發明專利說明書 200529523

（本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫）

※ 申請案號：94105372

※ 申請日期：94.2.23 ※IPC 分類：H01S 5/026

一、發明名稱：（中文/英文）

雷射裝置 ／ A LASER APPARATUS

二、申請人：（共 1 人）

姓名或名稱：（中文/英文）

雷射光能量有限公司 ／ Powerlase Limited

代表人：（中文/英文）

特倫斯 安東尼 諾威爾 ／ NOWELL, TERENCE ANTHONY

住居所或營業所地址：（中文/英文）

英國 RH10 9RA 西薩西克斯郡克洛里市內皮爾路 10 號帝國大廈

Imperial House, Link 10, Napier Way, Crawley, West Sussex, RH10 9RA United Kingdom

國　籍：（中文/英文）

英國 ／ England

三、發明人：（共 7 人）

姓　名：（中文/英文）

1. 麥可 梅森 ／ MASON, MICHAEL
2. 鄧肯 帕森斯喀拉非塞利斯 ／ PARSONS-KARAVASSILIS, DUNCAN
3. 尼可拉斯 黑伊 ／ HAY, NICOLAS
4. 馬太 凱利 ／ KELLY, MATTHEW
5. 安德魯 肯利 ／ COMLEY, ANDREW
6. 柏利 坎伯蘭／ CUMBERLAND, BURLY
7. 麥可 波特／ POULTER, MICHAEL

國　籍：（中文/英文）

1.～7. 英國 ／ British

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項☐第一款或☐第二款規定之事實，

其事實發生日期為：　年　月　日。

☑ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號　順序註記】

☑ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 英國；2004.02.23.；0403955.8
2. 英國；2004.11.02.；0424271.5

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號　順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料　【格式請依：寄存機構、日期、號碼　順序註記】

國外生物材料　【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼　順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明概有關於一種個別的固態雷射增益媒體及放大器，此者特別是供以運用於一雷射，而更特別是內部地或外部地運用於雷射振盪腔。

【先前技術】

含有像是一棒桿之泵注式增益媒體的雷射放大器眾知係為以提高自一雷射所發射出的光學功率。可將放大器放置在一雷射振盪腔之輸出處(腔外)，或將該等放置在該振盪腔之內(腔內)，並且提供額外的光學功率。應用包含脈衝或連續波(CW)雷射，藉此，可將因放大作業而屬可用之增加功率輸出運用在各種雷射應用，像是薄膜式切割削除、表面潔淨應用，或是任何其中會要求高平均功率的應用項目。不過，為提供有效的放大作業，會有必要有效率地將光線自該雷射耦接至該放大器。

在已知的雷射增益媒體及放大器裡會出現各種問題，例如熱效應，這可因沉積於該棒桿內之熱度而貢獻一正性的鏡透(lensing)成分，此者會沿該棒桿圓筒而輻射性地擴散至該冷卻庫。這會提供可變的折射率並因此為一「熱透鏡」。

熱透鏡會因一從該棒桿中央至該經冷卻邊緣之熱梯度的結果而出現，導致產生一根據半徑而定之折射率變化。強熱透鏡具有一數公分至數十公分的焦距。該棒桿之熱透鏡主要是依照棒桿直徑、總吸收泵注功率及該棒桿的泵注

長度而定。

既已提出各種解決方案，例如在該雷射振盪器內的曲形反射鏡以補償該熱透鏡效應，然這些會具有各種缺點，包含受限的腔穩定度、降低的功率及擷取效率，以及經提高的功率門檻值。因此，這些解決方案並不適合於極高的輸出功率。

一種解決方案可如 US6193711 所述，這是有關於一經閃燈泵注、增益切換之 Er：YAG 雷射，可供藉由時間性地控制閃燈電流，以控制來自該雷射的低重複速率脈衝。凹形棒桿末端會被用來提供完整的熱鏡透(thermal lensing)補償，並且藉兩個平面反射鏡來構成該短腔。

根據 US6193711，不同寬度的電流脈衝會被用來輸出不同能量及/或時間長度的脈衝。此外，會利用閃燈控制來藉由保持熱負載固定以維持固定的熱鏡透效應。該排置方式只有對一特定功率水準才會令熱鏡透效應無效。從而，按此所述之排置方式的問題即為對於長腔會不易達到極高功率、穩定輸出。

不過，完整的熱補償會不適合於寬廣的輸出功率操作範圍，這是由於牽涉到平坦的腔反射鏡以及零整體的棒桿透鏡強度，而會最終地造成在穩定邊緣上的 Farby-Perot 腔。此外，閃燈老化會造成輸出穩定度變低。

在另一特點裡，該雷射媒體或雷射振盪器與該放大器媒體之間的耦接要求必須考慮到熱鏡透效應，而這會降低射束重疊，並因此減少在一雷射增益媒體中的能量擷取。

既已提出各種有效率地耦接光線的解決方案。其一範例，即如 US 2004/0028108 乙案所述，係有關於一種利用各中繼-成像光學元件以將雷射光耦接進入一放大器之方法。圖 1 說明一為將影像從一振盪器增益媒體中繼進入一目標放大器媒體所必要之先前技藝排置的法則。在此範例裡，一包含透鏡 12、14 的單元放大望遠鏡 10 會被用來將該振盪器 16 內之空間中的各點處成像至該放大器 18 內之相對應點處。該望遠鏡 10 可放大或去放大，藉以解決當相較於該雷射振盪器時在增益媒體之大小的差異。一如 US 5,237,584 乙案所述之進一步方法會利用曲形腔反射鏡以將一放大器模組成像至次一者。

不過，現有的中繼成像技術會存在許多問題。利用額外的光學元件會增加元件數量，且獲會導致構成損害光學元件的中介焦點。此外，額外的光學要求對準作業，以達到最高的耦接效率。

在另一特點裡，眾知利用像是 Q-切換技術以獲雷射的脈衝操作。一種已知方式是如「Acousto-optic Q-Switches, Page 501, Solid-State Laser Engineering, W. Koechner, Fifth Edition Springer-Verlag 1999」所述者。根據如該文所述之方式，提供利用一單一聲光(AO)調變器作為在包含一增益媒體及兩個腔反射鏡之腔內的 Q-切換器。該 Q-切換器會被用來作為一漏失調變器，可讓能量儲存在該雷射棒桿內，以當漏失為高時可累積至高水準，而當漏失為低時這可被釋放作為一短光脈衝。然而，這種排置方式在高調變

功率會受影響，其中 Q-切換會變成偏振性相關，這意思是此者不會對所有偏振性的光線皆屬有效。

在一進一步特點裡，倍頻已知為在雷射裡欲從一基本雷射頻率提供所欲之輸出頻率。例如，在 US5943351 裡，會從基本雷射波長中產生第三、第四、第五及第六階諧波。該設計利用一具增益媒體、Q-切換器、腔反射鏡及諧波產生晶體之線性組態，該等皆按沿該腔光軸所放置。特別是，該主腔係由反射鏡所週界，且在該腔內於一腔反射鏡及一另一內部反射鏡之間供置有一第二諧波產生器。該腔的輸出會由一另一外置於該腔之諧波產生器所接收，這會合併該基本及第二諧波輻射。非線性晶體會被用來將該基本雷射輻射轉換成較短波長(諧波轉換)。某特定晶體對於諧波產生的有效性之特徵在於其非線性係數，愈高者愈佳。為讓晶體有效率進行轉換，輸入雷射束的傳播向量必須謹慎地對準於該晶軸。偏離於該最佳角度會導致轉換效率降低。可藉由將一低 M^2 光束對準至具有一高度非線性係數之非線性晶體來獲得最大的諧波轉換效率。低 M^2 光束具有一良好定義的傳播向量；因此整個光束會良好地對準於該晶軸。不過產生高功率的低 M^2 光束會極為困難，因此這並不必然會是產生一高功率綠光束的最有效方式。

【發明內容】

本發明係如各項申請專利範圍所陳述。因此，即以本發明之結果，在一具體實施例裡，可提供一經 Q-切換、二極體泵注、Nd：YAG 的高功率雷射，而避免在先前技藝裡

至少一部分的問題。此外，由於增益媒體末端的外型，該光束可經過該增益媒體並達到一高擷取效率，這是因為光束體積良好地重疊於該雷射媒體內的增益體積。可針對一特定腔擷取出最大的功率。這可供簡易及有效率的增擴額外的放大器模組。各個額外的增益模組可對輸出增加約 200 瓦。此外，對各個額外放大器，光束品質 M^2 僅增加約 1.5。

【實施方式】

現將參照於各圖式，而按範例方式來說明本發明各具體實施例。

概論而言且參照於圖 2，一本發明第一具體實施例運用放置在一由兩個反射鏡(214、216)所構成之光學共振腔(200)內的摻釹 YAG (Nd：YAG)增益媒體(202)，其中一反射鏡為部分地反射性(輸出耦接器)，而另者為全反射性。該增益媒體經雷射二極體棒狀發射器(220)所光學單側泵注，亦即按一正交於該增益媒體縱軸之方向。此光學腔及該二極體棒狀發射器的排置方式可構成一延長室體，而該增益媒體為同軸地對準於該排置之中央處。此經二極體泵注之組態可讓該雷射按高平均功率而運作，為對此係經劇烈泵注。

為達到來自該雷射的高功率輸出，該增益媒體會被高功率雷射二極體棒狀發射器所泵注，而在該增益媒體內造成熱擴張效應。此等效應或會導致熱鏡透效果，這對該雷射的輸出特徵或會具有損害影響。不過，藉提供一種其中各末端會構成曲形表面的增益媒體，本發明可減輕對於熱

鏡透效應的敏感度。同時將對一特定雷射腔的功率擷取最大化。特別是，該棒桿末端上的凹形曲率可貢獻一負性鏡透成分，以修改該正性熱透鏡的強度。

該棒桿末端的精確曲率半徑係按照該泵注二極體功率、該棒桿之直徑、該棒桿之長度及所要求之效能及/或該增益模組之使用而定。熱透鏡修改轉而改善該雷射的脈衝重複速率範圍，並提供在該腔模式與該棒桿內的增益外型之間的最大量重疊，給定最高可能的擷取效率(亦即最大功率輸出)。而當必須使用一長腔藉以併入 Q-切換器及其他如後述之腔元件時，這些改善結果通常會是特別難以達到。

