(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4309842号
(P4309842)

(45)発行日　平成21年8月5日(2009.8.5)　(24)登録日　平成21年5月15日(2009.5.15)

(51)Int.Cl.　F I

G02B 6/293	(2006.01)	G02B	6/28	D
G02B 6/00	(2006.01)	G02B	6/00	311
G02B 6/42	(2006.01)	G02B	6/42	

請求項の数 3　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願2004-536515 (P2004-536515)
(86)(22)出願日　平成15年9月12日 (2003.9.12)
(65)公表番号　特表2005-539258 (P2005-539258A)
(43)公表日　平成17年12月22日 (2005.12.22)
(86)国際出願番号　PCT/US2003/028579
(87)国際公開番号　WO2004/025843
(87)国際公開日　平成16年3月25日 (2004.3.25)
審査請求日　平成18年9月12日 (2006.9.12)
(31)優先権主張番号　10/243,113
(32)優先日　平成14年9月13日 (2002.9.13)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　500575824
ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド
アメリカ合衆国ニュージャージー州０７９６２－２２４５，モーリスタウン，コロンビア・ロード　１０１，ピー・オー・ボックス　２２４５
(74)代理人　100089705
弁理士　社本　一夫
(74)代理人　100076691
弁理士　増井　忠弐
(74)代理人　100075270
弁理士　小林　泰
(74)代理人　100080137
弁理士　千葉　昭男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】損失素子付き波長分割多重方式カプラ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
波長分割多重方式カプラであって、
結合部（２０）と、
１つの入力ポート（１６）と、
２つの出力ポート（２０、２２）と、
前記２つの出力ポートのうちのひとつに配置された損失素子（１４）と、を備え、
前記入力ポートは導波路（１２）により前記結合部に結合され、
前記２つの出力ポートは２つの導波路により前記結合部（２０）に結合され、
前記損失素子（１４）は前記波長分割多重方式カプラの温度感度係数に整合するフィルタ特性を有し、前記フィルタ特性は、温度関数として前記波長分割多重方式カプラの前記温度感度係数と反対方向に同じ量だけシフトし、その結果、前記フィルタ特性は前記出力ポートのひとつにおけるパワー出力を温度に応じて阻止して前記出力ポートのひとつと他の出力ポートとにおけるパワー出力の比を一定に維持するように作用し、前記波長分割多重方式カプラの分割比が温度変化に対して所望の値に維持される、
波長分割多重方式カプラ。
【請求項２】
前記損失素子（１４）は、温度に応じてシフトする阻止域（６２）及び通過域（６０）を含むフィルタ特性を有する、請求項１に記載の波長分割多重方式カプラ。
【請求項３】

波長分割多重方式カプラの温度感度係数を決定するステップと、
前記波長分割多重方式カプラの１つの入力ポート（１６）に光源（２４）からの光を通過するステップと、
前記波長分割多重方式カプラの２つの出力ポート（２０、２２）のうち１つにおけるパワー出力を温度に応じて調整するステップと、を含み、
前記パワー出力は前記２つの出力ポートのうち前記１つにおける損失素子（１４）により調整され、前記損失素子は前記波長分割多重方式カプラの温度感度係数に整合するフィルタ特性を有し、前記フィルタ特性は、温度関数として前記波長分割多重方式カプラの前記温度感度係数と反対方向に同じ量だけシフトし、その結果、前記フィルタ特性は前記出力ポートの１つにおけるパワー出力を温度に応じて阻止して前記出力ポートの１つと他の出力ポートとにおけるパワー出力の比を一定に維持するように作用する、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は波長分割多重方式（ＷＤＭ)カプラに関し、詳細にはＷＤＭカプラ用温度感知損失素子に関する。

【背景技術】

【０００２】

政府は海軍部門により認められた契約Ｎ０．ＤＬ－Ｈ－５１３２６２によりこの発明の権利を有する。

ＷＤＭカプラは１以上の光源からの光を２以上の導波路に結合する。最も簡単な構成のＷＤＭカプラは１つの入力ポートと２つの出力ポートを備える。１つの入力ポートに入力された光は分割して２つの出力ポートから出力される。

