

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-529375

(P2004-529375A)

(43) 公表日 平成16年9月24日(2004.9.24)

(51) Int.Cl.⁷

G02B 27/18

G02B 5/18

G02B 26/10

F I

G02B 27/18

G02B 5/18

G02B 26/10 1 O 1

テーマコード (参考)

2 H O 4 5

2 H O 4 9

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 44 頁)

(21) 出願番号 特願2002-534903 (P2002-534903)
 (86) (22) 出願日 平成13年10月4日 (2001.10.4)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年4月10日 (2003.4.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2001/031418
 (87) 国際公開番号 W02002/031575
 (87) 国際公開日 平成14年4月18日 (2002.4.18)
 (31) 優先権主張番号 09/687,465
 (32) 優先日 平成12年10月11日 (2000.10.11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500089114
 シリコン・ライト・マシーンズ
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 94
 089-1208、サニーベイル、モフェ
 ット・パーク・ドライブ 385、スイー
 ト 115
 (74) 代理人 100071010
 弁理士 山崎 行造
 (74) 代理人 100104086
 弁理士 岩橋 超夫
 (74) 代理人 100121762
 弁理士 杉山 直人
 (74) 代理人 100126767
 弁理士 白銀 博

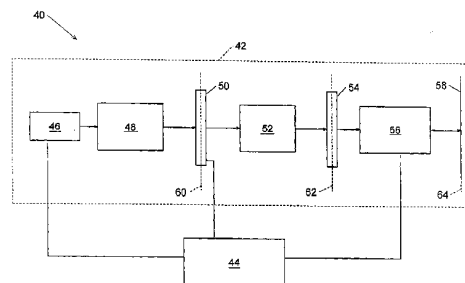
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザースペckル低減方法及び装置

(57) 【要約】

レーザー照明されたシステムのレーザースペckルを低減させる方法及び装置であって、同システムではレーザーによって発生されるラインイルミネーションが放散表面を横切って走査され、同方法及び装置は2次元像がディスプレイスクリーン上に発生されるディスプレイ装置に組み入れられるのが望ましい。ディスプレイ装置は光変調器、波面変調器及び投影・走査光学系を含む。光変調器は、ピクセルの線形配列から構成される行イメージを形成するためにレーザイルミネーションを変調する。波面変調器は行イメージの幅を横切って空間位相を変化させ、従って位相変調された波面を形成する。投影・走査光学系はディスプレイスクリーン上行イメージを投影すると共にディスプレイスクリーンを通して行イメージを走査する。位相変調された波面は多数のspeckleパターンを発生させ、行イメージが走査されるにつれて平均を取られ、従って低減されたレーザースペckルを発生させる。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ディスプレイスクリーンに 2 次元像を表示する表示装置であって、

a. 電子手段で駆動されかつレーザーイルミネーションによって照明される、第 1 像平面に配置される光変調器であって、行イメージを形成する直線配列ピクセルを形成する光変調器と、

b. 第 2 像平面に配置される波面変調器であって、該行イメージの幅を横切って位相を空間的に変化させ、それによって位相変調された波面が形成される波面変調器と、

c. 該電子手段によって駆動される投影・走査光学系であって、該ディスプレイスクリーンに 2 次元像が形成されかつさらに該位相変調された波面がレーザースペckルを低減させるように、該行イメージを該ディスプレイスクリーン上に投影すると共に該ディスプレイスクリーンを通して該行イメージを走査する投影・走査光学系から成る 2 次元像表示装置。

10

【請求項 2】

該光変調器が回折光弁配列を含む、請求項 1 の装置。

【請求項 3】

該回折光弁配列が格子光弁を含む、請求項 2 の装置。

【請求項 4】

該第 2 像平面が該第 1 像平面と該投影・走査光学系との間に光学的に配置される、請求項 3 の装置。

【請求項 5】

該光変調器が反射光弁配列を含む、請求項 1 の装置。

20

【請求項 6】

該光変調器が透過光弁配列を含む、請求項 1 の装置。

【請求項 7】

該波面変調器が回折素子を含む、請求項 1 の装置。

【請求項 8】

該波面変調器が反射素子を含む、請求項 1 の装置。

【請求項 9】

該波面変調器が回折格子を含む、請求項 1 の装置。

【請求項 10】

該回折格子が 2 ピッチ回折格子を含む、請求項 9 の装置。

30

【請求項 11】

該投影・走査光学系が投影レンズ及び走査鏡を含みかつさらに該回折格子が光学処理量を最適化させるように構成される、請求項 9 の装置。

【請求項 12】

ディスプレイスクリーンに 2 次元像を表示する表示装置であって、

a. 電子手段で制御されてレーザー出力を与えるレーザー源と、

b. 焦点ライン上のレーザー出力を円柱状に集中させる第 1 光学系であって、該焦点ラインが焦点幅を有しかつ第 1 像平面に配置される第 1 光学系と、

c. 該電子手段によって変調される光弁配列であって、第 1 像平面に配置されかつ行イメージを形成するピクセルの直線配列を発生させるように構成される光弁配列と、

40

d. 第 2 像平面において該焦点幅を有する該焦点ラインを円柱状に集中させる第 2 光学系と、

e. 該第 2 像平面に配置される波面変調器であって、位相変調された波面が行イメージ幅を横切って形成されるように該焦点幅を横切る空間位相を変調する波面変調器と、

f. 電子手段によって駆動される第 3 光学系であって、

該ディスプレイスクリーンに該 2 次元像が形成されかつさらに該位相変調された波面がレーザースペckルを低減させるように、該行イメージを該ディスプレイスクリーン上に投影すると共に該ディスプレイスクリーンを通して該行イメージを走査する 2 次元像表示装置。

【請求項 13】

50

該光弁配列が回折光弁配列を含む、請求項 1 2 の装置。

【請求項 1 4】

該回折光弁配列が光弁から成りかつさらに該第 3 光学系が回折された光と反射された光との結合から回折された部分を分離する手段を含み、該回折された部分が該回折された光の一部である、請求項 1 3 の装置。

【請求項 1 5】

該回折された部分がプラス 1 回折オーダー及びマイナス 1 回折オーダーから成る、請求項 1 4 の装置。

【請求項 1 6】

該回折された光が該行イメージを形成する、請求項 1 5 の装置。

10

【請求項 1 7】

該光弁配列が反射性光弁配列から成る、請求項 1 2 の装置。

【請求項 1 8】

該光弁配列が透過性光弁配列から成る、請求項 1 2 の装置。

【請求項 1 9】

ディスプレイスクリーンに 2 次元像を表示する表示装置であって、

- a. 電子手段で制御されてレーザー出力を与えるレーザー源と、
- b. 焦点ライン上のレーザー出力を円柱状に集中させる第 1 光学系であって、該焦点ラインが焦点幅を有しかつ第 1 像平面に配置される第 1 光学系と、
- c. 焦点ラインによって照明されかつ該電子手段によって変調される第 1 像平面に配置される格子光弁であって、回折された光とピクセルの直線配列に配列された反射された光との結合を発生させ、ピクセルの該直線配列の回折された部分が行イメージを形成する格子光弁と、
- d. 該回折された光と該反射された光との結合から該回折された部分を分離する第 2 光学系であって、第 2 像平面に該行イメージを造る第 2 光学系と、
- e. 該第 2 像平面に配置されると共に行イメージ幅を横切って空間位相を変調し、それによって位相変調された行イメージが形成される波面変調器と、
- f. 該位相変調された行イメージを投影し、それによって投影された行イメージが形成される投影レンズと、
- g. 該電子手段によって駆動される走査鏡アッセンブリであって、該ディスプレイスクリーンに 2 次元像が形成されかつさらに該位相変調された波面がレーザースペckルを低減させるように、該ディスプレイスクリーンを通して該投影された行イメージを走査する走査鏡アッセンブリとから成る 2 次元像表示装置。

20

30

【請求項 2 0】

レーザー照明されたディスプレイシステムのレーザースペckルを低減させる方法であって、

- a. ある幅を有するライン上のレーザー出力に焦点を合わせ、
- b. ピクセルの直線配列を発生させるために該ラインに沿って該レーザー出力を変調し、ピクセルの該直線配列が行イメージ幅を有する行イメージを形成するようにさせ、
- c. 位相変調された波面が形成されるように該行イメージの幅を横切って空間位相をに変調し、
- d. ディスプレスクリーン上に該行イメージを投影し、
- e. 該ディスプレイスクリーンに 2 次元像が形成されかつさらに該位相変調された波面がレーザースペckルを低減させるように、該ディスプレイスクリーンを通して該行イメージを走査することから成るレーザースペckル低減方法。

40

【請求項 2 1】

放散面上のある領域を照明する装置であって、

レーザーイルミネーションによって照明されかつ第 1 像平面に配置される波面変調器であって、該レーザーイルミネーションは該波面変調器においてラインイルミネーション幅を有するラインイルミネーションを形成し、該波面変調器は該ラインイルミネーション幅を

50

横切って位相を空間的に変化させ、それによって位相変調された波面が形成される波面変調器と、

電子手段によって駆動される投影・走査光学系であって、該ラインイルミネーションを該放散面上に投影し、該領域が照明されかつさらに該位相変調された波面がレーザースペックルを低減させるように該放散面を通して該ラインイルミネーションを走査する投影・走査光学系とから成る放散面領域照明装置。

【請求項 22】

レーザースペックルを低減させる方法であって、

a. あるラインイルミネーション幅を有するラインイルミネーションにレーザー出力の焦点を合わせ、

b. 位相変調された波面が発生されるように該ラインイルミネーション幅を横切って空間位相を変調し、

c. 放散面上に該ラインイルミネーションを投影し、

d. ある領域が照明されかつさらに該位相変調された波面でレーザースペックルが低減されるように、該放散面を通して該ラインイルミネーションを走査することから成るレーザースペックル低減方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【技術分野】

本発明はレーザー照明システム分野に関する。特に、本発明はレーザーによって発生されるラインイルミネーション（行照明）が放散（拡散）面を通して走査されるレーザー照明システムの分野に関する。

【0002】

【従来の技術】

粗面を照明する干渉性（可干渉）光はスペックル（斑点）を生じる（発生させる）。粗面からの反射は放散反射と呼ばれる。粗面を通じた伝達（伝送）は放散伝達と呼ばれる。放散反射、即ち、放散伝達では光は各種の方向に散乱する。放散反射によって散乱される干渉性光は、粗面から離れた空間で干渉パターンを形成する。人の目で見られると、「粒状」パターンの明及び暗に見えるであろう。その粒状パターンがスペックルである。干渉性光によって照明された粗面を見ると、光学システムの彩度検出器も同様にスペックルを検出するであろう。

【0003】

先行技術のスペックル表示装置が図 1 に例示される。スペックル表示装置 1 は、第 1 光軸 8 上に配置される表示レンズ 2、放散レンズ 4 及び観察（視聴）スクリーン 6 を含む。表示レンズ 2 はレーザービーム 10 を発する。放散レンズ 4 はレーザービーム 10 を放散レーザービーム 12 に変換する。放散レーザービーム 12 は大領域 14 の観察スクリーン 6 を照明する。観察スクリーン 6 は放散レーザービーム 12 を拡散的に反射して干渉パターンを造り出す。第 2 光軸 18 上に配置される観察面 16 は、干渉パターンと交差する。観察面 16 は、そこで目又は光学システムの焦点が合わされる空間の視野である。視聴スクリーン 6 において目又は光学システムの焦点が合わされると、観察面 16 は視聴スクリーン 6 に位置づけられる。放散レンズ 4 はスペックルの表示を助長するが、それはスペックルの発生上不必要である。