因此，相較於普遍的設計標準，本發明的腔係經設計以運作於該系統可支援的最大 M^2。對於強固性(藉由該棒桿末端的適當造型)以抵抗因各增益模組間之自然差異或是因泵注二極體老化所生之變化而出現的熱鏡透效應而言，這可給予該雷射一程度的穩定度。該系統的 M^2 會另由與棒桿直徑(或其他限制性孔徑)及腔長度相關之腔 Fresnel 數值，以及由該熱透鏡(最終地由泵注功率及增益媒體型態所決定)所決定。會選定該系統的 M^2 以給定該功率擷取效率性與該輸出光束之聚焦性間的最佳妥協結果。亦可設計該腔以給定例如按照輸出功率之效能穩定度。

該腔穩定度可利用於 1996 年 10 月 Applied Optics 第 10 期第 5 冊由 Kogelnik 及 Li 所著「Laser Beams and Resonators」當中之方法所量化。一具有平坦反射鏡之腔

內的各穩定度參數，如下等式 Eq1 及 Eq2 所給定：

其中：

G1、G2 為對於各腔的穩定度參數。

f1 及 f2 為各雷射棒桿末端之等效焦距。

L1 及 L2 及 L3 為該第一反射鏡與該第一棒桿末端之間的長度、該棒桿長度、以及該第二棒桿末端及該第二反射鏡間的長度。

$$G_1 = 1 - L_2\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right) + L_3\left(\frac{L_2}{f_1 f_2} - \frac{1}{f_1}\right) \quad \text{(Eq1)}$$

$$G_2 = 1 - L_1\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right) + L_3\left(\frac{L_1}{f_1 f_2} - \frac{1}{f_2}\right) \quad \text{(Eq2)}$$

圖 3 顯示對一包含兩個增益模組平坦腔反射鏡之腔的腔穩定度圖式。陰影範圍顯示其中該腔被視為是穩定的區域。一穩定腔係一會維持不將該腔遺留為連續回繞行程的模式。圖 3 內的對角線 A 顯示在這兩個增益模組內之透鏡強度從零屈光度(Dioptres)提高時，該腔穩定度的路徑。這對於設計腔而使得該腔之選定輸入功率會位於該穩定度圖式之穩定範圍中間是重要的。這可確保像是功率及脈衝持續時間的雷射輸出參數維持穩定。也很重要的是，確定腔不會隨著泵注功率增加而進入不穩定操作範圍(如圖 3 的白色區域所表示)。這會導致不穩定的雷射效能。可在圖 3 中觀察到，對角線隨著泵注功率增加而簡略地進入白色範圍。這在一具有兩個增益模組及其他元件(像是 Q-切換器)之腔裡是不可避免的。這項不穩定度的寬度是由該腔之不

對稱性所決定。這可因在各增益模組與腔反射鏡間之光學路徑長度的微小不對稱性，以及於各熱透鏡強度之間或是各增益模組間之棒桿末端的曲率半徑之差值所造成。重要的是確定設計點為儘可能地遠離此不穩定性，而同時維持在一穩定操作範圍內。

圖 4 顯示雷射腔輸出功率與整體棒桿透鏡強度(熱透鏡及棒桿末端曲率之組合)之間的關係。該曲線中央的凹降對應於在該穩定圖式之中央處的不穩定性(如前所述)。實際上，各棒桿之像差的效應可橋接兩個 M^2 曲線穩定範圍之間的溝隔。除非該溝隔極大(大於約 1 屈光度)，否則雷射棒桿並不會停止發出雷射(即如該陡降凹處所意指)。在曲線 X 極右端處的平滑化區段(最上方曲線)顯示該功率曲線是如何就在腔變成不穩定且該功率落降為零前受各棒桿之像差所修改。該腔係經設計以按該 M^2 尖峰而運作，即如圖 5 所示。這是為確保該腔能夠運作於一穩定範圍中央處(約 2.5 屈光度)，並為給定該雷射抵抗對於棒桿內之熱鏡透效應變化以及對於各增益模組間之自然差異的強固性。即如前述，在當泵注二極體老化，並且當該腔內之功率水準改變時，就會出現熱鏡透效應的變化。可因在用以建構各模組之各元件裡的微小容忍度差異，像是棒桿摻雜濃度或棒桿末端曲率半徑，而出現各增益模組間的差值。按此方式，可觀察到如棒桿透鏡強度確因任何理由而改變，則該雷射的輸出參數，包含 M^2，會根據本發明而得維持強固。當藉由泵注功率(並且最終地棒桿透鏡長度)來決定出該系

統的 M^2 後，該腔可運作於該曲線之一陡峭部分(例如在圖 5 中按 1 屈光度)，且泵注水準中的微小變化可導致像是 M^2 及輸出功率之輸出參數的大幅改變。當腔運作於一穩定範圍內時，即如所述，如圖 5 所示之穩定曲線的梯度會大致為零，亦即該曲線主要會是平坦及不變。可藉由更改腔 Fresnel 數來改變該腔的 M^2。這可藉由將一孔徑引入該腔內所達成(概略地接近於一增益模組)，而不致影響到該雷射的穩定度。

此外，即如熟諳本項技藝之人士應即瞭解，可藉由更改增益媒體末端曲率及/或該腔的幾何性，例如其長度及/或寬度，或者是該增益媒體維度，例如直徑及/或長度，從而改變 M^2，來改變該 Fresnel 數。此外，可藉由改變該增益媒體吸收度，例如藉由對該增益媒體摻質；藉改變在該增益媒體內之折射率或其分布，例如透過或跨於該棒桿之溫度梯度的變異性，來改變 M^2。

特別是，不以否定熱鏡透效應之方式，這僅能在極為特定之操作條件下能夠提供可接受的操作，而在這些條件之外則會提供不穩定的操作，本發明反而運用熱鏡透效應。這可藉設計該腔，使得能夠在較佳操作條件之區域內獲得一所欲的熱透鏡強度而達到。特別是，該增益媒體係經造型，藉以併同於該腔內的其他光學元件，能夠操作俾提供一中央對準於所欲之操作泵注功率上的適當光束品質 M^2。這可參照於圖 6 而進一步了解，此圖顯示，對一給定腔設計，M^2 的變異相對於泵注功率。即如可觀察到，M^2

依於泵注功率而約似於拋物線般改變，且尖峰位於一特定之中央值。泵注功率(並因此熱透鏡強度)約於該中央值的變化僅導致些微的 M^2 值改變，且因此僅微小的光束品質變化。從而，該增益媒體之外型做成(連同於熱鏡透效應)使 M^2 為按所欲之雷射操作功率為中心。按此方式，對一運作於一特定泵注功率之特定腔會出現最大的功率擷取結果。該腔應光學地對稱，使得於泵注功率與輸出功率間之關係會約為線性。同時，該腔應為足夠長，以能夠併入 Q-切換器及其他所要求的腔元件。

此外，構成該光學腔之反射鏡，即如前述，可為平面性，如此構成一 Fabry-Perot (F-P)型態的腔。經同軸架置於一 F-P 腔內之各曲形增益媒體末端的組合可進一步提高對於熱鏡透效應以及在這些效應內之變化的不敏感度，而獲致經進一步改善的輸出特徵。在位於千赫茲領域內之高功率共振Q切換腔的較佳具體實施例裡，這是特別地有利，因為在脈衝重複速率內的變化會造成熱鏡透條件的改變，而該腔對此具強固性。

又進一步，亦可按外部方式將曲形增益媒體末端運用在一雷射放大器裡的雷射振盪器。可透過中繼成像處理來達到該振盪器與放大器之間的最佳耦接結果。對此，一典型方式可如「Relay imaging of apertured beams，第 739 頁，Lasers, A. Siegman, University Science Books 1986」乙文所述，其中可藉由在兩者之間利用一望遠鏡，而獲得一振盪器內之孔徑光束傳送至放大器的最佳耦接。此方法可供

傳往一放大器之輸入光束經最佳模式相配於該增益外型。不過，根據本發明，放大器之熱透鏡配合於該發出雷射增益媒體可確保個別媒體間之模式相配結果，而獲得各增益外型的重疊。一待予放大之種源光束會因在該放大器增益模組裡引入之熱透鏡而受到正性鏡透影響。熱透鏡修改結果可降低熱鏡透效應，並因此將增益重疊最佳化。進一步於此，當增益模組放大器併同於一利用相同增益模組之雷射振盪器而運用時，可達到中繼成像結果而無需使用一中介望遠鏡。此系統之一進一步優點是該種源光束的空間外型可相配於該放大器的增益外型(模式相配)。可增加額外的增益模組，該等鏡像對稱於振盪腔裡的增益模組之組態。

此外，最好是將兩個正交之聲光(AO)調變器引入於在該雷射媒體與構成該腔之兩個反射鏡其一者間的振盪腔內，以提供一 Q-切換器。一般說來，一 Q-切換器會被用來作為一漏失調變器，以當漏失為高時於腔內累積能量達一高水準，而當漏失為低時可將該者釋放以作為一短光線脈衝。AO 調變器含有一透明光學材料，這此者會在當透過一壓電換能器而施加一強力射頻(RF)信號時，就變成一繞射光柵。該繞射光柵將光線拒除於腔外，因此提供漏失。一特定偏振性會體驗到之調變深度係依照(除他者外)所供應之 RF 功率而定。對於多數的 RF 功率，當在壓縮模式下使用該胞格時，其一偏振性會比起他者體驗到更多調變。為此原因，單一 AO Q-切換器通常會用於具單一偏振性的

腔。通常能夠施加一特定的(低)RF功率，其對於兩個正交偏振性之調變處理為相同。可對在此操作範圍內之低功率、未偏振化的雷射利用單一胞格。不過，在極高雷射功率(例如數百瓦)，並因此極高增益之下，會要求大幅的調變深度，以供 Q-切換該腔。為此原因，會將施加於該 AO 調變器的功率調到非常高(達 100 瓦)，以將漏失調變最大化。這會造成調變成為與偏振性高度地相關，並且因此會根據本發明來運用兩個正交胞格以達所要求的調變。胞格應根據該 Bragg 或近似 Bragg 範圍而予對準以將效能最佳化。

利用正交於該雷射腔之光軸的交跨 AO 胞格可進一步提供一非偏振敏感度的延遲，這可支援無偏振性、多重模式操作，即使是個別胞格因高 RF 功率操作的結果而變成偏振敏感亦然。

此外，可以藉由將該最靠近構成一 Q-切換器之 AO 調變器的外部表面鍍以一高反射性(HR)材料，來取代如前述之反射性平面反射鏡。如此，一平面的部分反射之反射鏡(輸出耦接器)以及最遠離於該增益模組之該 AO 調變器後端 HR 鍍面可構成該 F-P 腔，從而抵銷對於腔反射鏡之需求。這亦可提供更快的切換速度，因切換時間係依照該調變器內之光束大小而定。該光束大小在該腔反射鏡處為最小，因此可在該腔之極端處達到最快速的切換速度。

