

申請日期：93-6-29	IPC分類
申請案號：93119197	H01S ³ / ₀

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

200601650

一、 發明名稱	中文	波長可調之藍光飛秒非共線式光參數放大器
	英文	A blue-light Generating Femtosecond Wavelength-tunable Non-collinear Optical Parametric Amplifier
二、 發明人 (共4人)	姓名 (中文)	1. 潘犀靈 2. 黃中堯
	姓名 (英文)	1. Ci-Ling Pan 2. J. Y. Huang
	國籍 (中英文)	1. 中華民國 TW 2. 中華民國 TW
	住居所 (中文)	1. 新竹市經國路一段528號17F-1 2. 新竹市富群街6巷4弄14號
	住居所 (英文)	1. 17F-1, No. 528, Ching-kou Rd., sec. 1, Hsinchu, Taiwan300, R. O. C. 2. No. 4, Alley4, Lane6, Fu-Chiun St., Hsinchu, Taiwan300, R. O. C.
三、 申請人 (共1人)	名稱或 姓名 (中文)	1. 國立交通大學
	名稱或 姓名 (英文)	1. National Chiao-Tung University
	國籍 (中英文)	1. 中華民國 TW
	住居所 (營業所) (中文)	1. 新竹市大學路1001號 (本地址與前向貴局申請者不同)
	住居所 (營業所) (英文)	1. No. 1001 University Rd., Hsinchu, Taiwan 300, R. O. C.
	代表人 (中文)	1. 張俊彥
代表人 (英文)	1. C. Y. Chang	



申請日期：	IPC分類
申請案號：	

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、 發明名稱	中文	
	英文	
二、 發明人 (共4人)	姓名 (中文)	3. 張景園 4. 李晁達
	姓名 (英文)	3. Jing-Yuan Zhang 4. Chao-Kuei Lee
	國籍 (中英文)	3. 美國 US 4. 中華民國 TW
	住居所 (中文)	3. 美國 喬治亞州GA30460-8031詩特波婁8031號信箱南喬治亞大學物理系 4. 高雄市鼓山區內惟路435巷7號
	住居所 (英文)	3. department of physics, Georgia Soutgern university, box 8031, Stateboro, Ga 30460-8031 4. No. 7, Lane 435, Nuai-wai Rd., Gu-HsanChiu, Kao-Hsung
三、 申請人 (共1人)	名稱或姓名 (中文)	City, Taiwan700, R. O. C.
	名稱或姓名 (英文)	
	國籍 (中英文)	
	住居所 (營業所) (中文)	
	住居所 (營業所) (英文)	
	代表人 (中文)	
	代表人 (英文)	



一、本案已向

國家(地區)申請專利

申請日期

案號

主張專利法第二十四條第一項優先權

無

二、主張專利法第二十五條之一第一項優先權：

申請案號：

無

日期：

三、主張本案係符合專利法第二十條第一項第一款但書或第二款但書規定之期間

日期：

四、有關微生物已寄存於國外：

寄存國家：

寄存機構：

寄存日期：

寄存號碼：

無

有關微生物已寄存於國內(本局所指定之寄存機構)：

寄存機構：

寄存日期：

寄存號碼：

無

熟習該項技術者易於獲得,不須寄存。



四、中文發明摘要 (發明名稱：波長可調之藍光飛秒非共線式光參數放大器)

本發明揭示一種利用串接非線性光混頻產生波長可調之飛秒(Femtosecond)非共線式光參數放大器，係提供藍光及近紫外波(380-460nm)一連續可調之光參數放大器。本發明包含一產生激發光源之波長倍頻裝置、一產生低揪頻之白光產生裝置、一產生波長可調之非共線光參數放大用晶體和一些固定樣品之夾具、反射鏡、時間延遲裝置、及旋轉晶體用轉動平臺。使用時，改變晶體角度即可提供一連續可調之串接非線性光混頻飛秒非共線式光參數放大器。

五、(一)、本案代表圖為：第 1 圖

(二)、本案代表圖之元件代表符號簡單說明：

1. 5/95 分光片

2. 30 公分正透鏡

六、英文發明摘要 (發明名稱：A blue-light Generating Femtosecond Wavelength-tunable Non-collinear Optical Parametric Amplifier)

