

(21)申請案號：098105905

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 02 月 25 日

(51)Int. Cl. : **G02F1/39 (2006.01)**

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：潘犀靈 PAN, CI LING (TW)；黃中焄 HUANG, JUNG Y. (TW)；張振雄 CHANG, CHEN SHIUNG (TW)；陳晉璋 CHEN, CHING WEI (TW)；林育賢 LIN, YU SHIAN (TW)；嚴立 YAN, LI (CN)；李晁達 LEE, CHAO KUEI (TW)

(74)代理人：黃孝悌

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：37 項 圖式數：3 共 20 頁

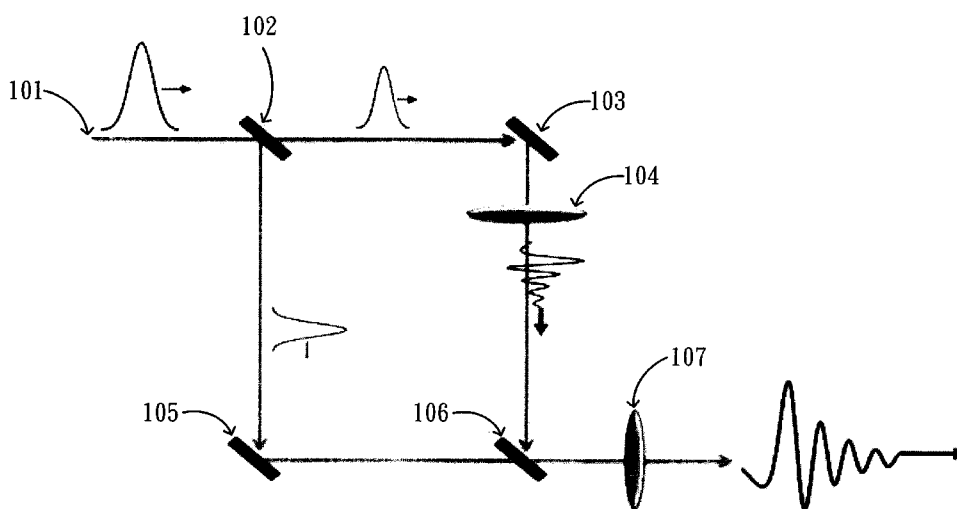
(54)名稱

同調多級光整流兆赫波產生器裝置

COHERENT MULTIPLE-STAGE OPTICAL RECTIFICATION TERAHERTZ WAVE GENERATOR

(57)摘要

本發明之同調多級光整流兆赫波產生器裝置係提供兆赫波段之高功率，且具有高同調性質之寬頻兆赫波光源。本發明使用多級的光整流技術於硒化鎵晶體中產生同調的兆赫波光源，精確調控兩級中激發光源的時間延遲，將來自硒化鎵晶體中產生的第二級兆赫輻射，同調疊加於第一級兆赫輻射光場，並可應用於兆赫輻射的光譜調控技術。本發明可以克服晶體長度與群速度色散的限制，亦可運用於高功率兆赫輻射光源之輸出。



101：超快雷射光脈衝

102：第一分光鏡

103：第一反射鏡

104：第一級非線性光學晶體

105：第二反射鏡

106：兆赫波反射鏡

107：第二級非線性光學晶體

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：098105905

※申請日：98.2.25

※IPC分類：G02F 1/39 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

同調多級光整流兆赫波產生器裝置/Coherent multiple-stage optical rectification terahertz wave generator

二、中文發明摘要：

本發明之同調多級光整流兆赫波產生器裝置係提供兆赫波段之高功率，且具有高同調性質之寬頻兆赫波光源。本發明使用多級的光整流技術於硒化鎵晶體中產生同調的兆赫波光源，精確調控兩級中激發光源的時間延遲，將來自硒化鎵晶體中產生的第二級兆赫輻射，同調疊加於第一級兆赫輻射光場，並可應用於兆赫輻射的光譜調控技術。本發明可以克服晶體長度與群速度色散的限制，亦可運用於高功率兆赫輻射光源之輸出。