【0004】

図 2 は、先行技術の典型的なスペックルパターン 17 の写真であり、観察面 16 において見られるスペックルを例示する。観察スクリーン 16 から拡散的に反射する放散レーザービーム 12 の建設的な干渉は観察面 16 の明るい斑点（スポット）を造り出す。破壊的な干渉は明るいスポット間に暗いスポットを造り出す。視聴スクリーン 6 からの放散反射は無作為の性質を有し、そのために明スポット及び暗スポットは観察面 16 全体を通して変化する。

【0005】

10

20

30

40

50

スペックルの程度（尺度）はコントラスト（ C ）である。コントラストは、百分率で $C = 100 * I_{RMS} / I'$ によって与えられ、ここでは I' は平均彩度、 I_{RMS} は平均彩度に関する二乗平均平方根彩度変動である。

【0006】

Goodman は、「スペックルに関する若干の基本性質」（J. Opt. Soc. A, Vol. 66, No. 11, Nov. 1976, pp 1145 - 1150）で、 N 個の相関関係のないスペックルパターンを重ねることによってスペックルが低減され得ることを教示している。 N 個の相関関係のないスペックルパターンが同一の平均彩度及びコントラストを有するとすれば、これはスペックル低減係数（因数） N' だけコントラストを低減させる。 N 個の相関関係のないパターンが等しくない平均彩度又は等しくないコントラストを有するならば、スペックル低減係数は N' 未満であろう。従って、スペックル低減係数 N' は、 N 個の相関関係のないスペックルパターンに対するスペックル低減に関して最大の場合である。Goodman は、相関関係のないスペックルパターンは、時間、空間、周波数又は偏光によって得られることをさらに教示している。

10

【0007】

先行技術のスペックル低減方法は、視聴スクリーン 6 を移動させることによって多数のスペックルパターンを与えるものであり、そこでは Goodman によって教示された時間手段が用いられる。振動運動 19 は、概して光軸 8 の周りの小円又は小楕円に従う。これは、スペックルパターンを目又は視聴スクリーン 6 を観察する光学システムに関してスペックルパターンを移動させ、従って時間を通して多数のスペックルパターンを形成する。時間に合った任意の瞬間においてスペックルの量は変わらないが、振動運動の速度が或る閾値を越えるならば目には低減されたスペックルが知覚される。スペックルパターンが有意の距離移動できるように露出時間が十分長いならば、同光学システムの彩度検出器は低減されたスペックルを検出する。

20

【0008】

レーザー照明されたディスプレイシステム技術では、レーザースペックルを低減させるために能動放散器（ディフューザ）がレーザー照明された作像システムに加えられ得ることが知られている。能動放散器は中間像平面又は中間像平面の近くに配置される。ディスプレイスクリーンにおいて移動する位相を与えるために能動放散器は、ディスプレイシステム光軸の回りにおいて回転又はトロイド（トーラス方向）パターンの形で中間像平面内で移動される。移動する位相は時間を通して相関関係のないスペックルパターンを与え、従って、Goodman によって教示された時間手段を用いる。

30

【0009】

「レーザー投影システムにおける放散光学素子によるスペックル低減」（Applied Optics, Vol. 37, No. 10, Apr. 1998, pp 1770 - 1775）で Wang 他は、レーザーテレビシステムのようなレーザー投影システムにおけるレーザースペックル低減方法を教示している。レーザー投影システムにおけるレーザースポットは、CRT（陰極線管）ディスプレイにおいて電子ビームが像を形成するのと同様にラスタ走査によってディスプレイスクリーン上に像を形成する。Wang 他によって教示された方法は、レーザービームを拡張し、多数の小ビームを形成するために拡張されたレーザービーム内に放散性光学素子を配置し、次いでディスプレイスクリーン上にレーザースポットを形成するために小レーザービームに焦点を合わせる。これは時間で変化するスペックルパターン及び結果的にスペックル低減を与える。Wang 他は、さらにスペックル低減に関して僅かに改良するために放散性光学要素が回転され得ることを教示している。

40

【0010】

Blom 他は、参照により本明細書に組み入れられた、1999年11月9日発行の米国特許第 5,982,553 号において、格子光弁（GLV）赤、緑、青レーザー、各種のレンズ系、走査鏡、ディスプレイスクリーン、電子機器を含むディスプレイシステムを教示している。

50

【0011】

Bloom他により教示されたディスプレイシステムでは、GLVはディスプレイスクリーン上のピクセルの線形配列から成る行イメージを形成する。走査鏡は、GLVがピクセルの線形配列を変調するにつれて行イメージに垂直な方向でディスプレイスクリーンを横切って行イメージを反復的に走査し、それによって2次元像を形成する。

【0012】

Bloom他により教示された2次元像はレーザーイルミネーションによって形成されるので、同2次元像はレーザースペckルを示し、像品質を劣化させる。

【0013】

行イメージを走査することによって2次元像が形成されるディスプレイシステムで必要とされるのは、レーザースペckルを低減させる方法である。 10

【0014】

レーザーによって発生されたラインイルミネーションが放散面を通して走査される光学システムで必要とされるのは、レーザースペckルを低減させる方法である。

【0015】

【本発明の要約】

本発明は、低減されたレーザースペckルを示すディスプレイスクリーンを横切って、2次元像が行イメージを走査することによって形成される2次元像を表示する方法及び装置である。ディスプレイ装置は、光変調器、波面変調器及び投影・走査光学系を含む。光変調器は、ピクセルの線形配列から行イメージを形成するためにレーザーイルミネーションを変調する。波面変調器は、行イメージの幅を横切って位相を空間的に変化させ、従って、位相変調された波面を形成する。投影・走査光学系は、行イメージをディスプレイスクリーン上に投影し、ディスプレイスクリーンを横切って行イメージを走査する。位相変調された波面は、ディスプレイスクリーンを通して行イメージが走査されるにつれて多数のspeckルパターンを発生させ、従って低減されたレーザースペckルを発生させる。 20

【0016】

その代わりに、本発明は、レーザーによって発生されるラインイルミネーションが放散面を横切って走査されるあらゆるレーザー照明されたシステムにおいてレーザースペckルを低減させるのに適している。

【0017】

【本発明の望ましい実施態様の詳細な説明】

本発明のディスプレイシステムは、図式的に図3に示される。ディスプレイシステム40は、ディスプレイ光学機器42及びディスプレイ電子機器44を含む。ディスプレイ光学機器42は、レーザー46、イルミネーション電子機器48、格子光弁(GLV)50、シリーレン(Schlieren)光学機器52、波面変調器54、投影及び走査光学機器56及びディスプレイスクリーン58から成る。ディスプレイ電子機器44はレーザー源46、GLV50及び投影及び走査光学機器56に結合される。 30

【0018】

ディスプレイ電子機器44は、レーザー46を作動させる。レーザー46はレーザーイルミネーションを発する。イルミネーション光学機器48は、レーザーイルミネーションをGLV50上に集中させる。GLV50は、第1像平面60内に配置される。ディスプレイ電子機器44はGLV50を制御する。GLV50はレーザーイルミネーションを変調し、ピクセルの線形配列(アレイ)に関して反射された光又は放散された光を形成する。シリーレン光学機器52は、反射された光を放散された光から分離し、シリーレン光学機器52を通すために少なくともプラス1及びマイナス1の放散オーダー(order)を可能にする。 40

【0019】

シリーレン光学機器は、波面変調器54において行イメージ幅を有する行イメージを形成する。波面変調器54は、第2像平面に配置される。波面変調器54は、行イメージ幅を横切って位相を変調する。ディスプレイ電子機器44は、投影及び走査光学機器56の走査 50

鏡を駆動する。投影及び走査光学機器 56 行イメージをディスプレイスクリーン 58 上に投影し、ディスプレイスクリーン 58 上に 2 次元像を形成するためにディスプレイスクリーン 58 を横切って行イメージを走査する。ディスプレイスクリーン 58 は第 3 像平面 64 に配置される。

【0020】

波面変調器 54 は、ディスプレイスクリーン 58 において行イメージ幅を横切って位相を変化させる。行イメージ幅でディスプレイスクリーン 58 を横切って走査するにつれて位相が変化し、従って時間を通して多数のスペックルパターンを発生させる。多数のスペックルパターンを見る人の目又は光学システムの彩度検出器は低減されたスペックルを検出する。

10

【0021】

本発明のディスプレ光学機器 42 は、図 4 及び 5 にさらに例示される。図 4 はディスプレ光学機器 42 の平面図を示す。図 5 はディスプレ光学機器 42 の立面図を例示し、ディスプレ光学機器 42 は光軸 70 に沿って展開される。レーザー 46 はレーザーイルミネーション 72 を発（放出）する。イルミネーション光学機器 48 は拡散レンズ 74、視準レンズ 76 及び円柱レンズ 78 から成る。イルミネーション光学機器 48 は、焦点幅を有する焦点ラインの形で GLV 50 上にレーザーイルミネーション 72 の焦点を合わせる。図 4 は、入射角 45° で GLV 50 を照明するレーザーイルミネーション 72 を例示することに注目せよ。理想的には入射角度は最少にし、レーザーイルミネーション 72 で GLV 50 を照明するのを可能にすると同時に反射及び回折した光がシリレン光学機器 52 達し得るようにすることである。GLV 50 を照明するために他の光学機器系が用いられ得ることは当業者にとっては容易に明らかであろう。本発明の各レンズの描写は単一構成成分のレンズに限らず、また任意の所与のレンズが複合レンズ又は反射による光学素子で置き換えられ得ることも同様に当業者にとっては容易に明らかであろう。

20

【0022】

GLV 50 は焦点ラインに沿ってピクセルの線形配列としてレーザーイルミネーション 72 を変調し、各ピクセルにつきプラス 1 及びマイナス 1 回折オーダー D_{+1} 及び D_{-1} を含む、反射された光 R 又は回折された光を形成する。その代わりに、GLV 50 は、1080 を越えるか又はそれ未満のピクセルを発生させる。図 5 は、反射された光及び例示のために 2 つのピクセルにつきプラス 1 及びマイナス 1 回折オーダー D_{+1} 及び D_{-1} を例示する。所与のピクセルが光りを反射するように変調されるならば、反射された光 R が現れ、プラス 1 及びマイナス 1 回折オーダー D_{+1} 及び D_{-1} は現れないであろう。その代わりに、所与のピクセルが光を回折するように変調されるならば、プラス 1 及びマイナス 1 回折オーダー D_{+1} 及び D_{-1} が現れ、反射された光 R は現れないであろう。場合によっては、結果的に生じる像内にグレースケール効果を与える、結果的に生じる像内の所与のピクセル輝度を低減させるために、反射された光及びプラス 1 及びマイナス 1 回折オーダー D_{+1} 及び D_{-1} を発生させるように所与のピクセルを変調するのが望ましい。

30

【0023】

シリレン光学機器 52 は、第 1 及び第 2 レンズ 82 及び 84 間に配置されるシリレン絞り 80 を含む。シリレン絞り 80 は、反射された光 R を止めて、プラス 1 及びマイナス 1 回折オーダー D_{+1} 及び D_{-1} がシリレン絞り 80 を通過するのを可能にする。シリレン絞り 80 は第 1 変換平面 85 に配置されるのが望ましい。その代わりに、シリレン絞り 80 は第 1 変換平面 85 に近接して配置される。

40

【0024】

第 1 及び第 2 リレー（中継）レンズ 82 及び 84 は、波面変調器 54 以内であることが望ましい、第 2 像平面 62 内の行イメージとしてピクセルの線形配列の像を作る（映す）。その代わりに、第 2 像平面 62 は波面変調器 54 に近接する。暗及び明ピクセルは行イメージを構成する。暗ピクセルは、反射される光 R を与えるように変調される GLV 50 におけるピクセルに相当する。明ピクセルは、プラス 1 及びマイナス 1 回折オーダー D_{+1} 及び D_{-1} を含む、回折される光を与えるために変調される GLV 50 におけるピクセル

