

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4017116号
(P4017116)

(45) 発行日 平成19年12月5日(2007.12.5)

(24) 登録日 平成19年9月28日(2007.9.28)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 F 1/35 (2006.01) G O 2 F 1/35

請求項の数 1 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2003-304460 (P2003-304460)	(73) 特許権者	899000035
(22) 出願日	平成15年8月28日(2003.8.28)		株式会社 東北テクノアーチ
(65) 公開番号	特開2005-77470 (P2005-77470A)		宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468番地
(43) 公開日	平成17年3月24日(2005.3.24)	(74) 代理人	100098729
審査請求日	平成18年8月16日(2006.8.16)		弁理士 重信 和男
		(74) 代理人	100105371
			弁理士 加古 進
		(74) 代理人	100116757
			弁理士 清水 英雄
		(74) 代理人	100123216
			弁理士 高木 祐一
		(72) 発明者	横山 弘之
			仙台市青葉区川内元支倉35 1-206
		(72) 発明者	佐々木 雄三
			仙台市青葉区荒巻神明町19-5-36
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 テラヘルツ光発生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

テラヘルツ光発生装置であって、
連続波を発振する連続発振の外部共振型半導体レーザと、
パルス光を発振するパルス発振の利得スイッチ動作分布帰還型半導体レーザと、
前記連続波と、前記パルス光とを入力するカップラと、
カップリングされた光を入力し、四光波混合によるパルス光を発生する非線形ファイバと、

前記連続波を減衰し、前記パルス光および前記四光波混合によるパルス光をほぼ同じ強さの2つのパルス光として出力するフィルタ・増幅手段と、

前記2つのパルス光を入力して、差の周波数のパルス光を出力する非線形光デバイスとを備え、

前記2つのパルス光はテラヘルツの差があり、出力するパルス光はテラヘルツ・オーダの周波数を有することを特徴とするテラヘルツ光発生装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、2つの周波数を有する同期パルス光発生装置と、それを用いたテラヘルツ波を発生する装置に関するものである。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

この波長領域のコヒーレント光を発生できる光源は、大型施設の自由電子レーザーに代表されるが、小型で操作性のよい光源の開発は十分に進んでいるとは言い難い。比較的小型の装置では、高ピークパワーフェムト秒光パルスの固体表面への照射による、過渡的キャリア生成に基づく広帯域の電磁波発生などがあるが、数m長の光学ベンチを占有する複雑かつ高価な光源システムである。また、平均出力パワーもマイクロワットレベルであり、何桁かの増大が望まれる。小型デバイスとしては、最近になって、量子カスケード半導体レーザーの長波長化の研究が進んできたが、低温動作が必要でまた固定波長であることから、応用に資するまでにはまだ大幅な特性の改善が必要である。

なお、発明者らは、2波長動作の光学パラメトリック発振器(OPO)を光源として、傾斜構造型周期分極反転LiNbO₃(slanted-PPLN)からのTHz波発生に関して、非特許文献1に示すように、発表してきた。

【非特許文献1】Y. Sasaki et al, Appl. Phys. Lett. 81, 3323 (2002)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 3 】

本発明の目的は、光通信技術で培われた半導体レーザーや光非線形制御技術による同期パルス光発生装置、および、これを用いた小型・高安定なテラヘルツ波発生装置を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 4 】

上記目的を達成するために、本発明は、テラヘルツ光発生装置であって、連続波を発振する連続発振の外部共振型半導体レーザーと、パルス光を発振するパルス発振の利得スイッチ動作分布帰還型半導体レーザーと、前記連続波と、前記パルス光とを入力するカップラと、カップリングされた光を入力し、四光波混合によるパルス光を発生する非線形ファイバと、前記連続波を減衰し、前記パルス光および前記四光波混合によるパルス光をほぼ同じ強さの2つのパルス光として出力するフィルタ・増幅手段と、前記2つのパルス光を入力して、差の周波数のパルス光を出力する非線形光デバイスとを備え、前記2つのパルス光の周波数はテラヘルツ・オーダの差があり、出力するパルス光はテラヘルツの周波数を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 0 5 】

上述した本発明の構成を有する装置は、簡単な構成で2つの同期パルス光を発生でき、発生した同期パルスを用いて、単色性に優れ、かつ高速繰り返しパルスのテラヘルツ波を発生することができる。特に、半導体レーザーを用いると、小型の装置とすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 0 6 】

