

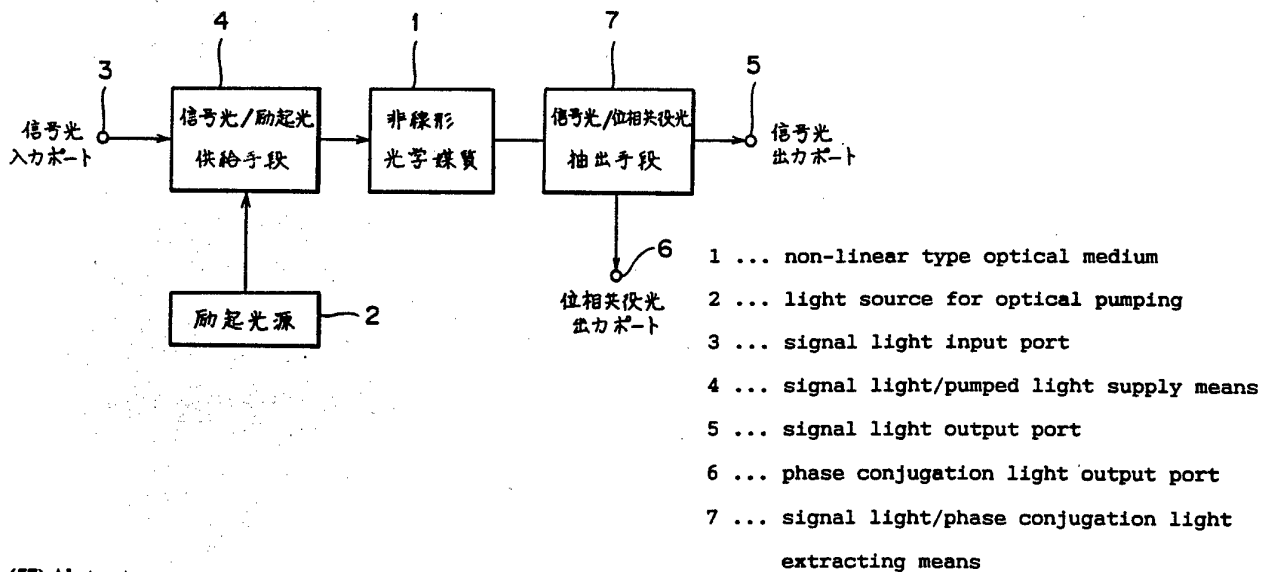


特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類 5 G02F 1/35	A1	(11) 国際公開番号 WO 94/09403 (43) 国際公開日 1994年4月28日 (28.04.1994)
(21) 国際出願番号 PCT/JP93/01514 (22) 国際出願日 1993年10月20日 (20. 10. 93) (30) 優先権データ 特願平4/281752 1992年10月20日 (20. 10. 92) JP 特願平4/304250 1992年11月16日 (16. 11. 92) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) (JP/JP) 〒211 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 Kanagawa, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 渡辺茂樹 (WATANABE, Shigeki) (JP/JP) 〒211 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内 Kanagawa, (JP) (74) 代理人 弁理士 松本 昂 (MATSUMOTO, Takashi) 〒107 東京都港区赤坂六丁目10番8号 ディー・アイ・ケイビル3階 松本国際特許事務所 Tokyo, (JP) (81) 指定国 JP, US. 添付公開書類 国際調査報告書		

(54) Title : APPLICATION OF OPTICAL SYSTEM TO PHASE CONJUGATE OPTICS

(54) 発明の名称 位相共役光学の光システムへの適用



(57) Abstract

Output signal light and phase conjugate light are generated in a non-linear type optical medium (1) by applying pumping light and input signal light to the non-linear type optical medium (1). These output signal light and phase conjugate light are extracted by signal light/phase conjugate light extracting means (7) and output from output ports (5) and (6), respectively. This phase conjugate light generator is applicable to various optical systems.

(57) 要約

非線形光学媒質(1)に励起光と入力信号光とを供給して、非線形光学媒質(1)内で出力信号光及び位相共役光を発生させる。これら出力信号光及び位相共役光は信号光／位相共役光抽出手段(7)により抽出され、それぞれ出力ポート(5)及び(6)から出力される。この位相共役光発生装置は種々の光システムに適用可能である。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AT	オーストリア	CS	チェッコスロヴァキア	KR	大韓民国	PL	ポーランド
AU	オーストラリア	CZ	チェッコ共和国	KZ	カザフスタン	PT	ポルトガル
BB	バルバドス	DE	ドイツ	LI	リヒテンシュタイン	RO	ルーマニア
BE	ベルギー	DK	デンマーク	LK	スリランカ	RU	ロシア連邦
BF	ブルキナ・ファソ	ES	スペイン	LU	ルクセンブルグ	SD	スーダン
BG	ブルガリア	FI	フィンランド	LV	ラトヴィア	SE	スウェーデン
BJ	ベナン	FR	フランス	MC	モナコ	SI	スロヴェニア
BR	ブラジル	GA	ガボン	MG	マダガスカル	SK	スロヴァキア共和国
BY	ベラルーシ	GB	イギリス	ML	マリ	SN	セネガル
CA	カナダ	GN	ギニア	MN	モンゴル	TD	チャード
CF	中央アフリカ共和国	GR	ギリシャ	MR	モーリタニア	TG	トーゴ
CG	コンゴ	HU	ハンガリー	MW	マラウイ	UA	ウクライナ
CH	スイス	IE	アイルランド	NE	ニジェール	US	米国
CI	コート・ジボアール	IT	イタリア	NL	オランダ	UZ	ウズベキスタン共和国
CM	カメルーン	JP	日本	NO	ノルウェー	VN	ヴェトナム
CN	中国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NZ	ニュー・ジーランド		

- 1 -

明 細 書

位相共役光学の光システムへの適用

5 技 術 分 野

本発明は、一般的には、位相共役光学の光通信、光計測、光情報処理その他の分野への適用に関し、さらに詳しくは、第1に位相共役光発生装置並びに該装置を備えた中継光伝送システム、双方向中
10 継光伝送システム、光分配システム、光スイッチングシステム、光選択システム及び光アンド回路システムに関し、第2に位相共役光を用いた光通信システムに関し、第3にこれらのシステムに適用可能な光変調器に関する。

15 まず、本発明の第1の適用分野について説明する。本発明の以下の実施例は、位相共役光発生装置並びに該装置を備えた中継光伝送システム、双方向中継光伝送システム、光分配システム、光スイッチングシステム、光選択システム及び光ア
20 ド回路システムに関する。

非線形光学を用いることにより、従来の光技術では得られなかった新しい機能の達成や光システム
25 の特性の改善が可能になる。特に、最近盛んに研究が進められている位相共役光を用いれば、光伝送路における位相揺らぎや波長分散の補償、高

- 2 -

感度の情報の読み取り、低雑音の増幅、さらにはスクイズド状態等の量子状態の生成等への光技術の幅広い応用が可能になる。

5 背景技術

従来、例えば光の増幅、分岐、情報の付加といった機能を実現するためには、各々の機能だけを持つ光デバイス（具体的には光増幅器、光分岐器、光カプラ等）を組み合わせるシステムを構成していた。また、例えば光伝送路中で受ける位相揺らぎや波長分散等に対しては、主に信号の送受信側、特に受信側において補償する方法が用いられてきた。

本発明の第1の適用分野における目的は、種々の光システムに適用可能な新規な構成を有する位相共役光発生装置を提供することである。

本発明の第1の適用分野における他の目的は、この位相共役光発生装置を備えた有用な光システムを提供することである。

20

発明の開示

本発明の位相共役光発生装置は、非線形光学媒質と、励起光を出力する励起光源と、信号光入力ポートに供給された入力信号光を上記励起光源からの上記励起光とともに上記非線形光学媒質に供

25

給する信号光／励起光供給手段と、上記非線形光学媒質に供給された上記入力信号光及び上記励起光の相互作用により発生した出力信号光及び位相共役光を抽出してそれぞれ信号光出力ポート及び位相共役光出力ポートから出力する信号光／位相共役光抽出手段とを備える。

本発明の中継光伝送システムは、送信局と、受信局と、該送信局及び該受信局間に敷設された光伝送路と、該光伝送路の途中に挿入された少なくとも一つの中継局とを備え、該中継局は本発明の位相共役光発生装置を含み、該位相共役光発生装置は、上記送信局の側から供給された光を上記入力信号光として受け、上記位相共役光を上記受信局の側に向けて送出する。

本発明の双方向中継光伝送システムは、第1の光送信機及び第1の光受信機を有する第1の送受信局と、第2の光送信機及び第2の光受信機を有する第2の送受信局と、該第1及び第2の送受信局間に敷設された上り及び下り光伝送路と、該上り及び下り光伝送路の途中に挿入された少なくとも一つの中継局とを備え、該中継局は本発明の位相共役光発生装置を含み、該位相共役光発生装置の上記励起光源は第1及び第2の励起光をそれぞれ出力する第1及び第2の励起光源であり、上記位相共役光発生装置の上記位相共役光出力ポート

は第 1 及び第 2 の位相共役光出力ポートであり、
上記位相共役光発生装置は、上記第 1 の送受信局
の側から上記信号光入力ポートに供給された光を
第 1 の信号光として受け、該第 1 の信号光及び上
5 記第 1 の励起光に基づき第 1 の位相共役光を発生
させ、該第 1 の位相共役光を上記第 1 の位相共役
光出力ポートから上記第 2 の送受信局の側に向け
て送出するとともに、上記第 2 の送受信局の側か
ら上記信号光出力ポートに供給された光を第 2 の
10 信号光として受け、該第 2 の信号光及び上記第 2
の励起光に基づき第 2 の位相共役光を発生させ、
該第 2 の位相共役光を上記第 2 の位相共役光出力
ポートから上記第 1 の送受信局の側に向けて送出
する。

15 本発明の光分配システムは、本発明の位相共役
光発生装置を複数備え、該複数の位相共役光発生
装置のうちの上位のものの上記信号光出力ポート
及び上記位相共役光出力ポートはそれぞれ該複数
の位相共役光発生装置のうちのすぐ下位のものの
20 上記信号光入力ポートに接続される。

本発明の光スイッチングシステムは、本発明の
位相共役光発生装置と、該装置の上記励起光源を
オン・オフするスイッチング手段とを備え、該ス
イッチング手段の動作により上記位相共役光が発
25 生する状態と発生しない状態とが択一的に切り換

えられる。

本発明の光選択システムは、本発明の位相共役光発生装置と、該装置における上記励起光の周波数を掃引する掃引手段とを備え、該装置の上記信号光入力ポートには周波数分割多重された複数の信号光が供給され、上記掃引手段の動作により上記複数の信号光から択一的に選択された信号光に対応する位相共役光が発生する。

本発明の光アンド回路システムは、本発明の一つの実施態様に係る位相共役光発生装置と、第1及び第2の入力論理データのハイ及びローに従ってそれぞれ上記装置の上記第1及び第2の励起光源の発光強度を変化させる励起光制御手段とを備え、上記第1及び第2の入力論理データがともにハイのときにのみ上記位相共役光が発生する。

図面の簡単な説明

図1は位相共役光の発生原理の説明図；

図2は信号光、励起光及びアイドラ光の周波数配置の説明図；

図3は本発明の基本構成を示す位相共役光発生装置のブロック図；

図4は本発明の第1実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図；

図5は本発明の第2及び第3実施例を説明する

ための位相共役光発生装置の主要部のブロック図；

図 6 は本発明の第 2 実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図；

5 図 7 は本発明の第 3 実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図；

図 8 は本発明の第 4 実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図；

図 9 A，図 9 B 及び図 9 C は本発明の第 5 実施例を示す中継光伝送システムのブロック図；

10 図 1 0 は本発明の第 6 実施例を示す中継光伝送システムのブロック図；

図 1 1 は本発明の第 7 実施例を示す双方向中継光伝送システムのブロック図；

15 図 1 2 は図 1 1 のシステムにおける周波数配置の説明図；

図 1 3 は本発明の第 8 実施例を示す双方向中継光伝送システムのブロック図；

図 1 4 は本発明の第 9 実施例を示す光分配システムのブロック図；

20 図 1 5 は本発明の第 1 0 実施例を示す光スイッチングシステムのブロック図；

図 1 6 は本発明の第 1 1 実施例を示す光選択システムのブロック図；

25 図 1 7 は本発明の第 1 2 実施例を示す光アンド回路システムのブロック図；

図 1 8 は本発明の光通信システムの基本構成を示すブロック図；

図 1 9 は本発明における主局の具体的構成を示すブロック図；

5 図 2 0 は位相共役光の発生原理の説明図；

図 2 1 は信号光、励起光及びアイドラ光（位相共役光）の周波数配置の説明図；

図 2 2 は本発明における主局の実施例を示すブロック図；

10 図 2 3 A 及び図 2 3 B は位相共役光の強度変調の説明図；

図 2 4 は本発明の光通信システムの他の基本構成を示すブロック図；

15 図 2 5 は本発明における従局の第 1 実施例を示すブロック図；

図 2 6 は本発明における従局の第 2 実施例を示すブロック図；

図 2 7 は図 2 6 の実施例における中間周波信号のスペクトルの説明図；

20 図 2 8 は偏光制御を不要にした実施例を示す光通信システムのブロック図；

図 2 9 は本発明を光分配系に適用した実施例を示す光通信システムのブロック図；

25 図 3 0 は本発明の光変調器の基本構成を示すブロック図；

図 3 1 A , 図 3 1 B 及び図 3 1 C は励起光の変調による出力アイドラ光の変調の説明図 ;

図 3 2 は本発明の光変調器の第 1 実施例を示すブロック図 ;

5 図 3 3 は本発明の光変調器の第 2 実施例を示すブロック図 ;

図 3 4 は本発明の光変調器の第 3 実施例を示すブロック図 ;

10 図 3 5 は本発明の光変調器の第 4 実施例を示すブロック図 ;

図 3 6 は本発明の光変調器の第 5 実施例を示すブロック図 ;

図 3 7 は本発明の光変調器の第 6 実施例を示すブロック図 ;

15 図 3 8 は本発明の光変調器の第 7 実施例を示すブロック図 ;

図 3 9 は本発明の光変調器の第 8 実施例を示すブロック図 ;

20 図 4 0 は本発明の光変調器の第 9 実施例を示すブロック図 ;

図 4 1 は本発明の光変調器の第 1 0 実施例を示すブロック図 ;

図 4 2 は本発明の光変調器の第 1 1 実施例を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の態様

以下、本発明の第1の適用分野における実施例を図面に沿って詳細に説明する。

図1は非線形光学効果による位相共役光の発生原理の説明図である。非線形光学媒質を用いて位相共役光を発生させる場合、パラメトリック光増幅（光パラメトリックプロセス）又は4光波混合によるのが望ましい。パラメトリック光増幅器は2次の非線形光学効果を用いるのに対し、4光波混合は3次の非線形光学効果を用いる点で異なるが、物理的には全く同じ現象である。

いま、図1に示されるように、高強度の励起光 E_P （周波数 ω_P ）が非線形光学媒質 NOM に入射している状態で、周波数 ω_s の信号光 E_s と周波数 ω_i のアイドラ光 E_i とが非線形光学媒質 NOM に入射すると、2次又は3次の非線形光学プロセスにより、周波数 ω_s の信号光 E_s' と周波数 ω_i のアイドラ光 E_i' とが非線形光学媒質 NOM から出力される。このとき、エネルギー保存則により以下の関係が成り立つ。

$$\omega_s + \omega_i = \omega_P \text{ (パラメトリック光増幅器)} \cdots (1)$$

$$\omega_s + \omega_i = 2\omega_P \text{ (4光波混合)} \cdots (2)$$

特に、4光波混合における信号光、励起光及びアイドラ光の周波数配置を図2に示す。 Ω は信号光と励起光の離調周波数である。周波数軸上にお

- 1 0 -

いて、信号光及びアイドラ光は励起光を中心として対称の位置にあることがわかる。

図 1 の原理における非線形光学効果の相互作用長を L とすれば、生成方程式は以下のように与えられる。

$$\frac{E_s'}{(\omega_s)^{1/2}} = \cosh(|g|L) \frac{E_s}{(\omega_s)^{1/2}} - i \exp(i\theta) \sinh(|g|L) \frac{E_1^*}{(\omega_1)^{1/2}} \quad \dots(3)$$

$$\frac{E_1'^*}{(\omega_1)^{1/2}} = \cosh(|g|L) \frac{E_1^*}{(\omega_1)^{1/2}} + i \exp(-i\theta) \sinh(|g|L) \frac{E_s}{(\omega_s)^{1/2}} \quad \dots(4)$$

ここに、 g は係合定数を表し、特に 4 光波混合の場合には、

$$g = \kappa E_p^2 = |g| \exp(i\theta) \quad \dots(5)$$

$$\kappa = \frac{3\omega_0}{2nc} \langle \chi^{(3)} \rangle \quad \dots(6)$$

となる。 n 及び $\chi^{(3)}$ はそれぞれ非線形媒質 NOM の屈折率及び 3 次の非線形光学定数を表す。また、 $\langle \chi^{(3)} \rangle$ は非線形光学定数 $\chi^{(3)}$ の非線形媒質 NOM における偏波状態についての平均を表す。(3), (4) 式より、信号光及びアイドラ光に対する利得 G_s 及び G_1 は、

- 1 1 -

$$G_s = G = \cosh^2(|g|L) \quad \dots(7)$$

$$G_I = (G-1) \frac{\omega_I}{\omega_s} = \sinh^2(|g|L) \frac{\omega_I}{\omega_s} \quad \dots(8)$$

5 で与えられることがわかる。通常、 $\omega_I / \omega_s \approx 1$ であるから、非線形光学効果による位相共役光の発生においては、信号の増幅が実現されることがわかる。また、この場合における利得は、励起光の強度に依存するので、本発明の位相共役光発生装置において光変調を行って、位相共役光発生装置から出力される光に新たな情報を載せることができる。

10 図1の原理に基づいて発生する出力アイドラ光 E_I' は入力信号光 E_s に対する位相共役光になっている。このことは、(3)、(4)式において、入力アイドラ光がない場合 ($E_I = 0$) を考えてみれば明らかである (E_I' は E_s の複素共役に相当)。

20 次に、この位相共役光の大きな特徴である時間反転の性質について説明する。いま、+z方向に進行する入力プローブ光（変調されていない入力信号光に相当）が平面波として次の式で表されるものとする。

$$E_s(r, t) = (1/2)A_s(r)\exp[i(\omega_s t - k_s z)] + c.c. \dots(9)$$

25 ここで、 $A_s(r)$ は電場の複素振幅、 r は空間座標ベクトル、 ω_s はプローブ光の周波数、 t

- 1 2 -

は時間、 k_s は波数ベクトルを表し、 $c. c.$ はその直前の項の複素共役をとることを意味する。但し、波数ベクトルの大きさ k_s は、光路の屈折率を n 、真空中の光速を c とすると、 $k_s = \omega_s n / c$ で与えられる。このとき、(9) 式で表される光の位相共役光は、次の(10), (11)式で表される。

$$E_c(r, t) = (1/2) A_s^*(r) \exp[i(\omega_s t - k_s z)] + c. c. \dots (10)$$

$$E_c(r, t) = (1/2) A_s^*(r) \exp[i(\omega_s t + k_s z)] + c. c. \dots (11)$$

ここで、(10)式は $+z$ 方向の進行波である透過型位相共役光を表し、(11)式は $-z$ 方向の進行波である反射型位相共役光を表す。(9), (11)式より明らかのように、反射型位相共役光については、

$$E_c(r, t) = E_s(r, -t) \dots (12)$$

が成り立ち、位相共役光が時間反転の性質を持つことがわかる。また、(9), (10)式から、透過型位相共役光については、横方向の空間座標成分について時間反転の性質を持つことがわかる。この時間反転の性質を用いることによって、光伝送路で受ける線形の位相歪み（例えば波長分散の影響）や偏波変動等の位相揺らぎを補償可能である。

図3は本発明の位相共役光発生装置の基本構成を示すブロック図である。1は非線形光学媒質、2は励起光源、3は信号光入力ポート、4は信号光／励起光供給手段、5は信号光出力ポート、6

- 1 3 -

は位相共役光出力ポート、7は信号光／位相共役光抽出手段をそれぞれ表している。

励起光源2は励起光を出力する。信号光／励起光供給手段4は、信号光入力ポート3に供給された入力信号光を励起光源2からの励起光とともに
5 非線形光学媒質1に供給する。信号光／位相共役光抽出手段7は、非線形光学媒質1に供給された入力信号光と励起光との相互作用により発生した出力信号光及び位相共役光を抽出してそれぞれ信号光出力ポート5及び位相共役光出力ポート6から出力する。
10

この構成によると、信号光と励起光を非線形光学媒質1に入射させて位相共役光を発生させることができる。また、発生した位相共役光を位相共役光出力ポート6から取り出すことができるので、
15 この装置を種々の光システムに適用可能である。

図4は本発明の第1実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図である。この実施例では、図3の信号光／励起光供給手段4は、少なくとも3つのポートを有する光カプラ11を含む。光カプラ11はポート11A、11B及び11Cを有し、
20 ポート11A及び11Bに供給された光をポート11Cから出力するように機能する。光カプラ11のポート11Aは信号光入力ポート3に接続され、ポート11Bは励起光源2に接続され、ポ
25

ト 1 1 C は非線形光学媒質 1 の第 1 端に接続される。尚、本願明細書において「接続」という語は、動作的な接続を意味し、光学的に直接接続される場合を含み、さらに、光フィルタ、光アイソレータ及び光増幅器等の光デバイスを介して接続される場合を含む。光カプラ 1 1 としては、ファイバ融着型のもの、ハーフミラー、偏光ビームスプリッタ、光合波器等を使用可能である。また、非線形光学媒質 1 としては、光ファイバ、半導体レーザ、半導体光増幅器、その他 2 次又は 3 次の非線形光学効果を呈する光学結晶等を採用可能である。

この実施例のように光カプラ 1 1 を用いて信号光及び励起光を非線形光学媒質 1 に供給すると、信号光及び励起光は非線形光学媒質 1 の第 1 端から同一光路で非線形光学媒質 1 に入射するので、非線形光学媒質 1 内においては信号光及び励起光が同一方向に伝搬し、例えば非線形光学媒質 1 が 3 次の非線形光学効果を呈する場合に、片方向励起型の 4 光波混合を生じさせて、位相共役光を非線形光学媒質 1 の第 2 端から取り出すことができる。

励起光源 2 から供給される励起光の強度が十分に高い場合、前述したように、非線形光学媒質 1 においては利得が生じ、増幅された信号光及び位相共役光が非線形光学媒質 1 から出力される。こ

- 1 5 -

れら信号光及び位相共役光を分離して取り出すために、この実施例では、図3の信号光／位相共役光抽出手段7は、光デバイダ12と光フィルタ13及び14とを含む。光デバイダ12はポート12A、12B及び12Cを有し、ポート12Aに供給された光を2分岐してそれぞれポート12B及び12Cから出力するように機能する。光デバイダ12のポート12Aは非線形光学媒質1の第2端に接続される。光デバイダ12としては、例えば、ファイバ融着型のもの、ハーフミラー、偏光ビームスプリッタ、光分波器等が使用される。光フィルタ13は光デバイダ12のポート12Bと信号光出力ポート5の間の光路に挿入され、その通過帯域は出力信号光の周波数を包含する。光フィルタ14は光デバイダ12のポート12Cと位相共役光出力ポート6の間の光路に挿入され、その通過帯域は位相共役光の周波数を包含する。

励起光の周波数と信号光の周波数を僅かに異ならせて非線形光学媒質1において非縮退型の4光波混合を生じさせる場合には、このようにして出力信号光及び位相共役光を光学的に分離することができる。励起光源2として例えばレーザダイオードが用いられている場合、その駆動電流に情報信号を重畳して励起光の振幅変調又は強度変調を行うことによって、非線形光学媒質1における利

得を変調して、その結果変調された出力信号光及び位相共役光を得ることができる。

図 5 は本発明の第 2 及び第 3 実施例を説明するための位相共役光発生装置の主要部のブロック図である。これらの実施例は、周波数が等しい 2 つの励起光をそれぞれ非線形光学媒質 1 に互いに逆向きに入射させ、双方向励起型の 4 光波混合を生じさせている点で特徴付けられる。図 3 の励起光源 2 に対応して 2 つの励起光源 2 1 及び 2 2 が設けられている。励起光源 2 1 及び 2 2 からの励起光を非線形光学媒質 1 にそれぞれ互いに逆向きで入射させるために、図 3 の信号光／励起光供給手段 4 は、2 つの光カップラ 2 3 及び 2 4 を含む。光カップラ 2 3 はポート 2 3 A, 2 3 B 及び 2 3 C を有し、ポート 2 3 A 及び 2 3 B に供給された光をポート 2 3 C から出力し、ポート 2 3 C に供給された光をポート 2 3 A から出力するように機能する。光カップラ 2 3 のポート 2 3 B は励起光源 2 1 に接続され、ポート 2 3 C は非線形光学媒質 1 の第 1 端に接続される。光カップラ 2 4 はポート 2 4 A, 2 4 B 及び 2 4 C を有し、ポート 2 4 A に供給された光をポート 2 4 C から出力し、ポート 2 4 B に供給された光をポート 2 4 A から出力するように機能する。光カップラ 2 4 のポート 2 4 A は非線形光学媒質 1 の第 2 端に接続され、ポート 2

- 1 7 -

4 B は励起光源 2 2 に接続される。図示された例では、独立した 2 つの励起光源 2 1 及び 2 2 を用いているが、出力強度が高い 1 つの励起光源からの励起光を 2 分岐してそれぞれ光カプラ 2 3 のポート 2 3 B と光カプラ 2 4 のポート 2 4 B に供給するようにしてもよい。この場合、2 つの励起光の周波数を一致させるための制御が不要になる。

図 6 は本発明の第 2 実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図である。この実施例は、図 5 の主要部の非線形光学媒質 1 において双方向励起型の 4 光波混合により後方向に発生した位相共役光を取り出すのに適している。非線形光学媒質 1 内を伝搬する信号光と逆向きに発生した位相共役光を取り出すために、この実施例では、図 3 の信号光／位相共役光抽出手段 7 は、光デバイダ 3 1 と光フィルタ 3 2 及び 3 3 とを含む。光デバイダ 3 1 はポート 3 1 A, 3 1 B 及び 3 1 C を有し、ポート 3 1 A に供給された光をポート 3 1 C から出力し、ポート 3 1 C に供給された光をポート 3 1 B から出力するように機能する。光フィルタ 3 2 は光カプラ 2 4 のポート 2 4 C と信号光出力ポート 5 の間の光路に挿入され、その通過帯域は出力信号光の周波数を包含する。光フィルタ 3 3 は光デバイダ 3 1 のポート 3 1 B と位相共役光出力ポート 6 の間の光路に挿入され、その通過帯域は

位相共役光の周波数を包含する。

図 7 は本発明の第 3 実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図である。この実施例は、図 5 の主要部の非線形光学媒質 1 において双方向励起型の 4 光波混合により前方向及び後方向にそれぞれ発生した位相共役光を取り出すのに適している。前方向及び後方向にそれぞれ発生した位相共役光を取り出すために、この実施例では、図 3 の位相共役光出力ポート 6 に対応して位相共役光出力ポート 6 A 及び 6 B が設けられており、信号光／位相共役光抽出手段 7 は、光デバイダ 3 1 及び 4 1 と光フィルタ 3 3, 4 2 及び 4 3 とを含む。光デバイダ 3 1 及び光フィルタ 3 3 は、図 6 の第 2 実施例におけるのと同じように後方向に発生した位相共役光を抽出するためのもので、光フィルタ 3 3 には位相共役光出力ポート 6 B が接続される。光デバイダ 4 1 と光フィルタ 4 2 及び 4 3 は前方向に発生した位相共役光を取り出すためのものである。光デバイダ 4 1 はポート 4 1 A, 4 1 B 及び 4 1 C を有し、ポート 4 1 A に供給された光を 2 分岐してそれぞれポート 4 1 B 及び 4 1 C から出力する。光デバイダ 4 1 のポート 4 1 A は光カップラ 2 4 のポート 2 4 C に接続される。光フィルタ 4 2 は光デバイダ 4 1 のポート 4 1 B と信号光出力ポート 5 の間の光路に挿入され、その通過帯

域は出力信号光の周波数を包含する。光フィルタ 4 3 は光デバイス 4 1 のポート 4 1 C と位相共役光出力ポート 6 A の間の光路に挿入され、その通過帯域は位相共役光の周波数を包含する。

- 5 図 8 は本発明の第 4 実施例を示す位相共役光発生装置のブロック図である。この実施例は、図 3 の基本構成に対比して、入力データに基づき励起光を変調する変調手段 5 1 をさらに備えている点で特徴付けられる。変調手段 5 1 が励起光の強度
10 又は振幅を変調する場合、それに伴って非線形光学媒質 1 における利得が変化するので、信号光出力ポート 5 から出力される信号光と位相共役光出力ポート 6 から出力される位相共役光の双方について変調を行うことができる。また、変調手段 5
15 1 が励起光の周波数を変調する場合には、信号光の周波数と励起光の周波数の差が励起光の周波数と位相共役光の周波数の差に等しいという関係から、位相共役光についての周波数変調が可能になる。尚、変調手段 5 1 が励起光の強度を変調する
20 場合には、変調度を小さくして変調成分を出力信号光及び／又は位相共役光に重畳するようにしても良いし、変調度を大きくして、位相共役光をオン・オフ変調するようにしてもよい。変調手段 5 1 を図 6 の第 2 実施例又は図 7 の第 3 実施例に適用して励起光源の強度変調を行う場合には、変調
25

- 2 0 -

手段 5 1 により励起光源 2 1 及び 2 2 のいずれか一方から出力される励起光が変調されるようにすればよい。尚、以上の位相共役光発生装置の実施例では、必要に応じて励起光、出力信号光、位相共役光について光増幅を行うようにしても良い。