50

に相当する。

【0025】

波面変調器54は、波面変調器54における行イメージ幅を横切る波面の空間位相変量を形成する。望ましくは、レーザーイルミネーション72の波長に対して空間位相変量は0及び2 ラジアン間にある。望ましくは、空間位相変量は波面変調器54においては行イメージ幅未満であるが、投影及び走査光学機器56の最小サイズ分解能と等しいか又はそれより大きい周期を有する。波面変調器54は、行イメージに対して少なくとも部分的に直角な格子輪郭(側面)を有する透過性回折格子から成るのが望ましい。その代わりに、波面変調器54は、行イメージに対して少なくとも部分的に直角な格子輪郭を有する反射性回折格子から成る。反射性回折格子を用いることで、反射性回折格子を考慮するディスプレイ光学機器42の再配列を要することは当業者にとって容易に明らかであろう。高さを変化させる無作為輪郭が、行イメージ幅を横切って波面の空間位相変量を発生させるために格子輪郭の代わりに用いられ得ることも同様に当業者にとって容易に明らかであろう。

10

【0026】

投影及び走査光学機器56は、投影レンズ86及び走査鏡88から成る。投影レンズ86は、走査鏡88を介してディスプレイスクリーン58上に行イメージ90を投影する。同様に投影レンズ86は、ディスプレイスクリーン58上の行イメージ幅92を横切って空間位相変量を有する波面を修正する。走査鏡88は第2変換平面94の周りに配置されるのが望ましい。

【0027】

20

走査鏡88は、第1走査運動Aと共に移動し、従って第2走査運動Bと共にディスプレイスクリーン58を横切って行イメージ90を走査する。望ましくは、第1走査運動Aは鋸歯状歯走査運動であり、そこでは走査サイクルの第1部分はディスプレイスクリーン58を照明し、走査サイクルの第2部分は走査鏡88を走査サイクルの初めに戻す。ディスプレイスクリーン58を横切って行イメージを反復走査することによって2次元像がディスプレイスクリーン58上に形成される。ディスプレイスクリーン58を横切って行イメージ90を走査するために他の走査運動が用いられ得ることは当業者にとって容易に明らかであろう。同様にゼロの光学パワーを有する対物走査装置のような透過性走査装置で走査鏡88を置き換え得ることは当業者にとって容易に明らかであろう。

【0028】

30

行イメージ90がディスプレイスクリーン58を横切って走査するにつれて、GLV50はピクセルの線形並列を変調し、従ってピクセル矩形配列から構成される2次元像を発生させる。高解像度テレビ(HDTV)フォーマットに関しては、行イメージ90がディスプレイスクリーン58を横切って走査するにつれてGLV50は1920回変調する。従って、GLV50は、HDTVフォーマット用の2次元像を形成する、1920X1080の矩形配列を発生させるのが望ましい。他の映像フォーマットに関しては、他のどの映像フォーマットが表示されるかに依存して、行イメージ90がディスプレイスクリーン58を横切って走査するにつれて、GLV50は1920を越えるか又はそれ未満の回数の変調を行う。

【0029】

40

行イメージ幅92でディスプレイスクリーン58を横切って走査するにつれて、空間位相変量を有する波面は時間と共に多数のスペックルパターンを発生させる。当該多重スペックルパターンは目又は光学システムの彩度検出器によって検出されるスペックルを低減させる。

【0030】

図3、4及び5に描写されたディスプレイ光学機器は単色像を発生させる。カラーディスプレイ光学機器は、ディスプレイ光学機器42、2つの追加レーザー、2つの追加イルミネーション光学機器、2つの追加GLV及び2色性フィルタ群から成る。カラーディスプレイ光学機器では、赤、緑及び青レーザーは3つのGLVを照明し、ピクセルの赤、緑及び青線形配列を発生させる。2色性フィルタ群は3つのGLVから反射及び回折された光を結合

50

し、反射及び回折された光をシリレン光学機器 52 に方向づける。波面変調器 54 は、波面変調器 54 及びその結果としてディスプレイスクリーン 58 において赤、緑及び青波面に対して行イメージ幅 92 を横切って位相を変化させる。カラーディスプレイ光学機器に関しては、行イメージ幅 92 を横切る空間位相変量は、赤、緑及び青レーザーイルミネーションの 1 つ（例えば、緑レーザーイルミネーション）に対して最適振幅又は関係する波長の特殊な平均である波長を有するのが望ましい。行イメージ 90 がディスプレイスクリーン 58 を横切って走査されるにつれて、赤、緑及び青波面は、時間を通して多数のスペックルパターンを発生させ、従って、カラーディスプレイ光学機器内のスペックルを低減させる。その代わりに、カラーディスプレイ光学機器では、2 色性フィルタ群は、単一 GLV を連続的に照明するために赤、緑及び青レーザーイルミネーションを結合させる。

10

【0031】

望ましい波面変調器 54 A は図 6 A 及び 6 B に例示される。望ましい波面変調器 54 A は、幅、高さ及び厚さ 106、108 及び 109 並びに格子輪郭 110 を有する透過性格子から成る。好ましい波面変調器 54 A において 27.5 μ m の行イメージ幅を有する 27.5 mm の行イメージに対する便利な取扱サイズ及び冗長性を与えるために、幅 106 は約 4 mm、高さ 108 は約 35 mm 及び厚さ 109 は約 1 mm であることが望ましい。その代わりに、高さ 108 及び幅 106 は、少なくとも行イメージのサイズになるように選択され、また好ましい波面変調器 54 A における行ライン幅及び厚さ 109 は、少なくとも十分な取扱構造を与えるものになるように選択される。例示の目的のために図 6 A 及び 6 B は現実のものより遥かに大きくされたものとして格子輪郭 110 を描写していること

20

【0032】

格子輪郭 110 は、高さ 108 に対して角度 C を形成し、27.5 mm の行イメージに平行である。格子輪郭 110 は、好ましい波面変調器 54 A において 27.5 mm の行イメージに対して少なくとも部分的に直交し、従って角度 C は 90° ではない。望ましくは、ディスプレイ光学機器 42（図 4 及び 5）の投影レンズ 86 及び走査鏡 88 に対する光学的処理量を最適化するために角度 C は約 45° である。45° の角度は、ディスプレイスクリーン 58 において行イメージ幅 92 を横切る空間位相変量を与え、同時に第 2 変換平面 94（図 4 及び 5）の回りに配置される、走査鏡 88 における光学的足跡を最小にする。格子輪郭 110、角度 C、投影レンズ 86 及び走査鏡 88 は、ディスプレイ光学機器 42（図 4、5、6 A 及び 6 B）の相互に関係のあるサブシステムを形成する。相互に関係のあるサブシステムは、異なった格子輪郭、角度 C に対する 45° 以外の角度、異なった投影レンズ及び異なった走査鏡を用いて最適化され得る。

30

【0033】

図 6 C は、格子輪郭 110 をさらに例示する。格子輪郭 110 は 2 ピッチ格子輪郭から成る。投影レンズ 86 が $f/2.5$ の速度を有する、融解石英（532 nm 光に対し 1.46 屈折率を有する）の格子材料、好ましい波面変調器 54 A における像幅の格子材料及び相互に関係するサブシステムに対して最適化された好ましい格子輪郭を以下に示す。

【0034】

図 6 C 基準	寸法
D	4 μ m
E	3.5
F	2
G	8.5
H	578 nm

40

【0035】

寸法 H は、 $H = \lambda / [2(n - 1)]$ によって決定され、ここでは λ は光波長であり、 n は格子材料に関する屈折率である。好ましい格子輪郭は、走査鏡 88 がディスプレイ光学機器 42（図 4 及び 5）の第 2 変換平面 94 の回りに配置された矩形鏡から成る、相互に関係するサブシステムに対する光学的足跡を最適化する。

50

【 0 0 3 6 】

好ましい波面変調器 5 4 A は写真平版パターンを溶解石英に食刻することによって製造されるのが望ましい。好ましい波面変調器 5 4 A はむしろ反射防止膜を含む。好ましい反射防止膜は 4 0 0 - 7 0 0 n m B B A R (ブロードバンド反射防止性) 膜である。

【 0 0 3 7 】

既に述べたように、行イメージ幅 9 2 でディスプレイスクリーン 5 8 を走査するにつれて空間位相変量を有する波面は時間と共に多数のスペックルパターンを発生させる。目で検出されると当該多重スペックルパターンは、本発明のスペックル低減係数 (率) だけスペックルを低減させる。

【 0 0 3 8 】

本発明のスペックル低減係数は下式で与えられる。

【 0 0 3 9 】

スペックル低減係数 = $(1 + p r o j 2 / e y e) ^ { 1 / 2 } / (1 + p r o j 1 / e y e) ^ { 1 / 2 }$

ここで、 $p r o j 1$ = 走査方向で、投影された光によって境界づけられた、投影された第 1 平面角度であり、波面変調器 5 4 のないディスプレイ光学器 4 2 に対するものである

$p r o j 2$ = 走査方向で、投影された光によって境界づけられた、投影された第 2 平面角度であり、波面変調器 5 4 を伴うディスプレイ光学器 4 2 に対するものである

$e y e$ = 目によって境界づけられて見られた平面角度である

【 0 0 4 0 】

波面変調器 5 4 をディスプレイ光学器 4 2 に含めることによって、投影された第 1 平面角度 $p r o j 1$ は第 2 平面角度 $p r o j 2$ に増大される。投影及び走査光学機器 5 6 の投影出口瞳孔を最大化するように波面変調器 5 4 を設計することによって、本発明のスペックル低減係数は最大化される。

【 0 0 4 1 】

スペックル低減係数は本発明の総合的スペックル低減を評価するが、行イメージ幅 9 2 がディスプレイスクリーン 5 8 を横切って走査されるにつれて、同幅に関してスペックルがどのように低減されるかを理解することは有用である。

【 0 0 4 2 】

行イメージ幅 9 2 でディスプレイスクリーン 5 8 上の各ピクセルを横切って走査するにつれて、多重スペックルパターンが発生される。それは光波関数 $t o t a l (x , t)$ が時間と共に変わるからである。即ち、

$$t o t a l (x , t) = s c r e e n (x) + b e a m (x - v t)$$

ここで、 $s c r e e n$ = 静止ディスプレイスクリーン光波関数

$b e a m$ = 移動ビームを構成する可変光波

x = 走査方向に沿ったディスプレイスクリーン 5 8 上の位置

v = 行イメージ幅 9 2 の走査速度

【 0 0 4 3 】

走査動作が速く、1 ピクセルを横切るのに 1 0 μ s 未満なので目で多重スペックルパターンの平均が取られる。

【 0 0 4 4 】

例示的な 1 例では、第 1、第 2、第 3 及び第 4 の分散した領域及び 2 段階波面輪郭によって、多重パターンがどんな風に形成されるかが図 7 A 及び 7 B に図式的に示される。図 7 A から始まる、ディスプレイスクリーン 5 8 上の分散した領域、1 5 0、1 5 2、1 5 4 及び 1 5 6 が初期時間 t_1 において示され、2 段階波面輪郭 1 5 8 で第 1、第 2 及び第 3 分散領域 1 5 0、1 5 2 及び 1 5 4 が照明され、2 段階波面輪郭 1 5 8 が観察者の目で見られる。