在此所述之雷射通常是用於產生短脈衝突波。由於過度累積的增益，該突波裡的第一脈衝可為不同於(一般會是

較強於)其餘者。為補償此點，可提供一種脈衝控制方法，這可藉由在各脈衝突波間改變該泵注雷射二極體功率來控制增益。如各脈衝突波間的時間為長(數百毫秒)，熱透鏡強度會因缺少腔內功率而增加。為對此加以控制，可略微地減少二極體功率，以將透鏡強度改變成若該雷射仍發射雷射則應為之相同水準。為補償就在該第一脈衝前的過度增益累積，會將該二極體功率略採低於該腔雷射發射門檻值，以耗除來自該增益模組的增益。然後，該第一脈衝會體驗到如其餘脈衝序串的相同增益。此方法(適用於任何經Q-切換、二極體泵注之雷射)，併同於其他 AO 脈衝控制方法(例如 US4675872 乙文中所述之「第一脈衝壓抑」)，可完整地控制由該雷射所發射之脈衝而用於任何工作週期或重複速率。

此外，該光學腔可包含一用於第二諧波產生作業的倍頻元件或任何適當的諧波產生器。該倍頻元件係由一非共振子腔及一倍頻晶體所構成。該非共振子腔可取代該 F-P 光學腔的部分反射性平面反射鏡(輸出耦接器)，並且包含一放置於該增益媒體與該倍頻晶體之間的額外雙色性平面反射鏡(共線反射鏡)。腔反射鏡可藉由適當鍍層而對該腔的基本頻率具有高度反射性。此外，額外的共線反射鏡可反射倍頻，但是令基本頻率之光線通過，同時構成該非共振內腔另一末端之腔反射鏡會令該倍頻通過。該倍頻晶體可為放置於該子腔內之任何適當材料，像是 LBO。此一排置方式的優點在於可對於高功率的多重模式操作支援第二

諧波產生作業(以及基本 TEM_{00} 模式操作)，並且該輸出會都在相同頻率之相同方向上，同時可直接地運用在例如一工件上。

現參照於圖 2，可更為詳細觀察到一含有一具熱透鏡修改之雷射棒桿(202)的雷射腔(200)。為簡便起見，並未繪出其他像是額外光學元件的元件。該雷射棒桿(202)會最好是由 Nd：YAG 所構成，且按任何適當方式架置於該腔(200)內。在該較佳具體實施例裡，該雷射係一高功率雷射(150到 500 瓦)，具極高的泵注功率(達 1500 瓦)，使得該雷射棒桿裡的熱效應變成顯著，且特別是出現「熱鏡透效應」。熱鏡透效應會因各種物理機制而出現(例如該增益媒體的量子缺陷)，但是所有都會造成產生一跨於該雷射棒桿(202)之截面的熱梯度，提供一可變折射率並因而產生鏡透效應。即如自圖 2 可觀察到，該雷射棒桿的末端(204、206)相對於該雷射軸(208)會凹型地彎曲，藉以修改該熱鏡透效應的強度。可引入適當的光學元件，像是雙增益模組腔內的石英旋轉器或是單增益模組腔內的 Faraday 旋轉器，以補償任何因該末端曲率而增加的雙聚焦效應。

該雷射腔(200)進一步包含反射鏡末端(214、216)，而如眾知提供一共振腔以供發出雷射。在本較佳具體實施例裡，反射鏡為平坦，提供一 Fabry-Perot 腔。因此，該腔(200)可藉由該等平坦腔反射鏡(214、216)以及該等經塑形之雷射棒桿末端(204、206)，在一熱透鏡強度之範圍上支援多重模式的腔模式。此外，可在該腔內包含一孔洞，此者係

放置近於該增益模組以改變該腔的 Fresnel 數，藉此改變該腔的 M^2。

可按任何適當方式並以任何適當材料來構成該孔洞。不過最好是由一陶瓷材料所構成，使得該者可承受在該腔內的高雷射功率。該孔洞亦可為可變性，以供連續性地改變該腔的 M^2。

雷射元件之材料及製造以及該雷射本身對於熟諳本項技藝之讀者屬眾知，而在此不予詳述。例如，該泵注陣列可為任何具適當發射波長之高功率雷射二極體，以泵注該增益媒體，該雷射棒桿可為任何適當材料所製，例如摻釹 YAG 單一晶體或陶瓷或任何其他適當的雷射媒體，並且該雷射腔可由任何像是可自 CVI Laser 公司購得之適當高功率雷射反射鏡所定義。

參照圖 2 所述之排置的結果，即可獲得具有高泵注功率及修改熱鏡透效應之高功率、無偏振性、多重模式雷射輸出。特別是，且如後文所詳述，可獲得具有最高功率效率的無偏振性、奈秒脈衝輸出。

在第二具體實施例裡，本發明使用一具曲形末端之放大器棒桿媒體以作為鏡透元件，來收集雷射增益媒體及/或如本發明第一具體實施例所述之振盪器的發射。該等熱透鏡及曲形棒桿末端之組合可產生一合併的鏡透效應，這可讓光線直接地自一雷射所耦接，而無需額外的光學元件。此外，泵注功率的變化可供控制構成於該放大器棒桿內的熱透鏡。

圖 8 顯示一包含根據本發明之固態摻釹 YAG (Nd:YAG) 增益媒體(800)的放大器模組。該增益媒體會在一正交於該增益媒體縱軸之泵注方向上被雷射二極體棒發射器(806)所光學側邊泵注。該泵注源及增益媒體會被冷卻，以移除過多熱度。常見為水冷方式，然任何業界眾知的適當方法皆可採用。在該增益模組內的雷射棒桿 800 具有凹形末端(802、804)。這增加一可修改該雷射棒桿中所引入之正性熱透鏡的負性鏡透成分。一強的熱透鏡會因產生高輸出功率所需之高泵注功率而出現。按一如前所述或如後進一步詳述之類似方式，該熱透鏡及棒桿末端曲率的整體效應可提供一弱的正性透鏡，確保該雷射腔能夠按穩定組態方式而運作。

即如圖 9 所示，會在一雷射振盪器(900)之後增加一放大增益模組(912)，這最好是如本文所述之雷射增益模組的一鏡像。特別是，該放大增益模組 912 接收一來自該系統的雷射振盪器(900)部分之輸入雷射光束，而該系統包含 Fabry-Perot 式腔(由兩個平坦反射鏡(902、904)所構成，而在該等之間置有一增益模組(906)及兩個聲光(AO) Q-切換器(908、910))。Fabry-Perot 腔由高度反射鏡(902)和輸出耦合反射鏡(904)所構成。該增益模組 906 對該腔提供增益，且由一對正交之聲光調變器(AOM)提供漏失調變。當該 AOM 為完全開啟時(施以高功率 RF 信號)，該等會從該腔折射光線而提供漏失。這可讓該腔內的能量累積達一高水準。當該 AOM 被關閉時，該腔會被允許發出雷射，並

會釋放所儲存能量作為一短脈衝光線。每秒鐘會重複這項過程數千次，產生具高尖峰功率、高平均功率之脈衝。這項組態能夠按3到100千赫茲之間的重複速率遞送超過400瓦之輸出功率，且具30到300奈秒間之脈衝持續時間。該系統之光束品質(M^2)會約為22。

該雷射振盪器所發出的光線自然地耦接入該放大增益模組內，因為光子實際上是看不見該輸出耦接反射鏡；該等會穿過該額外的增益模組，彷彿此為另一腔內模組，即如後文所詳述且如圖10所示，該圖中繪示有多個重複腔1000、1002。在振盪器裡利用兩個增益模組的情形下，該增益重疊不會如當利用單一增益模組時一般最佳化。不過當考慮一精簡的腔設計時，亦即各增益模組之間的短距離，這會是最佳者。

現請參照圖7，此圖繪示一含增益棒桿(702)之增益模組(700)。即如前述，這種放大器模組可為耦接於一雷射振盪器之輸出處以作為一放大器。在此情況下，確保該增益棒桿的熱透鏡強度符合該雷射棒桿者可確保一模式相符組態，以將增益重疊並因此效率性及輸出功率最佳化。為防止從該增益模組(700)至該雷射振盪器(200)的向後反射，該等棒桿末端可相對於該棒桿縱軸而予以楔形化或離心化，使得該雷射光束的向後反射會被導離於該振盪腔(200)。

即如前述，該放大器媒體的末端(802、804)是製作成凹形以提供一鏡透成分(在多數情況下此外型會是一按數十公分等級的凹曲率半徑)。在所示具體實施例裡，雷射及放

大器模組具有相同的維度，並對於一給定泵注功率提供相同的等效透鏡強度。在所要求之泵注功率，該正性熱鏡透效應及負性棒桿末端透鏡之組合可產生整體、弱正性透鏡，這足以將最高量的光線耦接進入該放大器內，而不會過度或低度填充該棒桿。理想上，該放大器係該雷射增益媒體的鏡像，除了當該棒桿裡出現的雷射光線修改該熱透鏡之強度而要求一不同的泵注功率以相符於該振盪器及該放大增益模組內的熱透鏡時以外。

然而，在該雷射腔係按如前文所組態設定的情形下，可等同地設計該放大器模組，可觀察到該放大器模組可經量身訂做以與任何輸入雷射光束合作。在本例裡，各棒桿末端的曲率係經設計以提供最佳耦接，且可從如後討論了解一種利用數個輸入參數以預測輸出之典型雷射放大器的簡單模型。底下的等式 3 定義這種模型，其按照能量流量(定義為脈衝能量除以光束面積，按每平方公分的焦耳數)：

$$\Gamma_{out} = \Gamma_s \ln\left\{1 + G_0\left[\exp\left(\frac{\Gamma_{in}}{\Gamma_s}\right) - 1\right]\right\} \quad \text{等式 3}$$

其中 Γ_{out} 為放大器的輸出光束能量流量，Γ_s 為該增益模組的飽和能量流量，Γ_{in} 為輸入光束能量流量，而 G_0 為微小信號增益。該微小信號增益根據下式而定：

$$G_0 \sim P_P \eta_T \eta_E \quad \text{等式 4}$$

其中 P_P 為總輸入泵注功率；η_T 為從泵注功率至該棒桿內所存能量的傳送效率；而 η_E 為擷取效率。

該微小信號增益可對一給定輸入功率、光束大小及重複速率決定出該放大器的輸出功率。重複速率愈高，每個脈衝的可用增益就會愈低，雖然總輸出功率愈高。該傳送效率(η_T)係該增益模組之量子缺陷以及環繞於該棒桿之泵注室體設計的結果。該傳送效率(η_E)則是由該輸入光束如何良好地重疊於該雷射棒桿內之增益體積所決定。擷取效率也會受到稱為 M^2 的輸入光束品質所影響。