三、英文發明摘要：

The present invention Coherent multiple-stage optical rectification terahertz wave generator discloses the generation of single-cycle terahertz radiation with two-stage optical rectification in GaSe crystals. By adjusting the time delay between the pump pulses employed to excite the two stages, the terahertz

radiation from the second GaSe crystal can constructively superpose with the seeding terahertz field from the first stage. The high mutual coherence between the two terahertz radiation fields is ensured with the coherent optical rectification process and can be further used to synthesize a desired spectral profile of output coherent THz radiation. The technique is also useful for generating high amplitude single-cycle terahertz pulses, not limited by the pulse walk-off effect from group velocity mismatch in the nonlinear optical crystal used.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 1 圖

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 101 超快雷射光脈衝
- 102 第一分光鏡
- 103 第一反射鏡
- 104 第一級非線性光學晶體
- 105 第二反射鏡
- 106 兆赫波反射鏡
- 107 第二級非線性光學晶體

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明提出一種兆赫波產生器裝置的形成方法，特別是一種同調多級光整流兆赫波產生器裝置。

【先前技術】

兆赫(Terahertz)波段是頻率在 10^{12} 赫茲 (Hz) 附近的電磁頻譜，包含了由部分毫米波段(~ 0.1 THz)到遠紅外區(~ 25 THz)的一段電磁頻譜。而由於其獨特的優良特性，故目前已使用兆赫波做為材料分析，以及應用為其他領域的各式檢測方法。但由於在兆赫波段欠缺能夠有效涵蓋所需頻譜、足夠功率、足夠可調性(tunability)、穩定性且經濟效果的光波源及相關的元件。而無法具有足夠強度的光波源還有使用上的便利性，故兆赫波在實際應用上相當不便。

在傳統習知文獻中，如「Nonlinear cross-phase modulation with intense single-cycle terahertz pulses, Physics Review Letter 99, 043901 (2007)」的文獻中，係利用加速器產生同步輻射導入非線性晶體，其兆赫波由非線性晶體所釋出，但因加速器不易取得，取得高強度的兆赫光源非常不便，更無法達到使用上的便利原則。

又在傳統習知文獻中，如「Generation of $1.5 \mu\text{J}$ single-cycle terahertz pulses by optical

rectification from a large aperture ZnTe crystal, Optics Express 15, 13212-13220 (2007)」的文獻中，係利用大面積的非線性光學晶體藉以大範圍的產生兆赫輻射，且配合高強度的超快雷射光源，但因其晶體之製造非常困難且價格高昂，故在實際使用上並不便利，故限制了其使用的方式。

在其他的傳統習知文獻中，如「Cascaded nonlinear difference-frequency generation of enhanced terahertz wave production, Opt. Letter 29, 2046-2048 (2004)」的文獻以及「Simulation study on cascaded terahertz pulse generation in electro-optic crystals, Optics Express 15, 8076-8093 (2007)」的文獻中，係利用差頻與光整流的基礎，在理論上證實串接式的方法，產生高功率的兆赫波，但在實際應用上還未達成。

此外，在其他的傳統習知文獻中，如「Generation and spectral manipulation of coherent terahertz radiation with two-stage optical rectification, Optics Express 16, 14294-14303 (2008)」的文獻中，係利用多級光整流疊加之技術產生高強度的兆赫波，並且提供優異的寬頻高同調性兆赫波段光源特性，僅係一種同調多級光整流兆赫波產生器的理論想法。

故而，為了能產生更有效率的兆赫波光源，需要研發新式之兆赫波產生技術，藉以提高光源效率且降低製造時間與製造成本。

【發明內容】

本發明之同調多級光整流兆赫波產生器係產生具有兆赫波段之高功率且具有高同調性的寬頻兆赫波光源，以提供兆赫波段之各種應用領域。

本發明提出利用多級的光整流技術，係於硒化鎵非線性晶體中產生同調的兆赫波光源，精確調控兩級中激發光源的時間延遲，將來自硒化鎵非線性晶體中產生的第二級兆赫輻射，同調疊加於第一級兆赫輻射光場，故可應用於兆赫輻射的光譜調控技術。

本發明之同調多級光整流兆赫波產生器裝置包括了兆赫時域光譜儀(THz-TDS)以提供超快雷射光脈衝。以及多級疊加系統，其具有產生非線性光整流過程且具有可延伸擴充之功能。

