

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4638056号  
(P4638056)

(45) 発行日 平成23年2月23日(2011.2.23)

(24) 登録日 平成22年12月3日(2010.12.3)

(51) Int.Cl.

F I

G O 2 B 27/28 (2006.01)

G O 2 B 27/28

Z

請求項の数 15 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2000-618768 (P2000-618768)	(73) 特許権者	505005049
(86) (22) 出願日	平成12年5月16日(2000.5.16)		スリーエム イノベイティブ プロパティ
(65) 公表番号	特表2002-544561 (P2002-544561A)		ズ カンパニー
(43) 公表日	平成14年12月24日(2002.12.24)		アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133
(86) 国際出願番号	PCT/US2000/013525		-3427, セント ポール, ポスト オ
(87) 国際公開番号	W02000/070386		フィス ボックス 33427, スリーエ
(87) 国際公開日	平成12年11月23日(2000.11.23)		ム センター
審査請求日	平成19年5月16日(2007.5.16)	(74) 代理人	100077517
(31) 優先権主張番号	09/312, 917		弁理士 石田 敬
(32) 優先日	平成11年5月17日(1999.5.17)	(74) 代理人	100092624
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 鶴田 準一
		(74) 代理人	100082898
			弁理士 西山 雅也
		(74) 代理人	100081330
			弁理士 樋口 外治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広角偏光ビームスプリッタを使用した反射LCD投影システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

a) 固定偏光軸を画定する構造的配向を有する広角デカルト偏光ビームスプリッタ(50)と、

b) 少なくとも1つの反射光バルブ(26)と、

c) 前記少なくとも1つの反射光バルブを、前記広角デカルト偏光ビームスプリッタを介して、2.5以下のFナンバーを有する光で照明する光バルブ照明光学系(15)と、を含み、

前記偏光ビームスプリッタが、入射光を、前記固定偏光軸により画定される座標システムに参照される偏光状態を有する第1及び第2の実質的に偏光されたビームに分離し、前記第1偏光ビームを前記反射光バルブ上に向け、

可視光範囲内の投影されたカラーバンドに渡って少なくとも100:1のダイナミックレンジを有する、光学イメージシステム(10)。

【請求項 2】

前記システムが約12度の最小受け入れ円錐角を有する、請求項1に記載の光学イメージシステム。

【請求項 3】

コントラスト比が150:1を超える、請求項1に記載の光学イメージシステム。

【請求項 4】

前記光バルブ照明光学系が高くとも2.0のFナンバーを有する、請求項1に記載の光

10

20

学イメージシステム。

【請求項 5】

コントラスト比が 1 5 0 : 1 を超える、請求項 4 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 6】

前記反射光バルブが偏光変調液晶光バルブである、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 7】

前記デカルト偏光ビームスプリッタと前記反射光バルブとの間に光学的に配置された四分の一波長補償器を更に含む、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 8】

プレ偏光子 ( 1 5 a ) を更に含み、前記プレ偏光子が入力光をプレ偏光光に偏光し、前記プレ偏光光が前記広角デカルト偏光ビームスプリッタへ入射する、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 9】

前記第 1 偏光ビームが中心光線を有し、前記少なくとも 1 つの反射光バルブが反射平面を画定する反射表面を有し、前記中心光線が前記反射平面に垂直である、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 10】

前記広角デカルト偏光ビームスプリッタが多層高分子フィルムを含む、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 11】

前記照明光学系が 1 . 8 以下の F ナンバーを有する、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 12】

前記広角デカルト偏光ビームスプリッタが回転軸及び材料軸を有し、反射光は実質的に偏光され、前記回転軸が前記材料軸に平行に配向される、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 13】

前記デカルト偏光ビームスプリッタが少なくとも 1 つの軸に沿って湾曲している、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 14】

入射光の中心光線が、前記デカルト偏光ビームスプリッタに、40°と50°の間の角度で入射する、請求項 1 に記載の光学イメージシステム。

【請求項 15】

a) 光線を提供する照明システム ( 1 2 ) と、  
b) 前記光ビームを受け取りその光ビームを第 1 及び第 2 偏光成分に分離するよう光学的に整列され、固定偏光軸を画定する構造的配向を有する多層高分子フィルム ( 5 2 ) を含む広角デカルト偏光ビームスプリッタ ( 5 0 ) と、

c) 前記第 1 偏光成分を受け取るよう光学的に整列され、前記第 1 偏光成分を赤色、緑色、及び青色ビームに分解する色分解 ( 3 6 ) プリズムと、

d) 前記光ビームを整えるために光学的に整列され、前方進行光を前記広角デカルトビームスプリッタに伝達する 2 . 5 以下の F ナンバーを有する、光バルブ照明光学系 ( 1 5 ) と、

e) 前記赤色、緑色、及び青色ビームをそれぞれ受け取るよう光学的に整列された少なくとも 3 つの反射光バルブ ( 2 6 、 2 8 、 3 0 ) と、を含み、

前記広角デカルト偏光ビームスプリッタを介して前記少なくとも 3 つの反射光バルブから反射された画像光が少なくとも 1 5 0 : 1 のダイナミックレンジを有する、光学イメージシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

## 発明の背景

本発明は、偏光ビームスプリッタ（PBS）を含む光学イメージシステムに関する。特に、本発明は、反射イメージャ、及び固定偏光軸を有するデカルト広角偏光ビームスプリッタ（「PBS」）を含む光学イメージシステムに関する。本発明の光学イメージシステムは、高コントラスト比を提供しながらも「高速」（低Fナンバー）の光ビームに使用できる。光学イメージシステムという用語には、反射投影及びリア投影システム、投影ディスプレイ、ヘッドマウンテッドディスプレイ、バーチャルビューア、ヘッドアップディスプレイ、光学計算、光学相関、及びその他の類似の光学観察及び表示システムが含まれる。

### 【0002】

光学イメージシステムは、透過または反射イメージャまたは光バルブを含んでいても構わない。通常透過光バルブでは、光ビームの一定部分がその光バルブを透過して画像を形成する。その機能によって、透過光バルブは透光性を有し、光はこれを透過できる。また、反射光バルブは、入力ビームの選択部分だけを反射して画像を形成する。反射光バルブでは、制御回路が反射面の下に配置でき、またその不透明性による基板材質の制限がなければより高度な集積回路技術が利用可能になることから、重要な利点を提供する。反射LCマイクロディスプレイの使用によって、新しく潜在的に安価でコンパクトな液晶カラーディスプレイ（LCD）プロジェクタ構成が可能になるかもしれない。

### 【0003】

反射LCDイメージャを利用した投影システムでは、照明ビームと投影画像が偏光ビームスプリッタとイメージャ間の同一物理空間を共有する折曲光路が所望のコンパクトな配列を提供する。本発明は、pとs偏光状態の区別に基づいてPBSを使用する通常の光学イメージシステムの照明光学系のFナンバーを制限する「偏光解消カスケード」問題を分析し認識している。ほとんどの反射LCDイメージャは偏光回転している。つまり、偏光光は、最も暗い状態についてその偏光状態が実質的に無修正のまま透過されるか、あるいは所望のグレースケールを提供するため一定の偏光度回転を与えられた状態で、透過される。これらのシステムでは90°回転が最も明るい状態を提供する。したがって、光の偏光ビームは、反射LCDイメージャ用の入力ビームとして使用されるのが普通である。偏光ビームスプリッタ（PBS）の使用は、入力ビームの偏光と光路の折り曲げの両方に魅力的な設計上の代替選択肢を提供する。

### 【0004】

PBSは、入射光線を第1偏光成分と第2偏光成分に分離する光構成部品である。通常PBSは、光の入射平面、つまり、入射光線と偏光面への法線によって定義される平面に基づいて機能する。入射平面はまた反射平面とも呼ばれ、反射光線と反射面への法線によって定義される。

### 【0005】

通常偏光子の動作に基づいて、光は、p成分とs成分という2つの偏光成分を有すると記述されてきた。このp成分は、入射平面の中で偏光された光に相当する。s成分は、入射平面に垂直に偏光された光に相当する。

### 【0006】

光学イメージシステムで最大効率を達成するには、低Fナンバーシステムが望ましい（F. E. Doany等のProjection display throughput; Efficiency of optical transmission and light-source collection（投影表示スループット：光透過と光源集光の効率）、IBM J. Res. Develop. V42, May/July 1998, pp. 387-398参照）。Fナンバーは光レンズの集光能力を測定するもので、次のように定義される。

$$F \text{ ナンバー} = f \text{ (焦点距離)} \div D \text{ (レンズの直径または口径)}$$

### 【0007】

Fナンバー（F）は、光学素子の照明に使用できる光錐のサイズを測定する。Fナンバーが低いほどレンズはより高速となり、その光学素子に使用可能な光錐はより大きくなる。

光錐が大きくなると光スループットが高くなるのが一般である。したがって、より高速（より低いFナンバーの）照明システムは、より広い範囲の入射角度を有する光線を受け入れることのできるPBSを必要とする。

【0008】

最大入射角度  $\theta_{max}$ （光錐の外側光線）は、数学的にFナンバーから導くことができる。

$$\theta_{max} = \tan^{-1} \left( (2F)^{-1} \right)$$

【0009】

通常の折曲光路光学イメージシステムは、マクニール偏光子と呼ばれる光学素子を使用している。マクニール偏光子は、ブルースター角と呼ばれ、屈折率の異なる2つの媒体間の界面からp偏光が反射されない、ブルースター角と呼ばれる角度が存在するという事実を利用している。ブルースター角は、以下の数式で求められる。

$$\theta_B = \tan^{-1} \left( n_1 / n_0 \right),$$

【0010】

ただし、 $n_0$  は1つの媒体の屈折率、 $n_1$  は他方の媒体の屈折率である。入射光線の入射角度がブルースター角に達すると、反射したビーム部分が入射平面に直角の平面内で偏光される。透過したビーム部分は、入射平面に平行な平面内で優先的に（完全にではない）偏光される。s偏光の効率的な反射を得るために、マクニール偏光子は、所望の角度のブルースター角条件に適合する材料の薄膜の複数層から構築される。膜厚は、膜層ペアが四分の一波長スタックを形成するように選択される。

【0011】

この構造の場合、ブルースター角条件が（当該材料内の分散を除いて）波長に依存しない利点がある。しかし、マクニール偏光子は、一組の材料のブルースター角条件が1つの入射角度においてのみ厳密に満足されるという事実によって広角性能を達成するのが困難である。入射角度がこの角度から逸脱するにつれて、スペクトル的に不均一な漏れが発生する。この漏れは、フィルムスタック上の入射角度がブルースター角よりも垂直になるにつれて特に厳しくなる。以下の説明の通り、折曲光路プロジェクタには、各光線の反射平面に参照されるp及びs偏光の使用に係わるコントラスト上の欠点もある。

【0012】

一般に、マクニールPBSはガラスキューブの中に含まれており、PBS薄膜スタックがキューブの対角面に沿って適用されている。このキューブ内のガラスの屈折率を適宜に選択することによって、PBSは、当該キューブの面に垂直な入射光がPBSのブルースター角で入射するように構築しても構わない。ただし、キューブを使用すると、主にその構成部分の偏光性能を低下させる熱応力による複屈折の発生に係わる一定の欠点をもたらす。あらかじめ焼きなましを行った高価なキューブでもこの問題は発生する。また、キューブはコンパクトなシステムに大きな重量を加えることになる。

【0013】

$f/2.5$  ほど低いFナンバーでs偏光光とp偏光光を区別でき、しかも純粋s偏光または純粋p偏光の入射ビーム間で100:1を超える吸光度を提供するマクニールタイプPBSが開発されたとの報告がある。残念ながら、以下に説明するように、マクニールタイプPBSが反射イメージを備えた折曲光路の中で使用されると、主光線の反射面に対して回転された反射面を有する光線の偏光解消によってコントラストが低下する。以下に使用されるように、「偏光解消」という用語は、主光線の偏光状態からの光線の偏光状態の逸脱を記述するためのものである。投影システム内の光が一般的に光錐として投影されるため、光線のほとんどは主光線に完全に平行ではない。偏光解消はFナンバーの低下とともに増加し、カラー選択フィルムからのその後の反射の中で拡大される。この「偏光解消カスケード」は、光学イメージシステムの設計者によっては、マクニールPBS利用のプロジェクタを約3.3に実効的に制限し、それによってこれらのシステムの光スループット効率を制限するよう計算している者もある。A. E. Rosenbluth等のContrast properties of reflective liquid c

10

20

30

40

50

crystal light valves in projection displays, IBM J. Res. Develop. V42, May/July 1998, pp. 359-386 (以後、「Rosenbuluth Contrast Properties」という)を参照されたい。この中の関連部分は本書に参考資料として組み入れられている。

#### 【0014】

最近、Minnesota Mining and Manufacturing社は、新規なタイプの複屈折多層偏光フィルム(「3M先進フィルム」)を開発した。共同譲渡されまた共同出願中の親出願49837USA6Eのビームスプリッタは、このフィルムの偏光ビームスプリッタとしての利用について記述している。欧州特許出願EP 0 8 3 7 3 5 1 A2は、初期の3M多層フィルム材料である3Mデュアルブライツネス強化フィルム(DBEF)を、「広角」反射偏光子を有する投影表示装置の中で利用しようとしている。さらに、「広角」性能は広く認知された設計目標であるが、「広角」の参照は、コントラスト限界、スペクトル漏れの低下、そしてかかる目標の達成方法に関する教示がなければ無意味である。この3M製品「DBEF」は、垂直入射で4~6%の一般的な阻止方向漏れを有する反射偏光子である。これよりも高い角度で漏れは幾分低下するが、45°では吸光度はまだ数パーセントであるのが普通である。DBEF使用時のコントラスト率は、一般に、白色光の場合に99:1以下での最大値に制限される。しかし、DBEFは、照明源及び正確なDBEFサンプルの性格によっては、一定のカラーバンドのコントラストを25:1にまで下げるスペクトル漏れを受ける。優れた性能を得るためには、良好なスクリーン均一性と暗状態でのスペクトル漏れの欠如が全関連カラーバンドにおける良好な平均コントラストに伴うことが望ましい。

#### 【0015】

真に広角で高速な光成分を含み、そして高コントラスト画像の閲覧または表示の可能な光結像装置に対するニーズは今も存在する。

#### 【0016】

##### 発明の要約

本発明は、広角「デカルト」偏光子ビームスプリッタ(「PBS」)を含み、またそれを有利に使用する光学イメージシステムについて記述する。デカルトPBSは、別々の各ビームの偏光が、PBSフィルムの不変で一般的に直交する主軸に参照されるPBSとして定義される。マクニールPBSとは対照的に、デカルトPBSでは、別々の各ビームの偏光が各ビームの入射角度と実質的に無関係である。デカルトPBSフィルムを使用すると、より高い光出力を提供したりあるいは他の光成分を置換あるいは増大させる曲面PBSを利用したシステムの開発も可能となる。

#### 【0017】

広角PBSは、受け入れ可能なシステムコントラストを維持しながら、入射角度が最大で11°以上の光錐を受けることのできるPBSとして定義される。広角デカルト偏光子の特性を認識し、またそれを有利に適用することによって、本発明は、1つの投影システム構成の中で少なくとも100:1、できれば150:1のコントラスト比を維持しながら、 $f/2.5$ 以下のFナンバーで機能できる高効率光学イメージシステムを開示する。