為說明 M^2 對於放大器擷取效率的影響，圖 11 繪出一雷射棒桿裡一具均勻分布之增益體積。該增益外型圖示為實曲線，而虛線按一離該棒桿中央之距離(r)的函數來表示該光束外型。左端的曲線表示一具低 M^2 之光束是如何不佳重疊於該增益外型，而在光束穿過該放大器後留下很多未經使用的增益。右端的曲線顯示一具高 M^2 之光束是如何良好重疊於該增益外型，而更有效率地擷取可用增益。自此說明，會很容易了解 M^2 愈高，就會愈有效率地擷取出能量。

為說明光束重疊及熱鏡透效應的重要性，可觀察到其中一準直之輸入光束被送入一具零熱透鏡之增益模組 20 內時(參見圖 12a)，該光束通過該增益模組並達到一高擷取效率，因為該光束體積良好重疊於該棒桿內的增益體積。該最大擷取效率在此情況下是如前述般受限於該輸入光束的 M^2。

不過，用力地泵注該放大器以產生所欲之輸出功率增加量(每個額外放大器約 200 瓦)，會在放大器增益媒體裡產生一正性熱透鏡效應。

當如圖 12b 中之虛線所示出現強的熱透鏡時，準直之輸入光束會很糟地重疊於該增益體積，因為該光束直徑會隨著此者穿過該棒桿而快速地減少。

當該輸入光束對稱地通過該增益媒體時可達到最大重疊(對一具給定 M^2 之光束)。這在如最常見的情況，即當相較於邊緣附近，於該棒桿中央軸附近有更多增益時特別會是如此。

從而，為令光束對稱地通過該增益模組，將會要求額外的光束調節光學元件。這些光束調節光學元件可修改該輸入光束的發散性，使得這會在圖 12c 裡，靠近該放大器模組 24 而經標註以「W」之位置處看似有一光束腰部。熱透鏡愈強，該腰部就愈需要靠近該放大器模組，以對稱地通過此者。

可藉由在該棒桿之末端上放置一曲率半徑(RoC)，來完成該放大器媒體或該雷射增益媒體(800)之鏡透表面(802、804)。在該增益媒體裡有零熱透鏡效應之特殊情況下，該 RoC 可為凸形(正性透鏡)，藉此透過該棒桿準直一發散光束。一般說來，一凹形 RoC 會被用於該棒桿之末端，以提供一負性鏡透成分，以平衡該正性熱透鏡。圖 13 顯示一展現出強熱鏡透效應(52)之增益媒體(51)是如何地藉由在該雷射棒桿之輸入側上利用一凹形 RoC (53)以最佳地耦接進

入。該光束必須在該棒桿之輸入側上具有正確的直徑，該棒桿曲率校正非最佳輸入光束的發散性。該棒桿之離出側的 RoC 可為任何適於該輸出光束之後續使用的曲率。在圖 13 裡，該離出 RoC 與該輸入者相同。

從而，必須要針對所欲之操作條件來決定適當的 RoC。為簡便起見，如後討論係關於如何對於各放大器媒體棒桿末端決定適當的 RoC。不過，熟諳本項技藝之人士應即瞭解可採用類似方法以決定該振盪器增益媒體的 RoC。

首先，識別出熱鏡透效應的程度。一特定放大器模組之熱透鏡可藉由當由該泵注源所完全泵注時，透過一具平坦末端之棒桿閃耀一氦氖(HeNe)雷射所決定。該 HeNe 在 633 奈米會聚焦於一等於該棒桿之熱焦距的點處。然後可對該放大器模組之雷射發射波長計算出一等效透鏡焦距。接著此熱焦距可運用於一腔模型化套裝軟體(像是 Paraxia)以將該腔的行為模型化為一泵注功率的函式。第二種方法是牽涉到利用熱擴散及折射率修改方程式來計算棒桿的焦距，然後對於該棒桿末端提供適當的曲率半徑，以給定所要求的腔穩定度。此方法既已如「Chapter 7. Thermo-Optic Effects and Heat Removal, Page 406, Solid-State Laser Engineering, W. Koechner, Fifth Edition, Springer-Verlag 1999」乙文所述。所算出的熱焦距可用於如前述之腔模型化套裝軟體。設計該腔的方式應為令該雷射發射門檻值為低(對於高功率操作)，且該腔模式的 M^2 應在所欲操作泵注功率位置處達到尖峰。然後這可確保最大腔穩定度以及對

於因重複速率改變而生之熱鏡透效應變化的不敏感度。

一旦該放大器模組雷射棒桿的熱焦距(f_{th})為已知後，即可利用一薄型透鏡模型，計算出對於給定輸入光束參數之棒桿末端曲率半徑。圖 14 顯示一理想輸入光束 602 是如何最佳地重疊於該棒桿內之增益體積 600 (實線光束)。對於具平坦末端之棒桿的情況，該理想輸入光束 602 在輸入棒桿末端 604 處具有一理想直徑及關聯於此之理想發散性(D_i)。任意輸入光束 606 的光束直徑及發散性(虛線光束)必須相配，藉此達到最佳擷取效率。可概約地藉由如下等式計算出在該棒桿輸入處的光束直徑：

$$D_i = D_R - \frac{D_R L_R}{4 f_{th}} \quad \text{等式 5}$$

其中 D_R 為棒桿直徑，L_R 為棒桿長度，而 f_{th} 為棒桿熱焦距。一任意輸入光束的腰部必須被放置在距該放大器模組一距離 d_0 處，藉此在輸入棒桿末端處其直徑會等於 D_i。d_0 可經定義如下：

$$d_0 = \frac{2 \tan \theta_0}{D_i} \quad \text{等式 6}$$

其中 θ_0 為任意輸入光束發散半角。為修改該任意輸入光束的發散性，使得其相配於該放大器模組內之理想輸入光束的發散性，必須將一如下等式所給定之負性曲率半徑放置於該棒桿的末端處：

$$R = \frac{d_0(4f_{th} - L_R)(n_L - n_{air})}{n_L(4f_{th} - L_R - 2d_0)} \quad \text{等式 7}$$

其中 N_L 為該放大增益媒體的折射率，n_{air} 為空氣的折射率，兩者皆為於該雷射波長。上述各等式可給定一逼近方法，用以計算將一放大器模組最佳地耦接於一強熱鏡透元件之所需棒桿末端曲率半徑。可使用更為複雜的模型，例如可利用該熱透鏡之等級化折射率(GRIN)透鏡模型，而非如前所用之薄型透鏡模型。

在極高增益的系統裡，來自該放大器之輸入表面的微小向後反射或會影響振盪器的效能。在此情況下，可略為傾斜該輸入表面，藉以讓向後反射不會回返到該振盪器。可按一反平行方式傾斜該輸出表面，以抵消因藉傾斜一曲形鏡透成分所引入的散光效應。

如該放大器模組經完全泵注，但未出現輸入光束，則該熱透鏡會略為變強。這可藉由將該泵注功率降低至一可模仿當出現一高功率輸入光束時之熱透鏡的水準來抵消。這些效應皆為熱性，並因此當該放大器經泵注但相較於該增益媒體之熱均衡時間(這是由熱傳導性及維度所決定)有一時段未被使用時確可適用。最好是同時地泵注該雷射及該放大器。

在上述具體實施例裡，該放大器模組可對稱及等同於該雷射模組，但是可按類似於如上方法之方式，對任何所必要之離出影像位置選定該棒桿之離出末端的曲率半徑，

而可包容不對稱性及其他的變異性。

本發明可獲致多項優點。各個放大器模組可分別地增加該輸出功率約 200 瓦。多個放大器 1510、1512 可如圖 15 所示一起串序排列，以從一雷射振盪器源 1514 產生極高平均功率(數百瓦到數千瓦)，透過傳送光學元件 1516 遞送至一雷射應用 1518；唯一限制是該雷射增益媒體或所用鍍層的損害門檻值，或是對於如所用增益媒體之輸入光束能量流量及飽和能量流量而定義的效率性之自我限制。加置放大器增益模組，則該發射之輸出脈衝時段在名目上不會改變。該輸出光束品質(M^2)會由各額外的增益模組提高僅約 1.5。

可將放大器施用於數個不同來源，包含於一像是如前述之「功率振盪器功率放大器(POPA)」組態內的高功率(>100 瓦)脈衝式(經 Q-切換或模式鎖定)振盪器。該等亦可用於連續波(CW)振盪器(高及低功率)；低功率(<100 瓦) Q-切換、模式鎖定或 CW 振盪器；光纖振盪器；披(pico)秒、奈秒、微秒或毫秒振盪器，以及像是薄膜切除及表面潔淨應用之應用範圍。

現參照圖 16，圖示一進一步本發明具體實施例，此者包含一雷射增益媒體(1606)、一由各反射鏡(1602、1604)所定義之光學腔(1600)，而其中一反射鏡如前述般係部分反射性。亦在該增益媒體及反射鏡其一者之間提供一 Q-切換器(1612)，這包含一對鄰接之聲光(AO)調變器(1608、1610)，這些是由熔矽氧或是其他適當材料所構成，而按

Bragg、近 Bragg、Raman-Nath 或近 Raman-Nath 對準。即如眾知者，AO 調變器(1608、1610)可藉防止在該光學腔(1600)裡累積振盪來提供雷射輻射之切換。AO 調變器(1608、1610)具有彼此相互正交的偏振軸，當被關閉時可讓所有偏振光線通過。當由一 RF 信號啟動交跨之 AO 調變器(1608、1610)後，可藉阻斷於該增益媒體(1606)與各反射鏡其一者(1604)之間的光學路徑，來防止任何偏振光線發生振盪，造成該增益媒體(1606)內之群體反轉增加。最好，提供有一對壓縮(縱向)的聲光(AO)調變器以對該腔進行 Q-切換。可運用壓縮胞格，因為該等能夠快速地切換，這對於如前述之高增益、快速累積時間的雷射是很重要的。

依此排置方式，可對脈衝式、無偏振性雷射光線達到 Q-切換，而提高功率遞送結果。此經增高之功率係因該腔對於去偏振性漏失會缺少敏感性的緣故。通常，一極化器可用以拒除自增益媒體中之熱像差所出現的去極化漏失。藉由讓所有偏振狀態發射雷射，無光線會因去極化處理而漏失。