The present invention discloses a means of the generation of tunable femtosecond pulses from 380nm to 465nm near the degenerate point of a 405-nm pumped type-I BBO noncollinearly phase-matched optical parametric amplifier (NOPA). The tunable UV/blue radiation is obtained from sum frequency generation (SFG) between the OPA output and the residual fundamental beam at 810-nm and cascaded



四、中文發明摘要 (發明名稱：波長可調之藍光飛秒非共線式光參數放大器)

5. 5公分正透鏡
6. 2毫米厚CaF₂ window
7. 焦距5公分之拋物鏡
8. 藍光全反射鏡
9. 銀鏡
10. 移動平臺
11. 焦距15公分鍍銀聚焦鏡
12. 200微米倍頻用BBO晶體
13. OPA激發光與種子光之夾角
14. 2毫米厚OPA用BBO晶體
15. 近紅外~800nm入射光
16. 經倍頻後~400nm之藍光
17. 由2毫米厚CaF₂ window產生之種子光
18. 由OPA激發光產生之超螢光
19. OPA基頻激發光
20. OPA無用光(idler)
21. 串接合頻Cascaded SFG
22. 光軸
23. OPA晶體旋轉方向
100. 串接合頻光參數放大器系統

六、英文發明摘要 (發明名稱：A blue-light Generating Femtosecond Wavelength-tunable Non-collinear Optical Parametric Amplifier)

second harmonic generation (SHG) of OPA. With a pumping energy of 75 mJ at 405 nm, the optical conversion efficiency from the pump to the tunable SFG is more than 5% and the efficiency of SHG of the OPA is about 2%.



五、發明說明 (1)

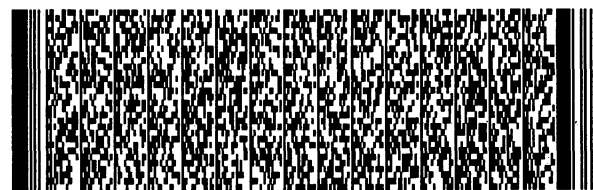
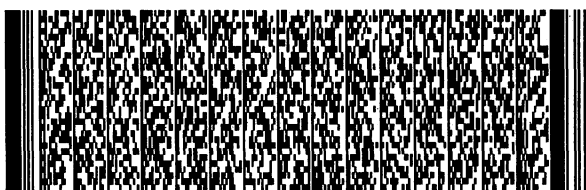
1. 發明所屬之技術領域

本發明係有關於一種光參數放大器，特別是有關於利用串接非線性光混頻產生波長可調之飛秒(Femtosecond)非共線式光參數放大器，以提供藍光及近紫外波(380-460nm)一連續可調之光參數放大器。

2. 先前技術

近幾年來，藍光的應用日廣，如高密度儲存是最熱門的產業。此一波段在生物科技及環境監控領域之應用尤其重要。此外，在時域頻譜之探測(Time-resolved and frequency-resolved studies)、分子動力學的動態研究(Real-time studies of molecular dynamics)及光譜方面之應用，都顯現出藍光及近紫外光極大的發展潛力。然而，藍光及近紫外(Near UV)波源與偵測器都很欠缺。近十年來，由於非線性晶體與雷射科技的發展日益成熟，使得在此一波段的可調波長光源成為可能，而如何產生更好而方便的光源與增加效率等技術是研發的重要方向。

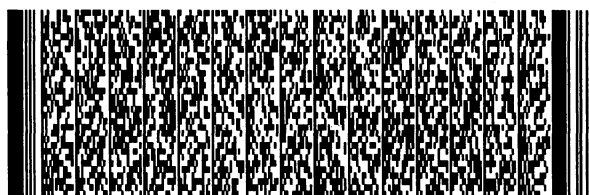
光參數放大器是產生可調波長的重要手段，但直接由光參數放大器產生藍光十分困難，通常要經過另外的非線性光學過程，如倍頻(frequency doubling)或和頻(sum-frequency generation)，增加了系統的複雜度與



五、發明說明 (2)