本發明之光整流技術可克服晶體長度與群速度色散的限制，亦有發展高功率兆赫輻射光源輸出的潛力。

本發明之同調多級光整流兆赫波產生器即為一可實際應用之兆赫波段技術，係提供同調高功率之兆赫波光源。

本發明係利用多級光整流疊加之技術產生高強度的兆赫波，且提供優異的寬頻高同調性兆赫波段光源特性。

本發明可以克服晶體製程的限制，且僅需簡易光學元件即可形成，操作簡易，並具有延伸擴充的優勢，使用上更便捷。

本發明可廣泛應用於光學元件、光學測量，生物醫療

檢驗、醫學影像，光譜分析、雷達、通訊、以及封裝檢驗等領域。

故而，關於本發明之優點與精神可以藉由以下發明詳述及所附圖式得到進一步的瞭解。

【實施方式】

請參考第 1 圖，為本發明同調多級光整流兆赫波產生器之示意圖，詳細說明如下列：

首先如第 1 圖所示，以兆赫時域光譜儀 (THz-TDS) 所產生的超快雷射光脈衝 101 導入第一分光鏡 102，經由第一反射鏡 103，通過第一級非線性光學晶體 (GaSe) 104，再通過兆赫波反射鏡 106，經由兆赫波反射鏡 106 到達第二級非線性光學晶體 107 內，而稱為非線性光整流過程，且產生第一寬頻兆赫波，即第一級產生之兆赫輻射。

接著仍如第 1 圖所示，以兆赫時域光譜儀所產生的超快雷射光脈衝 101 導入第一分光鏡 102，再經由第二反射鏡 105，導入第二級非線性光學晶體 107 內作為注入光源，即經由非線性光整流過程產生第二寬頻兆赫波，即第二級產生之兆赫輻射，再引入前述之第一寬頻兆赫波，透過精確調整第一寬頻兆赫波與第二寬頻兆赫波之兩道寬頻兆赫波的相對時間延遲，使其在時域上能夠完全疊加。

仍如第 1 圖所示，本發明之同調多級光整流兆赫波產生器裝置包括了：

兆赫時域光譜儀 (THz-TDS)，可提供超快雷射光脈衝，

或可以二階或三階非線性係數方式操控產生雷射光源。

多級疊加系統，包括複數個反射鏡，複數個分光鏡，以及複數個非線性光學晶體，其具有產生複數個非線性光整流過程且具有可延伸擴充之功能。其中使用玻璃基板的氧化銦錫透明導電鍍膜（ITO）為兆赫波反射鏡，作為超快雷射與兆赫波的共線結合器以減少損耗，可進行方便操作與校準，完成多級同調疊加的效果。

本發明之高功率且具有高同調性之兆赫波可經由重複之兆赫光源產生疊加機制，藉以產生高強度之兆赫波源。

第 2 圖為本發明之多級疊加原理示意圖。首先由第一級雷射光輸入第一級非線性晶體 21 之第一級光整流所產生的第一兆赫輻射（兆赫波），再與由第二級雷射光所輸入第二級非線性晶體 22 之第二級光整流所產生的兆赫波兆赫輻射（兆赫波），通過第二級光整流階段，同調疊加後可得到更高功率的兆赫波光源輸出。故而本發明之數學式可表示為：

$$E_{total} = \sum_{\omega=0}^{\infty} E(\omega)$$

$$E(\omega) = E_1(\omega) + E_2(\omega)e^{-j\omega\tau}$$

如第 3A 圖所示為單級之兆赫波輸出，及與同調疊加後的兆赫波輸出之比較。可看出單級的兆赫波以及同調疊加後的兆赫波之間，兩者時域波形極度相似。若分析兩道兆赫波之同調性，有如下之更具體說明：

由理論而言，當兩道電磁波相互接近產生干涉時，其同調程度可由以下數學式所表示：

$$\gamma_{12}^2 = \frac{|S_{12}(f)|^2}{|S_{11}(f)|^2 |S_{22}(f)|^2}$$

$$S_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{ij}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad i, j = 1, 2$$

$$R_{ij}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} E_i(t) E_j(t+\tau) dt \quad i, j = 1, 2$$

其中 E 為所測量的兆赫波訊號， τ 為兩個訊號之間的時間延遲， R 為兩道訊號的相關函數， S 為富立葉空間的相關函數，而 γ^2 即為兩訊號之間的同調程度。

若其電磁波為脈衝，則可利用平移台調整時間延遲，使其完全重合。透過精準的調整兩道兆赫波之間的時間延遲，即調整 τ ，使得兩電磁脈衝之間的重合性和同調性達到最高。

如第 3B 圖顯示本發明之同調性關係圖，在兆赫波段具非常寬頻且有非常高的同調性質。在本實驗中，僅僅只需透過調整時間延遲即可，不需更動其他光學元件，即可達到具有高功率且具有高同調程度的兆赫波輸出光源。