【 0 0 4 5 】

観察者の目で見られる光を記述する第 1 光波関数 (t_1) が下式で与えられる。

10

20

30

40

50

【0046】

$$(t_1) = A_1 e^{i\phi_1} + A_2 e^{i\phi_2} + A_3 e^{i\phi_3}$$

ここで、 A_1 = 第1分散領域150から放散反射する光の第1振幅

A_2 = 第2分散領域152から放散反射する光の第2振幅

A_3 = 第3分散領域154から放散反射する光の第3振幅

ϕ_1 = 第1分散領域150から放散反射する光の第1位相

ϕ_2 = 第2分散領域152から放散反射する光の第2位相

ϕ_3 = 第3分散領域154から放散反射する光の第3位相

【0047】

例示的例に関して、 $\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = 0$ と仮定すると、光波関数 10

(t_1) は下式で与えられる。

【0048】

$$(t_1) = A_1 + A_2 + A_3$$

これは彩度を導き、第1光波関数 (t_1) に対する第1彩度 $I(t_1)$ は下式で与えられる。

【0049】

$$I(t_1) = (t_1)^2 = A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + 2A_1A_2 + 2A_1A_3 + 2A_2A_3$$

図7Bは、その後の時間 t_2 におけるディスプレイスクリーン58上の2段階波面輪郭158を図式的に描写し、そこでは2段階波面輪郭158は第2、第3及び第4分散領域152、154及び156を照明する。 20

【0050】

観察者の目で見られる光を記述する第2光は関数 (t_2) は下式で与えられる。

【0051】

$$(t_2) = A_2 e^{i\phi_2} + A_3 e^{i\phi_3} + A_4 e^{i\phi_4}$$

ここで、 A_4 = 第3分散領域156から放散反射する光の第3振幅

ϕ_4 = 第4分散領域156から放散反射する光の第4振幅

【0052】

例示的例に関して、 $\phi_2 = \phi_3 = \phi_4 = 0$ と仮定すると、光波関数 (t_2) は下式で与えられる。 30

【0053】

$$(t_2) = A_2 + A_3 + A_4$$

これは第2光波関数 (t_2) に対する、下式で与えられる第2彩度 $I(t_2)$ を導く。

【0054】

$$I(t_2) = (t_2)^2 = A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + 2A_2A_3 + 2A_2A_4 + 2A_3A_4$$

【0055】

初期時間 (t_1) と、その後の時間 (t_2) との時間差は観察者の目に対する統合時間より遥かに小さいので、観察者の目は第1及び第2彩度 $I(t_1)$ 及び $I(t_2)$ の平均を取る。特に、第1及び第2彩度 $I(t_1)$ 及び $I(t_2)$ の比較は、第1彩度 $I(t_1)$ の第1交差項 $(+2A_2A_3)$ が第2彩度 $I(t_2)$ の第2交差項 $(-2A_2A_3)$ によって相殺されることを示す。観察者の目で見られるスペckルを低減させるのは交差項のこの相殺である。 40

【0056】

本発明の第1代替ディスプレイ光学機器は、反射性光弁の線形配列を用いる。図4及び5を参照すると、そんなシステムはGLV50を反射性光弁の線形配列で置き換えるのでシリレーン絞り80を用いないであろう。第1の代替ディスプレイ光学機器では、第1中継レンズ82からレーザーイルミネーションを反射することによって特殊の反射性光弁が暗ピクセルを発生させる。第1代替ディスプレイ光学機器では、レーザーイルミネーションを第1中継レンズ82へ反射することによって特殊の反射性光弁が明ピクセルを発生させる。 50

【0057】

本発明の第2代替ディスプレイ光学機器は、透過性光弁の線形配列を用いる。図4及び5を参照すると、そんなシステムはGLV50を透過性光弁の線形配列で置き換えるのでシリレーン絞り80を用いないであろう。第2の代替ディスプレイ光学機器では、第1中継レンズ82へレーザーイルミネーションを伝導しないことによって特殊の透過性光弁が暗ピクセルを発生させる。第2代替ディスプレイ光学機器では、レーザーイルミネーションを第1中継レンズ82へ伝導することによって特殊の反射性光弁が明ピクセルを発生させる。

【0058】

本発明の第3代替ディスプレイ光学機器は、シリレーン光学機器を反射性シリレーン光学機器で置き換える。反射性シリレーン光学機器はオフナー（Offner）リレーを用いるのが望ましい。オフナーリレーは、凸面鏡及び凹面鏡を含む。凸面鏡は矩形スリットを含む。反射された光R及び、プラス1及びマイナス1回折オーダー、 D_{+1} 及び D_{-1} を含む、回折された光は凸面鏡から凹面鏡へ反射する。反射された光Rは矩形スリットを通過する。プラス1及びマイナス1回折オーダー、 D_{+1} 及び D_{-1} は凸面鏡から凹面鏡へ逆反射する。続いて、凹面鏡はプラス1及びマイナス1回折オーダー、 D_{+1} 及び D_{-1} を波面変調器54へ反射する。

10

【0059】

代わりの波面変調器が図8に例示される。代替波面変調器54Bは、第1及び第2格子表面、136及び138、並びに同調（調整）表面139から成る。第2格子表面138は、ライン140を横切って反映される第1格子表面から成る。同調表面139は、ディスプレイ光学機器42（図4、5及び8）の初期整列（調整）のために用いられる平坦な表面から成る。ディスプレイ光学機器42の初期整列では、代替波面変調器54Bの光学的厚さを説明するようにディスプレイ光学機器42を調整するために行イメージ90が同調表面139に又はその近くに集中される。初期整列後、波面を横切って空間位相変量を発生させるために第1又は第2格子表面、136又は138が選択される。このように、第1又は第2格子表面、136又は138のよりよい像品質（図4、5及び8）を与えるどちらかを選択することによって後続の光学機器の光学的欠点が最小にされる。

20

【0060】

好ましい格子輪郭を有する好ましい波面変調器54Aの性能を評価するために2つの試験が行われた。第1試験では、波面変調器は存在しなかった。同試験ではコントラストは44%であることが分かった。第2試験では、好ましい波面変調器54Aが存在した。同試験では、コントラストは20%であることが分かった。従って、2.2スペックル低減係数（ N' ）が好ましい波面変調器54Aによって発生された。

30

【0061】

本発明のディスプレイシステム40に関して本発明は記載されているが、本発明はレーザーによって発生されるラインイルミネーションが放散表面を横切って走査される任意のレーザー照明されたシステムにおいてレーザースペックルを低減させるのに適している。

【0062】

添付された請求の範囲によって限定される本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく好ましい実施形態に各種の修正がなされ得ることは当業者にとって容易に明らかであろう。

40

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、先行技術のレーザースペックルを示す装置を例示する。

【図2】

図2は、先行技術の典型的なレーザースペックルパターンの写真である。

【図3】

図3は、本発明のディスプレイ装置を図式的に例示する。

【図4】

図4は、本発明のディスプレイ光学機器系の平面図を例示する。

【図5】

50

図 5 A 及び 5 B は、光軸に沿って展開された本発明のディスプレイ光学機器系の立面図を例示する。

【図 6】

図 6 A、6 B 及び 6 C は本発明の望ましい波面変調器を例示する。

【図 7】

図 7 A 及び 7 B は、行イメージが本発明のディスプレイスクリーンを横切って走査されるつれて進行する波面を例示する。

【図 8】

図 8 は、本発明の代わりの波面変調器を例示する。

【図 1】

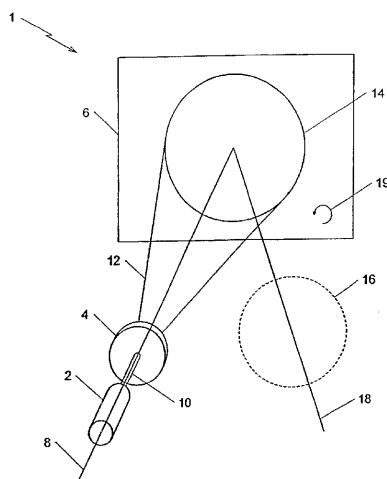


FIG. 1
(先行技術)

【図 2】

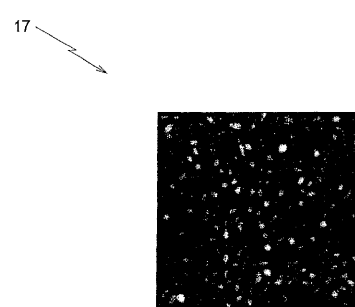


FIG. 2
(先行技術)

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
18 April 2002 (18.04.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/31575 A2(51) International Patent Classification: **G02B 27/00**

(21) International Application Number: PCT/US01/31418

(22) International Filing Date: 4 October 2001 (04.10.2001)

(25) Filing Language: English

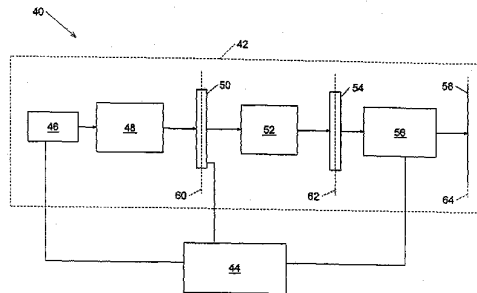
(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
09/687,465 11 October 2000 (11.10.2000) US(71) Applicant: **SILICON LIGHT MACHINES** [US/US];
Suite 115, 385 Moffett Park Drive, Sunnyvale, CA 94089 (US).(72) Inventor: **TRISNADI, Johja, I.**; 21800 San Fernando Avenue, Cupertino, CA 95014 (US).(74) Agents: **HAVERSTOCK, Thomas, B.**, et al.; Haverstock & Owens LLP, 162 North Wolfe Road, Sunnyvale, CA 94086 (US).(81) Designated States (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.(84) Designated States (*regional*): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published: — without international search report and to be republished upon receipt of that report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR REDUCING LASER SPECKLE



(57) Abstract: A method and apparatus for reducing laser speckle in a laser illuminated system where a line illumination produced by a laser is scanned across a diffuse surface is preferably incorporated in a display apparatus where a two dimensional image is produced on a display screen. The display apparatus includes a high modulator, a wavefront modulator, and a projection/scanning optical arrangement. The light modulator modulates a laser illumination to form a line image made up of a linear array of pixels. The wavefront modulator varies a spatial phase across a width of the line image thus forming a phase modulated wavefront. The projecting/scanning optical arrangement projects the line image onto the display screen and scans the line image over the display screen. The phase modulated wavefront produces multiple speckle patterns that are averaged as the line image is scanned and, thus, produces the reduced laser speckle.

WO 02/31575 A2

WO 02/31575

PCT/US01/31418

METHOD AND APPARATUS FOR REDUCING LASER SPECKLE**FIELD OF THE INVENTION**

The present invention relates to the field of laser illuminated systems. More particularly, the present invention relates to the field of laser illuminated systems in which a line illumination produced by a laser is scanned over a diffuse surface.

BACKGROUND OF THE INVENTION

Coherent light illuminating a rough surface produces speckle. Reflection from the rough surface is referred to as diffuse reflection. Transmission through the rough surface is referred to as diffuse transmission. In the diffuse reflection or the diffuse transmission, light scatters in various directions. The coherent light scattered by the diffuse reflection or by the diffuse transmission forms an interference pattern in the space away from the rough surface. If viewed by a human eye, the eye will see dark and light in a 'granular' pattern. The granular pattern is the speckle. An intensity detector of an optical system will also detect the speckle if the optical system views the rough surface illuminated by the coherent light.