成本。

目前已經發表之文獻中，以光參數放大過程來產生波長可調的光源，如 Giulio Cerullo 等於2003年發表於 Review of Scientific Instruments 74, 1-17 (2003) 之 "Ultrafast optical parametric amplifiers" ; Howe-Siang Tan 等於2001年發表於 Opt. Lett. 26, 1812-1814 (2001) 之 "Generation and amplification of ultrashort shaped pulses in the visible by a two-stage noncollinear optical parametric process" ; P. Tzankov 等於2002年發表於 Opt. Commun., 203, 107 ~ (2002) 之 "Broadband optical parametric amplification in the near UV-VIS" 及 Osvay 等於2002年發表於 Appl. Phys. B: Lasers Opt. B74, S163-2002 (2002) 之 "Broadband amplification of ultraviolet laser pulses"，在 Howe-Siang Tan 等人之論文中之設計為一般產生可見光參數放大系統之架構，但受限於非線性晶體的吸收特性，其輸出可調範圍最短約為450nm；在 P. Tzankov 等人 Osvay 等人之論文中，乃是直接利用非線性光參數過程產生波長可調光源；設計之架構改採較短波長之激發光源，故輸出可調範圍為346-453nm；又其架構均為一般之光參數放大架構，其重點為將基方光源作高次協頻產生更短波長之激發光源，以產生所需之藍光及近紫外波段電磁波，但會使系統更複雜且因多波長之反射鏡造成



五、發明說明 (3)

成本增加。Osvay 等人之論文中，其重點為對所產生之場波長輸出再以合頻，使系統複雜並因合頻過程本身也有時間重疊的問題，也容易因機械問題而輸出不穩。又於 Petro 等於1994年發表於 J. Appl. Phys. 76, 7704-7712 (1994) 之 "Extension of tuning range of a femtosecond Ti:Sapphire laser amplifier through cascaded second-order nonlinear frequency conversion processes" 之論文中之設計之架構採後級之光混頻或是合頻架構，與 Chao-Kuei Lee 等於2003年發表於 Opt. Express 11, 1702-1708 (2003) 之 "Generation of femtosecond laser pulses tunable from 380 nm to 465 nm via cascaded nonlinear optical mixing in a noncollinear optical parametric amplifier with a type-I phase matched BBO crystal" 利用串接非線性光混頻產生波長可調之飛秒非共線式光參數放大器的原理不同。

Basu 之美國專利案第 5,144,629 號案；Jeys 等之美國專利案第 5,751,472 號案；及 Stamm 等之美國專利案第 5,751,472 號案係採用一般光參數放大架構，且只有信號 (signal) 及無用光 (idler) 輸出。

目前習知之藍綠光輸出之光參數放大器，本質上為利用產生之長波長輸出進行合頻產生所需的短波長，亦或利



五、發明說明 (4)

用高次諧頻產生更短波長之激發光源。其缺點為激發光源波長不易產生(高次諧頻轉換效率差)，群速度不匹配(Group Velocity Mismatch)及短波長鍍膜不易，成本高，後級之光混頻或是合頻架構，使系統變的更加複雜，對於使用上來說，相當不方便以及受到限制。

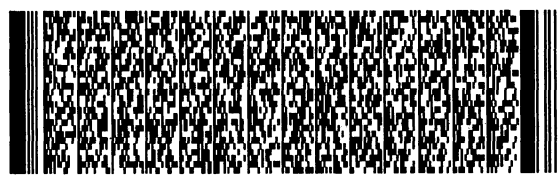
因此本發明乃針對先前技術之缺點，提出波長可調之飛秒(Femtosecond)非共線式光參數放大器。

3. 發明內容

本發明之目的在提供一種利用串接非線性光混頻產生波長可調之飛秒非共線式光參數放大器，利用在非共線型光參數放大過程中之串接合頻過程(Cascaded Sum Frequency Generation of Non-collinear Optical Parametric Amplification)提供連續可調之藍綠光源產生裝置。

本發明之次一目的在提供一種利用串接非線性光混頻產生波長可調之飛秒非共線式光參數放大器，利用串接非線性光混頻現象，只須一塊非線性光學晶體，即可提供波段(380~465nm)的藍光光源，且其波長為連續可調。

本發明之再一目的在提供一種利用串接非線性光混頻



五、發明說明 (5)

