用只侷限於極微細的小量加工。高功率皮秒雷射技術發展近

幾年來有長足的進步，尤其是光纖雷射(fiber laser)及新型固態雷射(solid state laser)及新型功率放大器加入市場，功率大幅增加(>25W)，價格也逐步滑落。基於材料和超短脈衝光的低熱反應，使得超快雷射逐漸成為電子微加工的新利器。Strategies Unlimited (SU) 報告指出超快雷射在2007年的市場達兩億六仟萬美金，且仍持續成長，單機價格US\$ 300,000~\$50,000且持續下降。以現階段的科技而言，皮秒雷射的結構又較飛秒雷射簡單(省去了脈衝延展及壓縮)，擁有較佳價格優勢。列舉皮秒雷射可處理的電子材料有：金屬、半導體、陶瓷、多分子材料、複材、鑽石及類鑽石、藍寶石基板、光阻圖案、薄膜、太陽能電池、玻璃基板等，加工程序則包含鑽孔、切割、劃線、焊接、表面處理、微米圖案成形等，許多新的應用也正在開發。

圖一所示為在不同照度(intensity)及時間尺度下雷射對材料產生的作用，當脈衝長度大於皮秒(10^{-12} s)熱效應是不可避免的，這包括升溫(heating)、熱融(melting)及在高功率的汽化區(vaporization)也產生各種不必要副效應，也破壞了加工品質。反之當脈衝長度小於皮秒(10^{-12} s)時熱效應可最小化，加工品



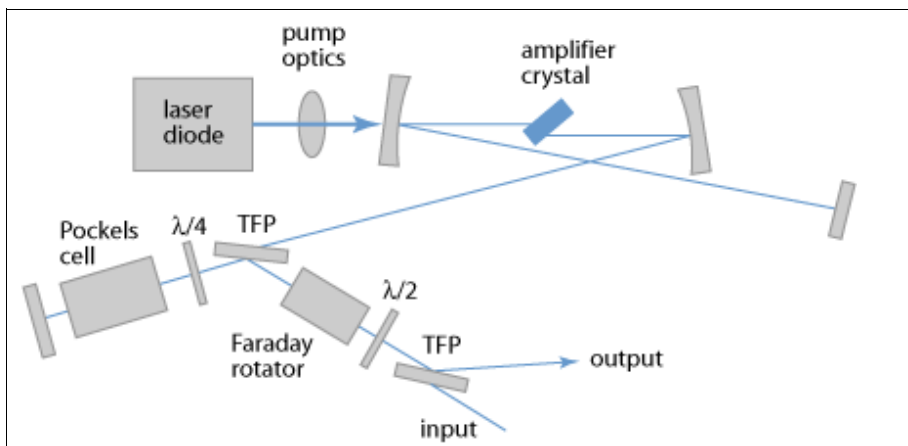
圖一 所示為在不同照度(intensity)及時間尺度下雷射對材料產生的作用[1]



質自然提升，更適合使用在高精密度的電子細微加工(micromachining)，這是超快雷射的最大優勢。但超快雷射功率須提升到工業使用的程度，所以各主要雷射生產公司都全力發展不同的技術及新的應用市場，如 LUMERA LASER(DPSS laser)、Coherent Inc. (MOPA, Talisker series)、Spectral Physics Inc. (GTWave fiber)、Rofin-Sinar 使用不同光纖雷射驅動構架，Trumf 則以其圓碟形皮秒雷射(picosecond disc laser)專利於兩年前進入皮秒雷射市場。

再生放大器(regenerative amplifier)

再生放大器常被用來放大光學脈衝的裝置，更是常被用來高倍放大超快或超短雷射脈衝圖二是常用的架構。其工作原理如下：首先增益介質(gain media, amplifier crystal 如 Ti:Sapphire 或 ytterbium-doped fiber)先驅動一段時間累積能量，輸入脈衝光經由光學開關(Pockels cell 結合 TFP 和 $\lambda/4$ 四分之一波長玻片)在極短時間開放進入共振腔，然後光波在共振腔來回共振放大許多次，等到能量足夠了，再經由光學開關輸出高倍放大後的脈衝光。



圖二
再生放大器常用架構 (TFP: thin-film polarizer, $\lambda/4$ 四分之一波長玻片和 Pockels cell 作用為光學開關, Faraday rotator 用來分隔輸出入脈衝) [2]

光子晶體光纖(photonic crystal fibers)

光子晶體光纖是將條狀物質成束狀排列，橫切面呈週期排列，置於背景物質中，再將其最中心之一條抽換為另種物質或背景物質(solid core)，則形成所謂的光子晶體光纖，其中的條狀物質及中心亦可經由特殊製程而為中空狀(hollow core)。不同於傳統的光纖以高折射係數物質作為纖芯(core)以低折射係數物質作為披覆，利用全反射角原理將電磁波限制在核中傳播，光子晶體光纖利用週期結構具有能隙的特性，在能隙頻率範圍內的電磁波無法透過週期結構而被限制在核中傳播。光子晶體光纖有許多較傳統光纖為佳的優點，光子晶體光纖可經由適當的設計而具有大纖芯/大包層(Large Mode Area, LMA)的單模操作，因此可以傳播高功率的光信號而避免非線性現象的干擾，可於此種光子晶體光纖中摻入增益介值而適合光纖雷射放大器的使用。

圖三是不同尺寸巢室(cell)分佈的啾頻光子晶體光纖(chirped photonic crystal fibers)橫截面放大照片，它們是空芯(air core)光纖，經過設計下可達到預想的光能量之模態分佈，這可由核心顏色分佈看出。圖四為光子晶體光纖啾頻效果，輸入為 13fs 長度的脈衝經由不同尺寸巢室分佈的光子晶體光纖產生展延至 26fs 及 3.5ps。



更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】323期・99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