

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4332425号
(P4332425)

(45) 発行日 平成21年9月16日(2009.9.16)

(24) 登録日 平成21年6月26日(2009.6.26)

(51) Int. Cl. F 1
G 0 2 F 1 / 0 1 5 (2006.01) G 0 2 F 1 / 0 1 5 5 0 3

請求項の数 16 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2003-533035 (P2003-533035)	(73) 特許権者	500520743
(86) (22) 出願日	平成14年9月24日 (2002.9.24)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公表番号	特表2005-505001 (P2005-505001A)		The Boeing Company
(43) 公表日	平成17年2月17日 (2005.2.17)		アメリカ合衆国、60606-1596
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/030291		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(87) 国際公開番号	W02003/029880	(74) 代理人	100064746
(87) 国際公開日	平成15年4月10日 (2003.4.10)		弁理士 深見 久郎
審査請求日	平成17年9月12日 (2005.9.12)	(74) 代理人	100085132
(31) 優先権主張番号	09/968,090		弁理士 森田 俊雄
(32) 優先日	平成13年10月1日 (2001.10.1)	(74) 代理人	100083703
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781
			弁理士 堀井 豊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 入射光学波面の所望の部分有位相シフトするための活性光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入射光学波面の所望の部分有位相シフトするための能動光学系であって、

a) 入射光学波面を受取り、かつ第1の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従ってその入射光学波面を調整するための第1の制御光学機器アセンブリと、

b) 駆動光学波面を生成するための駆動要素と、

c) 前記駆動光学波面を受取り、かつ第2の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従ってその駆動光学波面を調整するための第2の制御光学機器アセンブリと、

d) 第1の制御光学機器アセンブリから出力を受取り、かつ第2の制御光学機器アセンブリから出力を受取るためのコンパイナとを含み、前記コンパイナは、最初のビーム寸法を有する組合された同一線上の伝搬出力波面を与え、前記能動光学系はさらに、

e) 組合された同一線上の伝搬出力波面を受取り、かつ組合された同一線上の伝搬出力波面に対して所望のビーム寸法を生成するための空間光変調器 (SLM) アドレス指定光学機器と、

f) SLMアドレス指定光学機器から出力を受取り、かつ結果として生じる波面の局所化された位相シフトをもたらすためのSLMと、

g) SLMの出力を受取り、かつ波面のビーム寸法を最初のビーム寸法に戻すためのSLM出口光学機器とを含み、SLM出口光学機器の出力はその位相の所望の部分が入射光学波面に対してシフトされている、能動光学系。

【請求項2】

10

20

前記第 1 の制御光学機器アセンブリは、

- a) 入射光学波面を受取るための第 1 の波長制御要素と、
- b) 波長制御要素の出力を受取り、かつ出力を前記コンバイナに与えるための第 1 の伝搬制御要素とを含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 3】

前記第 1 の制御光学機器アセンブリは第 1 の偏光制御要素をさらに含む、請求項 2 に記載の能動光学系。

【請求項 4】

前記駆動要素はレーザを含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 5】

前記駆動要素は発光ダイオード (LED) を含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 6】

前記駆動要素は広帯域光学光源を含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 7】

前記第 2 の制御光学機器アセンブリは、

- a) 駆動光学波面を受取るための第 2 の波長制御要素と、
- b) 第 2 の波長制御要素の出力を受取り、かつ出力を前記コンバイナに与えるための第 2 の伝搬制御要素とを含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 8】

前記第 1 の制御光学機器アセンブリは第 2 の偏光制御要素をさらに含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 9】

前記コンバイナはビームスプリッタを含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 10】

前記コンバイナは 2 色性光学機器を含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 11】

前記コンバイナは回折格子を含む、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 12】

前記 SLM は、

- a) アバランシェフォトダイオードと、
- b) 駆動光学波面からの光子がフォトダイオードに当たるときフォトダイオードに電子のアバランシェをもたらすべき、降伏領域を超える、フォトダイオードにわたる電界とを含み、アバランシェ電子は、フォトダイオードにおける屈折率を変える光屈折応答を引起し、前記 SLM はさらに、

c) フォトダイオードにわたって与えられる電界を調整するための回路を含み、熱光学応答により、フォトダイオードにおける屈折率が変更される、請求項 1 に記載の能動光学系。