此外，可修改圖 16 之具體實施例，即如圖 17 所示，其中如前述般構成一 Q-切換器之單一 AO 調變器或一對鄰接交跨 AO 調變器可取代全反射或輸出耦接的腔反射鏡。位在該腔(1700)極端處的 AO 調變器(1708)在遠離該增益媒體(1706)的一側具有一高反射鍍層(1709)，使得這可作為一腔反射鏡以在該腔內反射光線，或是將光耦接離出該腔。

該 AO 調變器必須被裁剪、拋光及鍍覆，使得此者會根據正確的操作模式(即如 Bragg、近 Bragg、Raman-Nath 或近 Raman-Nath)而預先對準，並且該反射表面必須將光線向後反射回該腔內。這可供該等 AO 調變器盡可能地被放置在靠近該腔的各末端，以提供快速的切換時間。快速切換時間對於如前述之高功率、更增益的雷射是很重要的。

除高功率外，當被用於提供脈衝突波時可採用本文所述之 Q-切換雷射。當產生脈衝突波時，靠近突波開始處之脈衝可具有異常地高或低的能量(及/或強度)，且可為不穩定者。這個問題會有兩個來源：熱變異(較長時間刻度，~100 毫秒到~1 秒)以及增益變異(較短時間刻度，~10 微秒到~1 毫秒)。對此問題的解決方法是來自於泵注二極體功率的調變處理。這可藉由對用以提供(在該振盪器內或在該放大器內的)增益模組電力之二極體功率供應進行適當的時間調變來完成。為校正較長時間刻度問題，會於各脈衝突波間將該二極體功率降低至一沉靜水準(比正常操作功率低 5%的等級)，以補償熱透鏡中的變異。二極體功率會簡略地(~1 毫秒)進一步被降低(低於該腔發射雷射所必要之門檻值功率)以補償增益變異。此方法(適用於任何經 Q-切換、二極體泵注之雷射)連同於其他 AO 脈衝控制方法(例如「第一脈衝壓抑」)，可完全地控制由該雷射所發射之突波的脈衝，以用於任何工作週期及重複速率。

現參照於圖 8，此係一本發明之進一步具體實施例，圖示包含一由反射鏡(1802、1804)所週界之雷射腔(1800)，

且其內具有一雷射棒桿(1806)。在所示具體實施例裡，該雷射幫棒桿具有概為平坦之末端，但這可按任何適當之替代性方式予以造型，即如前文詳述。

在該腔裡亦提供一倍頻器(1808)。該元件可為任何於像是 LBO 之非線性晶體的適當諧波產生器。即如眾知，該倍頻器(1808)提供具有一相對於來自該雷射棒桿(1806)之輸入為倍頻的輸出雷射光束。中介放置於該雷射棒桿(1806)及倍頻元件(1808)之間的是共線反射鏡(1810)。該共線反射鏡係例如在其鄰接於該倍頻器(1808)之一側上鍍有一按倍頻以反射該倍頻光線的高反射鍍層，以及一令按基本頻率之光線通過的抗反射鍍層。同時，此光學元件(1813)之另一側可鍍以一抗反射鍍層，以令按基本頻率之光線通過。因此，該反射鏡(1810)可藉該腔末端透鏡(1804)而構成一非共振子腔，藉以從該腔裡移除不必要的光學元件。從該腔透過該末端反射鏡(1804)輸出該倍頻雷射光線，此反射鏡載有一按該基本頻率之高度反射鍍層，及一按該倍頻之抗反射鍍層。

一種藉第二諧波產生作業來產生最大倍頻功率之有效方式，即為藉一具大接受角度及中度線性係數之非線性晶體來對準一媒體 M^2 光束。一大接受角度在倍頻元件裡會是必要的，這是因為較高的 M^2 光束含有散佈的傳播向量之事實的緣故。具有大接受角度的非線性晶體一般說來並不具有高的非線性係數。一種用以將具 1064 奈米波長及 20 到 30 間之 M^2 的基本頻率轉換成按 532 奈米之第二諧波的

適當非線性晶體即為 LBO。不過，也有可能利用適當的轉換器或任何其他轉換頻率裝置轉換至波長 355 奈米及 266 奈米。

應了解可對圖 18 所示排置方式利用任何的適當元件。例如，可採用一適當雷射棒桿，像是 Nd：YAG，且該頻率轉換元件可獲按任何適當材料之形式的任何適當諧波產生晶體，像是例如對多重模式之 LBO 或對單一模式(TEM_{00})轉換之 BBO。類似地，該中介反射鏡(1810)及腔末端反射鏡可為任何適當種類，且可載有例如像是一多層、薄膜式介電鍍層之鍍層，以確保適當的頻率選擇。亦可藉將該適當薄膜鍍層放置於最接近該增益模組之非線性晶體的面部上，即類似於在表面 1812 上，以拋棄該腔內反射鏡。

利用此方法之轉換效率會在三個方面比起標準的腔外倍頻技術獲得改善。首先，腔內倍頻處理會利用高腔內強度，以因該處理的非線性本質而提高轉換效率。其次，中介反射鏡可供藉任一方向通過倍頻晶體，以共線地以及在相同方向上離開該雷射，而產生倍頻光線。第三，除透過倍頻以外，基本頻率是無法從該腔逃離。因此，可按倍頻提供純淨及立即可用的輸出。此外，共線排置方式可提供佳於例如摺式腔之簡易性的優點。

可藉將該非線性晶體放置在該雷射腔內，以獲得對於轉換效率的強化。該非線性轉換處理要求該基本光束具有足夠的強度，以驅動該晶體進入非線性範圍內。可藉由光束聚焦以縮減光束的大小並因此提高強度，而在該腔外部

達到改良之轉換效率。這可用以增加在光束內的傳播向量分布，且可使得較高階模式減少轉換效率。無論光束是否被聚焦，腔外轉換導致 M^2 過濾處理(高階模式不會被有效率地轉換)，並因此降低整體轉換效率。雷射腔內部的強度一般說來會是遠高於該輸出光束。可藉由將該非線性晶體放置在該雷射腔內部，來達到更高的轉換效率。

藉由將該非線性晶體放置在該雷射腔內部(腔內)，頻率轉換可作為一輸出耦接器；若基本輻射被轉換成另一波長，則該腔內的基本輻射僅能被釋放。這會進一步改善該總輸出效率，因為如基本輻射在第一次通過該非線性晶體時未被轉換，則此者會在第二次、第三次等通過時被轉換，且藉每一循環行程，會在該雷射增益媒體內將此者放大。

腔內轉換處理就 M^2 過濾而言可提供優點，藉腔外轉換，會從光束裡剝除高階模式，因該等被無效率地轉換(亦即對於各高階模式會有較低的轉換機率)。低轉換機率在該腔內不會是問題，這是因為當高階模式被頻率轉換時，該等僅能被耦接離出；該等會繼續在該腔內振盪，一直到該等被轉換為止。這表示 M^2 過濾處理係一微小課題。

該腔發射一具高 M^2 光束的部分原因係在於像差(一般說來係因熱效應而在增益媒體內)。像差會產生各往返腔模式間的串音，這會讓能量從高階模式流到較低階模式並且反之亦然。串音可協助改善該腔的整體轉換效率。如高階模式係藉像差而散射進入一較低階模式，則比起若經散射進入一較高模式，在高階模式內的能量會具有一較高的轉

換機率，而利用一腔內晶體這會是有可能的，其中各模式繼續振盪一直到該等被轉換為止。這會導致 M^2 的整體降低以及改良的轉換效率。

該雷射腔係經設計以操作於該系統併同於一具大接受角度而放置在該腔內部(腔內)之非線性晶體後所能支援之最高 M^2。這就強固性而言，可賦予該雷射對於熱鏡透效應(因各增益模組間的本質差異，或是因泵注二極體老化所生變化之故)之變化之某程度的穩定度。

在該倍頻過程裡，倍頻晶體的溫度對於轉換效率及雷射穩定度會具有關鍵性。可藉利用一晶體預冷卻技術來大幅地改善雷射的暖機時間。當該雷射從一非雷射發出轉移至雷射發出狀態時，倍頻晶體上的熱負載會突然增加。因此，晶體溫度會增加而降低了倍頻效率。然後該晶體溫度控制系統利用時間來降低晶體溫度至一最佳轉換點。在該雷射屬非雷射發射狀態下，可藉由設定該晶體溫度至一低於該最佳倍頻溫度的數值，來縮短暖機時間。當將該雷射開啟後，熱負載的突然增加會提高該晶體的溫度朝向該最佳轉換點。隨著該晶體溫度增加，該冷卻系統的設定點會朝向該最佳轉換溫度而提高，如此降低該溫度過衝及暖機時間。

該倍頻晶體冷卻系統包含：一熱傳導晶體架置(例如銅質製成)；一熱傳幫浦(像是一熱電冷卻器)、一散熱器(像是一水冷區塊)；及一放置在接近該晶體的溫度感測器。該晶體會藉由將熱量從該晶體架置泵送到該散熱器所冷卻，而

藉由將熱量從該散熱器泵送到該晶體架置所加熱。該晶體的溫度是由任何適當的「正比積分微分溫度控制器(PID 控制器)」所設定及控制。一示範性溫度設定點可為 25°C。

應瞭解所述種類之雷射可對一範圍之可能應用所採用，例如雷射削除、切割、鑽孔。

應瞭解如前所述之各式具體實施例的各成份及元件可按適當方式而予互換及並置。討論雖係針對一 Nd：YAG 雷射，然可採用任何適當雷射材料。此外，應瞭解可採用任何適當的增益媒體、泵注法則或來源及冷卻法則，且該棒桿末端可為按任何適當方式所造型，以供將折射性或繞射性(即如 Fresnel)透鏡或 GRIN 透鏡有效地架置於該末端上。類似地，可實作任何適當的光學增益腔組態及泵注法則，以及任何適當模式的脈衝性或連續性操作。