A speckle demonstration apparatus of the prior art is illustrated in FIG. 1. The speckle demonstration apparatus 1 includes a demonstration laser 2, a diverging lens 4, and a viewing screen 6, which are located on a first optic axis 8. The demonstration laser 2 emits a laser beam 10. The diverging lens 4 transforms the laser beam 10 into a divergent laser beam 12. The divergent laser beam 12 illuminates the viewing screen 6 in a large area 14. The viewing screen 6 diffusely reflects the divergent laser beam 12 creating an interference pattern. An observation plane 16 located on a second optic axis 18 intersects the interference pattern. The observation plane 16 is the field-of-view in space where the eye or the optical system is focused. If the eye or the optical system is focused at the viewing screen 6, the observation plane 16 is located at the viewing screen 6. Note that the diverging lens 4 aids in demonstrating the speckle but is not necessary to produce the speckle.

FIG. 2 is a photograph of a typical speckle pattern 17 of the prior art, which is illustrative of the speckle viewed at the observation plane 16. Constructive interference of the divergent laser beam 12 reflecting diffusely from the viewing screen 6 creates bright spots in the observation plane 16. Destructive interference creates dark spots between the bright spots. The diffuse reflection from the viewing screen 6 has a random nature so the bright spots and the dark spots vary throughout the observation plane 16.

A measure of the speckle is contrast (C). The contrast, in percent, is given by $C = 100 \cdot I_{RMS} / \bar{I}$ where \bar{I} is a mean intensity and I_{RMS} is a root mean square intensity fluctuation about the mean intensity.

Goodman in "Some fundamental properties of speckle," J. Opt. Soc. A., Vol. 66, No. 11, Nov. 1976, pp 1145-1150, teaches that the speckle can be reduced by superimposing N uncorrelated speckle patterns. This reduces the contrast by a speckle reduction factor of $1/\sqrt{N}$ provided that the N uncorrelated speckle patterns have equal mean intensities and contrasts.

WO 02/31575

PCT/US01/31418

If the N uncorrelated speckle patterns have non-equal mean intensities or non-equal contrasts, the speckle reduction factor will be less than \sqrt{N} . Thus, the speckle reduction factor of \sqrt{N} is a best case for the speckle reduction for the N uncorrelated speckle patterns. Goodman further teaches that the uncorrelated speckle patterns can be obtained by means of time, space, frequency, or polarization.

A speckle reduction method of the prior art creates multiple speckle patterns by moving the viewing screen 6 in an oscillatory motion 19, which employs the time means taught by Goodman. The oscillatory motion 19 typically follows a small circle or a small ellipse about the optic axis 8. This causes the speckle pattern to shift relative to the eye or the optical system viewing the viewing screen 6 and, thus, forms multiple speckle patterns over time. Though the amount of the speckle at any instant in time is unchanged, the eye perceives the reduced speckle provided that the speed of the oscillatory motion is above a threshold speed. The intensity detector of the optical system detects the reduced speckle provided that an exposure time is sufficiently long to allow the speckle pattern to move a significant distance.

In the art of laser illuminated display systems, it is known that an active diffuser can be added to a laser illuminated imaging system for reducing laser speckle. The active diffuser is placed in an intermediary image plane or near the intermediary image plane. The active diffuser is moved in the intermediate image plane in a rotation or toroidal pattern about a display system optic axis in order to create a shifting phase at a display screen. The shifting phase creates uncorrelated speckle patterns over time, thus employing the time means, taught by Goodman.

Wang et al. in "Speckle reduction in laser projection systems by diffractive optical elements," Applied Optics, Vol. 37, No. 10, Apr. 1998, pp 1770-1775, teach a method of laser speckle reduction in a laser projection system such as a laser television system. In the laser projection system a laser spot forms an image on a display screen by a raster scan similarly to how an electron beam forms an image in a CRT (cathode ray tube) display. The method taught by Wang et al. is accomplished by expanding a laser beam, placing a diffractive optical element in the expanded laser beam to form multiple beamlets, and then focusing the laser beamlets to form the laser spot on the display screen. The multiple beamlets shift slightly as each pixel is formed on the display screen. This provides a time varying speckle pattern and consequently a speckle reduction. Wang et al. further teach that the diffractive optical element can be rotated to slightly improve the speckle reduction.

Bloom et al. in U.S. Patent No. 5,982,553 issued on Nov. 9, 1999, incorporated herein by reference, teach a display system including a grating light valve (GLV), red, green, and blue lasers, various lens arrangements, a scanning mirror, a display screen, and electronics. The electronics control the GLV, the lasers, and the scanning mirror to form a two dimensional image on the display screen.

In the display system taught by Bloom et al., the GLV forms a line image composed of a linear array of pixels on the display screen. The scanning mirror repeatedly scans the

WO 02/31575

PCT/US01/31418

line image across the display screen in a direction perpendicular to the line image as the GLV modulates the linear array of pixels thereby forming the two dimensional image.

Because the two dimensional image taught by Bloom et al. is formed by laser illumination, the two dimensional image exhibits laser speckle, which degrades an image quality. It would be desirable to improve the image quality by reducing the laser speckle.

What is needed is a method of reducing laser speckle in a display system where a two dimensional image is formed by scanning a line image.

What is needed is a method of reducing laser speckle in an optical system where a line illumination produced by a laser is scanned over a diffuse surface.

WO 02/31575

PCT/US01/31418

SUMMARY OF THE INVENTION

This invention is a method and apparatus for displaying a two dimensional image formed by scanning a line image across a display screen where the two dimensional image exhibits reduced laser speckle. The display apparatus includes a light modulator, a wavefront modulator, and a projection/scanning optical arrangement. The light modulator modulates a laser illumination to form a line image made up of a linear array of pixels. The wavefront modulator varies a spatial phase across a width of the line image thus forming a phase modulated wavefront. The projection/scanning optical arrangement projects the line image onto the display screen and scans the line image across the display screen. The phase modulated wavefront produces multiple speckle patterns as the line image is scanned over the display screen and, thus, produces the reduced laser speckle.

Alternatively, the present invention is appropriate for reducing laser speckle in any laser illuminated system where a line illumination produced by a laser is scanned across a diffuse surface.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 illustrates an apparatus for demonstrating laser speckle of the prior art.

FIG. 2 is a photograph of a typical laser speckle pattern of the prior art.

FIG. 3 schematically illustrates a display apparatus of the present invention.

FIG. 4 illustrates a plan view of display optics of the present invention.

FIG. 5 illustrates an elevation view of the display optics of the present invention with the display optics unfolded along an optic axis.

FIGS. 6A, 6B, and 6C illustrate the preferred wavefront modulator of the present invention.

FIGS. 7A and 7B illustrate a progression of wavefronts as a line image is scanned across a display screen of the present invention.

FIG. 8 illustrates an alternative wavefront modulator of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

A display system of the present invention is illustrated schematically in FIG. 3. The display system 40 includes display optics 42 and display electronics 44. The display optics 42 comprise a laser 46, illumination optics 48, a grating light valve (GLV) 50, Schlieren optics 52, a wavefront modulator 54, projection and scanning optics 56, and a display screen 58. The display electronics 44 are coupled to the laser source 46, the GLV 50, and the projection and scanning optics 56.

The display electronics 44 power the laser 46. The laser 46 emits a laser illumination. The illumination optics 48 focus the laser illumination onto the GLV 50. The GLV 50 is located in a first image plane 60. The display electronics 44 control the GLV 50. The GLV 50 modulates the laser illumination forming reflected light or diffracted light for a linear

WO 02/31575

PCT/US01/31418

array of pixels. The Schlieren optics 52 separates the reflected light from the diffracted light allowing at least plus one and minus one diffraction orders to pass the Schlieren optics 52.

The Schlieren optics forms a line image having a line image width at the wavefront modulator 54. The wavefront modulator 54 is located in a second image plane 62. The wavefront modulator 54 modulates a phase across the line image width. The display electronics 44 drive a scanning mirror of the projection and scanning optics 56. The projection and scanning optics 56 project the line image onto the display screen 58 and scan the line image across the display screen 58 to form a two dimensional image on the display screen 58. The display screen 58 is located in a third image plane 64.

The wavefront modulator 54 varies the phase across the line image width at the display screen 58. As the line image width scans across the display screen 58, the phase varies and, thus, produces multiple speckle patterns over time. A human eye or an intensity detector of an optical system viewing the multiple speckle patterns detects reduced speckle.

The display optics 42 of the present invention are further illustrated in FIGS. 4 and 5. FIG. 4 illustrates a plan view of the display optics 42. FIG. 5 illustrates an elevation view of the display optics 42, with the display optics 42 unfolded along an optic axis 70. The laser 46 emits the laser illumination 72. The illumination optics comprise a divergent lens 74, a collimation lens 76, and a cylindrical lens 78. The illumination optics 48 focus the laser illumination 72 onto the GLV 50 in a focus line having a focus width. Note that FIG. 4 illustrates the laser illumination 72 illuminating the GLV 50 with an angle of incidence of 45°. Ideally, the angle of incidence is a minimum angle of incidence which allows the laser illumination 72 to illuminate the GLV 50 while allowing the reflected and diffracted light to reach the Schlieren optics 52. It will be readily apparent to one skilled in the art that other optics arrangements can be used to illuminate the GLV 50. It will also be readily apparent to one skilled in the art that depiction of lenses in the present invention is not limited to single component lenses and that any given lens can be replaced with a compound lens or a reflective optical element.

The GLV 50 modulates the laser illumination 72 as the linear array of pixels along the focus line, forming the reflected light R or the diffracted light, including the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , for each pixel. Preferably, the GLV 50 produces a linear array of 1,080 pixels. Alternatively, the GLV 50 produces more or less than 1,080 pixels. Note that FIG. 5 illustrates the reflected light R and the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , for two pixels for illustration purposes. If a given pixel is modulated to reflect light, the reflected light R will be present and the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , will not be present. Alternatively, if the given pixel is modulated to diffract light, the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , will be present and the reflected light R will not be present. In some instances it is desirable to modulate the given pixel to produce the reflected light R and the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , in order to reduce a brightness of the given pixel in a resulting image, which provides a gray scale effect in the resulting image.

WO 02/31575

PCT/US01/31418

The Schlieren optics 52 include a Schlieren stop 80 located between first and second relay lenses, 82 and 84. The Schlieren stop 80 stops the reflected light R and allows the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , to pass the Schlieren stop 80. The Schlieren stop 80 is preferably located in a first transform plane 85. Alternatively, the Schlieren stop 80 is located near the first transform plane 85.

The first and second relay lenses, 82 and 84, image the linear array of pixels as the line image in the second image plane 62, which is preferably within the wavefront modulator 54. Alternatively, the second image plane 62 is near the wavefront modulator 54. Dark and light pixels make up the line image. The dark pixels correspond to the pixels at the GLV 50 which are modulated to provide the reflected light R. The light pixels correspond to the pixels at the GLV 50 which are modulated to provide the diffracted light including the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} .

The wavefront modulator 54 forms a spatial phase variation of a wavefront across the line image width at the wavefront modulator 54. Preferably, the spatial phase variation is between 0 and 2π radians for the wavelength of the laser illumination 72. Preferably, the spatial phase variation has a period smaller than the line image width at the wavefront modulator 54 but equal or larger than a smallest size resolution of the projection and scanning optics 56. The wavefront modulator 54 preferably comprises a transmissive diffraction grating with a grating profile at least partially orthogonal to the line image. Alternatively, the wavefront modulator 54 comprises a reflective diffraction grating with the grating profile at least partially orthogonal to the line image. It will be readily apparent to one skilled in the art that using the reflective diffraction grating entails rearranging the display optics 42 to account for the reflective diffraction grating. It will also be readily apparent to one skilled in the art that a random profile of varying height can be used in lieu of the grating profile to produce the spatial phase variation of the wavefront across the line image width.