図1に本発明の実施形態の構成例を示す。図1の構成・動作を以下に、図2および図3を用いて詳しく説明する。

図1において、パルス発振の半導体レーザー114から、パルス光と示した半導体レーザー光パルスを発生させる。発生する光パルスの繰り返し周波数は例えばMHz程度である。この半導体レーザー光パルスを、前置光増幅器122で必要がある場合は増幅する。連続発振半導体レーザー112からの連続光(CW光)とを光カップラ130に入力している。2つのレーザー光の関係は、図2に示すように、の差がある。この差がテラヘルツ・オーダである。

光カップラ130から出た2つの光は、主光増幅器124を介して非線形ファイバ140に入力する。この非線形ファイバ140の3次の非線形性によるFWM(Four Wave Mixing: 四光波混合)により、図2に示すように、パルス光より高いところに、パルス光と同期したFWM光(パルス光)が発生する。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

この F W M 光は、図 2 からわかるように、パルス光より強度が小さい。パルス光と F W M 光とをほぼ同じ強度とし、連続光を十分に減衰するために、フィルタ 1 5 2 , 1 5 4 と前置光増幅器 1 2 6 を用いている。フィルタ 1 5 2 , 前置光増幅器 1 2 6 , フィルタ 1 5 4 を通過した光は、図 3 に示すように、パルス光 (ω_0) と F W M 光 (ω_1) とをほぼ同じ強度となっている。次に、主光増幅器 1 2 8 により十分な強度を得ている。十分な強度の 2 色のパルス光を、2 次の非線形光学デバイス 1 6 0 に入力することにより、パルス光 (ω_0) と F W M 光 (ω_1) との差であるテラヘルツのパルス光が出力される。

【 0 0 0 8 】

上述の構成の大きな特徴は、半導体レーザからの光パルスを用いて、非線形光学材料としての光ファイバ中で、異なった波長の連続発振半導体レーザ光との四光波混合により新たな波長の同期光パルスを発生させ、2 つの波長の光パルスを光増幅器で高出力にするところにある。

これを基に、これら 2 つの波長の光パルスを高ピークパワーに増幅した後、非線形光学デバイスに入射させて差周波発生の効果により、2 つの波長の周波数差に相当するテラヘルツ周波数帯の電磁波を発生させている。

上述の構成においては、差周波発生に基づくテラヘルツ波発生のための光源部分に独自性がある。従来、このような方式によりテラヘルツ波を発生させる装置はなく、比較的大型のレーザを用いてテラヘルツ波を発生させているのが現状である。本発明により非常に小型で安定性に優れたテラヘルツ波発生器を得ることが期待される。

なお、上述の光ファイバ中における四光波混合に、3 次の非線形特性を用いているが、2 段カスケード結合した 2 次の非線形特性を用いてもよい。

【 実施例 】

【 0 0 0 9 】

繰り返し周波数 1 0 0 M H z の利得スイッチ動作ディストリビューテッド・フィードバック・レーザ・ダイオード (D F B - L D) のパルス光 (中心波長 : 1 5 4 9 n m , パルス幅 : 20 p s) と、外部共振器型レーザ・ダイオードからの c w 光を高非線形性ファイバに入射させ、パルス光と 1 . 5 T H z の周波数間隔を持つ四光波混合 (F W M) 光を発生させた。

そして、図 4 に示すように、光フィルタにより入射光パルスと F W M 光パルスを同等の出力にした。さらに、エルビウム・ドープ・ファイバ増幅器 (E D F A) を用いて平均出力で 1 W 以上を得た。図 5 に示す 2 波長光パルスの強度相関測定より、テラヘルツの周波数間隔で時間的に同期した光パルスが得られていることが確認できる。

この光パルスを slanted-PPLN (Periodically Polled Lithium Niobate) (グレーティング周期 : 3 5 μ m , 傾斜角度 : 2 3 度) に入射することで、2 波長光パルスに相当する周波数 1 . 5 T H z のテラヘルツ波発生を確認することができた。

【 他の実施形態 】

【 0 0 1 0 】

上述の構成では、同期した 2 つの周波数を有するパルス光を得るために、非線形性の光ファイバによる、パルス光と連続波光との四光波混合 (Four Wave Mixing) を用いている。しかしながら、他の構成により、同期した 2 つの周波数を有するパルス光を得ることができる。2 つの周波数の間隔がテラヘルツであれば、この 2 つのパルス光を図 1 における非線形光学デバイス 1 6 0 に入力することで、テラヘルツのパルス光を得ることができる。