【圖式簡單說明】

圖 1 係一具體實作先前技藝之中繼影像系統外觀略圖；

圖 2 係一根據本發明之經熱修改的雷射腔側視略圖；

圖 3 係一腔穩定度圖式；

圖 4 係一輸出功率相對於整體棒桿透鏡強度之點繪圖；

圖 5 係一雷射束品質(M^2)相對於棒桿透鏡之點繪圖；

圖 6 係一雷射束品質(M^2)相對於雷射泵注功率之點繪圖；

圖 7 係一根據本發明之放大器模組側視略圖；

圖 8 係一經泵注之放大器模組略圖；

圖 9 顯示一併同用於本發明之雷射模組；

圖 10 顯示在一反射鏡影像組態裡的多個放大器模組操作圖；

圖 11 係一低 M^2 與高 M^2 光束之間的增益重疊比較圖。

圖 12a 係一具零熱透鏡之良好增益重疊的外觀略圖。

圖 12b 係一具強熱透鏡之不良增益重疊的外觀略圖。

圖 12c 係一具熱鏡透效應而使得光束對稱地通過該增益媒體之最大化增益重疊的外觀略圖。

圖 13 係一顯示熱透鏡補償之外觀略圖；

圖 14 顯示本發明的主要設計標準；

圖 15 顯示多個放大器模組；

圖 16 係一根據本發明之 Q-切換腔的側視略圖；

圖 17 係一併入有一根據本發明另一具體實施例之 Q-切換器的腔側視略圖；以及

圖 18 係一含有一根據本發明一具體實施例之倍頻器的雷射腔側視略圖。

【主要元件符號說明】

10	單元放大望遠鏡
12	透鏡
14	透鏡
16	振盪器
18	放大器
20	增益模組

22	增益模組
24	放大器模組
51	增益媒體
52	強的熱鏡透效應
53	凹形曲率半徑
200	光學共振腔
202	Nd：YAG 增益媒體(雷射棒桿)
204	雷射棒桿末端
206	雷射棒桿末端
208	雷射軸
214	反射鏡
216	反射鏡
220	雷射二極體棒狀發射器
600	增益體積
602	理想輸入光束
604	輸入棒桿末端
606	輸入光束
700	增益模組
702	增益棒桿
800	雷射增益媒體
802	凹形末端
804	凹形末端
806	雷射二極體棒發射器
900	雷射振盪器

902	平坦反射鏡
904	平坦反射鏡
906	增益模組
908	聲光Q-切換器
910	聲光Q-切換器
912	放大增益模組
1000	重複腔
1002	重複腔
1510	放大器
1512	放大器
1514	雷射振盪器源
1516	傳送光學元件
1518	雷射應用
1600	光學腔
1602	反射鏡
1604	反射鏡
1606	雷射增益媒體
1608	聲光(AO)調變器
1610	聲光(AO)調變器
1612	Q-切換器
1700	腔
1706	增益媒體
1708	AO調變器
1709	高反射鍍層

1800	雷射腔
1802	反射鏡
1804	反射鏡
1806	雷射棒桿
1808	倍頻器
1810	共線反射鏡
1812	表面
1813	光學元件

五、中文發明摘要：

在一第一具體實施例裡，本發明運用一放置在一由兩個反射鏡(214、216)所構成之光學共振腔(200)內的摻釹YAG (Nd：YAG)增益媒體(202)。功率擷取會對一特定雷射腔所最大化。特別是，在棒桿末端上之凹形曲率貢獻一負性鏡透成分以修改熱透鏡的強度。在一第二具體實施例裡，本發明利用一具曲形末端之放大器棒桿媒體以作為一鏡透元件，俾收集來自於如本發明第一具體實施例所述之雷射增益媒體及/或振盪器的放射。該熱透鏡及曲形棒桿末端的組合可產生一鏡透效應，這可讓光線直接地耦接自一雷射。此外，輸入泵注功率的變異性可供控制構成於該放大器棒桿內的熱透鏡。

六、英文發明摘要：

In a first embodiment, the invention makes use of a Neodymium doped YAG (Nd:YAG) gain medium (202) placed in an optical resonant cavity (200) formed by two mirrors (214, 216). Power extraction is maximized for a specific laser cavity. In particular the concave curvature on the rod ends contributes a negative lensing component to modify the strength of the thermal lens. In a second embodiment the present invention uses an amplifier rod medium with curved ends to act as lensing elements to collect emission from laser gain medium and or oscillator described in the first embodiment of the invention. The combination of thermal lens and curved rod ends produces a lensing effect which allows light to be directly coupled from a laser. In addition, variation of

the input pump power allows for control of the thermal lens formed within the amplifier rod.

十、申請專利範圍：

1.一種固態雷射增益媒體，該者沿一雷射光軸具有第一及第二末端，其中至少一末端係經造型以按一預定操作功率提供一水準的熱鏡透效應，其中該預定光束品質係大致集中於一該預定操作泵注功率之最大值。

2.如申請專利範圍第 1 項所述之媒體，其中該媒體之兩末端皆經造型設計。

3.如前述申請專利範圍任何一項所述之媒體，其中該增益媒體係由 Nd：YAG 所構成。

4.一種雷射振盪腔，包含一如前述申請專利範圍任何一項所述之媒體。

5.如申請專利範圍第 4 項所述之腔，進一步包含平坦之腔末端反射器。

6.如申請專利範圍第 3 至 5 項任一項所述之腔，進一步包含一 Q-切換器，此者具有第一及第二聲光胞格及個別的第一及第二非平行的偏振指向。

7.如申請專利範圍第 4 至 6 項任一項所述之腔，進一步包含一 Q-切換器，其包含至少一聲光胞格，其具有一反射末端而構成一腔末端反射器。

8.如申請專利範圍第 3 至 7 項任一項所述之腔，進一步包含一頻率轉換器，以及一位於該雷射增益媒體與該頻率轉換器之間的頻率選擇性反射器。

9.一種雷射，其中包含一如申請專利範圍第 1 或 2 項所述之媒體，或一如申請專利範圍第 3 至 8 任一項所述之

腔。

10.如申請專利範圍第 9 項所述之雷射，進一步包含一側邊泵注的二極體元件。

11.一種用於一雷射之 Q-切換器，其中包含按個別的第一及第二非平行之偏振指向的第一及第二聲光胞格。

12.如申請專利範圍第 11 項所述之 Q-切換器，進一步包含一經排置以構成一雷射腔反射鏡之反射表面。

13.一種雷射，其包括如申請專利範圍第 11 或 12 項所述之 Q-切換器。

14.一種 Q-切換器或一雷射，其中包含至少一具有經排置以構成一雷射腔反射鏡之反射表面的聲光胞格。

15.一種光學增益腔，其中包含一增益媒體，且經排置以按一預定操作功率而運作於大致為最大光束品質處。

16.一種雷射腔，其中包含作為雷射腔元件的一第一末端反射器、一輸出末端反射器及一供置於其間的增益媒體，該腔進一步包含作為雷射腔元件的一頻率轉換器，此係位於該增益媒體與該輸出末端反射器之間，以及一頻率選擇反射器，此係位於該增益媒體與該頻率轉換器之間，其中該等雷射腔元件係對準於一共同的實體軸。

17.一種雷射腔，其中包含作為雷射腔元件的一第一末端反射器、一輸出末端反射器及一供置於其間之增益媒體，該腔進一步包含作為一雷射腔元件的一頻率轉換器，此係位於該增益媒體與該輸出末端反射器之間，以及一頻率選擇反射器，此係位於該增益媒體與該頻率轉換器之

間，且經組態設定以產生一按一預定操作泵注功率而集中於一最大值的預定光束品質。

18.如申請專利範圍第 16 或 17 項所述之雷射腔，其中該頻率選擇反射器及該輸出末端反射鏡係經排置以輸出由該頻率轉換器所轉換的雷射光線，而按一經轉換之頻率以運用於一工件。

19.如申請專利範圍第 16 至 18 項任一項所述之腔，其中該頻率轉換器係一第二諧波產生器。

20.如申請專利範圍第 16 至 19 項任一項所述之腔，其中該輸出末端反射器反射由該增益媒體所產生的基本頻率。

21.如申請專利範圍第 16 至 20 項任一項所述之腔，其中該頻率轉換器具有一大接受角度。

22.一種雷射，其中包含一如申請專利範圍第 16 至 21 項任一項所述之雷射腔。

23.一種雷射削除裝置，其中包含一如申請專利範圍第 9、13 或 22 項所述之雷射。

24.一種將一雷射增益媒體末端加以造型之方法，其中包含以按一預定泵注功率提供一水準之熱鏡透效應，使得可按一預定泵注功率達到一預定光束品質。

25.一種控制 Q-切換、脈衝式雷射之泵注的方法，其中包含在雷射脈衝之突波間將泵注功率降低至一寂靜水準。

26.一種雷射放大器，其中包含：

一雷射腔；以及

一放大模組，此係外置於該雷射腔，該放大模組與該雷射腔分享一共同的發射軸，且包含一沿該發射軸具有第一及第二末端之增益媒體，藉此該第一及第二末端至少一者係經塑型，以將光線從該雷射腔直接地耦接進入該放大模組內。

27.如申請專利範圍第 26 項所述之雷射放大器，其中該第一或第二末端之其一或兩者係經塑型以構成一具有一預定焦距之透鏡。

28.如申請專利範圍第 26 項所述之雷射放大器，其中該雷射包含一具經塑型之末端的增益媒體。

29.如申請專利範圍第 27 或 28 項所述之雷射放大器，其中該透鏡係折射性、繞射性或 GRIN 透鏡的其一者。

30.如申請專利範圍第 27 或 28 項所述之雷射放大器，其中該等雷射增益媒體末端係經塑型以構成一具一預定焦距之透鏡。

31.如申請專利範圍第 27 或 28 項所述之雷射放大器，其中該雷射增益媒體之透鏡及該放大器增益媒體之透鏡具有大致相同的焦距。

32.如前述申請專利範圍任一項所述之雷射放大器，其中該雷射增益媒體透鏡及該放大器增益媒體透鏡係凹形塑型。

33.如前述申請專利範圍任一項所述之雷射放大器，其中該雷射及該放大媒體係同時地泵注。

34.如申請專利範圍第 33 項所述之雷射放大器，其中該雷射泵注及該放大泵注具有相等功率。

35.如前述申請專利範圍任一項所述之雷射放大器，其中一對於該放大器之輸入表面係經傾斜。

36.一種光學放大器模組，其中包含一具第一及第二末端之媒體，至少一末端係經塑型以按一預定操作功率提供一鏡透效應水準，此係經排置以在使用上該放大器可直接地耦接於一具預定參數之雷射。

37.一種如申請專利範圍第 33 項所述之模組，其中，對於一放大器媒體包含一棒桿，此者直徑為 D_R、長度為 L_R、在折射率 n_{air} 之空氣中的折射率為 n_L、及熱焦距 f_{th}，而經排置以從一具有自該輸入棒桿末端之腰部距離 d_0 的雷射處接收一輸入光束，該棒桿係經塑型為具一約如下式所給定之曲率半徑 R：

$$R=\frac{d_0(4f_{th}-L_R)(n_L-n_{air})}{n_L(4f_{th}-L_R-2d_0)}$$ 。

38.一種製作一雷射放大器模組增益媒體之方法，其中包含塑型其至少一末端，以按一預定操作功率提供一水準之鏡透效應，此係經排置以在使用上該放大器可直接地耦接於一具預定參數之雷射。