產生波長可調之飛秒非共線式光參數放大器，可以較低成本與更簡便之方法實施之藍光參數放大系統。

為達成上述目的及其他目的，本發明提出一種串接非線性光混頻產生波長可調之飛秒非共線式光參數放大器，至少包含：一個產生光參數放大 (Optical Parametric Amplification, OPA) 激發光源的倍頻裝置，將入射光射入倍頻用BBO晶體，成為經倍頻後之藍光；一產生低揪頻之白光產生裝置，將入射光射入CaF₂ 窗(window)產生種子光；一旋轉晶體用轉動平臺，使非共線光參數放大用晶體能繞旋轉軸旋轉；複數個透鏡、銀鏡及反射鏡，將光線導引至非共線光參數放大用晶體；一產生波長可調之非共線光參數放大用晶體，其晶軸可繞旋轉軸旋轉而可調改變合頻(Cascaded Sum Frequency Generation, SFG)之波長。

本發明之以上及其他目的及優點參考以下之參照圖示及最佳實施例之說明而更易完全瞭解。

4. 實施方式

請參閱第1a圖，第1a圖為本發明實施例之串接合頻光參數放大器系統100之結構示意圖，此實施例一之串接合頻光參數放大器包含一產生激發光源16之波長倍頻裝置12、一產生低揪頻之白光15產生裝置(未圖示)、一產生波



五、發明說明 (6)

長可調之非共線光參數放大用之非線性光學晶體14和一些固定樣品之夾具、反射鏡、時間延遲裝置、及旋轉晶體用轉動平臺(皆未圖示)，使晶體14可沿著旋轉軸22旋轉，提供一可改變方向之晶軸22，進而改變晶體之相位匹配條件。

一Ti藍寶石雷射(Ti-sapphire laser)，其輸出功率大於1mJ/pulse，波長為~800nm之近紅外入射光15射入5/95分光片1時，約5%之一部份由分光片1反射經過反射光圈4，由移動平臺10上之二個銀鏡9作180度之反射，經過5公分正透鏡5聚焦後，經2毫米厚CaF₂ window 6產生之種子光17，經過焦距5公分之拋物鏡7、銀鏡9及焦距15公分鍍銀聚焦鏡11將種子光17聚焦射入2毫米厚OPA用BBO晶體14。另一方面，入射光15之大部份穿過5/95分光片1，經過可調之衰減器，即30公分正透鏡2及15公分負透鏡3調整焦距後由移動平臺10上之二個銀鏡9作180度之反射，射入200微米厚倍頻用BBO晶體12，成為經倍頻後~400nm之藍光16，此第二諧波(second harmonic generation, SHG)用於壓出(pump)非共線光參數放大(Non-collinear Optical Parametric Amplification, NOPA)，此藍光16經藍光全反射鏡8及焦距15公分鍍銀聚焦鏡11將藍光16聚焦射入2毫米厚OPA用BBO晶體14。

當欲產生光參數放大訊號 (Optical Parametric



五、發明說明 (7)

Generation, OPG) 之種子光 (seeder) 17 之行進方向如第1b圖所示，其對應產生之無用光(idler)20將與產生白光所剩餘之基頻激發光19產生串接合頻(Cascaded Sum Frequency Generation, SFG)21，此合頻之波長也將隨改變晶軸22方向之旋轉軸23而可調改變，即提供一連續可調之藍光輸出之光參數放大器。

請參閱第2a圖，第2a圖為對應第1圖之串接合頻非共線型光參數放大器參數放大過程與光軸示意圖。圖中各符號定義如下： θ_s 、 θ_i 分別為訊號光(signal)17和無用光(idler)20與光軸22之夾角， α 為種子光17與激發光(由OPA激發光產生之超螢光)18之夾角， δ 為產生之無用光20與產生白光剩餘之基頻激發光19之夾角， δ' 則是相對於 δ 所產生合頻SFG21與無用光20之夾角。如第2a圖所示，此架構係利用當激發光18與白光注入訊號(seeder)17在第一非共線型(type 1 noncollinear)架構下，且夾角為負時，OPA所產生之無用光(idler)20會自動滿足與剩餘基頻加發光產生合頻之相位匹配條件，進而自動產生串接的合頻過程。

此實施例亦有其理論模擬對照，當串接合頻發生時時，其能量守恆和向為匹配表示如下：



五、發明說明 (8)

$$\begin{cases} \hbar\omega_{\text{SFG}} = \hbar\omega_i + \hbar\omega_{800} \\ \hbar\vec{k}_{\text{SFG}}^{(e)} = \hbar\vec{k}_i^{(o)} + \hbar\vec{k}_{800}^{(o)} \end{cases} \quad (1)$$