在本發明之較佳實例中，雖以硒化鎵(GaSe)負光軸非線性晶體作為產生兆赫波之晶體，但亦可利用其它非線性光學晶體，諸如可由碲化鋅(ZnTe)、鉍酸鋰(LiNbO₃)、磷化鎵(GaP)等，或者其他於兆赫波段具有低吸收係數的光學晶體，且可利用其二階非線性過程以產生兆赫波段的非線性晶體；亦或是使用三階非線性係數(高場激發電漿)的方式來產生兆赫波光源。

本發明中並不限於僅用兩級疊加產生高強度兆赫波，亦可依空間大小與兆赫波強度的需求擴充增加到許多級的

架構。

以上所述僅為本發明之較佳實施例而已，並非用以限定本發明之申請專利範圍；凡其它未脫離本發明所揭示之精神下所完成之等效改變或修飾，均應包含在下述之申請專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第 1 圖所示本發明之同調多級光整流兆赫波產生器裝置。

第 2 圖為本發明之多級疊加原理示意圖。

第 3A 圖所示為單級之兆赫波輸出及與同調疊加後的兆赫波輸出之比較。

第 3B 圖所示為本發明之同調性關係圖。

【主要元件符號說明】

101 超快雷射光脈衝

102 第一分光鏡

103 第一反射鏡

104 第一級非線性光學晶體

105 第二反射鏡

106 兆赫波反射鏡

107 第二級非線性光學晶體

21 第一級非線性晶體

22 第二級非線性晶體

七、申請專利範圍：

1. 一種同調多級光整流兆赫波產生器裝置，至少包含：
 - 一雷射光源，係提供一超快雷射光脈衝；以及
 - 一多級疊加系統，係產生複數個非線性光整流過程，藉以產生與疊加複數個寬頻兆赫波，形成該同調多級光整流兆赫波產生器裝置。
2. 如申請專利範圍第1項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該雷射光源至少包含兆赫時域光譜儀裝置。
3. 如申請專利範圍第2項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以二階非線性過程操控產生該雷射光源。
4. 如申請專利範圍第2項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以三階非線性過程操控產生該雷射光源。
5. 如申請專利範圍第4項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該三階非線性過程至少包含以高場激發電漿方式產生該雷射光源。
6. 如申請專利範圍第1項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該多級疊加系統至少包含複數個反射鏡，複數個分光鏡，以及複數個非線性光學晶體。
7. 如申請專利範圍第6項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含硒化鎳。
8. 如申請專利範圍第6項所述之同調多級光整流兆赫波產

生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含碲化鋅。

9. 如申請專利範圍第 6 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含鋇酸鋰。

10. 如申請專利範圍第 6 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含磷化鎵。

11. 一種同調多級光整流兆赫波產生器裝置，至少包含：

一兆赫時域光譜儀裝置，該兆赫時域光譜儀裝置提供一超快雷射光脈衝作為一雷射光源；以及

一多級疊加系統，包括複數個反射鏡，複數個分光鏡，以及複數個非線性光學晶體，該多級疊加系統具有產生複數個非線性光整流過程功能且具有一延伸擴充功能，藉以形成該同調多級光整流兆赫波產生器裝置。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以二階非線性過程操控產生該雷射光源。

13. 如申請專利範圍第 11 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以三階非線性過程操控產生該雷射光源。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該三階非線性過程至少包含以高場激發電漿方式產生該雷射光源。

15. 如申請專利範圍第 11 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含碲化鎵。

16. 如申請專利範圍第 11 項所述之同調多級光整流兆赫波

產生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含碲化鋅。

17. 如申請專利範圍第 11 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含鉍酸鋰。

18. 如申請專利範圍第 11 項所述之同調多級光整流兆赫波產生器裝置，其中該非線性光學晶體至少包含磷化鎳。

19. 一種產生同調多級光整流兆赫波的方法，至少包含：

提供一超快雷射光源與一多級疊加系統以產生複數個寬頻兆赫波；以及

疊加該複數個寬頻兆赫波，係調整該複數個寬頻兆赫波間的相對時間延遲，使其在一時域上進行該疊加該複數個寬頻兆赫波，藉以產生同調多級光整流兆赫波。

20. 如申請專利範圍第 19 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該提供該超快雷射光脈衝至少包含以兆赫時域光譜儀裝置提供該超快雷射光脈衝。