39.一種設計如前述申請專利範圍任一項所述之雷射放大器的方法，其中包含識別一按如申請專利範圍第 11 或 12 項所定義之外型。

40.一種大致如參照於各隨附圖式所述之雷射放大器。

41.一種控制在一 Q-切換、脈衝式雷射內之泵注的方

法，其中包含在全功率泵注之前，先將泵注功率減少至低於該雷射腔發出雷射的門檻值。

42.一種在一雷射腔內轉換雷射頻率之方法，其中包含在該雷射屬非雷射發射狀態時，將該雷射腔內之一頻率轉換器冷卻至低於一最佳頻率轉換溫度。

43.一種雷射組件，其中包含如申請專利範圍第 1 至 22 項任一項所述之媒體腔、雷射或切換器，以及包含如申請專利範圍第 26 至 37 項任一項所述而與其耦接之放大器或模組。

十一、圖式：

如次頁

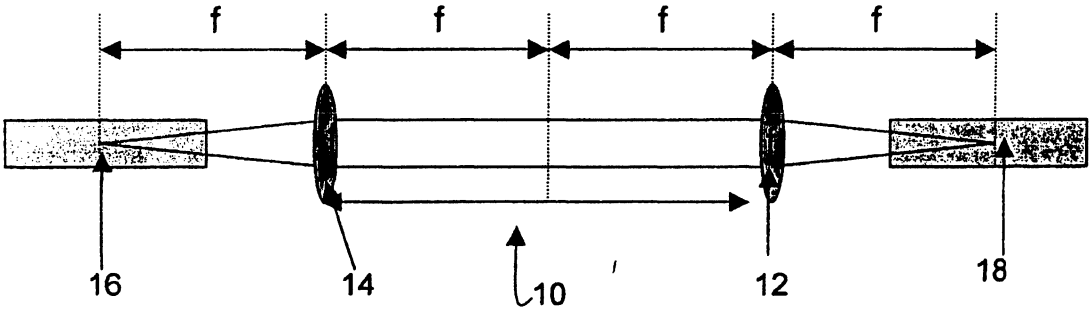
f
f
f
f
16
14
10
12
18

圖 1

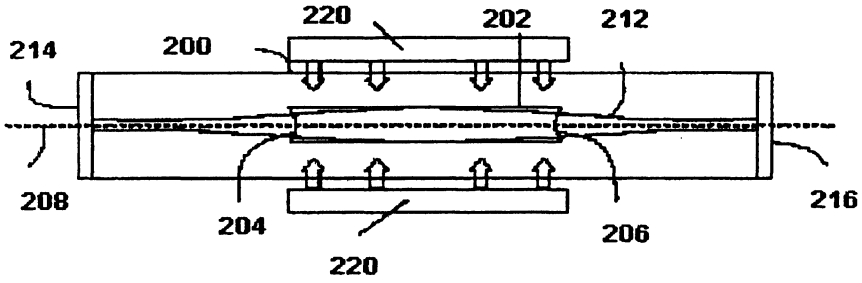
220
202
212
214
200
208
204
206
216
220

圖 2

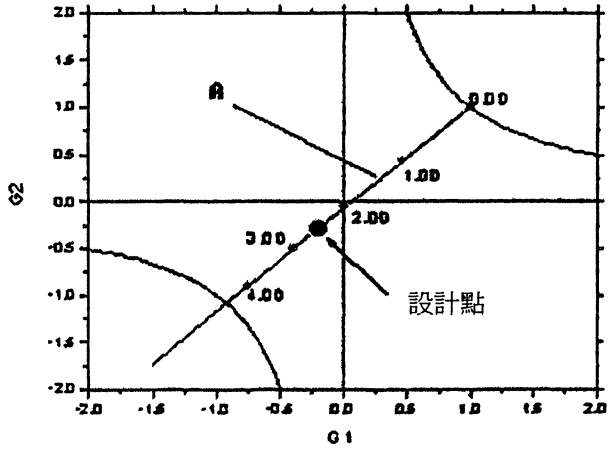
A
1.00
2.00
3.00
4.00
設計點
G1
G2

圖 3

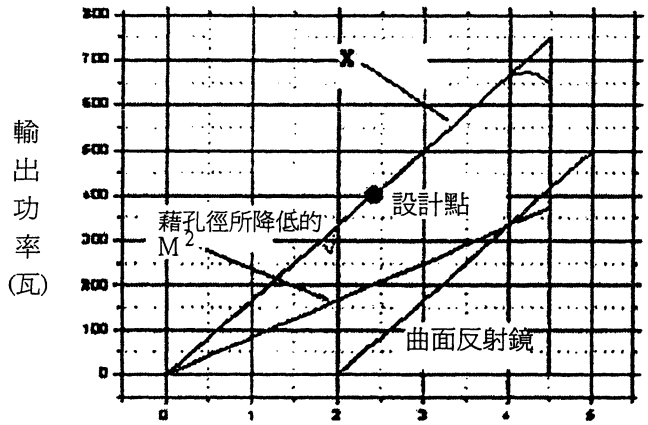
輸出功率(瓦)
X
設計點
藉孔徑所降低的 M2
曲面反射鏡
整體棒桿操作強度 (屈光度)

圖 4

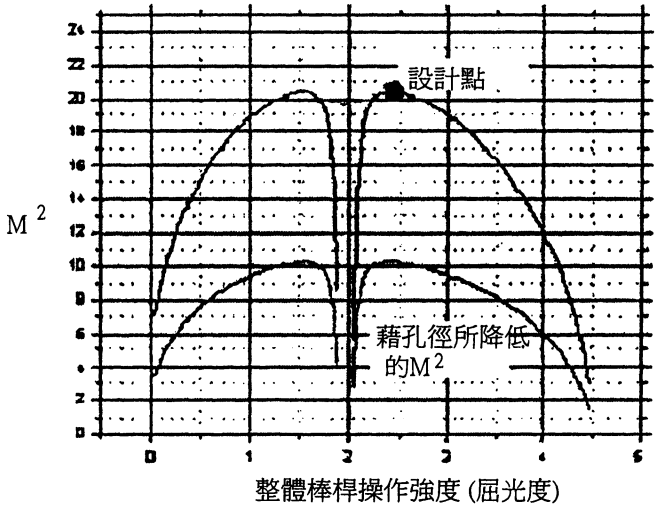
M2
設計點
藉孔徑所降低的M2
整體棒桿操作強度 (屈光度)