【請求項 13】

入射光学波面の所望の部分を位相シフトするための方法であって、

- a) 第 1 の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従って入射光学波面を調整するステップと、
- b) 駆動光学波面を生成するステップと、
- c) 第 2 の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従って前記駆動光学波面を調整するステップと、
- d) 調整された入射光学波面と調整された駆動光学波面とを組合せて、最初のビーム寸法を有する組合された同一線上の伝搬出力波面を与えるステップと、
- e) 組合された同一線上の伝搬出力波面に対して所望のビーム寸法を生成するステップと、

h) ビーム寸法が変更された、組合された同一線上の伝搬出力波面に対して、局所化された位相シフトをもたらすステップと、

10

20

30

40

50

i) 組合された同一線上の伝搬出力波面を前記最初のビーム寸法に戻すステップとを含み、結果として生じる光学波面は、その位相の所望の部分が入射光学波面に対してシフトされている、方法。

【請求項 14】

前記入射光学波面を調整する前記ステップは、
入射光学波面を受取るために第 1 の波長制御要素を用いるステップと、
第 1 の波長制御要素の出力を受取るために第 1 の伝搬制御要素を用いるステップとを含む、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記入射光学波面を調整する前記ステップは、
駆動光学波面を受取るために第 2 の波長制御要素を用いるステップと、
第 2 の波長制御要素の出力を受取るために第 2 の伝搬制御要素を用いるステップとを含む、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

入射光学波面の所望の部分を位相シフトするための能動光学系であって、
a) 入射光学波面を受取り、かつ第 1 の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従ってその入射光学波面を調整するための第 1 の制御光学機器アセンブリを含み、前記第 1 の制御光学機器アセンブリは、入射光学波面を受取るための第 1 の波長制御要素と、波長制御要素の出力を受取るための第 1 の伝搬制御要素と、前記第 1 の伝搬制御要素の出力を受取るための第 1 の偏光制御要素とを含み、前記能動光学系はさらに、
b) 駆動光学波面を生成するための駆動要素を含み、前記駆動要素はレーザを含み、前記能動光学系はさらに、
c) 前記駆動光学波面を受取り、かつ第 2 の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従ってその駆動光学波面を調整するための第 2 の制御光学機器アセンブリと、
d) 第 1 の制御光学機器アセンブリから出力を受取り、かつ第 2 の制御光学機器アセンブリから出力を受取るためのコンバイナとを含み、前記コンバイナは、最初のビーム寸法を有する組合された同一線上の伝搬出力波面を与え、前記能動光学系はさらに、
e) 組合された同一線上の伝搬出力波面を受取り、かつ組合された同一線上の伝搬出力波面に対して所望のビーム寸法を生成するための空間光変調器 (SLM) アドレス指定光学機器と、
f) SLM アドレス指定光学機器から出力を受取り、かつ結果として生じる波面の局所化された位相シフトをもたらすための SLM と、
g) SLM の出力を受取り、かつ波面のビーム寸法を最初のビーム寸法に戻すための SLM 出口光学機器とを含み、SLM 出口要素の出力は、その位相の所望の部分が入射光学波面に対してシフトされている、能動光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の背景

1. 発明の分野

この発明は、活性光学系に関し、より特定的には、入射光学波面の所望の部分を位相シフトするための活性光学系に関する。

【背景技術】

【0002】

2. 関連技術の説明

多くの種類の活性光学系は、伝搬するレーザビームの光学波面または位相の制御を必要とする。画像が不透明な媒体、たとえば大気を通して伝搬する際に、局所屈折率における不規則な変動により、ビームが横切る光路長に局所的な変動がもたらされる。路長におけるこれらの変動により位相面の輪郭がランダム化されることになり、これにより画像が不明瞭になる。適応光学機器または活性光学制御を用いて、元の位相状態を回復し、これに