図 9 A , 図 9 B 及び図 9 C は本発明の第 5 実施例を示す中継光伝送システムのブロック図である。これらのシステムは、それぞれ、送信局 6 1 と、受信局 6 2 と、送信局 6 1 及び受信局 6 2 間に敷設された光伝送路 6 3 と、光伝送路 6 3 の途中に挿入された中継局 6 4 とを備えている。

図 9 A に示された例では、中継局 6 4 は位相共役光発生装置 6 5 を含み、この位相共役光発生装置 6 5 は、送信局 6 1 から光伝送路 6 3 を介して信号光入力ポート 3 に供給された光を入力信号光として受け、この入力信号光に基づいて発生した位相共役光を、位相共役光出力ポート 6 から光伝送路 6 3 を介して受信局 6 2 に向けて送出する。位相共役光発生装置 6 5 は例えば図 3 に示された基本構成を有する。この構成によると、光伝送路 6 3 の途中に位相共役光発生装置 6 5 を設けているので、光伝送路 6 3 において生じた波長分散等を補償することができ、長距離の光伝送が可能になる。また、位相共役光発生装置 6 5 で位相共役光に対する利得が生じるようにしておくことによ

- 2 1 -

って、光伝送路 6 3 で減衰した信号光強度を補償することができる。

図 9 B に示された例では、中継局 6 4 は、位相共役光発生装置 6 5 に加えて、入力データに基づき励起光を変調する変調手段 6 6 をさらに含む。この入力データは例えば中継局 6 4 の監視データを含む。この構成によると、監視データ等の中継局 6 4 に固有の情報を受信局 6 2 に伝送することができる。尚、位相共役光発生装置 6 5 の信号光出力ポート 5 からの出力信号光が受信局 6 2 に伝送されるようにし、位相共役光出力ポート 6 から出力された変調された位相共役光が送信局 6 1 に伝送されるように構成を変更しても良い。

図 9 C に示された例では、送信局 6 1 が送出する光は伝送データにより変調されており、中継局 6 4 は、位相共役光発生装置 6 5 に加えて、復調手段 6 7 を含む。復調手段 6 7 は、位相共役光発生装置 6 5 の信号光出力ポート 5 から出力される出力信号光を受け、送信局 6 1 における伝送データに対応した復調データを再生する。送信局 6 1 における変調方式は、例えば、コヒーレントな光若しくはコヒーレントでない光に対する強度変調又はコヒーレントな光に対する振幅変調若しくは角度変調である。受信局 6 2 における検波方式としては、送信局 6 1 における変調方式が強度変調

- 2 2 -

である場合には、フォトダイオード等の受光器を用いた直接検波が適しており、送信局 6 1 における変調方式がコヒーレント光に対する振幅変調又は角度変調である場合には、フォトダイオード等の受光器の受光面上に受信光とローカル光とを同一光路で入射させるようにしたヘテロダイン検波又はホモダイン検波が適している。この構成によると、送信局 6 1 から受信局 6 2 に伝送される伝送データを中継局 6 4 でモニタすることができる。

図 9 A, 図 9 B 及び図 9 C のシステムは周波数分割多重伝送にも適用可能である。この場合、中継局 6 4 は各周波数毎の励起光源を有していることが望ましいが、周波数分割多重間隔が密である場合には、1 つの励起光源を用いて全てのチャネルの位相共役光を発生させることもできる。

図 1 0 は本発明の第 6 実施例を示す中継光伝送システムのブロック図である。この実施例は、図 9 A, 図 9 B 又は図 9 C に示されたシステムと対比して、送信局 6 1 と受信局 6 2 の間に N 台 (N は 1 より大きい自然数) の中継局 6 4 (# 1 ~ # N) が挿入されている点で特徴付けられる。送信局 6 1 の側から数えて 1 番目の中継局 6 4 (# 1) が有する位相共役光発生装置 6 5 の信号光入力ポート 3 は送信局 6 1 に接続される。また、中継局 6 4 (# 1 ~ # N) のうち送信局 6 1 の側から数

- 2 3 -

えて n 番目 (n は 1 よりも大きく且つ $(N + 1)$ よりも小さい自然数) の中継局が有する位相共役光発生装置 6 5 の信号光入力ポート 3 は、 $(n - 1)$ 番目の中継局が有する位相共役光発生装置 6 5 の位相共役光出力ポート 6 に接続される。さらに、受信局 6 2 の側から数えて 1 番目の中継局 6 4 ($\# N$) が有する位相共役光発生装置 6 5 の位相共役光出力ポート 6 は受信局 6 2 に接続される。この実施例によると、図 9 A, 図 9 B 及び図 9 C のいずれかの実施例に比べてさらに長距離の光伝送が可能になる。

図 1 1 は本発明の第 7 実施例を示す双方向中継光伝送システムのブロック図である。このシステムは、光送信機 7 1 及び光受信機 7 2 を有する送受信局 7 3 と、光送信機 7 4 及び光受信機 7 5 を有するもう一つの送受信局 7 6 と、送受信局 7 3 及び 7 6 間に敷設された上り光伝送路 7 7 及び下り光伝送路 7 8 と、上り及び下り光伝送路 7 7 及び 7 8 の途中に挿入された中継局 7 9 とを備えている。中継局 7 9 は、双方向伝送に適用するように変更を加えられた位相共役光発生装置 6 5 ' を含む。位相共役光発生装置 6 5 ' は、第 1 及び第 2 の励起光をそれぞれ出力する図示しない第 1 及び第 2 の励起光源を有しており、発生した位相共役光は位相共役光出力ポート 6 A 及び 6 B から出

- 2 4 -

力する。

図 1 2 は図 1 1 のシステムにおける各光の周波数配置の説明図である。 ω_{P1} は第 1 の励起光、 ω_{S1} は光送信機 7 1 から上り光伝送路 7 7 を介して位相共役光発生装置 6 5 ' の信号光入力ポート 3 に供給される第 1 の信号光、 ω_{I1} は第 1 の励起光と第 1 の信号光に基づき位相共役光発生装置 6 5 ' において発生する第 1 の位相共役光、 ω_{P2} は第 2 の励起光、 ω_{S2} は光送信機 7 4 から下り光伝送路 7 8 を介して位相共役光発生装置 6 5 ' の信号光出力ポート 5 に供給される第 2 の信号光、 ω_{I2} は第 2 の励起光と第 2 の信号光に基づき位相共役光発生装置 6 5 ' において発生する第 2 の位相共役光の周波数をそれぞれ表している。第 1 の励起光と第 2 の励起光は例えば互いに異なる周波数を有しており、第 1 及び第 2 の信号光の周波数はそれぞれ第 1 及び第 2 の励起光の周波数と僅かに異なるように設定される。第 1 及び第 2 の位相共役光は、それぞれ、第 1 及び第 2 の励起光を中心として第 1 及び第 2 の信号光に対して対称の周波数軸上の位置に出現する。尚、第 1 及び第 2 の信号光が、これらが混信しない程度にわずかに異なる周波数を有している場合には、第 1 及び第 2 の信号光が利得帯域に入るような単一周波数（帯域）の第 1 及び第 2 の励起光を用いてもよい。

- 2 5 -

位相共役光発生装置 6 5 ' は、信号光入力ポート 3 に供給された第 1 の信号光と第 1 の励起光に基づき第 1 の位相共役光を発生し、この第 1 の位相共役光は、位相共役光出力ポート 6 A から上り光伝送路 7 7 を介して光受信機 7 5 に伝送される。また、位相共役光発生装置 6 5 ' は、光送信機 7 4 から信号光出力ポート 5 に供給された第 2 の信号光と第 2 の励起光に基づいて第 2 の位相共役光を発生させ、この第 2 の位相共役光は位相共役光出力ポート 6 B から下り光伝送路 7 8 を介して光受信機 7 2 に伝送される。尚、位相共役光発生装置 6 5 ' は、図 7 の第 3 実施例に準じて構成することができる。図 7 の第 3 実施例では、信号光出力ポート 5 は出力信号光を送出するためのものであるが、図 1 1 の第 7 実施例では、この信号光出力ポート 5 を下り方向のための入力ポートとして用いている。また、図 9 A ~ 図 9 C の第 5 実施例に周波数分割多重を適用可能であるのと同様に、図 1 1 の第 7 実施例にも周波数分割多重を適用可能である。

図 1 3 は本発明の第 8 実施例を示す双方向中継光伝送システムのブロック図である。この実施例は、図 1 1 の第 7 実施例と対比して、送受信局 7 3 及び 7 6 間に N 台 (N は 1 より大きい自然数) の中継局 7 9 (# 1 ~ # N) を設けている点で特

- 2 6 -

徴付けられる。各中継局 7 9 (# 1 ~ # N) はそれぞれ図 1 1 の位相共役光発生装置 6 5 ' を有している。送受信局 7 3 の側から数えて 1 番目の中継局 7 9 (# 1) が有する位相共役光発生装置 6 5 ' の信号光入力ポート 3 及び位相共役光出力ポート 6 B は、それぞれ光送信機 7 1 及び光受信機 7 2 に接続される。また、中継局 7 9 (# 1 ~ # N) のうち送受信局 7 3 の側から数えて n 番目 (n は 1 より大きく且つ (N + 1) より小さい自然数) の中継局が有する位相共役光発生装置 6 5 ' の信号光入力ポート 3 及び位相共役光出力ポート 6 B は、 (n - 1) 番目の中継局が有する位相共役光発生装置 6 5 ' のそれぞれ位相共役光出力ポート 6 A 及び信号光出力ポート 5 に接続される。さらに、送受信局 7 6 の側から数えて 1 番目の中継局 7 9 (# N) が有する位相共役光発生装置 6 5 ' の信号光出力ポート 5 及び位相共役光出力ポート 6 A はそれぞれ光送信機 7 4 及び光受信機 7 5 に接続される。この実施例において、各位相共役光発生装置 6 5 ' における第 1 の励起光を同一周波数にし、各位相共役光発生装置 6 5 ' における第 2 の励起光を同一周波数にするためには、信号光と位相共役光の周波数配置関係を交互に逆転させれば良い。例えば、中継局 7 9 (# 1) が有する位相共役光発生装置 6 5 ' における周波数配

- 27 -

置が図2のように設定されている場合には、中継局79（#2）が有する位相共役光発生装置65における周波数配置が、 $\omega_s = \omega_p - \Omega$ 、 $\omega_i = \omega_p + \Omega$ となるようにすれば良い。

5 図14は本発明の第9実施例を示す光分配システムのブロック図である。このシステムは位相共役光発生装置65を複数備えており、これら複数の位相共役光発生装置65のうちの上位のものの信号光出力ポート5及び位相共役光出力ポート6
10 はそれぞれすぐ下位のものの信号光入力ポート3に接続される。この実施例においては、位相共役光発生装置65を1台通過する毎のS/N比の劣化は最小で3dB（量子雑音の付加）で済む。一方、従来の光分配システムにおいては、一つの光分配
15 部が少なくとも1台の1:1光カプラと光増幅器とを有しているので、分配による損失を0dBに抑えるためには、一つの光分配部で最小でも6dBのS/N比の劣化があった。従って、この実施例によると、極めて低雑音で且つ分配による損失の
20 ない光分配が可能になる。尚、位相共役光発生装置65のポート5及び6からそれぞれ出力される信号光及び位相共役光に対する利得は、(7)、(8)式に示されたように互いに異なるが、 $G \gg 1$ 、 $\omega_i / \omega_s \approx 1$ の条件の下で位相共役光発生装置65
25 を動作させることによって、この利得差を無視す

ることができる。

図 1 5 は本発明の第 1 0 実施例を示す光スイッチングシステムのブロック図である。この実施例は、図 3 の基本構成に対比して、励起光源 2 をオン・オフするスイッチング手段 8 1 をさらに備えている点で特徴付けられる。励起光源 2 のオン状態においては、非線形光学媒質 1 において位相共役光が発生するように励起光の強度が制御され、励起光源 2 のオフ状態においては、非線形光学媒質 1 で位相共役光が発生しないように励起光の強度が制御される。この実施例によると、スイッチング手段 8 1 の動作により位相共役光が発生する状態と発生しない状態とを択一的に切り換えることが可能になる。

図 1 6 は本発明の第 1 1 実施例を示す光選択システムのブロック図である。この実施例は、図 3 の基本構成に対比して、励起光源 2 から出力される励起光の周波数を掃引する掃引手段 9 1 をさらに備えている点と、信号光入力ポート 3 に周波数分割多重された複数の信号光が供給される点とで特徴付けられる。周波数分割多重された複数の信号光を供給するために、この実施例では、周波数が互いに異なる信号光を出力する複数の光源 9 2 (# 1 , # 2 , …) が用いられており、これらの光源 9 2 (# 1 , # 2 , …) からの信号光はマル

- 2 9 -

チプレクサ等の多重化手段 9 3 で多重化されて信号光入力ポート 3 に供給される。この実施例において、励起光の周波数を掃引手段 9 1 により変化させると、それに伴って、位相共役光を発生する利得帯域も周波数軸上で掃引される。従って、複数の信号光のうち利得帯域にある信号光を択一的に選択して、その信号光に対応する位相共役光を発生させることができるので、周波数分割多重システムにおけるチャネル選択を容易に行うことができる。

図 1 7 は本発明の第 1 2 実施例を示す光アンド回路システムのブロック図である。この実施例では、図 6 の第 2 実施例における励起光源 2 1 及び 2 2 と光カプラ 2 3 及び 2 4 と光デバイダ 3 1 と光フィルタ 3 3 とが用いられ、さらに励起光制御手段 1 0 1 が設けられている。励起光制御手段 1 0 1 は、励起光源 2 1 から光カプラ 2 3 のポート 2 3 B に供給される励起光の強度を入力論理データ Q_1 のハイ及びローに従って変化させる駆動回路 1 0 2 と、励起光源 2 2 から光カプラ 2 4 のポート 2 4 B に供給される励起光の強度を入力論理データ Q_2 のハイ及びローに従って変化させる駆動回路 1 0 3 とを含む。信号光入力ポート 3 には光源 1 0 4 からの例えば変調されていない信号光が供給される。そして、入力論理データ Q_1 及び

- 3 0 -

5 Q_2 がともにハイのときにのみ位相共役光出力ポート 6 から位相共役光が出力されるように信号光及び励起光の強度を調整しておく。このときの入力論理データ Q_1 及び Q_2 とこれらに対する位相共役光の論理レベル X_1 との関係を表に示す。

表

10

Q_1	Q_2	X_1
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

15

表から明らかなように、この実施例によると、2つの入力論理データに対する位相共役光の強度レベルがアンド回路の出力として得られていることがわかる。尚、2つの論理データは電気信号であっても良いし光信号であっても良い。また、この実施例においては、非線形光学媒質 1 における非線形光学効果自体の応答時間はピコ秒程度であるので、極めて高速な演算の実現が可能になる。

20

25

ところで、光の波動性を積極的に利用した光計測や光通信に用いられる光を振動電場と考え、この振動電場の振幅や位相は種々の原因で揺らいでいる。取り分け、場の量子論的揺らぎは避けることができないものである。従って、このような揺らぎが光計測における精度や光通信における受

信感度を究極的に律することになる。場のある量の揺らぎはその量と特定の関係にあるもう1つの量との間の不確定性関係で律せられている。即ち、これら2つの量の揺らぎの大きさの積は所定値以下にはならない。しかし、一方の量の揺らぎが大きくなることを許容すれば、他方の量の揺らぎを小さくすることができる可能性は残されている。このような考えに基づいて、揺らぎの少ない場を作ろうという試みがなされている。こうして作られた場はスクイズド状態と称され、この状態における光はスクイズド光と称される。

本発明の位相共役光発生装置を用いてスクイズド状態を生成することができる。即ち、励起光の強度が高い場合、出力信号光と位相共役光についての量子論的取り扱いが可能になり、出力信号光及び位相共役光が互いにパラメトリックな量子相関を有することを用いてスクイズド状態の生成が可能になり、光計測における測定精度や光通信における感度を高めることができる。

以上説明したように、本発明の第1の適用態様によると、種々の光システムに適用可能な新規な構成を有する位相共役光発生装置の提供が可能になるという効果が生じる。また、この位相共役光発生装置を備えた種々の有用な光システムを提供することができるようになるという効果が生じる。

- 3 2 -

次に本発明の第2の適用分野について説明する。
本発明の以下の実施例は、位相共役光を用いた光通信システムに関する。

5 本発明の第2の適用分野における目的は、多機能性を有する位相共役光発生手段を用い、これを光通信システムに適用することである。

具体的には、本発明の以下の実施例の目的は、光伝送路での位相揺らぎを補償した光通信システムを提供することにある。

10 本発明によると、主局と従局の間に光伝送路を設けてなる光通信システムであって、上記主局は位相共役光発生手段及び第1の変調手段を有し、上記従局はプローブ光発生手段及び第1の復調手段を有し、上記プローブ光発生手段はプローブ光
15 を上記光伝送路の第1端に供給し、上記位相共役光発生手段は上記光伝送路の第2端から出力した上記プローブ光に対する位相共役光を発生して該位相共役光を上記光伝送路の第2端に供給し、上記第1の変調手段は第1の入力データに従って上
20 記位相共役光を変調し、上記第1の復調手段は上記光伝送路の第1端から出力した上記位相共役光に基づいて上記第1の入力データを復調するシステムが提供される。

このシステムにおいては、光伝送路を介して従
25 局から伝送されたプローブ光に対する位相共役光

- 3 3 -

を主局で発生させ、この位相共役光を例えばデータ信号により変調して光伝送路を介して従局に伝送するようにしているので、位相共役光における時間反転の性質により、光伝送路での位相揺らぎが補償される。

以下、本発明の第2の適用分野における実施例を添付図面に従って詳細に説明する。

図18は本発明の光通信システムの基本構成を示すブロック図である。このシステムは、主局201と従局202を光伝送路203により接続して構成される。主局201は位相共役光発生手段204及び（第1の）変調手段205を有する。従局202はプローブ光発生手段206及び（第1の）復調手段207を有する。プローブ光発生手段206は、変調された或いは変調されていないプローブ光を光伝送路203の第1端に供給する。位相共役光発生手段204は、光伝送路203の第2端から出力したプローブ光を受け、そのプローブ光に対する位相共役光を発生して、この位相共役光を光伝送路203の第2端に供給する。変調手段205は、入力データに従って位相共役光を変調する。復調手段207は、光伝送路203の第1端から出力した位相共役光に基づいて入力データを復調する。変調手段205は、位相共役光発生手段204に動作的に接続されて位相共

- 3 4 -

役光を内部変調するように構成されていても良いし、位相共役光発生手段 2 0 4 とは独立して位相共役光発生手段 2 0 4 から光伝送路 2 0 3 の第 2 端に供給される位相共役光を外部変調するように構成されていても良い。

図 1 9 は図 1 8 の主局 2 0 1 の具体的構成例を示すブロック図である。位相共役光発生手段 2 0 4 は、非線形光学媒質 2 1 1 と、励起光を発生する励起光発生手段 2 1 2 と、プローブ光／励起光供給手段 2 1 3 とを含む。プローブ光／励起光供給手段 2 1 3 は、励起光発生手段 2 1 2 から供給された励起光を、図 1 8 の従局 2 0 2 から光伝送路 2 0 3 を介して供給されたプローブ光とともに非線形光学媒質 2 1 1 に供給する。非線形光学媒質 2 1 1 内で発生した位相共役光は、プローブ光の供給経路と同じ経路を逆向きに経て或いはプローブ光の供給経路とは異なる経路を経て図 1 8 の光伝送路 2 0 3 に供給される。

図 1 9 のように構成された位相共役光発生手段 2 0 4 が用いられている場合、位相共役光を変調する変調手段 2 0 5 は、入力データに従って励起光を変調する励起光変調手段 2 1 4 を含むことができる。励起光変調手段 2 1 4 は、励起光発生手段 2 1 2 の光源を直接変調し、或いは励起光発生手段 2 1 2 からプローブ光／励起光供給手段 2 1

- 3 5 -

3 を介して非線形光学媒質 2 1 1 に供給される励起光を間接変調する。非線形光学媒質 2 1 1 を用いて位相共役光を発生させる場合、パラメトリック光増幅（光パラメトリックプロセス）又は 4 光波混合によるのが望ましい。パラメトリック光増幅は 2 次の非線形光学効果を用いるのに対し、4 光波混合は 3 次の非線形光学効果を用いる。4 光波混合により位相共役光を発生させる場合、励起光として同一周波数の第 1 及び第 2 の励起光を用い、これら第 1 及び第 2 の励起光を非線形光学媒質に互いに逆向きに供給するのが望ましい。このような双方向励起型の 4 光波混合による場合には、効率的に位相共役光を発生させることができる。勿論一つの励起光源を用いて 4 光波混合を発生させても良い。

図 2 0 は、同一周波数の第 1 及び第 2 の励起光を 3 次の非線形光学効果を呈する非線形光学媒質に互いに逆向きに供給して 4 光波混合を生じさせる場合における位相共役光の発生原理の説明図である。3 次の非線形光学効果を呈する非線形光学媒質 NOM に第 1 及び第 2 の励起光 E_{P1} 及び E_{P2} を互いに反対の向きで入射させている状態で、非線形光学媒質 NOM に入力信号光（プローブ光に相当）を供給すると、3 次の非線形光学プロセス（具体的には第 1 及び第 2 の励起光のいずれか一

- 3 6 -

方と入力信号光とにより形成される空間回折格子
 による第 1 及び第 2 の励起光のいずれか他方の回
 折) により、周波数 ω_s 、波数 k_s の入力信号光
 E_s から、周波数 ω_s 、波数 k_s の出力信号光 E_s'
 5 と周波数 ω_i 、波数 k_i の出力アイドラ光 E_i'
 とが生成される。出力アイドラ光 E_i' が入力信
 号光 E_s の位相共役光に相当するものであること
 は後述する。特に、互いに反対の向きで供給され
 た第 1 及び第 2 の励起光が同じ周波数 (ω_p) で
 10 ある場合には、波数について $k_i = -k_s$ となる
 から、アイドラ光は入力信号光の入射方向と反対
 方向に出力され、これにより反射型の位相共役光
 発生装置 (位相共役ミラー) が実現される。この
 とき、エネルギー保存則により次の関係が成り立
 15 つ。

$$\omega_s + \omega_i = 2\omega_p \quad \dots(13)$$

図 2 1 は、4 光波混合における信号光、励起光
 及びアイドラ光の周波数配置を説明するための図
 である。 Ω は信号光と励起光の離調周波数を表す。
 20 周波数軸上において、信号光及びアイドラ光は励
 起光を中心として対称の位置にあることが分かる。

図 2 0 の原理における非線形光学効果の相互作
 用長を L とすれば、生成方程式は以下のように与
 えられる。

- 3 7 -

$$\frac{E_s'}{(\omega_s)^{1/2}} = \cosh(|g|L) \frac{E_s}{(\omega_s)^{1/2}} - i \frac{g}{|g|} \sinh(|g|L) \frac{E_1^*}{(\omega_1)^{1/2}} \quad \dots(14)$$

5

$$\frac{E_1'^*}{(\omega_1)^{1/2}} = \cosh(|g|L) \frac{E_1^*}{(\omega_1)^{1/2}} + i \frac{g^*}{|g|} \sinh(|g|L) \frac{E_s}{(\omega_s)^{1/2}} \quad \dots(15)$$

ここに、 g は係合定数を表し、特に 4 光波混合
10 の場合には、

$$g = \kappa E_{P1} E_{P2} \quad \dots(16)$$

$$\kappa = \frac{3\omega_0}{2nc} \langle \chi^{(3)} \rangle \quad \dots(17)$$

となる。 n 及び $\chi^{(3)}$ はそれぞれ非線形媒質 N O
15 M の屈折率及び 3 次の非線形光学定数を表す。また、 $\langle \chi^{(3)} \rangle$ は非線形光学定数 $\chi^{(3)}$ の全ての偏波状態についての平均を表す。

(14), (15) 式より、信号光及びアイドラ光に対するそれぞれの利得 G_s 及び G_1 は、

$$20 \quad G_s = G = \cosh^2(|g|L) \quad \dots(18)$$

$$G_1 = (G-1) \frac{\omega_1}{\omega_s} = \sinh^2(|g|L) \frac{\omega_1}{\omega_s} \quad \dots(19)$$

で与えられることがわかる。通常、 $\omega_1 / \omega_s \approx$
1 であるから、非線形光学効果による位相共役光
25 の発生においては、信号の増幅が実現されること

がわかる。また、この場合における利得は、励起光の強度に依存するので、励起光の強度を変調することで、アイドラ光について強度変調を行うことができる。図20の原理に基づいて発生する出力アイドラ光 E_1' は入力信号光 E_s に対する位相共役光になっている。このことは、(14), (15) 式において、入力アイドラ光がない場合 ($E_1 = 0$) を考えてみれば明らかである (E_1' は E_s の複素共役に相当)。

次に、この位相共役光の大きな特徴である時間反転の性質について説明する。いま、+z 方向に進行する入力信号光 (変調されていない入力プローブ光に相当) が平面波として次の式で表されるものとする。

$$E_s(r, t) = (1/2)A_s(r)\exp[i(\omega_s t - k_s z)] + \text{c. c.} \dots (20)$$

ここで、 $A_s(r)$ は電場の複素振幅、 r は空間座標ベクトル、 ω_s はプローブ光の周波数、 t は時間、 k_s は波数ベクトルを表し、c. c. はその直前の項の複素共役をとることを意味する。但し、波数ベクトルの大きさ k_s は、光路の屈折率を n 、真空中の光速を c とすると、 $k_s = \omega_s n / c$ で与えられる。このとき、(20)式で表される光の位相共役光は、次の(21)式で表される。

$$E_c(r, t) = (1/2)A_s^*(r)\exp[i(\omega_s t + k_s z)] + \text{c. c.} \dots (21)$$

(21)式は -z 方向の進行波である反射型の位相

- 3 9 -

共役光を表している。(21)式より明らかなように、
反射型の位相共役光については、

$$E_c(r, t) = E_s(r, -t) \dots (22)$$

5 が成り立ち、位相共役光が時間反転の性質を持つ
ことがわかる。この時間反転の性質を用いること
によって、光伝送路で受ける定常的な位相歪み
(例えば波長分散の影響)や偏波変動等の位相揺
らぎを補償可能である。

10 図 2 2 は図 1 8 及び図 1 9 の主局 2 0 4 の実施
例を示すブロック図である。この実施例では、図
1 9 の非線形光学媒質 2 1 1 として光ファイバ 2
2 1 が用いられている。光ファイバ 2 2 1 は望ま
しくは石英系のシングルモードファイバである。
また、図 1 9 の励起光発生手段 2 1 2 に対応して
15 2 つのレーザダイオード 2 2 2 及び 2 2 3 が用い
られている。レーザダイオード 2 2 2 及び 2 2 3
はそれぞれ第 1 及び第 2 の励起光を出力し、これ
らの周波数は等しい。非線形光学媒質 2 1 1 とし
ては、光ファイバ 2 2 1 の他に $BaTiO_3$ 等の
20 光誘起屈折率 (フォトリフラクティブ) 効果媒質、
各種の有機化合物、各種半導体、特に進行波型の
半導体光増幅器やファブリペロ型の半導体光増幅
器を用いることもできる。また、 $LiNbO_3$ 等
による光導波構造も採用可能である。いずれにし
25 ても、これらの媒質の主に FWM を用いることに

- 4 0 -

より位相共役光の発生が可能であり、位相共役光の発生効率が高い非線形光学媒質を用いてその光路長を短くすることが、位相整合を容易にして広帯域化を図る上で有効である。レーザダイオード

5 2 2 2 及び 2 2 3 からの第 1 及び第 2 の励起光を非線形光学媒質としての光ファイバ 2 2 1 にそれぞれ互いに逆向きで入射させるために、図 1 9 のプローブ光／励起光供給手段 2 1 3 は、2 つの光

10 カプラ 2 2 4 及び 2 2 5 を含む。光カプラ 2 2 4 はポート 2 2 4 A, 2 2 4 B 及び 2 2 4 C を有し、少なくとも、ポート 2 2 4 A に供給された光をポート 2 2 4 B から出力しポート 2 2 4 B に供給された光をポート 2 2 4 C から出力するように機能する。光カプラ 2 2 4 のポート 2 2 4 A はレーザ

15 ダイオード 2 2 2 に接続され、ポート 2 2 4 B は光ファイバ 2 2 1 の第 1 端に接続され、ポート 2 2 4 C は信号光出力用のポート 2 2 6 に接続される。光カプラ 2 2 5 はポート 2 2 5 A, 2 2 5 B 及び 2 2 5 C を有し、少なくとも、ポート 2 2 5

20 A に供給された光をポート 2 2 5 B から出力しポート 2 2 5 B に供給された光をポート 2 2 5 C から出力しポート 2 2 5 C に供給された光をポート 2 2 5 B から出力するように機能する。光カプラ 2 2 5 のポート 2 2 5 A はレーザダイオード 2 2

25 3 に接続され、ポート 2 2 5 B は光ファイバ 2 2

- 4 1 -

1 の第 2 端に接続され、ポート 2 2 5 C はプローブ光入力及び位相共役光出力のためのポート 2 2 7 に接続される。光カップラ 2 2 4 及び 2 2 5 としては、例えば、ファイバ融着型のもの、ハーフミラー、光合波器、偏光ビームスプリッタ等が使用される。

