

# 發明專利說明書

修正頁  
年月日  
99.5.4 補充

(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： 96177438

※申請日期： 96.7.29

※IPC 分類：H01S 3/13

公告本

## 一、發明名稱：(中文/英文)

串接光放大器 / TANDEM PHOTONIC AMPLIFIER

## 二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

伊雷克托科學工業股份有限公司

ELECTRO SCIENTIFIC INDUSTRIES, INC.

代表人：(中文/英文)

凱利 慕斯圖 / MUSTOE, KERRY

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國 奧勒岡州 97229 波特蘭 西北科學園大道 13900 號

13900 NW Science Park Drive, Portland, Oregon 97229, USA

國籍：(中文/英文)

美國 / USA

## 三、發明人：(共 4 人)

姓名：(中文/英文)

1. 布萊恩 W. 拜爾德 / BAIRD, BRIAN W.

2. 大衛 M. 海明威 / HEMENWAY, DAVID M.

3. 彭曉源 / PENG, XIAOYUAN

4. 任文昇 / REN, WENSHENG

國籍：(中文/英文)

1.2.4. 美國 / USA

3. 中國大陸 / China

#### 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：

美國、 2006.07.27、 60/834,037

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。

## 五、中文發明摘要：

本發明的雷射系統實施例的優點係使用脈衝式光纖型雷射源(12)輸出，其時間脈衝輪廓可被程式化以採用一脈衝形狀範圍。脈衝式光纖雷射具有尖峰功率限制，以避免發生非所希的非線性效應；所以，該些裝置的雷射輸出功率接著會在一二極體泵激固態光功率放大器(DPSS-PA)(16)中被放大。該 DPSS-PA 會將一脈衝式光纖主振盪器功率放大器(14)所欲求的低尖峰功率輸出放大至更高的尖峰功率位準處，並且從而還會有效地提高一指定脈衝重複頻率處每道脈衝的可用能量。該脈衝式光纖主振盪器功率放大器與該二極體泵激固態功率放大器之結合便稱為串接固態光放大器(10)。

## 六、英文發明摘要：

Embodiments of laser systems advantageously use pulsed optical fiber-based laser source (12) output, the temporal pulse profile of which may be programmed to assume a range of pulse shapes. Pulsed fiber lasers are subject to peak power limits to prevent an onset of undesirable nonlinear effects; therefore, the laser output power of these devices is subsequently amplified in a diode-pumped solid state photonic power amplifier (DPSS-PA)(16).

The DPSS-PA provides for amplification of the desirable low peak power output of a pulsed fiber master oscillator power amplifier (14) to much higher peak power levels and thereby also effectively increases the available energy per pulse at a specified pulse repetition frequency. The combination of the pulsed fiber master oscillator power amplifier and the diode-pumped solid state power amplifier is referred to as a tandem solid state photonic amplifier (10).

**七、指定代表圖：**

(一)本案指定代表圖為：第( 一 )圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 10 串接光放大器
- 12 動態雷射脈衝修形器
- 14 光纖功率放大器
- 16 二極體泵激固態光放大器
- 28 串接放大器控制器
- 90 諧振轉換光學元件模組

**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

## 九、發明說明：

### 【相關申請案】

本申請案主張 2006 年 7 月 27 日提申的美國臨時專利申請案第 60/834,037 號的權利。

### 【著作權聲明】

©2007 Electro Scientific Industries, Inc. 本專利文件之部份揭示內容受到著作權保護。著作權擁有者不反對任何人在專利商標事務所的專利檔案或記錄中複製本專利文件或專利揭示內容，不過，保留所有著作權的權利。37 CFR§1.71(d)。

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於雷射處理系統，且更明確地說，係關於能夠在單位時間中處理大量目標結構的雷射處理系統。

### 【先前技術】

Q 開關二極體泵激固態雷射已廣泛地用在雷射處理系統之中。動態隨機存取記憶體(DRAM)及雷同裝置之單脈衝處理所運用的雷射處理系統通常會使用 Q 開關二極體泵激固態雷射。於此重要的工業應用中，通常會運用單雷射脈衝來切割一導體連結線結構。於另一重要的工業應用中，則會使用 Q 開關二極體泵激固態雷射來修整離散與埋置組件的阻值。

隨著對能夠在單位時間中處理大量目標結構的雷射處理系統之需求的持續增加，所以，便需要替代性的雷射技術以及替代性的雷射處理系統架構。美國專利申請公告案

第 US-2005-0067388 號便說明一種此類雷射技術，該案已受讓給本專利申請案之受讓人，於該項雷射技術中，係藉由運用具有經過特殊設計之強度輪廓的雷射脈衝的雷射系統與方法來達成對記憶體晶片或其它積體電路(IC)晶片上的導體連結線進行雷射處理的目的，以達更佳的處理品質與產量。

美國專利申請公告案第 US-2005-0041976 號則說明一種運用能夠使用多重雷射脈衝時間輪廓的雷射處理系統的方法，用以處理一或多個半導體晶圓上的半導體工作件結構，該案已受讓給本專利申請案之受讓人。

#### 【發明內容】

本文所述之雷射系統的實施例的優點係使用脈衝式光纖型的雷射源輸出，其時間脈衝輪廓可被程式化以採用一脈衝形狀範圍。當要引導一雷射射束朝一特定的工作件結構發出一脈衝時，該些雷射系統便會施行選擇方法來選擇脈衝形狀。脈衝式光纖雷射會受到尖峰功率限制，以防止出現非所希的非線性效應，例如受激布里恩散射效及頻寬加寬效應。有效尖峰功率限制會隨著所採用的光纖類型與設計以及對各項參數(例如頻譜頻寬以及空間模式品質)的敏感性而改變。在出現非所希的效應之前的有效尖峰功率通常係介於約 500W 及約 5KW 之間。

為善用脈衝式光纖主振盪器功率放大器(MOPA)並達成高尖峰功率輸出，該些裝置的雷射輸出功率實質上會在二極體泵激固態光功率放大器(DPSS-PA)中被放大。DPSS-PA

設計會將一脈衝式光纖 MOPA 所希的低尖峰功率輸出放大至更高的尖峰功率位準處，並且從而還會有效地提高指定脈衝重複頻率處每個脈衝的可用能量。脈衝式光纖 MOPA 源與 DPSS-PA 之結合便稱為串接固態光放大器。

使用二極體泵激固態放大器來放大一脈衝式光纖 MOPA 的雷射輸出功率可達到的尖峰功率會高於一脈衝式光纖 MOPA 可直接再生的尖峰功率，不會因非線性效應而產生輸出衰降。再者，使用二極體泵激固態雷射還可達到在操作脈衝重複頻率處產生更高尖峰功率且讓每個脈衝具有更高能量的目的，同時實質上還會保持該脈衝式光纖 MOPA 所產生之有用的脈衝輸出特徵。此等有用的特徵包含脈衝形狀、脈衝寬度、脈衝振幅穩定性、以及窄幅頻譜寬度。

從下文較佳實施例的詳細說明中，參考附圖，便可明白本發明的額外觀點與優點。

#### 【實施方式】

圖 1 所示的係形成一串接光放大器 10 之光學元件的較佳排列的方塊圖。串接光放大器 10 包含一動態雷射脈衝修形器 (DLPS) 12，其輸出會被光學耦合至一光纖功率放大器 (FPA) 14 之中並且被該光纖功率放大器 14 放大。FPA 14 的輸出會被耦合至一二極體泵激固態光放大器 16 之中並且被該二極體泵激固態光放大器 16 放大。DLPS 12、FPA 14、或是兩者均含有頻率選擇元件 (例如布拉格光纖光柵或穩頻晶種振盪器)，其可被選擇或被調整以從 FPA 14 中產

生會有效地耦合至二極體泵激固態放大器 16 之發射波長的頻譜輸出。

圖 2 所示的係串接光放大器 10 之光學元件的更細部較佳實施例。在 DLPS 12 的較佳實施例中，一雷射注射源 24(其包含一晶種二極體)會受到一串接放大器控制器 28(圖 1)的命令而發射連續波(cw)輸出，其會經由一光學調變器 26 的調變而產生一合宜的第一雷射脈衝輪廓。雷射晶種源 24 會經過選擇，俾使其中心波長與頻譜寬度會有效地耦合至脈衝增益模組 30 與 32 的增益頻譜及二極體泵激固態放大器 16 的增益頻譜。或者，舉例來說，雷射注射源 24 亦可能係一由脈衝式半導體雷射或 Q 開關固態雷射所產生的脈衝式輸出。光學調變器 26 可能包含一電光調變器、一聲光調變器、或是另一合宜類型的光學調變器。光學調變器 26 係由一或多個調變器-放大器級所組成，用以達到產生該第一雷射脈衝輪廓的用途。圖 2 顯示出一串聯排列的第一調變器-放大器級(其包含一脈衝調變器 34 與脈衝增益模組 30)串接著一串聯排列的第二調變器-放大器級(其包含一脈衝調變器 36 與脈衝增益模組 32)。該等第一調變器-放大器級與第二調變器-放大器級會共同運作以便在每個脈衝的第一能量處產生一經過設計的脈衝輸出以及在第一中心波長處產生一第一脈衝尖峰功率，其具有一經過設計的第一輸出脈衝形狀時間輪廓。標準的光學隔絕器 40(其可能係光纖耦合光學隔絕器或巨形光學隔絕器)會被設置在該等第一級與第二級之該等組件的輸入與輸出處，以便防止在

該光學組件中傳播的光產生回授。所產生之經過設計的雷射脈衝輸出適合用來放大。於一替代實施例中，可共同運用單一脈衝調變器 30 與單一脈衝增益模組 32，中間插設光學隔絕器 40，用以產生一適合用來放大之經過設計的雷射脈衝輸出。

可將一命令信號矩陣傳送至脈衝調變器 34 與 36 來程式化該串接放大器控制器 28，用以產生一雷射脈衝輪廓範圍，當將該雷射脈衝輪廓範圍套用至脈衝增益模組 30 與 32 時，其便會產生希望從 DLPS 12 輸出之經過轉換的雷射脈衝輪廓。

