



# 超快雷射之微觀熱傳行為

Micro-scale Heat Transfer of an Ultrafast Laser

蔡宗汶

逢甲大學  
機械與航空工程  
博士生

李永明

逢甲大學  
航太與系統工程學系  
副教授

## 關鍵詞

- 超快雷射 Ultrafast Laser
- 微觀熱傳 Microscale Heat Transfer
- 金屬薄膜 Metal Thin Film

## 摘要

近年來金屬薄膜是一種具有廣泛應用前景的材料，特別是多層金屬薄膜在目前的工程應用中更是廣受注目。而高能量超快雷射應用範圍，除了多層金屬薄膜以外，還包括雷射微加工與製造及相關物理、化學、生物與光學科技；且雷射本身具有不和物體直接接觸的特性，因此可以對奈米科技做很準確的熱處理[1]。而高能量超快雷射

可成功的應用於實際加工技術，主要基於以下三個因素[1]：雷射的脈衝寬度(Pulse Width)、強度和實驗技術的發展具備良好的特性；可靠的微觀熱傳導模式；可預防薄膜熱損壞。所以本文將針對薄膜受到超快雷射加熱後的物理機制與目前文獻上許多學者針對不同觀點所提出的數學模式做說明。

Recently, the metal thin films are materials with widely application. Especially, the multi-layered metal thin film is widely used in engineering applications. In addition to the multi-layered thin film, laser micromachining, and processing, the real application of the high power ultra-short pulse lasers have well spanned in all disciplines of physics, chemistry, biology, medicine, and optical technology. Since the femtosecond laser with non-contact nature,



therefore, it has made them an ideal candidate for precise thermal processing of nano-materials [1]. Successful applications in high-energy ultrashort-pulsed lasers relies on three factors [1]: (1) well characterized pulse width, intensity and experimental techniques; (2) reliable microscale heat transfer models; and (3) prevention of thermal damage. The physical mechanism of a thin film subjected to an ultrasfast laser is discussed. Comparisons of different models for the determination of the microscale heat transfer are also discussed in this article.

## 1 前言

已故田長霖院士曾經談到熱傳學未來的研究趨勢。他以時間和空間的例子作解釋，時間上可以探討熱傳導時間很長，或很短的熱傳現象。空間上可以探討熱傳導尺度非常大(巨觀熱傳)，或非常小的熱傳現象(微觀熱傳)。田院士發表的微觀熱傳相關文獻非常多且影響深遠，在此僅列出幾篇具代表性的論文：Qiu and Tien [2-6]，及其編撰的一本書 Tien et al.[7]。

如今隨著微機電和奈米科技的進步，微觀尺度(包括空間與時間)的熱傳導研究，愈顯其重要性。根據馮元楨院士[8]在連體力學這本書中的說法，物體尺寸大於物體本身的原子(例如：固體)或分子(例如：液體)或氣體分子之平均自由路徑兩個階次(約一百倍)以上時，屬於連體力學的範圍，否則即屬於微尺度的範圍。由於微觀的熱傳現

象，與巨觀的熱傳機制其間的差異極大[9]，傳統的能量方程式，已經不能適用。舉例來說，當金屬薄膜受到超快雷射加熱時，在其鬆弛過程(Relaxation Process)中，必須將金屬視為雙溫度(即電子與晶格溫度)系統[10]。且根據 Anisimov et al.[10]，每單位時間單位體積內，能量由電子傳遞至晶格的熱傳量可定義為

$$\Delta E = G(T_e - T_l), \quad G = \frac{\pi^2}{6} \frac{mn_e v^2}{\tau_e T_e} \quad (1)$$

其中  $T_{e,l}$  分別為電子與晶格溫度(K)， $G$  為電子-晶格耦合因子， $\tau_e$  為電子鬆弛時間(s)， $v$  為聲速(m/s)， $m$  為質量(kg)， $n_e$  為電子數量密度( $\text{m}^{-3}$ )。因此，本文將針對目前許多的學者根據不同的觀點，所提出的微觀熱傳機制作相關的介紹。

## 2 微觀熱傳導國外相關研究

在輻射加熱下，能量的沉積主要與雷射波長有關。加熱過程中會激發“金屬”內的自由/束縛(Free/Bound)電子；但在“半導體”內則會激發原子價(Valence)電子或光模聲子(Optical Phonons, [4])，其結果可能導致材料上的薄層被剝離(Ablated)。此特性不僅提供了對能量沉積的高精度操控性，且過程中不需要太高的光子通量(Fluence)即可達到材料的剝離。此外，因熱傳導僅限制在材料表面上的小區域，所以忽略雷射加熱下，材料剝離所產生的流體力學效應，因此，材料的熱損壞可達到最小。而 Chen 與 Beraun[11] 在 2001 年的文獻中提到，就超快雷射而言，因脈

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】347期・101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)