其中 ω_{SFG} 、 ω_i 、 ω_{800} 分別為合頻21、無用光(idler)20及基頻15之頻率， k_{SFG} 、 k_i 、 k_{800} 分別為合頻21、無用光(idler)20及基頻19之波向量，上標所示之(e)及(o)則為相對於光軸方向之偏極，垂直於光軸為o光(o-ray)反之為e光(e-ray)。當(1)同時滿足時可以得到 δ' ，可以整理成：

$$\delta' = \tan^{-1} \left(\frac{\vec{k}_{800}^{(o)} \sin \delta}{\vec{k}_{800}^{(o)} \cos \delta + \vec{k}_i^{(o)}} \right) \quad (2)$$

我們將這個理論計算的結果與實施例一之實驗數據做了對照，請參照第2b圖，縱座標為SFG可調範圍，而橫座標為注入訊號(seeder)與OPA激發光之夾角。黑色實線為理論計算不同夾角下SFG可調範圍、實心方塊為計算之最佳相位匹配波長、實心星為實驗所得該夾角下能量轉換所得輸出最大時之波長、空心圓及叉則分為-8.4及-14度時所得之可調範圍，我們可以發現實驗與理論有很好的對照，最大輸出轉換效率之波長與理論計算之最佳相位匹配點有很好的重合性，在兩不同夾角之可調範圍也在理論範圍內，其量測結果與理論值亦有很好的對照。



五、發明說明 (9)

第3a圖與第3b圖為本發明實施例之可調範圍之光譜圖。此實施例為當夾角為8度時之結果，第3a圖為所得之不同合頻光譜，第3b圖則為無用光(idler)在該架構下所產生之倍頻之光譜。

藉由以上較佳之具體實施例之詳述，係希望能更加清楚描述本創作之特徵與精神，而並非以上述所揭露的較佳具體實例來對本發明之範疇加以限制。相反的，其目的是希望能涵蓋各種改變及具相等性的安排於本發明所欲申請之專利範疇內。



圖式簡單說明

5. 圖式簡單說明：

第1a圖為本發明實施例之串接合頻光參數放大器系統100之結構示意圖。

第1b圖為本發明實例一之系統中晶體旋轉軸與光路示意圖。

第2a圖為本發明實施例之非共線型光參數放大器中晶體串接合頻光、剩餘800nm激發光、OPA激發光、OPA signal、OPA idler和晶體光軸相對關係示意圖。

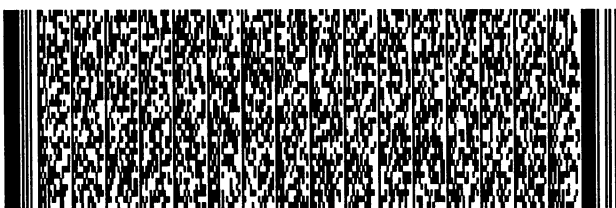
第2b圖為本發明實施例之夾角為-8.4及-14度時理論上之可調範圍。

第3a圖為本發明實施例之夾角為-8度時旋轉OPA晶體所得之串接合頻輸出光譜

第3b圖為本發明實施例之夾角為-8度時旋轉OPA晶體所得之倍頻輸出光譜

符號說明：

- | | |
|--------------|--------------------------------|
| 1. 5/95分光片 | 2. 30公分正透鏡 |
| 3. 15公分負透鏡 | 4. 光圈 |
| 5. 5公分正透鏡 | 6. 2毫米厚CaF ₂ window |
| 7. 焦距5公分之拋物鏡 | 8. 藍光全反射鏡 |
| 9. 銀鏡 | 10. 移動平臺 |



圖式簡單說明

- 11. 焦距15公分鍍銀聚焦鏡
- 12. 200微米倍頻用BBO晶體
- 13. OPA激發光與種子光之夾角
- 14. 2毫米厚OPA用BBO晶體
- 15. 近紅外~800nm入射光
- 16. 經倍頻後~400nm之藍光
- 17. 由2毫米厚CaF₂ window產生之種子光
- 18. 由OPA激發光產生之超螢光
- 19. OPA基頻激發光
- 20. OPA無用光(idler)
- 21. 串接合頻Cascaded SFG
- 22. 光軸
- 23. OPA晶體旋轉方向
- 100. 串接合頻光參數放大器系統