The projection and scanning optics 56 comprise a projection lens 86 and the scanning mirror 88. The projection lens 86, via the scanning mirror 88, projects the line image 90 onto the display screen 58. The projection lens 86 also reforms the wavefront having the spatial phase variation across the line image width 92 on the display screen 58. The scanning mirror 88 is preferably located at about a second transform plane 94.

The scanning mirror 88 moves with a first scan motion A and, thus, scans the line image 90 across the display screen 58 with a second scan motion B. Preferably, the first scan motion A is a sawtooth scan motion where a first part of a scan cycle illuminates the display screen 58 and a second part of the scan cycle returns the scanning mirror 88 back to a beginning of the scan cycle. By repeatedly scanning the line image 90 across the display screen 58, a two dimensional image is formed on the display screen 58. It will be readily apparent to one skilled in the art that other scan motions can be used to scan the line image 90 across the display screen 58. It will also be readily apparent to one skilled in the art that a

WO 02/31575

PCT/US01/31418

transmissive scanning device such as an objective scanner having zero optical power can replace the scanning mirror 88.

As the line image 90 scans across the display screen 58, the GLV 50 modulates the linear array of pixels thus producing the two dimensional image made up of a rectangular array of pixels. For a high definition television (HDTV) format, the GLV 50 modulates 1,920 times as the line image 90 scans across the display screen 58. Thus, the GLV 50 preferably produces a 1,920 by 1,080 rectangular array forming the two dimensional image for the HDTV format. For other picture formats, the GLV 50 modulates more or less than the 1,920 times as the line image 90 scans across the display screen 58 depending upon which of the other picture formats is being displayed.

As the line image width 92 scans across the display screen 58, the wavefront having the spatial phase variation produces the multiple speckle patterns with time. The multiple speckle patterns reduce the speckle that is detected by the eye or the intensity detector of the optical system.

The display optics 42 depicted in FIGS. 3, 4, and 5 produce a monochrome image. Color display optics comprise the display optics 42, two additional lasers, two additional illumination optics, two additional GLV's, and a dichroic filter group. In the color display optics, red, green, and blue lasers illuminate the three GLV's producing red, green, and blue linear arrays of pixels. The dichroic filter group combines the reflected and diffracted light from the three GLV's and directs the reflected and diffracted light to the Schlieren optics 52. The wavefront modulator 54 varies the phase across the line image width 92 for red, green, and blue wavefronts at the wavefront modulator 54 and consequently at the display screen 58. For the color display optics, the spatial phase variation across the line image width 92 preferably has an optimum amplitude for one of red, green, and blue laser illuminations (e.g., the green laser illumination), or a wavelength that is a specific average of participating wavelengths. The red, green, and blue wavefronts produce the multiple speckle patterns over time as the line image 90 is scanned across the display screen 58 and, thus, reduce the speckle in the color display optics. Alternatively, in the color display optics, the dichroic filter group combines the red, green, and blue laser illuminations to sequentially illuminate a single GLV.

The preferred wavefront modulator 54A is illustrated in FIGS. 6A and 6B. The preferred wavefront modulator 54A comprises a transmissive diffraction grating having a width, height, and thickness, 106, 108, and 109, and a grating profile 110. Preferably, the width 106 is about 4 mm, the height 108 is about 35 mm, and the thickness 109 is about 1 mm in order to provide a convenient handling size and redundancy for a 27.5 mm line image having a 25.5 μm line image width at the preferred wavefront modulator 54A. Alternatively, the height 108 and the width 106 are selected to be at least a size of the line image and the line image width at the preferred wavefront modulator 54A and the thickness 109 is selected to be at least that which provides sufficient handling structure. Note that for illustrative

WO 02/31575

PCT/US01/31418

purposes FIGS. 6A and 6B depict the grating profile 110 as being much larger than actual practice.

The grating profile 110 forms an angle C to the height 108, which is parallel to the 27.5 mm line image. The grating profile 110 is at least partially orthogonal to the 27.5 mm line image at the preferred wavefront modulator 54A so the angle C is not 90°. Preferably, the angle C is about 45° in order to optimize an optical throughput for the projection lens 86 and scanning mirror 88 of the display optics 42 (FIGS. 4 and 5). The 45° angle provides the spatial phase variation across the line image width 92 at the display screen 58 while minimizing an optical footprint at the scanning mirror 88, which is located at about the second transform plane 94 (FIGS. 4 and 5). The grating profile 110, the angle C, the projection lens 86, and the scanning mirror 88 form an interrelated subsystem of the display optics 42 (FIGS. 4, 5, 6A, and 6B). It will be readily apparent to one skilled in the art that the interrelated subsystem can be optimized using a different grating profile, an angle other than 45° for the angle C, a different projection lens, and a different scanning mirror.

FIG. 6C further illustrates the grating profile 110. The grating profile 110 comprises a two pitch grating profile. The preferred grating profile optimized for a grating material of fused silica (having an index of refraction for 532 nm light of 1.46), for the 25.5 μm line image width at the preferred wavefront modulator 54A, and for the interrelated subsystem, where the projection lens 86 has an f/2.5 speed, follows:

FIG. 6C Reference	Dimension
D	4 μm
E	3.5
F	2
G	8.5
H	578 nm

The dimension H is determined by $H = \lambda/[2(n-1)]$, where λ is the light wavelength and n is the index of refraction for the grating material. The preferred grating profile optimizes the optical footprint for the interrelated subsystem where the scanning mirror 88 comprises a rectangular mirror located at about the second transform plane 94 of the display optics 42 (FIGS. 4 and 5).

The preferred wavefront modulator 54A is preferably fabricated by etching a photolithographic pattern into the fused silica. Preferably, the preferred wavefront modulator 54A includes an antireflection coating. The preferred antireflection coating is a 400-700 nm BBAR (broadband anti-reflective) coating.

As previously mentioned, as the line image width 92 scans across the display screen 58, the wavefront having the spatial phase variation produces the multiple speckle patterns with time. When detected by the eye, the multiple speckle patterns reduce the speckle by a speckle reduction factor of the present invention.

The speckle reduction factor of the present invention is given by:

WO 02/31575

PCT/US01/31418

$$\text{Speckle reduction factor} = (1 + \theta_{\text{proj2}}/\theta_{\text{eye}})^{1/2} / (1 + \theta_{\text{proj1}}/\theta_{\text{eye}})^{1/2}$$

where θ_{proj1} = first projected planar angle, in scan direction, subtended by projected light, the first projected planar angle is for the display optics 42 without the wavefront modulator 54

θ_{proj2} = second projected planar angle, in scan direction, subtended by projected light, the second projected planar angle is for the display optics 42 with the wavefront modulator 54

θ_{eye} = viewed planar angle subtended by the eye

By including the wavefront modulator 54 in the display optics 42, the first projected planar angle θ_{proj1} is increased to the second projected planar angle θ_{proj2} . By designing the wavefront modulator 54 to maximize a projection exit pupil of the projection and scanning optics 56, the speckle reduction factor of the present invention is maximized.

While the speckle reduction factor estimates an overall reduction in the speckle of the present invention, it is helpful to understand how the speckle is reduced relative to the line image width 92 as it is scanned across the display screen 58.

As the line image width 92 scans across each pixel on the display screen 58, the multiple speckle patterns are produced because a light wave function $\psi_{\text{total}}(x,t)$ varies with time t :

$$\psi_{\text{total}}(x,t) = \psi_{\text{screen}}(x) + \psi_{\text{beam}}(x - vt)$$

where ψ_{screen} = a light wave function for a stationary display screen

ψ_{beam} = a varying light wave function constituting a moving beam

x = position on the display screen 58 along scan direction

v = scan speed of the line image width 92

Since the scan motion is fast, less than 10 μs to traverse a pixel, the eye averages the multiple speckle patterns.

An illustrative example, demonstrating how the multiple speckle patterns are formed by first, second, third, and fourth scattering areas and a two-step wavefront profile, is schematically depicted in Figs. 7A and 7B. Beginning with Fig. 7A, the first, second, third, and fourth scattering areas, 150, 152, 154, and 156, on display screen 58, are shown at an initial time t_1 , with the two-step wavefront profile 158 illuminating the first, second, and third scattering areas, 150, 152, and 154 and with the two-step wavefront profile 158 viewed by an observer's eye.

A first light wave function $\psi(t_1)$ describes light viewed by the observer's eye, which is given by:

WO 02/31575

PCT/US01/31418

$$\psi(t_1) = A_1 e^{i\phi'} + A_2 e^{i\phi''} + A_3 e^{i\phi'''} \quad .$$

where A_1 = first amplitude of light diffusely reflecting from the first scattering area 150

A_2 = second amplitude of light diffusely reflecting from the second scattering area 152

A_3 = third amplitude of light diffusely reflecting from the third scattering area 154

ϕ' = first phase of light diffusely reflecting from the first scattering area 150

ϕ'' = second phase of light diffusely reflecting from the second scattering area 152

ϕ''' = third phase of light diffusely reflecting from the third scattering area 154

For the illustrative example, it is assumed that $\phi' = \pi$ radians and $\phi'' = \phi''' = 0$. Thus, the light wave function $\psi(t_1)$ is given by:

$$\psi(t_1) = -A_1 + A_2 + A_3$$

This leads to intensity a first intensity $I(t_1)$ for the first light wave function $\psi(t_1)$ as follows:

$$I(t_1) = \psi(t_1)^2 = A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 - 2A_1A_2 - 2A_1A_3 + 2A_2A_3$$

Fig. 7B schematically depicts the two-step wavefront profile 158 on the display screen 58 at a later time t_2 where the two-step wavefront profile 158 illuminates the second, third, and fourth scattering areas, 152, 154, and 156.

A second light wave function $\psi(t_2)$ describes light viewed by the observer's eye, which is given by:

$$\psi(t_2) = A_4 e^{i\phi'''} + A_5 e^{i\phi'''} + A_6 e^{i\phi'''} \quad .$$

where A_4 = third amplitude of light diffusely reflecting from the third scattering area 156

ϕ''' = fourth phase of light diffusely reflecting from the fourth scattering area 156

For the illustrative example, it is assumed that $\phi''' = \pi$ radians and $\phi''' = \phi''' = 0$. Thus, the light wave function $\psi(t_2)$ is given by:

WO 02/31575

PCT/US01/31418

$$\psi(t_2) = -A_2 + A_3 + A_4$$

This leads to a second intensity $I(t_2)$ for the second light wave function $\psi(t_2)$ as follows:

$$I(t_2) = \psi(t_2)^2 = A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 - 2A_2A_3 - 2A_2A_4 + 2A_3A_4$$

Since a time difference between the initial time t_1 and the later time t_2 is much less than an integration time for the observer's eye, the observer's eye averages the first and second intensities, $I(t_1)$ and $I(t_2)$. In particular, comparison of the first and second intensities, $I(t_1)$ and $I(t_2)$, shows that a first cross term ($+2A_2A_3$) in the first intensity $I(t_1)$ is cancelled by a second cross term ($-2A_2A_3$) in the second intensity $I(t_2)$. It is this cancelling of cross terms that reduces the speckle viewed by the observer's eye.

First alternative display optics of the present invention utilize a linear array of reflective light valves. Referring to FIGS. 4 and 5, such a system would replace the GLV 50 with the linear array of the reflective light valves and would not use the Schlieren stop 80. In the first alternative display optics, a particular reflective light valve produces the dark pixel by reflecting the laser illumination away from the first relay lens 82. In the first alternative display optics, the particular reflective light valve produces the light pixel by reflecting the laser illumination to the first relay lens 82.

