

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5871929号  
(P5871929)

(45) 発行日 平成28年3月1日(2016.3.1)

(24) 登録日 平成28年1月22日(2016.1.22)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 N 21/956 (2006.01)

G O 1 N 21/956

A

請求項の数 20 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2013-527225 (P2013-527225)	(73) 特許権者	500049141
(86) (22) 出願日	平成23年8月30日 (2011.8.30)		ケーエルエーテンカー コーポレイショ ン
(65) 公表番号	特表2013-536947 (P2013-536947A)		アメリカ合衆国、95035、カリフォル ニア州、ミルピタス、ワン テクノロジイ ドライブ
(43) 公表日	平成25年9月26日 (2013.9.26)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2011/049757	(74) 代理人	110001210
(87) 国際公開番号	W02012/030837		特許業務法人Y K I 国際特許事務所
(87) 国際公開日	平成24年3月8日 (2012.3.8)	(72) 発明者	カドクライ アズミ
審査請求日	平成26年7月1日 (2014.7.1)		アメリカ合衆国 カリフォルニア サンタ クララ ヴィスタ クラブ サークル 1553 #301
(31) 優先権主張番号	12/873,387		
(32) 優先日	平成22年9月1日 (2010.9.1)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
		審査官	森口 正治
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 集光光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の検査のための画像システムであって、

凹面の非球面反射面および第1の距離以下である外径を有する後方反射体であって、前記後方反射体内に開口が形成され、前記開口が、視野から前記画像システムへと光を受け入れる後方反射体と、

凹面の非球面反射面および前記第1の距離以下である外径を有する前方反射体であって、前記前方反射体内に開口が形成され、前記開口が、前記画像システムから像面へと前記光を送り出す前方反射体と、

前記前方反射体からの光を受けて、前記光を前記前方反射体内の前記開口を介して前記画像システムから送り出すための凸面の非球面反射面を有する中央反射体と、

を含み、

前記後方反射体の曲率半径は前記前方反射体からの最初の反射の後に後方反射体に当たる際に周辺光線の収束を低減させるように選択され、前記前方反射体の曲率半径は前記前方反射体からの二回目の反射の後に中央反射体に当たる際に周辺光線の収束を低減させるように選択され、

前記中央反射体の曲率半径は、前記周辺光線が画像システムから出ていくために必要とされる前方反射鏡の開口のサイズを小さくするように選択される、

画像システム。

【請求項 2】

10

20

前記視野から前記画像システムへと受け入れた前記光は、前記前方反射体において2回反射し、前記後方反射体および前記中央反射体の両方において、それぞれ1回ずつ反射する、請求項1に記載の画像システム。

【請求項3】

前記画像システムは、純粋な反射光学システムである、請求項1に記載の画像システム。

【請求項4】

前記第1の距離は、約172ミリメートル以下である、請求項1に記載の画像システム。

【請求項5】

前記中央反射体は、前記後方反射体と前記前方反射体との間に配置される、請求項1に記載の画像システム。

【請求項6】

前記後方反射体の前記反射面は、前記前方反射体の前記反射面に向き合う、請求項1に記載の画像システム。

【請求項7】

前記システムは、約0.375から約0.93の開口数を有する扇状の光を前記視野から受け入れて、前記像面へ送り出す、請求項1に記載の画像システム。

【請求項8】

前記中央反射体から放出された前記光を、前記後方反射体内の前記開口を介して受け取るように配置された屈折光学要素をさらに備える、請求項1に記載の画像システム。

【請求項9】

前記視野からの前記光の一部分を捉えて、前記光の一部分を、前記前方反射体と前記後方反射体との間の前記システムから送り出すために、前記後方反射体と前記中央反射体との間に配置された直角屈折プリズムをさらに備える、請求項1に記載の画像システム。

【請求項10】

前記直角屈折プリズムは、湾曲した入力面および出力面を有する、請求項9に記載の画像システム。

【請求項11】

前記直角屈折プリズムは、約0.3の開口数を有する扇状の光を前記視野から受け入れて、前記システムから送り出す、請求項9に記載の画像システム。

【請求項12】

前記後方反射体と前記前方反射体との間の前記システム内、前記直角屈折プリズム内および前記視野上へ照射光を向けるための光源をさらに備える、請求項9に記載の画像システム。

【請求項13】

基板の検査のための画像システムであって、

凹面の非球面反射面および第1の距離以下である外径を有する後方反射体であって、前記後方反射体内に開口が形成され、前記開口が、視野から前記画像システムへと光を受け入れる後方反射体と、

凹面の非球面反射面および前記第1の距離以下である外径を有する前方反射体であって、前記前方反射体内に開口が形成され、前記開口が、前記画像システムから像面へと前記光を送り出す前方反射体において、前記後方反射体の前記反射面は、前記前方反射体の前記反射面に向き合う前方反射体と、