10

20

30

40

50

より、元の画像を復元することが可能となる。光通信の場合、同じ種類のランダム化が起こり得る。この場合、不利な結果として、光ビームは回折の制限された（波長によって制限される）スポットに焦点を合わせることができず、これにより、ビームが直径の小さい光学要素、たとえば光ファイバ、に導入される際に情報が失われる。このシナリオにおける活性制御および適応光学機器により、元の位相状態を復元することが可能となり、このため、ビームは、情報を失うことなく小さなスポットに焦点を合わせることができる。典型的には、活性光学系は、機械的な実現に基づいた適応光学要素を利用する。このうちの一例は変形可能な鏡である。この鏡は、鏡面上でプッシュまたはプルを行なう複数の小さなアクチュエータを含む。そうすることで、それらは、光路のいくつかの部分により短くし、かつ光路のいくつかの部分により長くすることにより、ビーム位相における歪みを補償する。しかしながら、この実現例は、根本的には光学的な問題となるものを伴い、これが機械的な問題となる。光ビームの元の位相状態を再現するのに必要な位相シフトを達成するために、非機械的なシステムを用いるのが望ましい。

10

【0003】

以前の特許では、適応光学プロセスを実行するのに電気光学手段が用いられた。「適応光学機器のための、連続的に動作される空間光変調装置および方法（Continuously Operated Spatial Light Modulator Apparatus and Method for Adaptive Optics）」と題され、オメアラ（O Meara）他に発行された米国特許第5,396,364号は、電気光学的に対処される適応光学機器のための空間光変調器の使用について述べる。電子的に「画素化された」変調器を組み込んだ標準的なSLMが説明される。この装置は、画素を形成する小さな活性区域へと波面を物理的に分けるためにマイクロレンズレット配列を内蔵している。この装置はいくつかの不利点を有する。電子構造が装置に直接組み込まなければならないので、製造がより困難となり、かつ装置の解像度が作成される電子構造の数に制限される。さらに、変調が、光学的に駆動されるのではなく、電子的に駆動される手段によってもたらされるので、装置の速度には固有の限界がある。

20

【0004】

「電気光学光弁配列（Electro-Optic Light Valve Array）」と題され、ゴベリ（Gobeli）他に発行された米国特許第6,222,667号は、2次元の光弁配列を開示する。それは、ランタン変形ジルコン酸チタン酸塩からできた画素化された基板を用いる。電極は、基板に設けられた凹みに割込むようにされる。個々の画素にかけられる電圧により、画素化された領域に複屈折が起こされる。複屈折を電子制御すると光透過率に影響が及ぼされる。発明者はこの装置における位相または波面の制御については述べていない。オメアラ他の場合と同様に、この装置は画素化されなければならない、電子駆動により、制御を実行することのできる速度が制限される。

30

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0005】

概要

この発明は、入射光学波面の所望される部分を位相シフトするための活性光学系および方法である。第1の制御光学機器アセンブリは入射光学波面を受取り、第1の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従ってその入射光学波面を調整する。駆動要素は駆動光学波面を生成する。第2の制御光学機器アセンブリは駆動光学波面を受取り、第2の所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従ってその駆動光学波面を調整する。

40

【0006】

コンバイナは、第1の制御光学機器アセンブリから出力を受取り、第2の制御光学機器アセンブリから出力を受取る。コンバイナは、最初のビーム寸法を有する、組合された同一線上の伝搬出力波面を与える。空間光変調器（SLM）アドレス指定光学機器は、組合された同一線上の伝搬出力波面を受取り、組合された同一線上の伝搬出力波面に対して所望のビーム寸法を生成する。SLMはSLMアドレス指定光学機器から出力を受取り、結果として生じる波面の局所化された位相シフトをもたらす。SLM出口（egressing）光

50

学機器はSLMの出力を受取り、波面のビーム寸法を最初のビーム寸法に戻す。SLM出口要素の出力は、その位相の所望の部分が入射光学波面に対してシフトされている。

【0007】

この発明は、大気条件によって生じる位相歪みを補償するために、変形可能な鏡を利用せずに光学波面上で位相制御を行なう。撮像装置がアドレス指定される態様を変えることにより、2次元の媒体の局所屈折率を用いて、波面内の単一の位置で波面を変調または復調することができる。これにより、位相が補償された波面がもたらされる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