この実施例では、図 1 9 の励起光変調手段 2 1 4 は、レーザダイオード 2 2 2 及び 2 2 3 の駆動制御回路 2 2 8 を含む。駆動制御回路 2 2 8 は、光ファイバ 2 2 1 に供給される第 1 及び第 2 の励起光によって入力プローブ光に対する位相共役光が発生するようにレーザダイオード 2 2 2 及び 2 2 3 に駆動電流を供給し、また、レーザダイオード 2 2 2 及び / 又は 2 2 3 に供給する駆動電流を入力データに従って変化させる。位相共役光について強度変調又は振幅変調を行う場合には、駆動制御回路 2 2 8 は、入力データに従って第 1 及び第 2 の励起光の少なくともいずれか一方の強度又は振幅が変調されるように、レーザダイオード 2 2 2 及び 2 2 3 に与える駆動電流を制御する。また、位相共役光について周波数変調を行う場合には、駆動制御回路 2 2 8 は、入力データに従って第 1 及び第 2 の励起光の周波数が変調されるように、レーザダイオード 2 2 2 及び 2 2 3 に与える駆動電流を制御する。レーザダイオード 2 2 2 及

- 4 2 -

び 2 2 3 から光ファイバ 2 2 1 にそれぞれ供給される第 1 及び第 2 の励起光が周波数変調されると、信号光の周波数と励起光の周波数の差が励起光の周波数と位相共役光の周波数の差に等しいという
5 関係（図 2 1 参照）から、位相共役光が周波数変調される。

この実施例によると、レーザダイオード 2 2 2 及び 2 2 3 からの第 1 及び第 2 の励起光を非線形光学媒質としての光ファイバ 2 2 1 にそれぞれ互
10 いに逆向きに供給することができるので、双方向励起型の 4 光波混合を生じさせて、入力プローブ光に対する位相共役光を効率的に発生させることができる。また、ポート 2 2 7 から入力プローブ光の供給経路と同一の経路で位相共役光を取り出す
15 ことができるので、ポート 2 2 7 を図 1 8 の光伝送路 2 0 3 に接続することによって、図 1 8 のシステムを容易に実現することができる。尚、図 2 2 のポート 2 2 6 は、ポート 2 2 7 に供給されるプローブ光が後述のように変調されている場合に、復調のために用いることができる。
20

図 2 3 A 及び 2 3 B は、図 2 2 の駆動制御回路 2 2 8 が位相共役光を強度変調すべくレーザダイオード 2 3 に与える駆動電流を変化させて第 2 の励起光を強度変調する場合についての位相共役光
25 及び第 2 の励起光の波形を説明するための図であ

- 4 3 -

る。図 2 3 A において、下段は第 2 の励起光 E_{P2} の波形を表し、上段は位相共役光 E_1' の波形を表している。第 2 の励起光 E_{P2} はアナログ信号（この例では正弦波信号）により強度変調されており、第 2 の励起光 E_{P2} が信号利得 $G = 1$ を満足する値 $E_{P2}^{(0)}$ よりも高い値のときにのみ位相共役光が出力される。従って、位相共役光 E_1' の波形は、正弦波信号を半波整流した波形と等価になる。図 2 3 B は第 2 の励起光がデジタル信号により強度変調されている場合についてを図 2 3 A に準じて表示した位相共役光及び第 2 の励起光の波形図である。この例においても、第 2 の励起光 E_{P2} がしきい値 $E_{P2}^{(0)}$ よりも高い値のときにのみ位相共役光が出力される。尚、第 2 の励起光の強度又は振幅を常にしきい値 $E_{P2}^{(0)}$ よりも高い領域で変化させる場合にも、本発明を実施可能である。

図 2 4 は本発明の光通信システムの他の基本構成を示すブロック図である。この基本構成は、図 1 8 の基本構成と対比して、主局 2 0 1 の第 1 の変調手段 2 0 5 が第 1 の入力データに従って位相共役光を変調している点と、従局 2 0 2 が第 2 の入力データに従ってプローブ光を変調する第 2 の変調手段 2 3 1 をさらに有している点と、主局 2 0 1 が位相共役光発生手段 2 0 4 の出力光に基づ

- 4 4 -

いて第 2 の入力データを復調する第 2 の復調手段
3 2 をさらに有する点とで特徴付けられる。この
構成によると、従局 2 0 2 から主局 2 0 1 に向か
う方向にはプローブ光に伝送データをのせ、主局
5 2 0 1 から従局 2 0 2 に向かう方向については位
相共役光に伝送データをのせることができるので、
双方向伝送が可能になるとともに、主局 2 0 1 か
ら従局 2 0 2 に向かう方向について光伝送路での
位相揺らぎを補償することができる。

10 第 2 の変調手段 2 3 1 がプローブ光の周波数又
は位相を変調する場合には、第 1 の変調手段 2 0
5 における位相共役光に対する変調方式としては、
強度変調又は振幅変調を採用可能である。こうす
ること、第 1 及び第 2 の復調手段 2 0 7 及び 2
15 3 2 がそれぞれ容易に第 1 及び第 2 の入力データ
を復調することができる。また、第 2 の変調手段
2 3 1 がプローブ光の強度又は振幅を比較的低い
変調度で変調し、第 1 の変調手段 2 0 5 が位相共
役光の強度又は振幅を比較的高い変調度で変調す
20 るようにしても、或いはその逆でも良好に復調を
行うことができる。尚、図 2 4 の第 2 の復調手段
2 3 2 は、例えば図 2 2 のポート 2 2 6 に接続さ
れ、図 2 2 の光ファイバ 2 2 1 内で増幅された信
号光（増幅された変調プローブ光に相当）に基づ
25 いて、第 2 の入力データを復調する。

- 4 5 -

図 2 5 は図 1 8 又は図 2 4 のシステムに適用可能な従局の第 1 実施例を示すブロック図である。この実施例では、位相共役光が強度変調されている場合に、直接検波により伝送データを復調する。

5 光カプラ 2 4 1 はポート 2 4 1 A, 2 4 1 B 及び 2 4 1 C を有し、ポート 2 4 1 A に供給された光をポート 2 4 1 B から出力しポート 2 4 1 C に供給された光をポート 2 4 1 A から出力するように機能する。光カプラ 2 4 1 としては例えば光サー
10 キュレータを用いることができる。光カプラ 2 4 1 のポート 2 4 1 A は図 1 8 又は図 2 4 の光伝送路 2 0 3 に接続され、ポート 2 4 1 B はフォトダイオード等の受光器 2 4 2 に接続され、ポート 2 4 1 C はプローブ光の光源としてのレーザダイオ
15 ード 2 4 4 に接続される。

強度変調された位相共役光が光カプラ 2 4 1 のポート 2 4 1 A 及び 2 4 1 B をこの順に経て受光器 2 4 2 に供給されると、受光器 2 4 2 の出力電気信号は伝送されてきた位相共役光の強度変化に
20 対応して変化する。従って、識別器等を用いて通常通り構成される復調回路 2 4 3 により受光器 2 4 2 の出力電気信号を処理することで、伝送データを再生することができる。プローブ光の光源としてのレーザダイオード 2 4 4 は駆動回路 2 4 5
25 により駆動される。この実施例の従局を図 1 8 の

- 4 6 -

システムに適用する場合には、駆動回路 2 4 5 はレーザダイオード 2 4 4 を定常駆動し、レーザダイオード 2 4 4 からは一定のプローブ光が出力され、このプローブ光は光カプラ 2 4 1 のポート 2 4 1 C 及び 2 4 1 A をこの順に経て図 1 8 の光伝送路 2 0 3 に送出される。一方、この実施例の従局が図 2 4 のシステムに適用される場合には、レーザダイオード 2 4 4 から変調されたプローブ光が出力されるように、駆動回路 2 4 5 がレーザダイオード 2 4 4 を駆動する。コヒーレントな位相共役光に対して振幅変調、位相変調又は周波数変調が行われている場合には、従局では、ローカル光を用いてヘテロダイン検波により伝送データを再生することができる。この場合、従局に伝送された位相共役光をローカル光と共に受光器の受光面に入射させて、ヘテロダイン検波を行うことができる。

図 2 6 は図 1 8 又は図 2 4 のシステムに適用可能な従局の第 2 実施例を示すブロック図である。この実施例は、従局でヘテロダイン検波を行う場合に、一つの光源からのプローブ光を 2 分岐し、その一方をローカル光として用いている点で特徴付けられる。図 1 8 又は図 2 4 の光伝送路 2 0 3 により伝送された位相共役光は、光カプラ 2 4 1 のポート 2 4 1 A 及び 2 4 1 B をこの順に経てさ

- 4 7 -

らにハーフミラー 2 5 1 を透過してフォトダイオード等の受光器 2 5 2 に入射する。レーザダイオード 2 5 3 から出力されたプローブ光は、ハーフミラー 2 5 4 で分岐され、分岐プローブ光の一方は光カプラ 2 4 1 のポート 2 4 1 C 及び 2 4 1 A をこの順に経て光伝送路に送出される。分岐プローブ光の他方は、ハーフミラー 2 5 4 で反射してローカル光としてさらにハーフミラー 2 5 1 で反射し、位相共役光と同一光路で受光器 2 5 2 の受光面に入射する。

この場合、ローカル光源と信号光源を共通化できる上、ローカル光源は受信機の近傍に設置されるので、高い光パワーレベルでのローカル光の受光が可能であり、従って、高い受信感度の確保も容易である。位相共役光及びローカル光が受光器 2 5 2 の受光面に同一光路で入射すると、位相共役光の周波数とローカル光の周波数の差に相当する周波数を有する中間周波信号が、受光器 2 5 2 の出力として得られる。従って、フィルタ検波方式或いは同期検波方式により通常通り構成される復調回路 2 5 6 を用いて、受光器 2 5 2 から供給される中間周波信号に基づいて伝送データを復調することができる。尚、図 2 6 において、符号 2 5 5 はレーザダイオード 2 5 3 の駆動回路を表しており、この駆動回路 2 5 5 は図 2 5 の駆動回路

2 4 5 に対応している。

図 2 7 は図 2 6 の受光器 2 5 2 から出力される
中間周波信号のスペクトルの説明図である。図 2
1 で説明したように、非線形光学媒質を用いて 4
5 光波混合により位相共役光を発生させる場合、プ
ローブ光と励起光の離調周波数を Ω とすると、励
起光と位相共役光の離調周波数も Ω となり、その
結果、プローブ光の周波数と位相共役光の周波数
の差は 2Ω となる。従って、図 2 6 の実施例にお
10 いて、分岐プローブ光をローカル光として用いた
場合には、中間周波信号の中心周波数は 2Ω とな
る。

ところで、図 2 6 の実施例のように、ヘテロダ
イン検波を行う場合には、受光器 2 5 2 に入射す
15 る位相共役光及びローカル光の偏光面を一致させ
ておくことが、中間周波信号の出力レベルを安定
化する上で要求される。レーザダイオード 2 5 3
の出力光は通常直線偏光に近い偏光状態を有して
いるので、レーザダイオード 2 5 3 からハーフミ
20 ラー 2 5 4 及び 2 5 1 を介して受光器 2 5 2 に供
給されるローカル光は一定の偏光面を有する直線
偏光と見なすことができる。一方、光伝送路とし
てよく用いられるシングルモードファイバの伝搬
モードには、偏光面が互いに直交する 2 つの偏光
25 モードが存在し、これら 2 つの偏光モードは各種

- の外乱の影響により結合して、結果として、シングルモードファイバの第1端に供給される光の偏光状態はそのファイバの第2端から出力される光の偏光状態に一致しない。従って、図26の光カプラ241のポート241Aに接続される光伝送路としてシングルモードファイバが用いられている場合には、光カプラ241のポート241Bからハーフミラー251を介して受光器252に供給される位相共役光の偏光状態は、環境変化等によって時間とともに変動する。このような偏光状態の変動があると、受光器252から出力される中間周波信号のレベルが変動し、最悪の場合位相共役光とローカル光が干渉せずに受信不能状態となる。
- このような問題に対処するために、従来のコヒーレント光通信システムでは、受光器に供給される信号光（図26の実施例における位相共役光に相当）及び／又はローカル光について、これらの偏光状態が一致するような偏光制御を行っていた。
- 偏光制御に代えて、光伝送路としての偏波保持ファイバの使用或いは偏波ダイバーシティ方式の適用によっても上述の問題に対処することができるが、いずれにしても、システムの構成が複雑になるという欠点がある。
- 図28は偏光制御その他の対策を行うことなし

- 5 0 -

に中間周波信号の高いレベルを維持することがで
きる実施例を示す光通信システムのブロック図で
ある。従局 2 0 2 としては例えば図 2 6 に示され
たものが用いられる。主局 2 0 1 と従局 2 0 2 を
5 接続する光伝送路 2 0 3 は、この実施例ではシン
グルモードファイバ 2 6 1 である。主局 2 0 1 は
2 つの位相共役光発生装置 2 6 2 及び 2 6 3 と偏
光ビームスプリッタ 2 6 4 とを有している。位相
共役光発生装置 2 6 2 及び 2 6 3 は、供給された
10 直線偏光のプローブ光に対して同じ偏光面を有す
る直線偏光の位相共役光を発生してこの位相共役
光をプローブ光供給経路と逆向きに送出する。偏
光ビームスプリッタ 2 6 4 はポート 2 6 4 A, 2
6 4 B 及び 2 6 4 C を有し、ポート 2 6 4 A に供
15 給された光を直交 2 偏光成分に分離してそれぞれ
ポート 2 6 4 B 及び 2 6 4 C から出力しポート 2
6 4 B 及び 2 6 4 C にそれぞれ供給された直交 2
偏光成分をポート 2 6 4 A から出力するように機
能する。偏光ビームスプリッタ 2 6 4 のポート 2
20 6 4 A はシングルモードファイバ 2 6 1 に接続さ
れ、ポート 2 6 4 B 及び 2 6 4 C は、定偏波ファ
イバ等の偏光状態保持機能を有する伝送路を介し
てそれぞれ位相共役光発生装置 2 6 2 及び 2 6 3
に接続される。

25 シングルモードファイバ 2 6 1 により従局 2 0

- 5 1 -

2 から主局 2 0 1 に送られたプローブ光は、偏光
ビームスプリッタ 2 6 4 で偏光面が互いに直交す
る 2 つの偏光成分に偏光分離される。プローブ光
のこれら 2 偏光成分はその偏光状態を保ったまま
5 それぞれ位相共役光発生装置 2 6 2 及び 2 6 3 に
供給され、ここでそれぞれ対応した偏光面を有す
る位相共役光が発生する。位相共役光発生装置 2
6 2 及び 2 6 3 から出力した位相共役光は、偏光
ビームスプリッタ 2 6 4 で偏光合成され、シング
10 ルモードファイバ 2 6 1 により従局 2 0 2 に伝送
される。位相共役光発生装置 2 6 2 及び 2 6 3 か
ら送出される位相共役光の 2 偏光成分は、プロー
ブ光の偏光状態の変動を正確にさかのぼって従局
2 0 2 に伝送されるので、シングルモードファイ
15 バ 2 6 1 における偏光状態の変動の周期が主局 2
0 1 及び従局 2 0 2 間の光の往復時間に比べて十
分に大きい場合には、シングルモードファイバ 2
6 1 の出力端における位相共役光の偏光状態は、
プローブ光としてシングルモードファイバ 2 6 1
20 に供給された状態に戻り、従って、常に最適な偏
光状態でのヘテロダイン検波が可能になる。この
ように本実施例によると、偏光制御や偏波ダイバ
ーシティ方式の適用が不要になるので、簡単且つ
高性能なシステムの提供が可能になる。尚、位相
25 共役光発生装置 2 6 2 及び偏光ビームスプリッタ

- 5 2 -

2 6 4 間の光路長と位相共役光発生装置 2 6 3 及び偏光ビームスプリッタ 2 6 4 間の光路長の差は、光源のコヒーレント長よりも短く設定されることが望ましい。

5 主局 2 0 1 は、一つの位相共役光発生装置 2 6 2 のみを有するように構成されても良い。この場合、図 2 8 の主局 2 0 1 の構成要素のうち位相共役光発生装置 2 6 3 及び偏光ビームスプリッタ 2 6 4 が省略され、位相共役光発生装置 2 6 2 は偏波能動制御器を介してシングルモード光ファイバ 2 6 1 に接続される。そして、シングルモードファイバ 2 6 1 から主局 2 0 1 に入力する任意の偏波状態の光を偏波能動制御器により位相共役光発生装置 2 6 2 で発生させる位相共役光の偏波状態
10 （通常は直線偏波）と同じ状態に変換して位相共役光発生装置 2 6 2 に入力する。こうすると、発生した位相共役光は偏波能動制御器で再びシングルモードファイバ 2 6 1 から出力された際の偏波状態に変換される。従って、この位相共役光がシングルモードファイバ 2 6 1 を逆方向に伝搬して
15 従局 2 0 2 に戻った際には、最初の偏波状態と等しくなるのである。

20 図 1 8 又は図 2 4 のシステムにおいて、プローブ光発生手段 2 0 6 から光伝送路 2 0 3 に供給されるプローブ光が周波数分割多重された複数のプ
25

- 5 3 -

ローブ光である場合には、周波数分割多重数と同数の位相共役光発生手段 2 0 4 を用いるか、或いは、周波数分割多重された複数のプローブ光に対して位相共役光をそれぞれ発生し得る広帯域の位相共役光発生手段 2 0 4 を用いることで、周波数分割多重光伝送が可能になる。

図 2 9 は本発明を光分配系に適用した実施例を示す光通信システムのブロック図である。この系での第 1 の実施例は、それぞれが主局 2 0 1 に対応する複数の加入者 2 7 1 と、従局 2 0 2 に対応する分配局 2 7 2 とを光マルチ／デマルチプレクサ 2 7 3 を介して接続している場合である。分配局 2 7 2 からの単一周波数の或いは周波数分割多重されたプローブ光は、光マルチ／デマルチプレクサ 2 7 3 で分配されて、各加入者 2 7 1 に供給される。各加入者 2 7 1 では、各分配プローブ光に基づき伝送データが再生され、一方、各加入者 2 7 1 からのリクエスト信号等の伝送データは位相共役光により分配局 7 2 に伝送される。この実施例では、各加入者 2 7 1 では出力信号光及び位相共役光についての増幅を行わせることができるので、光マルチ／デマルチプレクサ 2 7 3 における分配損失を補償することができ、簡単な構成の光加入者システムを実現することができる。各加入者 2 7 1 は例えば図 1 9 の主局の具体的構成例

- 5 4 -

を有しており、この場合、各励起光発生手段 2 1
2 が発生する各励起光の周波数を異ならせておく
ことによって、分配局 2 7 2 の側で例えばいずれ
の加入者からのリクエスト信号であるかを検出す
5 ることが容易になる。

この系での第 2 の実施例は、主局に対応する分
配局 2 7 2 と従局に対応する複数の加入者 2 7 1
を光マルチ／デマルチプレクサ 2 7 3 を介して接
続している場合である。各加入者 2 7 1 の各々に
10 割り当てられた周波数のプローブ光或いは共通の
光源から分配されたプローブ光は、光マルチ／デ
マルチプレクサ 2 7 3 で合成されて、分配局 2 7
2 に供給される。分配局 2 7 2 は、プローブ光を
位相共役光に変換し、この位相共役光に伝送デー
15 タを載せた後、再び各加入者 2 7 1 に伝送する。
位相共役光の生成においては、各加入者の各々に
別々の周波数のプローブ光が割り当てられている
場合には、加入者の数と同数の位相共役光発生手
段を用いるか、或いは、複数のプローブ光に対し
20 て位相共役光を発生し得る広帯域の位相共役光発
生手段が用いられる。また、各加入者からのプロ
ーブ光には各加入者からのリクエスト信号を載せ
ておくことも可能である。

以上説明したように、本発明の第 2 の適用態様
25 によると、多機能性を有する位相共役光発生手段

- 5 5 -

を用いてこれを光通信システムに適用することができるので、所定の機能を簡単な構成で実現することができるようになるという効果が生じる。また、本発明によると、光伝送路での位相揺らぎを補償した光通信システムの提供が可能になるという効果が生じる。

続いて、本発明の第3の適用分野について説明する。本発明の以下の実施例は、種々の光システムに適用可能な光変調器に関する。

従来、光変調器としては、電気信号により光デバイスを変調するものが知られている。例えば、レーザダイオードの注入電流の変調による振幅変調や周波数（位相）変調、LiNbO₃光導波路のバイアス電圧の変調による強度変調や位相変調等が盛んに行われている。光システムの高速化に際し、従来の光変調器の性能は限界に近づきつつある。その一方で、光システムのさらなる高速化への期待もある。また、光増幅中継が盛んになるにつれ、伝送速度に依存しない光中継器が求められるようになってきている。こうした要求に応えるためには、電氣的な処理を介さない光による光変調器（所謂全光変調器）の開発が要求される。

本発明の第3の適用分野における目的は、このような光変調器を提供することにある。

図30は本発明の光変調器の基本構成を示すブ

- 5 6 -

ロック図である。この光変調器は、プローブ光源 301 と、励起光源 302 と、非線形光学媒質 303 と、プローブ光源 301 からのプローブ光を励起光源 302 からの励起光とともに非線形光学媒質 303 に供給するプローブ光／励起光供給手段 304 と、励起光源 302 に動作的に接続されて励起光を情報信号により変調する変調手段 305 とを備える。そして、非線形光学媒質 303 から変調された位相共役光が出力される。

非線形光学媒質を用いた 4 光波混合 (FWM) による位相共役光の発生及びその性質については、例えば第 2 の適用分野において (13) 式乃至 (22) 式により説明したので、ここでは出力アイドラ光 (位相共役光) がどのように変調されるかについて、振幅 (強度) 変調、周波数変調、位相変調を例にとり説明する。いま、FWM における入力信号光 (プローブ光) $E_s(\omega_s, t)$ 、励起光 $E_p(\omega_p, t)$ 及び出力アイドラ光 $E_i'(\omega_i, t)$ がそれぞれ次のように表されるものとする。

$A_s(\omega_s, t)$ 、 $A_p(\omega_p, t)$ 及び $A_i(\omega_i, t)$ はそれぞれプローブ光、励起光及び出力アイドラ光の振幅、 ω_s 、 ω_p 及び ω_i はそれぞれプローブ光、励起光及び出力アイドラ光の周波数、 t は時間、 $\phi_s(t)$ 、 $\phi_p(t)$ 及び $\phi_i(t)$ はそれぞれプローブ光、励起光及び出

- 5 7 -

カアイドラ光の位相を表している。

$$E_s(\omega_s, t) = A_s(\omega_s, t) \exp[i(\omega_s t + \phi_s(t))] + \text{c. c.} \quad \dots(23)$$

$$E_p(\omega_p, t) = A_p(\omega_p, t) \exp[i(\omega_p t + \phi_p(t))] + \text{c. c.} \quad \dots(24)$$

$$E_i'(\omega_i, t) = A_i(\omega_i, t) \exp[i(\omega_i t + \phi_i(t))] + \text{c. c.} \quad \dots(25)$$

5 ここで、入力アイドラ光がない場合 ($E_i = 0$)
を考えると、(13)式乃至(16)式より以下の関係が
得られる。

$$A_i(\omega_i, t) \propto \kappa |A_p(\omega_p, t)|^2 A_s^*(\omega_s, t) \quad \dots(26)$$

$$\omega_i = 2\omega_p - \omega_s \quad \dots(27)$$

10 $\phi_i(t) = 2\phi_p(t) - \phi_s(t) \quad \dots(28)$

(1) 振幅 (強度) 変調

(26)式より、励起光の振幅 $A_p(\omega_p, t)$ を
変化させると、その絶対値の二乗に比例して出力
アイドラ光 (位相共役光) の振幅 $A_i(\omega_i, t)$
15 が変化することがわかる。即ち、(29)式及び(30)
式で表されるように励起光に振幅 (強度) 変調を
かけると、(31)式で与えられるように出力アイド
ラ光が振幅 (強度) 変調されるものである。

$$A_p(\omega_p, t) = A_p F(\omega, t) (A_p: \text{const.}) \quad \dots(29)$$

20
$$F(\omega, t) = \begin{cases} \cos(\omega t + \theta) & (\omega: \text{変調周波数}) \text{ (analogue)} \\ 0 \text{ or } 1 & \text{(digital)} \end{cases} \quad \dots(30)$$

$$A_i(\omega_i, t) \propto \kappa |A_p|^2 |F(\omega, t)|^2 A_s^*(\omega_s, t) \quad \dots(31)$$

このとき、励起光 $E_p(\omega_p, t)$ の消光比を
 γ とすると、得られるアイドラ光 $E_i'(\omega_i, t)$
25 の消光比は γ^2 となる。例えば、 $\gamma = -1.5$

- 5 8 -

d B とすると、 $\gamma^2 = -30$ d B となるから、大幅な消光比の改善が可能になる。

アイドラ光 $E_1'(\omega_P, t)$ は、励起光 $E_P(\omega_P, t)$ が信号利得 $G = 1$ を満足する値 $E_P^{(0)}$ よりも高い値のときにのみ出力される。この様子を図 3 1 A に示す。ここでは、励起光を正弦波で変調している。励起光をデジタル信号によりオン・オフ変調する場合には、図 3 1 B に示すような波形になる。ところで、特にデジタル変調の場合に励起光のパルス形状は実際には図 3 1 C に示すように矩形からなまった形状であり、アイドラ光の振幅が励起光の振幅の二乗に比例することを考慮すると、アイドラ光のパルス幅は励起光のパルス幅に比べて狭くなることがわかる。この様子を図 3 1 C に示す。従って、このような性質を用いて、任意のデューティ比及び形状を有する R Z パルスを生成することが可能になる。

(2) 周波数変調

励起光に(32)式で表されるような周波数変調をかけるとすると、出力アイドラ光は(33)式で与えられるように周波数変調される。

$$A_P(\omega_P, t) = A_P \exp[i \Delta \omega \int_0^t F(\omega, t) dt] + c. c. \dots (32)$$

$$E_1'(\omega_P, t) = A_1 \exp[i((2\omega_P - \omega_s)t + 2\Delta \omega \int_0^t F(\omega, t) dt + (2\phi_P(t) - \phi_s(t)))] + c. c. \dots (33)$$

この場合、出力アイドラ光に対する変調度が励

起光に対するその二倍になるため、出力アイドラ光に変調度 m の周波数変調を与えるために必要な励起光の変調度はその半分の $m/2$ でよいことになる。

5 (3) 位相変調

励起光に(34)式で示されるように位相変調をかけるとすると、出力アイドラ光は(35)式で与えられるように位相変調される。

$$A_P(\omega_P, t) = A_P \exp[i m \int_0^t F(\omega, t) dt] + \text{c. c.} \quad (m: \text{変調指数}) \quad \dots(34)$$

$$10 \quad E_1'(\omega_P, t) = A_1 \exp[i((2\omega_P - \omega_s)t + 2mF(\omega, t) + (2\phi_P(t) - \phi_s(t)))] + \text{c. c.} \quad \dots(35)$$

この場合にも、周波数変調の場合と同様に、アイドラ光に対する変調度は励起光に対するその二倍になるため、アイドラ光に変調度 m の周波数変調を与えるための励起光の変調度はその半分の $m/2$ でよいことになる。(33)式及び(34)式より、
15 出力アイドラ光の位相雑音は励起光の位相雑音の二倍と信号光の位相雑音との和になる。従って、光周波数変調或いは光位相変調を行う場合には、
20 用いる光源の位相雑音が極力小さいことが望ましい。即ち、プローブ光源及び励起光源としてはコヒーレント光源を用いるのが望ましい。

図30において、FWMによりアイドラ光を生成するための非線形媒質303の具体例としては、
25 TiBaO₃やLiNbO₃等の結晶媒質、各種

の有機媒質、各種の半導体（例えば半導体光増幅器）、さらには光ファイバ等があげられる。いずれの場合にも、対向励起配置にすれば位相共役鏡（PCM）型光変調器を構成することができ、前方励起配置にすれば透過型の位相共役器型光変調器を構成することができる。本発明を光ファイバ通信に適用する場合には、光伝送路との整合性から、非線形光学媒質としては光ファイバが適している。以下、非線形光学媒質として光ファイバを用いたいくつかの例を説明する。

図32は本発明の光変調器の第1実施例を示すブロック図である。図30の非線形光学媒質303、励起光源302、プローブ光／励起光供給手段304、プローブ光源301及び変調手段305にそれぞれ対応する光ファイバ321、励起LD（レーザダイオード）322、光カプラ323、プローブLD324及び変調回路325が用いられる。非線形光学媒質としての光ファイバ321は望ましくはシングルモードファイバである。この場合において、プローブ光の波長と励起光の波長をわずかに異ならせて非縮退型のFWMを生じさせるときには、光ファイバ321の零分散を与える波長が励起光の波長（励起LD322の発振波長）に一致するようにしておく。光カプラ323は4つのポート323A, 323B, 323C

- 6 1 -

及び 3 2 3 D を有している。ポート 3 2 3 A には
プローブ LD 3 2 4 が接続され、ポート 3 2 3 B
には励起 LD 3 2 2 が接続され、ポート 3 2 3 C
には光ファイバ 3 2 1 の第 1 端が接続され、ポ
5 ート 3 2 3 D はデッドエンドにされる。光カプラ 3
2 3 は、少なくとも、ポート 3 2 3 A 及び 3 2 3
B に供給された光をポート 3 2 3 C から出力する
ように機能し、この光カプラ 3 2 3 としては、例
えば、ファイバ融着型のもの、ハーフミラー、光
10 合波器、偏光ビームスプリッタ等が使用される。

この構成によると、光カプラ 3 2 3 のポート 3
2 3 A に供給されたプローブ光とポート 3 2 3 B
に供給された励起光とを共に非線形光学媒質であ
る光ファイバ 3 2 1 に導波させることができるの
15 で、FWMにより透過型の位相共役光（アイドラ
光）を発生することができる。そして、励起 LD
3 2 2 に接続されている変調回路 3 2 5 によって
励起光が変調されているので、前述した原理に従
って光ファイバ 3 2 1 の第 2 端からは変調された
20 アイドラ光を出力させることができる。この変調
されたアイドラ光は例えば図示しない光ファイバ
からなる光伝送路に送出される。