21. 如申請專利範圍第 20 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以二階非線性過程操控產生該超快雷射光脈衝。

22. 如申請專利範圍第 20 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以三階非線性過程操控產生該超快雷射光脈衝。

23. 如申請專利範圍第 22 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該三階非線性過程至少包含以高場激發電漿方式產生該超快雷射光脈衝。

24. 如申請專利範圍第 19 項所述之產生同調多級光整流兆

赫波的方法，其中該多級疊加系統至少包含複數個反射鏡，複數個分光鏡，以及複數個非線性光學晶體。

25. 如申請專利範圍第 19 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含硒化鎳。

26. 如申請專利範圍第 19 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含碲化鋅。

27. 如申請專利範圍第 19 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含鉍酸鋰。

28. 如申請專利範圍第 19 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含磷化鎳。

29. 一種產生同調多級光整流兆赫波的方法，至少包含：

提供一超快雷射光脈衝導入一第一分光鏡，經由一第一反射鏡通過一第一級非線性光學晶體，通過一兆赫波反射鏡到達一第二級非線性光學晶體內，產生一第一寬頻兆赫波；

提供該超快雷射光脈衝導入該第一分光鏡，經由一第二反射鏡導入該第二級非線性光學晶體內產生一第二寬頻兆赫波；以及

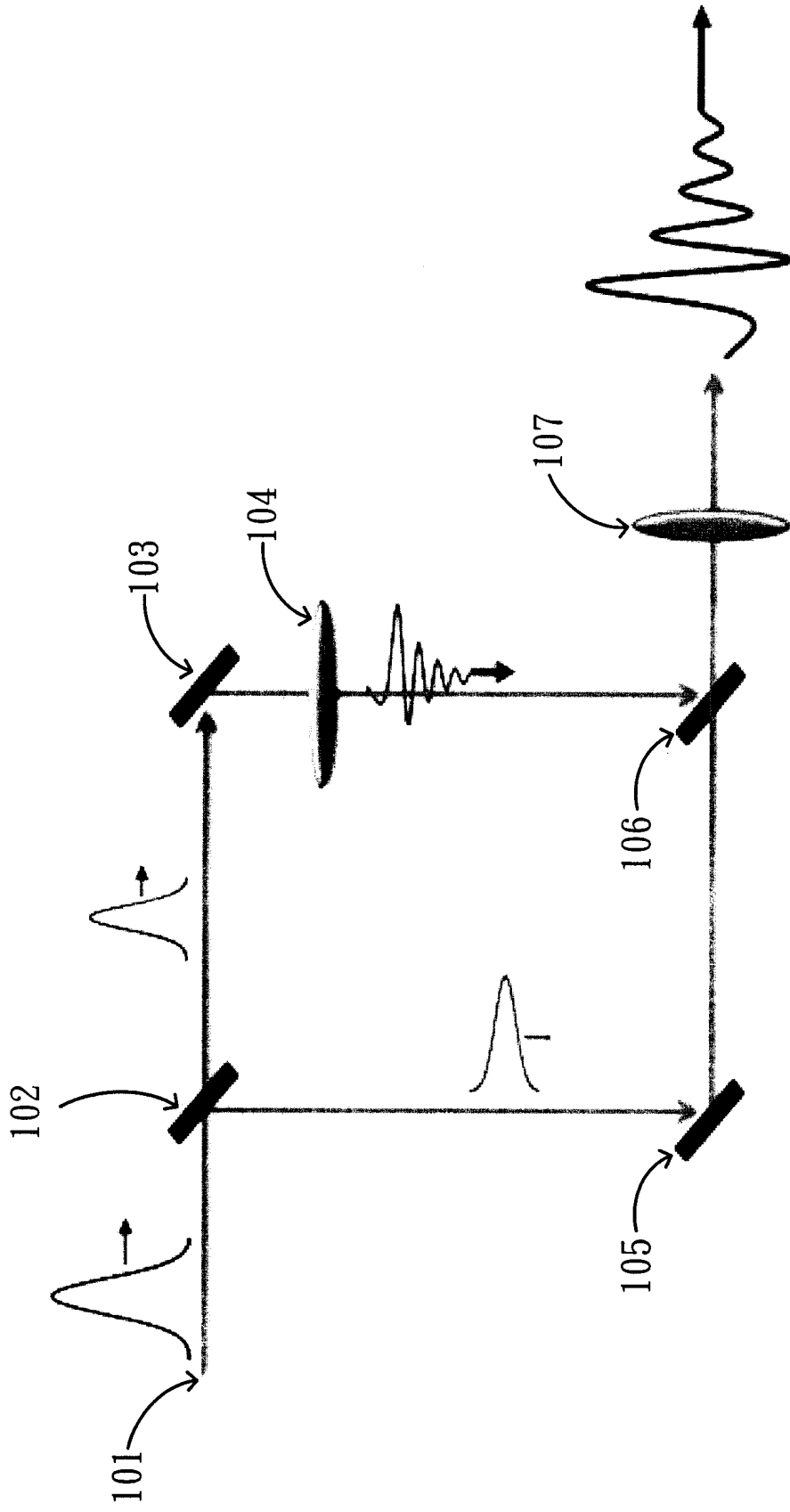
引入疊加該第一寬頻兆赫波與該第二寬頻兆赫波，係調整該第一寬頻兆赫波與該第二寬頻兆赫波的相對時間延遲，使其在一時域上進行該疊加該第一寬頻兆赫波與該第二寬頻兆赫波，藉以產生同調多級光整流兆赫波。