発明の詳細な説明

図面およびそこに付された参照符号を参照して、図1には、概して10と示されるこの発明の好ましい実施例が例示される。入射光学波面10は、概して12と示される第1の制御光学機器アセンブリによって受取られる。光ビームの波面は、概して、ビームの物理的な断面にわたる一定位相の輪郭として記載される。いずれの光学源もそれに関連付けられる位相を有することとなるが、ほとんどの場合、源は画像化されている物体であるか、またはデジタル符号化された光ビームの送信機からであるだろう。第1の制御光学機器アセンブリ12は、所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従って入射光学波面10を調整する。これらのパラメータは、たとえば、予想される信号波長への正確な波長フィルタリング、入ってくる信号の光学帯域幅、または光の偏光を含み得る。波長は、フォトダイオードの検出範囲内で適合するよう制御され得る。それは、画像またはデジタル符号化された通信ビームからの公知の入力信号に適合するよう、より正確にフィルタにかけられてもよい。この発明は、1ミクロンよりも長い波長で動作する。好ましい最小限の波長は約1.1ミクロンである。他の源からの、より短い波長での光信号は、装置の動作に影響を及ぼすこととなるので取除かれねばならない。アセンブリ12は、好ましくは波長制御要素14、たとえばカラーフィルタ、エタロン、ファブリ・ペロ干渉計、フィゾー干渉計、回折格子またはノッチフィルタなどを含む。偏光制御要素16は波面を偏光させる。これは、たとえば、偏光板、ブルースター角偏光子、または薄膜偏光子を含んでもよい。選択すべき正確な偏光子は、特定の適用例の工学要件、たとえば偏光除去比、偏光子の寸法および重量、ならびに検出器が動作しなければならない波長範囲など、に左右される。次いで、波面が、伝搬制御要素18、たとえば単レンズ、複レンズ、屈折要素、反射要素または完全に工学設計された望遠鏡に並ぶ他のシステム、によって受取られる。

【0009】

符号化のための駆動要素20は駆動光学波面22を生成する。駆動要素は、たとえばレーザ、発光ダイオード(LED)または広帯域光学光源を含み得る。

【0010】

第2の制御光学機器アセンブリ24は、所望の波長およびビーム伝搬パラメータに従って駆動光学波面22を調整する。アセンブリ24は、好ましくは波長制御要素26、たとえばカラーフィルタ、エタロン、ファブリ・ペロ干渉計、フィゾー干渉計、回折格子またはノッチフィルタ、を含む。偏光制御要素28および伝搬制御要素30が上述のように利用される。

【0011】

コンバイナ32は第1の制御光学機器アセンブリ12から出力34を受取り、第2の制御光学機器アセンブリ24から出力36を受取る。コンバイナ32は、最初のビーム寸法を有する、組合された同一線上の伝搬出力波面38を与える。位相シフトを発生させるために、影響を受けたビームと駆動ビームとは、伝搬空間において物理的に位置合わせされなければならない。伝搬方向への位置合わせは適切なタイミングで達成され、すなわち、パルスが同時に重なって移相器に入る。他の2つの次元における位置合わせはビームの物理的な断面を重ねることにより達成される。コンバイナ32は、断面におけるこの重なりが起こるのを可能にする。コンバイナ32は、たとえばビームスプリッタ、2色性光学機器または回折格子を含み得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

正確なビーム寸法を与えて S L M を整合させるために、S L M アドレス指定光学機器 4 0 を備える。S L M アドレス指定光学機器 4 0 は、たとえば複数のレンズまたは湾曲したリフレクタを含み得る。典型的には、S L M 4 2 は直径 1 ミリメートルのオーダであるだろうが、但し、これは適用例に応じていくらか異なり得る。S L M の活性区域は、所望の位相シフトの物理的な影響が生じ得る唯一の場所である。したがって、このステップは、影響を受けたビームおよび駆動ビームの両方が検出器のその区域に入ることを確実にするのに不可欠である。