ラマン効果とは、透明媒質を光が通るとき、光の散乱にみられる現象である。散乱光は入射光に対して分子の回転エネルギーや振動エネルギーの変化に相当した周波数の変化や位相のランダムなゆらぎを受ける。これを利用して、同期した 2 つの周波数を有するパルス光を得ることができる。この構成を図 6 に示す。

図 6 において、パルス発振半導体レーザ 2 1 0 では周波数 ω_0 の光パルスが発生している。これを光増幅器 2 2 0 で増幅後、ラマン効果を有する非線形ファイバ 2 4 0 に入射す

10

20

30

40

50

る。非線形ファイバ 240 中で、ラマン効果により、入射した周波数 ω_0 のパルス光から、 ω_1 だけ異なった周波数 ω_1 のパルス光も発生する（図 6 のグラフ参照）。この ω_1 は、非線形ファイバの材料により定まり、例えば酸化シリコン（ SiO_2 ）では、13 THz である。

このようにして、ラマン効果により、2つの周波数を有するパルス光を得ることができる。

【0011】

また、自己位相変調（self phase modulation）とは、光ファイバの中で発生する非線形光学現象である。光ファイバなどの媒質の屈折率は、その中を伝搬される光パルスの強度に比例してわずかに変化するため、光カー効果により光パルス自身に位相変調が生じる。この現象を自己位相変調という。これを利用して、同期した2つの周波数を有するパルス光を得ることができる。この構成を図 7 に示す。

図 7 において、パルス発振半導体レーザ 212 では周波数 ω_0 の光パルスが発生している。これを光増幅器 222 で増幅後、ラマン効果を有する非線形ファイバ 242 に入射する。非線形ファイバ 242 中で、自己位相変調により、入射した周波数 ω_0 のパルス光が、十分な周波数幅を有する光となる。この周波数幅を有するパルス光から、フィルタ 252, 254 を用いて、 ω_1 の間隔を有する2つの周波数 ω_1, ω_2 パルス光を取り出す（図 7 のグラフ参照）。このとき、取り出すパルス光の位相を合わせる必要がある。 ω_1 の間隔をテラヘルツとすると、これを用いても、テラヘルツのパルス光を得ることができる。

このように、上述した図 1 以外の構成でも、2つの同期したパルス光を発生して、テラヘルツのパルス光を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】実施形態の構成例を示す図である。