30. 如申請專利範圍第 29 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該提供該超快雷射光脈衝至少包含以

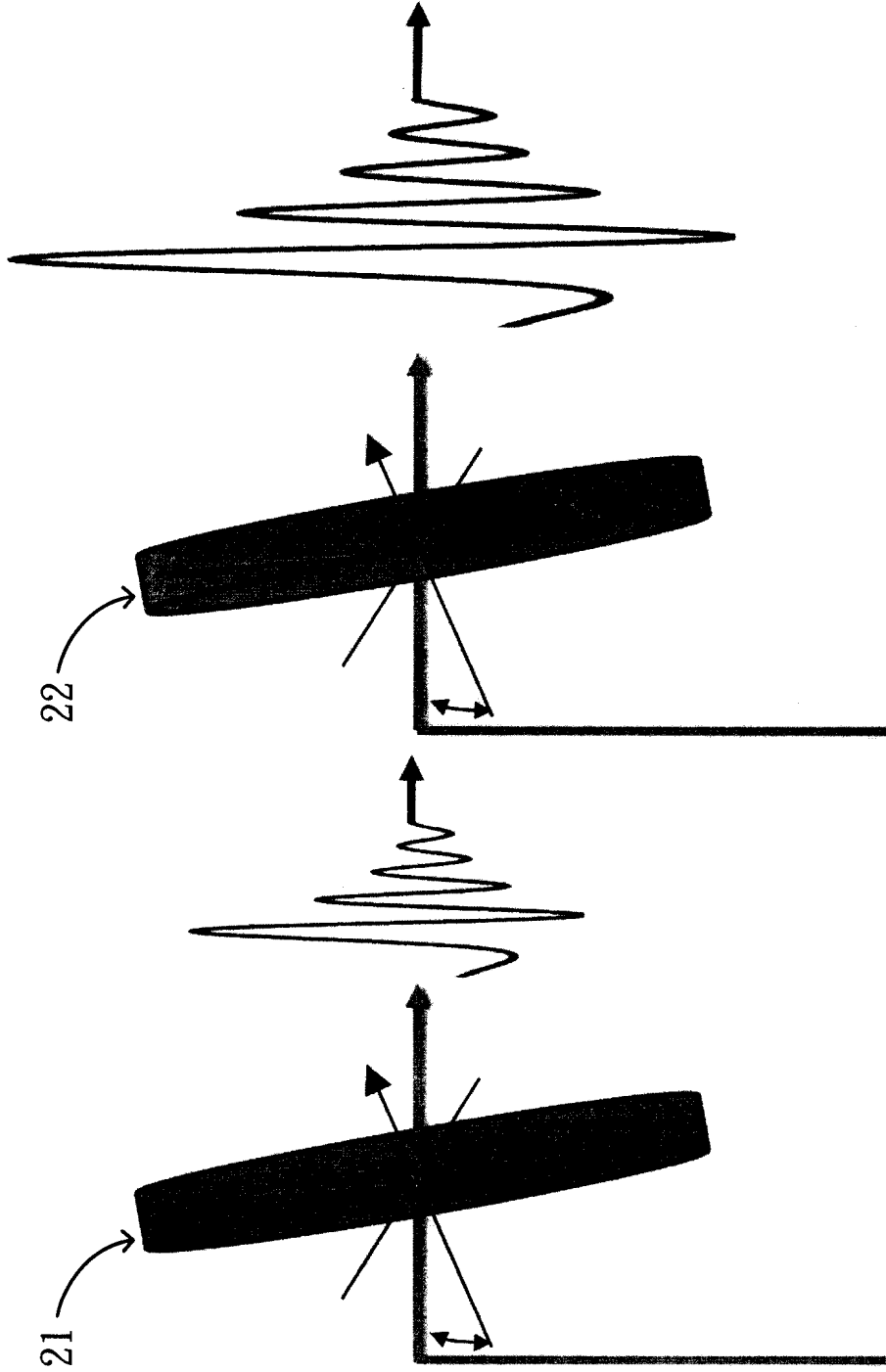
兆赫時域光譜儀裝置提供該超快雷射光脈衝。

31. 如申請專利範圍第 29 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以二階非線性過程操控提供該超快雷射光脈衝。
32. 如申請專利範圍第 29 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該兆赫時域光譜儀裝置至少包含以三階非線性過程操控產生該超快雷射光脈衝。
33. 如申請專利範圍第 32 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該三階非線性過程至少包含以高場激發電漿方式產生該超快雷射光脈衝。
34. 如申請專利範圍第 29 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含硒化鎳。
35. 如申請專利範圍第 29 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含碲化鋅。
36. 如申請專利範圍第 29 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含鋁酸鋰。
37. 如申請專利範圍第 29 項所述之產生同調多級光整流兆赫波的方法，其中該非線性光學晶體至少包含磷化鎳。