【 0 0 1 3 】

S L M 4 2 は S L M アドレス指定光学機器 4 0 から出力を受取り、結果として生じる波面の局所化された位相シフトをもたらす。これは後により詳細に説明されるとおりである。S L M 出口光学機器 4 4 は S L M 4 2 の出力を受取り、波面のビーム寸法を最初のビーム寸法、すなわち出力 3 8 のビーム寸法に戻す。結果として生じる波形 4 6 は、その位相の所望の部分が入射光学波面 1 0 に対してシフトされている。さらなる光学プロセスは、S L M に必要とされるのとは異なるビーム直径を必要とする場合がある。これらの光学機器により、ビーム直径またはスポット寸法の変更が可能となる。

【 0 0 1 4 】

ここで図 2 を参照して、S L M 4 2 の好ましい実施例を示す。これは、ホームズ (Holmes) 他に発行された米国特許第 5, 5 2 1, 7 4 3 号において十分に説明および要求され、引用によりこの明細書中に援用される。この図は、アバランシェフォトダイオード構造を備えた 3 層光子計数光屈折空間光変調器の断面を示す。図示される光子 4 8 はポジ型にドーピングされた半導体層 5 0 に当たり、これにより電子のアバランシェ 5 2 が解放され、第 2 の層は負の層または絶縁体 5 4 であり、第 3 の層は負の層 5 6 である。電荷は、電圧源 6 2 および回路抵抗 6 4 に接続される電極 5 8 および 6 0 により、装置全体にわたって配置される。この態様では、電界 6 5 が装置全体にわたって生成され、光検出器は、適切に設計される場合、ガイガーモードで動作させることができる。

【 0 0 1 5 】

装置の全体的な性能は、ホットキャリアに補助される吸収、フランツ - ケルディッシュ効果およびガン (Gunn) 領域形成によって高められる。これらの影響により、光イオン化およびアバランシェ利得が向上する。スパイク電圧または交流電圧の波形はまた、装置の感度を高めることができる。装置は、一次電子量効率または多重波長動作を向上させるために、並列または直列に積み重ねられてもよい。

【 0 0 1 6 】

アバランシェ光電子利得およびオーム加熱を組合せて熱光学効果を推進する。これは既存のシリコンアバランシェフォトダイオードにおいて認められ得るのと同様である。アバランシェプロセスを用い、ガイガーモードで動作すると、1 個の光子により、半導体における何億ものキャリア電子を励起させることができる。外部場によって供給される電気エネルギーを利用することにより、単一の吸収された量子の光エネルギーを十分に増大させて、空間光変調器材料の光学特性を変化させる。局所化された電流により、局所化されたオーム加熱がもたらされる。この加熱が局所的なキャリア密度および電子構造を変える。これにより、平均供給電流に比例して屈折率が変更される。屈折率の変更は極めて局所的であるので画素化は必要とされず、これにより、製作の簡略化および低費用での製造が可能となる。屈折率の局所的な変更により、光路長の局所的な変更が波面におけるその位置でもたらされる。したがって、駆動ビームによってアドレス指定されるそれらの局所的な位置だけが光路長の変更を経験することとなる。次いで、波面が、光路長の変更の結果、当該位置で位相シフトされることとなる。

【 0 0 1 7 】

この発明は複数の光学適用例で用いることができる。たとえば、ユーザが大気中で遠距離から物体を撮像していると仮定する。位相修正なしでは、この画像は不鮮明となり、その特徴が解像不可能となるおそれがある。この発明の活性位相修正器が所定の位置にある

10

20

30

40

50

状態では、無秩序な光学位相は、大気によって収差が発生する前にその元の状態に復元され得る。長距離光通信のための別の用途がある。光信号は、受信されると、信号操作および処理のために光ファイバに導入される。残念ながら、位相歪みにより、ビームの焦点を小さなスポットに合わせることができないので、信号がすべてファイバに入るわけではなく、これにより、符号化された情報が失われることとなる。位相修正により、光信号全体をファイバに集中させることが可能となる。半導体処理で用いられる光学マイクロリソグラフィにおいては、制御された小さな焦点スポットにレーザを保持することが不可欠である。処理が行なわれる環境が非常に大きな歪みを生じさせるので、十分な歩留まりのために位相制御が不可欠である。この装置をその環境で用いて、そこに生じた位相歪みを補償することができる。