【図 2】四光波混合（FWM）を説明する図である。

【図 3】フィルタ 154 から出力するパルス光を説明する図である。

【図 4】図 1 の実施形態を実施した時のフィルタ出力のスペクトルを示すグラフである。

【図 5】1.5 THz のビートを含む SHG（Second Harmonic Generation）相関波形を示すグラフである。

【図 6】他の実施形態を示す図である。

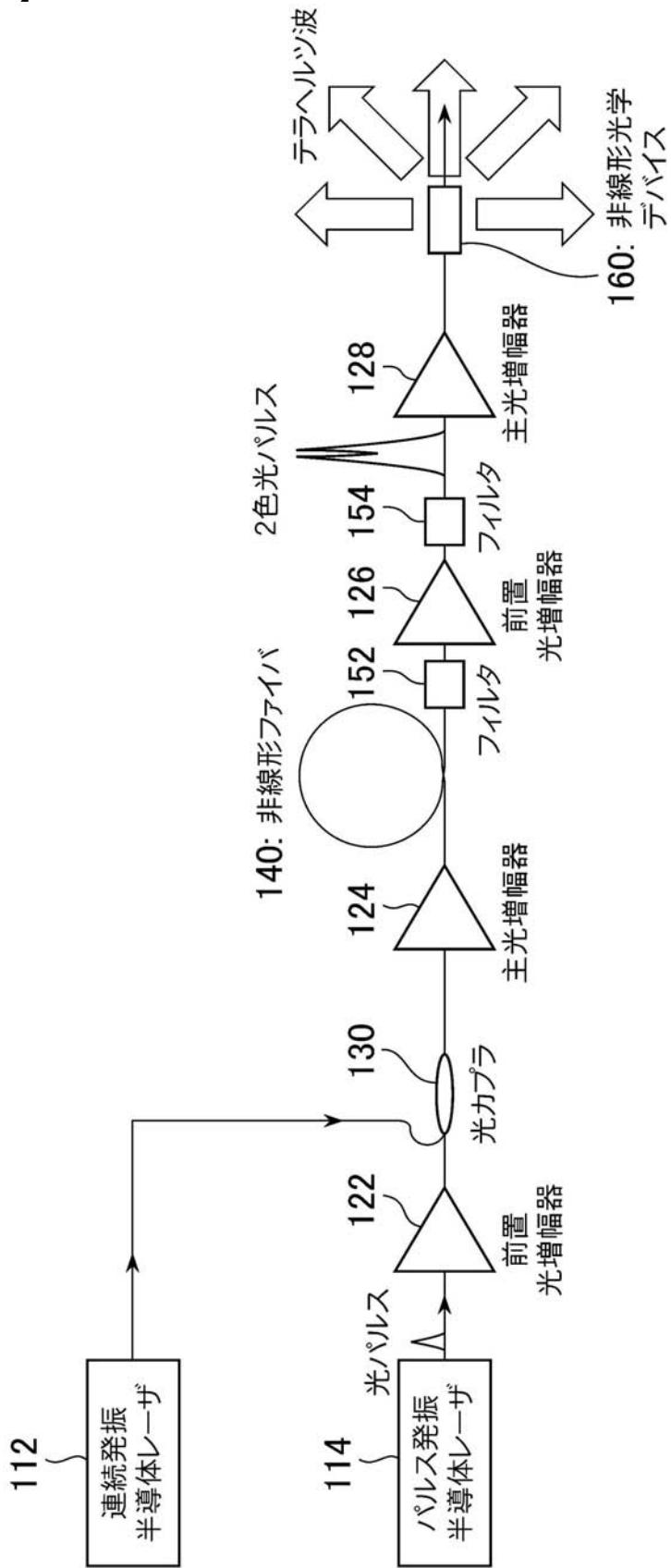
【図 7】他の実施形態を示す図である。

10