#### 【0018】

本発明に基づく光学イメージシステムは、広角デカルト偏光ビームスプリッタ、2.5以下のFナンバーを有する光バルブ照明光学系、及び少なくとも1つの反射光バルブを含む。デカルト偏光ビームスプリッタ(PBS)は、固定偏光軸を画定する構造的配向を有する。反射デカルトPBSは、「材料軸」と呼ばれるこうした1つの固定軸に沿って偏光された光線の成分を実質的に反射する。この「材料軸」に沿わない偏光をもつ光線の成分は実質的に透過される。偏光ビームスプリッタは、したがって、入射光を、固定偏光軸に参照される偏光状態をもつ実質的に偏光された第1及び第2ビームに分割し、偏光ビームスプリッタがその第1偏光ビームを反射光バルブへ向ける。1つの実施形態例では、デカルトPBSに3M先進フィルムが含まれている。他の実施形態例では、PBSが、関連部分

を本書に参考資料として組み入れた Schnabel 等の「Study on Polarizing Visible Light by Subwavelength-Period Metal-Stripe Gratings」, Optical Engineering 38(2), pp. 220-226, February 1999 に記載のものなど、ワイヤグリッド偏光子を含むものがある。他の適切なデカルト偏光子も使用しても構わない。

【0019】

光バルブ照明光学は、高くても 2.5 の F ナンバー、約 12 度の最小円錐角度を有し、システムは理想的なイメージャを使用して 100:1 を超えるコントラスト比を有する。好適な実施例では、このコントラスト比は 150:1 を超え、照明光学系は 2.0 以下の F ナンバーを有する。この照明光学系とは、光線を整える（事前偏光、均質化、及びフィルタリング）光学系である。F ナンバーは、イメージャへの入射光線に関連している。

10

【0020】

光バルブは、スメクチックまたはネマチック液晶光バルブなどの偏光変調光バルブであっても構わない。光学イメージシステムは、入力光をプレ偏光させるプレ偏光子を更に含んでいてもよく、プレ偏光された光が偏光ビームスプリッタへの入射光を含む。この光学イメージシステムはまた、色分解及び再結合プリズムまたはミラー、そして複数の反射光バルブを含んでいても構わない。このプリズムは、偏光ビームスプリッタから偏光光を受け取り、その偏光光の色分解を行い、偏光カラービームを各光バルブへ向ける。光学イメージシステムは、入射光を供給する適切な光源を含んでいても構わない。

20

【0021】

代替実施例において、反射光バルブは、第 1 偏光ビームの少なくとも 1 部を元の偏光ビームスプリッタまたは第 2 PBS へ反射しても構わない。

【0022】

発明の詳細な説明

図 1 ~ 4 は、本発明に基づく光学イメージシステムの実施形態例の簡易概略図である。本発明は、デカルト PBS と高速照明光学系を含みまたそれを利用するよう設計されるのが有利な各種光学イメージシステムを記述する。読者の便宜のため、同じ最後の 2 桁を有する参照数字によって識別されるが、このような名称は本発明の範囲を制限するためのものではない。

30

【0023】

デカルト PBS が偏光の固定「材料軸」を有することから、本発明は、マクニール PBS の従来の p 及び s 軸に対してではなく、デカルト PBS の x 及び y 軸に対して参照される偏光成分を有するものとして光を参照する。図 1 ~ 4 の主光線では、x 成分は反射平面内に含まれる偏光方向を有することから主光線の p 偏光と同一であるのに対して、y 成分は反射平面に垂直に配向した E 場を有することから、主光線の s 偏光と同一である。

【0024】

図 1 は、光線 14 を提供する光源 12 を含む光表示または結像システムを示す。光源 12 はランプ 11 と反射体 13 を含む。好適なランプは、キセノン、白熱、レーザ、LED、ハロゲン化金属アーク、または高圧水銀光源を含む。光線 14 は、光を事前偏光する照明光学系 15 を通過し、デカルト PBS 要素 50 に当たる。

40

【0025】

デカルト PBS 要素 50 は、ガラスキューブ 54 に入れられ、y 偏光で入射する光を反射するよう配向された 3M 先進多層高分子フィルムの層（3M 先進フィルム）52 を含む。

【0026】

マクニール PBS システムは一般的に、ブルースター角を所望の値（一般的には 45°）に調整するのに必要な特定の屈折率を提供するガラスキューブに埋め込まれるよう拘束されるが、本発明のデカルト PBS の例はそうっていない。ワイヤグリッド偏光子または 3M 先進フィルム偏光子は単独で使用しても構わないが（図 2 と 3 を参照）、キューブ構成で使用することもできる。本実施例で使用されるほとんどの 3M 先進フィルム偏光子は

50

ガラス板の間にあるいは薄膜として、つまり、光が材料媒体に入るときフィルム内の透過角度がスネルの法則によってフィルム法線の方へ向けられる構成の中で最も良く機能する。他の 3 M 先進多層 P B S は任意の屈折率のガラスキューブの中でよく機能するものが作成されており、これにおいては光が空気から埋め込み媒体へ入るときにフィルムの透過角度がフィルム法線の方へ向けられていない。

#### 【 0 0 2 7 】

ガラスキューブの中で良く機能するフィルムは、特にフィルムの表面に垂直な方向において、各層の非等方屈折率の適切な値を確保するという追加要件を持つ。特に、交番層のフィルムの厚さ方向の屈折率は、同じであるのが理想である。これは、偏光子の X 方向（通過方向）の各屈折率が等しいことに加えての要件である。偏光子がすべての入射角度についてその通過軸に沿って高い透過を持つためには、交番層の X 及び Z（フィルムに垂直）屈折率の両方が一致する必要がある。X 及び Z の各屈折率の両方について一致を達成するには、X の率だけが一致するときに使用されるものとは異なる材料セットが必要である。3 M ブランド「D B E F」フィルムなどの従来の 3 M 多層フィルムは、過去においては X の率に一致させて製造された。

#### 【 0 0 2 8 】

すべての層の X 及び Z の率の両方を一致させる 1 つの方法は、フィルムが Y 方向に伸ばされているときに X 及び Z の両方向に弛緩（つまり縮む）ことができる、真の単軸延伸を与えることである。そのようにすると、X 及び Z の屈折率は、所与の層において同一である。ということは、第 1 材料の X の率に一致する第 2 材料が選択されれば、第 2 材料層も同じ延伸条件に曝されるため Z の率も一致しなければならない。

#### 【 0 0 2 9 】

多くの実際的な用途において、これらの層の間での Z の率の小さな不一致は、その光が各フィルム層に対して作る角度によっては受け入れ可能である。ただし、フィルムがガラスプリズムの間に積層されているとき、つまり高い屈折率の媒体に浸されているときは、光線はフィルム平面の法線の方へ曲げられない。この場合、その光線は、空気からの入射に比べてもっと大きな度合いの Z の率の不一致を感知し、X 偏光の光線は部分的またはさらに強力に反射される。光線がフィルム内のフィルム法線に対して作る角度が高ければ高いほど、Z の率の一致はより接近していなければならない。

#### 【 0 0 3 0 】

Z の率の不一致の許容される大きさは、常に Y の率の不一致に比例している。これは、後者の値が偏光子の薄膜スタック内に必要とされる層の数を決定するからである。薄膜スタックの全反射率は、率の不一致  $n_x$  とスタック内の層数 N によって等しく制御される。つまり、積  $n_x \times N$  はスタックの反射率を決定する。たとえば、同一反射率であるが層数が半分のフィルムを提供するには、各層の間の率の差の 2 倍が必要となるなどの要件がある。 $n_z / n_y$  は、制御を必要とする関連パラメータである。空気中での使用が意図されているビームスプリッタフィルムでは、比率  $n_z / n_y$  は 0.5 未満が望ましく、また 0.2 未満がより望ましい。ガラスなど高屈折率の媒体に浸されたフィルムでは、比率  $n_z / n_y$  は 0.2 未満が望ましく、また 0.1 未満が更に望ましく、そしてまた 0.05 未満が最も望ましい。

#### 【 0 0 3 1 】

$n_x$  は、また、 $n_y$  に比べて非常に小さくならならず、また  $n_z$  が非常に小さい場合は、この比率は空気中で使用されるフィルムについては 0.1 未満が望ましい。浸されたフィルムでは、この比率は 0.1 未満が望ましく、0.01 未満が最も望ましい。ただし、本書にも参考として関連部分が組み入れられている、共同譲渡された米国特許出願番号 08 / 958, 329 に記載されているように、 $n_z$  がゼロでなければ、X の率の小さな不一致を使用して p 偏光光の透過を改善できる。

#### 【 0 0 3 2 】

Z の率の不一致は、s 偏光光の透過には無関係である。定義上、s 偏光光は、フィルムの Z 屈折率を感知しない。ただし、以下に示すように、様々な方位角での複屈折多層偏光子

の反射特性は、ビームスプリッタが y 偏光 ( s 偏光に近い ) 光を反射し、 x 偏光 ( p 偏光に近い ) 光を透過するよう構成されている場合に投影システム性能が優れたものになる。 x 偏光光を反射し y 偏光光を透過するビームスプリッタは、主な光軸に沿ってよく機能するだろうが、有限円錐角を有する光線の場合、コントラストは、円錐角が小さくなるに連れて急速に悪化する。キューブ内に浸したフィルムでは、この問題は一層深刻である。大きな円錐角を有し高コントラスト比を必要とする光システムでは、好適な P B S 構成が y 偏光光を反射し x 偏光光を透過する。

#### 【 0 0 3 3 】

キューブ構成の使用は、傾けられたガラス板を通過する光によって作られるものなど、非点収差に対する感度が高い場合、あるいは縮小光路長が重要な場合に特に有利である。このキューブ構成は、熱により引き起こされる応力光効果と重量増加を被るという、マクニール偏光子にもある欠点を有する。

10

#### 【 0 0 3 4 】

図 1 をまた参照すると、ビーム 1 4 の y 成分を含んだ偏光ビーム 1 8 は、 y 偏光ビーム 1 8 を 3 つのサブビーム 2 0、2 2 及び 2 4 へと分割するカラースプリッタ / コンバイナプリズム 3 6 の方へ向けられる。偏光サブビーム 2 0、2 2 及び 2 4 は、それぞれ、赤色、緑色、及び青色の反射イメージャ 2 6、2 8 及び 3 0 から反射及び変調される。一般に、現行の反射 L C D 光バルブは、固定デカルト座標の中で最もよく記述されるその暗状態と明状態に対して通常軸と異常軸を有し、デカルト P B S の固定偏光軸はこのイメージャのデカルト構造に一致するのにより適している。

20

#### 【 0 0 3 5 】

反射・変調サブビームはコンバイナ 3 6 により再結合され、 x 偏光を有する結合ビーム 3 2 になる。結合ビーム 3 2 の被変調成分は P B S 要素 5 0 の中を通過し、投影レンズ 3 4 によって画像として投影される。

#### 【 0 0 3 6 】

本実施例で例示された照明光学系 1 5 は、 P B S キューブ 5 0 の前にプレ偏光子または偏光コンバータ 1 5 a、及び P B S キューブ 5 0 の後にクリーンアップ偏光子を含んでいても構わない。

#### 【 0 0 3 7 】

照明光学系 1 5 は、2 . 5 以下の F ナンバーを有する光でイメージャ 2 6、2 8 及び 3 0 を照らす。

30

#### 【 0 0 3 8 】

イメージャ 2 6、2 8 及び 3 0 は、スメクチック、ネマチック、またはその他の適切な反射イメージャでも構わない。スメクチックの場合、図 1 と 2 の光学イメージシステム 1 0 のイメージャ 2 6、2 8 及び 3 0 は、強誘電性液晶ディスプレイ ( F L C D ) イメージャでも構わない。デカルト P B S とスメクチック L C D イメージャの組合せにより、極めて低い F ナンバーを有する光学系が可能となる。 F L C D などのスメクチック L C D は、特に広い受光円錐を有するのが普通であり、従って、本発明に基づいた各システムの低 F ナンバー機能をより良く利用する。多層高分子 P B S と F L C 反射イメージャとの組合せは、この低 F ナンバー機能と本発明に使用できる高速な光ビームを利用する。スメクチック光バルブの例としては、強誘電性液晶ディスプレイ ( F L C D )、アンチ F L C D ( A F L C D )、アナログ F L C D、及びエレクトロクロニック L C D モード光バルブが含まれる。ネマチック液晶光バルブの例としては、ねじれ、垂直整列、複合整列、および P i セルの各光バルブが含まれる。

40

#### 【 0 0 3 9 】

図 2 は、反射体を備えたアークランプなどの光源 1 1 2 を含む、投影システム 1 1 0 の第 2 実施例である。この光源はまた、発光ダイオードまたはレーザー光源などの固体光源も使用できる。システム 1 1 0 は、デカルト P B S 1 5 0、イメージャ 1 2 6、照明光学系 1 1 5、及び焦点レンズ 1 3 4 を更に含む。 P B S 1 5 0 は、ワイヤグリッド偏光子または板ガラスの間に積層された 3 M 先進多層フィルムなど、自立型のデカルト P B S である

50



。図2はビーム路と光線偏光を示す。y偏光(s偏光に近い)を持つ光は丸付きXで示されており、これはこの偏光がこのページの中に入ることを示す。x偏光(p偏光に近い)を持つ光は偏光ベクトルを示す実線矢印によって示されている。実線は入射光を示し、点線は、変化した偏光状態を持つイメージャから返された光を示す。光源から提供された光は照明光学系115によって整えられる。この光のy成分はデカルトPBS150によって反射され、反射イメージャ126に当たる。この反射イメージャはx偏光を有する画像ビームを反射・変調する。反射したx偏光ビームはPBS150によって透過され、焦点レンズ134によって合焦される。光のフィルター、ビームホモジェナイザ、偏光コンバータ、リレーまたは視野レンズなど、投影システムの数多くの設計固有の構成部品は、この説明に不要なので図から省かれているが、明細書を読んだ当業者によって配置されても構わない。

10

#### 【0040】

図3は、原ビームの透過x偏光成分も使用する、本発明に基づいた投影システム210の第3実施例である。システム210は、光源212、デカルトPBS250、第1イメージャ226、第2イメージャ228、照明光学系215、及び投影レンズ234を含む。イメージャ226と228は、順次式カラーまたはモノクロである。光源212からの光は、照明光学系215の中を通過し、PBS250上に入射する。PBSは、この光のx偏光成分を透過し、y偏光成分を反射する。x偏光成分は、第1イメージャ226によって反射されると共にy偏光ビームへと変調され、これがPBS150によって投影レンズ234の中へと反射される。このy偏光成分は反射され、第2イメージャ228によってx偏光ビームへと変調され、これはPBS250によって投影レンズ234の中へ透過される。元の偏光状態にあるプロジェクタから戻された光は、図には示されていない。この光は、イメージャから戻り、PBSはこの光をランプへと向ける。