非線形光学媒質として光ファイバを用いる場合、
光ファイバ内で FWM を効率よく生じさせるため
25 には、プローブ光とアイドラ光の位相整合をとる

- 6 2 -

ことが望ましい。そのための有効な方法としては、
励起光とプローブ光の波長を一致させた縮退 F W
Mを用いる方法や、励起光の波長を光ファイバの
零分散波長に一致させる方法等がある。特に、後
5 者の方法を採用する場合には、プローブ光とアイ
ドラ光が互いに複素共役の関係を保ちつつこれら
の位相速度を等しくすることができ（2次分散ま
での近似において）、結果として理想的な位相整
合が可能になる。

10 ところで、光ファイバ内の F W Mにより光変調
を行う場合には、変調効率を大きくするために励
起光の強度を大きくすると誘導ブリルアン散乱
（S B S）により励起光が光ファイバ内で反射さ
れてしまい、それにより変換効率が飽和してしま
15 う。特に、振幅（強度）変調や変調をかけない場
合（C W）には、シングルモードファイバにおい
ては約 + 7 ~ 8 d B m 程度の入力パワーで S B S
がおきる。このような S B S の影響を排除した実
施例を次に説明する。

20 図 3 3 は本発明の光変調器の第 2 実施例を示す
ブロック図である。この実施例では、比較的低い
周波数 ω' の発振器 3 2 7 により周波数変調され
ている励起 L D 3 2 2 からの励起光を光変調器 3
2 6 を介して光カプラ 3 2 3 のポート 3 2 3 B に
25 入力している。光変調器 3 2 6 は、情報信号が入

- 6 3 -

力する変調回路 3 2 5 により駆動されて、通過する励起光を振幅（強度）変調する。こうすると、光ファイバ 3 2 1 内における励起光の単位周波数当たりのパワー密度を低下させて S B S を抑圧することができる。光変調器 3 2 6 により励起光を間接変調することに代えて、励起光を直接変調する場合には、周波数 ω' の低周波信号を情報信号に重畳して励起 L D 3 2 2 に供給すれば良い。尚、発振器 3 2 6 の周波数 ω' は変調回路 3 2 5 に供給される情報信号に影響を及ぼさないために十分に低速であることが望ましい。この実施例では、変調された位相共役光を得るに際して励起光の低速な周波数変調を行っているが、前述した実施例のように変調されていない位相共役光を得る場合においても、励起光を周波数変調することにより S B S を抑圧することができる。

図 3 4 は本発明の光変調器の第 3 実施例を示すブロック図である。この実施例は、図 3 2 の第 1 実施例と対比して、光ファイバ 3 2 1 内で発生した位相共役光（出力アイドラ光）を、光バンドパスフィルタ 3 3 1 及び光増幅器 3 3 2 をこの順に介して図示しない光伝送路に送出している点で特徴付けられる。光増幅器 3 3 2 は例えば線形光増幅器である。光増幅器 3 3 2 の一つの構成例は、E r（エルビウム）等の希土類元素がドーブされ

たドーブファイバと、ポンプ光を出力するポンプ光源と、このポンプ光を増幅すべき光（ここでは出力アイドラ光）とともにドーブファイバに供給する手段とを含む。光バンドパスフィルタ 3 3 1 は、プローブ LD 3 2 4 及び励起 LD 3 2 2 からの光や雑音光等の不所望な光を除去するためのものであり、これにより変調された出力アイドラ光のみをこの光変調器から出力することができる。また、このような不要な光を除去することによって、例えば、励起 LD 3 2 2 からの励起光によって光増幅器 3 3 2 の動作が飽和することが回避され、光ファイバ 3 2 1 内で生じた出力アイドラ光を十分に増幅することができる。また、一般に励起 LD 3 2 2 からの励起光の強度はプローブ光及び出力アイドラ光の強度に比べて極めて高いので、光バンドパスフィルタ 3 3 1 を用いて励起光等の不要な光を除去することによって、高強度な励起光が後段の光伝送路内でさらに非線形光学効果を生じさせる恐れがない。さらに、光バンドパスフィルタ 3 3 1 で不要な光を除去することによって、変調された出力アイドラ光に基づき受信側で復調信号を再生するに際して、励起光の存在による復調の困難を排除することができる。尚、励起 LD 3 2 2 から供給される励起光の強度が十分に高い場合には、光ファイバ 3 2 1 に供給されたプロー

- 6 5 -

ブ光の強度よりも光ファイバ 3 2 1 内で発生する出力アイドラ光の強度が高くなることがあるので、このような増幅作用が生じている場合には、光増幅器 3 2 2 は用いなくてもよい。

- 5 図 3 5 は本発明の光変調器の第 4 実施例を示すブロック図である。この実施例は、図 3 2 の第 1 実施例に対比して、励起 LD 3 2 2 と光カップラ 3 2 3 のポート 3 2 3 B との間に偏光スクランブラ 3 4 1 を設けている点で特徴付けられる。一般に
- 10 シングルモードファイバの伝搬モードには、偏光面が互いに直交する 2 つの偏光モードが存在し、各種の外乱の影響によりこれら 2 つの偏光モードが結合して、結果としてシングルモードファイバの第 1 端に供給される光の偏光状態はこのシング
- 15 ルモードファイバの第 2 端から出力される光の偏光状態に一致しない。従って、本発明の光変調器を光中継器に内蔵させる場合等のように、プローブ LD 3 2 4 からのプローブ光が比較的長いシングルモードファイバを介して光カップラ 3 2 3 に供
- 20 給されているような場合には、非線形光学媒質としての光ファイバ 3 2 1 に供給されるプローブ光の偏光状態は、環境変化等によって時間とともに変動する。一方、前述した出力アイドラ光（位相共役光）の発生原理から明らかなように、プロー
- 25 ブ光から位相共役光への変換効率は、非線形光学

- 6 6 -

媒質に供給されるプローブ光の偏光状態と励起光の偏光状態との関係に依存する。図 3 5 の第 4 実施例によると、励起 LD 3 2 2 からの励起光を偏光スクランブラ 3 4 1 を介してプローブ光と合流させるようにしているので、供給されるプローブ光の偏光状態が時間とともに変動する場合でも、

5 プrobe光から位相共役光への変換効率を一定にして光変調器の動作を安定にすることができる。

偏光スクランブラ 3 4 1 は、1 / 2 波長板及び

10 1 / 4 波長板等を用いて通常通り構成され、例えば、励起 LD 3 2 2 から供給される励起光がほぼ直線偏光である場合にその偏光面を回転するように機能する。供給されるプローブ光の偏光状態の環境条件の変化等に起因する変動は比較的ゆっくりであるので、偏光スクランブラ 3 4 1 の動作周波数（例えば偏光面の回転周期の逆数）を 1 ~ 1

15 0 0 K H z 程度に設定しておくことによって、十分に偏光依存性を排除することができる。この例では、励起 LD 3 2 2 から供給される励起光に対して偏光スクランブラ 3 4 1 を作用させているが、

20 偏光スクランブラをプローブ光に対して作用させるようにしてもよい。

図 3 6 は本発明の光変調器の第 5 実施例を示すブロック図である。この実施例では、プローブ LD 3 2 4 から供給されたプローブ光を偏光面が互

25

- 6 7 -

いに直交する第 1 及び第 2 偏光成分に分離する偏
光ビームスプリッタ 3 5 1 と、偏光ビームスプリ
ッタ 3 5 1 からの第 1 及び第 2 偏光成分に基づい
てそれぞれ位相共役光（出力アイドラ光）を発生
5 させる位相共役光発生器 3 5 2 及び 3 5 3 と、位
相共役光発生器 3 5 2 及び 3 5 3 からの各位相共
役光を合流させる偏光合成器 3 5 4 とが用いられ
る。偏光合成器 3 5 4 は例えば偏光ビームスプリ
ッタであり、偏光合成器 3 5 4 で合成された位相
10 共役光は図示しない光伝送路に送出される。位相
共役光発生器 3 5 2 及び 3 5 3 としては、例えば、
図 3 2 の第 1 実施例の構成からプローブ LD 3 2
4 及び変調回路 3 2 5 を除いたものを用いること
ができる。位相共役光発生器 3 5 2 及び 3 5 3 に
15 おける励起光を変調するために、変調回路 3 2 5
が設けられている。

この実施例によると、各位相共役光発生器 3 5
2 及び 3 5 3 に供給されるプローブ光の第 1 及び
第 2 偏光成分はともに直線偏光であるから、位相
20 共役光発生器 3 5 2 及び 3 5 3 において、供給さ
れたプローブ光（第 1 又は第 2 偏光成分）の偏光
状態を励起光の偏光状態に一致させるのが容易で
あり、偏光依存性を排除することができる。つま
り、プローブ LD 3 2 4 から供給されるプローブ
25 光の偏光状態の変動にかかわらず、位相共役光の

発生効率を一定にすることができるのである。この実施例では、偏光ビームスプリッタ 3 5 1 から位相共役光発生器 3 5 2 を経て偏光合成器 3 5 4 に至る光路の光路長と偏光ビームスプリッタ 3 5 1 から位相共役光発生器 3 5 3 を経て偏光合成器 3 5 4 に至る光路の光路長との差を信号の 1 タイムスロット T における光の進行距離に比べて十分小さくすることが望ましい。例えば、変調回路 3 2 5 ' に供給される情報信号が 1 0 G b / s の N R Z 信号である場合には、その 1 タイムスロット T における光の進行距離は約 2 mm となるから、光路長差はその 1 / 1 0 に相当する 0 . 2 mm 程度以下に抑えることが望ましい。

図 3 7 は本発明の光変調器の第 6 実施例を示す図である。プローブ光／励起光供給手段としては光カプラ 3 2 3 が用いられ、非線形光学媒質としては偏波保持ファイバ 3 5 5 が用いられている。プローブ LD 3 2 4 からのプローブ光と励起 LD 3 2 2 からの励起光は、光カプラ 3 2 3 で合流されて偏波保持ファイバ 3 5 5 に入力する。励起光は予め定められた偏波面を有する実質的な直線偏光であり、この予め定められた偏波面が偏波保持ファイバ 3 5 5 の主軸に対してほぼ 4 5 ° 傾斜するように励起 LD 3 2 2 の配置等が設定される。こうしておく、励起光パワーの偏波保持ファイ

バ内での直交 2 偏波成分を等しく一定に保つことができるので、任意の偏光状態のプローブ光に対して出力アイドラ光の生成効率を安定に保つことができる。

5 図 3 7 の実施例では、非線形光学媒質として使用される偏波保持ファイバ 3 5 5 の長さが長くなるのに従って、偏波保持ファイバ 3 5 5 の 2 つの主軸方向の偏波に対する屈折率のわずかな違いによる位相ずれが生じる可能性があるので、励起光
10 パワーを高くするか或いは偏波保持ファイバ 3 5 5 の非線形定数を大きくすることによって、短い偏波保持ファイバ 3 5 5 で足りるようにすることが望ましい。この直交 2 偏波成分間の位相ずれの程度は、偏波保持ファイバ 3 5 5 の材料や構造に
15 より決定される。標準的なファイバにおいては、1 0 m の長さに対して 1 7 p s のずれが発生する。従って、ビットレートが 6 0 G b / s 程度の信号に対して 1 ビットの偏波分散となって現れる。この場合、実際に伝送可能な信号の伝送速度は 1 0
20 G b / s 程度になる。偏波保持ファイバ 3 5 5 の長さが長くなればさらに伝送可能な信号の伝送速度は低下する。次に、非線形光学媒質としての偏波保持ファイバの長さを短くすることなしに高ビットレートの信号に対応可能な実施例を説明する。

25 図 3 8 は本発明の光変調器の第 7 実施例を示す

- 7 0 -

ブロック図である。この実施例は、図 3 7 の実施例と対比して、非線形光学媒質がほぼ同じ長さの 2 本の偏波保持ファイバ 3 5 5 A 及び 3 5 5 B からなる点で特徴付けられる。偏波保持ファイバ 3 5 5 A 及び 3 5 5 B はこれらの主軸同士が互いに直交するように接続される。励起光は予め定められた偏波面を有する実質的な直線偏光である。光カプラ 3 2 3 で合流したプローブ光と励起光は、偏波保持ファイバ 3 5 5 A の第 1 端に供給される。

ここで、励起光の偏波面が偏波保持ファイバ 3 5 5 A の主軸に対してほぼ 45° 傾斜するように、励起 LD 3 2 2 の配置等が設定される。偏波保持ファイバ 3 5 5 A の第 2 端は偏波保持ファイバ 3 5 5 B の第 1 端に接続されている。偏波保持ファイバ 3 5 5 B の第 2 端からは、偏波保持ファイバ 3 5 5 A 及び 3 5 5 B 内で生じた変調された位相共役光が出力する。この実施例では、ほぼ同じ特性を有する偏波保持ファイバ 3 5 5 A 及び 3 5 5 B の長さを等しく設定しているので、偏波保持ファイバ 3 5 5 A で生じた直交 2 偏波成分間の位相ずれは偏波保持ファイバ 3 5 5 B において生じる直交 2 偏波成分間の位相ずれと相殺され、偏波保持ファイバ 3 5 5 A 及び 3 5 5 B の総長が長い場合でも、これによって信号の伝送速度が制限されることがない。

- 7 1 -

図 3 9 は本発明の光変調器の第 8 実施例を示すブロック図である。励起光源として励起 LD 3 2 2 が用いられ、非線形光学媒質として光ファイバ 3 2 1 が用いられている点は前述の図 3 2 乃至図 3 5 の実施例と同じである。この実施例では、プローブ光及び励起光を光ファイバ 3 2 1 に双方向に導波させるために、プローブ光／励起光供給手段は、光カプラ 3 6 1 と偏光ビームスプリッタ 3 6 2 とを含む。光カプラ 3 6 1 はポート 3 6 1 A, 3 6 1 B 及び 3 6 1 C を有し、ポート 3 6 1 A 及び 3 6 1 B に供給された光をポート 3 6 1 C から出力する。ポート 3 6 1 A にはプローブ LD 3 2 4 が接続され、ポート 3 6 1 B には励起 LD 3 2 2 が接続される。偏光ビームスプリッタ 3 6 2 はポート 3 6 2 A, 3 6 2 B, 3 6 2 C 及び 3 6 2 D を有し、ポート 3 6 2 A 及び 3 6 2 B に供給された光を直交 2 偏光成分に偏光分離し、これらの 2 偏光成分をそれぞれポート 3 6 2 C 及び 3 6 2 D から出力する。また、偏光ビームスプリッタ 3 6 2 は、ポート 3 6 2 C 及び 3 6 2 D に供給された光を直交 2 偏光成分に偏光分離し、これらの 2 偏光成分をそれぞれポート 3 6 2 A 及び 3 6 2 B から出力する。ポート 3 6 2 A には光カプラ 3 6 1 のポート 3 6 1 C が接続され、ポート 3 6 2 B には図示しない光伝送路が接続され、ポート 3 6

- 7 2 -

2 C 及び 3 6 2 D 間には光ファイバ 3 2 1 が接続される。光ファイバ 3 2 1 の途中には、1 / 4 波長板及び 1 / 2 波長板等を用いて通常通り構成される偏光制御器 3 6 3 が設けられており、この偏光制御器 3 6 3 は光ファイバ 3 2 1 に供給された光の偏光状態と光ファイバ 3 2 1 から出力する光の偏光状態とが一致するような制御を行う。

光カプラ 3 6 1 に供給されたプローブ光は励起 LD 3 2 2 からの励起光と合流され、これらプローブ光及び励起光は、偏光ビームスプリッタ 3 6 2 で第 1 偏光成分とこの第 1 偏光成分の偏光面に直交する偏光面を有する第 2 偏光成分とに分離される。第 1 及び第 2 偏光成分は、それぞれ光ファイバ 3 2 1 を互いに逆方向に伝搬して、さらにもう一度偏光ビームスプリッタ 3 6 2 を通過するときに偏光合成されてポート 3 6 2 B から出力される。励起 LD 3 2 2 から出力される励起光の偏光面は、偏光ビームスプリッタ 3 6 2 で分離される第 1 及び第 2 偏光成分への、励起 LD 3 2 2 からの励起光の分配比が 1 : 1 になるように、設定される。即ち、偏光ビームスプリッタ 3 6 2 のポート 3 6 2 A に供給される励起光の偏光面は、第 1 及び第 2 偏光成分の偏光面に対してそれぞれほぼ 45° 傾斜するように、励起 LD 3 2 2 が設定される。こうしておく、光ファイバ 3 2 1 に互い

に逆方向に導波されるプローブ光の直交２偏光成分に対して、励起光の直交２偏光成分がそれぞれ一致した偏光面でもって作用するので、光ファイバ３２１内で互いに逆方向に発生した位相共役光を偏光ビームスプリッタ３６２で合成してポート３６２Ｂから出力したときに、供給されたプローブ光の偏光状態の変動にかかわらず一定の変換効率で位相共役光を得ることができる。

図４０は本発明の光変調器の第９実施例を示すブロック図である。この実施例は、図３９の実施例と対比して、非線形光学媒質として偏波保持ファイバ３２１'を用いている点で特徴付けられる。偏波保持ファイバ３２１'は、偏波保持ファイバ３２１'に供給された光の偏光状態が偏波保持ファイバ３２１'から出力される光の偏光状態に一致するように、偏光ビームスプリッタ３６２に接続される。この場合、偏波保持ファイバ３２１'の主軸は、偏光ビームスプリッタ３６２で偏光分離される直線偏光の偏光面に平行である。この実施例によると、図３９の偏波制御器３６３が不要になるので、装置の構成を簡単にすることができる。

図４１は本発明の光変調器の第１０実施例を示すブロック図である。非線形光学媒質としての光ファイバ３２１と、励起ＬＤ３２２と、プローブ

- 7 4 -

L D 3 2 4 と、偏光ビームスプリッタ 3 6 2 と、
偏光制御器 3 6 3 とが用いられている点は、図 3
9 の実施例と同じである。この実施例では、位相
共役光の発生に際して消費されずに残った励起光
5 を発生した位相共役光と分離するために、プロー
ブ光／励起光供給手段は、光カプラ 3 7 1 と 1 /
2 波長板 3 7 3 と偏光ビームスプリッタ 3 6 2 と
を含む。また、励起光を供給するポートと位相共
役光を取り出すポートとを分離するために、プロ
10 ーブ光／励起光供給手段はさらに光サーキュレー
タ 3 7 2 を含む。光サーキュレータ 3 7 2 は 3 つ
のポート 3 7 2 A, 3 7 2 B 及び 3 7 2 C を有し、
ポート 3 7 2 A に供給された光をポート 3 7 2 B
から出力し、ポート 3 7 2 B に供給された光をポ
15 ート 3 7 2 C から出力し、ポート 3 7 2 C に供給
された光をポート 3 7 2 A から出力するように機
能する。ポート 3 7 2 A にはプローブ L D 3 2 4
が接続され、ポート 3 7 2 C は図示しない光伝送
路に接続される。光カプラ 3 7 1 は 4 つのポート
20 3 7 1 A, 3 7 1 B, 3 7 1 C 及び 3 7 1 D を有
し、ポート 3 7 1 A 及び 3 7 1 B に供給された光
を等分配してポート 3 7 1 C 及び 3 7 1 D から出
力し、ポート 3 7 1 C 及び 3 7 1 D に供給された
光を等分配してポート 3 7 1 A 及び 3 7 1 B から
25 出力する。光カプラ 3 7 1 としては、例えばハー

- 7 5 -

フミラーやファイバ融着型のものが用いられる。
ポート 3 7 1 A には励起 LD 3 2 2 が接続され、
ポート 3 7 1 B にはサーキュレータ 3 7 2 のポ
ート 3 7 2 B が接続され、ポート 3 7 1 D は偏光ビ
ームスプリッタ 3 6 2 のポート 3 6 2 B に接続さ
れる。1 / 2 波長板 3 7 3 は光カプラ 3 7 1 のポ
ート 3 7 1 C と偏光ビームスプリッタ 3 6 2 のポ
ート 3 6 2 A の間の光路に挿入され、この 1 / 2
波長板 3 7 3 は供給された光の偏光面を 9 0 ° 回
転させる。この実施例では、光カプラ 3 7 1 のポ
ート 3 7 1 A に供給される励起光の偏光状態と、
プローブ LD 3 2 4 から光サーキュレータ 3 7 2
を介して光カプラ 3 7 1 のポート 3 7 1 B に供給
されるプローブ光の偏光状態とが一致するよう
にされている。

いま、これらの励起光及びプローブ光がそれぞ
れ紙面に垂直な偏光面を有する直線偏光である
としてこの実施例における動作を説明する。光カ
プラ 3 7 1 のポート 3 7 1 A 及び 3 7 1 B にそれぞ
れ供給された励起光及びプローブ光は、等分配
されてポート 3 7 1 C 及び 3 7 1 D から出力する。
ポート 3 7 1 C から出力されたプローブ光及び励
起光は、1 / 2 波長板 3 7 3 で偏光面を 9 0 ° 回
転させられ、紙面に平行な偏光面を有する直線
偏光として偏光ビームスプリッタ 3 6 2 のポート 3

- 7 6 -

6 2 A に供給される。ポート 3 6 2 A に供給されたプローブ光及び励起光は、ポート 3 6 2 D から光ファイバ 3 2 1 に供給され、光ファイバ 3 2 1 内で図の反時計回りに伝搬するときに同方向に位相共役光が発生する。この位相共役光と残留した励起光は、ポート 3 6 2 C から偏光ビームスプリッタ 3 6 2 に供給されポート 3 6 2 B から出力する。一方、光カップラ 3 7 1 のポート 3 7 1 D から偏光ビームスプリッタ 3 6 2 のポート 3 6 2 B に供給されたプローブ光及び励起光は、紙面に垂直な偏光面を有しているので、これらプローブ光及び励起光は、ポート 3 6 2 D から光ファイバ 3 2 1 に供給され、光ファイバ 3 2 1 内で図中の反時計回りに伝搬するときに位相共役光が発生する。この位相共役光と残留した励起光は、ポート 3 6 2 C から偏光ビームスプリッタ 3 6 2 に供給され、ポート 3 6 2 A から出力される。ポート 3 6 2 A から 1 / 2 波長板 3 7 3 に供給された位相共役光及び励起光は、偏光面を 90° 回転させられて紙面に平行な直線偏光として光カップラ 3 7 1 のポート 3 7 1 C に供給される。1 / 2 波長板 3 7 3 からポート 3 7 1 C に供給される励起光及び位相共役光と偏光ビームスプリッタ 3 6 2 のポート 3 6 2 B から光カップラ 3 7 1 のポート 3 7 1 D に供給される励起光及び位相共役光とは、ともに紙面に

- 7 7 -

5 平行な偏光面を有しており、且つ、これらを経てきた光路の長さは完全に一致する。従って、光カプラ 3 7 1 においてポート 3 7 1 C 及び 3 7 1 D に供給された励起光及び位相共役光のうち、励起光は主としてポート 3 7 1 A から出力され、位相共役光は主としてポート 3 7 1 B から出力される。光カプラ 3 7 1 のポート 3 7 1 B から出力された光は、光サーキュレータ 3 7 2 を介して図示しない光伝送路に送出される。

10 本実施例によると、非線形光学媒質としての光ファイバ 3 2 1 内での位相共役光の発生に際して残留した励起光と発生した位相共役光とを、光フィルタ（例えば図 3 4 の光バンドパスフィルタ 3 3 1）を用いることなしに分離することができる。

15 位相共役光の発生に際して用いられる励起光の強度はプローブ光及び発生した位相共役光の強度に比べて極めて高いので、このような高強度の励起光を位相共役光と分離する上で、図 4 1 の実施例は有用である。

20 以上説明した実施例では、プローブ光は 1 つであるが、周波数分割多重された複数のプローブ光に対しても本発明を適用可能である。

図 4 2 は本発明の光変調器の第 1 1 実施例を示すブロック図である。シングルモードファイバ S M F - 1 からのプローブ光は、光カプラ 3 8 2 の

25

- 7 8 -

第 1 ポートに入力する。光ファイバ 3 8 2 の第 2
ポートには、情報信号源 3 8 4 により変調される
励起光源 3 8 6 からの励起光が、偏波制御器 3 8
8 を介して供給される。光カプラ 3 8 2 で加え合
5 わされたプローブ光及び励起光が非線形光学媒質
3 9 0 に入力すると、ここで位相共役光が発生し、
この位相共役光は光カプラ 3 9 2 で 2 分岐される。
分岐された一方の位相共役光は、シングルモード
ファイバ S M F - 2 に送出され、分岐された他方
10 の位相共役光は光フィルタ 3 9 4 を通って受光器
3 9 6 で電気信号に変換される。比較器 3 9 8 は、
受光器 3 9 6 の出力レベルが最大になるように、
励起光の偏波状態と励起光源 3 8 6 の発振波長と
を制御する。励起光の波長は、励起光源 3 8 6 と
15 して使用されるレーザダイオードの温度やバイア
ス電流により制御される。

この実施例によると、励起光の偏光状態をプロ
ーブ光の偏光状態に合わせて能動的に制御するよ
うにしているので、プローブ光の偏光状態にかか
20 わらず安定した変換効率で位相共役光を発生させ
ることができる。

以上説明した本発明の光変調器の実施例では、
プローブ光源を非線形光学媒質の比較的近くに設
置してこの光変調器を送信局に適用しているが、
25 この光変調器は中継局にも適用可能である。即ち、

- 7 9 -

送信局から送られてきたプローブ光を中継局で励起光（変調されている）とともに非線形光学媒質に入力することで、非線形光学媒質において生じる位相共役光に情報の書き込みを行うことができるのである。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明により位相共役光学を光システムに適用することによって、従来の光技術では得られなかった新しい機能の達成や光システムの特性の改善が可能になる。

15

20

25

- 8 0 -

請 求 の 範 囲

1. 非線形光学媒質(1)と、
励起光を出力する励起光源(2)と、

5 信号光入力ポート(3)に供給された入力信号光
を上記励起光源(2)からの上記励起光とともに上
記非線形光学媒質(1)に供給する信号光／励起光
供給手段(4)と、

10 上記非線形光学媒質(1)に供給された上記入力
信号光及び上記励起光の相互作用により発生した
出力信号光及び位相共役光を抽出してそれぞれ信
号光出力ポート(5)及び位相共役光出力ポート(6)
から出力する信号光／位相共役光抽出手段(7)と
を備えた位相共役光発生装置。

15

2. 上記非線形光学媒質(1)においては2次
の非線形光学効果に基づく光パラメトリックプロ
セス又は3次の非線形光学効果に基づく4光波混
合プロセスにより上記位相共役光が発生する請求
20 項1に記載の位相共役光発生装置。

3. 上記信号光／励起光供給手段(4)は、上
記信号光入力ポート(3)と上記励起光源(2)と上
記非線形光学媒質(1)の第1端とにそれぞれ接続
25 された第1乃至第3ポート(11A, 11B, 11C)を有し

- 8 1 -

該第 1 及び第 2 ポート (11A, 11B) に供給された光を該第 3 ポート (11C) から出力する光カップラ (11) を含む請求項 1 に記載の位相共役光発生装置。

5 4. 上記非線形光学媒質 (1) においては片方向励起型の 4 光波混合により上記位相共役光が発生し、

 上記信号光 / 位相共役光抽出手段 (7) は、

 第 1 乃至第 3 ポート (12A, 12B, 12C) を有し、該
10 第 1 ポート (12A) は上記非線形光学媒質 (1) の第 2 端に接続され、該第 1 ポート (12A) に供給された光を 2 分岐してそれぞれ該第 2 及び第 3 ポート (12B, 12C) から出力する光デバイダ (12) と、

 該光デバイダ (12) の第 2 ポート (12B) と上記信
15 号光出力ポート (5) の間の光路に挿入されその通過帯域は上記出力信号光の周波数を包含する第 1 の光フィルタ (13) と、

 上記光デバイダ (12) の第 3 ポート (12C) と上記位相共役光出力ポート (6) の間の光路に挿入され
20 その通過帯域は上記位相共役光の周波数を包含する第 2 の光フィルタ (14) とを含む請求項 3 に記載の位相共役光発生装置。

5. 上記励起光源 (2) は周波数が等しい励起
25 光をそれぞれ出力する第 1 及び第 2 の励起光源 (2

- 8 2 -

1, 22) であり、

上記信号光／励起光供給手段(4) は、

第 1 乃至第 3 ポート(23A, 23B, 23C) を有し、該
第 2 ポート(23B) は上記第 1 の励起光源(21)に接
続され、該第 3 ポート(23C) は上記非線形光学媒
質(1) の第 1 端に接続され、該第 1 及び第 2 ポー
ト(23A, 23B) に供給された光を該第 3 ポート(23C)
から出力し、該第 3 ポート(23C) に供給された光
を該第 1 ポート(23A) から出力する第 1 の光カプ
ラ(23)と、

第 1 乃至第 3 ポート(24A, 24B, 24C) を有し、該
第 1 ポート(24A) は上記非線形光学媒質(1) の第
2 端に接続され、該第 2 ポート(24B) は上記第 2
の励起光源(22)に接続され、該第 1 ポート(24A)
に供給された光を該第 3 ポート(24C) から出力し、
該第 2 ポート(24B) に供給された光を該第 1 ポー
ト(24A) から出力する第 2 の光カプラ(24)とを含
む請求項 1 に記載の位相共役光発生装置。

6. 上記非線形光学媒質(1) においては双方
向励起型の 4 光波混合により上記位相共役光が発
生し、

上記信号光／位相共役光抽出手段(7) は、

第 1 乃至第 3 ポート(31A, 31B, 31C) を有し、該
第 1 ポート(31A) は上記信号光入力ポート(3) に

- 8 3 -

接続され、該第 3 ポート (31C) は上記第 1 の光カ
プラ (23) の第 1 ポート (23A) に接続され、その第
1 ポート (31A) に供給された光を該第 3 ポート (3
1C) から出力し、該第 3 ポート (31C) に供給され
5 た光を該第 2 ポート (31B) から出力する光デバイ
ダ (31) と、