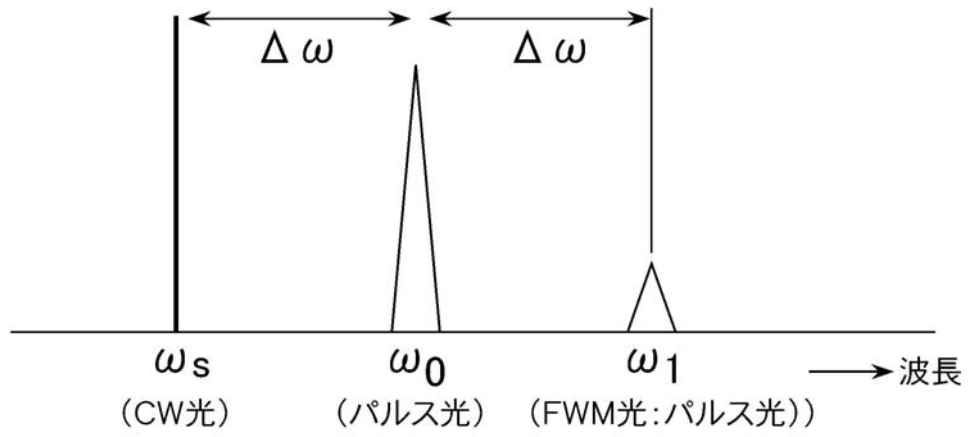
20

30

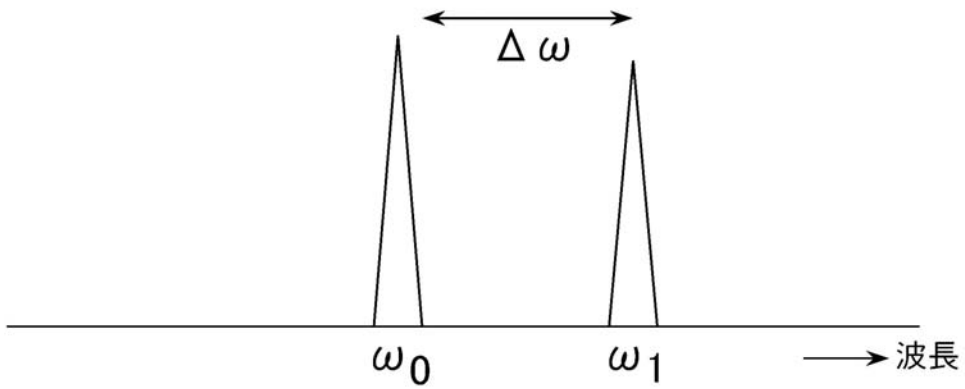
【 図 1 】



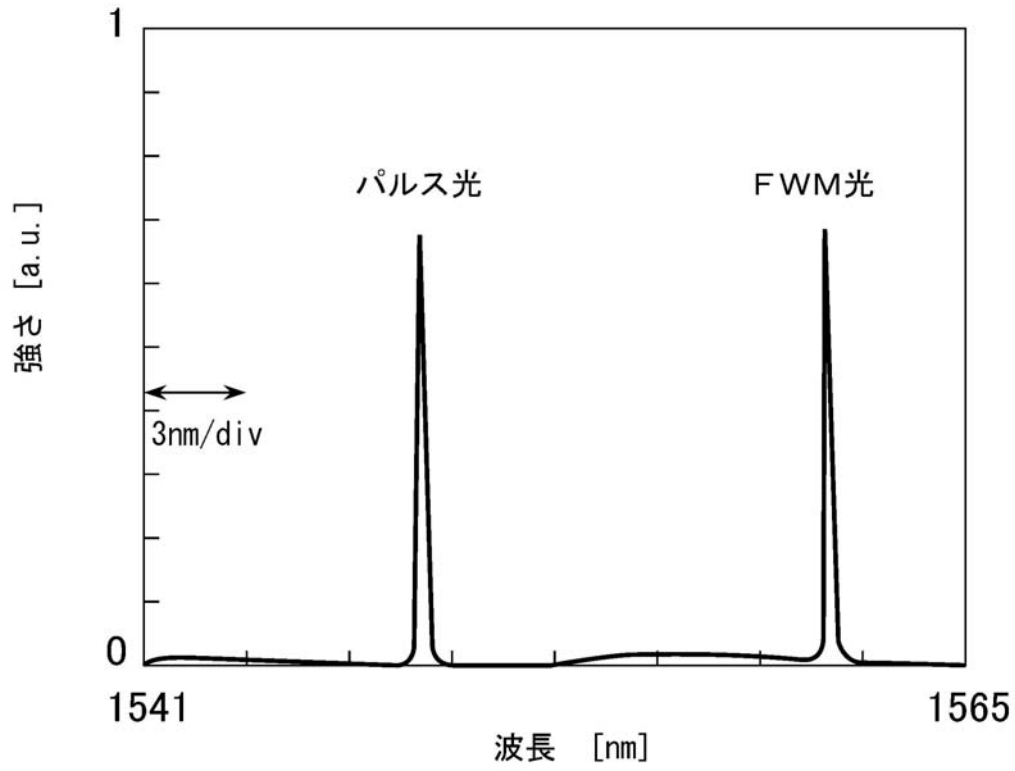
【 図 2 】



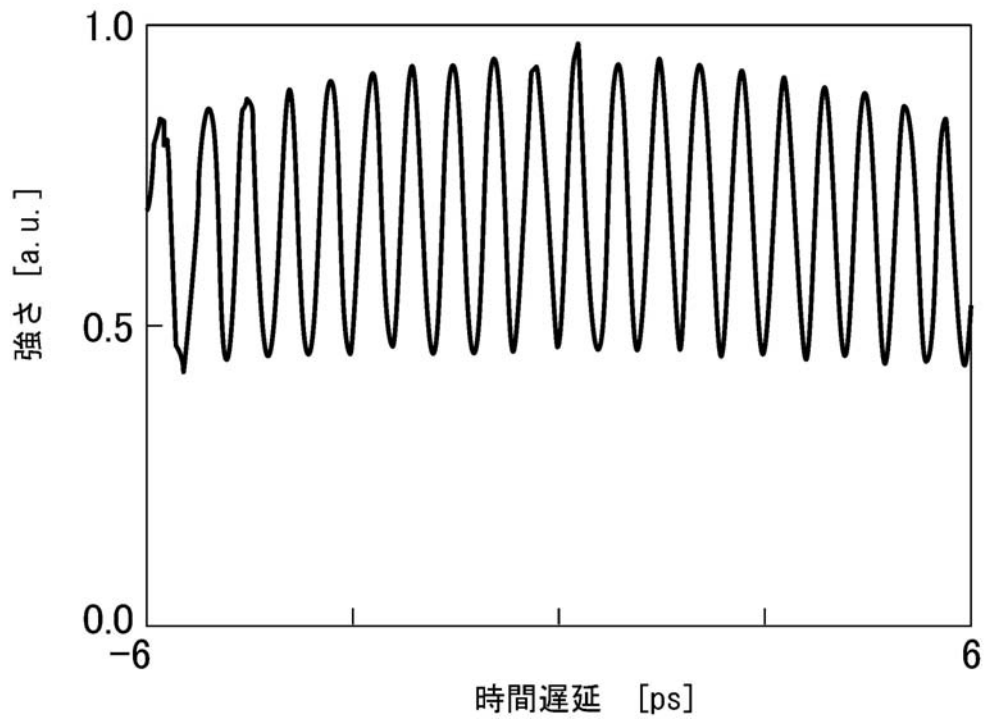
【 図 3 】



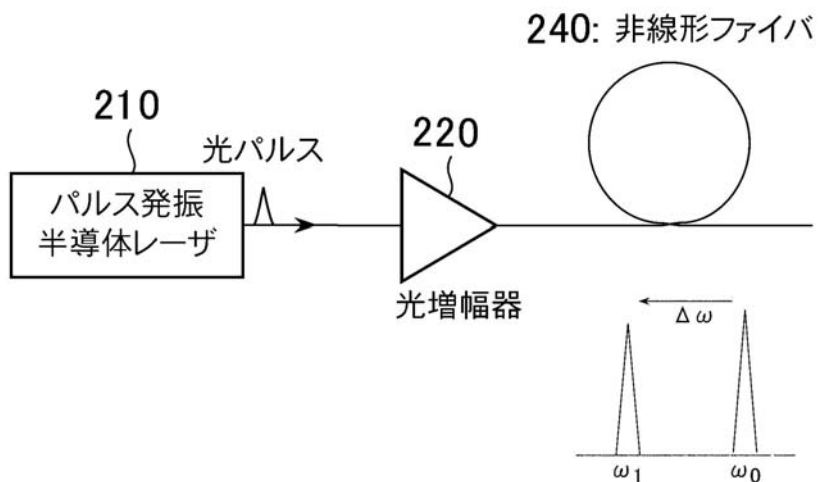
【 図 4 】



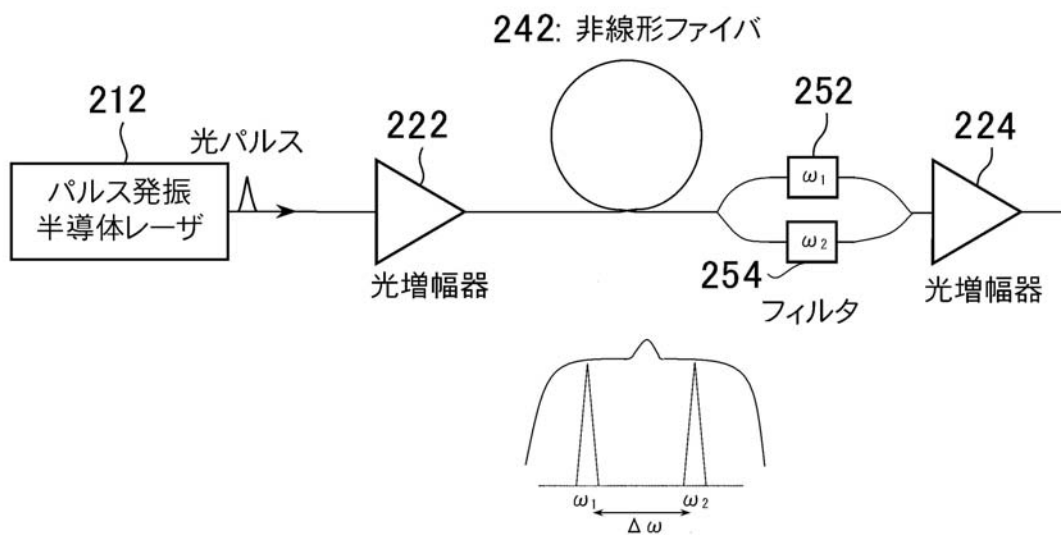
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 弘昌
仙台市青葉区荒巻字青葉390-82

審査官 佐藤 宙子

(56)参考文献 特開昭61-113036(JP,A)
Appl.Phys.Lett., 2002年10月28日, Vol.81, No.18, 3323-3325

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02F 1/35
H01S 3/00
JSTPlus(JDream2)
IEEE