在圖 2 中所示的較佳實施例中，從 DLPS 12 輸出之經過轉換的脈衝會被注入模組式光纖功率放大器 (FPA) 14 之中。FPA 模組 14 含有功率放大器耦合器，它們會讓 DLPS 12 的輸出以及功率放大器泵激雷射的輸出注入一功率放大器增益光纖之中。熟習本技術的人士便會熟知，功率放大器耦合器可被放置在該光纖的任一端或兩端處。必要時，亦可將多個額外的功率放大器耦合器接合至該光纖的長度之中。

更明確地說，圖 2 所示的模組式 FPA 14 係由一條功率放大器增益光纖 (PGAF) 50 所組成，其輸入端與輸出端係分別被放置在功率放大器耦合器 (PAC) 52 與 54 之間。DLPS 12 的輸出以及功率放大器泵激雷射 (PAPL) 56 與 58 的輸出會被施加至 PAC 52 的分離輸入處。PAGF 50 的輸出及 PAPL 62 與 64 的輸出則會被施加至 PAC 54 的分離輸入處。一適

合傳送至一模組式二極體泵激固態光功率放大器 (DPSS-PA) 16 之經放大的 DLPS 輸出會傳播自 PAC 54 的輸出，其會產生 FPA 模組 14 的輸出。二極體泵激 FPA 模組 14 會在每個脈衝的第二能量處產生一經過設計的脈衝輸出以及第二脈衝尖峰功率，其經過設計的第二輸出脈衝形狀時間輪廓實質上會與第一中心波長處之經過設計的輸入脈衝形狀時間輪廓相同。

PAGF 50 較佳的係一單模的偏光保持光纖並且可能含有頻率選擇結構。PAGF 50 的第一實施例係一波導裝置，其矽砂纖核摻雜著稀土離子而纖殼則具有由光學材料所製成的一或多個同心纖鞘。PAGF 50 的第二實施例含有具有摻雜著稀土離子的複數個同心殼鞘。PAGF 50 的第三實施例則係一光晶體纖維 (PCF)，其中，該或該等殼鞘含有高度週期性的氣孔分佈。於一替代實施例中，PAGF 50 係一多模光纖。熟練的人士便會明白，所使用的 PAPL 的數量係取決於所運用的 PAGF 50 的類型與長度以及從該 FPA 模組 14 所輸出之光學脈衝的所希特徵。必要時，會藉由終端光學元件來對 PAGF 50 的輸出進行準直與偏光。

FPA 模組 14 的輸出會被耦合至一模組式 DPSS-PA 16。必要時，可運用射束調整元件來產生用於傳送至一 DPSS-PA 增益元件 74 的正確的偏光與射束傳播參數。一光學隔絕器 40 (不過，圖中並未顯示) 可運用在 FPA 模組 14 的輸出處及模組式 DPSS-PA 16 的輸入處。DPSS-PA 增益元件 74 較佳的係一固態泵激物。以一解釋性範例來說，對 PAGF

50 的 1064nm 輸出來說，DPSS-PA 增益元件 74 較佳的係可選自目前各種已知的 Nd 摻雜固態泵激物，更佳的係，Nd：YVO<sub>4</sub> 或 Nd：YAG。

圖 3A、3B、3C、3D、3E、以及 3F 所示的係 DPSS-PA 16 的各種增益元件-光學泵激配置替代例(DPSS-PA 16 的不同實施例會以元件符號 16 及其對應圖式的下標字母來表示)。

在圖 3A 中，從 FPA 模組處 14 傳播的輸出會從高度反射的面鏡 72 處反射偏離至一 DPSS-PA 16a 的增益元件 74 之中。增益元件 74 會藉由一二極體泵激元件 80 經由一雙色光學元件 76 來進行末端泵激。從增益元件 74 處傳播的脈衝光會從雙色光學元件 76 處反射偏離並且離開 DPSS-PA 16a，而當作串接光放大器輸出。

在圖 3B 中，從 FPA 模組處 14 傳播的輸出會從一雙色光學元件 82<sub>1</sub> 處反射偏離並且進入至一 DPSS-PA 16b 的增益元件 74 之中。增益元件 74 會藉由它們個別相關聯的二極體泵激元件 84<sub>1</sub> 與 84<sub>2</sub> 而經由雙色光學元件 82<sub>1</sub> 與 82<sub>2</sub> 來進行末端泵激。(在圖 2 中同樣顯示出此實施例的該等光學泵激組件。)從增益元件 74 處傳播的脈衝光會從雙色光學元件 82<sub>2</sub> 處反射偏離並且離開 DPSS-PA 16b，而當作串接光放大器輸出。

在圖 3C 中，從 FPA 模組處 14 傳播的輸出會進入一 DPSS-PA 16c 的增益元件 74 之中。增益元件 74 會藉由一二極體泵激元件 86 來進行側邊泵激。從增益元件 74 處傳

播的脈衝光會離開 DPSS-PA 16c，而當作串接光放大器輸出。

在圖 3D 中所示的係 DPSS-PA 16c 的第一替代實施例，其係利用串聯排列的增益元件  $74_1$  與  $74_2$  來施行，該等增益元件  $74_1$  與  $74_2$  會藉由個別的二極體泵激元件  $86_1$  與  $86_2$  來進行側邊泵激以形成一 DPSS-PA 16d。從增益元件  $74_2$  處傳播的脈衝光會離開 DPSS-PA 16d，而當作串接光放大器輸出。

在圖 3E 中所示的係 DPSS-PA 16c 的第二替代實施例，其係利用增益元件 74 來施行，該增益元件 74 會藉由二極體泵激元件  $88_1$  與  $88_2$  在兩個側邊進行泵激以形成一 DPSS-PA 16e。從增益元件 74 處傳播的脈衝光會離開 DPSS-PA 16e，而當作串接光放大器輸出。

在圖 3F 中，從 FPA 模組處 14 傳播的輸出會以一角度從高度反射的面鏡 72 處反射偏離至一 DPSS-PA 16f 的增益元件 74 之中，該角度會經過選擇俾使傳播穿過增益元件 74 的脈衝光會撞擊雙色光學元件 76 並且會第二次通過增益元件 74。增益元件 74 會藉由二極體泵激元件 80 經由雙色光學元件 76 來進行末端泵激。從增益元件 74 處傳播的二次通過脈衝光接著便會離開 DPSS-PA 16f，而當作串接光放大器輸出。

熟練的人士便會瞭解，藉由合宜地排列反射元件與選擇增益元件維度，便可施行額外的多次通過實施例。額外的多次通過實施例包含利用側邊泵激(例如圖 3C 至 3E 中

所示者)及多個增益元件(例如圖 3D 中所示者)所施行的實施例。DPSS-PA 16a、16b、16c、16d、16e、以及 16f 等每一個實施例均含有一固態增益媒體(其可能係棒狀、圓柱狀、圓盤狀、或是矩形的平行管狀),並且會在每個脈衝的第三能量處產生經過設計的脈衝輸出以及第三脈衝尖峰功率,其經過設計的第三輸出脈衝形狀時間輪廓實質上會與第一中心波長處之經過設計的輸入脈衝形狀時間輪廓相等。

圖 2 所示的係其中一種設計方式,圖中的串接光放大器 10 的輸出會被耦合至虛線所示的諧振轉換光學元件模組 90 之中。諧振轉換光學元件模組 90 含有非線性晶體,用以經由熟知的諧振轉換技術來將一入射輸入脈衝轉換成較高的諧振頻率。在將 FPA 模組 14 所輸出的 1064nm 諧振轉換成 355nm 的第一實施例中,諧振轉換光學元件模組 90 含有用於進行第二諧振生成(SHG)轉換的第二類非臨界相位匹配的三硼酸鋰(LBO)晶體,其後面則係用於進行第三諧振生成(THG)轉換的第一類非臨界相位匹配的三硼酸鋰。在諧振轉換成 266nm 的第二實施例中,則可利用臨界相位匹配的貝塔硼酸鋇(BBO)晶體來取代 THG LBO 晶體。在施行第四諧振生成(FHG)轉換成 266nm 的第三實施例中,則可替代性地運用 CLBO。於第四實施例中,接著會在一深 UV 非線性晶體(其可能係貝塔硼酸鋇(BBO))之中來混合 SHG(532nm)輸出與 THG(355nm)輸出,用以在 213nm 處產生第五諧振輸出。

諧振轉換光學元件模組 90 會在每個脈衝的第四能量處產生經過設計的脈衝輸出以及第四脈衝尖峰功率，其經過設計的第四輸出脈衝形狀時間輪廓會對應於第二中心波長處之經過設計的輸入脈衝形狀時間輪廓的相關特點。

在圖 2 的串接光放大器 10 的較佳施行方式中，DLPS 12 包含一穩頻半導體雷射晶種源 24，最佳的係，其會在中心波長為 1064.4nm 處發射，具有  $\pm 0.2\text{nm}$  的中心波長公差，而且頻譜脈衝寬度  $< 0.3\text{nm}$ ，因此，DLPS 12 的輸出在頻譜上會妥適地匹配於摻雜 Yb 的 PAGF 50 並且接著會妥適地匹配於 DPSS-PA 16。熟習本技術的人士便會瞭解，此精確的頻譜匹配並非係有效操作 FPA 模組 14 的必要條件，不過卻會促成含有 DPSS-PA 16 之積體串接放大器的有效操作。於一較佳的實施例中，DLPS 12 與 FPA 模組 14 係一經過設計的脈衝主振盪器光纖功率放大器的組件，該經過設計的脈衝主振盪器光纖功率放大器的其中一種範例在 Deladurantaye 等人的美國專利申請公告案第 US2006/0159138 號中便作過說明。在其中一數值範例中，在 100KHz 處，約 0.6W 之經放大的 DLPS 輸出在頻譜上會妥適地匹配於 DPSS 增益元件 74，其較佳的係 0.3% 摻雜的  $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ 。於 DPSS-PA 16 的一較佳實施例中，增益元件 74 的維度係  $3\text{mm}\times 3\text{mm}\times 15\text{mm}$ ，並且係由單一 DPE 元件 84<sub>1</sub> 來泵激。單一 DPE 元件 84<sub>1</sub> 會將約 30W 的 808nm 半導體二極體雷射泵激功率耦合至增益元件 74 之中。經放大的 DLPS 輸出會在增益元件 74 中產生約  $500\mu\text{m}$  的束腰直徑。

