

損傷閾值教程

光學薄膜現在已經成為各個光學元器件不可或缺的部分，隨著高功率雷射光器件的發展，由於光學薄膜相對於其他光學元件一般具有比較低的雷射光損傷閾值，因而光學薄膜成為了高功率器件限制功率提高的瓶頸所在，因此提高薄膜的激光損傷閾值顯得極為重要。

損傷閾值的結果有以下表示方式：

一種方式：對於連續雷射光器，為平均功率密度=
$$\frac{\text{平均功率}(W)}{\text{被測面處光斑大小}(cm^2)} = W/cm^2$$

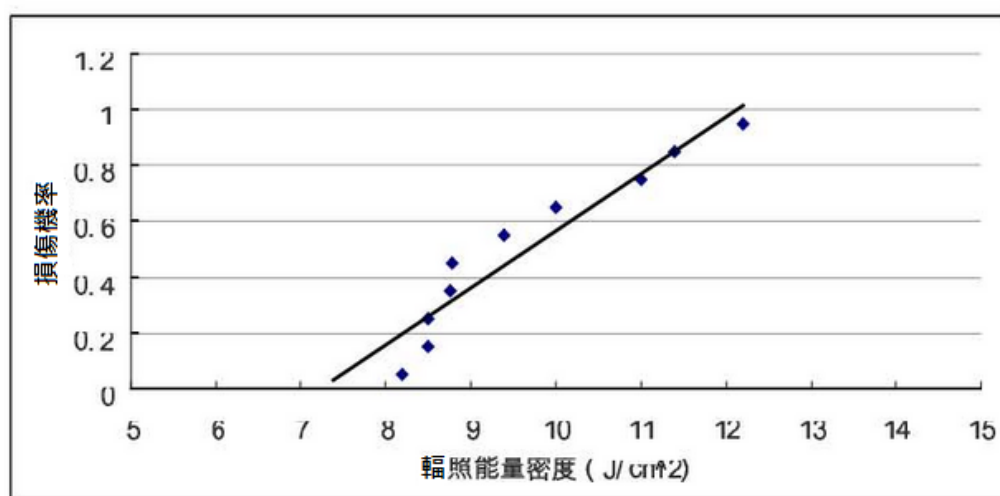
另一種方式：對於脈衝雷射光器，為能量密度=
$$\frac{\text{單脈衝能量}(J)}{\text{被測面處光斑大小}(cm^2)} = J/cm^2$$

其中：脈衝雷射光器單脈衝能量(J)=
$$\frac{\text{平均功率}(W)}{\text{重複頻率}(Hz)}$$

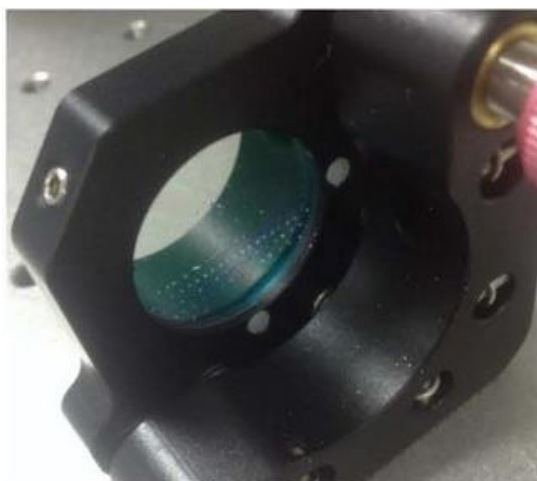
整個計算中，長度單位選擇 cm，時間單位選擇 s，功率單位 W，能量單位 J。當前主流的測量方式有 1-on-1、S-on-1、R-on-1 和光柵掃描四種方式。我們採用 1-on-1 的測量方式對我們的產品進行嚴格的測試。測試用雷射光器為脈衝雷射光器，具有三種波長：1064nm, 532nm, 355nm，分別可以對此三種波長進行單脈衝輻照測試，獲得對測試樣品零機率損傷的能量密度閾值(J/cm²)。測試雷射光器的脈衝寬度約為 8-10ns，頻率為 1-10Hz。

雷射光器發出的單脈衝通過聚焦等光學系統照射到樣品位置上，用 He-Ne 雷射光與 CCD 相機搭配可同時觀測被觀測樣品前表面、後表面以及體損傷(不透明或表面粗糙元件不能測量體損傷)的情況。同一能量條件下測試 10 個樣品點，調整輻照能量，反覆測試，統計結果，可獲得該樣品零機率損傷能量以及零機率損傷閾值。

脈寬：10ns



測試過程中的樣品以及樣品損傷形貌：



某些條件下鏡片所使用的環境與上述測試環境並非完全一致，所以不能完全表徵符合上述測試條件下的產品是否可以使用在其他條件下。但我們可以透過一系列經驗公式進行大概的評估與指導。

1.不同波長的換算

根據經驗，在不同的波長條件下測量的損傷閾值會有適當的縮放，兩者之間具有一定的線性關係，當波長減少時，損傷閾值也會相應的減少，經驗公式為：

$$\text{要求的損傷閾值} = \text{測量的損傷閾值} \times \sqrt{\frac{\text{要求的波長}}{\text{測試的波長}}}$$

例如，在 1064nm 條件下測量的損傷閾值為 1J/cm²，那麼可以推算出在 532nm 條件下的損傷閾值為 0.7J/cm²。

2.不同重複頻率的換算

根據經驗，當脈衝雷射光的重複頻率改變時，相應的損傷閾值也會發生變化，重複頻率增大時，損傷閾值也會相應的減少。大概可以認為當重複頻率提高一個數量級時，損傷閾值則會減少一半。注意這裡僅需考慮重複頻率的數量級關係。

例如，當重複頻率為 10Hz 時，測量的損傷閾值為 1J/cm²，那麼可以推算出在 10KHz 重複頻率條件下損傷閾值為 1/2³=0.125J/cm²。(重複頻率相差 3 個數量級)

3.不同脈衝寬度的換算

根據經驗，脈衝寬度越長，光學元件能承受越多的能量，其關係公式近似為：

$$\text{要求的損傷閾值} = \text{測量的損傷閾值} \times \sqrt{\frac{\text{要求的脈衝寬度}}{\text{測試的脈衝寬度}}}$$

例如，在一束脈衝寬度為 20ns 的雷射光條件下測量的損傷閾值為 1J/cm²，那麼可以推算出寬度條件下的損傷閾值為 0.7J/cm²