【0018】

こうして、装置および方法の好ましい実施例を、それらが展開される環境に関連して記載してきたが、それらはこの発明の原理を単に例示しているだけである。他の実施例および構成が、この発明の精神および添付の特許請求の範囲から逸脱することなく考案され得る。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】この発明の活性光学系の好ましい実施例を示す概略図である。

【図2】この発明によって用いられる空間光変調器を示す断面図である（先行技術）。

【図1】

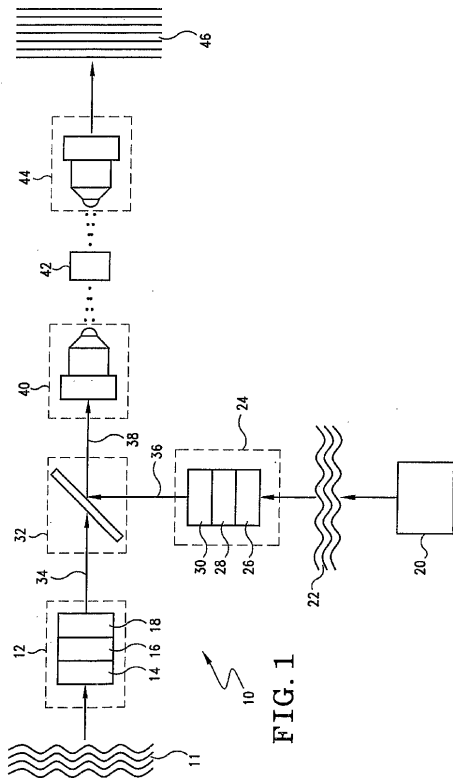


FIG. 1

【図2】

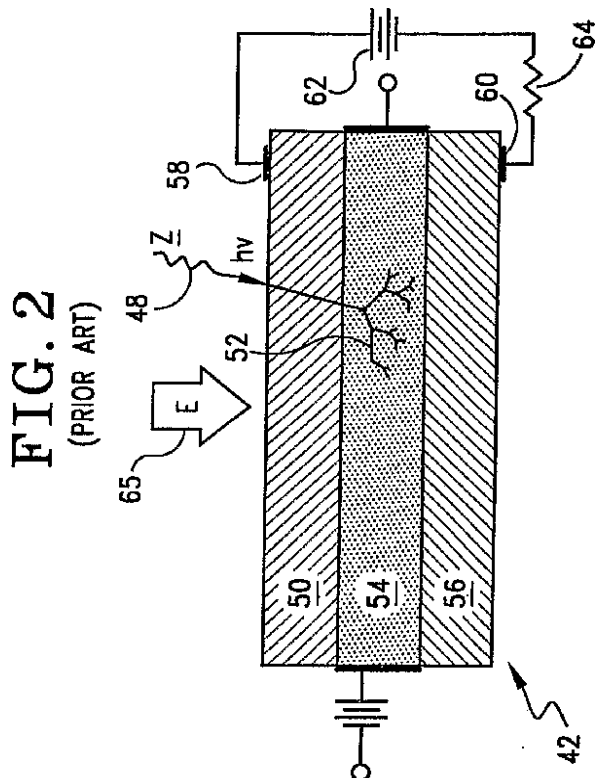


FIG. 2
(PRIOR ART)

フロントページの続き

(74)代理人 100098316

弁理士 野田 久登

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 将行

(72)発明者 ハント, ジェフリー・エイチ

アメリカ合衆国、9 1 3 1 1 - 6 3 5 3 カリフォルニア州、チャッツワース、グランディ・レーン、9 1 2 6

審査官 林 祥恵

(56)参考文献 特開2 0 0 1 - 2 2 8 4 4 9 (J P , A)

米国特許第0 5 5 2 1 7 4 3 (U S , A)

J. H. Hunt, et al., "Imaging via spatial light modulation at photon-counting light levels", Summaries of papers presented at the Conference on CLEO'96, 1 9 9 6年 6月 2日, p.519

J. H. Hunt, et al., "Observation of optical response of avalanche photodiodes at photon-counting light levels", Applied Physics Letters, 1 9 9 4年 5月3 0日, Vol. 64, No. 22, p.2925-2927

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

G02F 1/00-1/125

G02F 1/29-7/00

IEEE Xplore