Second alternative display optics of the present invention utilize a linear array of transmissive light valves. Referring to FIGS. 4 and 5, such a system would replace the GLV 50 with the linear array of the transmissive light valves and would not use the Schlieren stop 80. In the second alternative display optics, a particular transmissive light valve produces the dark pixel by not transmitting the laser illumination to the first relay lens 82. In the second alternative display optics, the particular reflective light valve produces the light pixel by transmitting the laser illumination to the first relay lens 82.

Third alternative display optics of the present invention replace the Schlieren optics with a reflective Schlieren optics. The reflective Schlieren optics preferably utilize an Offner relay. The Offner relay includes a concave mirror and a convex mirror. The convex mirror includes a rectangular slit. The reflected light R and the diffracted light, including the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , reflect from the concave mirror to the convex mirror. The reflected light R passes through the rectangular slit. The plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , reflect from the convex mirror back to the concave mirror. Subsequently, the concave mirror reflects the plus one and minus one diffraction orders, D_{+1} and D_{-1} , to the wavefront modulator 54.

An alternative wavefront modulator is illustrated in FIG. 8. The alternative wavefront modulator 54B comprises first and second grating surfaces, 136 and 138, and a tuning surface 139. The second grating surface 138 comprises the first grating surface mirrored across a line 140. The tuning surface 139 comprises a flat surface used for an initial alignment of the

WO 02/31575

PCT/US01/31418

display optics 42 (FIGS. 4, 5, and 8). In the initial alignment of the display optics 42, the line image 90 is focused in or near the tuning surface 139 in order to tune the display optics 42 to account for an optical thickness of the alternative wavefront modulator 54B. After the initial alignment, either the first or second grating surface, 136 or 138, is selected to produce the spatial phase variation across the wavefront. In this way an optical flaw in subsequent optics can be minimized by selecting the first or second grating surface, 136 or 138, whichever provides a better image quality (FIGS. 4, 5, and 8).

Two tests were performed to evaluate performance of the preferred wavefront modulator 54A having the preferred grating profile. In the first test, no wavefront modulator was present. In the first test, the contrast was found to be 44%. In the second test the preferred wavefront modulator 54A was present. In the second test, the contrast was found to be 20%. Thus, a 2.2 speckle reduction factor (\sqrt{N}) was produced by the preferred wavefront modulator 54A.

While the present invention has been described with respect to the display system 40 of the present invention, the present invention is appropriate for reducing laser speckle in any laser illuminated system where a line illumination produced by a laser is scanned across a diffuse surface.

It will be readily apparent to one skilled in the art that other various modifications may be made to the preferred embodiment without departing from the spirit and scope of the invention as defined by the appended claims.

WO 02/31575

PCT/US01/31418

CLAIMS

I claim:

- 1 1. A display apparatus for displaying a two dimensional image on a display
2 screen comprising:
3 a. a light modulator located in a first image plane, driven by electronic
4 means, and illuminated by a laser illumination, the light modulator forming a
5 linear array of pixels, the linear array of pixels forming a line image;
6 b. a wavefront modulator located in a second image plane, the wavefront
7 modulator spatially varying a phase across a width of the line image whereby
8 a phase modulated wavefront is formed; and
9 c. a projection/scanning optical arrangement driven by the electronic
10 means, projecting the line image onto the display screen, and scanning the line
11 image over the display screen such that a two dimensional image is formed on
12 the display screen and further such that the phase modulated wavefront
13 reduces laser speckle.
- 1 2. The display apparatus of claim 1 wherein the light modulator comprises a
2 diffractive light valve array.
- 1 3. The display apparatus of claim 2 wherein the diffractive light valve array
2 comprises a grating light valve.
- 1 4. The display apparatus of claim 3 wherein the second image plane is optically
2 located between the first image plane and the projection/scanning optical arrangement.
- 1 5. The display apparatus of claim 1 wherein the light modulator comprises a
2 reflective light valve array.
- 1 6. The display apparatus of claim 1 wherein the light modulator comprises a
2 transmissive light valve array.
- 1 7. The display apparatus of claim 1 wherein the wavefront modulator comprises
2 a diffractive element.
- 1 8. The display apparatus of claim 1 wherein the wavefront modulator comprises
2 a reflective element.

WO 02/31575

PCT/US01/31418

- 1 9. The display apparatus of claim 1 wherein the wavefront modulator comprises
2 a diffraction grating.
- 1 10. The display apparatus of claim 9 wherein the diffraction grating comprises a
2 two pitch diffraction grating.
- 1 11. The display apparatus of claim 9 wherein the projection/scanning optical
2 arrangement comprises a projection lens and a scanning mirror and further wherein the
3 projection lens, the scanning mirror, and the diffraction grating are configured to optimize an
4 optical throughput.
- 1 12. A display apparatus for displaying a two dimensional image on a display
2 screen comprising:
3 a. a laser source controlled by electronic means and providing a laser
4 output;
5 b. a first optical arrangement cylindrically focusing the laser output in a
6 focus line, the focus line having a focus width, the focus line located at a first
7 image plane;
8 c. a light valve array modulated by the electronic means, located in the
9 first image plane, and configured to produce a linear array of pixels, the linear
10 array of pixels forming a line image;
11 d. a second optical arrangement for cylindrically focusing the focus line
12 having the focus width in a second image plane;
13 e. a wavefront modulator located in the second image plane and
14 modulating a spatial phase across the focus width such that a phase modulated
15 wavefront is formed across a line image width; and
16 f. a third optical arrangement driven by the electronic means, the third
17 optical arrangement projecting the line image onto the display screen and
18 scanning the line image over the display screen such that the two dimensional
19 image is formed on the display screen and further such that the phase
20 modulated wavefront reduces laser speckle.
- 1 13. The display apparatus of claim 12 wherein the light valve array comprises a
2 diffractive light valve array.
- 1 14. The display apparatus of claim 13 wherein the diffractive light valve array
2 comprises a grating light valve and further wherein the third optical arrangement includes
3 means for separating a diffracted portion from a combination of diffracted light and reflected
4 light, the diffracted portion being a part of the diffracted light.

WO 02/31575

PCT/US01/31418

- 1 15. The display apparatus of claim 14 wherein the diffracted portion comprises a
2 plus one diffraction order and a minus one diffraction order.
- 1 16. The display apparatus of claim 15 wherein the diffracted light forms the line
2 image.
- 1 17. The display apparatus of claim 12 wherein the light valve array comprises a
2 reflective light valve array.
- 1 18. The display apparatus of claim 12 wherein the light valve array comprises a
2 transmissive light valve array.
- 1 19. A display apparatus for displaying a two dimensional image on a display
2 screen comprising:
3 a. a laser source controlled by electronic means and providing a laser
4 output;
5 b. a first optical arrangement cylindrically focusing the laser output in a
6 focus line, the focus line having a focus width, the focus line located in a first
7 image plane;
8 c. a grating light valve located in the first image plane, illuminated by the
9 focus line, and modulated by the electronic means, the grating light valve
10 producing a combination of diffracted light and reflected light arranged in a
11 linear array of pixels, a diffracted portion of the linear array of pixels forming
12 a line image;
13 d. a second optical arrangement separating the diffracted portion from the
14 combination of the diffracted light and the reflected light, the second optical
15 arrangement imaging the line image in a second image plane;
16 e. a wavefront modulator located in the second image plane and
17 modulating a spatial phase across a line image width whereby a phase
18 modulated line image is formed;
19 f. a projection lens projecting the phase modulated line image whereby a
20 projected line image is formed; and
21 g. a scanning mirror assembly driven by the electronic means and
22 scanning the projected line image over the display screen such that the two
23 dimensional image is formed on the display screen and further such that the
24 phase modulated line image reduces laser speckle.
- 1 20. A method of reducing laser speckle in a laser illuminated display system
2 comprising the steps of:
3 a. focusing a laser output in a line having a width;

WO 02/31575

PCT/US01/31418

- 4 b. modulating the laser output along the line to produce a linear array of
5 pixels, the linear array of pixels forming a line image having a line image
6 width;
7 c. modulating a spatial phase across the line image width such that a
8 phase modulated wavefront is produced;
9 d. projecting the line image onto a display screen; and
10 e. scanning the line image over the display screen repeatedly such that a
11 two-dimensional image is formed on the display screen and further such that
12 the phase modulated wavefront reduces the laser speckle.
- 1 21. An apparatus for illuminating an area on a diffuse surface comprising:
2 a. a wavefront modulator illuminated by a laser illumination and located
3 in a first image plane, the laser illumination forming a line illumination having
4 a line illumination width at the wavefront modulator, the wavefront modulator
5 spatially varying a phase across the line illumination width whereby a phase
6 modulated wavefront is formed; and
7 b. a projection/scanning optical arrangement driven by electronic means,
8 projecting the line illumination onto the diffuse surface, and scanning the line
9 illumination over the diffuse surface such that the area is illuminated and
10 further such that the phase modulated wavefront reduces laser speckle.
- 1 22. A method of reducing laser speckle comprising the steps of:
2 a. focusing a laser output in a line illumination having a line illumination
3 width;
4 b. modulating a spatial phase across the line illumination width such that
5 a phase modulated wavefront is produced;
6 c. projecting the line illumination onto a diffuse surface; and
7 d. scanning the line illumination over the diffuse surface such that an area
8 is illuminated and further such that the phase modulated wavefront reduces
9 laser speckle.

WO 02/31575

1/8

PCT/US01/31418

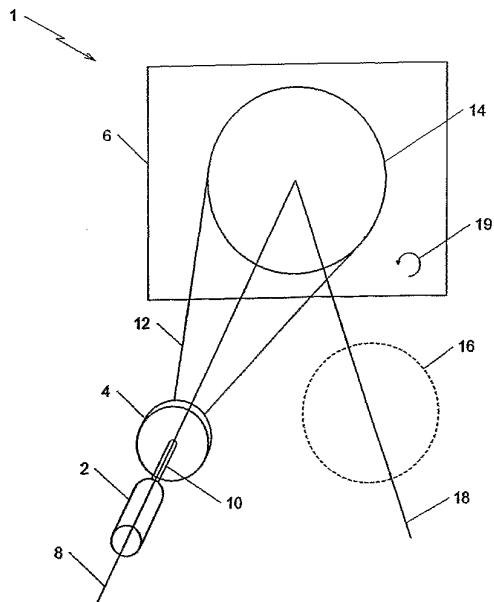


FIG. 1
(PRIOR ART)