上記第 2 の光カプラ (24) の第 3 ポート (24C) と
上記信号光出力ポート (5) の間の光路に挿入され
その通過帯域は上記出力信号光の周波数を包含す
る第 1 の光フィルタ (32) と、
10

上記光デバイス (31) の第 2 ポート (31B) と上記
位相共役光出力ポート (6) の間の光路に挿入され
その通過帯域は上記位相共役光の周波数を包含す
る第 2 の光フィルタ (33) とを含む請求項 5 に記載
15 の位相共役光発生装置。

7. 上記非線形光学媒質 (1) においては双方
向励起型の 4 光波混合により上記位相共役光が発
生し、

20 上記位相共役光出力ポート (6) は第 1 及び第 2
の位相共役光出力ポート (6A, 6B) であり、

上記信号光 / 位相共役光抽出手段 (7) は、

第 1 乃至第 3 ポート (41A, 41B, 41C) を有し、該
第 1 ポート (41A) は上記第 2 の光カプラ (24) の第
3 ポート (24C) に接続され、該第 1 ポート (41A)
25

- 8 4 -

に供給された光を2分岐してそれぞれ該第2及び第3ポート(41B, 41C)から出力する第1の光デバイス(41)と、

5 該第1の光デバイス(41)の第2ポート(41B)と上記信号光出力ポート(5)の間の光路に挿入されその通過帯域は上記出力信号光の周波数を包含する第1の光フィルタ(42)と、

10 上記第1の光デバイス(41)の第3ポート(41C)と上記第1の位相共役光出力ポート(6A)の間の光路に挿入されその通過帯域は上記位相共役光の周波数を包含する第2の光フィルタ(43)と、

15 第1乃至第3ポート(31A, 31B, 31C)を有し、該第1ポート(31A)は上記信号光入力ポート(3)に接続され、該第3ポート(31C)は上記第1の光カップラ(23)の第1ポート(23A)に接続され、その第1ポート(31A)に供給された光を該第3ポート(31C)から出力し、該第3ポート(31C)に供給された光を該第2ポート(31B)から出力する第2の光デバイス(31)と、

20 該第2の光デバイス(31)の第2ポート(31B)と上記第2の位相共役光出力ポート(6B)の間の光路に挿入されその通過帯域は上記位相共役光の周波数を包含する第3の光フィルタ(33)とを含む請求項5に記載の位相共役光発生装置。

- 8 5 -

8. 入力データに基づき上記励起光を変調する変調手段(51)をさらに備えた請求項1に記載の位相共役光発生装置。

5 9. 上記変調手段(51)は上記励起光の強度又は振幅を変調する請求項8に記載の位相共役光発生装置。

10 10. 上記変調手段(51)は上記励起光の周波数を変調する請求項8に記載の位相共役光発生装置。

11. 送信局(61)と、
受信局(62)と、
該送信局(61)及び該受信局(62)間に敷設された
15 光伝送路(63)と、

該光伝送路(63)の途中に挿入された少なくとも一つの中継局(64)とを備え、

該中継局(64)は請求項1に記載の位相共役光発生装置(65)を含み、

20 該位相共役光発生装置(65)は、上記送信局(61)の側から供給された光を上記入力信号光として受け、上記位相共役光を上記受信局(62)の側に向けて送出する中継光伝送システム。

25 12. 上記中継局(64)は入力データに基づき上

記励起光を変調する変調手段(66)をさらに含み、
上記入力データは当該中継局(64)の監視データ
を含む請求項11に記載の中継光伝送システム。

5 13. 上記送信局(61)が送出する光は伝送データにより変調されており、
上記中継局(64)は、上記位相共役光発生装置(65)から出力される上記出力信号光を受け上記伝送データに対応した復調データを再生する復調手段
10 (67)をさらに含む請求項11に記載の中継光伝送システム。

14. 上記中継局(64)は複数あり、
該複数の中継局(64)のうち上記送信局(61)の側
15 から数えて1番目の中継局が有する上記位相共役光発生装置(65)の上記信号光入力ポート(3)は上記送信局(61)に接続され、

該複数の中継局(64)のうち上記送信局の側から数えて n (n は1より大きい自然数)番目の中継局が有する上記位相共役光発生装置(65)の上記信号光入力ポート(3)は $(n-1)$ 番目の中継局が有する上記位相共役光発生装置(65)の上記位相共役光出力ポート(6)に接続され、
20

該複数の中継局(64)のうち上記受信局(62)の側
25 から数えて1番目の中継局が有する上記位相共役

光発生装置(65)の上記位相共役光出力ポート(6)は上記受信局(62)に接続される請求項11に記載の中継光伝送システム。

5 15. 第1の光送信機(71)及び第1の光受信機(72)を有する第1の送受信局(73)と、

第2の光送信機(74)及び第2の光受信機(75)を有する第2の送受信局(76)と、

10 該第1及び第2の送受信局(73,76)間に敷設された上り及び下り光伝送路(77,78)と、

該上り及び下り光伝送路(77,78)の途中に挿入された少なくとも1つの中継局(79)とを備え、

該中継局(79)は請求項1に記載の位相共役光発生装置(65')を含み、

15 該位相共役光発生装置(65')の上記励起光源(2)は第1及び第2の励起光をそれぞれ出力する第1及び第2の励起光源であり、

20 上記位相共役光発生装置(65')の上記位相共役光出力ポート(6)は第1及び第2の位相共役光出力ポート(6A,6B)であり、

25 上記位相共役光発生装置(65')は、上記第1の送受信局(73)の側から上記信号光入力ポート(3)に供給された光を第1の信号光として受け、該第1の信号光及び上記第1の励起光に基づき第1の位相共役光を発生させ、該第1の位相共役光を上

- 8 8 -

記第 1 の位相共役光出力ポート(6A)から上記第 2
の送受信局(76)の側に向けて送出するとともに、
上記第 2 の送受信局(76)の側から上記信号光出力
ポート(5)に供給された光を第 2 の信号光として
5 受け、該第 2 の信号光及び上記第 2 の励起光に基
づき第 2 の位相共役光を発生させ、該第 2 の位相
共役光を上記第 2 の位相共役光出力ポート(6B)か
ら上記第 1 の送受信局(73)の側に向けて送出する
双方向中継光伝送システム。

10

16. 上記中継局(79)は複数あり、

該複数の中継局(79)のうち上記第 1 の送受信局
(73)の側から数えて 1 番目の中継局が有する上記
位相共役光発生装置(65')の上記信号光入力ポ
ート(3)及び上記第 2 の位相共役光出力ポート(6
15 B)はそれぞれ上記第 1 の光送信機(71)及び上記第
1 の光受信機(72)に接続され、

15

該複数の中継局(79)のうち上記第 1 の送受信局
(73)の側から数えて n (n は 1 より大きい自然数)
20 番目の中継局が有する上記位相共役光発生装置
(65')の上記信号光入力ポート(3)及び上記第
2 の位相共役光出力ポート(6B)は ($n - 1$) 番目
の中継局が有する上記位相共役光発生装置(65')
のそれぞれ上記第 1 の位相共役光出力ポート(6A)
25 及び上記信号光出力ポート(5)に接続され、

20

25

該複数の中継局(79)のうち上記第2の送受信局(76)の側から数えて1番目の中継局が有する上記位相共役光発生装置(65')の上記信号光出力ポート(5)及び上記第1の位相共役光出力ポート(6A)はそれぞれ上記第2の光送信機(74)及び上記第2の光受信機(75)に接続される請求項15に記載の双方向中継光伝送システム。

17. 請求項1に記載の位相共役光発生装置(65)を複数備え、

該複数の位相共役光発生装置(65)のうちの上位のものの上記信号光出力ポート(5)及び上記位相共役光出力ポート(6)はそれぞれ該複数の位相共役光発生装置(65)のうちのすぐ下位のものの上記信号光入力ポート(3)に接続される光分配システム。

18. 請求項1に記載の位相共役光発生装置と、該装置の上記励起光源(2)をオン・オフするスイッチング手段(81)とを備え、

該スイッチング手段(81)の動作により上記位相共役光が発生する状態と発生しない状態とを択一的に切り換える光スイッチングシステム。

19. 請求項1に記載の位相共役光発生装置と、

- 9 0 -

該装置における上記励起光の周波数を掃引する掃引手段(91)とを備え、

該装置の上記信号光入力ポート(3)には周波数分割多重された複数の信号光が供給され、

5 上記掃引手段(91)の動作により上記複数の信号光から択一的に選択された信号光に対応する位相共役光が発生する光選択システム。

20 20. 請求項5に記載の位相共役光発生装置と、
第1及び第2の入力論理データのハイ及びローに従ってそれぞれ上記装置の上記第1及び第2の励起光源の発光強度を変化させる励起光制御手段(101)とを備え、

15 上記第1及び第2の入力論理データがともにハイのときにのみ上記位相共役光が発生する光アンド回路システム。

21. 主局(201)と従局(202)の間に光伝送路(203)を設けてなる光通信システムであって、

20 上記主局(201)は位相共役光発生手段(204)及び第1の変調手段(205)を有し、

上記従局(202)はプローブ光発生手段(206)及び第1の復調手段(207)を有し、

25 上記プローブ光発生手段(206)はプローブ光を上記光伝送路(203)の第1端に供給し、

- 9 1 -

上記位相共役光発生手段(204)は上記光伝送路(203)の第2端から出力した上記プローブ光に対する位相共役光を発生して該位相共役光を上記光伝送路(203)の第2端に供給し、

5 上記第1の変調手段(205)は第1の入力データに従って上記位相共役光を変調し、

上記第1の復調手段(207)は上記光伝送路(203)の第1端から出力した上記位相共役光に基づいて上記第1の入力データを復調する光通信システム。

10

22. 上記位相共役光発生手段(204)は、非線形光学媒質(211)と、励起光を出力する励起光発生手段(212)と、該励起光発生手段(212)から供給された上記励起光を上記プローブ光とともに上記非線形光学媒質(211)に供給するプローブ光／
15 励起光供給手段(213)とを含む請求項21に記載の光通信システム。

23. 上記非線形光学媒質(211)は3次の非線形光学効果を呈し、該非線形光学媒質(211)においては4光波混合により上記位相共役光が発生する請求項22に記載の光通信システム。

24. 上記第1の変調手段(205)は、上記第1
25 の入力データに従って上記励起光を変調する励起

- 9 2 -

光変調手段(214)を含む請求項22に記載の光通信システム。

5 25. 上記励起光は上記非線形光学媒質(211)に互いに逆向きに供給される同一周波数の第1及び第2の励起光である請求項24に記載の光通信システム。

10 26. 上記励起光変調手段(214)は上記第1及び第2の励起光の少なくともいずれか一方の強度又は振幅を変調する請求項25に記載の光通信システム。

15 27. 上記励起光変調手段(214)は上記第1及び第2の励起光の周波数を変調する請求項25に記載の光通信システム。

20 28. 上記従局(202)は、第2の入力データに従って上記プローブ光を変調する第2の変調手段(231)をさらに有し、

上記主局(201)は、上記位相共役光発生手段(204)の出力光に基づいて上記第2の入力データを復調する第2の復調手段(232)をさらに有する請求項21に記載の光通信システム。

- 9 3 -

29. 上記第2の変調手段(231)は上記プローブ光の周波数又は位相を変調し、

上記第1の変調手段(205)は上記位相共役光の強度又は振幅を変調する請求項28に記載の光通信システム。

30. 上記第2の変調手段(231)は上記プローブ光の強度又は振幅を比較的低い変調度で変調し、

上記第1の変調手段(205)は上記位相共役光の強度又は振幅を比較的高い変調度で変調する請求項28に記載の光通信システム。

31. 上記第1の変調手段(205)は上記位相共役光の強度を変調し、

上記第1の復調手段(207)は、上記光伝送路(203)の上記第1端から出力した上記位相共役光を電気信号に変換する受光器(242)を含み、

上記第1の復調手段(207)においては直接検波が行われる請求項21に記載の光通信システム。

32. 上記第1の変調手段(205)は上記位相共役光の振幅、位相又は周波数を変調し、

上記第1の復調手段(207)は、上記光伝送路(203)の上記第1端から出力した上記位相共役光をローカル光とともに同一受光面で受けて電気信号

に変換する受光器(252)を含み、

上記第1の復調手段(207)においてはヘテロダイン検波が行われる請求項21に記載の光通信システム。

5

33. 上記従局(202)は、上記プローブ光発生手段(206)からの上記プローブ光を第1及び第2のプローブ光に分岐する光分岐手段(254)をさらに有し、

10 該第1のプローブ光は上記光伝送路(203)の上記第1端に供給され、

該第2のプローブ光は上記ローカル光として上記受光器(252)に供給される請求項32に記載の光通信システム。

15

34. 上記光伝送路(203)はシングルモードファイバ(261)であり、

上記位相共役光発生手段(204)は第1及び第2の位相共役光発生装置(262, 263)であり、

20 上記主局(201)は、第1乃至第3ポート(264A, 264B, 264C)を有し該第1ポート(264A)は上記シングルモードファイバ(261)に接続され該第2及び第3ポート(264B, 264C)はそれぞれ上記第1及び第2の位相共役光発生装置(262, 263)に接続され
25 該第1ポート(264A)に供給された光を直交2偏光

- 9 5 -

成分に分離してそれぞれ該第 2 及び第 3 ポート (264B, 264C) から出力し該第 2 及び第 3 ポート (264B, 264C) にそれぞれ供給された直交 2 偏光成分を該第 1 ポート (264A) から出力する偏光ビームスプリッタ (264) をさらに有する請求項 3 3 に記載の光通信システム。

3 5 . 上記光伝送路 (203) の上記第 1 端に供給される上記プローブ光は周波数分割多重された複数のプローブ光である請求項 2 1 に記載の光通信システム。

3 6 . 上記従局 (202) は、第 2 の入力データに従って上記プローブ光を変調する第 2 の変調手段 (231) をさらに有し、

上記主局 (201) は複数あり、
該複数の主局 (201) は、それぞれ、上記位相共役光発生手段 (204) の出力光に基づいて上記第 2 の入力データを復調する第 2 の復調手段 (232) をさらに有する請求項 2 1 に記載の光通信システム。

3 7 . 上記複数の主局 (201) の各上記位相共役光発生手段 (204) は、それぞれ、非線形光学媒質 (211) と、励起光を発生する励起光発生手段 (212) と、該励起光発生手段 (212) から供給された上記

- 9 6 -

励起光を上記プローブ光とともに上記非線形光学媒質(211)に供給するプローブ光／励起光供給手段(213)とを含み、

5 各上記励起光発生手段(212)が発生する各上記励起光の周波数は異なる請求項36に記載の光通信システム。

38. 上記従局(202)は複数ある請求項21に記載の光通信システム。

10

39. プローブ光源(301)と、
励起光源(302)と、
非線形光学媒質(303)と、

15 上記プローブ光源(301)からのプローブ光を上記励起光源(302)からの励起光とともに上記非線形光学媒質(303)に供給するプローブ光／励起光供給手段(304)と、

20 上記励起光源(302)に動作的に接続されて上記励起光を情報信号により変調する変調手段(305)とを備え、

上記非線形光学媒質(303)から変調された位相共役光が出力される光変調器。

25 40. 上記非線形光学媒質(303)は3次の非線形光学効果を呈し、該非線形光学媒質(303)にお

- 9 7 -

いては 4 光波混合により上記位相共役光が発生する請求項 3 9 に記載の光変調器。

4 1 . 上記変調手段(305)は上記励起光の振幅又は強度を変調する請求項 3 9 に記載の光変調器。

4 2 . 上記変調手段(305)は上記励起光の周波数を変調する請求項 3 9 に記載の光変調器。

10 4 3 . 上記変調手段(305)は上記励起光の位相を変調する請求項 3 9 に記載の光変調器。

4 4 . 上記非線形光学媒質(303)に動作的に接続され、その通過帯域は上記位相共役光の波長を包含する光バンドパスフィルタ(331)をさらに備えた請求項 3 9 に記載の光変調器。

4 5 . 上記光バンドパスフィルタ(331)に動作的に接続され、上記位相共役光を増幅する光増幅器(332)をさらに備えた請求項 4 4 に記載の光変調器。

4 6 . 上記非線形光学媒質(303)は光ファイバ(321)である請求項 3 9 に記載の光変調器。

- 9 8 -

4 7 . 上記プローブ光の波長と上記励起光の波長はわずかに異なり、上記光ファイバ(321)の零分散を与える波長は上記励起光の波長にほぼ一致する請求項46に記載の光変調器。

5

4 8 . 上記励起光は上記情報信号よりも十分に低速な信号により周波数変調される請求項39に記載の光変調器。

10

4 9 . 上記プローブ光を偏光面が互いに直交する第1及び第2偏光成分に分離する偏光分離手段(351)と、偏光合成手段(354)とをさらに備え、上記非線形光学媒質は、上記プローブ光の上記第1及び第2偏光成分を受けて該第1及び第2偏光成分に対する位相共役光をそれぞれ出力し、該各位相共役光が上記偏光合成手段(354)で合成される請求項39に記載の光変調器。

15

5 0 . 上記非線形光学媒質は偏波保持ファイバ(355)であり、

20

上記励起光は予め定められた偏波面を有する実質的な直線偏波であり、

上記予め定められた偏波面が上記偏波保持ファイバ(355)の主軸に対してほぼ45°傾斜するよう
上に上記励起光源が設定される請求項39に記載

25

- 9 9 -

の光変調器。

5 1. 上記非線形光学媒質はほぼ同じ長さの第
1 及び第 2 の偏波保持ファイバ(355A, 355B) であ
り、

該第 1 及び第 2 の偏波保持ファイバ(355A, 355B)
はこれらの主軸同士が互いに直交するように接続
され、

10 上記励起光は予め定められた偏波面を有する実
質的な直線偏波であり、

上記励起光は上記第 1 の偏波保持ファイバ(355
A)に供給され、

15 上記予め定められた偏波面が上記第 1 の偏波保
持ファイバ(355A)の主軸に対してほぼ 45° 傾斜
するように上記励起光源が設定される請求項 39
に記載の光変調器。

5 2. 上記プローブ光／励起光供給手段は、

20 第 1 乃至第 3 ポート(361A, 361B, 361C)を有し、
該第 1 及び第 2 ポート(361A, 361B) にはそれぞれ
上記プローブ光源及び上記励起光源が接続され、
該第 1 及び第 2 ポート(361A, 361B) に供給された
光を該第 3 ポート(361C)から出力する光カップラ(3
61) と、

25 第 4 乃至第 7 ポート(362A, 362B, 362C, 362D) を

- 1 0 0 -

有し、該第 4 ポート (362A) は上記第 3 ポート (361C) に接続され、該第 5 ポート (362B) から上記変調された位相共役光が出力され、該第 6 及び第 7 ポート (362C, 362D) は上記光ファイバ (321) の第 1 端及び第 2 端にそれぞれ接続され、該第 4 及び第 5 ポート (362A, 362B) に供給された光の直交 2 偏光成分をそれぞれ該第 6 及び第 7 ポート (362C, 362D) から出力し、該第 6 及び第 7 ポート (362C, 362D) に供給された光の直交 2 偏光成分をそれぞれ該第 4 及び第 5 ポート (362A, 362B) から出力する偏光ビームスプリッタ (362) とを含み、

該第 4 ポート (362A) に供給される上記励起光の偏光面が上記直交 2 偏光成分の偏光面に対してそれぞれほぼ 45° 傾斜するように上記励起光源が設定される請求項 46 に記載の光変調器。

53. 上記光ファイバ (321) に供給される光の偏光状態と上記光ファイバ (321) から出力される光の偏光状態とが一致するように制御する偏光制御器 (363) をさらに備えた請求項 52 に記載の光変調器。

54. 上記光ファイバ (321) は偏波保持ファイバ (321') である請求項 52 に記載の光変調器。

- 1 0 1 -

5 5 . 上記プローブ光／励起光供給手段は、

第 1 乃至第 4 ポート (371A, 371B, 371C, 371D) を
有し、該第 1 ポート (371A) には上記励起光が供給
され、該第 2 ポート (371B) には上記プローブ光が
5 供給され、該第 1 及び第 2 ポート (371A, 371B) に
供給された光を等分配して該第 3 及び第 4 ポート
(371C, 371D) から出力し、該第 3 及び第 4 ポート
(371C, 371D) に供給された光を等分配して該第 1
及び第 2 ポート (371A, 371B) から出力する光カプ
10 ラ (371) と、

第 5 乃至第 8 ポート (362A, 362B, 362C, 362D) を
有し、該第 6 ポート (362B) は該第 4 ポート (371D)
に接続され、該第 7 及び第 8 ポート (362C, 362D)
は上記光ファイバ (321) の第 1 端及び第 2 端にそ
15 れぞれ接続され、該第 5 及び第 6 ポート (362A, 36
2B) に供給された光の直交 2 偏光成分を該第 7 及
び第 8 ポート (362C, 362D) から出力し、該第 7 及
び第 8 ポート (362C, 362D) に供給された光の直交
2 偏光成分を該第 5 及び第 6 ポート (362A, 362B)
20 から出力する偏光ビームスプリッタ (362) と、

該第 3 ポート (371C) 及び該第 5 ポート (362A) 間
の光路に挿入される 1 / 2 波長板 (373) とを含み、

該第 1 及び第 2 ポート (371A, 371B) にそれぞれ
供給される上記励起光及び上記プローブ光の偏光
25 状態は一致する請求項 4 6 に記載の光変調器。

- 1 0 2 -

5 6 . 上記プローブ光源に接続された第 9 ポート (372A) と上記第 2 ポート (371B) に接続された第 10 ポート (372B) と上記変調された位相共役光が出力する第 11 ポート (372C) とを有し、該第 9 ポート (372A) に供給された光を該第 10 ポート (372B) から出力し該第 10 ポート (372B) に供給された光を該第 11 ポート (372C) から出力する光サーキュレータ (372) をさらに備えた請求項 55 に記載の光変調器。

10

5 7 . 上記プローブ光／励起光供給手段は、
上記プローブ光が供給される第 1 ポート (323A) と上記励起光が供給される第 2 ポート (323B) と上記光ファイバ (321) の第 1 端に接続される第 3 ポート (323C) とを有し該第 1 及び第 2 ポート (323A, 323B) にそれぞれ供給された上記プローブ光及び上記励起光を該第 3 ポート (323C) から出力する光カプラ (323) を含み、

15

上記光ファイバ (321) の第 2 端から上記変調された位相共役光が出力される請求項 46 に記載の光変調器。

20

5 8 . 上記プローブ光源と上記第 1 ポート (323A) 間の光路に挿入され上記プローブ光の偏光状態を攪乱する偏光スクランブラをさらに備えた請求

25

－ 1 0 3 －

項 5 7 に記載の光変調器。

5 9 . 上記励起光源と上記第 2 ポート (323B) 間の
の光路に挿入され上記励起光の偏光状態を攪乱す
5 る偏光スクランブラ (341) をさらに備えた請求項
5 7 に記載の光変調器。

10

15

20

25

$\frac{1}{36}$

FIG.1

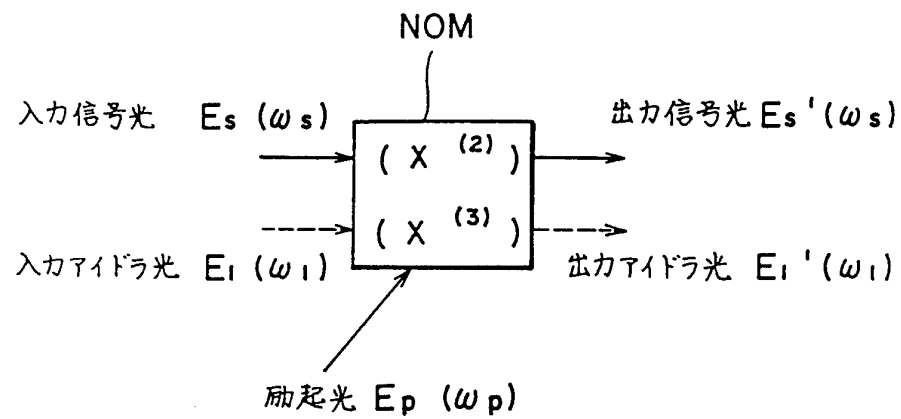
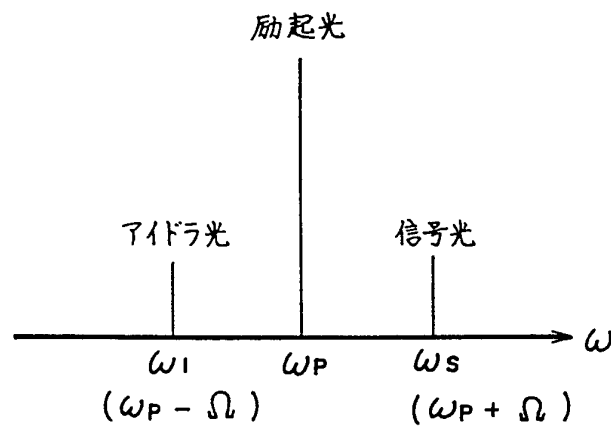