於此範例中，會在 100KHz 處產生約 6W 的 1064.4nm 串接光放大器輸出。串接光放大器 10 之 1064.4nm 的脈衝振幅輪廓  $90_{IR}$  範例顯示在圖 3G 中。

接著便會將串接放大器輸出耦合至含有運作在約 150°C 處 4mmx4mmx20mm 之第一類非臨界相位匹配的 LBO 晶體及運作在約 30°C 處之非臨界相位匹配的第二類 LBO 晶體的諧振轉換光學元件模組 90 之中，其中，兩個晶體之中的束腰均約為 50  $\mu$ m，其會產生約 3W 的 532nm 輸出及約 0.5W 的 355nm 輸出。該諧振串接放大器輸出的時間輪廓顯示在圖 3G 中。

圖 3G 係以諧振轉換模組 90 的輸出為例，分別顯示出紅外光波長(1064.4nm)、綠光波長(532nm)、以及紫外光波長(355nm)之經過設計的椅狀脈衝形狀時間輪廓  $90_{IR}$ 、 $90_{GRN}$ 、以及  $90_{UV}$ 。圖 3G 顯示出較短波長的「椅背」與「椅座」的總高度(也就是，功率位準)會較低，並且還顯示出每一道光波長均有相關的椅狀輪廓特點。前述三條時間輪廓會被視為實質忠實地複製經過設計的輸入脈衝形狀時間輪廓。熟練的人士便會明白，諧振轉換模組 90 可能會產生中間諧振波長，舉例來說，IR 波長  $\rightarrow$  濾光波長  $\rightarrow$  UV 輸出波長，所以，本文中的「第二波長」一詞所指的係 UV 波長。諧振轉換光學元件模組 90 的元件可被置放在溫控基座之中，其溫度係使用一或兩個主動與被動回授迴圈，由串接放大器控制器 28 來設定與控制，以便精確地控制相位匹配溫度。

圖 4A 所示的係一串接光放大器的替代實施例 10'，其中，所使用的特定光學元件不同於圖 2 中所示之串接光放大器 10 中所使用的光學元件，並且除了圖 2 中所示之串接光放大器 10 中所使用的光學元件之外，還使用其它的特定光學元件。圖 4A 顯示出一 DLPS 12'，其係由一第一調變增益模組級 92 與一非必要的第二調變增益模組級 94 串接所配置而成的。第一調變增益模組級 92 包含一脈衝調變器與一脈衝增益模組，分別對應於圖 2 的脈衝調變器 34 與脈衝增益模組 30；而第二調變增益模組級 94 亦包含一脈衝調變器與一脈衝增益模組，分別對應於圖 2 的脈衝調變器 36 與脈衝增益模組 32。一替代的施行方式則係使用單一調變增益模組 92，連同中間的光學隔絕器 40，共同來產生一適合用於放大之經過設計的雷射脈衝輸出。如圖 2 的 DLPS 12 的情況中所示，可將一命令信號矩陣傳送至調變增益模組級 92 與 94 中的脈衝調變器來程式化串接放大器控制器 28，用以產生一雷射脈衝輪廓範圍，當將該雷射脈衝輪廓範圍套用至調變增益模組級 92 與 94 時，其便會產生希望從 DLPS 12' 輸出之經過轉換的雷射脈衝輪廓。

圖 4A 還顯示出 FPA 模組 14 的輸出會被耦合至射束調整光學元件 96 用以產生必要的射束屬性，以便有效地傳送至一調變器 98。調變器 98 較佳的係聲光類型，不過亦可能係電光類型。調變器 98 的輸出會被耦合至 DPSS-PA 16 之中，其會如上面所述般地放大該經過設計的雷射脈衝輸

出。

圖 4B 所示的係一串接光放大器的替代實施例 10a，其中，圖 3A 中所示的 DPSS 放大器 16a 取代了圖 2 中所示之串接光放大器 10 中所使用的 FPA 14。此取代會使得一串接光放大器運用 DLPS 主振盪器及多個 DPSS 放大器級，其中，DPSS 放大器 16a 與 16b 分別係第一級 DPSS 放大器與第二級 DPSS 放大器。第一級 DPSS 放大器 16a 通常會產生約 30 倍的信號增益。必要時，可將光學隔絕器 40 設置在 DPSS 放大器 16a 與 16b 的輸出處，並且將耦合光學元件裝置 100 設置在 DPSS 放大器 16a 與 16b 的輸入處，用以將輸入光聚焦至它們的增益元件之中。

圖 5A 所示的係利用動態雷射脈衝修形器 12'' 所建構的串接光放大器 10''，動態雷射脈衝修形器 12'' 係動態雷射脈衝修形器 12 的替代實施例。明確地說，圖 5A 所示的係利用一或多個超快速脈衝式光纖雷射主振盪器 104 所施行的動態雷射脈衝修形器 12''，其會在小於  $2.2 \mu\text{m}$  但大於  $100\text{nm}$  的波長處發出小於  $500\text{ps}$  但大於  $1\text{fs}$  的脈衝寬度的脈衝。脈衝式光纖主振盪器 104 會在第一功率  $P_1$  及第一頻率  $f_1$  處發射輸出，用以傳送至一被設置在兩個光學隔絕器 40 之間的調變器 106。由串接放大器控制器 28 傳送至調變器 106 地控制信號 108 會在第二功率  $P_2$  及第二頻率  $f_2$  處產生雷射脈衝修形器 12'' 的雷射輸出。雷射脈衝修形器 12'' 的輸出則會被施加至一窄頻譜功率放大器 110。

脈衝式光纖主振盪器 104 與窄頻譜光纖功率放大器 110

較佳的係含有頻率選擇元件，以便產生適合供 DPSS-PA 16 進行後續放大的窄頻譜頻寬及所希的中心波長。此等頻率選擇元件可能包含布拉格光纖光柵或穩頻晶種振盪器。如圖 5A 中所示，串接放大器控制器 28 可能會送出控制信號 108 至調變器 106，用以將較高頻率  $f_1$  的主振盪器輸出除降至更適合有效放大的較低頻率  $f_2$  處。 $f_1$  的示範性範圍係從 20MHz 至 200MHz，而  $f_2$  的示範性範圍則係從 10KHz 至 20MHz。熟練的人士便會瞭解， $f_1$  與  $f_2$  之間的關係為  $f_2=f_1/n$ ，其中， $n$  為整數值。窄頻譜光纖功率放大器 110 的輸出會經由一耦合光學元件模組 112(其係被設置在光學隔絕器 40 之間)被傳送至 DPSS-PA 16 與非必要的諧振轉換光學元件模組 90。

圖 5B 所示的係串接光放大器的替代實施例 10''a，其中，已經移除窄頻譜光纖功率放大器 110 並且利用一多級 DPSS 放大器 16m 來取代圖 5A 中所示的串接光放大器 10'' 的 DPSS 放大器 16。此配置會產生一脈衝拾取式超快速串接光放大器，其中，超快速動態雷射脈衝修形器 12'' 的輸出會被耦合至多級 DPSS 放大器 16m 之中，接著其輸出便會被應用至諧振轉換光學元件模組 90。在第一實施例中，多級 DPSS 放大器 16m 包含兩個單次通過、末端泵激的 Nd:YVO<sub>4</sub> 放大器，例如兩個 DPSS-PA 16a 或 DPSS-PA 16b。在第二實施例中，多級放大器 16m 包含兩個多次通過、末端泵激的 Nd:YVO<sub>4</sub> 放大器，例如兩個 DPSS-PA 16f。熟練的人士便會明白，在替代例中，亦可運用側邊泵激的 Nd:

YVO<sub>4</sub> 放大器，並且還可運用另一固態增益媒體，例如 Nd : YAG、Nd : YLF、Nd : YVO<sub>4</sub>、Nd : GdVO<sub>4</sub>、Nd : YAP、或 Nd : LuVO<sub>4</sub>。

圖 6 所示的係一串接光放大器 10''，其和串接光放大器 10'' 的差異在於脈衝式光纖放大器輸出係被施加至 DPSS-PA 16''，其含有經過選擇或調整的頻率選擇元件(例如布拉格光纖光柵或穩頻晶種振盪器)來產生所希的頻譜輸出特徵。於該 DPSS-PA 16'' 之中會併入一鎖頻元件 120，用以提供回授置窄頻譜光纖功率放大器 110，用以幫助將其輸出頻譜鎖頻至 DPSS-PA 16'' 的增益媒體的增益頻譜處。使用回授可讓該經過設計的輸入脈衝多次通過 DPSS-PA 16'' 的增益媒體。

圖 7A 與 7B 所示的係 DPSS-PA 16 的輸出處可產生的示範時間脈衝形狀。於一較佳的實施例中，圖 7A 與 7B 中所示的時間脈衝形狀係經由對一功率放大器(舉例來說，FPA 14)的脈衝形狀輸入進行合宜的調變而利用上面所述類型的雷射脈衝修形器所產生的。調變方法可能包含藉由聲光調變器或電光調變器來對該功率放大器的輸入進行二極體泵激調變或外部調變。對被供應至該功率放大器的泵激功率進行調變亦可用來進一步修正該雷射子系統所產生的時間脈衝形狀。

如圖 8 中所示，串接光放大器 10 的優點係可充當一雷射處理系統 200 的雷射源。一系統控制電腦 202 會提供整體的系統操作命令給一內建控制電腦(ECC)204，串接放大

器控制器 28 與一射束位置控制器(BPC)206 則會回應該等系統操作命令。串接光放大器 10 會受控於串接放大器控制器 28，其包含命令與資料暫存器 208 及計時器 210，它們會直接或間接地與 ECC 204 及 BPC 206 進行通信。