【０００３】

光の分割は代表的に分割比で定められる。分割比は、ＷＤＭカプラに分入力する全光入力パワーに対する、ＷＤＭカプラの２つの出力ポートのそれぞれからの光出力のパーセンテージで定義する。例えば、５０／５０分割比は、２つの出力ポートのそれぞれに存在するパワーがひとつの入力ポートに分入力するパワーの５０％であることを意味する。分割比はＷＤＭカプラに入力する光の波長の関数である。ＷＤＭカプラ入力ポートに分入力する光の波長がλ_cならば、２つの出力ポートから出力される光パワーが平衡になる、すなわち各出力ポートから出力されるパワーがＷＤＭカプラ入力パワーの５０％になるようにＷＤＭカプラは光を分割する。ＷＤＭカプラに入力する光の波長がλ_cから変化すると、２つの出力ポートの出力パワーは不平衡になり、例えば一方の出力ポートのパワーは他方の出力ポートのパワーと異なる。

【０００４】

ＷＤＭカプラは温度を感知する。ＷＤＭカプラの分割比が５０／５０分割比になるときの波長λ_cはＷＤＭカプラの温度によって変化する。ＷＤＭカプラの温度感度は、典型的に、ＷＤＭカプラの温度を安定化することで最小になる。例えば、温度室やヒーターなどの温度制御装置によりＷＤＭカプラを定温に維持可能である。ＷＤＭカプラを定温に維持することにより、ＷＤＭカプラ分割比が５０／５０分割比になるときの波長λ_cは一定に保たれる。その結果、ＷＤＭカプラに入力する光であって定温時の波長λ_cに等しい波長の光は外部温度変動に関わらず確実に所期の分割比で分割される。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

本発明は、温度制御装置がＷＤＭカプラの温度を安定化するまでに時間がかかるという知見に基づいている。温度制御装置は、外部温度の変化速度によっては、ＷＤＭカプラの温度を適切な温度に安定化できない場合がある。その結果、波長λ_cは安定せず、ＷＤＭカプラはＷＤＭカプラ入力光について所期の分割比を達成し得ないことになる。したがって、ＷＤＭカプラの温度感度を最小化するより強固な解決策が求められる。

【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の主たる側面に基づいて、ＷＤＭカプラ出力ポートのうち１以上に損失素子を付加することができる。損失素子は、ＷＤＭカプラ温度に従って、ＷＤＭカプラ出力ポートからのパワー出力を調整する。結果として、損失素子によりＷＤＭカプラの温度感度が補償される。出力ポートからはＷＤＭカプラ用に設計された分割比でパワーが出力される。
【０００７】
ＷＤＭカプラは、結合部、１以上の入力ポート、及び２以上の出力ポートを備えてよい。光は１以上の入力ポートに入力すると結合部を通って２以上の出力ポートから出力される。ＷＤＭカプラには、ＷＤＭカプラの温度感度を定める温度感度係数がある。温度感度係数は、ＷＤＭカプラ分割比が例えば５０／５０分割比になるときの波長について、その波長が温度関数としてどのように変化するかを表す。
【０００８】
ＷＤＭカプラの温度感度係数は、ＷＤＭカプラを温度制御装置内に設置して決定できる。温度制御装置はＷＤＭカプラを特定の温度に維持可能である。光源からＷＤＭカプラに光が入力する。光源から発生する光の波長は、特定温度で出力ポートからのパワー出力が平衡になるように調整される。次に、温度制御装置の温度を変更する。再度、出力ポートからのパワー出力が平衡になるように光の波長が調整される。温度制御装置の温度の変更と、出力ポートのパワーが平衡になる波長の決定のプロセスにより、ＷＤＭカプラにおいて出力ポートのパワーが平衡になる光の波長と温度の関係が決定される。この関係がＷＤＭカプラの温度感度係数である。
【０００９】
ＷＤＭカプラの温度感度係数を補償するために、１以上の出力ポートに損失素子が設けることができる。損失素子は、例えば、屈折率が温度関数として変化するファイバ格子で良い。損失素子は、ＷＤＭカプラの温度感度係数に整合するフィルタ特性をもつように設計してよい。フィルタ特性の通過域及び阻止域は温度関数としてシフトし、これによりＷＤＭカプラの出力ポートのパワー出力が調整される。好ましくは、フィルタ特性は出力ポートの一方のパワーを阻止してＷＤＭカプラの出力ポートのパワー出力が温度変動に関わらず平衡になるようにする。
【００１０】
実施形態に関する前記及びその他の側面及び効果は、添付図面を参照してなされる以下の詳細な説明から当業者には明らかになるであろう。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１１】
以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。
図１は損失素子１４を備えたＷＤＭカプラ１２を例示する。ＷＤＭカプラ１２は導波路（例えば光ファイバ）から成り、連結して結合部２０を形成する。例えば、結合部２０は導波路を熱で溶融し引き伸ばすことにより形成される。当業者には明らかなように、本件に記載する各要素は個別部品として、あるいは他の要素と組み合わされて、任意の適当な組合せや配置で実現可能である。
【００１２】
一般に、ＷＤＭカプラ１２は１以上の入力ポートと２以上の出力ポートを備える。例えば、図１に示されるＷＤＭカプラ１２は２つの入力ポート１６、１８と２つの出力ポート２０、２２を備えている。例えば、半導体レーザダイオードや光ファイバ光源のような光源２４から光が入力ポート１６に入射されると、その光は出力ポート２０、２２に結合できる。結合部２０は入力ポート１６と２つの出力ポート２０、２２間の光結合を行う。
【００１３】
ＷＤＭカプラ１２は分割比が得られるように構成される。分割比は、ＷＤＭカプラ１２の２つの出力ポートのそれぞれから出力されるパワーの比率である。例えば、ＷＤＭカプラ１２は、パワーの５０％が出力ポート２０から出力され、同じく光パワーの５０％が出