20

#### 【0041】

図4は、光源312を有する、本発明に基づく投影システム310の第4の実施例を示す。光はアークランプ311が生成し、楕円反射体313がそれを集め、そしてこの光を照明光学系315の方へと送る。照明光学系315は、コリメーティングレンズ317、第1小型レンズアレイ319、第2小型レンズアレイ321、及びコンデンサレンズ327を含む。第2小型レンズアレイ321とコンデンサレンズ327との間には、ゲフケンタイプの設計のものなど、任意の偏光コンバータ323が続いても構わない。偏光コンバータ323の変換効率によっては、偏光コンバータの直ぐ後に任意のプレ偏光子325を含めることが有利な場合もある。小型レンズアレイ319と321の組は、コリメーティングレンズ317から名目的に平行にされた光を受け取る。偏光コンバータ323とプレ偏光子325は、所望の方向にその光を偏光する。

30

#### 【0042】

小型レンズアレイ319と321及びコンデンサレンズ327は、反射イメージャ326、328、及び330を均一に照明するためにこの光を整形し均質化する役目を果たす。デカルトPBS350は、次にy偏光光を3つの反射イメージャ326、328及び330の方へリダイレクトする。PBS表面352はガラス板の間で自立していても、あるいは図4に示すガラスプリズム354の中に入れても構わない。

40

#### 【0043】

図4に示すもののよう、イメージャ3台の構成では、色分解プリズム336は光をその原色、つまり赤色、緑色、及び青色に分解する。視野レンズ338、340、及び342などの介在レンズを各イメージャと色分解プリズム336の間に挿入して、システム全体の光応答を更に最適化しても構わない。イメージャ326、328、及び330は、特定の画像情報によって反射時の光の偏光状態を様々な度合いに変調する。色分解プリズム336は、赤色、緑色、及び青色の画像を再結合し、その光をデカルトPBS350に渡し、そこで実質的にx偏光光だけを渡すことによって画像の偏光状態が分析される。y偏光光は、光源312の方へリダイレクトされる。デカルトPBS350を渡す光は、投影レンズ334によって収集され、前面(反射)投影または裏面(透過)投影スクリーン(示

50

されていない)上に合焦される。任意使用の後偏光子344は、PBS350と投影レンズ334との間に挿入しても構わない。当業者は、他の光学構成が可能であることを理解するであろう。

#### 【0044】

デカルト偏光子は、1軸または2軸に沿って湾曲していても構わない。マクニールPBSシステムまたは減衰全反射PBSシステムはこのような柔軟性を提供しない。

#### 【0045】

投影システム内でランプ出力の大部分を利用することは困難であり、専用光学部品の使用を必要とする。反射光学系はランプ裏側で利用されることが多い。広い円錐角(小さなFナンバー)を利用する投影システムでは、効率も高くなる。3M先進多層複屈折偏光ビームスプリッタ(PBS)は、可視スペクトル全体に対して最も受光角の広いもののひとつである。この多層複屈折PBSの更なる利点は、そのビームスプリッティング/反射機能とその柔軟性/成形性の特性とを結合できることである。図5、7、8、及び9は、曲面、非平面、デカルトPBSなど、本発明に基づく光学イメージシステムの代替実施例を示す。反射光学系の方が、低Fナンバー光錐のハンドリングにおいては、屈折光学系よりもコンパクトでシンプルなシステムを提供することが当業でよく知られている。本書に記載した多層PBSフィルムは、入射光の偏光状態によって、反射及び透過の両方の特性を有する。このため、凹多層偏光フィルムは、広角ビームスプリッタとしても、また投影システム内のビーム集束光学系の一部としても使用できる。

#### 【0046】

曲面PBSは、図5に略図的に示したシステムの中で1つ以上のビーム整形レンズの代わりに使用できる。図5は、曲面デカルトPBS450、光源412、反射LCDイメージャ426、及び接眼レンズ434を含む、光学イメージシステム410を示す。光源412は、反射及び屈折ビーム整形調整要素を含んでいても構わない。

#### 【0047】

システム及びその用途によって、曲面PBS450は、1つまたは2つの直交面内軸に沿って湾曲していても構わない。つまり、単純または複合湾曲部のいずれかを所有できるのである。1つの軸に沿って湾曲部を有するPBSを利用するシステムは、直交軸に沿ってビームを整形するためにシリンドリカルレンズを必要とする場合がある。

#### 【0048】

曲面偏光子は、反射投影及びリア投影システムの両方、そしてまた観察者の目の中に直接投影するいわゆるマイクロディスプレイ、あるいは「ヘッドアップ」ディスプレイにおけるような半透明な表面からの反射によって仮想画像を形成するシステムで有用な場合がある。

#### 【0049】

直交偏光子の吸光度は、一定の入射角度について、消光角と方位角の円形(放射形)グラフとして提示されると、有名な「マルタクロス」形状を形成する。

#### 【0050】

直交偏光子同士の間複屈折補償フィルムを挿入すると、長軸間の全角度における吸光度が高まり、円形(角度不依存)形状へのクロスが基本的に広がる。また、曲面偏光子を使用することにより、複屈折補償フィルムを必要とせずに大きな補償を提供できる。

#### 【0051】

二次元曲面PBSは、図6に示す技術を使用して実用化されている。3M多層反射偏光子光学フィルム(「MOF」)550はプレート562内の穴560の上に延ばされ、穴560からフィルム560を引っ張るのに真空が適用された。フィルム550を柔らかくし、たるみを深くするためにヒートガンで熱を加えた。冷却後、フィルムはその凹形状を保持した。曲面MOFは、曲面デカルトPBSとして機能し、1つの偏光の反射光を集束し、直交偏光を透過させる。複数の直径及び加熱時間が試された。すべてのケースにおいて、凹形状の端まで、偏光消光が維持された。楕円縁を持つ曲面PBSは、また、楕円穴からの真空成形によって作成することもできる。この曲面PBSの偏光軸は、穴の長軸への

MOFの光軸の整合によって制御できる。

【0052】

図7に示す通り、曲面PBSを使用したマイクロディスプレイの光学縦列が示された。拡散源512からの光が照明光学系515から渡され、事前偏光を受け、曲面PBS550から反射され、そして四分の一波長ミラー(QWM)558から反射された。その結果得られる偏光回転により、光は、PBS550を通過して接眼レンズ534に到達することができた。この曲面は照明光をQWM558上に集中させ、平面PBSからのものよりも明るい画像を実現した。QWM558を垂直軸の周りに45°回転させると、薄膜偏光子の暗中央バンド特性を含む、暗状態を接眼レンズ534に提示した。明状態角度範囲でのQWM558の画像は水平な平面内に圧縮されたことが観察された。

10

【0053】

球面及び楕円曲面ミラー双方からの焦点の位置を計算するために数学モデルが使用された。a及びbをそれぞれの長軸及び短軸として、楕円率 $e = a / b$ の楕円断面では、「ボール」の底から測定された)ミラーの焦点距離は、 $F = b e^2 / 2$ である。この結果は、コンパクトな設計、つまり焦点距離が短い場合には、 $e < 1$  (扁平楕円)であることを示している。

【0054】

シミュレーションの結果、所与の焦点距離では楕円形状に大きな性能上の利点はないことが示された( $F = R / 2$ が非常に類似した性能を持つ)。また、曲面PBSへの垂直入射の近くで光線角度の歪みと照明均等性が最小化されることも明らかになった。

20

【0055】

図5に示すシステム410を再度参照すると、光源412(拡散小バックライト)412とイメージャ426を同一平面上で且つ接眼レンズ434と同一軸に沿って配置することにより、明白な画像歪みのない良好な照明がイメージャ426から得られた。最もコンパクトな設計では、曲面PBS450が、イメージャ426及び隣接光源412の共通端と位置合せされている。光源412を傾けることにより照明が若干改善された。この光源の出力は、二色性偏光子によって偏光された。

【0056】

図8はもうひとつの実施例、つまり光源612がイメージャ626の上にくる光学イメージシステム610を示す。曲面デカルトPBS650を最初透過した入射光の偏光を回転させるのに曲面QWM658が使用されている。イメージャ426の照明を最適化するために、QWM658の曲面からの追加ビーム成形を使用しても構わない。

30

【0057】

光源をPBSのイメージャ側に配置するか、もしくはPBSを切頭して光源を切頭端に隣接して配置することによって、リターダフィルムを排除することができる。

【0058】

MOF偏光子は、多数の多種多様な曲面に成形して、不均質な光源を平面またはその他の所望の場所に結像して均質性を高める手段を作ることができる。これは、均一な照明を得るために投影システム内に一般的に使用される小型レンズアレイを置換したり、あるいはそれを増やすのに使用することができる。図9は、小型レンズ形状のデカルトPBS750を含む光学イメージシステム710を示す。実験の結果、イメージャ726上に均一な照明を得るには光源領域712の形状が台形であることが最適であることが判明した。

40

【0059】

図10は、2曲線デカルトPBS850と2光源面平面812を含む、光学イメージシステム810を示す。図10bに示す通り、単一ランプ811、照明/調整光学系815、及び小型レンズアレイ817を使用して2光源面平面812を提供しても構わない。2光源ビームは、曲面デカルトPBS850から反射し、次にイメージャ826から反射する。投影レンズまたは接眼レンズ834は、投影または閲覧用に透過ビームを準備する。2つの曲面PBSが使用され、1つの縁で結合される場合(1つの成形部品である場合もある)には、2つの光源(または2つの平面)の使用が可能である。ユニオンライン853は

50

イメージャの中心線の上にくるのが理想である。「光源平面」が均質な照明の平面である投影システムでも同じ概念が使用できるであろう。

#### 【 0 0 6 0 】

現実の問題として、偏光解消カスケードとも呼ばれる複角偏光解消効果は、通常の反射イメージャ投影システム内の非常に高速な光学系の使用を制限する。図 1 1 ~ 1 8 は、複角偏光解消効果または偏光解消カスケードの問題を図示したものである。マクニール P B S の機能は入射光の入射角度に依存しているため、ブルースター角反射を利用したマクニール P B S システムは P B S コーティングの垂直軸の周りの円柱座標においてより適切に記述される。しかし、結像システムは、固定直交軸に対して機能するイメージャを含む。この数量的な差の結果は、図 1 1 と 1 2 に示すプレ偏光光線、光線 1 ~ 4 を検討することによって見分けられる。これらの図では、 $x$ 、 $y$ 、及び  $z$  軸は主光線に関して参照され、 $z$  軸は主光線の伝播ベクトルに平行であり、 $y$  軸はプレ偏光子透過軸に整合されている。プレ偏光子と P B S との間を通過する光について、 $x$ 、 $y$ 、及び  $z$  軸が示されている。 $y$  軸は、この例では垂直方向として参照される。主光線は反射イメージャの表面に垂直である。P B S から反射した後の光線の各軸は、 $x'$ 、 $y'$ 、及び  $z'$  によって識別される。方向  $y$  と  $y'$  は平行である。

10

#### 【 0 0 6 1 】

実際の光源は円錐形状の光束を投影する。ここではすべての光線は完全に平行ビームになっていない。したがって、実際の投影システムは光錐を使用するのが普通である。これらの光錐は円錐角によって定義される。円錐角とは、投影システムが使用できる光束のすべての光線を含む最小角度である。

20

#### 【 0 0 6 2 】

図 1 1 と 1 2 の光線 1、2、3、及び 4 は、このような光錐内にある 4 種類の光線を示している。光源 7 0 は、プレ偏光子 7 2 によって最初に調整された光錐を生成する。説明を分かりやすくするため、これらの光線は大きな屈折値で示されている。すべての光線は P B S 7 4 に入射することが理解されるであろう。光線 1 は  $z$  軸に平行な主光線である。光線 2 ~ 4 は、スキューレイ、つまり、主軸 ( $Z$ ) に平行でない光線である。光線 2 の伝播ベクトル  $k_2$  は  $x$  成分を有し、水平に角度が付いている。つまり、 $k_2$  ベクトルの端は、水平  $x - z$  平面の中で、光線 2 としてプレ偏光子上の同一場所から発する主光線の端から水平にずれている。光線 3 の伝播ベクトル  $k_3$  は、垂直成分を有し、そして垂直に角度が付いている ( $k_3$  ベクトルの端は垂直な  $y - z$  平面の中で、光線 3 としてのプレ偏光子上の同一場所から発する主光線の端から垂直にずれている)。光線 4 は垂直にも水平にも角度が付いている。投影システムの光錐内のこれら 4 タイプの光線の各々の相対量は、照明システムの詳細に依存する。一般的な照明システムにおける一般的なハロゲン化金属またはキセノンランプ光源は、簡単な位相空間要素から、タイプ 1 光線はほとんど提供せず、タイプ 2 光線はタイプ 3 光線と同じくらい提供し、そしてタイプ 4 の光線は他のどのタイプよりも多く提供する。

30

#### 【 0 0 6 3 】

図 1 1 の光線 1 は、投影システムの主光線であり、プレ偏光子 7 2 によって  $y$  方向にプレ偏光される。光線 1 は、デカルト偏光子であれマクニール偏光子であれ、 $y$  または  $s$  偏光のいずれかを反射するよう配向された完全な反射偏光子によって 100% 反射される。この光線の純粋な  $y$  偏光はまた、マクニール P B S 用の純粋な  $s$  偏光でもある。つまり。偏光ベクトルは、P B S により反射される光線の反射平面に垂直である (図 1 1 の  $x - z$  平面)。その後で  $z'$  軸に沿って、またそれに垂直に配置されたミラーまたはミラー状イメージャから反射されると、光線 1 は反射の後、純粋に  $y$  偏光及び純粋に  $s$  偏光された状態を維持し、光源の中へ高効率で反射により戻される。このため、光線 1 に似た光線は、デカルト P B S またはマクニール P B S のいずれかと一緒に使用されるときは、非常に良好で漏れの少ない暗状態と、非常に高いコントラスト比を提供する。残念ながら、ほとんどの光源は完全な平行化された光を提供できない。

40

#### 【 0 0 6 4 】

50

光線 2 は、 $x$  成分を有する伝播方向 ( $k_z$  ベクトル) を持つよう、光線 1 から水平に偏向されてきた。光線 2 は、 $x - z$  平面に含まれる。つまり、光線 2 は水平平面内の角分散を有するのである。 $x - z$  平面はまだ反射平面であるため、光線 2 はまだ P B S からの反射の前後両方とも、そして  $z'$  軸に沿って、またそれと垂直に配置されたミラー状イメージャからの反射後でもまだ完全に  $y$  偏向されている。光線 2 はまた、 $y$  偏向が  $s$  偏向と同一であるという特性を有し、このため理想的なマクニール偏光子と理想的なデカルト偏光子はいずれも、この偏向によってこの光線がブルースター角から大きく逸脱しすぎることがないがぎり、光線 2 タイプの光線に対して等価な高いコントラストを提供しなければならない。これが発生すると、マクニール偏光子は  $s$  及び  $p$  偏光光の両方を反射し、イメージャから戻った光線がランプに反射で戻るようにする。