圖 5

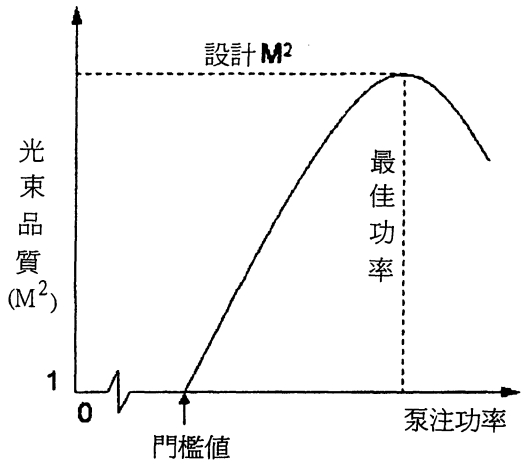
設計 M²
光束品質 (M²)
最佳功率
1
0
門檻值
泵注功率

圖 6

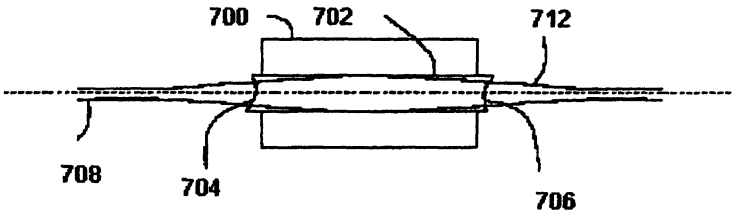
700
702
712
708
704
706

圖 7

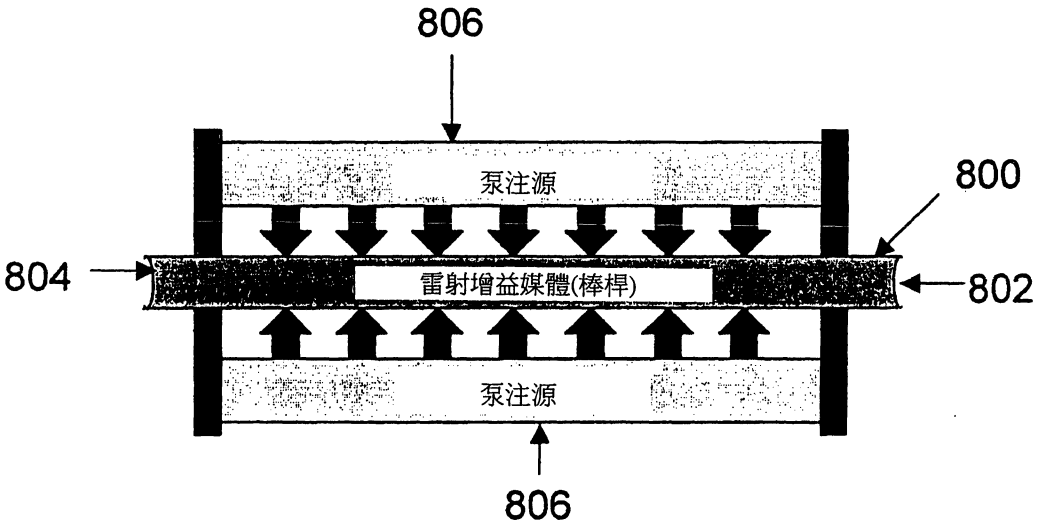
806
泵注源
800
804
雷射增益媒體(棒桿)
802
泵注源
806

圖 8

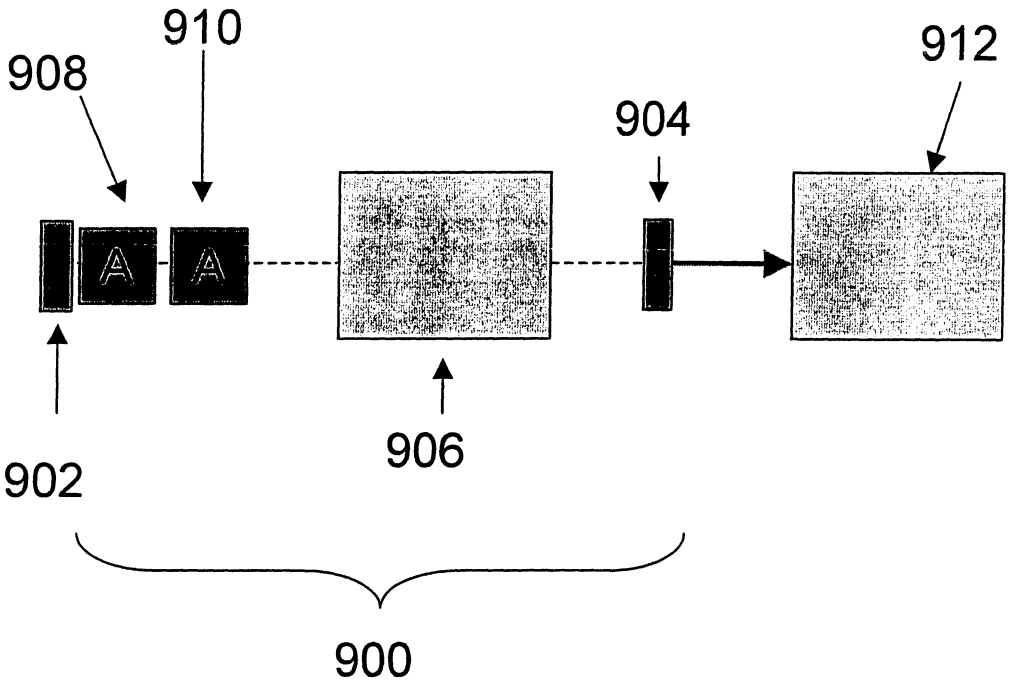

圖 9

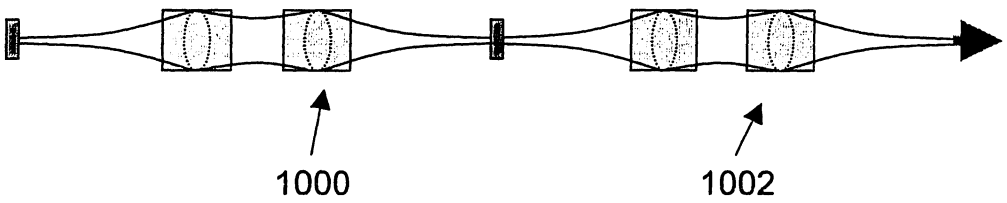

圖 10

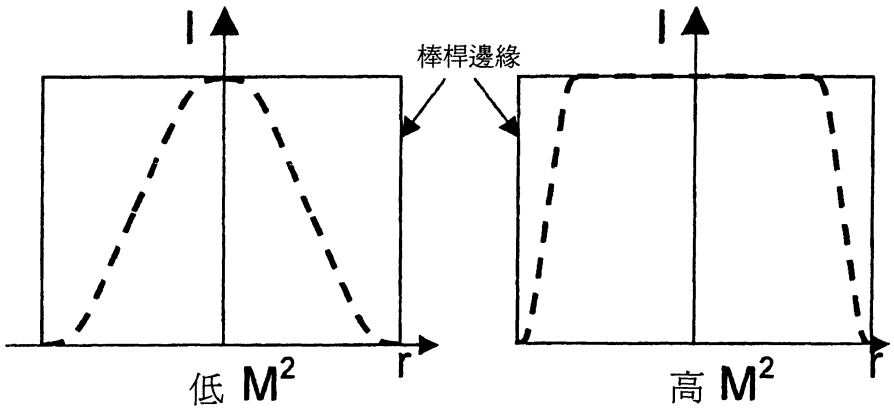

圖 11

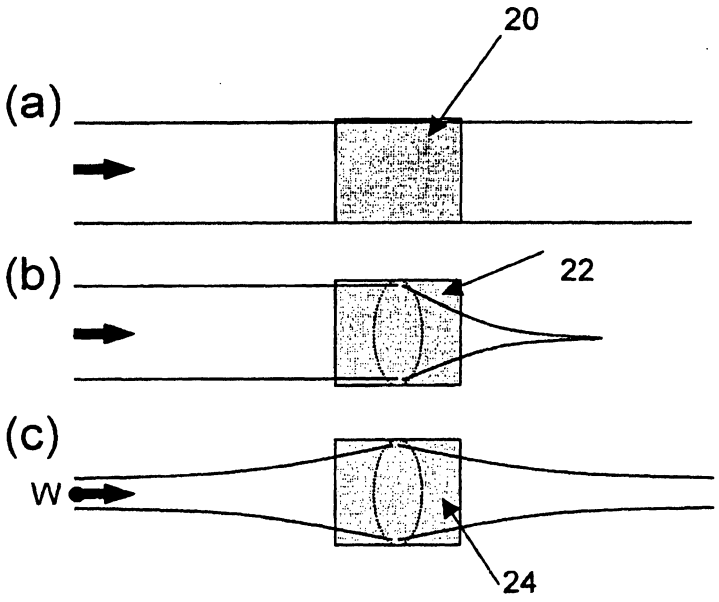

圖 12

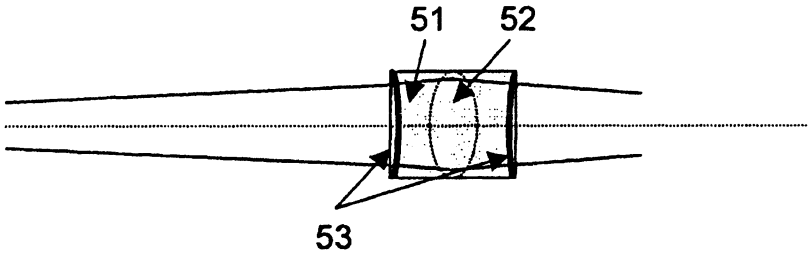
51
52
53

圖 13

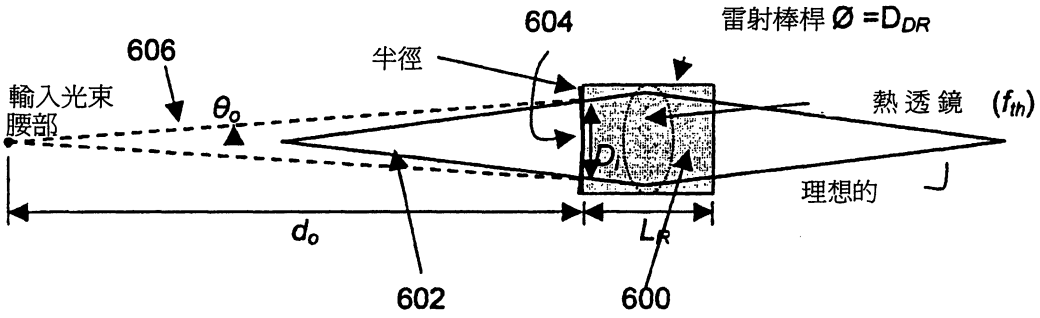
604
雷射棒桿 Ø =D_DR
606
半徑
輸入光束
腰部
θo
熱 透 鏡 (fth)
理想的
do
LR
602
600

圖 14

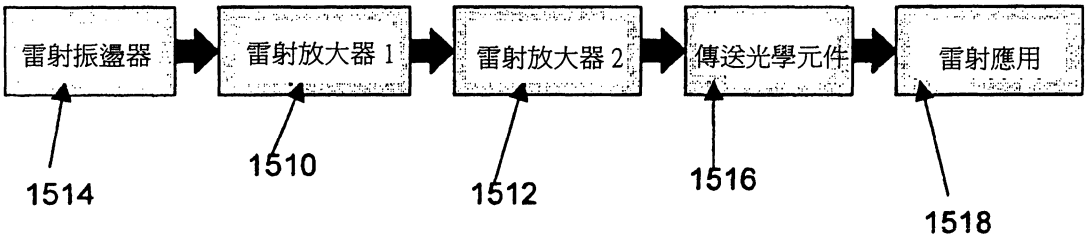
雷射振盪器
雷射放大器 1
雷射放大器 2
傳送光學元件
雷射應用
1514
1510
1512
1516
1518

圖 15

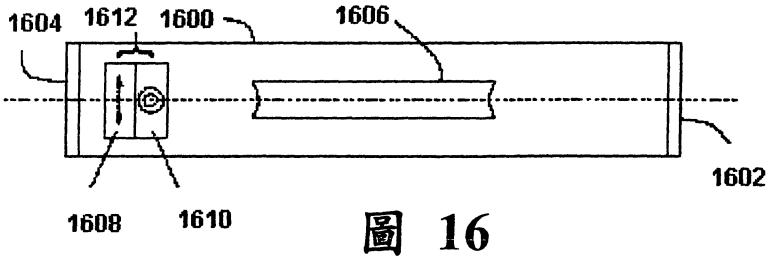
1604
1612
1600
1606
1602
1608
1610

圖 16

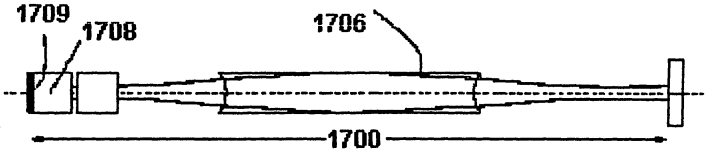
1709
1708
1706
1700

圖 17

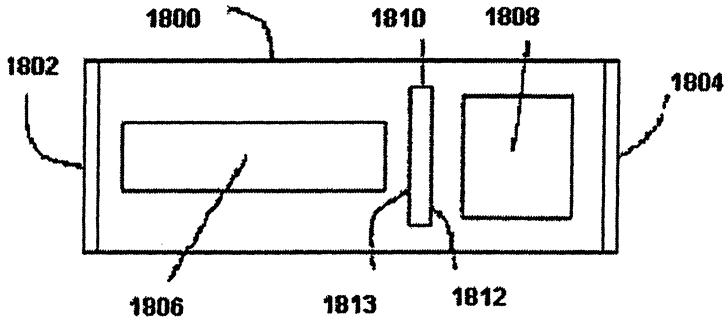
1800
1810
1808
1802
1804
1806
1813
1812

圖 18

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 2 ）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

200	光學共振腔
202	Nd：YAG 增益媒體(雷射棒桿)
204	雷射棒桿末端
206	雷射棒桿末端
208	雷射軸
214	反射鏡
216	反射鏡
220	雷射二極體棒狀發射器

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

（無）