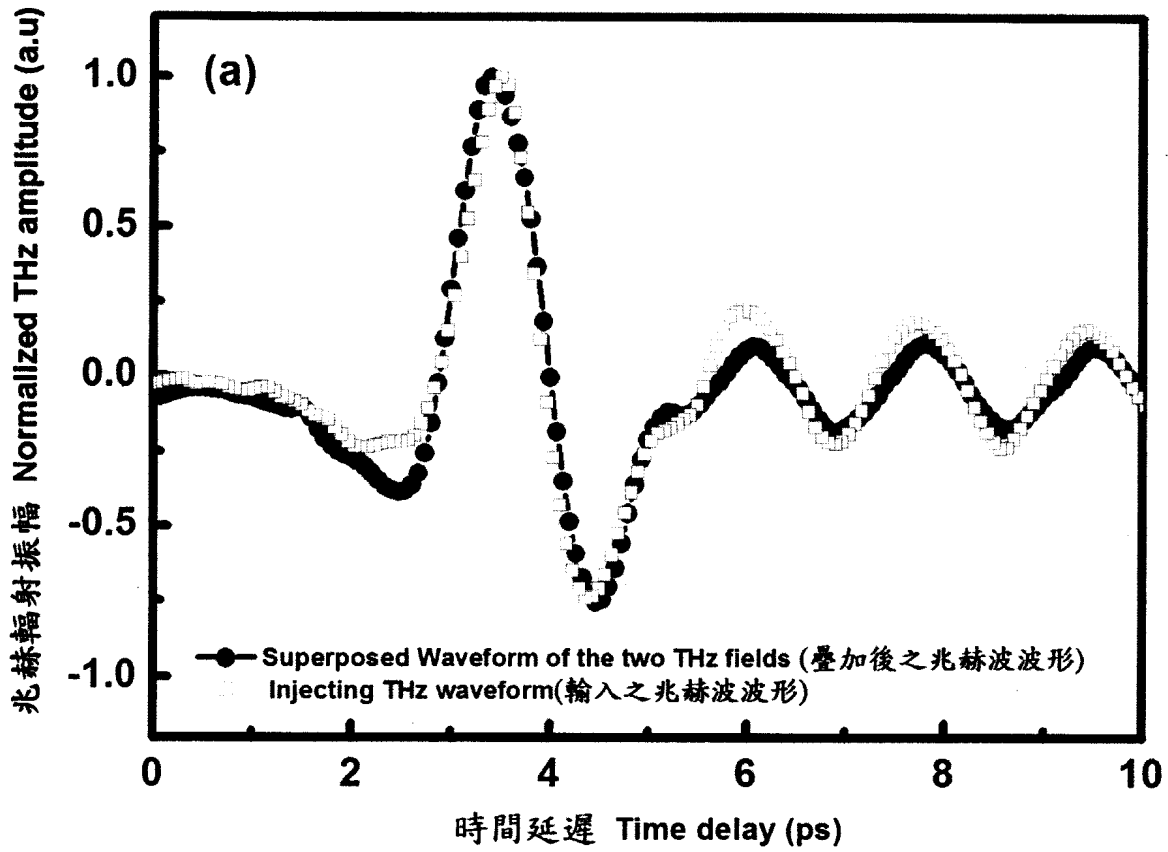
八、圖式：