10

#### 【 0 0 6 5 】

図 1 2 の光線 3 は、光線 3 が  $y - z$  平面に含まれるように、光線 1 から偏向されている。光線 3 は光線 1 に対して垂直に傾斜しており、垂直平面に沿って角度がずれている。今、純粋な  $y$  方向に沿った偏光に加えて、光線 3 は、 $z$  方向の偏光の成分も含んでいる。図 1 8 に示すように、後で反射イメージャから反射されると、結果として得られる光線 3' の反射平面は、もはや光線 3' のときと同じではなくなる。光線 3' の偏光ベクトルは反射によって影響されていないため、偏光平面のこの回転は、光線 3' がもはや純粋に  $s$  偏光しておらず、部分的に  $p$  偏光していることを意味している。これは、これは、「偏光解消カスケード」の一部と呼ぶ反射による効果的な偏光解消を引き起こす。この偏光解消効果は、マクニール P B S 及びデカルト P B S が入射光を偏光する方法の相違点を分析した後に、更に以下で検討される。

20

#### 【 0 0 6 6 】

図 1 3 ~ 2 0 は更に主光線である光線 1 と P B S からの垂直傾斜の光線 3 の反射を更に分かりやすく示している。 $x$  軸と  $z$  軸は、P B S から反射した後、 $y$  軸の周囲を回転し、 $z$  軸を主光線の伝播方向に整列する。回転した軸は、 $x'$ 、 $y'$ 、 $z'$  とラベルが付けられ、反射した光線はそれぞれ光線 1' 及び光線 3' とラベル付けされる。

#### 【 0 0 6 7 】

図 1 3 ~ 2 0 では、実線のベクトルで示された主光線 1 は  $z$  方向に伝播する。図 1 3 ~ 1 6 は P B S 7 4 から反射されたときの光線 1 と 3 の経路を示す。P B S 7 4 は、P B S 面 7 8 がキューブの内部対角面に沿って配置された点線のキューブ 7 6 を含む。このキューブは入射光線を受光する入射面 8 0 と、P B S 面から反射された光線がキューブを出るときに通過する出口面 4 5 8 を有する。

30

#### 【 0 0 6 8 】

図 1 3 は入射側の透視図であり、図 1 4 は出口側の透視図である。図 1 5 は上面 8 4 の上面図であり、図 1 6 は P B S 7 4 の入射側立面図である。一点鎖線で示された光線 3 は、 $y - z$  平面に沿って光線 1 に対して  $30^\circ$  の角度で伝播する。光線 1 もまた同じ  $y - z$  平面に含まれている。説明を分かりやすくするため、両方の光線は垂直な鎖線軸の交差によって印された P B S 7 4 の表面上に同じ接点 P を有するものとして示されている。P B S 7 4 から反射すると、光線 1' は負の  $x$  ( $z'$ ) 方向に伝播するのに対して、光線 3' は  $x - y$  ( $y, z'$ ) 平面の中で  $30^\circ$  逸脱する。

40

#### 【 0 0 6 9 】

図 1 7 は、図 1 4 の相当図であるが P B S 面が従来のマクニールタイプを使用したものであり、当初は非偏光の光線 1 と 3 の偏光状態に反射が及ぼす影響を示している。光線 1' と 3' の反射成分の偏光状態は矢印の小さな方向によって示されている。反射面の法線は、 $\hat{a}$  として示されている。光線 1 と光線 3 双方の  $s$  偏光状態が反射されるのが理解されるかもしれない。ただし、従来の反射偏光子は入射光線の入射平面に基づいて動作するため、光線 1' 及び光線 3' それぞれの反射偏光状態は各光線の入射角度に対して垂直である。したがって、光線 3' の偏光状態は、マクニール P B S から反射した後、図 1 7 に示すように、 $y, z'$  平面から離れるように回転される。つまり、通常のマクニール偏光子を含むシステムでは、垂直に傾斜した光線の反射は、主光線の反射に対して偏光解消され

50

る。この傾斜角度が大きければ大きいほど、偏光解消効果も大きくなる。傾斜角度  $30^\circ$  では、偏光解消効果は、反射平面の、従って所望の  $y$ 、 $z'$  平面からの  $s$  偏光光の偏光状態が  $39.2^\circ$  回転されることである。

#### 【0070】

図17と対照的に、図19は非偏光の光線1と光線3の両方が表示システム10のデカルトPBS50から反射するところを示している。デカルトPBS50は固定垂直反射軸を有する。このデカルトPBS50は3M先進多層複屈折フィルム、あるいはワイヤグリッド偏光子などの他の適切なデカルトPBS、あるいはその他のデカルト偏光子PBSを含む。

#### 【0071】

図18は、PBS74からの光線3'の反射と、その後の反射イメージャからの光線3'の反射を単純化して示している。本モデルでは、イメージャ暗状態における画素化またはストレイリターデーションによる回折及び散乱など、イメージャの性能要因に係わるコントラスト低下を避けるため、理想的なイメージャとしてミラーが使用される。ミラーは、光の偏光状態を回転せず、暗状態におけるほとんどのネマチックモードの理想的な反射LCDイメージャの機能を示す。

#### 【0072】

図12に示す偏光解消効果は、光線3''がイメージャ86から反射されるときに増幅される。定量的には、光線3'の偏光状態が $y-z'$ 平面から角度 $\theta$ ずれると、ミラー状イメージャから戻る光線3''の偏光ベクトルは $s$ 偏光状態から $2\theta$ の角度を形成し、そのため偏光解消カスケードを被る。反射平面の回転から派生するこの純粋に幾何学的な効果により、ミラー化された光線3''は $p$ 成分を所有し、これがマクニールPBSから漏れて、システムの暗状態におけるコントラストを低下させる。この偏光解消カスケードの問題は、PBSとイメージャとの間に配置された色分解面など、他の傾斜した反射面の存在によって更に悪化する。スキューレイ偏光解消増加の詳細な扱い方は、関連箇所を参考として本書に組み入れたAlan E. Rosenbluth等の“Contrast Losses in Projection Display from Depolarization by Tilted Beam Splitter Coatings” 1997 International Display Research Conference, pp. 226-9 (以後、「Rosenbluth IDRC」と呼ぶ) 及び、Rosenbluth Contrast Propertiesの中にある。

#### 【0073】

Rosenbluth Contrast Propertiesでは、追加部品である四分の一波長板を主光線の偏光方向に平行または直角に配置することによって偏光解消を補償する方法について言及している。しかし、低Fナンバーでは、光の色成分を分離し再結合するものなど、他の傾斜表面から反射したスキューレイを原因としてPBSによって誘発された偏光解消の増幅が発生する。Rosenbluthは、「Beam-dividing interference coatings give rise to polarization crosstalk via compound-angle depolarization, as illustrated... for a PBS coating... The depolarization gives rise to undesired intensity in the dark stage image, causing contrast to degrade proportional to  $NA^{-2}$ 」(ビーム分割干渉コーティングは、PBSコーティングについて図示されている通り、複角偏光解消による偏光のクロストークを引き起こす。この偏光解消は暗段階画像における不要な輝度を起こし、コントラストを $NA^{-2}$ に比例して劣化させる)と表明することにより、反射干渉コーティングの使用に反対している。Rosenbluth Contrast Properties, pp. 383-84を参照のこと。Rosenbluthは更に、「typical requirements of contrast  $> 100:1$  limits  $NA$  to ~

10

20

30

40

50

0.15 [f/3.3] for a PBS/TNLC module operating without quarter-wave retarder」(四分の一波長リターダなしで動作するPBS/TNLCモジュールではコントラスト>100:1の一般要件はNAを~0.15 [f/3.3]に制限する)と述べている。Rosenbluth Contrast Properties, p. 382を参照されたい。したがって、Rosenbluthは、従来の偏光子の「偏光解消カスケード」効果は、マクニールPBSを利用したプロジェクタのFナンバーを約3.3以上に実効的に制限し、それによりこれらのシステムの光スループットを制限している。

【0074】

一般に、デカルト偏光子50は、y偏光した光を反射し、x偏光した光を透過する。図19に示されている通り、これは非偏光の光についても当てはまる。デカルトPBS50はPBSの材料に固有かつ光線の入射角度に非依存の固定反射軸を有するため、当初y偏光の光線3がスキュー光線3'として反射されたときの偏光は、反射した主光線1の偏光に対して大きくは回転されない。反射した光線3'の偏光状態は、反射光線を含むy-z'平面とPBSの垂直軸の中にあるよう拘束される。反射した光線3'は実質的なx'成分を有しない。

【0075】

したがって、y偏光光はスキューレイの入射角度とは無関係に、後の傾斜した反射面に向けられる。反射面が自らの一定の偏光解消を導入する可能性はあるが、偏光解消は存在しなくなるか最小となるため、その反射面はその光線の前から存在する偏光解消を増幅することはない。この効果は、LCDイメージャにほぼ純粋にy偏光した光線が与えられるよう確保し、またイメージャ到達前に導入された一定の度合いの回転を最小化する。

【0076】

光線3'がデカルトPBS50から反射される場合、偏光解消カスケードと図12と18に関連して記述されたコントラスト低下は発生しない。デカルトPBSは、入射光がs偏光状態にあることを要求しないし、またそれから利益を得ることもない。

【0077】

本発明は、きわめて広い範囲の入射角度を有する光線を利用できる光学イメージシステムの実施例を可能にする。本発明に基づく光学系は、Fナンバーが2.5未満で受入可能なシステムコントラストを持つ照明光学系を有する。受入可能なコントラストは、反射鏡を理想的なイメージャとして使用する投影システム内の全ての関連カラーバンドに対して少なくとも100:1と定義される。デカルト偏光子50など、本発明のシステム10は、レンズスピードf/1.8を有し、またコントラスト比200:1以上を提供する照明光学系で試験された。

【0078】

要するに、本発明に基づく光学系は、マクニールPBSではなくデカルトPBSの使用によって偏光解消を最小化する。偏光解消効果を理解しこれを最小化することにより、本発明はきわめて低いFナンバーを有する光学系の使用を可能にする。

【0079】

本発明のシステムは、主光線に対して垂直にも水平にも角度の付いたスキューレイに更なる利点を提供する。図12に戻って、光線4は、垂直にも水平にも角度がずれている。光線4の偏光ベクトルは、x方向にもy及びz方向にも成分を含んでいる。反射した光線3'について記述されたすべての偏光解消効果は、従来の「入射平面」依存偏光子を含むシステムにおいて、反射した光線4'に対して発生する。さらに、LCDイメージャには、主要なy偏光とともにx'偏光の追加成分が与えられる。偏光解消成分は、マクニールPBSまたは色分解面など、以後の傾斜反射面からの反射時に増幅される。増幅される偏光解消成分は、タイプ3の光線の場合と同様に、暗状態において同じ低下をもたらす。この効果に加えて、イメージャは通常、光のたったひとつの偏光でよく機能するよう最適化されるため、マクニールPBSからの光の中にx'偏光成分が存在することによって更なるコントラスト低下が起こる場合がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 0 】

それに対して、デカルト P B S を使用する本発明の光結象システムは、一般に、偏光の反射した x 成分を最小化することから優れた性能を提供する。

## 【 0 0 8 1 】

本発明は更に、投影システム内で反射デカルト偏光子を使用することの更なる利点を開示する。示された実施例にある通り、デカルト偏光子は、任意の入射角度に配向するか、あるいは容積を最小化し、キーストン補正を達成し、あるいは投影システムの性能を最適化するように成形しても構わない。1つの実施形態例では、デカルト P B S が主光線に対して  $40 \sim 50^\circ$  の間の角度に配向される。

## 【 0 0 8 2 】

P B S 50 は設定偏光軸を有するため、この P B S 50 の配向は重要である。図 20 は、P B S 50 が表面の法線の周りに  $90^\circ$  回転される場合は、光線 1' と 3' の偏光方向を示す。P B S 反射材料軸はいまは垂直でなく水平である。この場合、偏光状態は図 17 のマクニール P B S 用の回転と類似しているが反対の回転を受ける。より良い結果を得るためには、偏光方向が光線 3' の伝播方向  $k_3$  に垂直であり、反射材料軸と  $k_3$  により定義される平面に含まれるのが望ましい。光線 1' に対する光線 3' の偏光状態の回転は図 20 に示される。

## 【 0 0 8 3 】

図 24 と 25 は、従来の P B S システム及び例示した 3 M フィルムデカルト P B S 50 の場合の、偏光解消コントラスト比と F ナンバー及び受光角のコンピュータモデリングの結果を示している。本発明に基づくデカルト P B S システムは F ナンバーが低いほど、また受光角が広いほどはるかに良好なコントラスト比を提供することを注記することができる。

## 【 0 0 8 4 】

本発明の利点は、次の例に照らせばより良く理解できる。

## 【 0 0 8 5 】

## 例 1

ファイバー光照明を有する投影システムテストベッドの性能

折曲光路内でデカルト偏光子を利用するための最善の方法を理解するため、反射イメージャ構成、2つのタイプのイメージャ、F L C D を利用したイメージャ、及びネマチックを利用したイメージャが別々に検討された。

## 【 0 0 8 6 】

図 2 は、P B S が偏光子としてもアナライザとしても機能する反射 L C マイクロディスプレイを使用したコンパクトで経済性に優れた L C D プロジェクタ構成を示す。図 2 の投影ディスプレイテストベッドの具現物が構築され、本発明に基づくシステムの性能の比較に使用された。第 1 システムは、広角デカルト P B S を組み込んで試験され、第 2 システムは高性能なブルースター角 P B S を使用して試験された。2枚の  $0.3 \text{ mm}$  のガラスシートの間または2枚の  $0.7 \text{ mm}$  のガラスシートの間に積層された 3 M 多層高分子 P B S フィルムが、代表的な広角デカルト P B S として使用された。コロラド州ゴールデン市に拠点を持つ B a l z e r s T h i n F i l m , I n c . 製のものなど、高性能マクニール P B S 高吸光度キューブがブルースター角 P B S として使用された。

## 【 0 0 8 7 】

マクニール P B S キューブの性能の概要を以下に示す。

## 【 0 0 8 8 】

## 【表 1】

10

20

30

40



## 表 1

高吸光度

設計Fナンバー

 $f / 2.5$ 

吸光度

500 : 1

材料

SF2

サイズ

32mm x 32mm x 32mm \* 0.25mm

クリアアパーチャ

30mm x 30mm

10

## 【0089】

PBS構成部品は、最初はファイバー照明で、 $f / 1.8 \sim 8.0$ の照明光学系を有する光学イメージシステムの中で試験された。ファイバー照明の照明プロファイルは滑らかに変化し、ほぼ均等拡散であったし、またイメージャを均等に照らさなかった。

## 【0090】

使用されたイメージャの非理想性能を原因とする変数を避けるため、反射イメージャの効果は、ニュージャージー州バリントン市に拠点を置くEdmund Scientific社製の四分の1波長フィルムなどの四分の一波長フィルムを前面ミラーに積層したイメージャを使用することによりモデル化された。フィルムの光学軸が入力偏光に対して45°回転されると、明るい画像がスクリーンに投影された。四分の一波長フィルムが除去され、裸のアルミニウムミラーがイメージの位置に配置されると暗状態が発生した。この配置は、TNもしくはVAN（垂直整列ネマチック）モードなど、LCを光学軸に垂直に回転させる各LCモードをモデル化した。四分の一波長フィルムがシステム内に保持されるがフィルムの光学軸が入力偏光に平行に（または垂直に）回されるよう回転されたときに代替暗状態が発生した。この代替配置は、FLCイメージャまたは四分の一波長補償フィルムをイメージャ上に配置して上記モードで機能する理想的なイメージャなど、このような配向のリターダを有するLCモードをモデル化した。