力ポート２２から出力されるように入力ポート１６に入射された光を分割する。この場合、ＷＤＭカプラ１２は５０／５０分割比をもつ。もちろん、他の分割比が得られるようにＷＤＭカプラを設計してよい。

【００１４】

ＷＤＭカプラ１２は一定の温度で分割比を達成できる。ＷＤＭカプラ１２の温度が一定の温度から変わると、ＷＤＭカプラ１２は５０／５０分割比を達成できない。この温度変動を補償するために、ＷＤＭカプラ１２の２つの出力ポート２０、２２のうち１または両方に損失素子１４が設けられても良い。

【００１５】

損失素子１４は、例えば、屈折率が温度関数として変化する屈折率をもつファイバ格子でも良い。したがって、損失素子は、ＷＤＭカプラ１２の温度感度に整合するフィルタ特性をもつように設計可能である。ＷＤＭカプラ１２の温度感度係数は、例えば＋５ｐｐｍ／℃である。＋５ｐｐｍ／℃の温度感度係数は、ＷＤＭカプラが要求された分割比（例えば５０／５０）を達成する波長が１℃の温度変化毎に５ｐｐｍ変化することを意味する。＋５ｐｐｍ／℃の温度感度係数を補償するのに、ＷＤＭカプラ１２の損失素子１４は、整合する－５ｐｐｍ／℃の温度感度係数をもつフィルタ特性をもつことができる。このフィルタ特性は、出力ポート２０、２２の一方からのパワー出力をＷＤＭカプラの温度感度係数とは逆に調整し、それによりＷＤＭカプラ１２の２つの出力ポート２０、２２のパワーを平衡にする。

【００１６】

本発明の実施形態に基づいて、本件に記載した以外の構成が可能である。例えば、本発明の実施形態は、ＷＤＭカプラ１２の入力ポートの個数や、ＷＤＭカプラ１２の出力ポートの個数について制限を受けない。さらに本発明の実施形態は、損失素子の個数や出力ポート上の損失素子の配置について制限を受けない。さらに本発明の実施形態は、ＷＤＭカプラ１２の所期分割比について制限を受けない。

【００１７】

第２図はＷＤＭカプラの温度感度係数の具体例を示す曲線である。曲線３０で表された温度感度係数は、ＷＤＭカプラ１２において要求された分割比、例えば５０／５０分割比が得られるときの温度３４と波長３２を示している。温度が１℃変化する毎に、５０／５０分割比の達成に要求される光源の波長３２は例えば４ｐｐｍ変化する。曲線３０に基づいて損失素子１４のフィルタ特性を設計することにより、ＷＤＭカプラ１２の温度感度係数１２の補償が損失素子１４で可能になる。