WO 02/31575

2/8

PCT/US01/31418

17

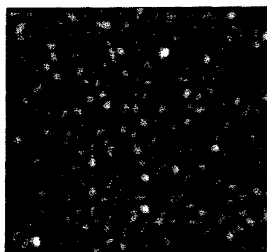
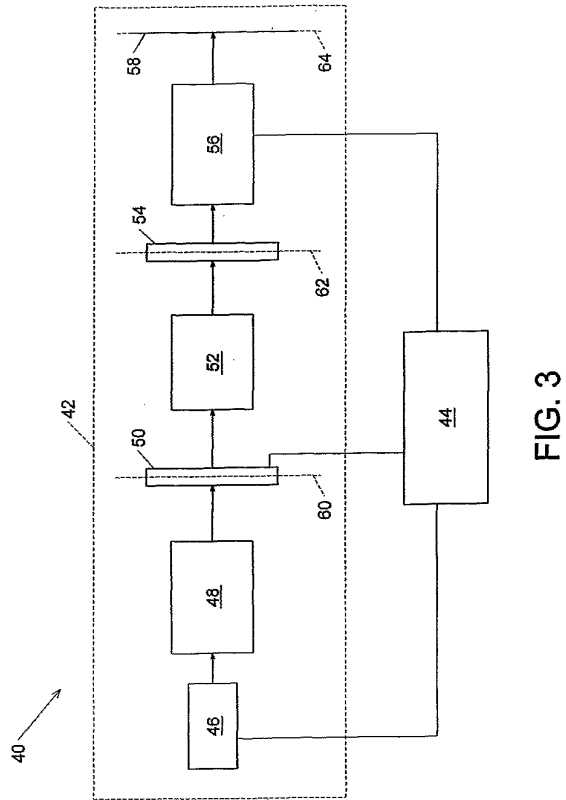
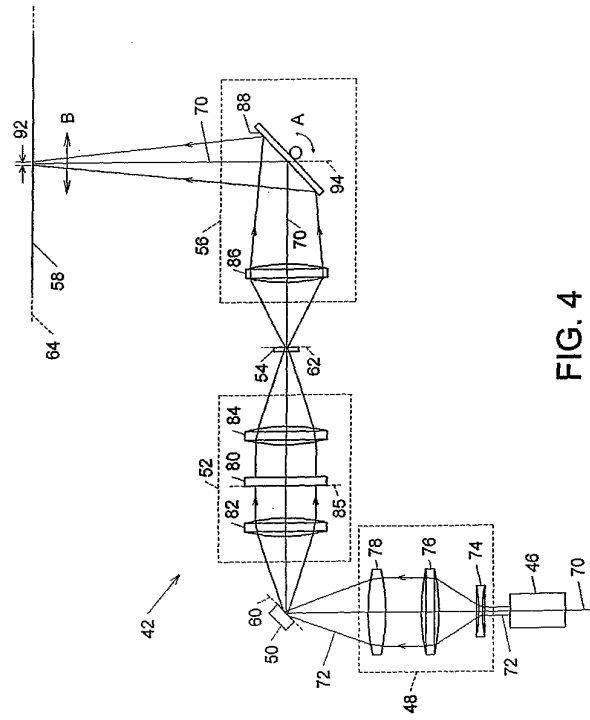
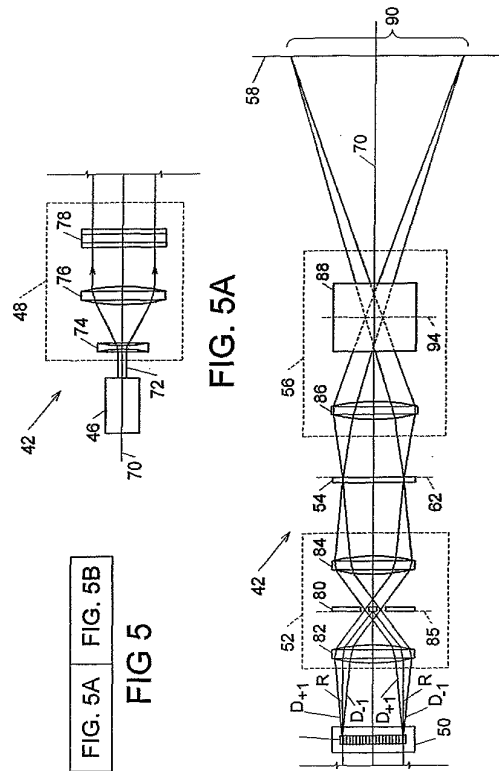


FIG. 2
(PRIOR ART)







WO 02/31575

6/8

PCT/US01/31418

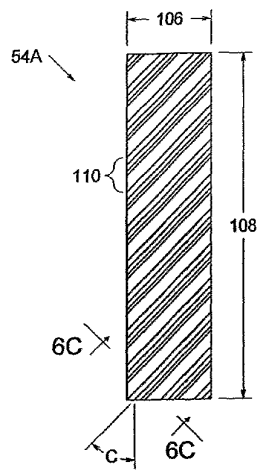


FIG. 6A

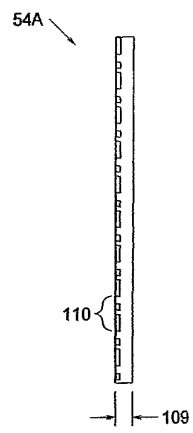


FIG. 6B

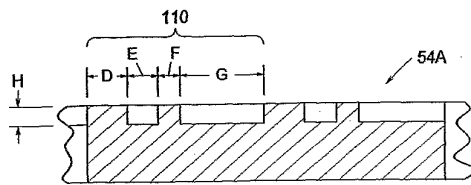
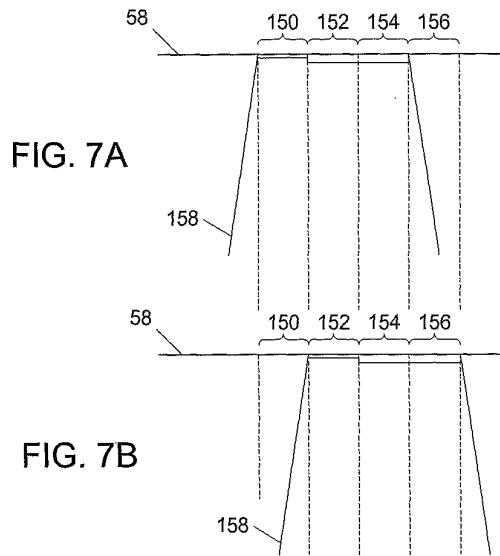


FIG. 6C



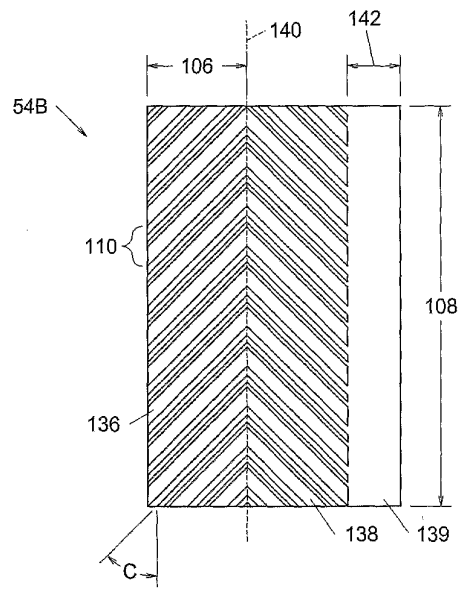


FIG. 8

【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
18 April 2002 (18.04.2002)

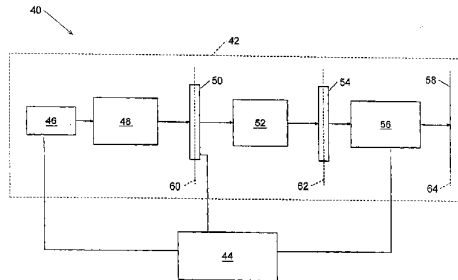
PCT

(10) International Publication Number
WO 02/031575 A3

- (51) International Patent Classification: **G02B 27/48**, H04N 5/74, G03B 21/00
- (21) International Application Number: PCT/US01/31418
- (22) International Filing Date: 4 October 2001 (04.10.2001)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 09/687,465 11 October 2000 (11.10.2000) US
- (71) Applicant: **SILICON LIGHT MACHINES** [US/US]; Suite 115, 385 Moffett Park Drive, Sunnyvale, CA 94089 (US).
- (72) Inventor: **TRISNADI, Jahja, I.**; 21800 San Fernando Avenue, Cupertino, CA 95014 (US).
- (74) Agents: **HAVERSTOCK, Thomas, B.** et al.; Haverstock & Owens LLP, 162 North Wolfe Road, Sunnyvale, CA 94086 (US).
- (81) Designated States (*national*): AT, AG, AI, AM, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GI, GM, GR, GU, HD, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NZ, NI, NO, NZ, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Designated States (*regional*): ARIPO patent (GI, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Published:**
with international search report
- (88) Date of publication of the international search report: 15 May 2003

[Continued on next page]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR REDUCING LASER SPECKLE



(57) Abstract: A method and apparatus for reducing laser speckle in a laser illuminated system where a line illumination produced by a laser is scanned across a diffuse surface is preferably incorporated in a display apparatus where a two dimensional image is produced on a display screen. The display apparatus includes a light modulator, a wavefront modulator, and a projection/scanning optical arrangement. The light modulator modulates a laser illumination to form a line image made up of a linear array of pixels. The wavefront modulator varies a spatial phase across a width of the line image thus forming a phase modulated wavefront. The projecting/scanning optical arrangement projects the line image onto the display screen and scans the line image over the display screen. The phase modulated wavefront produces multiple speckle patterns that are averaged as the line image is scanned and, thus, produces the reduced laser speckle.

WO 02/031575 A3

WO 02/031575 A3



For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 01/31418												
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G02B27/48 H04N5/74 603B21/00 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) IPC 7 G02B H04N Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal														
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category *</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>US 5 982 553 A (BLOOM DAVID M ET AL) 9 November 1999 (1999-11-09) cited in the application column 6, line 21 -column 8, line 31; figures 4,5</td> <td>1,12, 19-21</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WANG L ET AL: "SPECKLE REDUCTION IN LASER PROJECTION SYSTEMS BY DIFRACTIVE OPTICALELEMENTS" APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 37, no. 10, 1 April 1998 (1998-04-01), pages 1770-1775, XP000754330 ISSN: 0003-6935 cited in the application figure 3</td> <td>1,12, 19-21</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">--- -/--</td> </tr> </tbody> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 5 982 553 A (BLOOM DAVID M ET AL) 9 November 1999 (1999-11-09) cited in the application column 6, line 21 -column 8, line 31; figures 4,5	1,12, 19-21	A	WANG L ET AL: "SPECKLE REDUCTION IN LASER PROJECTION SYSTEMS BY DIFRACTIVE OPTICALELEMENTS" APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 37, no. 10, 1 April 1998 (1998-04-01), pages 1770-1775, XP000754330 ISSN: 0003-6935 cited in the application figure 3	1,12, 19-21	--- -/--		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
A	US 5 982 553 A (BLOOM DAVID M ET AL) 9 November 1999 (1999-11-09) cited in the application column 6, line 21 -column 8, line 31; figures 4,5	1,12, 19-21												
A	WANG L ET AL: "SPECKLE REDUCTION IN LASER PROJECTION SYSTEMS BY DIFRACTIVE OPTICALELEMENTS" APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 37, no. 10, 1 April 1998 (1998-04-01), pages 1770-1775, XP000754330 ISSN: 0003-6935 cited in the application figure 3	1,12, 19-21												
--- -/--														
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 claims 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 "Z" document member of the same patent family														
Date of the actual completion of the international search 3 January 2003		Date of mailing of the international search report 13/01/2003												
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patenlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Tabellion, M												

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 01/31418
C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 98 24240 A (LASER POWER CORP) 4 June 1998 (1998-06-04) figure 13 -----	1, 12, 19-21

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT Information on patent family members				International Application No. PCT/US 01/31418	
Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5982553	A	09-11-1999	AU 6569098 A		12-10-1998
			CN 1251178 T		19-04-2000
			DE 69803656 D1		14-03-2002
			DE 69803656 T2		13-06-2002
			DK 968453 T3		25-03-2002
			EP 0968453 A1		05-01-2000
			JP 2000513114 T		03-10-2000
			NO 994515 A		17-09-1999
			WO 9841893 A1		24-09-1998
WO 9824240	A	04-06-1998	AU 7412898 A		22-06-1998
			WO 9824240 A1		04-06-1998

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 トリスナーディ、ジャージャ・アイ

アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95014、クーパティノー、サン・フェルナンド・アベニ
ュー 21800

Fターム(参考) 2H045 AB00 BA12 DA31

2H049 AA03 AA07 AA13 AA37 AA44 AA60 AA64 AA66