20

## 【0091】

一般的に、コントラスト測定は、暗状態と明状態の両方について投影スクリーン上の9箇所

所で光スルーットを測定してから、これらの測定の比率を計算することにより行われる。この比率はコントラストダイナミックレンジと呼ばれる。コントラストダイナミックレンジは、コントラスト比の1つの測定である。コントラストダイナミックレンジ比は、最も明るい状態での投影光スルーットを最も暗い状態での光スルーットで割ったものと定義される。上記の通り、ファイバー光はイメージャを均一に照らさないため、ファイバー照明の場合にはスクリーン中心部での一点測定が用いられた。コントラストダイナミックレンジの結果は、そのため、ファイバー照明用スクリーン中心部での一点値または他のすべての場合には9点平均値のいずれかであると理解すべきである。

30

## 【0092】

ファイバー照明下での裸ミラー暗状態のケースでは、ダイナミックレンジ及び光スルーットとFナンバーが測定された。広角デカルトPBSは、低Fナンバーにおいてマクニールキューブを大幅に上回るコントラスト性能を示した。

40

## 【0093】

## 【表2】

表2 ファイバー照明におけるシステムダイナミックレンジとスループット  
(裸ミラー暗状態)

Fナンバー	広角デカルト フラックス (lm)	広角デカルト ダイナミック レンジ	マクニール フラックス (lm)	マクニール ダイナミック レンジ
1.8	232.1	211:1	241.0	38:1
2.0	222.6	219:1	227.0	41:1
2.4	194.0	251:1	193.0	53:1
2.8	149.4	306:1	151.0	69:1
3.3	112.3	393:1	114.0	96:1
4.0	80.6	507:1	82.5	135:1
4.7	56.3	590:1	57.7	186:1
5.6	38.7	608:1	40.2	236:1
6.7	27.4	863:1	27.9	279:1
8.0	18.7	884:1	19.9	398:1

#### 【0094】

性能をカラーバンドへと分解することが望ましい。但し、このような分解は、ファイバー照明では、特に青色スペクトルでは利用可能な光源レベルが低いことから、それが可能であるかどうかは判明していない。カラーバンドという用語は、白色光がカラー画像へと再結合される前に独立変調用に分解される波長バンドのことを指す。これらのバンドは、50～70nmなど、100nm未満であるのが普通であり、3波長形赤色/緑色/青色画像形成システム内での黄色やシアンなどの光など、色域にとって好ましくない光を含まないよう選択されることが多い。表2内の例示データは、本発明のシステムについて別の赤色、緑色、及び青色のコントラストレベルが100:1を超えると明示的に実証していないが、以下の表は、他の照明源についてコントラストレベルが100:1を超えることを示している。しかし、準均等拡散白色光では、デカルトPBSがマクニールPBSより大きく優れていることが明白である。

#### 【0095】

測定されたスループットはマクニール及び広角デカルトシステムについて類似しているが、広角デカルトPBSは増透膜を含んでいないのに対して、マクニールPBSはそれを含んでいたことを注記しておく必要がある。測定された透過と角度データから、改善されたスループットの潜在力は、3M多層高分子フィルムの方が良いことが期待される。

#### 【0096】

各種光学イメージシステムの定量的性能は、また、投影レンズの瞳孔をスクリーン上に投影することによって調べられた。このような投影はスクリーン上の各位置への入射角度をマッピングする。コノスコープのコントラストグラフは、この瞳孔画像の明所視が平均化された表現である。瞳孔の画像を得るにはデジタルカメラが使用される。結果として得られた投影は、図21～23に示されている。

#### 【0097】

図21～23は、プレ偏光子及び後偏光子など、図2のプロジェクタテストベッドを通じた後f/2投影レンズの瞳孔に存在する暗状態の光を示している。投影レンズの瞳孔では、光が角度により空間的にソートされる。したがって、これらの画像は、暗状態光透過と入射角度のコノスコーププロットである。これらの画像は、計算されたコントラスト結果である図32～34に比較されても構わない。これらの結果については以下に更に完全

に記述されるが、コントラスト比の計算のための明状態を提供するために四分の一波長フィルムが使用され、また図中の暗状態を示すのにミラーが使用された。図 2 1 ~ 2 3 の画像は、良好な画像品質を提供するためにゲインの自動調整を行うデジタルカメラで撮られたが、それ以外は、すべての画像は同じ条件下で撮られた。このカメラはゲインを調整するので、これらの画像は定性的にのみ使用できる。各画像に関連付けられたフルスクリーンコントラスト値が比較のために以下に示される。

【 0 0 9 8 】

図 2 2 は、マクニール偏光子の暗状態性能を示している。カラー描写では、これは左側に沿って特に赤く、 $45^\circ$  よりも垂直に近い角度で P B S コーティングに入射する光に対応している。良好なコントラストの非常に深いマルタバンドを有するが、このバンドはまた非常に狭く、画像の頂面と底面に存在するタイプ 3 及び 4 のスキューレイが明るさを大きく増加させる。この瞳孔画像と関連するスクリーン上の白色コントラストは 5 3 : 1 であるが、特定のカラーバンド上のコントラストは、観察された赤色の漏れによりこれよりも低くなる場合がある。

【 0 0 9 9 】

図 2 1 は、3 M D B E F を使用したシステム例の暗状態の瞳孔画像である。この画像は、もっと暗さは低いがもっと広いマルタバンドを有する。スクリーン上で投影されると、この画像上の垂直バンドに若干の赤みがあった部分と、特にバンドの左側ではマルタバンドに明確な青色 / 緑色があった部分があった。この赤色はマクニール P B S の場合よりも顕著ではない。これはデカルト偏光子であることから、広い方のマルタバンド及びこの偏光子について見られるスキューレイ漏れの低下が予想される。性能が不十分であること理由は、この偏光子が高吸光度用に設計されていないことである。これは、マクニール P B S の明るさに対するそのマルタバンドの明るさにおいて明白である。この D B E F P B S で測定された白色光コントラストは 9 5 : 1 であったが、このコントラストは可視帯全体では均一ではなかった。これを実証するため、このケースでは、低い光量にかかわらず、この特定のサンプルの赤色、緑色及び青色のカラーバンドコントラストを測定する努力が払われた。この D B E F P B S の赤色バンドコントラストが 1 0 4 : 1、緑色バンドコントラストが 9 4 : 1、そして青色バンドコントラストが 7 9 : 1 で測定された。この D B E F P B S は、そのため、高コントラスト投影には受け入れ不能な P B S となるだろう。最後に、図 2 3 は、3 M 多層高分子 P B S の暗状態性能を示している。このカメラの自動ゲイン調整にもかかわらず、画像の全体的な暗さが顕著である。マルタバンドの幅は、マクニール P B S または D B E F P B S のいずれかの場合よりもずっと広く、タイプ 3 及び 4 の漏れは、他のどのケースにおけるよりもずっと軽度であった。この P B S で測定された白色光コントラストは 2 2 2 : 1 であった。この P B S のカラーバンドコントラストは、例 2 でもっと詳しく記述される。

【 0 1 0 0 】

図 3 1 ~ 3 5 は、デカルト偏光子光学イメージシステムが投影システムの照明レッグの性能を如何にして改善するかを更にそしてより定量的に示す結果を呈示している。コンピュータコードを使用して、各表面または多層スタックからのストークスベクトルの透過または反射をモデル化した。各偏光状態の光度は、各波長での結果に、C I E 1 9 3 1 明所視応答機能の値と等エネルギー均等拡散光源のラジアンズで重み付けし、そして 4 0 0 ~ 7 0 0 n m の全波長に渡って積分することにより求められた。このように、偏光状態とコントラスト比などの結果は、円錐束内の各光線について求められた。このデータを呈示するため、図 3 1 ~ 3 5 はコノスコープグラフを描いている。

【 0 1 0 1 】

コノスコープグラフは、 $\theta$  を径座標とする 2 次元極座標系を使用することにより、極座標角度  $\phi$  と  $\theta$  によって変化するデータを呈示する。これは、上半球をディスク上にマッピングし、一定の  $\phi$  のリングと一定の  $\theta$  の光線に沿ってデータをプロットする。コノスコープグラフは、角コントラスト比、つまりコントラスト比 ( C R ) と視野角のグラフ化により液晶ディスプレイなどの装置の角度性能を図示するのに一般的に使用される。いくつかの

角度での各光線の暗状態の輝度に対する明状態の輝度の比率を形成し、一定のCRの輪郭をコノスコープによりプロットする。偏光データのセットをコノスコープでグラフ化する技術も開発された。

#### 【0102】

図31は、X-Y平面にある垂直またはY配向した直線偏光子について計算され、この第1偏光子と平行な平面内にある第2の同一の偏光子で分析されたコノスコープCR輪郭図である。(透過軸の配向を見るのに偏光子の配向が使用される。)アナライザがY軸に平行に配向されたときに明状態が発生し、アナライザがそれに垂直になったときに暗状態が発生した。この特徴的なパターンはマルタクロスと呼ばれ、 $\theta = 0, 180^\circ$  及び  $\theta = \pm 90^\circ$  によって定義される主平面周りの高コントラスト領域がこのクロスのダークアームを形成する。明状態輝度の角度に応じた変化は小さめであるのが普通であるため、高角CRの領域も非常に暗い。このケースでは、角度範囲が小さいことから、実際のマルタクロスとの類似性は少しである。 $\theta \geq 60^\circ$  では、これはもっと大きくなる。

10

#### 【0103】

またコノスコープ形式を使用して、単一プロット上の角度依存偏光データをたくさん呈示することもできる。光線の偏光状態を記述する一般的な方法は、その偏りの楕円、つまり振動期間に渡って電界ベクトルの端点が描く曲線による方法である。この楕円は、光線の方に垂直な平面内にある1組の直交参照座標に対する光線の偏光状態の大きさと配向をグラフィカルに表示する。重要な特殊なケースとしては、円偏光(この楕円が円になる)及び直線偏光(この楕円が直線へと縮退する)が含まれる。

20

#### 【0104】

いかなる  $\theta$  及び  $\phi$  の場合も、 $\theta$  及び  $\phi$  によって定義される局所 s-p 座標系内の偏りの楕円は、グローバル X-Y 座標系内で ( $\theta$  により) 回転されグラフ化される。この変換により、複数の角度依存偏光データセットを単一の共通参照によって呈示できる。例えば、このようにプロットすれば、狭い垂直楕円が Y-Z 平面内の直線偏光に近い状態を示す。Y 軸に平行な直線偏光は、 $\theta = 0$ 、または  $\theta = 0$  もしくは  $180^\circ$  のときに起こる特殊なケースであることに留意されたい。これは、Y 軸が光線方向に垂直な平面内に実際に存在するのはこれらのケースだけであるからである。狭い水平の楕円の場合にも、類似した解釈ができる。この技術の改良点は、光の偏光度(DP)によって楕円のサイズに重み付けを行うことである。(このDPは、明確に定義された偏光状態における全光度のうちのその部分である。自然光は、無作為に偏光され、

30

#### 【数1】

$$DP \approx 0$$

を有する。)

#### 【0105】

図26は、角度  $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  及び  $\phi = 0^\circ, 30^\circ, \dots, 330^\circ$  に沿って、垂直またはY方向を向いた偏光子の中を通過した当初非偏光の光線の計算された偏光状態を示している。 $\theta = 30^\circ$  及び  $\theta = 60^\circ$  の楕円が特に示されている。このモデルは、代表的な高品質な直線偏光子のためのものであり、そのため楕円が基本的に垂直な線である。しかし、主平面から離れた大きな入射角度では、垂直から離れる楕円のわずかな回転があることに留意されたい。(この効果は  $\theta > 50^\circ$  の場合に顕著である。)これらの方向に沿って偏光子から出てくる光は、他の方向に伝播する光よりも、垂直にはより少なく、水平にはより多く偏光している。交叉(水平またはX方向の)偏光子の楕円パターンは、図26を  $90^\circ$  回転したものと同一となる。主平面の中では、交叉偏光子用の各楕円が直交し、光がこれらの方向に通過するのが邪魔される。大きな入射角度では、また主平面から離れると、これらの2つの偏光子の楕円はもはや直交しなくなり(実際、これらは反対方向に回転される)、これは、光が漏れなければならないことを示している。

40

50

## 【 0 1 0 6 】

図 3 4 は、 $x - y$  平面にある  $y$  - 方向の直線偏光子、そしてその次に  $y$  軸に平行な反射軸と  $x - y$  平面に  $45^\circ$  の角度で配向した表面の法線を持つ 2 軸多層高分子反射偏光子のコノスコープ C R 輪郭図である。この特定の反射偏光子は、特にデカルトタイプの偏光ビームスプリッタとして使用するよう設計された。明状態は、 $y$  軸に平行に偏光した光を通過させるようアナライザが配向されたときに発生し、暗状態はアナライザが  $y$  軸に平行に偏光された光を遮るよう配向されたときに発生した。図 3 4 に示された C R と角度のパターンはマルタバンドと呼ばれ、非共面偏光子によって形成されたパターンに類似している。(その例では、第 2 偏光子の平面が  $y$  軸の周りに回転されるに連れて、マルタクロスパターンが  $x$  軸に沿って移動される。マルタバンドはその結果、マルタクロスの 1 つのアームに示される。)  $\theta = 180^\circ$  及び  $\theta = 45^\circ$  のときに垂直入射が発生する。負の ( $\theta = 180^\circ$ )  $x$  軸に沿って、光線はもっと垂直に近くビームスプリッタの表面を当たる。角度が小さい反射効率の改善により、このバンドは負の  $x$  軸に沿って広がる。

10

## 【 0 1 0 7 】

偏光子とビームスプリッタの組合せについて計算された最高の角 C R は、偏光子単独の場合よりずっと大きく、計算された最低 C R はずっと小さかった。反射偏光子が第 1 偏光子からの光に作用する 2 つの方法がある。第 1 は、非偏光光の量の低下によるものである。非偏光光の低下は、不要な偏光の量の低下である。反射偏光子は、実際、限定された角度範囲に対する光の偏光度 (D P) を高める。光は、この場合には高 D P を持つ第 1 偏光子から約  $99.80 \sim 99.80\%$  出てくるが、ビームスプリッタと縦続することにより、D P は  $99.98\%$  にまで高められる。反射偏光子が第 1 偏光子からの光に作用する 2 番目のやり方は、その偏光の性格を直線偏光を回転するか楕円率を導入することである。図 2 7 は、P B S による反射の後の垂直偏光について計算された偏光の楕円を示す。図 2 6 との比較から、反射偏光子は楕円率を追加していないが、偏光を回転させたことがわかる。垂直から大きく回転された楕円を持つ領域は、図 3 4 の低角 C R を持つ同一領域であることが示されている。