【００１８】

もちろん、５０／５０分割比が得られるときの温度３４と光源波長３２間の正確な関係はＷＤＭカプラ１２の特定の特性に依存する。図２に示される関係は性質上例示である。典型的なＷＤＭカプラの温度感度係数は－２０ｐｐｍ／℃から＋２０ｐｐｍ／℃の範囲である。他の構成も可能である。

【００１９】

図３はＷＤＭカプラ１２の温度感度係数12を決定するシステムのブロック図である。

例えば、温度室やヒーターなどの温度制御装置４４によりＷＤＭカプラの温度を変更してＷＤＭカプラ１２の温度感度係数を決定することが一般に可能である。光源２４からＷＤＭカプラ１２の２つの入力ポート１６、１８のひとつに光が入力される。この光はＷＤＭカプラ１２の２つの出力ポート２０、２２に結合できる。出力ポート２０、２２側に設けた検出器対４８で２つの出力ポート２０、２２のパワーを測定する。このパワーの測定値はサーボ電子回路４２に送られる。サーボ電子回路４２は、温度制御装置４４から与えられる温度に対しＷＤＭカプラ１２のパワー出力が平衡になるように光源２４の波長を調整できる。例えば、発明の名称「Fiber Optic Gyroscope Source Wavelength Control（光ファイバジャイロスコープ波長制御）」の米国特許第5,684,590号（その全内容は以下に参照のために組み込まれている）には、、光源２４の波長を測定し、制御する様々な方法が記載されている。

【００２０】
温度制御装置４４は温度範囲に亘りＷＤＭカプラ１２の温度を変更する。温度と波長を変えながら２つの出力ポート２０、２２のパワー出力が平衡になる温度と波長を追跡することにより、図２に示されるようなＷＤＭカプラ１２の温度感度係数が決定される。
【００２１】
図４はＷＤＭカプラ１２の代表的な伝達関数を示したものである。伝達関数は２つの入力ポート１６、１８の１つに入力された光がどのように２つの出力ポート２０、２２に分割されるかを数学的に記述する。この伝達関数に基づいてＷＤＭカプラ１２の差分パワー出力と波長ドリフト（すなわちＷＤＭカプラ１２への光入力の波長のドリフト)間の関係が決定される。この関係に基づいてＷＤＭカプラ１２のフィルタ特性を設計することができる。
【００２２】
スルーポートＴ（λ）５０は、入力ポート１６、１８のひとつへの光入力がどのように出力ポートのひとつに出力するかを記述する。交差結合ポートＸ（λ）５２は、どのように２つの入力ポート１６、１８の一方の光入力が他方の出力ポートに出力するかを記述する。波長λ_cのときスルーポートＴ（λ）５０と交差結合ポートＸ（λ）５２の光出力のパワーは平衡、すなわち５０／５０分割比になる。光入力の波長がλ_cからドリフトすると、スルーポートＴ（λ）５０と交差結合ポートＸ（λ）５２のパワーは平衡しない。
【００２３】
ＷＤＭカプラ１２の伝達関数は、スルーポートＴ（λ）５０及び交差結合ポートＸ（λ）５２について次にように数学的に模式化される。
【００２４】
【数１】

$$T(\lambda)=\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\sin\left(\frac{\pi}{\Delta\lambda_c}(\lambda-\lambda_c)\right) \qquad (1)$$

$$X(\lambda)=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\sin\left(\frac{\pi}{\Delta\lambda_c}(\lambda-\lambda_c)\right) \qquad (2)$$

【００２５】
スルーポートＴ（λ）５０及び交差結合ポートＸ（λ）５２の伝達関数は、光源２４の波長λ５８の関数になる。デルタλ_c（$\Delta\lambda_c$）５４は伝達関数のひろがり５４に従って選択されたチャネル間隔を表す。
【００２６】
光源２４のスペクトルをＳ（λ）５６とすると、ＷＤＭカプラ２２の２つの出力ポート２０、２２から出力される光出力は次式で計算される。
【００２７】
【数２】

$$P_T=\int T(\lambda)S(\lambda)d\lambda \qquad (3)$$

$$P_X=\int X(\lambda)S(\lambda)d\lambda \qquad (4)$$

【００２８】
P_TはスルーポートＴ（λ）のパワー出力であり、P_Xは交差結合ポート（λ）の出力パワーである。２つの出力ポート２０、２２のパワーが平衡になるのは比が次式の場合である。
【００２９】