FIG.2



2/36

FIG. 3

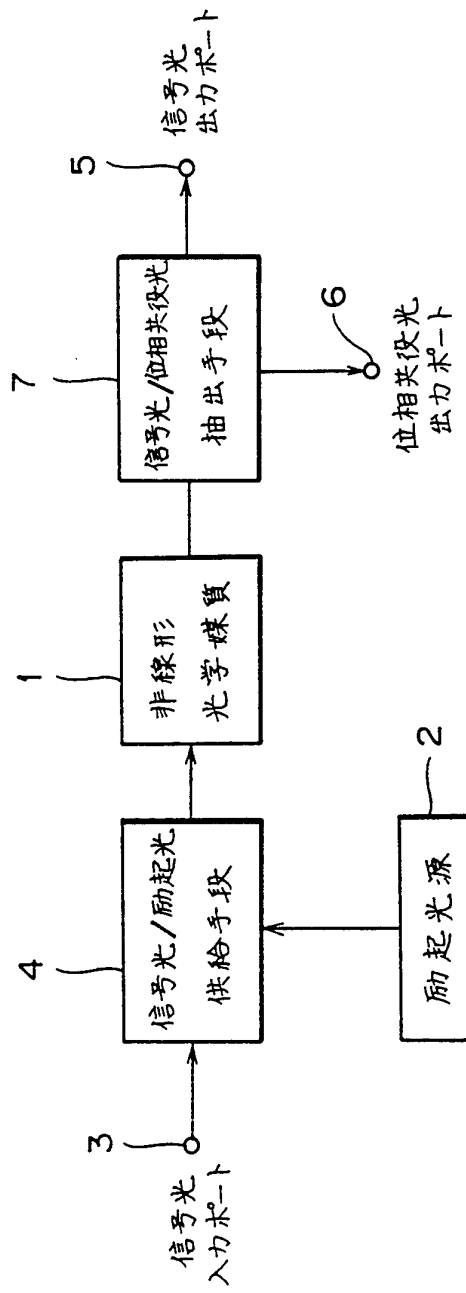


FIG.4

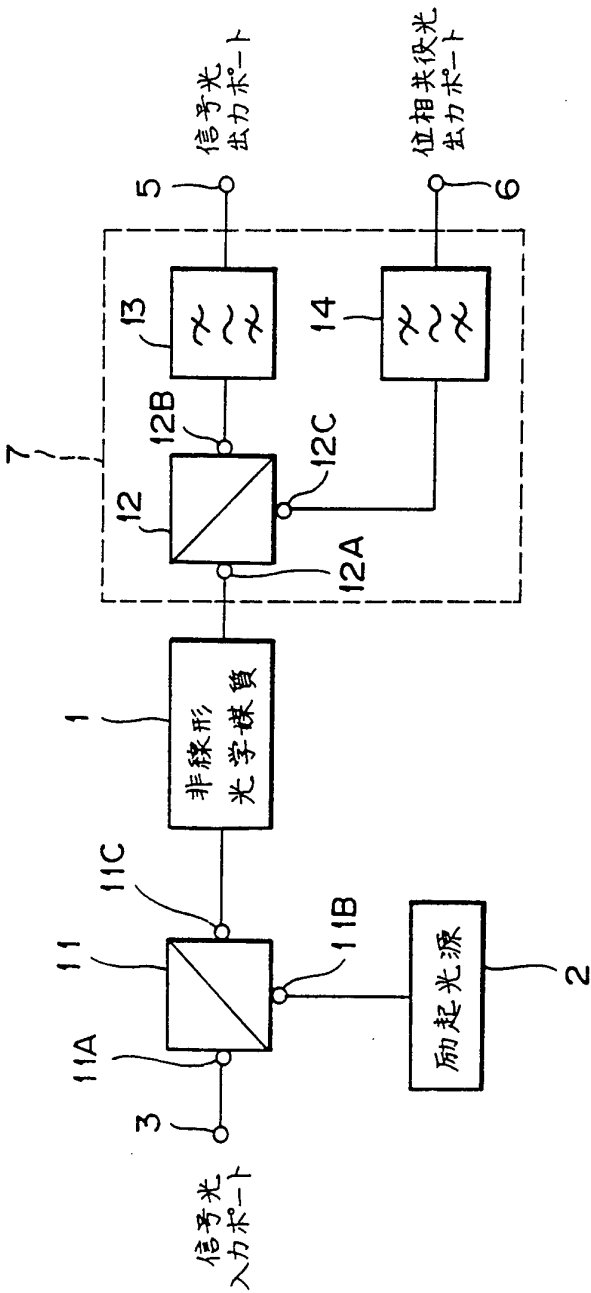


FIG. 5

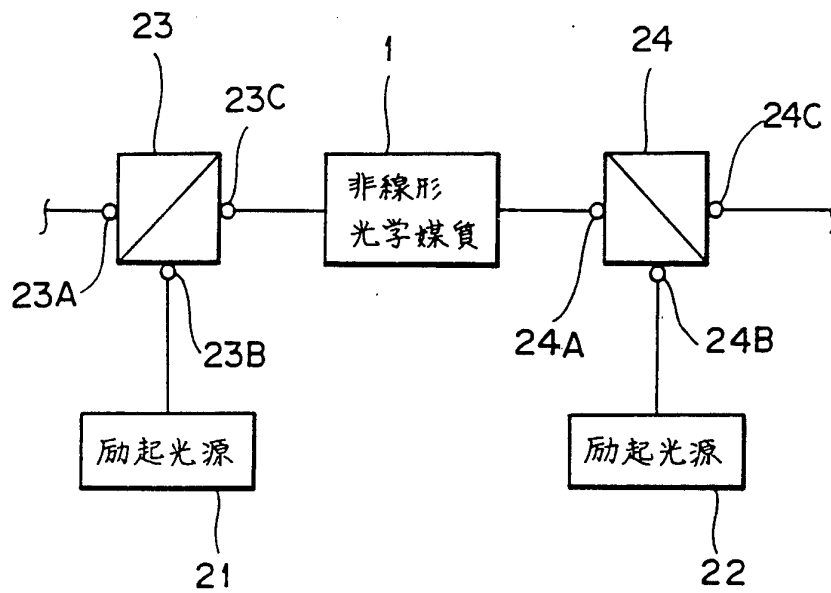


FIG. 6

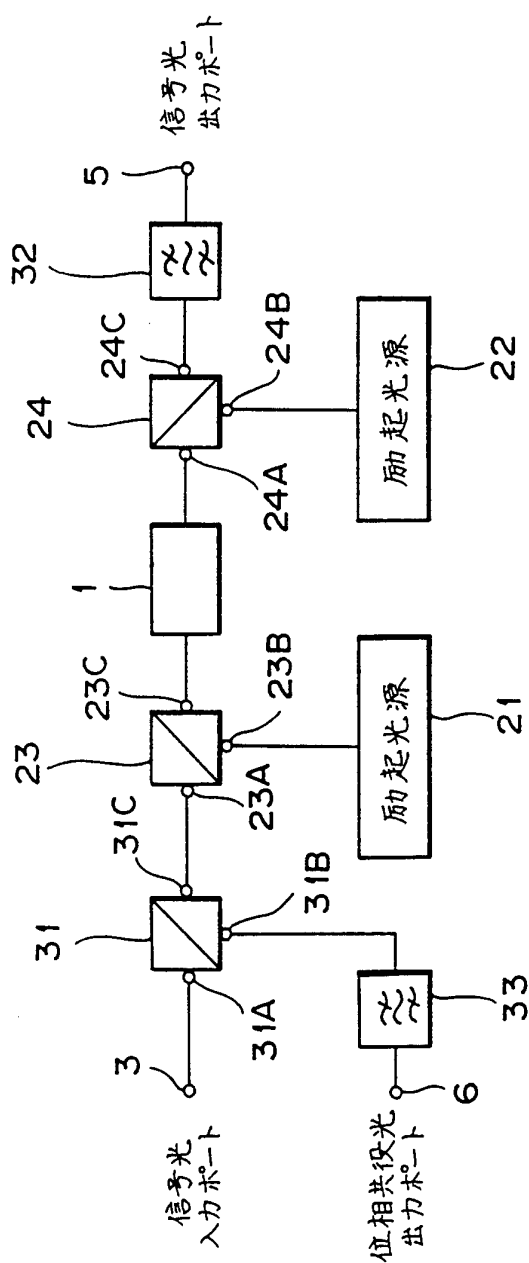


FIG. 7

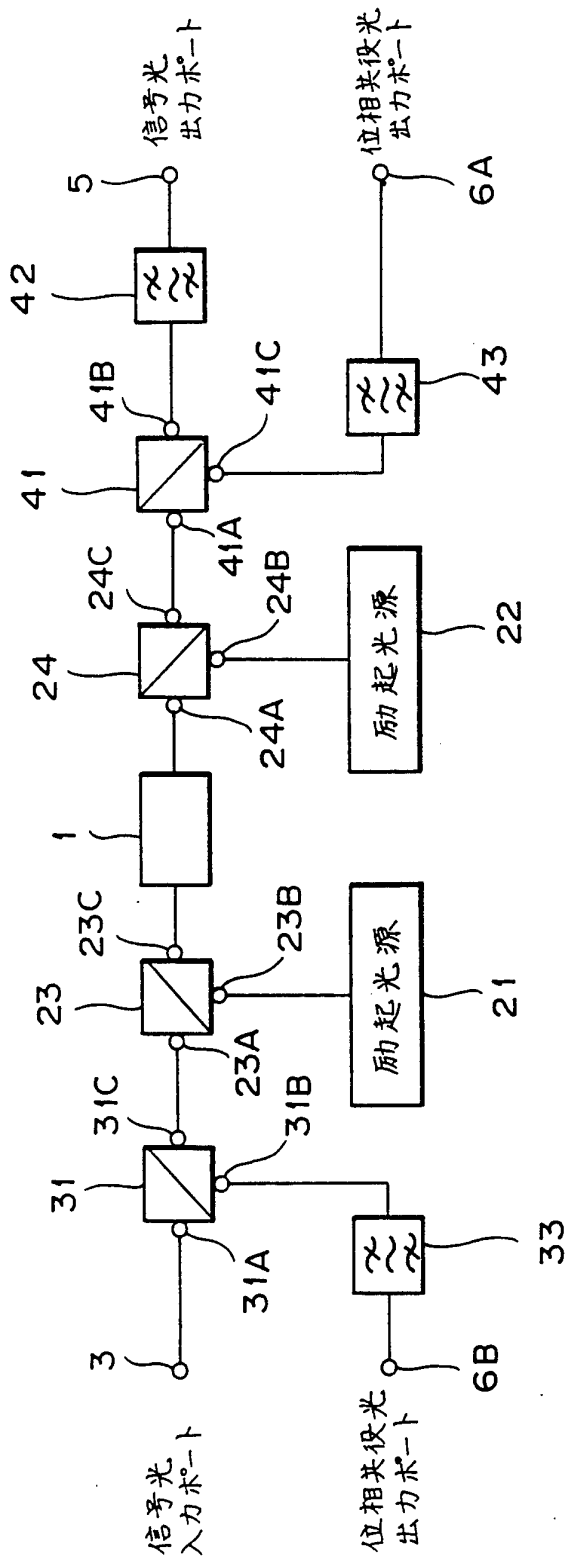


FIG. 8

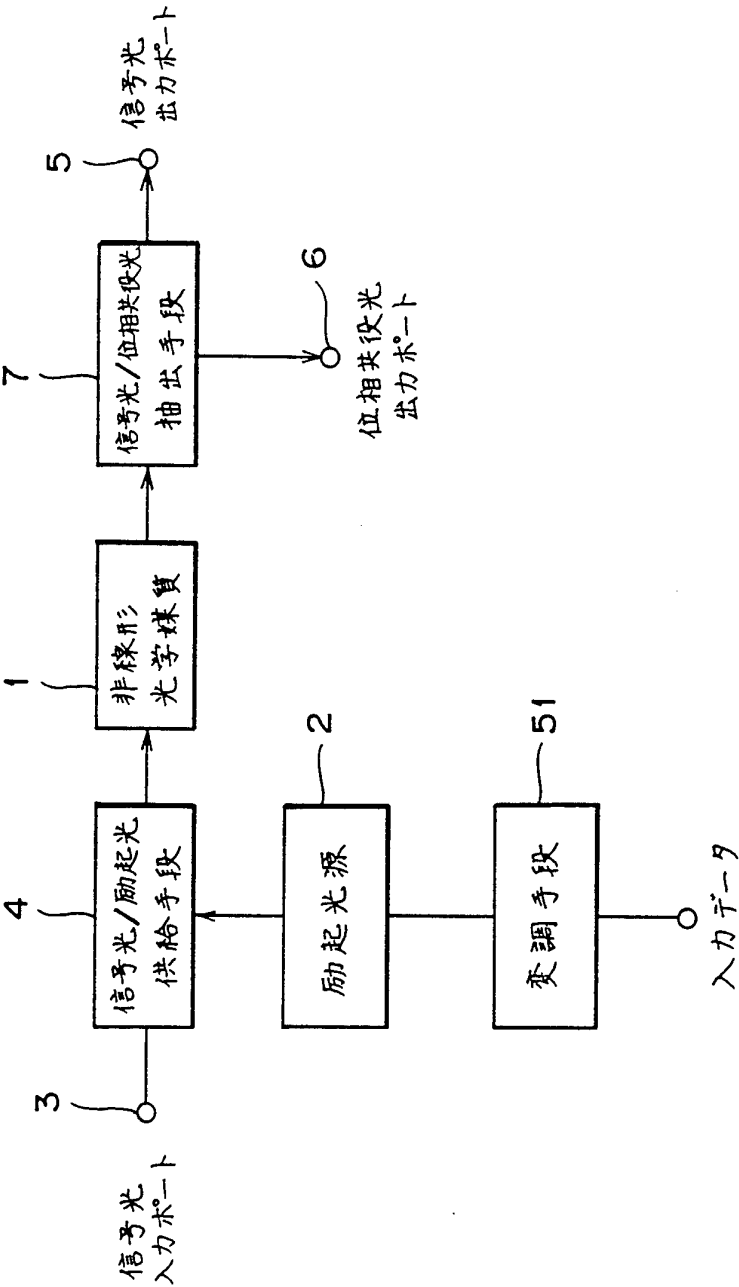


FIG. 9A

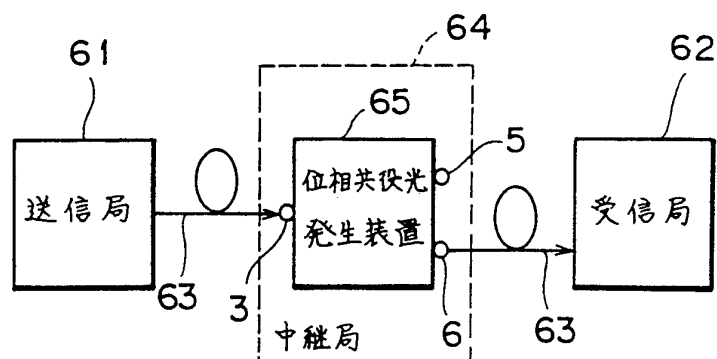


FIG. 9B

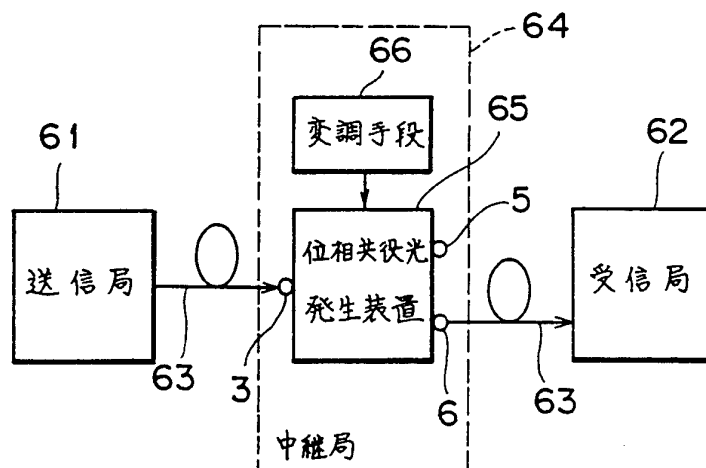


FIG. 9C

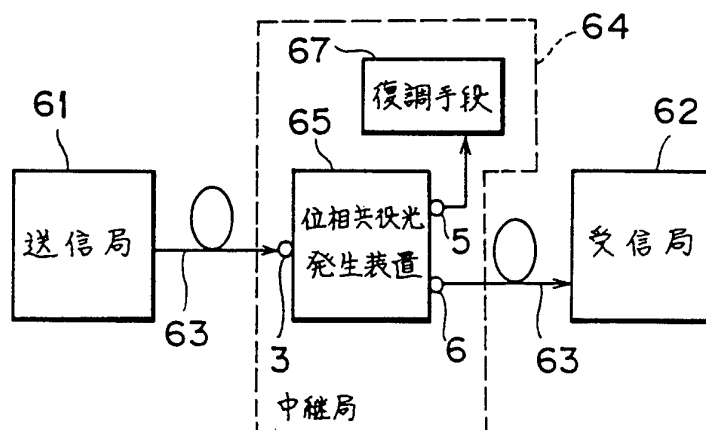
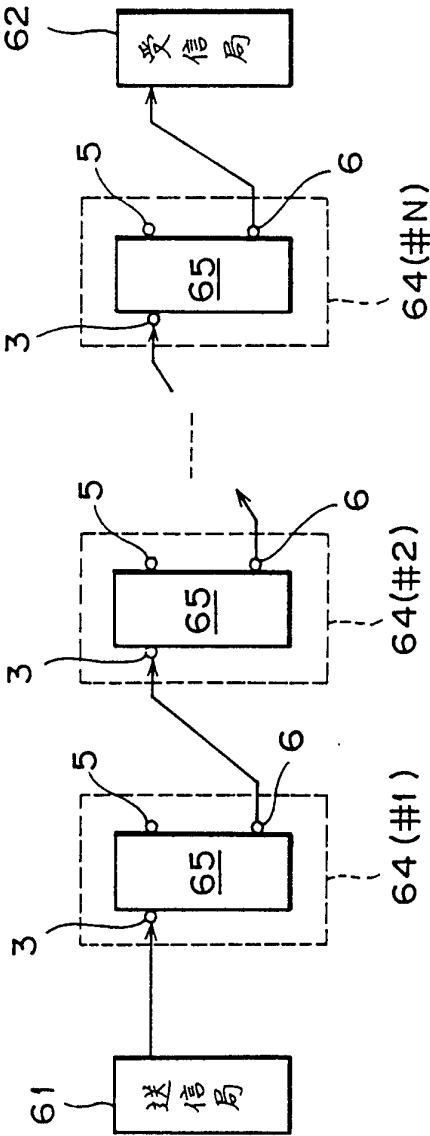


FIG.10



10/36

FIG. 11

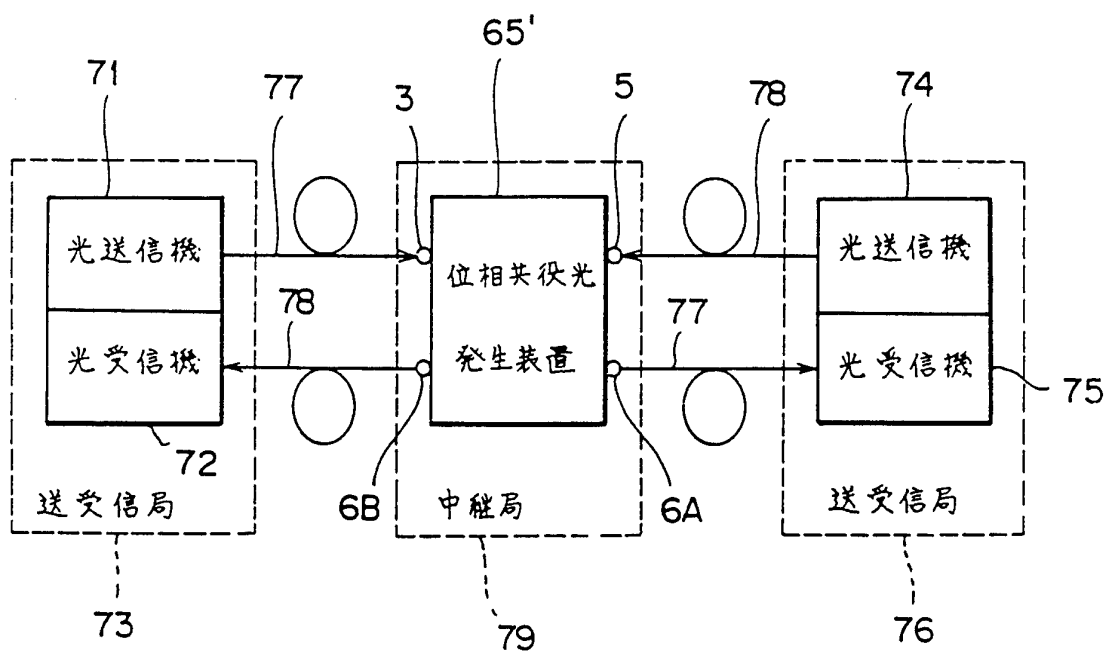
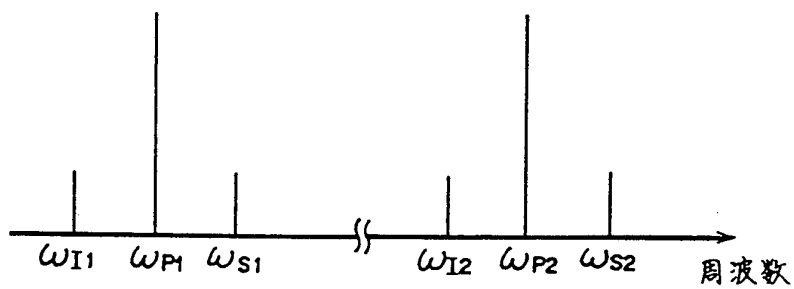
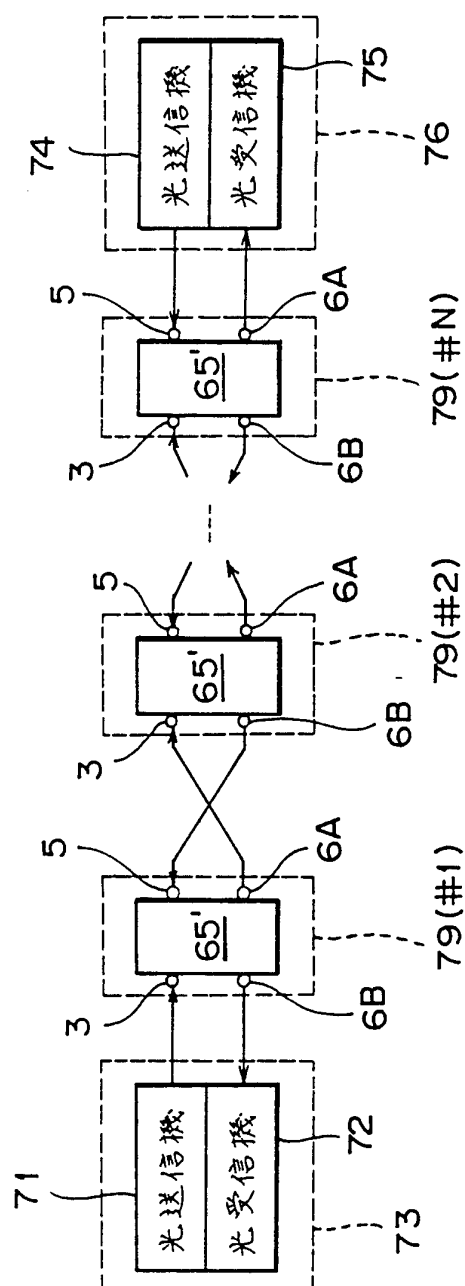


FIG. 12



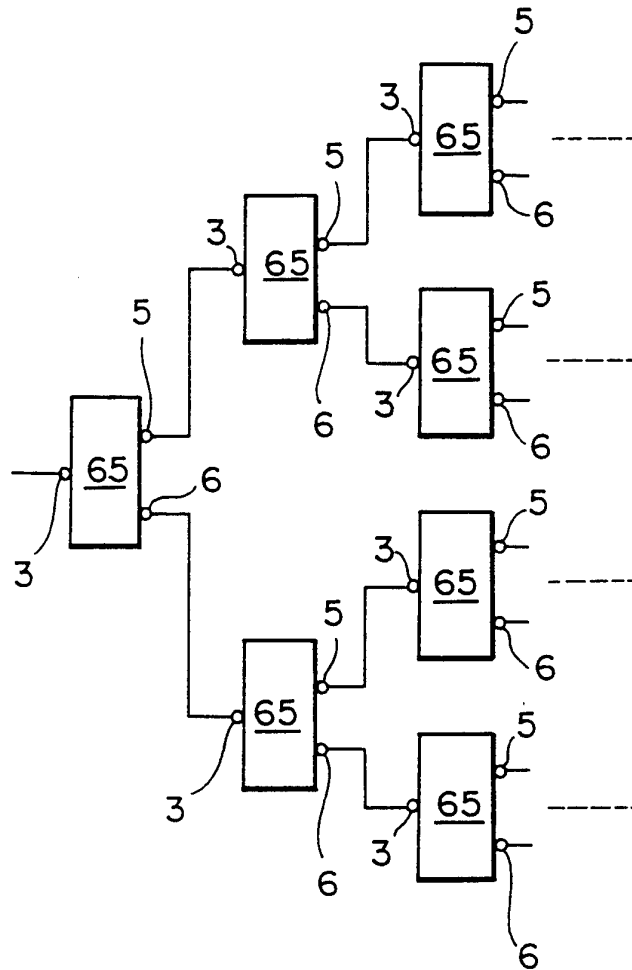
11/36

FIG. 13



$\frac{12}{36}$

FIG. 14



13/
36

FIG. 15

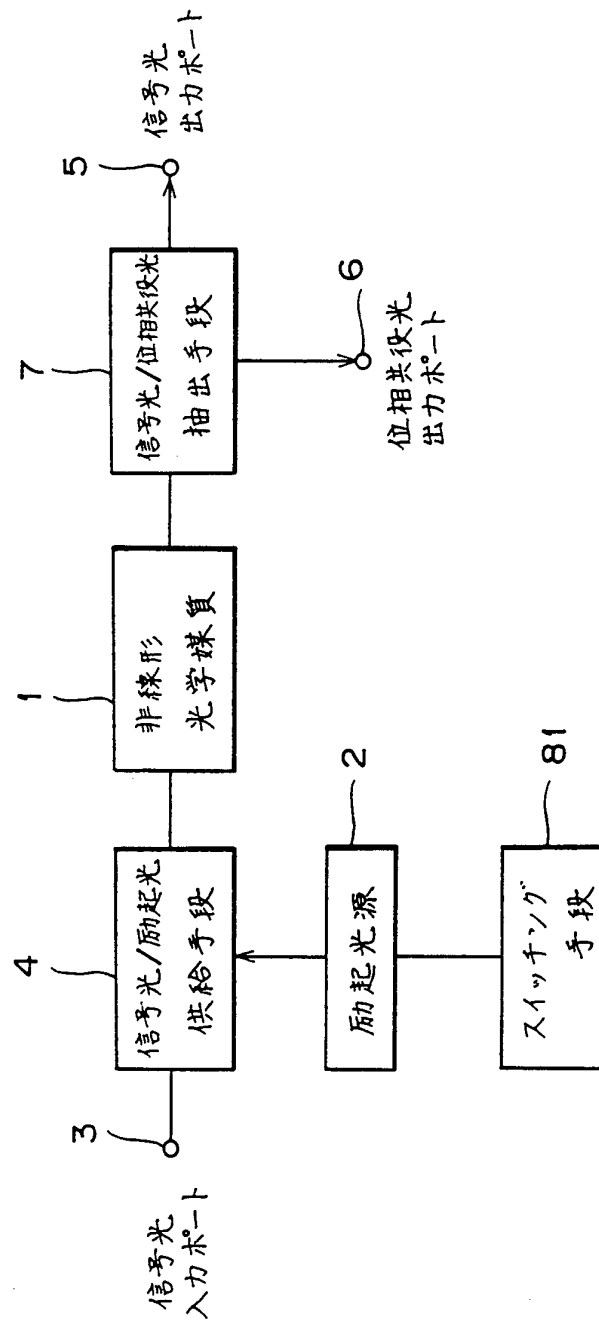


FIG.16

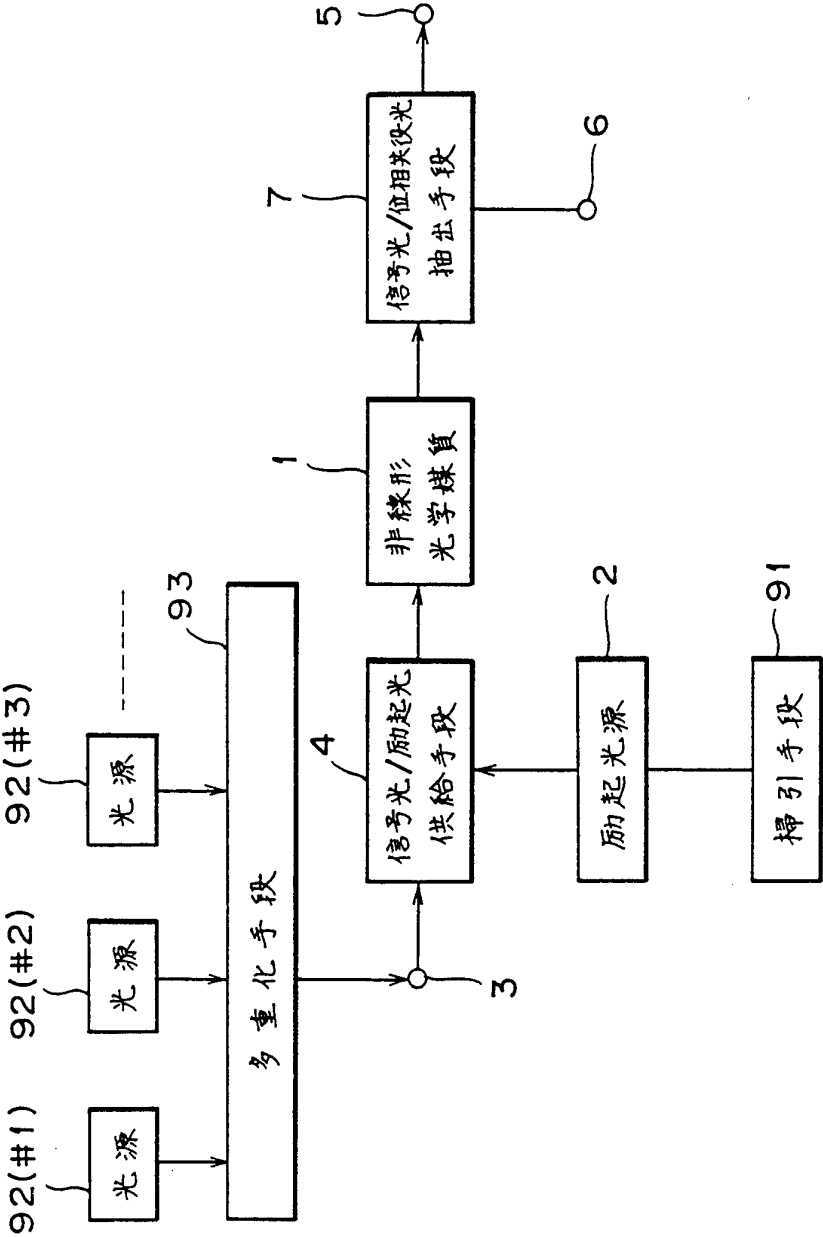


FIG.17

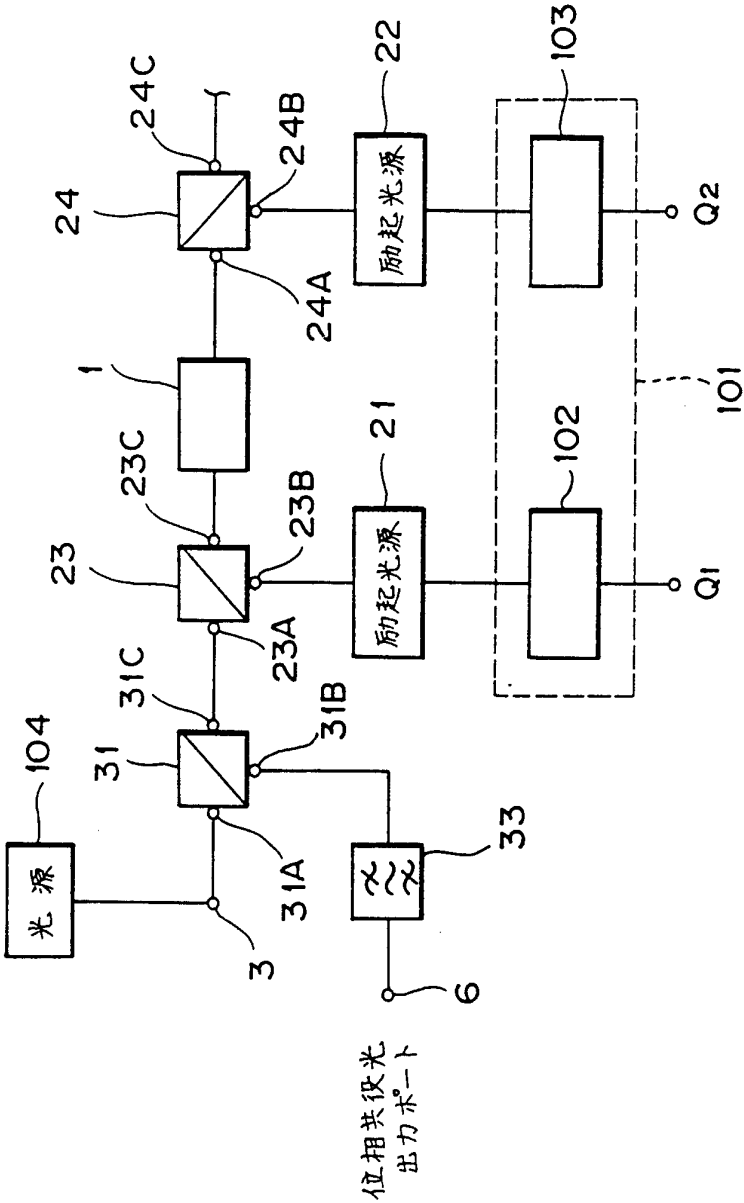
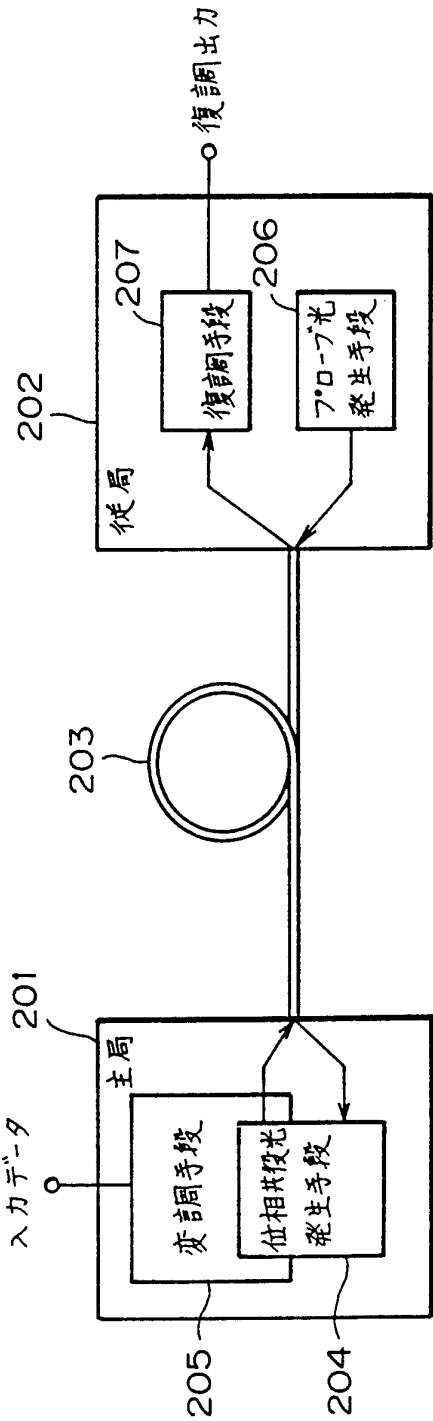