20

## 【 0 1 0 8 】

上記の効果を説明する方法は、偏光解消コントラスト比 (D C R) と従来の P B S を含む光学イメージシステム及びデカルト P B S を含むシステムの F ナンバーとの対比である。図 2 4 と 2 5 はこれらの結果のプロットである。偏光解消コントラスト比は、垂直 ( $y$ ) アナライザを通過してプレ偏光子 / P B S を出る反射光の透過と水平 ( $x'$ ) アナライザを通過してプレ偏光子 / P B S を出る反射光の透過の比として定義される。当業者は、広角デカルト P B S が、マクニール P B S と比べて、低 F ナンバーで並外れた D C R を有することを理解するであろう。

30

## 【 0 1 0 9 】

角 C R は、D C R に非常に類似している。反射する光の偏光を維持することがビームスプリッタの能力の尺度である。しかし、D C R と角度との対比は、全  $\theta$  に対する明状態及び暗状態輝度を  $\theta$  の何らかの値に統合し、その比率を取ることによって計算されるのであり、角 C R を統合することによってではない。予期される通り、偏光子とビームスプリッタの組合せは、大きな F ナンバー (小さな角度) に対してより大きな D C R を有する。

40

## 【 0 1 1 0 】

図 3 2 はまた、 $x - y$  平面内にある  $y$  配向の直線偏光子と、その次に  $y$  軸に平行な反射軸と  $x - y$  平面に対して  $45^\circ$  の角度で配向された表面の法線を持つ反射偏光子について計算された角 C R を示す。この例の 3 M 先進フィルム 2 軸多層高分子反射偏光子は、当初は、3 M のデュアルブライツネス強化フィルム (D B E F) と同様に、広い角度範囲に対して L C D の明るさを強化するよう設計された。図 3 2 に示された角 C R パターンは、図 3 4 に比べて、非常に高いコントラストのより狭いバンドを有する。約  $f / 14$  ( $\theta \geq 2^\circ$ ) 未満の F ナンバー用の 3 M 先進フィルムを含むよう設計された光学イメージシステムの優位性は、図 3 2 と 3 4 にはっきりと示されている。D B E F 偏光楕円プロット (図 2 8) をビームスプリッタプロット (図 2 7) に比較しても明らかにはならないが、ビームス

50

ブリッタは実際、より大きな角度範囲に対してもっと垂直に近い偏光を提供するのである。これはまたより大きなDPの光を作る。

#### 【0111】

上記の2つの反射偏光子は実質的にデカルト偏光子である。それに比べて、マクニールタイプ偏光子はそうではない。その多層オプティカルコーティングは等方性材料で作られており、ブルースター角現象に依存して1つの偏光を反射し2番目の偏光を透過する。図33は、 $x-y$ 平面内にある $y$ 配向の直線偏光子と、その次に $y$ 軸に平行な傾斜軸を有する $45^\circ$ マクニールキューブタイプ反射偏光子について計算された角CRを示している。このCRは、キューブ出力面に平行な $y-z$ 平面内に分析偏光子(第1直線偏光子と同一)を配置することによって計算された。この角CRパターンは、正の $x$ 軸に沿って若干大きな大きなCRの縮小領域を有する点において、2つのデカルト偏光子の角CRパターンとは異なる。図24と25は、この特定のマクニール偏光子が $f/2$ でこれらのデカルト偏光子のどちらよりも大幅に悪いこと、そしてもっと小さな円錐角範囲に渡って有用なコントラストを提供することを示している。

10

#### 【0112】

図29は、当初は非偏光の光で照らされるマクニール偏光子の偏光楕円のコノスコーププロットであるが、これはまたデカルト偏光子とは非常に異なる挙動を表示している。ブルースター現象への依存は、 $=90^\circ$ 軸( $y$ 軸で配向)に沿った角楕円の激しい回転において特に明白である。 $y$ 軸に沿って、入射角度を大きくすると、 $45^\circ$ コーティングを打つ光線の反射平面を回転させる。コーティングがS偏光を反射するに連れて、反射光線の偏光も回転しなければならない。これらのスキューレイは、入射角の増大とともに大きくなる偏光度回転を持つマクニール偏光子によって最も多く回転させられる。

20

#### 【0113】

デカルト偏光子は、ビームスプリッタ用途で間違って適用される場合があることに注意されたい。この点を説明するため、 $x-y$ 平面内にある水平または $x$ 配向の直線偏光子と、その次に $y$ 軸に平行な透過軸と $x-y$ 平面に対して $45^\circ$ の角度の表面の法線を持つ反射偏光子の角CRが計算された。上記の第2例でPBSとして使用されたのと同じ反射偏光子は、この実験で使用され、水平偏光を反射するようその法線の周りに $90^\circ$ だけ回転された。図35は、この場合は良好な性能の領域が非常に小さく非常に狭いマルチバンドを示している。結果は図30で確認された。この図では、非偏光光で照らされた水平なPBSは、所望の方向、この場合は $x$ 方向、から離れて強く回転された偏光状態をもつ光を透過するように見える。

30

#### 【0114】

図35の考察の結果、水平に偏光された光を反射するよう配向されたビームスプリッタフィルムは、それが垂直に偏光された光を反射するよう配向されたときに良好なデカルト偏光子であるにもかかわらず偏光を維持するのが不得手であることを示している。前の例では、第1偏光子の透過軸と第2偏光子の反射軸は平行であり、反射はほとんどs偏光光であった。この場合、第1偏光子の透過軸と第2偏光子の反射軸は単に同一平面上にあり、その反射はほとんどp偏光光である。回転なしに偏光光を反射するこのデカルト偏光子の能力は、入射角度に伴う反射の変動を最小限にするためのその反射軸の好適な配向を必要とする。

40

#### 【0115】

ファイバー照明分析の結果は、マクニール高吸光度PBSキューブを含むTNイメージャシステムは、デカルト偏光子を含むTNイメージャシステムのそれと同じくらい高いコントラストを提供しないことを示している。

#### 【0116】

##### 例2

Rantseh照明を持つ投影システムテストベッドの性能

第2に、各システムは、図4に示す対小型レンズアレイ(Rantseh)照明を使用して例1の場合と同じパラメータで試験された。Rantseh照明の場合、照明プロファ

50

イルは小型レンズアレイインテグレートにより非常に構造化され、イメージは更に均一に照明された。R a n t s c h照明は、電子プロジェクタの中に一般的に使用される。

【 0 1 1 7 】

これらの光学イメージシステムは、1 . 8 ~ 8 . 0 の F ナンバーの構成部品を使用して試験された。ダイナミックレンジは上記の通り測定された。

【 0 1 1 8 】

R a n t s c h照明でのマクニールキューブの場合、四分の一波長補償フィルムのある場合とない場合における以下のダイナミックレンジと光スループットが測定された。四分の一波長補償は、四分の一波長補償フィルム ( Q W F ) をイメージに入射する光の偏光方向に対して 0 ° の角度に配置して暗状態を提供することにより達成される。この構成は F L C D イメージをモデル化する。ネマチックイメージをモデル化するために、暗状態でミラーが単独で使用された。この例では、結果がカラーバンド毎に報告できるだけの十分な照明が利用できた。

【 0 1 1 9 】

【表 3】

表 3

R a n t s c h照明にマクニール P B S を使用した場合のシステムダイナミックレンジ

暗状態	ミラー	ミラー	ミラー	QWF 付き ミラー	QWF 付き ミラー	QWF 付き ミラー
Fナン バー	マクニール 緑色 ダイナ ミック レンジ	マクニール 赤色 ダイナ ミック レンジ	マクニール 青色 ダイナ ミック レンジ	マクニール 緑色 ダイナ ミック レンジ	マクニール 赤色 ダイナ ミック レンジ	マクニール 青色 ダイナ ミック レンジ
1.8	31:1	31:1	29:1	93:1	91:1	63:1
2.0	33:1	34:1	30:1	94:1	93:1	65:1
2.4	38:1	39:1	36:1	101:1	101:1	73:1
2.8	42:1	45:1	40:1	147:1	140:1	94:1
3.3	67:1	77:1	61:1	271:1	298:1	136:1
4.0	88:1	104:1	81:1	336:1	368:1	167:1
4.7	157:1	166:1	129:1	519:1	452:1	258:1
5.6	405:1	333:1	241:1	826:1	599:1	378:1
6.7	509:1	442:1	300:1	1019:1	694:1	420:1
8.0	577:1	496:1	287:1	1129:1	662:1	430:1

【 0 1 2 0 】

【表 4】

表 4

R a n t s c h 照明にマクニール P B S を使用した場合のシステムスルー  
プット

F ナンバー	マクニール 緑色フラックス ( l m )	マクニール 赤色フラックス ( l m )	マクニール 青色フラックス ( l m )
1. 8	1110. 0	163. 0	74. 0
2. 0	1070. 0	158. 0	70. 9
2. 4	990. 0	145. 0	65. 7
2. 8	959. 0	140. 0	62. 9
3. 3	852. 0	125. 0	55. 9
4. 0	685. 0	103. 0	45. 1
4. 7	545. 0	81. 4	36. 1
5. 6	413. 0	59. 9	26. 5
6. 7	326. 0	48. 6	21. 0
8. 0	271. 0	39. 7	17. 2

10

20

【 0 1 2 1 】

広角デカルト P B S による測定で以下の結果が出た。

【 0 1 2 2 】

【 表 5 】



表 5

Rant sch照明に広角デカルトPBSを使用した場合のシステムダイナミックレンジ

暗状態	ミラー	ミラー	ミラー	QWF 付き ミラー	QWF 付き ミラー	QWF 付き ミラー
Fナンバー	広角 デカルト 緑色 ダイナ ミック レンジ	広角 デカルト 赤色 ダイナ ミック レンジ	広角 デカルト 青色 ダイナ ミック レンジ	広角 デカルト 緑色 ダイナ ミック レンジ	広角 デカルト 赤色 ダイナ ミック レンジ	広角 デカルト 青色 ダイナ ミック レンジ
1.8	206:1	205:1	124:1	280:1	245:1	175:1
2.0	214:1	215:1	130:1	302:1	277:1	190:1
2.4	230:1	212:1	132:1	304:1	300:1	199:1
2.8	268:1	283:1	157:1	347:1	324:1	226:1
3.3	344:1	345:1	161:1	460:1	407:1	259:1
4.0	405:1	378:1	165:1	653:1	567:1	271:1
4.7	469:1	432:1	191:1	831:1	692:1	324:1
5.6	457:1	450:1	172:1	938:1	707:1	343:1
6.7	538:1	466:1	221:1	1018:1	746:1	310:1
8.0	614:1	662:1	216:1	1005:1	827:1	360:1

【 0 1 2 3 】

【 表 6 】

表 6

Rant sch照明に広角デカルトPBSを使用した場合のシステムスループット

Fナンバー	広角デカルト 緑色フラックス (lm)	広角デカルト 赤色フラックス (lm)	広角デカルト 青色フラックス (lm)
1.8	1219.0	173.8	77.7
2.0	1166.0	164.3	74.5
2.4	1060.0	146.3	67.4
2.8	978.4	141.0	59.9
3.3	853.3	120.8	49.4
4.0	699.6	96.1	40.2
4.7	537.4	73.3	34.3
5.6	367.8	52.5	21.8
6.7	302.1	39.5	16.4
8.0	234.2	35.1	11.4

## 【0124】

例2は、実際の投影システムの配置にもっとよく似ている。この例では、マクニールキューブのコントラスト性能は、広角デカルトPBSのそれよりずっと低い。その差は、ファイバー照明を使用して見られるものよりもずっと大きい。

## 【0125】

結果の要約

3M先進フィルムデカルトPBSを含む、反射ネマチックLCDを利用した電子投影システムは、マクニール偏光子PBSを含むシステムに対して数多くの利点を有すると観察された。これらは、以下を含む。

1. デカルトPBSシステムは、考察したすべての照明プロファイルについて、低Fナンバーについて特に、マクニールPBSより高いコントラストを提供する。
2. デカルトPBSシステムは、測定された全カラーバンドについて、類似のマクニールPBSシステムより高いコントラストを提供する。ケラー及び臨界照明を含むシステムにはより高いコントラストが存在すると予想される。このように高いコントラストにより、PBSへのコントラスト要素による制約が少なくなることから、照明システムの設計者は、照明均一度とスループットを最適化できる。

## 【0126】

この仕事の土台となる理論的検討に従って、試験されたデカルトPBSについて達成された一般的な結果は、任意の広角デカルトPBSに適用可能である。代替実施例は、ワイヤグリッド偏光子などの他の適切なデカルトPBSを含んでも構わない。

## 【0127】

理論に縛られることは望まないが、垂直入射からかなり離れた角度での受け入れ可能なコントラストは、ねじれネマチック(TN)イメージャよりもFLCDイメージャで達成する方が容易であることが判明している。したがって、FLCDイメージャは、非常に小さなFナンバーでTNイメージャよりも優れたコントラストを提供するため、広角PBSと一緒に使用されたときに、TNイメージャに比べたFLCDの潜在的な光利用効率が改善される。広角デカルトPBSとFLCDイメージャを組み合わせると、色分解プリズムがFナンバーを制限しない順次式カラーシステムなどでより高速な光ビームを使用できる。こ

の種のシステムあるいは2以下のFナンバーが使用できるシステムでは、高速な光ビームを持つFLCDのコントラストの利点により、より効率の高い光スループットが実現できる。

【0128】

当業者は、光投影システムまたはその他の偏光を使用する結像システムを設計する際に本発明が使用できることを理解するであろう。本発明は、好適な実施形態例を参照しながら記述されたが、本発明は本発明の精神に反することなく他の特定の形態で実施することができる。したがって、本書で記述及び図解された実施例は例示目的のみのものであると理解されなければならない。本発明の範囲を制限するものと考えてはならない。本発明の精神と範囲に従って他の変更と修正を行うことができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に基づいた光投影システムの簡易概略平面図である。