【数３】

$$\frac{P_T - P_X}{P_T + P_X} = 0 \qquad (5)$$

【００３０】

このパワー比は、P_TとP_Xを代換することにより次のように近似される。

【００３１】

【数４】

$$\frac{P_T - P_X}{P_T + P_X} \approx \frac{\pi}{\Delta\lambda_c}\left(\bar{\lambda} - \lambda_c\right) + \frac{1}{6}\left(\frac{\pi}{\Delta\lambda_c}\right)\int \lambda^3 S\left(\lambda' + \lambda_c\right) + \ldots \qquad (6)$$

【００３２】

パワー比の式（６）によれば、ＷＤＭカプラ１２の差分パワー出力は、分割比が５０／５０になる波長λ_cまたは平均波長$\bar{\lambda}$（λの上に¯がある状態を表す）のいずれかのシフトに比例する。平均波長$\bar{\lambda}$と波長λ_c間の非ゼロ差はＷＤＭカプラ１２の５０／５０分割比からのドリフトを表している。

【００３３】

ＷＤＭカプラ１２の温度感度係数と関係式（６）に基づいて、損失素子１４のフィルタ特性を設計することができる。ＷＤＭカプラ１２の温度感度係数は、温度の変化を５０／５０分割比になる波長λ_cの変化に関係する。さらに式（６）は、波長λ_cの変化を、それに比例したＷＤＭカプラ１２の差分パワー出力の比例シフトに関係する。したがって、ＷＤＭカプラ１２の差分パワー出力はＷＤＭカプラ１２の温度に正比例する。ＷＤＭカプラ１２の温度により分割比が５０／５０であるＷＤＭカプラ１２の波長λ_cが決定し、波長λ_cの変化がＷＤＭカプラ１２の差分パワー出力のシフトとなる。

【００３４】

損失素子１４のフィルタ特性は温度とパワー間の正比例関係を、ＷＤＭカプラ１２のパワー出力が温度関数として調整されるように考慮する。

図５は損失素子１４のフィルタ特性の例を示したものである。フィルタ特性は温度T_1で阻止域６２と通過域６０をもつ。阻止域６２は、例えばＸからＹ間の波長の光を阻止する。通過域６０は、例えばＸより小さい、Ｙより大きい波長の光を通す。この阻止域６２及び通過域６０は、損失素子１４の温度がT_2に変化するようなシフト６４に設計できる。好ましくは、このシフ６４をＷＤＭカプラ１２の温度感度係数に一致させることにより、差分パワー出力が損失素子に比例して減少してＷＤＭカプラの出力ポートの力パワーが平衡になる。例えば、ＷＤＭカプラ１２は＋５ｐｐｍ／℃の温度感度係数であれば、損失素子１４のフィルタ特性が－５ｐｐｍ／℃でシフトするように設計する。この－５ｐｐｍ／℃のシフトによりＷＤＭカプラ１２における出力ポート２０、２２のひとつでパワー出力は比例して減少し、パワーを平衡する。

【００３５】

損失素子１４のフィルタ特性は、屈折率が温度関数として変化するファイバ格子として実現可能である。ファイバ格子は、出力ポート２０、２２の一部において、コアに屈折率変化を書き込み、光の透過と反射の組合せを発生する。しかしながら、他の変更や他の構成も可能である。

【００３６】

図６は、ＷＤＭカプラ１２の２つの出力ポート２０、２２からのパワー出力を平衡化する損失素子の利用を説明している。スペクトル７０、７２はスルーポートＴ（λ）と交差結合ポートＸ（λ）の光出力のスペクトルを表す。２つの出力ポート２０、２２のパワーはスペクトル７０、７２の面積で画定される。損失素子１４はＷＤＭカプラ１２の１以上の出力ポートに配置してよい。損失素子１４はＷＤＭカプラ１２の温度感度係数に整合するフィルタ特性をもっても良い。

【００３７】

ＷＤＭカプラ１２の温度が波長λ$_c$で５０／５０分割比であるとすると、ＷＤＭカプラ１２の出力は既に平衡している。フィルタ特性７４は、阻止域７６は温度Ｔ$_1$で出力ポートからのパワー出力を阻止しないように設計され得る。このフィルタ特性はスペクトル７０を通過する。