FIG.18



17/36

FIG. 19

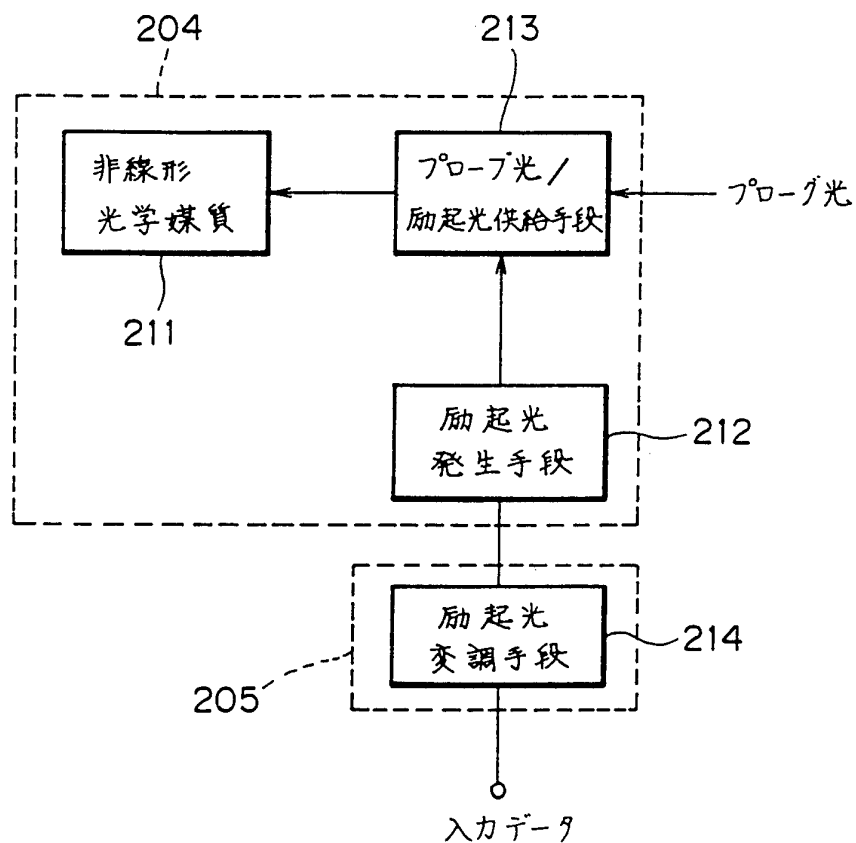
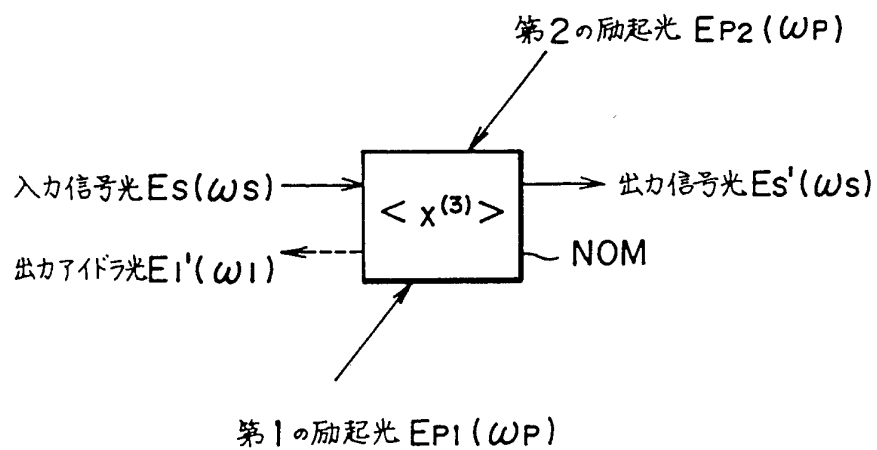


FIG. 20



18/
36

FIG. 21

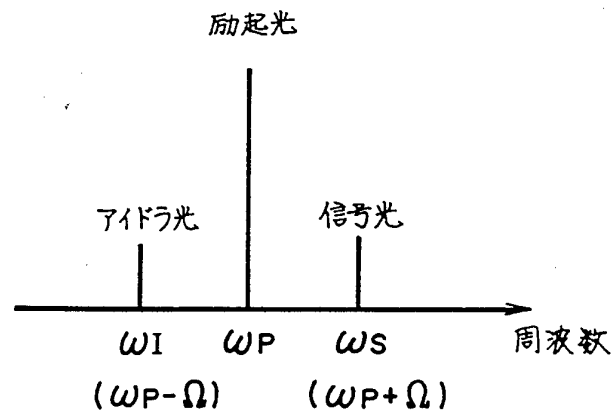
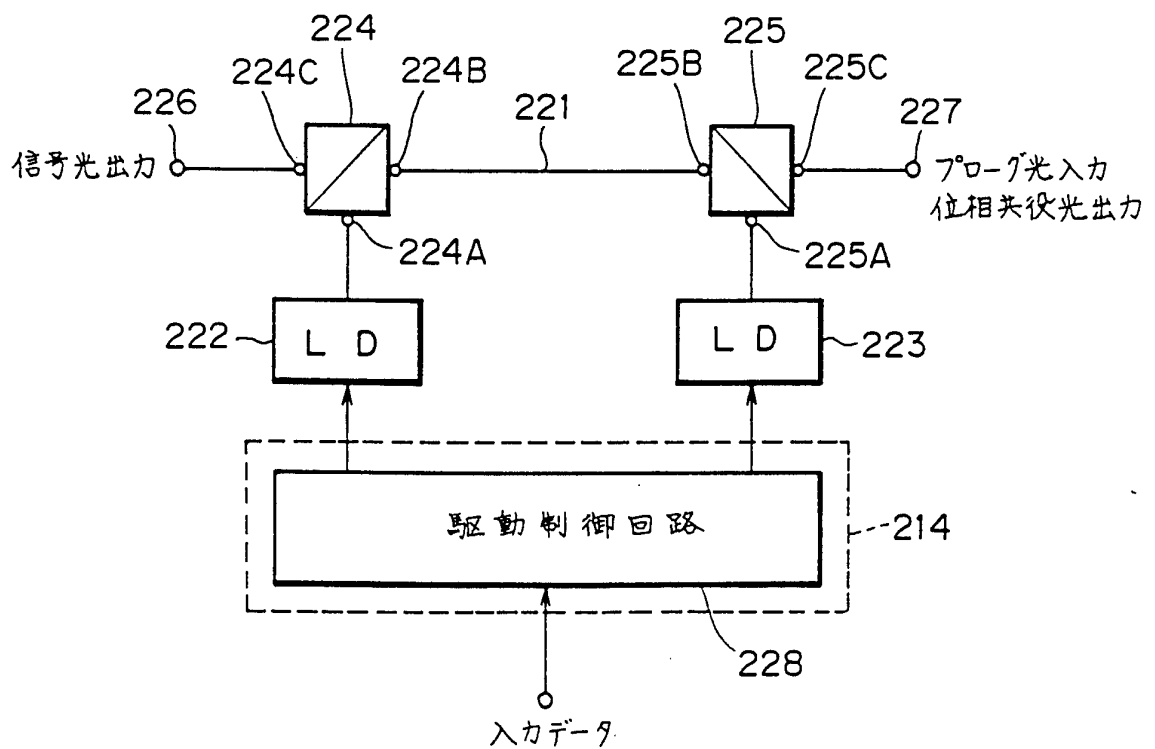


FIG. 22



19/36

FIG.23A

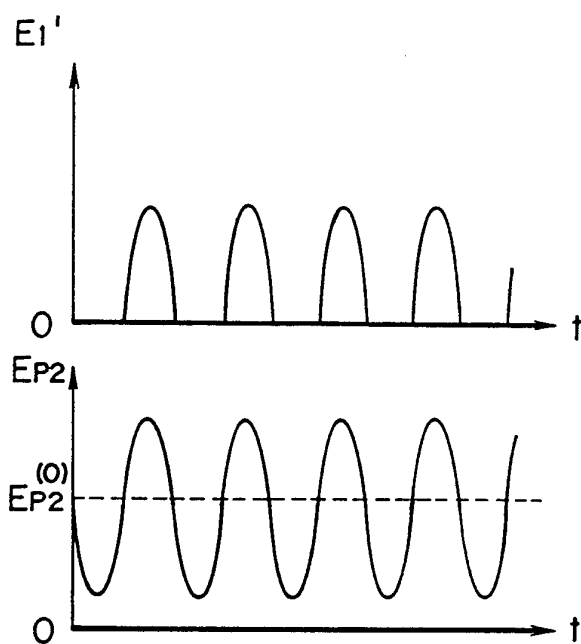
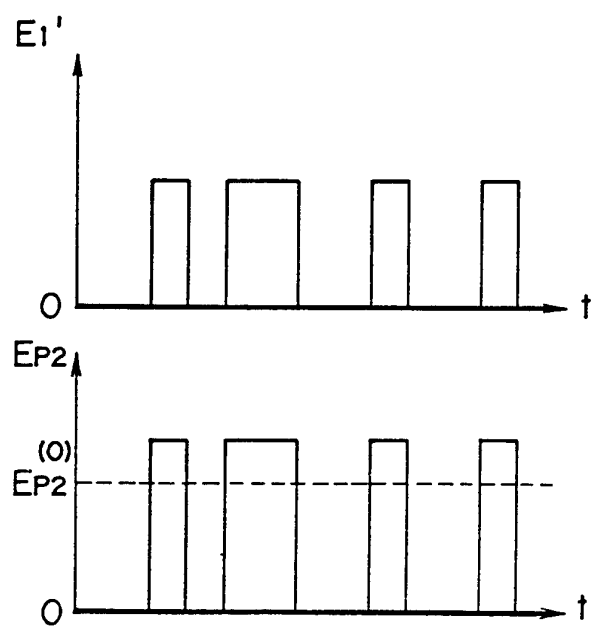
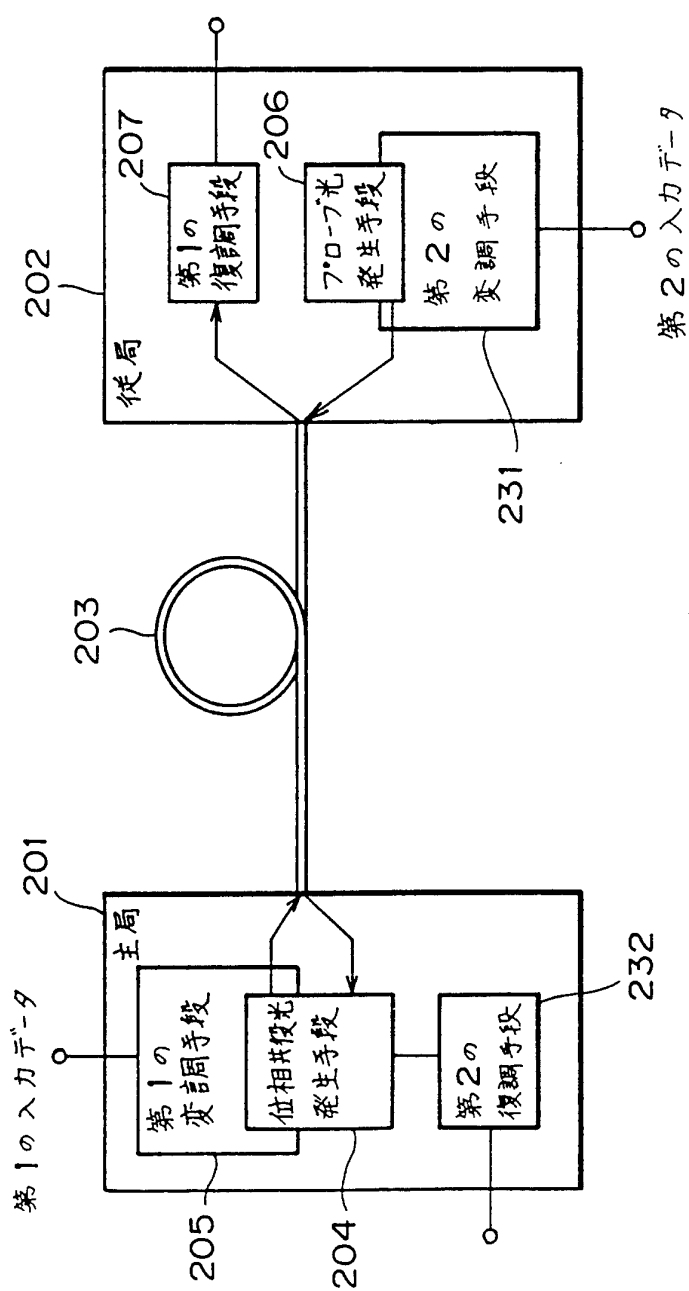


FIG.23B



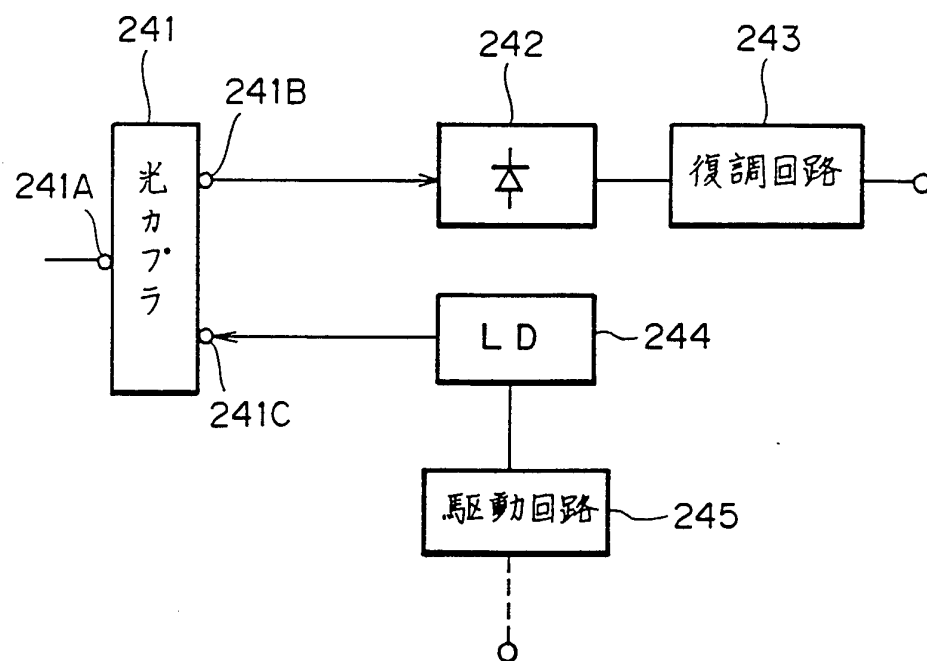
20
36

FIG. 24



21/36

FIG. 25



22/36

FIG. 26

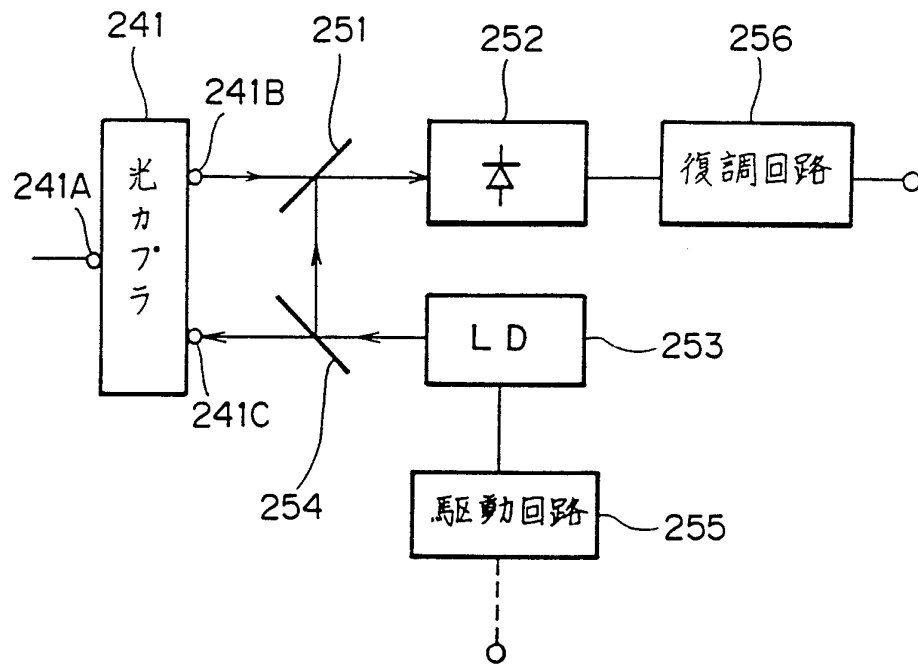


FIG. 27

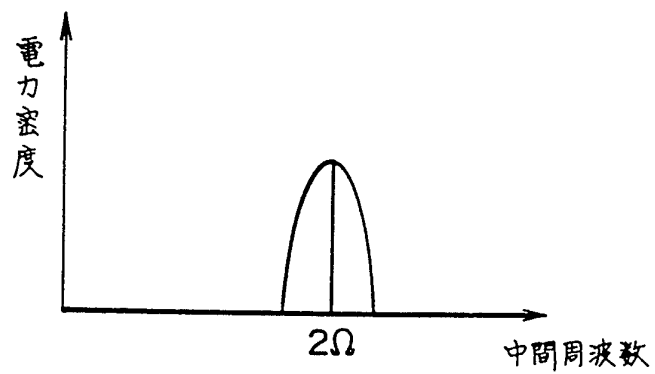
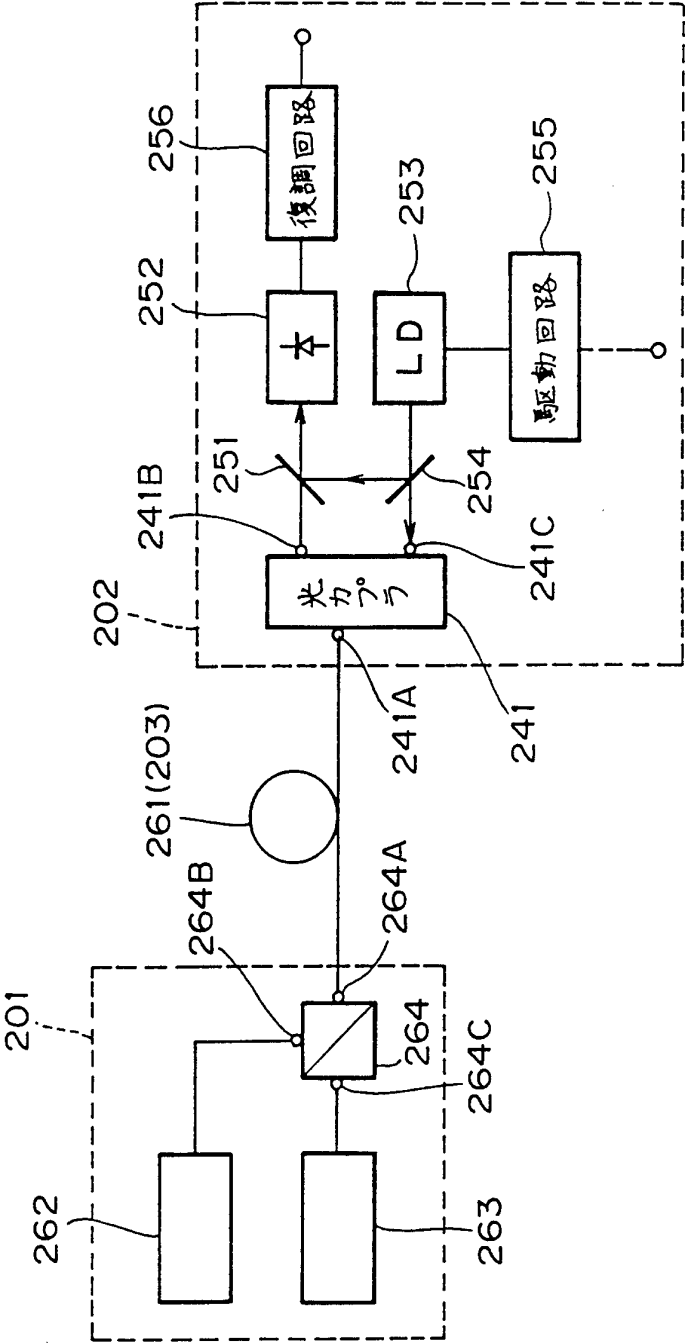
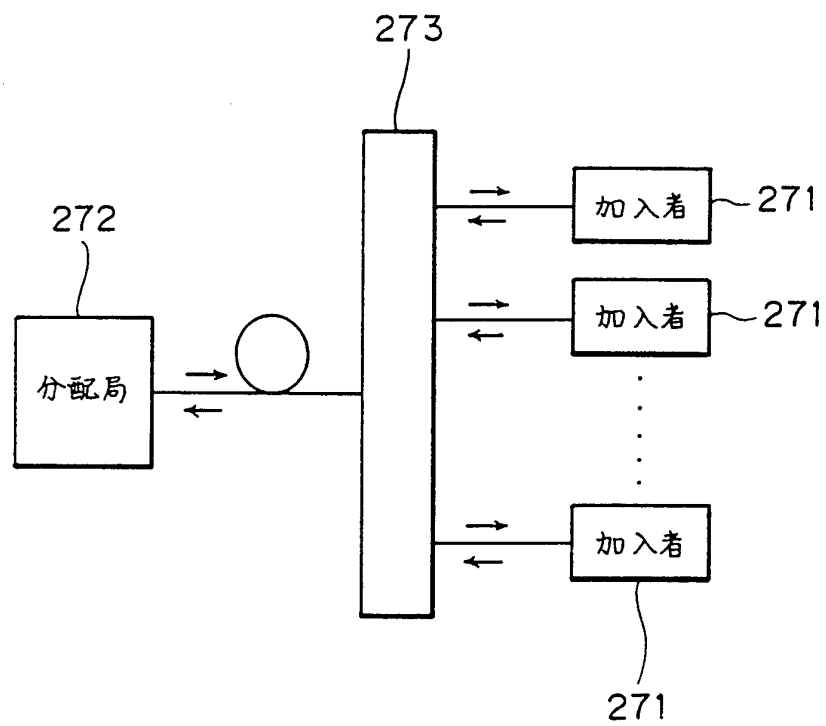


FIG. 28



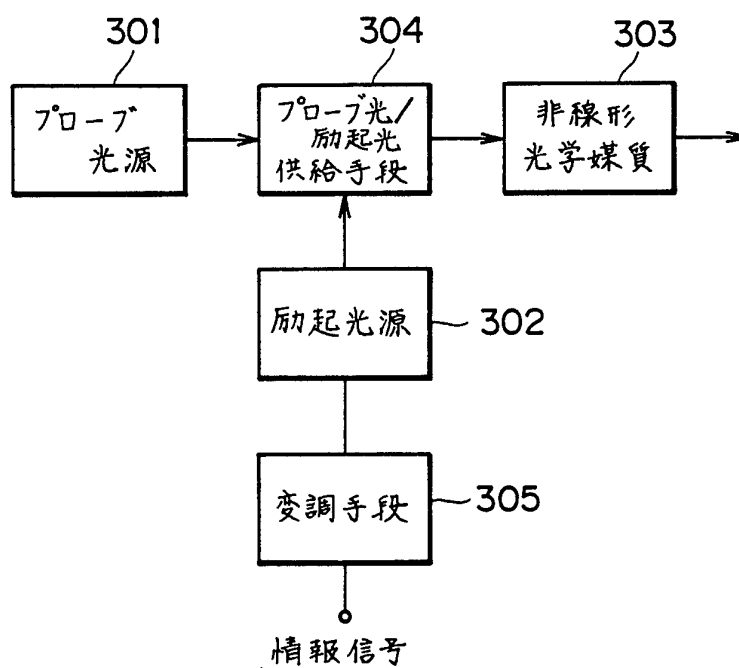
24/
36

FIG. 29



25/
36

FIG. 30



26/36

FIG. 3IA

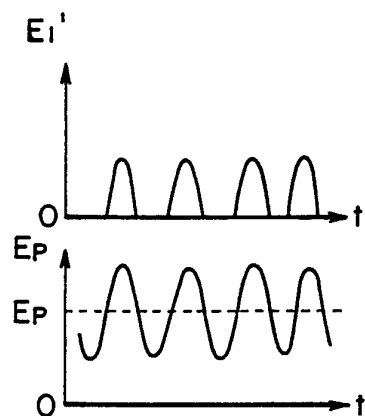


FIG. 3IB

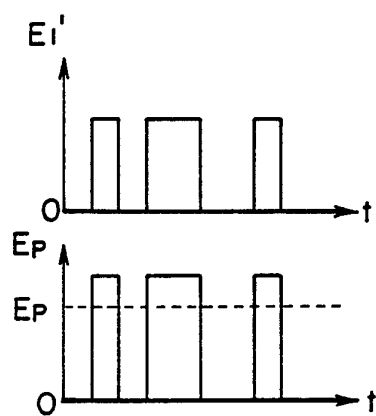
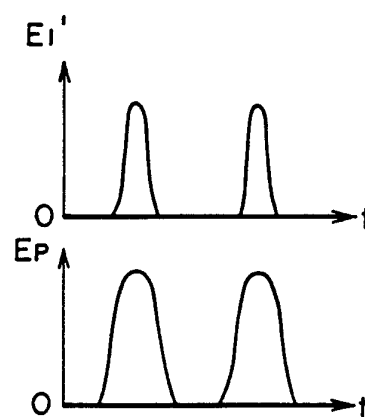
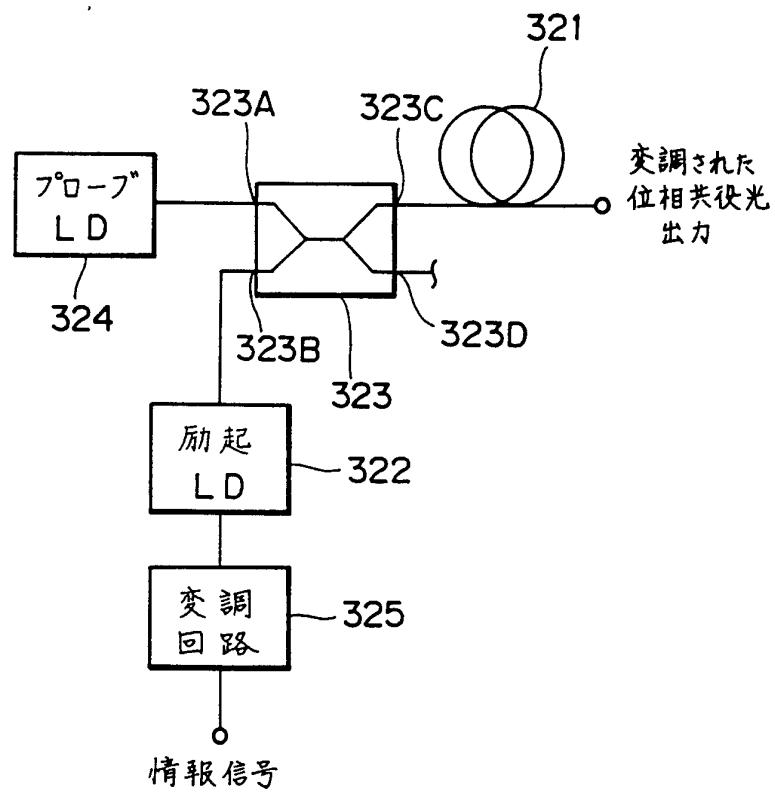