六、申請專利範圍

1. 一種串接非線性光混頻產生波長可調之飛秒非共線式光參數放大器，至少包含：

一個產生光參數放大 (Optical Parametric Amplification, OPA) 激發光源的倍頻裝置，將入射光射入倍頻用BBO晶體，成為倍頻光之藍光；

一產生低揪頻之白光產生裝置，將入射光射入CaF₂窗(window)產生種子光；

一旋轉晶體用轉動平臺，使非共線光參數放大用晶體能繞旋轉軸旋轉；

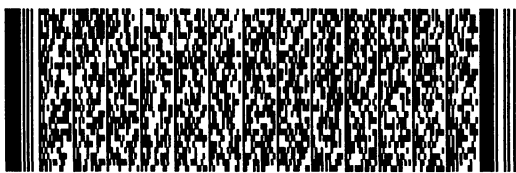
複數個透鏡、銀鏡及反射鏡，將光線導引至非共線光參數放大用晶體；

一產生波長可調之非共線光參數放大用晶體，其晶軸可繞旋轉軸旋轉而改變可調合頻(Cascaded Sum Frequency Generation, SFG)之波長。

2. 如申請專利範圍第1項之飛秒非共線式光參數放大器，其中該入射光之波長為約800nm近紅外光。

3. 如申請專利範圍第1項之飛秒非共線式光參數放大器，其中該倍頻光之波長為約400nm藍光。

4. 如申請專利範圍第1項之飛秒非共線式光參數放大器，其中該倍頻用BBO晶體之厚度為100至300微米厚



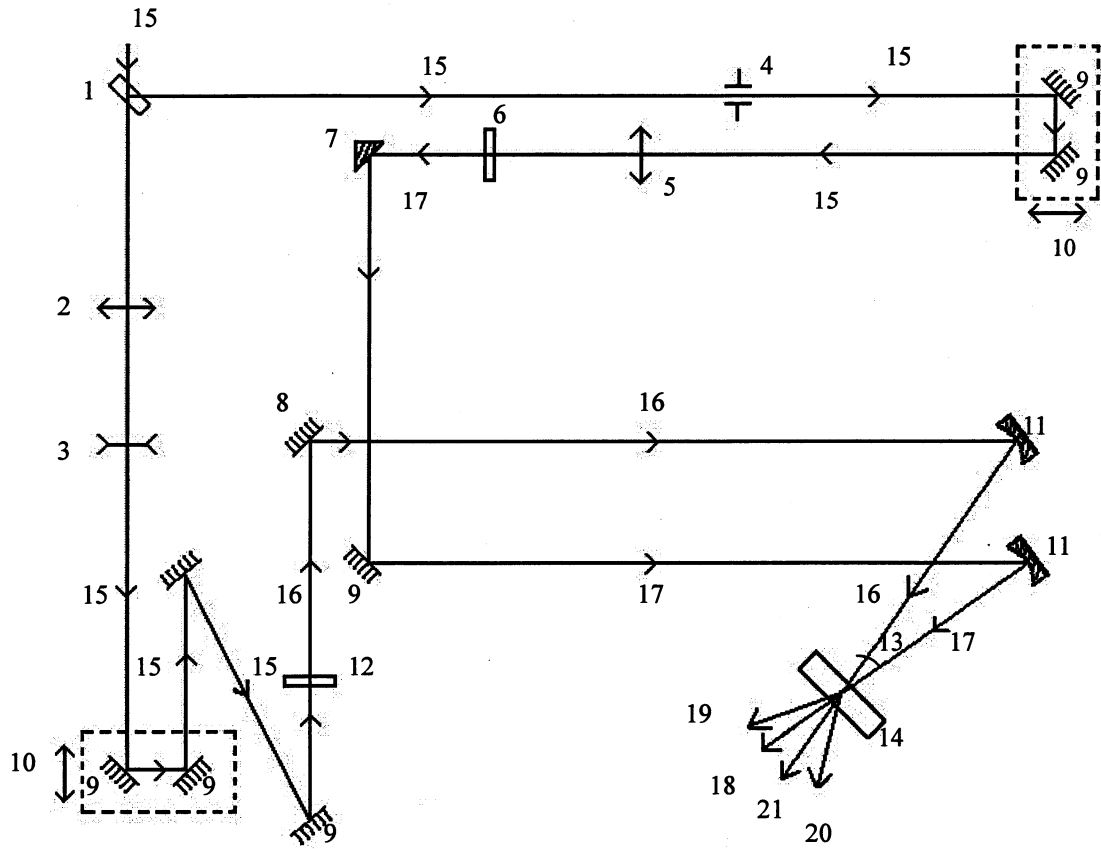
六、申請專利範圍

5. 如申請專利範圍第1項之飛秒非共線式光參數放大器，其中該 CaF_2 窗(window)之厚度為1至3毫米厚。

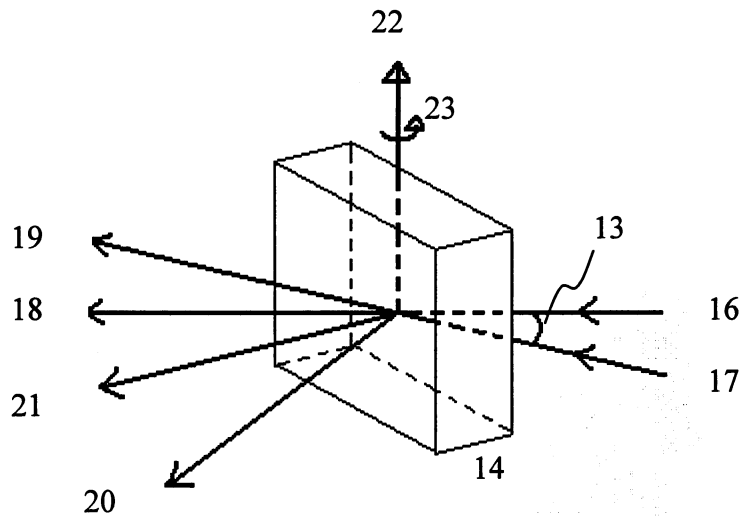
6. 如申請專利範圍第1項之飛秒非共線式光參數放大器，其中該可調合頻之波長為380~465nm的藍光光源。

7. 如申請專利範圍第1項之飛秒非共線式光參數放大器，其中該種子光與激發光源之夾角為-8.4度至14度。



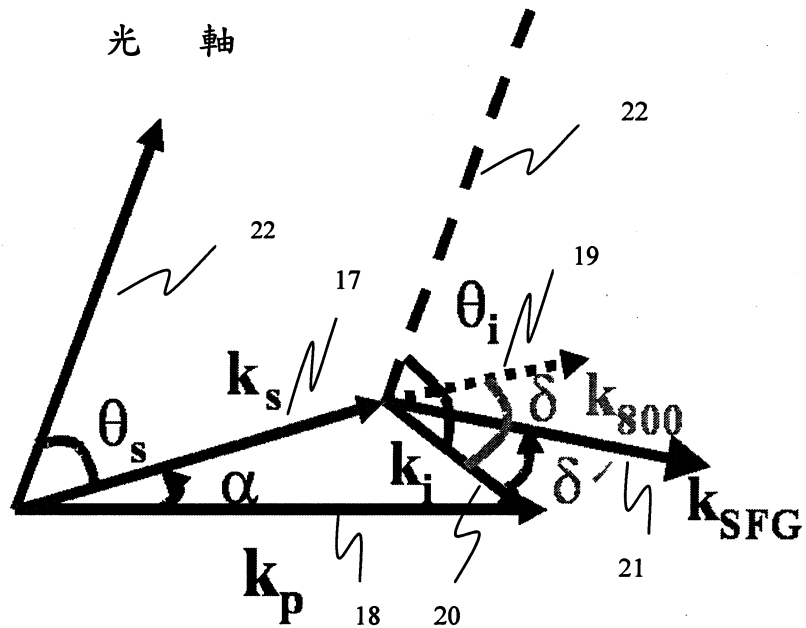


(a)