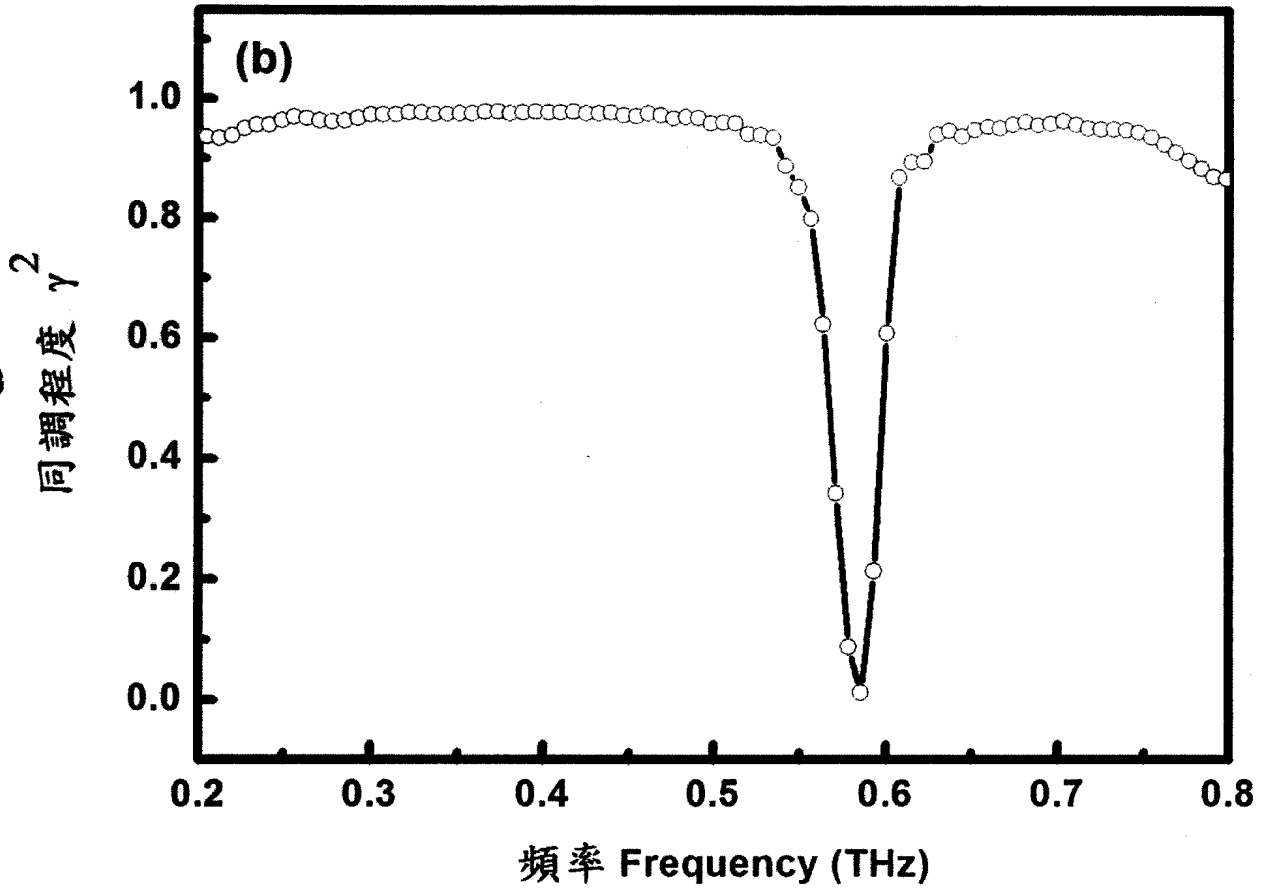
第1圖



第 2 圖



第 3A 圖



第 3B 圖