【図2】 本発明に基づいた光投影システムの第2実施例の簡易概略平面図である。

【図3】 本発明に基づいた光投影システムの第3実施例の簡易概略平面図である。

【図4】 本発明に基づいた光投影システムの第4実施例の簡易概略平面図である。

【図5】 光システム内の1つ以上のビーム整形レンズの代わりに使用できる曲面PBSの透視図である。

【図6】 3M多層ポリマーPBSフィルムに2次元曲率を与えるための手段である。

【図7】 曲面PBSを使用するマイクロディスプレイの光学縦列である。

【図8】 光バルブがイメージャ上に配置される実施例である。曲面デカルトPBSの中を最初に透過した入射光の偏光を回転するために曲面QWNが使用される。

20

【図9】 小型レンズ形のデカルトPBSを含む光結像装置である。

【図10】 2曲面デカルトPBSと2光源平面を含む光学イメージシステムである。

【図11】 主光線及び水平に角度の付いたスキューレイの光路図の透視図である。

【図12】 2つのタイプの垂直に角度の付いたスキューレイの光路図の透視図である。

【図13】 主光線及び垂直傾斜光線の進路を示すPBSの入射側等角図である。

【図14】 同一光線の光路を示した、図13に図解のPBSの出口側等角図である。

【図15】 前記光線の光路を示した、図13に図解のPBSの上面図である。

【図16】 前記光線の光路を示した、図13に図解のPBSの入射側の立面図である。

【図17】 反射光線の光路と偏光を示した、マクニールPBSの出口側等角図である。

30

【図18】 PBSから、そして反射イメージャから反射したスキューレイの光路の簡易透視図である。

【図19】 反射光線の光路と偏光を示した、図2に図解のデカルトPBSの出口の等角図である。

【図20】 反射光線の光路と偏光を示す、回転されたデカルトPBSの出口の透視図である。

【図21】 PBSとして使用される3M DBEFシートを含む、光結像装置の瞳孔イメージの投影である。

【図22】 マクニールPBSを含む、光学イメージシステムの瞳孔イメージの投影である。

40

【図23】 広角デカルトPBSを含む本発明に基づく光学イメージシステムの瞳孔イメージの投影である。

【図24】 3M先進フィルムデカルトPBSとマクニールPBSを使用した光学イメージシステムにおける、モデル化偏光解消コントラスト比とFナンバーのグラフである。

【図25】 3M多層高分子デカルトPBSとマクニールPBSを使用した光学イメージシステムの場合における、モデル化偏光解消コントラスト比と受光角のグラフである。

【図26】 当初の非偏光光が直線吸収偏光子を通過した後の偏光状態を示すコノスコープチャートである。

【図27】 当初の非偏光光が反射偏光軸周りの主光線方向に対して45°回転された多層高分子反射PBSから反射した後の偏光状態を示すコノスコープチャートである(図2

50

参照)。

【図28】 当初の非偏光光が、図27と同様に回転された3M DBEFのシートから反射した後の偏光状態を示すコノスコープチャートである。

【図29】 当初の非偏光光が、マクニールPBSから反射した後の偏光状態を示すコノスコープチャートである。

【図30】 当初の非偏光光が透過偏光軸の周りの主光線の方に対して45°回転された多層ポリマー反射PBSから反射した後の偏光状態のコノスコープ図である。

【図31】 第1偏光子に平行な平面内にある第2同一偏光子で分析された、垂直配向直線偏光子のコノスコープによるコントラスト比の等高線図である。

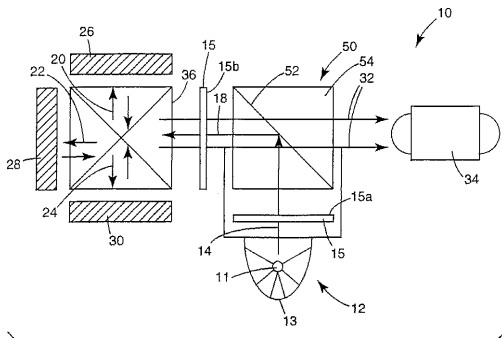
【図32】 y配向直線偏光子、次に反射軸がy軸に平行で表面の法線がx-y平面に対して45°の角度で配向している2軸多層高分子反射偏光子、更にその次にy-z平面内の分析偏光子のコノスコープによるコントラスト比の等高線図である。反射偏光子は、広い角度範囲においてLCDの明るさを高めるよう設計された。

【図33】 x-y平面にあるy配向直線偏光子、次にチルト軸がy軸に平行な45°マクニールキューブ型反射偏光子、さらにその次にy-z平面内の解析偏光子のコノスコープによるコントラスト比の等高線図である。

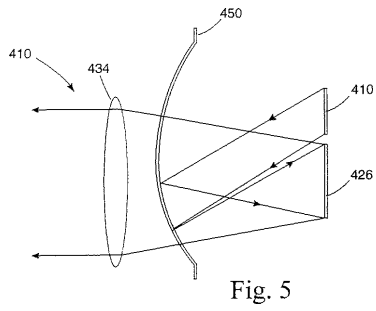
【図34】 x-y平面内のy配向直線偏光子、次に反射軸がy軸に平行で表面の法線がx-y平面に対して45°配向した2軸多層高分子反射偏光子、さらにその次にy-z平面内の解析偏光子のコノスコープによるコントラスト比の等高線図である。この例における反射偏光子は、デカルト偏光ビームスプリッタとして機能するよう設計された。

【図35】 x-y平面内にあるx配向直線偏光子、次に透過軸がy軸に平行で表面の法線がx-y平面に対して45°の角度になっている2軸多層高分子反射偏光子、更にその次にy-z平面内の解析偏光子のコノスコープによるコントラスト比の等高線図である。この例の反射偏光子は、デカルト偏光ビームスプリッタとして機能するよう設計された。