【００３８】

ＷＤＭカプラ１２の温度が変化すると、比例して一方の出力ポートのパワーは増大し、他方の出力ポートの出力パワーは比例して減少する。スペクトル８０、８２は、温度がＴ１からＴ２に変化した結果として２つの出力ポート２０、２２の光出力を例示している。再び、スペクトル８０、８２の面積は、２つの出力ポート２０、２２の光出力のパワーを表す。

【００３９】

本発明の一実施形態によれば、大きいパワーを有する出力ポートに損失素子１４を設けることにより、２つの出力ポートのパワーを平衡にすることができる。損失素子１４は、ＷＤＭカプラ１２の温度感度係数に整合するフィルタ特性もつことができる。例えばＷＤＭカプラ１２は＋５ｐｐｍ／℃の温度感度係数をもつならば、損失素子１４は－５ｐｐｍ／℃の割合でシフトするフィルタ特性７４をもつように設計できる。シフト７８によりＷＤＭカプラ１２における出力ポートのパワーのうち、温度Ｔ$_2$のスペクトル８０以下の面積で示したものは比例して減少する。平行な斜線８４、８６で示されるように、パワーが減少する結果、２つの出力ポート２０、２２からのパワーは平衡になる。

【００４０】

以上、本発明の実施形態について図面に示して説明した。

しかしながら、特許請求の範囲に定められるように、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、変更及び変形を記載した発明に施すことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【００４１】