控制器 28 會從內建控制電腦(ECC)204 處接收命令並且從射束位置控制器(BPC)206 處接收信號，並且提供命令給串接光放大器 10，用以進行脈衝發射(經由外部觸發命令)與脈衝形狀控制。於一較佳的實施例中，控制器 28 會從 ECC 204 處接收命令並且響應以依據工作件特徵圖案位置資料來協同 BPC 206 從一調變器控制器 212 送出外部觸發命令給串接光放大器 10。調變器控制器 212 會控制串接光放大器 10 所發出的脈衝的發射時間與形狀。或者，串接光放大器 10 會發出具有脈衝間隔時間的脈衝，該脈衝間隔時間會被送至控制器 28、ECC 204、或兩者。於一較佳的實施例中，所發出的雷射脈衝會入射的工作件特徵圖案的類型而定，ECC 204 會命令串接光放大器 10 以產生一特定的時間脈衝輪廓。實用的時間輪廓的解釋性範例顯示在圖 7A 與 7B 之中。舉例來說，為掃描一晶圓樣品 222 上的一目標對齊工作件特徵圖案 220，如圖 9 中所示，非常低的尖峰功率及每道脈衝非常低的能量可能比較有利，如此便不致於會破壞該特徵圖案。半導體記憶體連結線結構 224 則可能以較高的尖峰功率及每道脈衝較高的能量來處理會最為有利。

熟習本技術的人士便會明白，對半導體的雷射處理及

其它類型的工作件來說，如果可採用廣泛的較佳尖峰功率、每道脈衝的能量數額、以及時間能量輪廓的話則可能會極具吸引力。所以，便希望有一種方法與設備能讓一雷射處理系統的使用者來程式化要用於可能會在一晶圓或複數個晶圓上碰到的一特定工作件群的時間輪廓。

此種方法與設備包含以符合需求的方式來測量與校正相關雷射處理參數(例如時間輪廓、每道脈衝的能量、以及被聚焦射束傳播屬性)之範圍的儀器。如圖 8 中所示，系統光學元件 226 較佳的係可能包含一光偵測模組 228，其可用來偵測入射雷射輸出及反射自該工作表面的雷射輸出。光偵測模組 228 較佳的係含有一能夠對被偵測到的光信號(例如入射雷射輸出信號及反射雷射輸出信號)進行精密數位化的光偵測器電路，從而允許有效地數位化該等入射脈衝波形及反射脈衝波形。此種方法與設備會以符合需求的方式來測量該等入射雷射波形及反射雷射波形，以允許計算與校正時間輪廓、時間輪廓變異、脈衝振幅穩定性、脈衝能量穩定性、以及每道脈衝的能量。熟習本技術的人士便會瞭解，接著在該雷射波長處具有變化劇烈之反射率的目標區域之上掃描該雷射射束便能夠提供一種測量與校正方法，用以測量與校正該雷射射束的聚焦點尺寸屬性。

在運用串接光放大器 10 的雷射處理系統 200 的一較佳實施例中，如圖 8 中所示，串接放大器輸出會被施加至雷射線軌光學元件 230 與系統光學元件 226。系統光學元件 226 的輸出會藉由摺疊面鏡 232 被導向一 Z 定位機制 234，

其可能含有一透鏡組件，用以接著傳送至目標樣品 222 的工作表面 236，以便對工作件特徵圖案(舉例來說，目標對齊特徵圖案 220 與記憶體連結線結構 224)進行雷射處理。BPC 206 會提供 X-Y 座標定位信號來將一 X-Y 定位機制 240 引導至讓 Z 定位機制 234 的輸出能夠處理一所希目標特徵圖案的位置處。X-Y 定位機制 240 會從 BCP 206 的暫存器 242 中接收命令位置信號並且將實際的位置信號導向至 BCP 206 的位置編碼器 244，BCP 206 包含一比較器模組 246，其會決定一位置差異值並且將其發送至計時器 210。計時器 210 會響應以傳送一經過正確計時的觸發信號，以便在雷射線軌光學元件 230 中操作一聲光調變器 248，其會調變串接光放大器 10 的輸出。熟習本技術的人士便會瞭解，串接光放大器 10 所輸出的脈衝可被導向至諧振轉換模組 90 之中，並且接著會藉由雷射線軌光學元件 230 與系統光學元件 226 被傳送至工作表面 236，以便對工作件特徵圖案進行諧振雷射處理。

熟習本技術的人士便會瞭解，可運用替代的雷射處理系統元件排列，並且可藉由一運用串接光放大器 10 的雷射處理系統來處理各種的工作件。

熟習本技術的人士便會明白，在不脫離本發明的基本原理下可對上面所述之實施例的細節進行眾多變化。所以，本發明的範疇僅應該由下面的申請專利範圍來決定。

#### 【圖式簡單說明】

圖 1 所示的係一串接光放大器之光學元件的較佳排列

的方塊圖。

圖 2 所示的係圖 1 的串接光放大器之光學元件的更細部圖式。

圖 3A、3B、3C、3D、3E、以及 3F 所示的係內含在圖 2 的串接光放大器之中的二極體泵激固態功率放大器的各種增益元件-光學泵激配置替代例。

圖 3G 所示的係一組示波曲線，以圖 2 的諧振轉換模組輸出為例，該等區線分別代表紅外光波長、綠光波長、以及紫外光波長之經過設計的椅狀脈衝形狀時間輪廓。

圖 4A 所示的係一串接光放大器的替代實施例，本實施例中所使用的特定光學元件不同於圖 2 之串接光放大器中所使用的光學元件，並且除了圖 2 之串接光放大器中所使用的光學元件之外，還使用其它的特定光學元件。

圖 4B 所示的係運用圖 2 的動態雷射脈衝修形器(DLPS)級與圖 3A 與 3B 的二極體泵激固態(DPSS)放大器級的串接光放大器的替代實施例。

圖 5A 所示的係圖 1 的動態雷射脈衝修形器的替代實施例。

圖 5B 所示的係將圖 5A 的動態雷射脈衝修形器的輸出耦合至一多級 DPSS 放大器以形成一脈衝拾取式超快速串接光放大器的串接光放大器的替代實施例。

圖 6 所示的係應用至一二極體泵激固態功率放大器的脈衝式光纖輸出，其運用頻率選擇元件來產生所希的頻譜輸出特徵。

圖 7A 與 7B 所示的係圖 2 的二極體泵激固態功率放大器的輸出處可再生的示範時間脈衝形狀。

圖 8 所示的係一雷射處理系統，其中運用到圖 1 的串接光放大器。

圖 9 所示的係一半導體晶圓的示意圖，在其工作表面上具有一目標對齊工作件特徵圖案與複數個半導體連結線結構。

【主要元件符號說明】

10	串接光放大器
10'	串接光放大器
10''	串接光放大器
10'''	串接光放大器
10a	串接光放大器
10''a	串接光放大器
12	動態雷射脈衝修形器
12'	動態雷射脈衝修形器
12''	動態雷射脈衝修形器
14	光纖功率放大器
16	二極體泵激固態光放大器
16'''	二極體泵激固態光放大器
16a	二極體泵激固態光放大器
16b	二極體泵激固態光放大器
16c	二極體泵激固態光放大器
16d	二極體泵激固態光放大器

- 16e 二極體泵激固態光放大器
- 16f 二極體泵激固態光放大器
- 16m 多級二極體泵激固態光放大器
- 24 雷射注射源
- 26 光學調變器
- 26' (未定義)
- 28 串接放大器控制器
- 30 脈衝增益模組
- 32 脈衝增益模組
- 34 脈衝調變器
- 36 脈衝調變器
- 40 光學隔絕器
- 50 功率放大器增益光纖
- 52 功率放大器耦合器
- 54 功率放大器耦合器
- 56 功率放大器泵激雷射
- 58 功率放大器泵激雷射
- 62 功率放大器泵激雷射
- 64 功率放大器泵激雷射
- 72 面鏡
- 74 增益元件
- 74<sub>1</sub> 增益元件
- 74<sub>2</sub> 增益元件
- 76 雙色光學元件

- 80 二極體泵激元件
- 82<sub>1</sub> 雙色光學元件
- 82<sub>2</sub> 雙色光學元件
- 84<sub>1</sub> 二極體泵激元件
- 84<sub>2</sub> 二極體泵激元件
- 86 二極體泵激元件
- 86<sub>1</sub> 二極體泵激元件
- 86<sub>2</sub> 二極體泵激元件
- 88<sub>1</sub> 二極體泵激元件
- 88<sub>2</sub> 二極體泵激元件
- 90 諧振轉換光學元件模組
- 92 調變增益模組級
- 94 調變增益模組級
- 96 射束調整光學元件
- 98 調變器
- 100 耦合光學元件裝置
- 104 超快速脈衝式光纖雷射主振盪器
- 106 調變器
- 108 控制信號
- 110 窄頻譜光纖功率放大器
- 112 耦合光學元件模組
- 120 鎖頻元件
- 200 雷射處理系統
- 202 系統控制電腦

- 204 內建控制電腦
- 206 射束位置控制器
- 208 暫存器
- 210 計時器
- 212 調變器控制器
- 220 目標對齊工作件特徵圖案
- 222 目標樣品
- 224 記憶體連結線結構
- 226 系統光學元件
- 228 光偵測模組
- 230 雷射線軌光學元件
- 232 摺疊面鏡
- 234 Z 定位機制
- 236 工作表面
- 240 X-Y 定位機制
- 242 暫存器
- 244 位置編碼器
- 246 比較器模組
- 248 聲光調變器

## 十、申請專利範圍：

1. 一種串接光放大器，其包括：

一串接放大器控制器；

一動態雷射脈衝修形產生器，其響應於該串接放大器控制器發射經過設計的(脈衝頻譜輸出)，該雷射脈衝修形產生器包含一脈衝式光纖型雷射源，其配置成用以在一操作脈衝重複頻率處於第一尖峰功率、第一脈衝能量、以及經過設計的時間脈衝輪廓處產生該經過設計的(脈衝頻譜輸出)；