FIG. 3IC



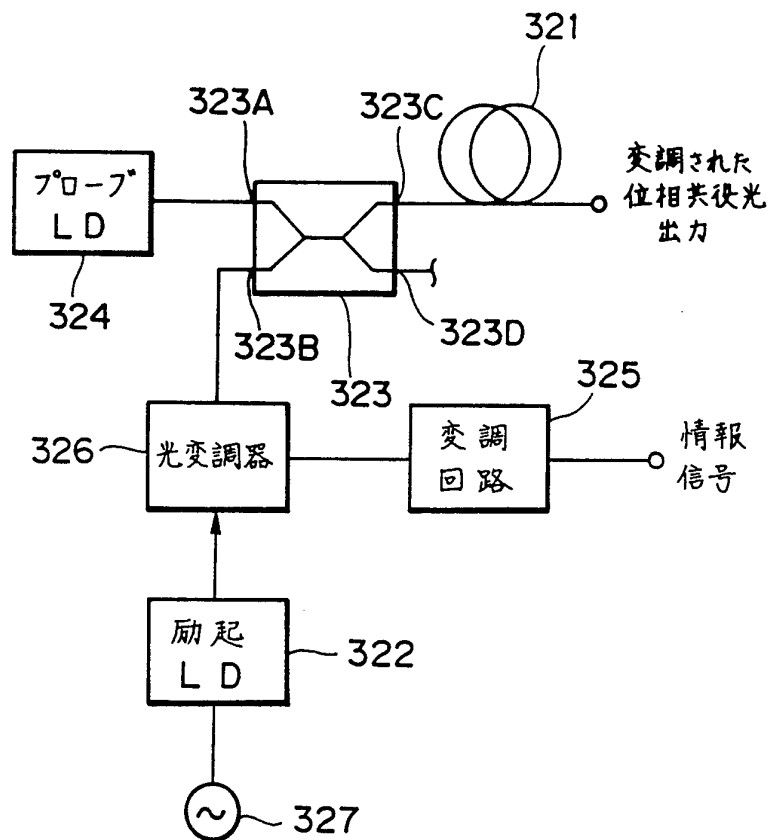
27/36

FIG. 32



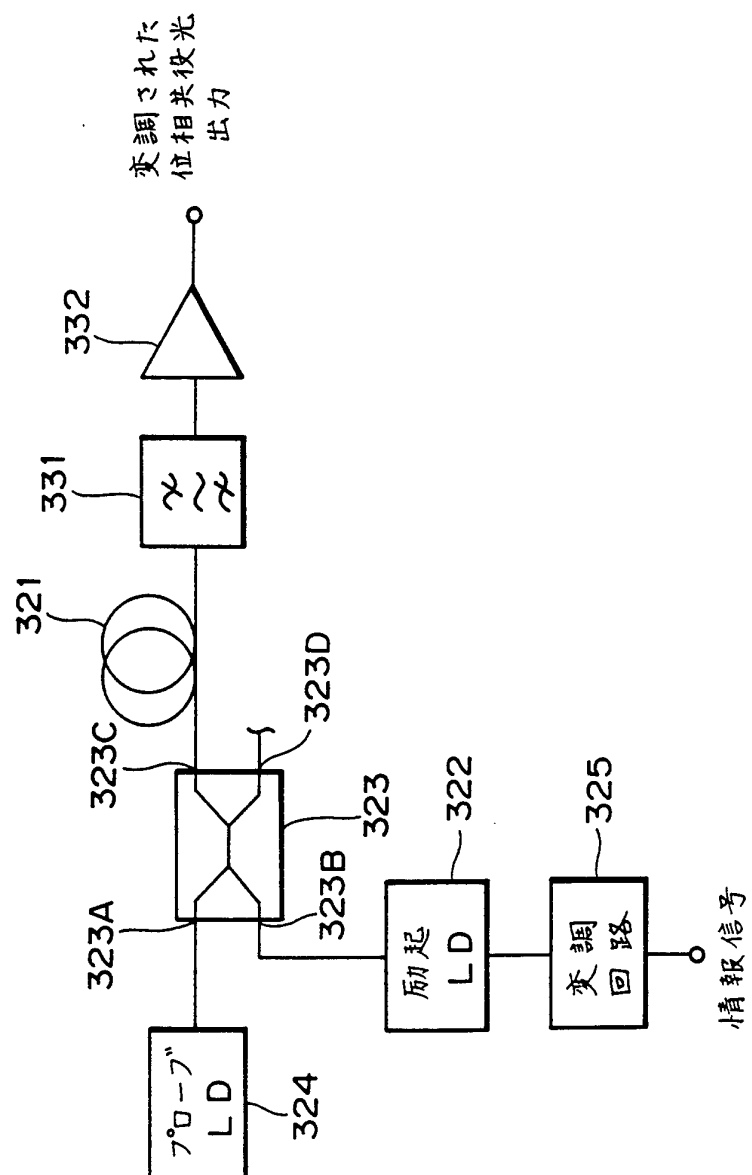
28/36

FIG. 33



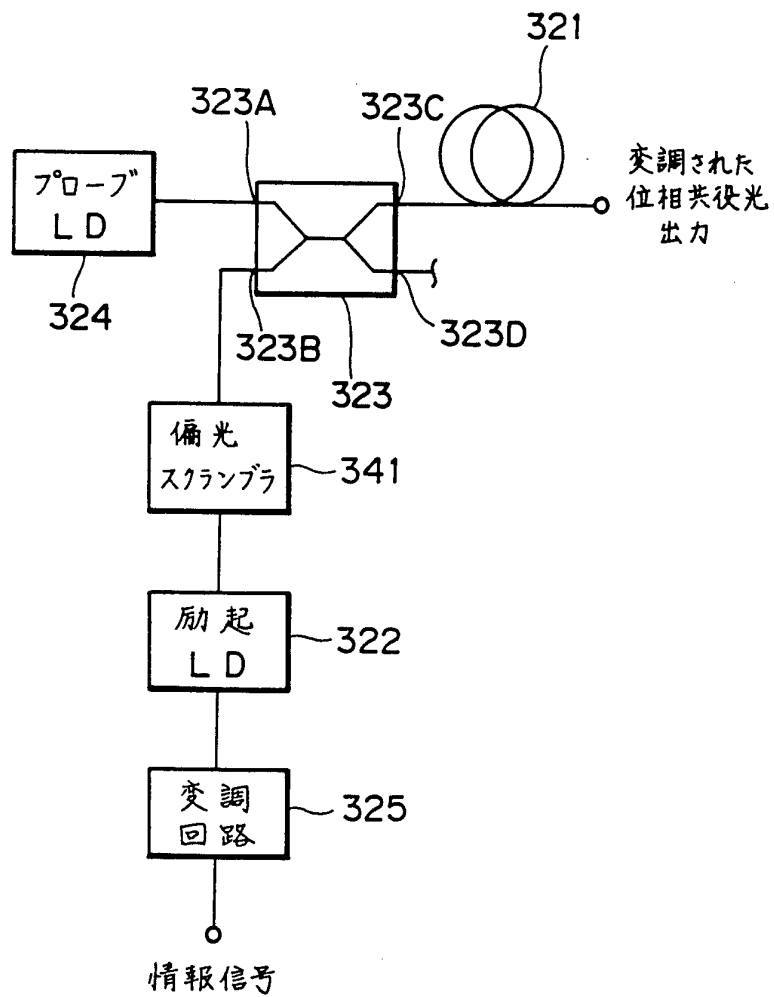
29/36

FIG. 34



30/36

FIG. 35



31/36

FIG. 36

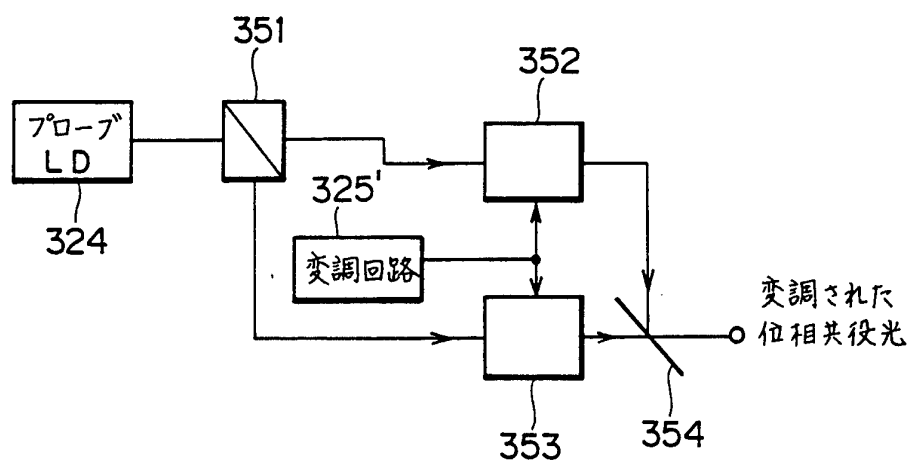
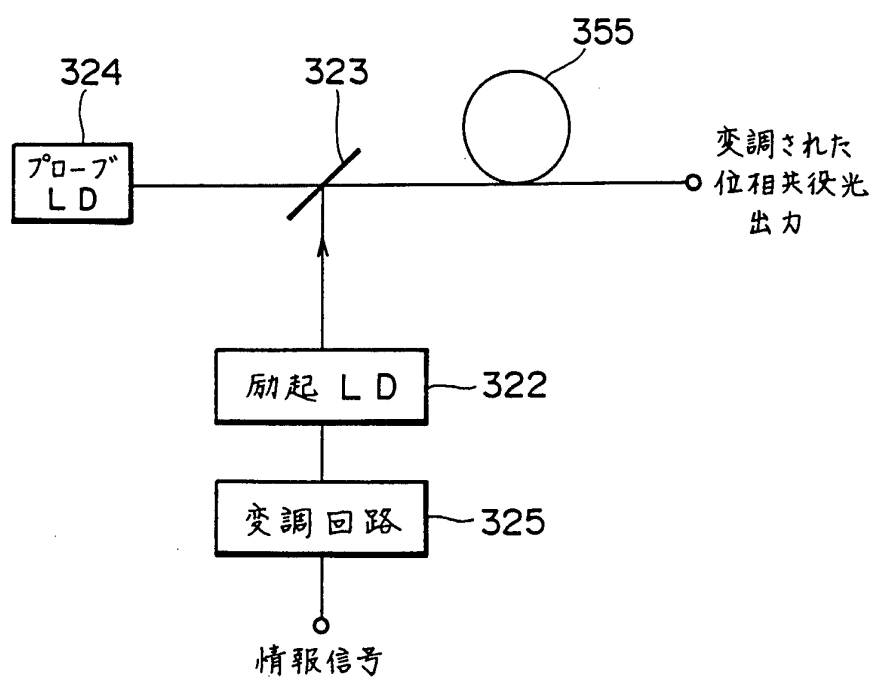
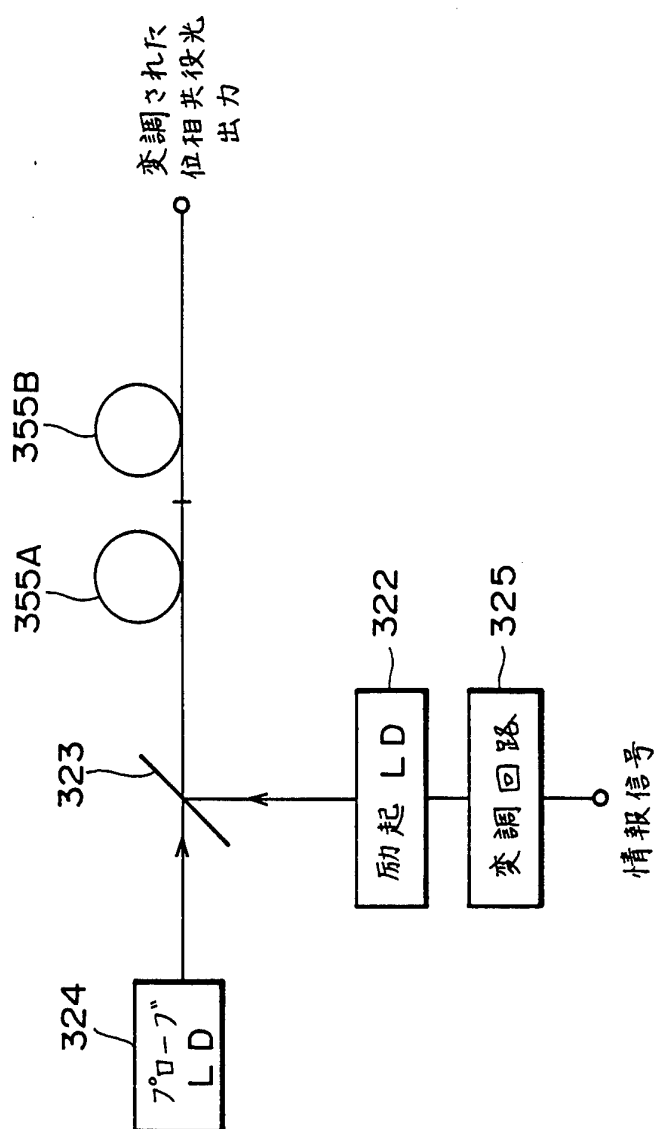


FIG. 37



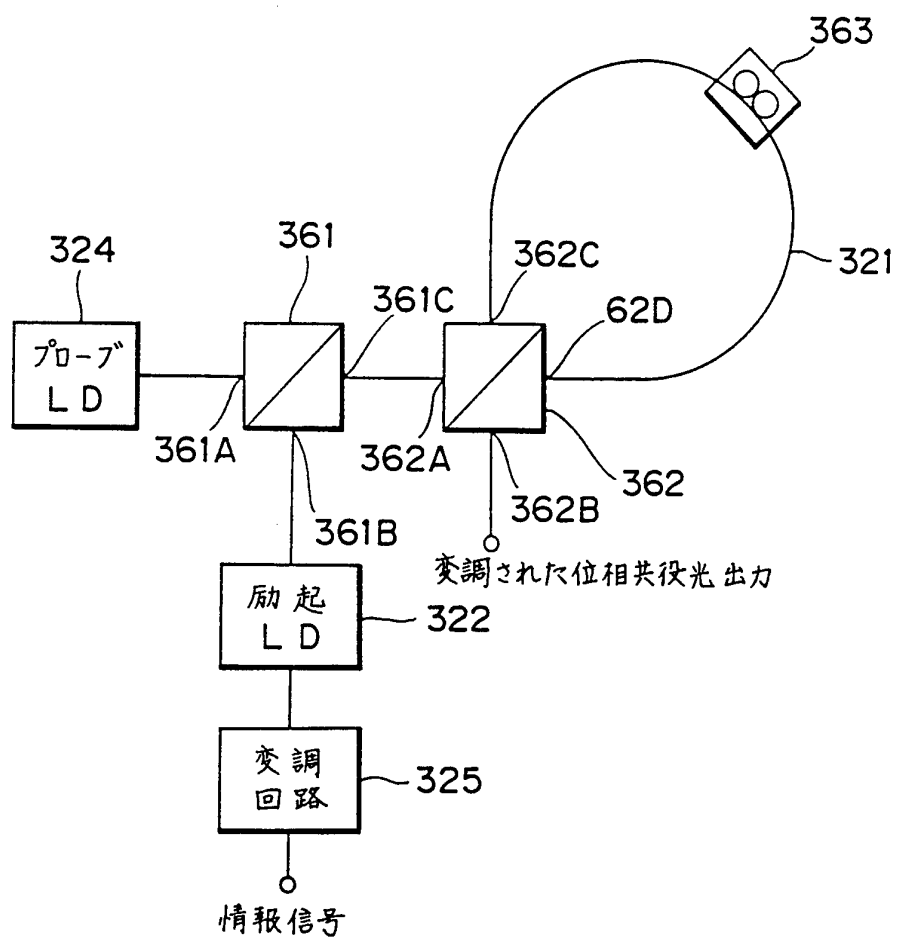
32/36

FIG. 38



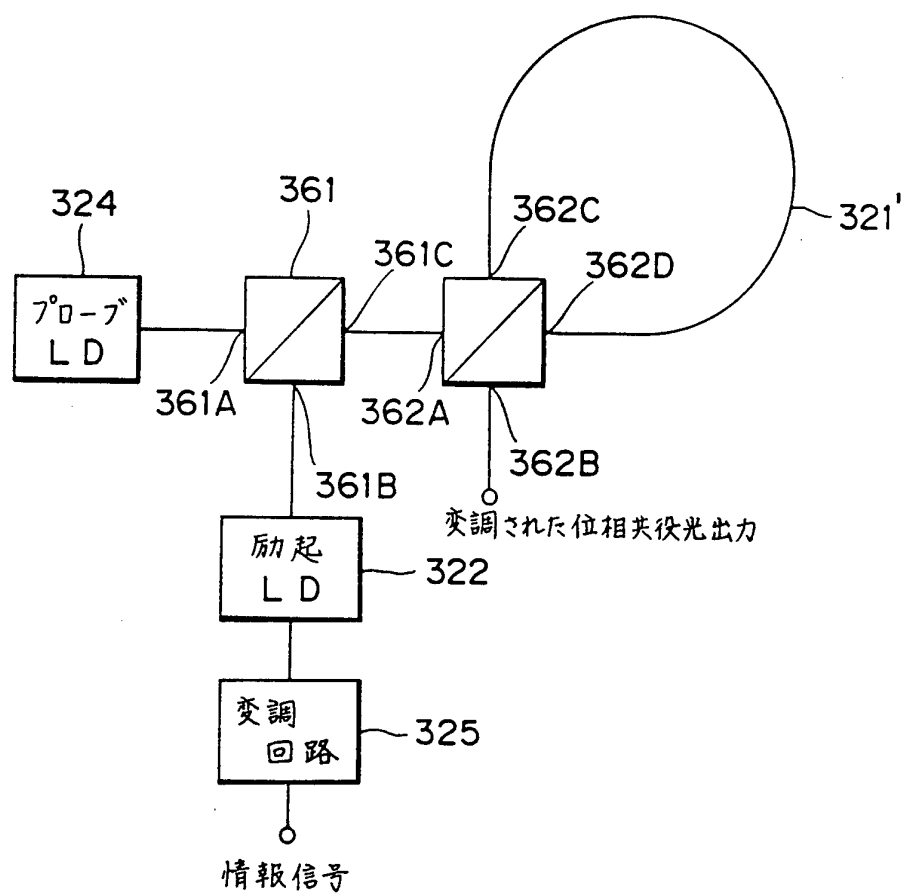
33/
36

FIG. 39



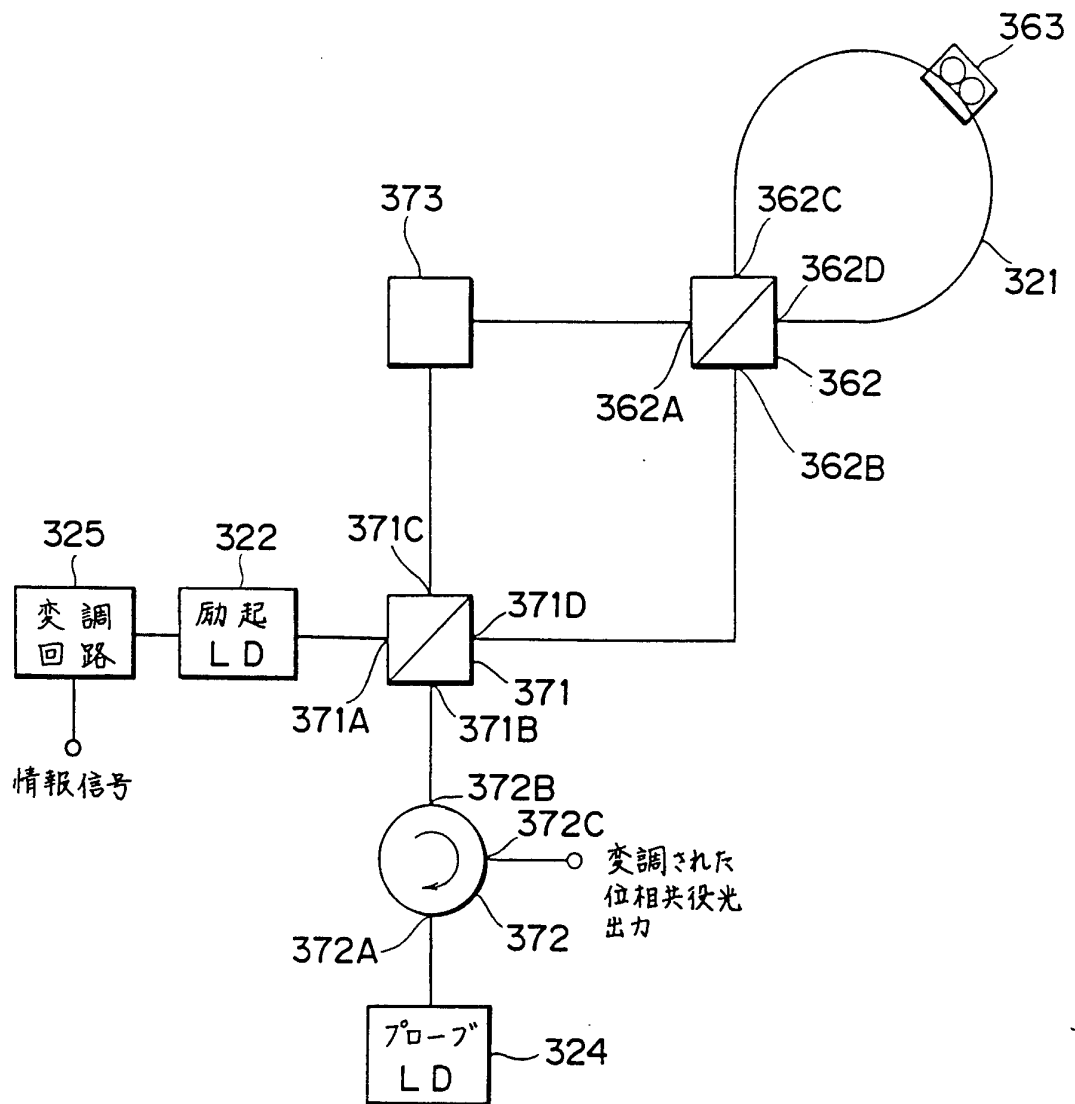
$\frac{34}{36}$

FIG. 40



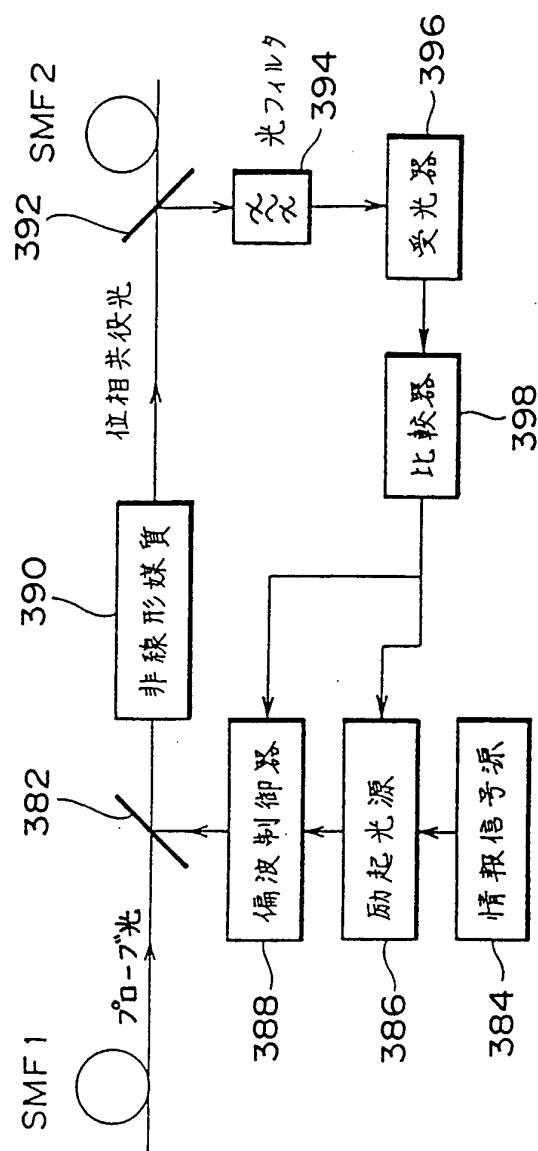
$\frac{35}{36}$

FIG. 41



36/36

FIG. 42



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP93/01514

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl⁵ G02F1/35

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl⁵ G02F1/35, H04B9/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1967 - 1993

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1993

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, A, 61-113036 (NEC Corp.), May 30, 1986 (30. 05. 86), Line 15 to 19, upper right column, lines 19 to 20, lower left column, page 192	1-3, 39-43
Y	Line 1, lower right column, page 195, Fig. 1 Line 12 to 20, lower left column, page 193, (Family: none)	8, 9
Y	JP, A, 4-81724 (NEC Corp.), March 16, 1992 (16. 03. 92), Lines 4 to 6, lower left column, page 149, page 151, Fig. 1	4, 6, 7, 44
Y	Lines 2 to 3, upper left column, page 150, (Family: none)	10
Y	JP, A, 4-256931 (Canon Inc.), September 11, 1992 (11. 09. 92), Lines 46 to 50, right column, page 221, Lines 1 to 5, left column, page 222, Page 223, Fig. 4, (Family: none)	5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

December 24, 1993 (24. 12. 93)

Date of mailing of the international search report

January 25, 1994 (25. 01. 94)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP93/01514

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, A, 4-149526 (Hamamatsu Fotonics Co., Ltd.), May 22, 1992 (22. 05. 92), Lines 5 to 8, left column, page 197 Lines 13 to 20, upper left column, Lines 1 to 20, upper right column, lines 1 to 20, lower left column, lines 1 to 11, lower right column, page 199, page 200, Fig. 1, (Family: none)	11, 21, 28
Y	JP, A, 4-355526 (Canon Inc.), December 9, 1992 (09. 12. 92), Lines 1 to 4, left column, page 140, (Family: none)	11-14
Y	JP, A, 2-172122 (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), July 3, 1990 (03. 07. 90), Lines 5 to 12, left column, page 139, (Family: none)	18
Y	JP, A, 2-184827 (Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.), July 19, 1990 (19. 07. 90), Lines 4 to 6, upper right column, page 192 & US, A, 5062155	19
Y	JP, A, 4-191709 (Fujitsu Ltd.), July 10, 1992 (10. 07. 92), Lines 7 to 13, left column, page 51, (Family: none)	21
Y	JP, A, 5-2199 (Hitachi, Ltd.), January 8, 1993 (08. 01. 93), Line 30, left column, page 742, (Family: none)	32
Y	JP, A, 5-119360 (Canon Inc.), May 18, 1993 (18. 05. 93), Lines 5 to 6, left column, page 407, (Family: none)	50
Y	JP, A, 60-107603 (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), June 13, 1985 (13. 06. 85), Lines 19 to 20, lower right column, page 14, Lines 1 to 2, upper left column, page 15, (Family: none)	51
Y	JP, A, 4-229842 (Fujitsu Ltd.), August 19, 1992 (19. 08. 92), Page 274, Fig. 9, (Family: none)	59

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁵ G 02 F 1 / 3 5		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁵ G 02 F 1 / 3 5, H 04 B 9 / 0 0		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1967-1993年 日本国公開実用新案公報 1971-1993年		
国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, A, 61-113036 (日本電気株式会社), 30. 5月. 1986 (30. 05. 86), 第192頁右上欄第15-19行, 左下欄第19-20行, 右下欄第1行, 第195頁第1図	1-3, 39-43
Y	第193頁左下欄第12-20行 (ファミリーなし)	8, 9
	JP, A, 4-81724 (日本電気株式会社), 16. 3月. 1992 (16. 03. 92),	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日	
24. 12. 93	25. 01. 94	
名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	
日本国特許庁 (ISA/JP)	吉 野 公 夫	2 K 9 3 1 6
郵便番号100		
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		
電話番号 03-3581-1101	内線	3255

C (続き). 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y Y	第149頁左下欄第4-6行, 第151頁第1図 第150頁左上欄第2-3行(ファミリーなし)	4, 6, 7, 44 10
Y	JP, A, 4-256931(キャノン株式会社), 11. 9月. 1992(11. 09. 92), 第221頁右欄第46-50行, 第222頁左欄第1-5行, 第223頁第4図(ファミリーなし)	5
Y Y	JP, A, 4-149526(浜松ホトニクス株式会社), 22. 5月. 1992(22. 05. 92), 第197頁左欄第5-8行 第199頁左上欄第13-20行, 右上欄第1-20行, 左下欄第1-20行, 右下欄第1-11行, 第200頁第1図 (ファミリーなし)	11, 21, 28
Y	JP, A, 4-355526(キャノン株式会社), 9. 12月. 1992(09. 12. 92), 第140頁左欄第1-4行(ファミリーなし)	11-14
Y	JP, A, 2-172122(三菱重工業株式会社), 3. 7月. 1990(03. 07. 90), 第139頁左欄第5-12行(ファミリーなし)	18
Y	JP, A, 2-184827(松下電器株式会社), 19. 7月. 1990(19. 07. 90), 第192頁右上欄第4-6行& US, A, 5062155	19
Y	JP, A, 4-191709(富士通株式会社), 10. 7月. 1992(10. 07. 92), 第51頁左欄第7-13行(ファミリーなし)	21
Y	JP, A, 5-2199(株式会社 日立製作所), 8. 1月. 1993(08. 01. 93), 第742頁左欄第30行(ファミリーなし)	32
Y	JP, A, 5-119360(キャノン株式会社), 18. 5月. 1993(18. 05. 93), 第407頁左欄第5-6行(ファミリーなし)	50
Y	JP, A, 60-107603(日本電信電話公社), 13. 6月. 1985(13. 06. 85), 第14頁右下欄第19-20行, 第15頁左上欄第1-2行 (ファミリーなし)	51

C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, A, 4-229842 (富士通株式会社), 19. 8月. 1992 (19. 08. 92), 第274頁第9図 (ファミリーなし)	59