【図１】損失素子を設けたＷＤＭカプラを例示する。

【図２】例示のＷＤＭカプラの温度感度係数を示す曲線である。

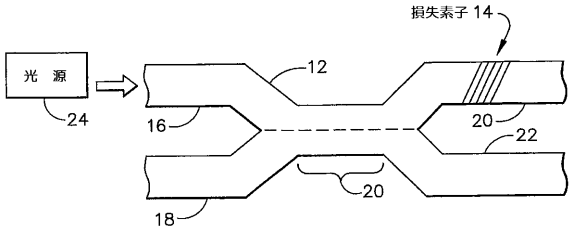
【図３】例示のＷＤＭカプラの温度感度係数を決定するシステムのブロック図である。

【図４】例示のＷＤＭカプラの分割比を記述する伝達関数である。

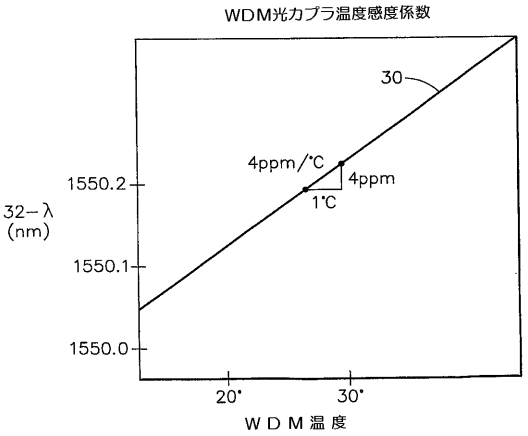
【図５】ＷＤＭカプラ用損失素子のフィルタ特性の例を示す。

【図６】ＷＤＭカプラの２つの出力ポートからのパワー出力を平衡する損失素子の使用を例示する図である。

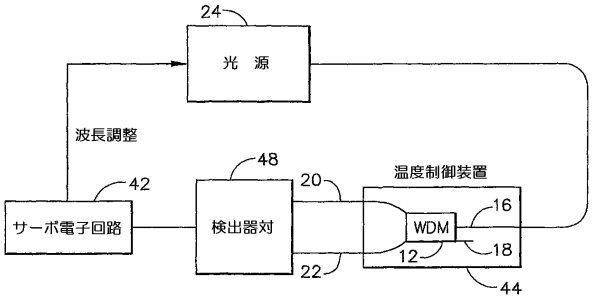
【図１】



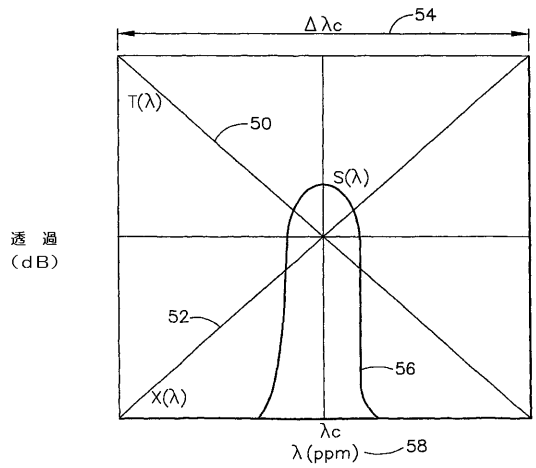
【図２】



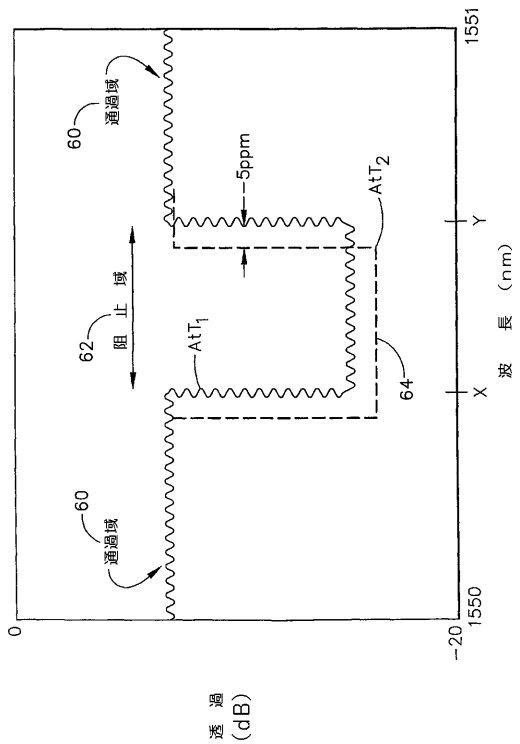
【図３】



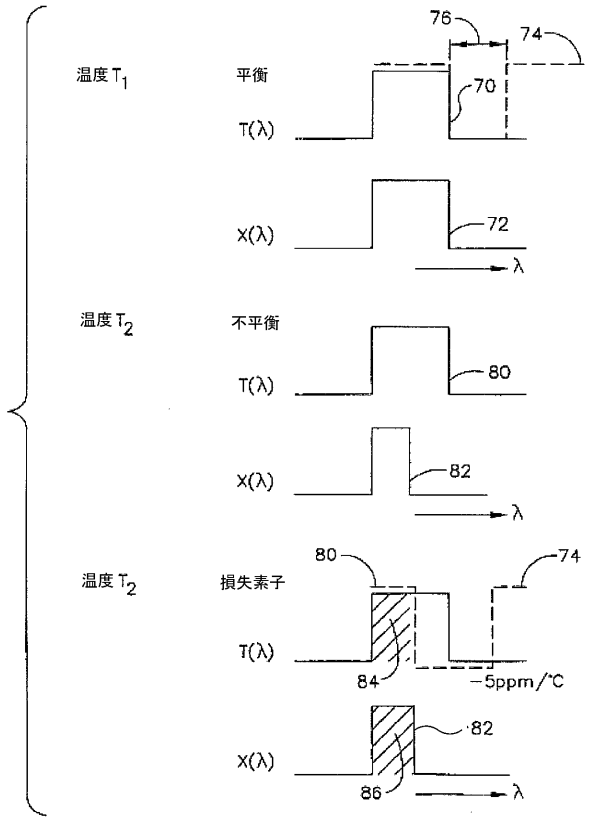
【図４】



【図５】



【図６】



フロントページの続き

(74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行
(74)代理人 100107696
弁理士 西山 文俊
(72)発明者 ブレーク，ジェームズ
アメリカ合衆国アリゾナ州８５２５３，パラダイス・ヴァレー，ノース・インバーゴードン・ロード ９２３２
(72)発明者 リュー，レンーヤング
アメリカ合衆国アリゾナ州８５２０２，メサ，ウェスト・マデロ・アベニュー ２５４９

審査官 多田 春奈

(56)参考文献 特表２０００－５０２８４１（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－２５５４２３（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０６３８５２１７（ＵＳ，Ｂ１）
特開２０００－３２３７８４（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１５９８３２（ＪＰ，Ａ）
特表平０５－５０３１７０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G02B 6/00- 6/036、 6/12- 6/14、
6/26- 6/34、 6/42、 6/44