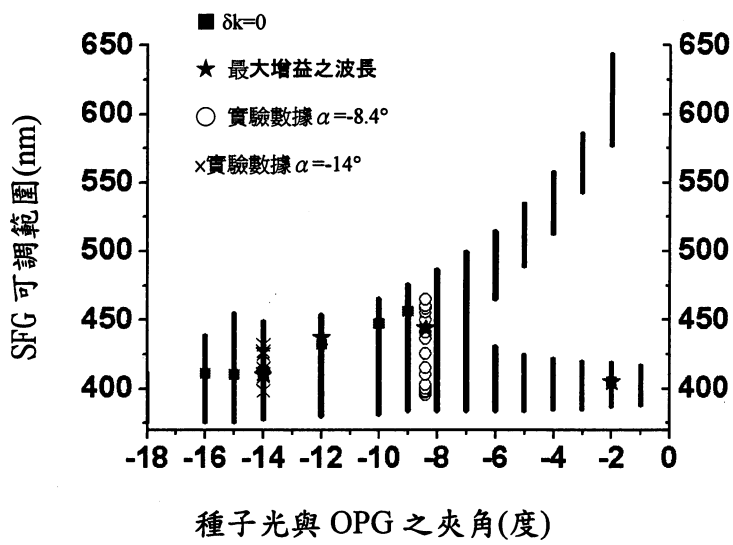


(b)

第 1 圖

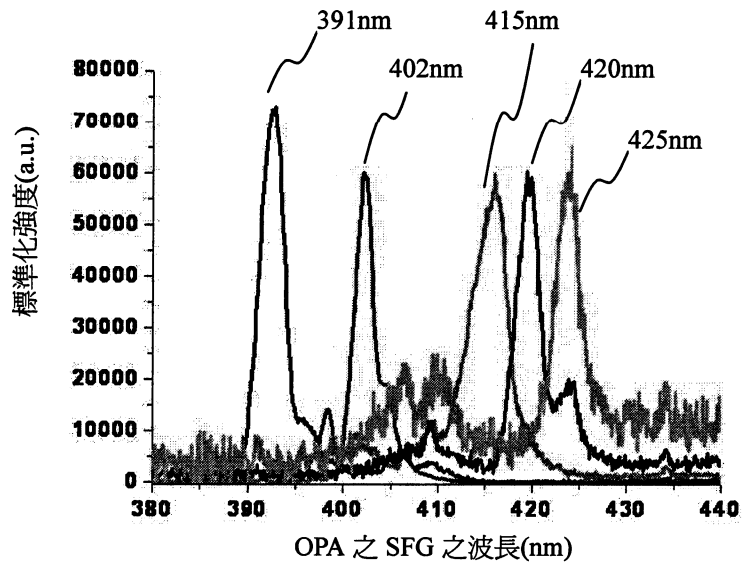


(a)

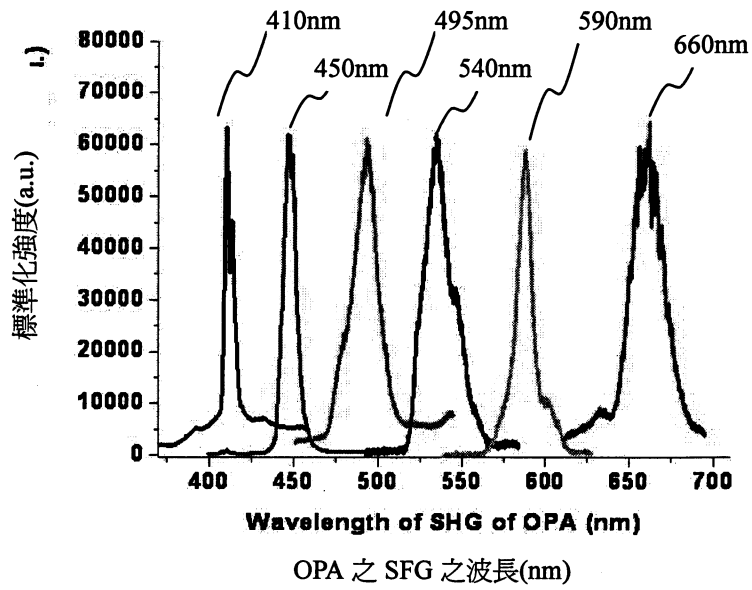


(b)

第 2 圖



(A)



(B)

第 3 圖