一固態光放大器，在運作上會與該雷射脈衝修形產生器相關聯並且具有一放射波長；以及

一頻率選擇裝置，在運作上會與該脈衝式光纖型雷射源及該固態光放大器相關聯，用以將該經過設計的(脈衝頻譜輸出)有效地耦合至該固態光放大器的放射波長，並且從而讓該固態光放大器來產生經放大的(雷射輸出)，其特徵係會在第二尖峰功率與一第二脈衝能量處實質忠實地複製該經過設計的脈衝頻譜輸出的該經過設計的時間脈衝輪廓，該第二尖峰功率與該第二脈衝能量會分別大於該第一尖峰功率與該第一脈衝能量。

2. 如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，脈衝式光纖型雷射源包含一雷射振盪器，其會被光學耦合至一光纖功率放大器，用以產生該脈衝雷射輸出。

3. 如申請專利範圍第 2 項之串接光放大器，其中，該雷射振盪器包含一或多個二極體雷射。

4.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該脈衝式光纖型雷射源包含一光纖功率放大器，其具有一輸出以提供該脈衝雷射輸出經過設計的時間脈衝輪廓，該光纖功率放大器包含一功率放大器增益光纖。

5.如申請專利範圍第 4 項之串接光放大器，其中，該功率放大器增益光纖係大模面積光纖類型。

6.如申請專利範圍第 4 項之串接光放大器，其中，該功率放大器增益光纖包含選自由下面所組成之群中的一或多個摻雜物：釹（Nd）以及鐿（Yb）。

7.如申請專利範圍第 4 項之串接光放大器，其中，該功率放大器增益光纖係多模光纖類型。

8.如申請專利範圍第 4 項之串接光放大器，其中，該功率放大器包含一光晶體光纖放大器級。

9.如申請專利範圍第 4 項之串接光放大器，其中，該功率放大器包含多個光晶體光纖放大器級。

10.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該固態光放大器包含一二極體泵激固態功率放大器。

11.如申請專利範圍第 10 項之串接光放大器，其中，該二極體泵激固態功率放大器包含一被一或多個二極體泵激元件側邊泵激的增益元件。

12.如申請專利範圍第 10 項之串接光放大器，其中，該二極體泵激固態功率放大器包含一被一或多個二極體泵激元件末端泵激的增益元件。

13.如申請專利範圍第 10 項之串接光放大器，其中，該二極體泵激固態功率放大器包含多個增益元件，每一者均會被一或多個不同的二極體泵激元件側邊泵激。

14.如申請專利範圍第 10 項之串接光放大器，其中，該二極體泵激固態功率放大器包含多個增益元件，每一者均會被一或多個二極體泵激元件末端泵激。

15.如申請專利範圍第 10 項之串接光放大器，其中，該二極體泵激固態功率放大器包含多次通過、末端泵激的增益元件。

16.如申請專利範圍第 10 項之串接光放大器，其中，該二極體泵激固態功率放大器包含多次通過、側邊泵激的增益元件。

17.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該脈衝式光纖型雷射源包含一二極體泵激光纖主振盪器，其會在介於約 100nm 與約 2.2  $\mu\text{m}$  之間的波長處發出介於約 1fs 與約 500ps 之間的脈衝寬度的脈衝雷射輸出。

18.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該脈衝式光纖型雷射源包含一光纖雷射主振盪器，其在光學上會與一在介於約 100nm 與約 2.2  $\mu\text{m}$  之間的波長處發出介於約 1fs 與約 500ps 之間的脈衝寬度的脈衝雷射輸出的光纖功率放大器相關聯。

19.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該脈衝式光纖型雷射源包含一光纖雷射主振盪器。

20.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該

動態雷射脈衝修形產生器包括：

一主振盪器，其包含至少一調變器-放大器級用以在一脈衝能量、一脈衝尖峰功率、以及一第一中心波長之經過設計的脈衝時間輪廓處產生一經過設計的主振盪器脈衝輸出；以及

一光學泵激光纖功率放大器，其會響應於該經過設計的主振盪器脈衝輸出而在一脈衝能量、一脈衝尖峰功率、以及一位於該第一中心波長且實質等於該經過設計的主振盪器脈衝輸出之該經過設計的脈衝時間輪廓的經過設計的脈衝時間輪廓處產生一經過設計的光纖功率放大器脈衝輸出。

21.如申請專利範圍第 20 項之串接光放大器，其中，該固態光放大器包含選自由下面所組成之群中的一固態增益媒體： $\text{Nd}:\text{YVO}_4$ 、 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 、 $\text{Nd}:\text{YLF}$ 、 $\text{Nd}:\text{YAP}$ 、 $\text{Nd}$ ：玻璃、 $\text{Nd}:\text{LuVO}_4$ 、以及  $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ 。

22.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該經放大的雷射輸出的特徵係會在第一中心波長處實質忠實地複製該經過設計的時間脈衝輪廓，並且進一步包括在光學上會與該固態光放大器相關聯的光學諧振轉換器，用以轉換該第一中心波長並且在短於該第一中心波長的第二中心波長處產生一諧振轉換器輸出。

23.如申請專利範圍第 22 項之串接光放大器，其中，產生該諧振轉換器輸出所產生的尖峰功率會不同於該經放大雷射輸出之經過設計的脈衝時間輪廓之複製結果的第二

尖峰功率。

24.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該脈衝式光纖型雷射源包括多個二極體泵激光纖放大級，用以形成該經過設計的脈衝頻譜輸出。

25.如申請專利範圍第 24 項之串接光放大器，其中，該等多個二極體泵激光纖放大級包含第一二極體泵激放大光纖與第二二極體泵激放大光纖，該第一二極體泵激放大光纖會產生一第一輸出脈衝形狀，其會被耦合至該第二二極體泵激放大光纖之中，用以形成該經過設計的脈衝頻譜輸出。

26.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該脈衝式光纖型雷射源在光學上會與該等多個二極體泵激固態放大級相關聯，用以形成該經過設計的脈衝頻譜輸出。

27.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該固態光放大器具有一增益頻譜，且其中，該脈衝式光纖型雷射源包括具有一輸出波長的二極體雷射與具有一增益頻譜的光纖功率放大器，該二極體雷射的輸出波長會密切地匹配於該光纖功率放大器的增益頻譜與該固態光放大器的增益頻譜。

28.如申請專利範圍第 27 項之串接光放大器，其中，該二極體雷射係連續波類型並且會被光學耦合至一光學調變器，其會調變該連續波二極體雷射的輸出。

29.如申請專利範圍第 27 項之串接光放大器，其中，該二極體雷射係脈衝式類型。

30.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該脈衝式光纖型雷射源包含一光晶體光纖類型的功率放大器增益光纖。

31.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其中，該固態光放大器會接收一從該經過設計的脈衝頻譜輸出處所推知的經過設計的輸入脈衝，並且進一步包括被光學耦合至該頻率選擇裝置的增益媒體，以便讓該經過設計的輸入脈衝多次通過該增益媒體。

32.如申請專利範圍第 1 項之串接光放大器，其包括一雷射處理系統的子系統，其會引導對應於該經放大雷射輸出的處理雷射輸出，用以處理一目標樣品的工作件特徵圖案，並且包含：

一雷射射束位置控制器，其會提供命令定位信號給一射束定位機制，該處理雷射輸出會入射在該射束定位機制之上；以及

一系統控制電腦，其會提供操作命令，該串接放大器控制器與該射束位置控制器會回應該等操作命令俾使具有一所希時間脈衝輪廓的處理雷射輸出會被引導至該目標樣品中具有一所希工作件特徵圖案的位置。