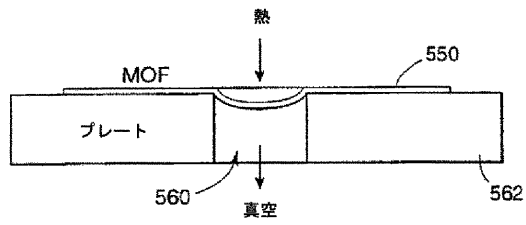
【図1】



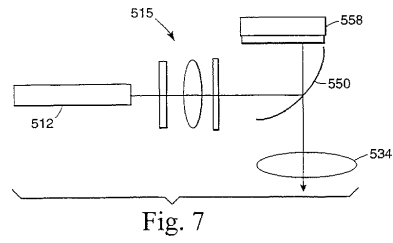
【図 5】



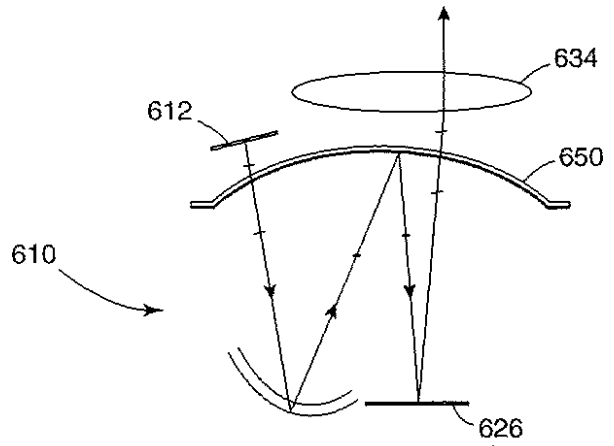
【図 6】



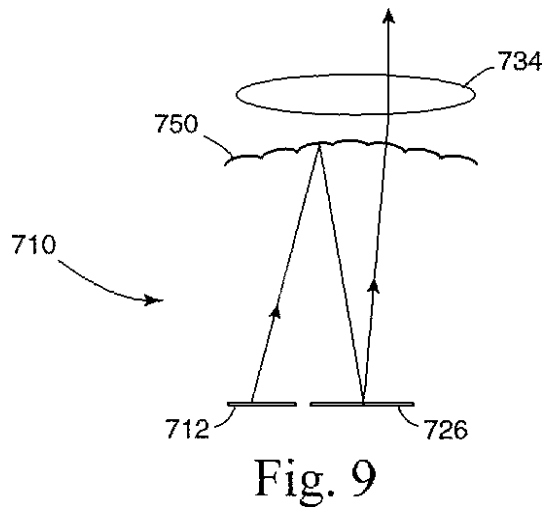
【図 7】



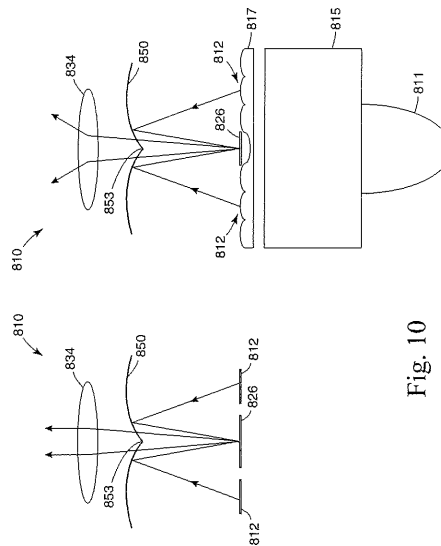
【図 8】



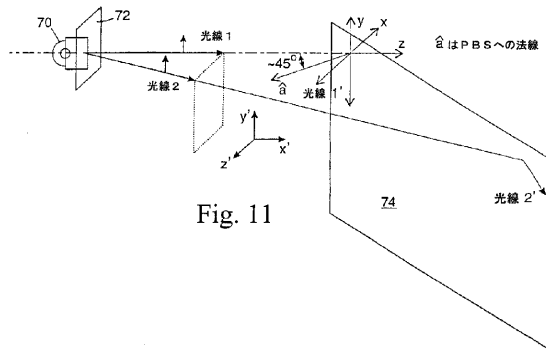
【図 9】



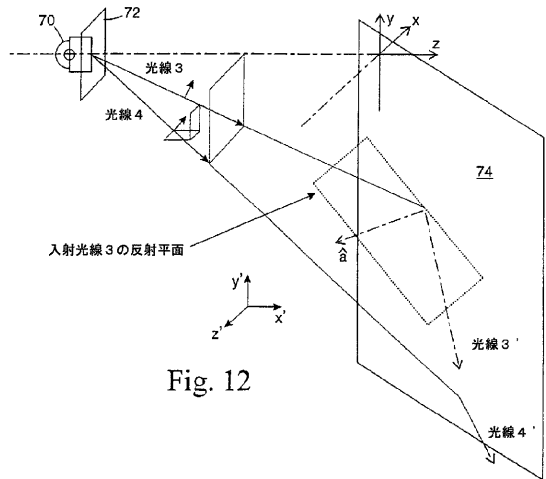
【図 10】



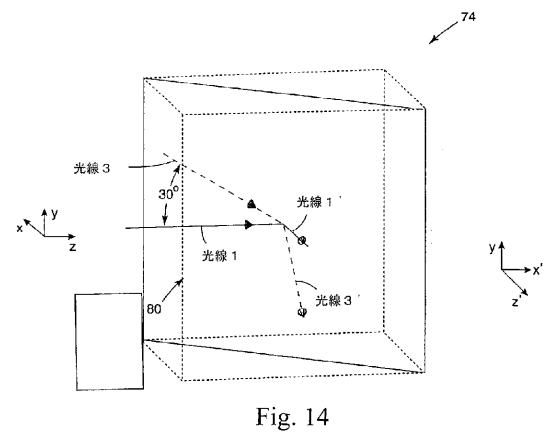
【図 11】



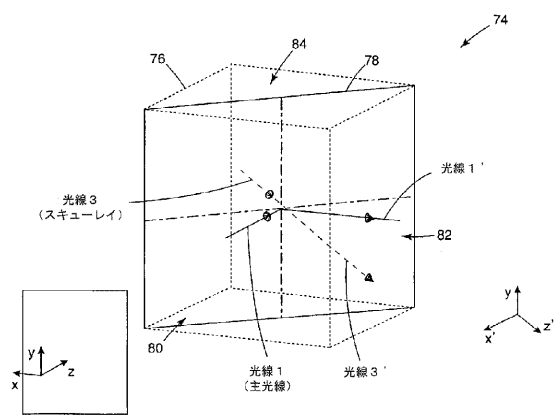
【図 12】



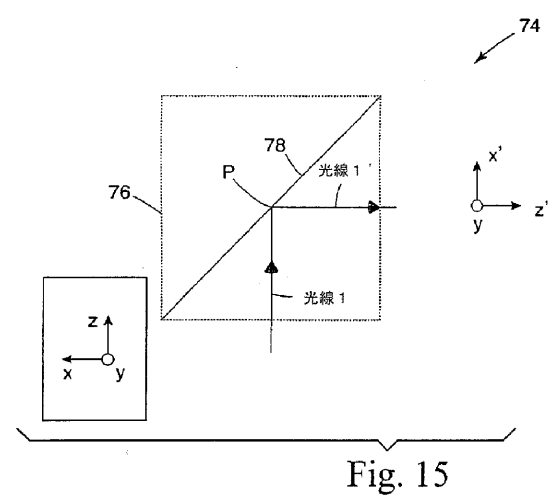
【図 14】



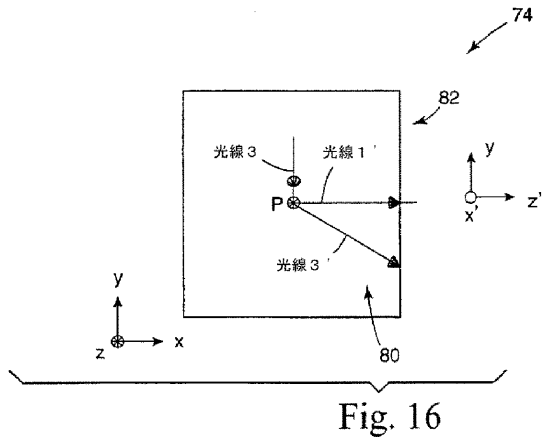
【図 13】



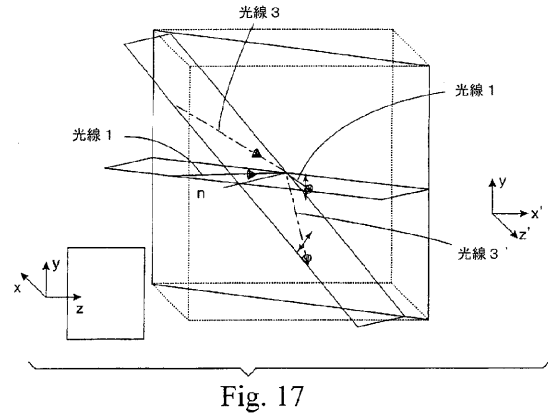
【図 15】



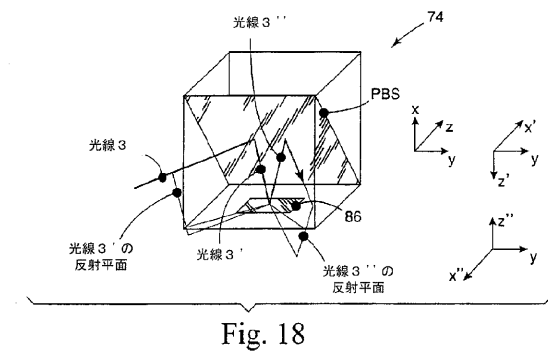
【図 16】



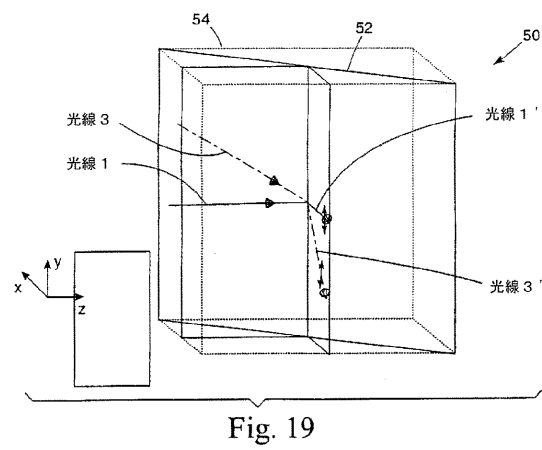
【図 17】



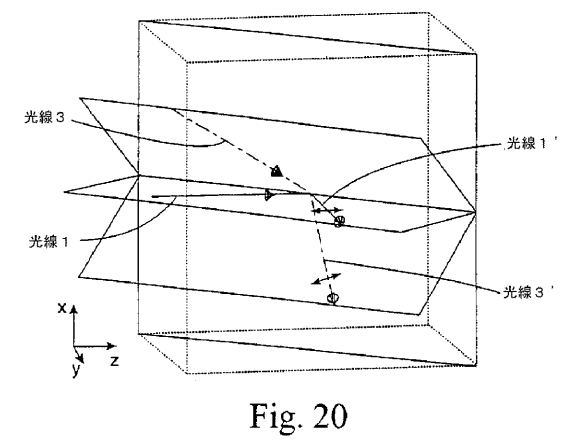
【図 18】



【図 19】



【図 20】



【図 2 1】

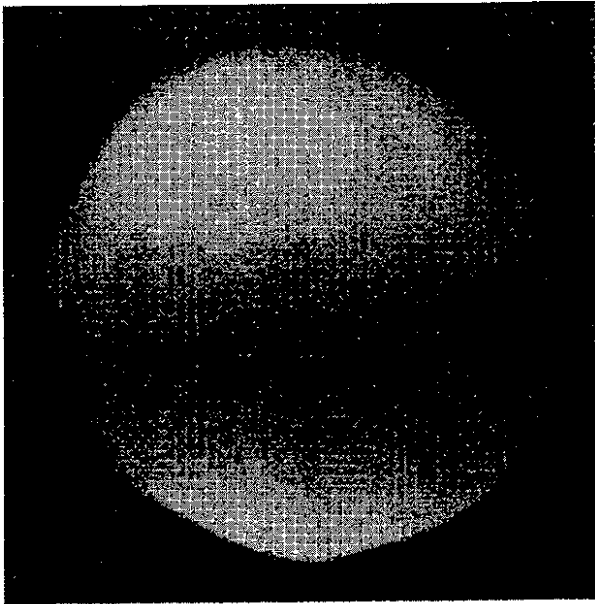


Fig. 21

【図 2 2】

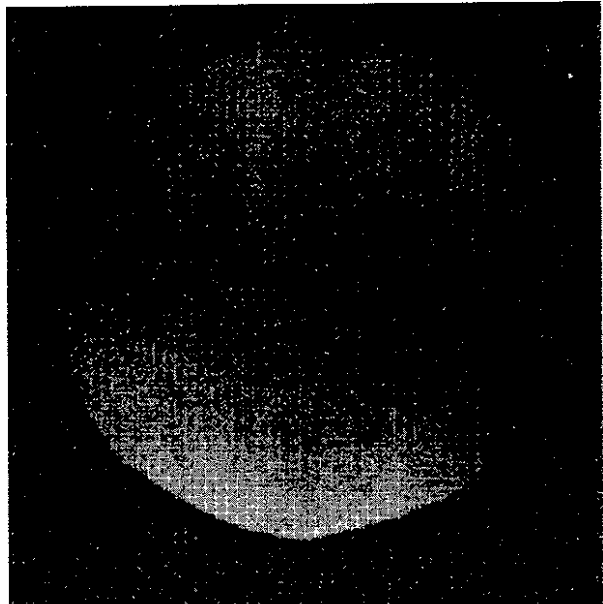


Fig. 22

【図 2 3】

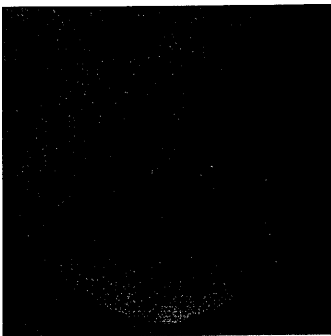
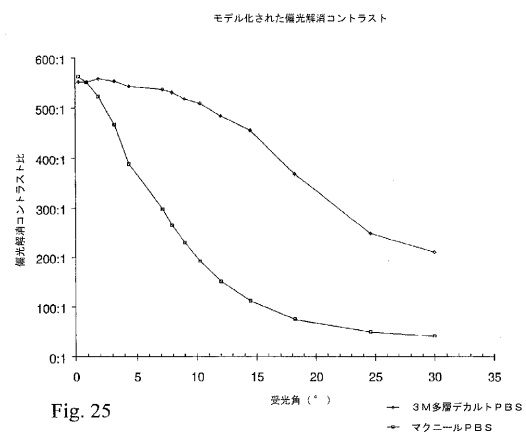
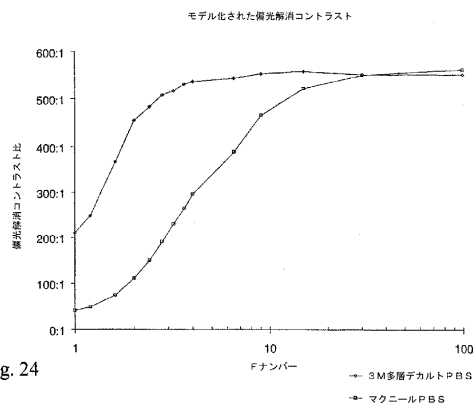


Fig. 23

【図 2 5】



【図 2 4】





【図 26】

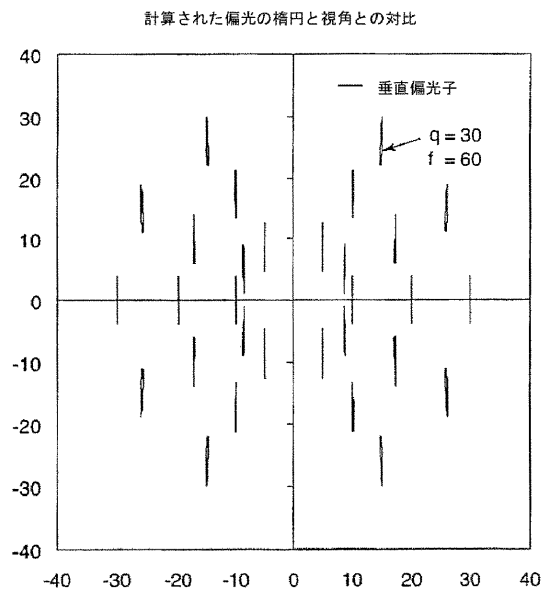


Fig. 26

【図 27】

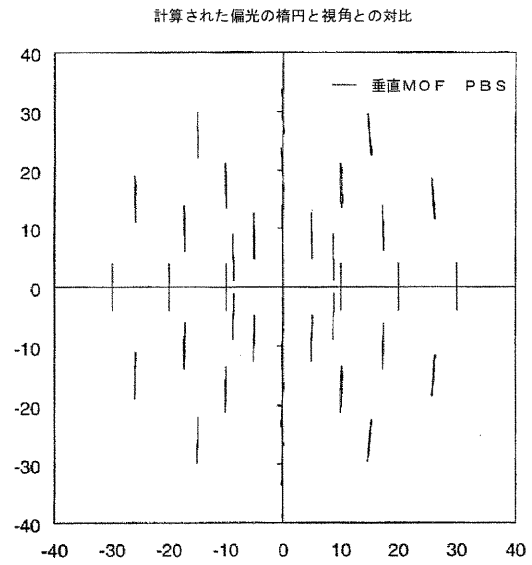


Fig. 27

【図 28】

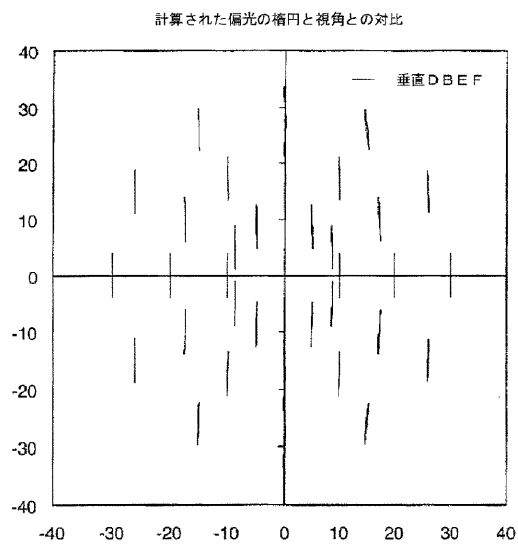


Fig. 28

【図 29】

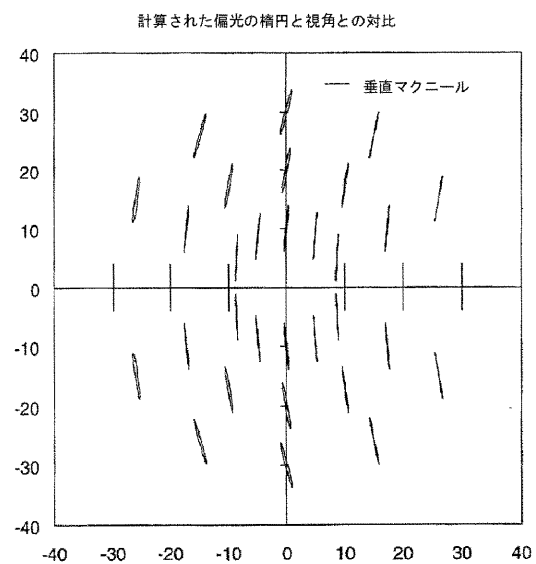
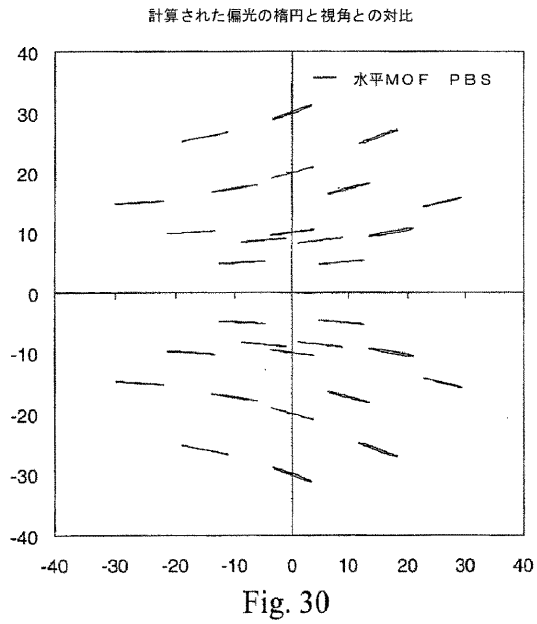
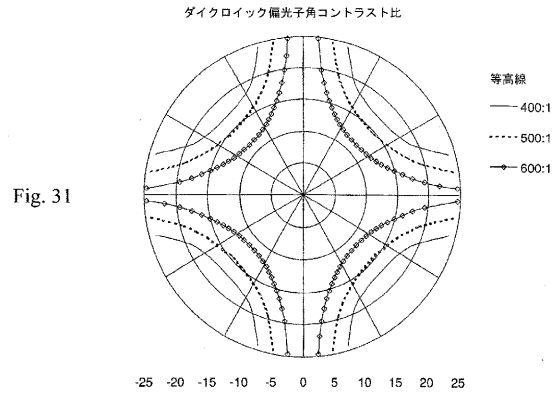


Fig. 29

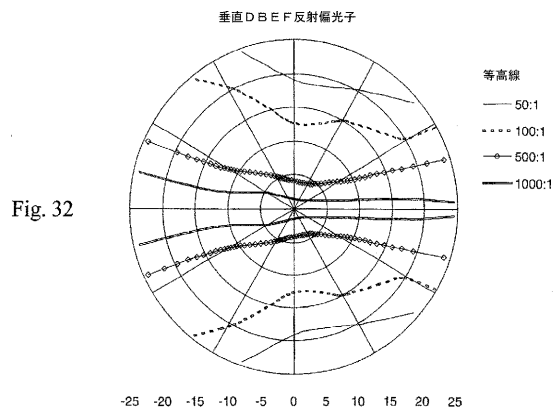
【図 30】



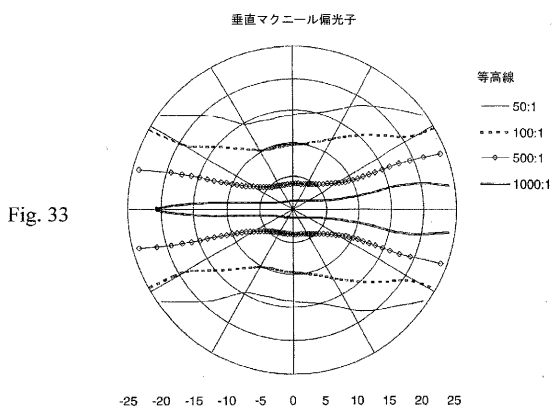
【図 31】



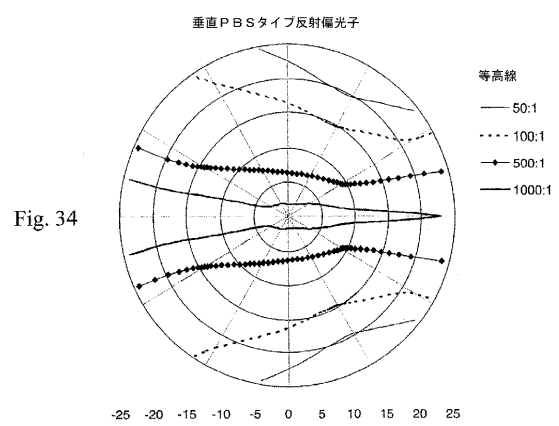
【図 32】



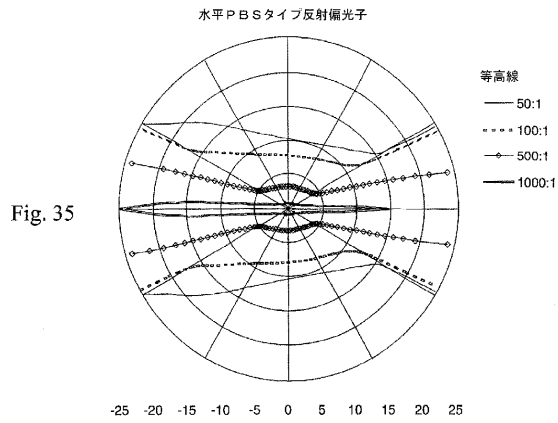
【図 33】



【図 34】



【図 35】



## フロントページの続き

- (72)発明者 ブルゾン, チャールズ エル.  
アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ピー. オー. ボックス 3  
3 4 2 7
- (72)発明者 アースチャン, デビッド ジェイ. ダブリュ.  
アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ピー. オー. ボックス 3  
3 4 2 7
- (72)発明者 ストラースキー, ロジャー ジェイ.  
アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ピー. オー. ボックス 3  
3 4 2 7
- (72)発明者 エカード, スティーブン ケー.  
アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ピー. オー. ボックス 3  
3 4 2 7
- (72)発明者 ウェーバー, マイケル エフ.  
アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ピー. オー. ボックス 3  
3 4 2 7
- (72)発明者 ボイド, ゲイリー ティー.  
アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ピー. オー. ボックス 3  
3 4 2 7

審査官 吉田 英一

- (56)参考文献 特開平05 - 313114 (JP, A)  
特開平08 - 327940 (JP, A)  
米国特許第04723077 (US, A)  
特表2002 - 514778 (JP, A)  
国際公開第99 / 034246 (WO, A1)  
特開平10 - 232371 (JP, A)  
特表平10 - 511322 (JP, A)  
A. E. Rosenbluth, D. B. Dove, F. E. Doany, R. N. Singh, K. H. Yang, M. Lu, Contrast properties of reflective liquid crystal light valves in projection displays, IBM Journal of Research and Development, 1998年 5月, Vol. 42, No. 3/4, p. 359 - 386

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 27/28