33.如申請專利範圍第 32 項之串接光放大器，其中，一工作件特徵圖案之處理包含將半導體工作件做微加工。

34.如申請專利範圍第 33 項之串接光放大器，其中，該半導體工作件微加工包含半導體連結線處理。

十一、圖式：

如次頁

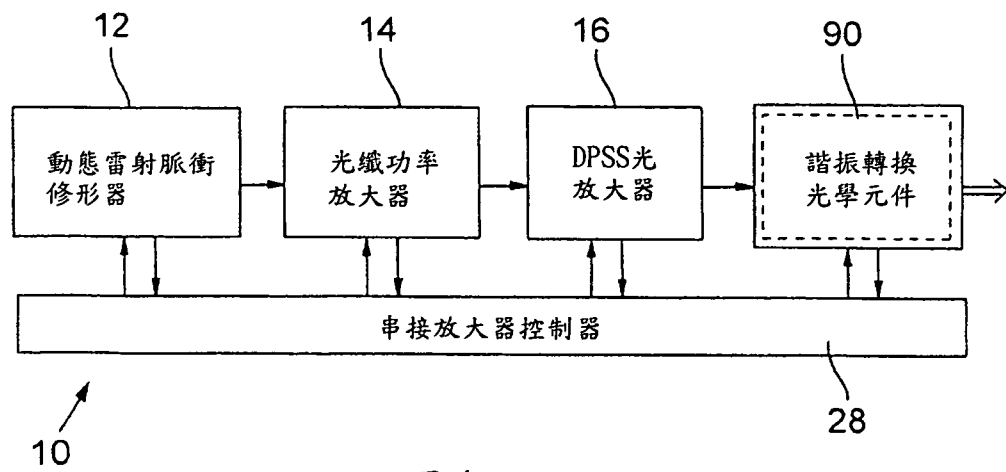


圖 1

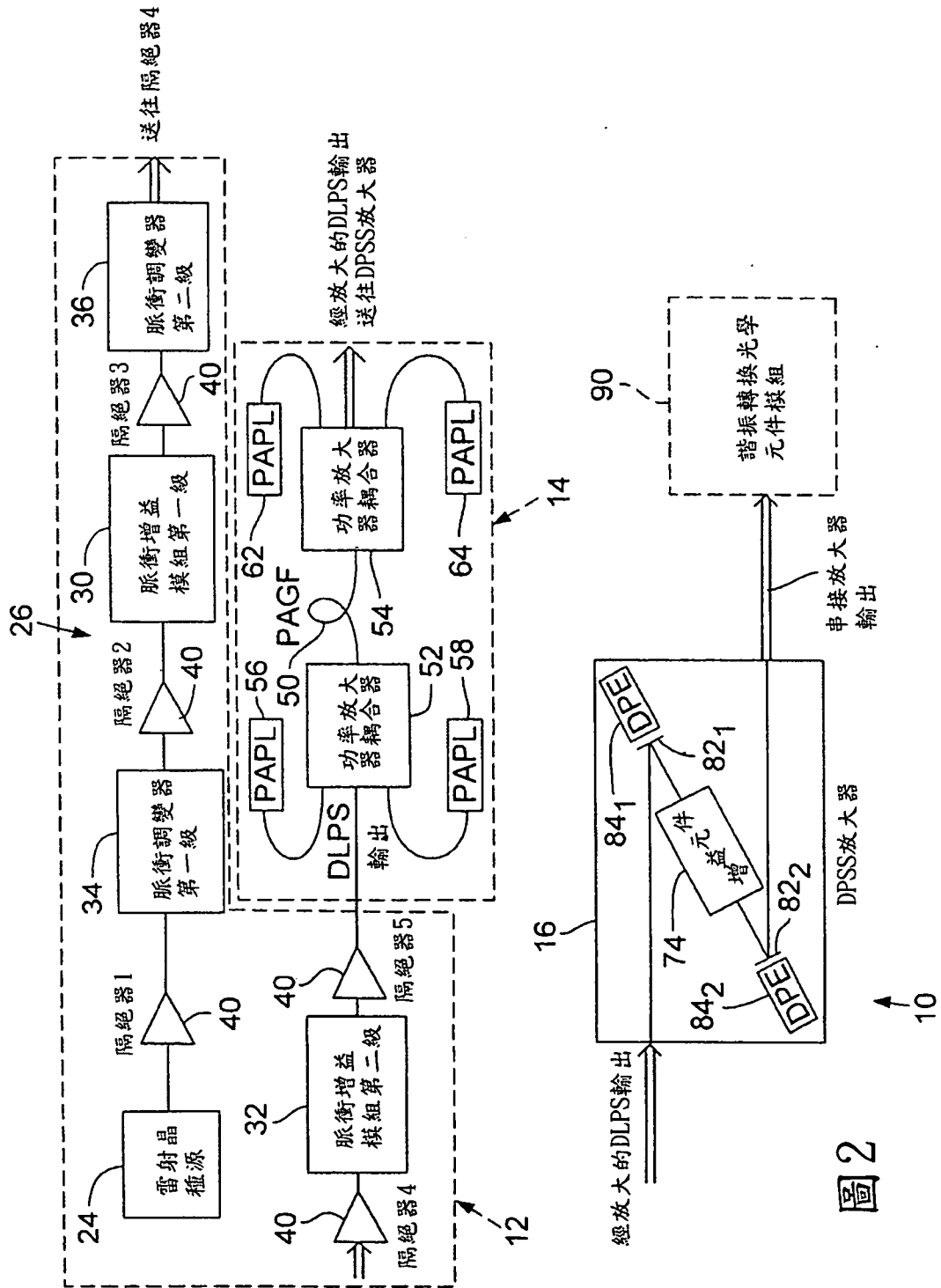


圖 2

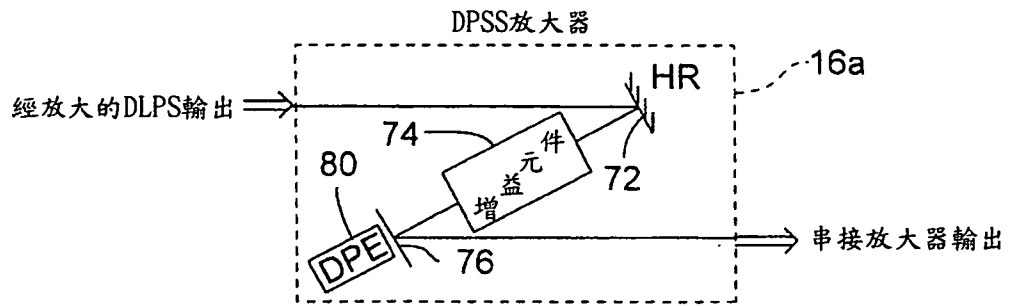


圖 3A

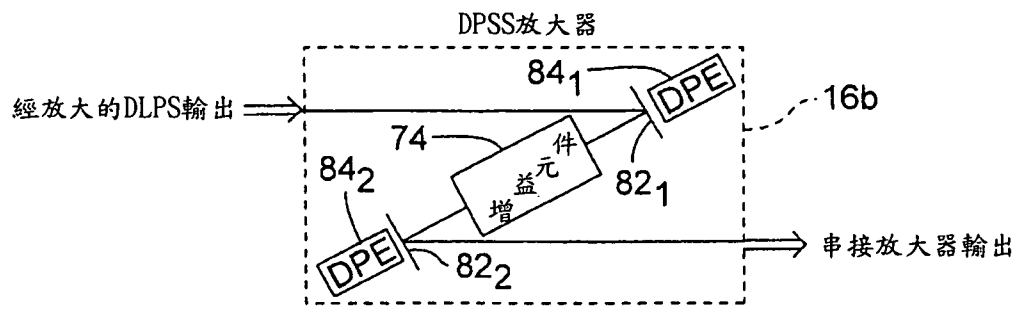


圖 3B

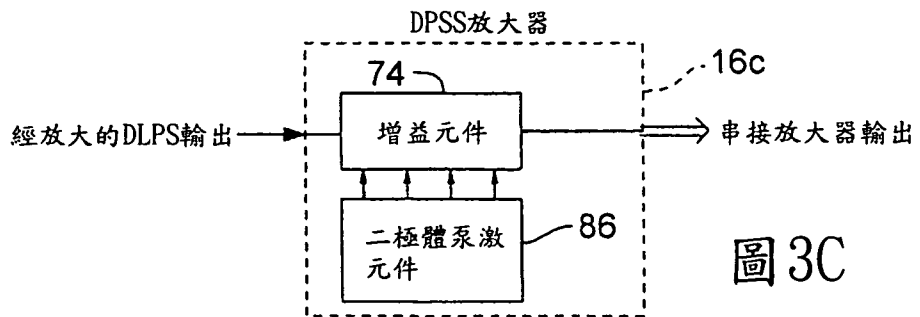
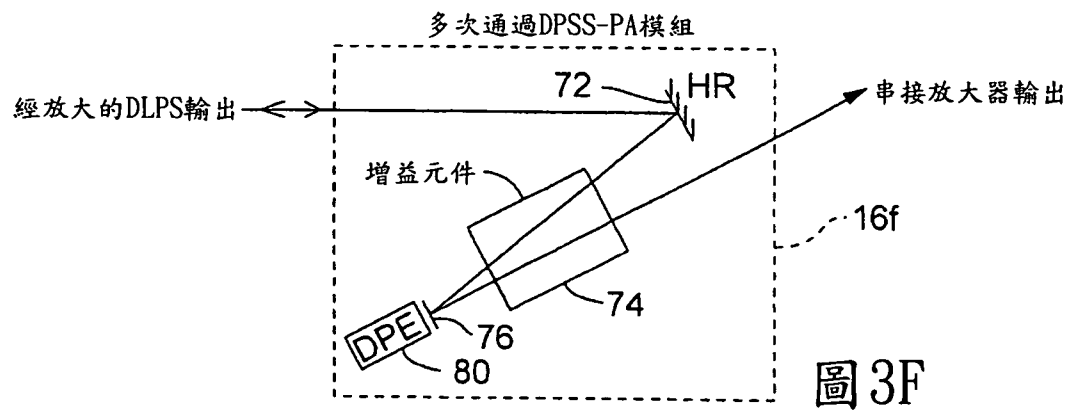
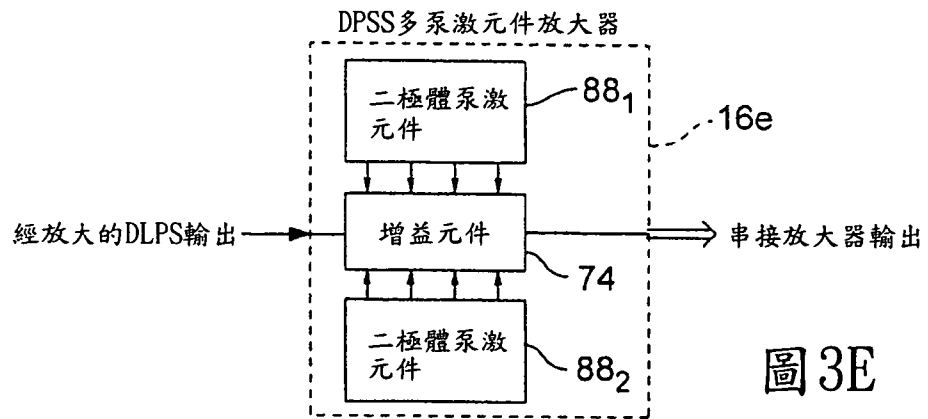
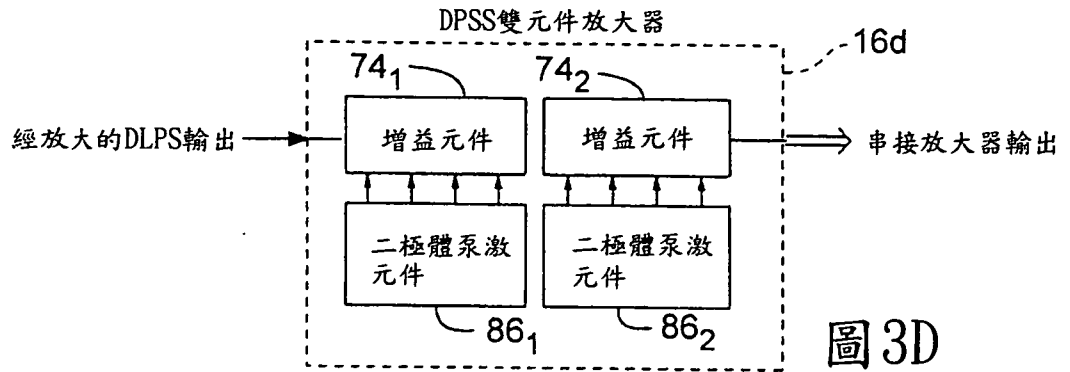


圖 3C



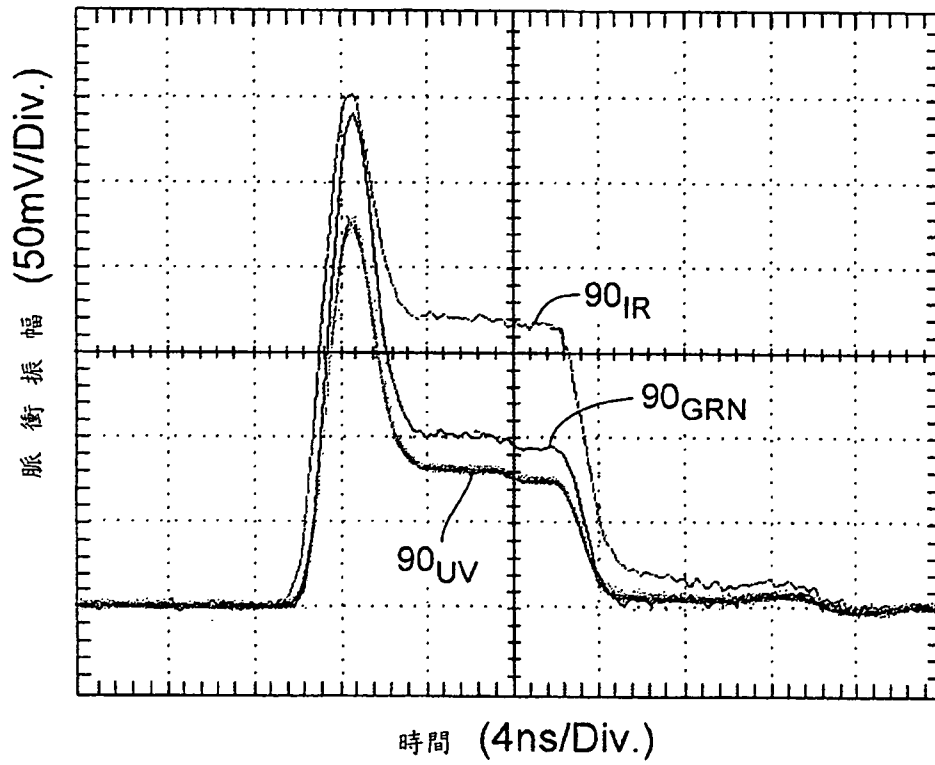


圖 3G

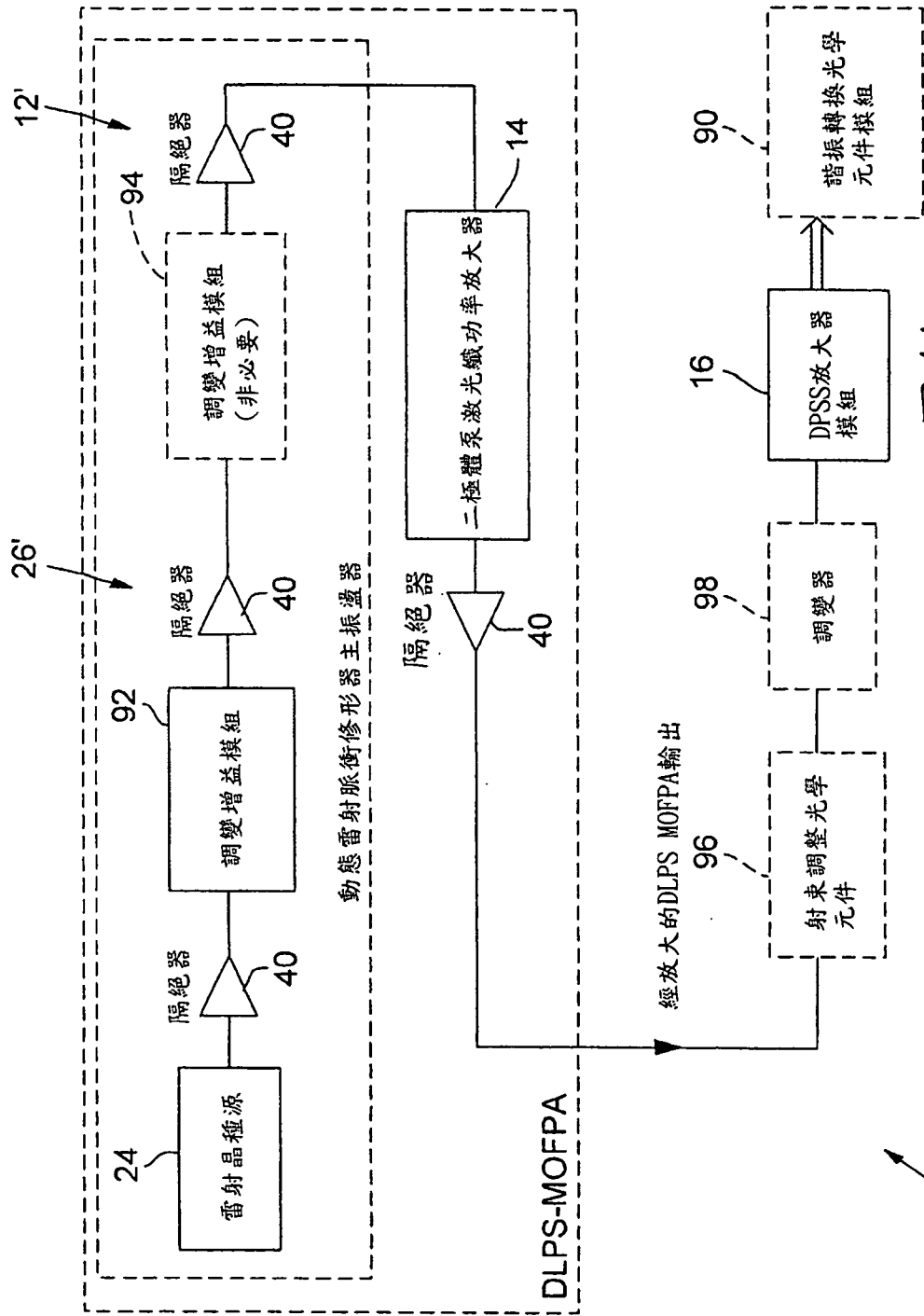


圖4A

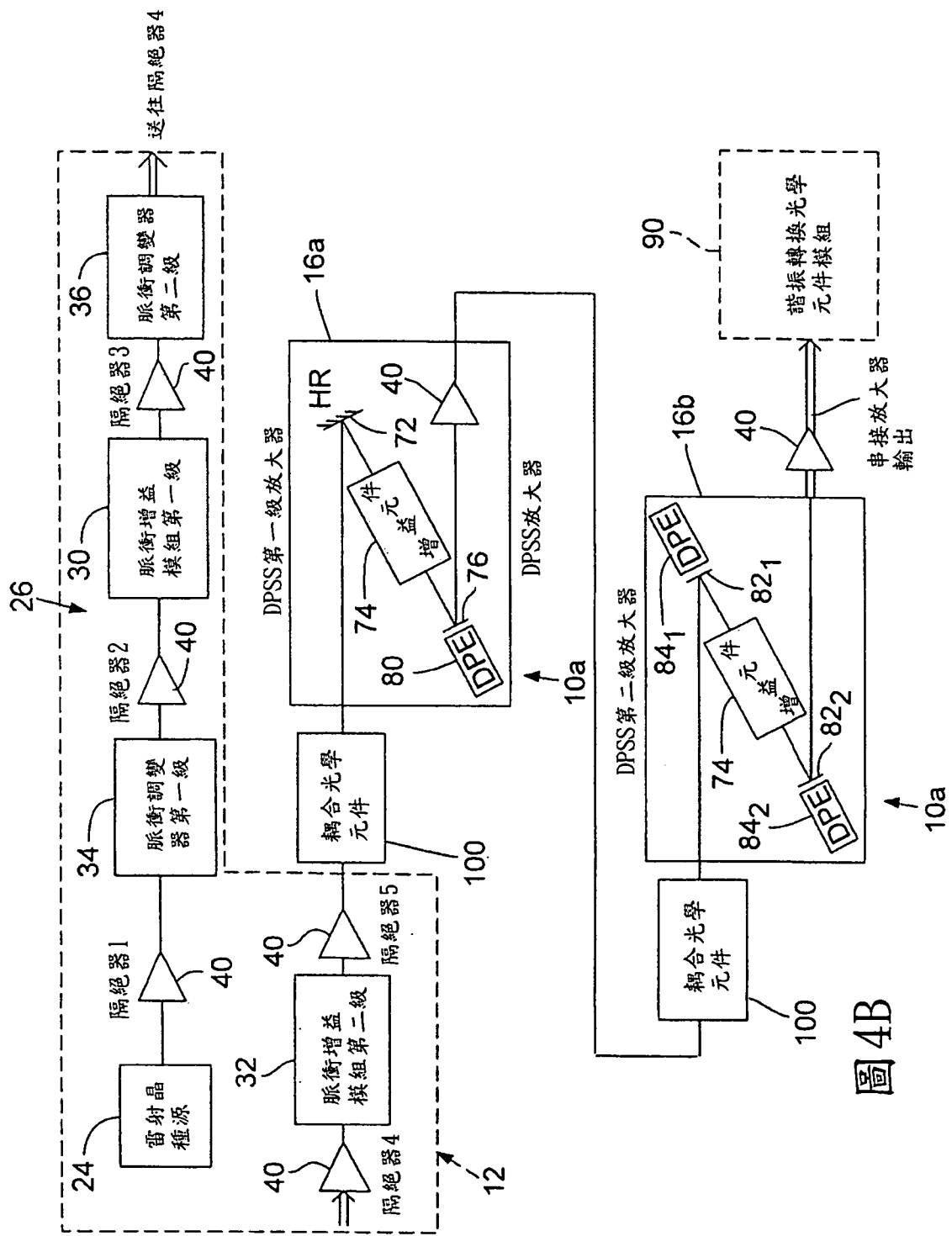


圖 4B

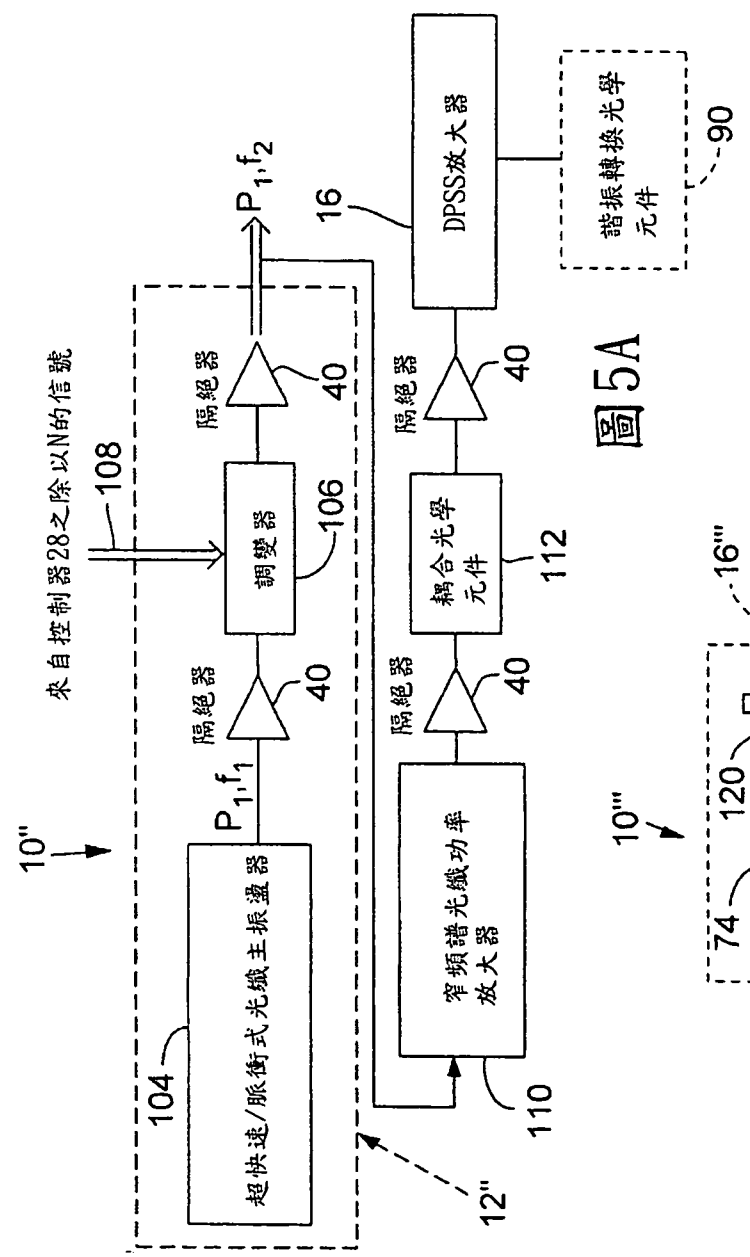


圖5A

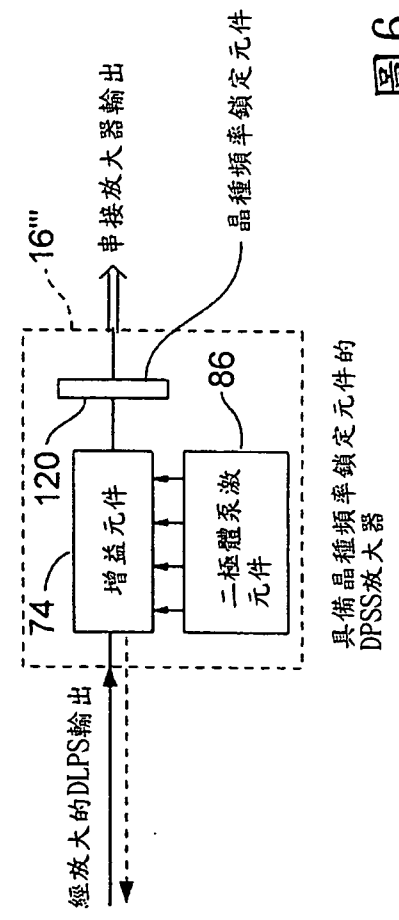


圖6

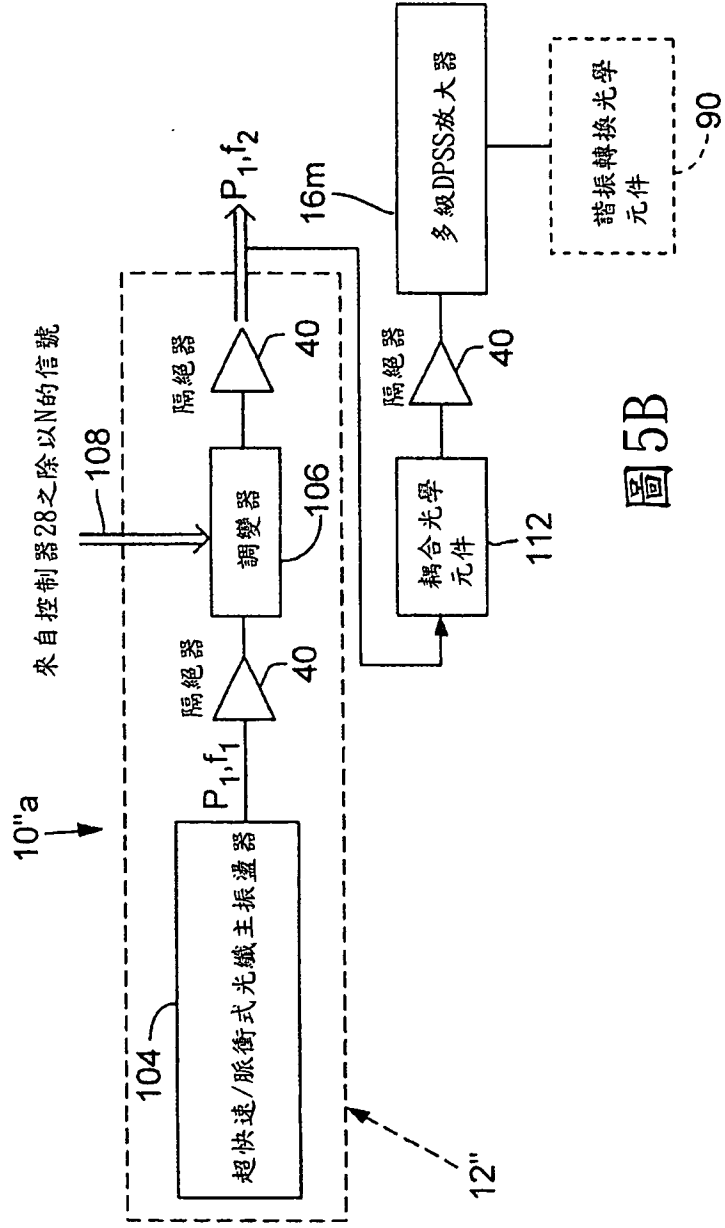
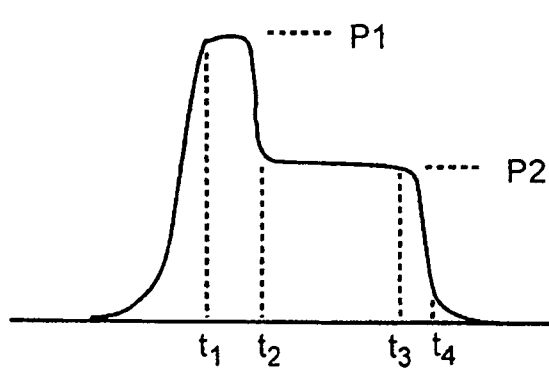


圖 5B

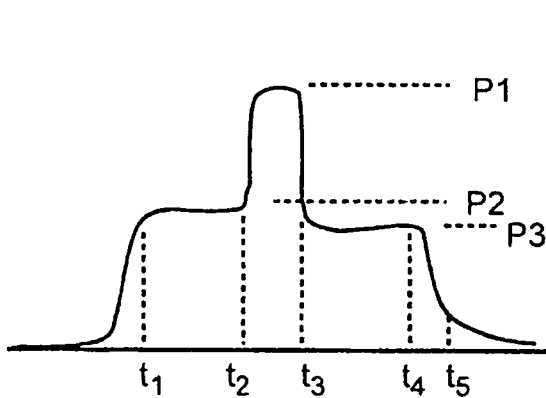
脈衝形狀放大「A」



$t_1$  = 上升時間,  $t_r$   
 $t_2 - t_1$  = 尖峰時間,  $t_s$   
 $t_3 - t_2$  = 「平台」時間,  $t_p$   
 $t_4 - t_3$  = 下降時間,  $t_f$   
 P1 = 最大振幅  
 P2 = 第一平台振幅  
 P1, P2 係可調整的

圖 7A

脈衝形狀放大「B」



$t_1$  = 上升時間,  $t_r$   
 $t_2 - t_1$  = 第一「平台」時間,  $t_{p1}$   
 $t_3 - t_2$  = 尖峰時間,  $t_s$   
 $t_4 - t_3$  = 第二「平台」時間,  $t_{p2}$   
 $t_5 - t_4$  = 下降時間,  $t_f$   
 P1 = 最大振幅  
 P2 = 第一平台振幅  
 P3 = 第二平台振幅  
 P1, P2, P3 係可調整的

圖 7B