前記後方反射体と前記前方反射体との間に配置され、前記前方反射体からの光を受けて、前記光を前記前方反射体内の前記開口を介して前記画像システムから送り出すための凸面の非球面反射面を有する中央反射体において、前記視野から前記画像システムへと受け入れた前記光は、前記前方反射体において2回反射し、前記後方反射体および前記中央反射体の両方において、それぞれ1回ずつ反射する中央反射体と、

を備え、

10

20

30

40

50

前記後方反射体の曲率半径は前記前方反射体からの最初の反射の後に後方反射体に当たる際に周辺光線の収束を低減させるように選択され、前記前方反射体の曲率半径は前記前方反射体からの二回目の反射の後に中央反射体に当たる際に周辺光線の収束を低減させるように選択され、

前記中央反射体の曲率半径は、前記周辺光線が画像システムから出ていくために必要とされる前方反射鏡の開口のサイズを小さくするように選択される、

画像システム。

【請求項 1 4】

前記システムは、約 0.375 から約 0.93 の開口数を有する扇状の光を前記視野から受け入れて、前記像面へ送り出す、請求項 1 3 に記載の画像システム。

10

【請求項 1 5】

前記中央反射体から放出された前記光を、前記後方反射体内の前記開口を介して受け取るように配置された屈折光学要素をさらに備える、請求項 1 3 に記載の画像システム。

【請求項 1 6】

前記視野からの前記光の一部分を捉えて、前記光の一部分を、前記前方反射体と前記後方反射体との間の前記システムから送り出すために、前記後方反射体と前記中央反射体との間に配置された直角屈折プリズムをさらに備える、請求項 1 3 に記載の画像システム。

【請求項 1 7】

前記直角屈折プリズムは、湾曲した入力面および出力面を有する、請求項 1 6 に記載の画像システム。

20

【請求項 1 8】

前記直角屈折プリズムは、約 0.3 までの開口数を有する扇状の光を前記視野から受け入れて、前記システムから送り出す、請求項 1 6 に記載の画像システム。

【請求項 1 9】

前記後方反射体と前記前方反射体との間の前記システム内、前記直角屈折プリズム内および前記視野上へ照射光を向けるための光源をさらに備える、請求項 1 6 に記載の画像システム。

【請求項 2 0】

基板の検査のための画像システムであって、

凹面の非球面反射面および第 1 の距離以下である外径を有する後方反射体であって、前記後方反射体内に開口が形成され、前記開口が、視野から前記画像システムへと光を受け入れる後方反射体と、

30

凹面の非球面反射面および前記第 1 の距離以下である外径を有する前方反射体であって、前記前方反射体内に開口が形成され、前記開口が、前記画像システムから像面へと前記光を送り出す前方反射体において、前記後方反射体の前記反射面は、前記前方反射体の前記反射面に向き合う前方反射体と、

前記後方反射体と前記前方反射体との間に配置され、前記前方反射体からの光を受けて、前記光を前記前方反射体内の前記開口を介して前記画像システムから送り出すための凸面の非球面反射面を有する中央反射体と、

湾曲した入力面および出力面を有する直角屈折プリズムであって、約 0.3 までの開口数を有する前記視野からの前記光の一部分を捉えて、前記光の一部分を、前記前方反射体と前記後方反射体との間の前記システムから送り出すために、前記後方反射体と前記中央反射体との間に配置される直角屈折プリズムと、

40

を備える画像システムであって、

前記視野から前記画像システムへと受け入れた前記光が、前記前方反射体において 2 回反射し、前記後方反射体および前記中央反射体の両方において、それぞれ 1 回ずつ反射し、前記中央反射体を離れて前記システムから送り出されるときに約 0.375 から約 0.93 の開口数を有し、

前記後方反射体の曲率半径は前記前方反射体からの最初の反射の後に後方反射体に当たる際に周辺光線の収束を低減させるように選択され、前記前方反射体の曲率半径は前記前

50

方反射体からの二回目の反射の後に中央反射体に当たる際に周辺光線の収束を低減させるように選択され、

前記中央反射体の曲率半径は、前記周辺光線が画像システムから出ていくために必要とされる前方反射鏡の開口のサイズを小さくするように選択される、

画像システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、集積回路製造の分野に関する。より詳細には、本発明は、集積回路の紫外線光学検査に関する。

【背景技術】

【0002】

光学検査システムは、集積回路が形成される基板および構造における微小欠陥の検出に使用されている。本明細書で使用される場合、「集積回路」という用語は、シリコンもしくはゲルマニウムのような第Ⅳ族材料、もしくは、ガリウムヒ素のような第ⅢⅤ族化合物、または、こうした材料の混合物から形成される基板などのモノリシック半導体基板上に形成されるような装置を含む。この用語は、メモリおよび論理回路など、あらゆる種類の形成された装置、ならびに、MOSおよびバイポーラなど、あらゆる設計のこうした装置を含む。この用語は、フラットパネルディスプレイ、太陽電池および電荷結合素子(CCD)などの適用をも包含する。

【0003】

このような検査システムは、その処理量および検出感度の双方を高めることが常に求められている。光学系に基づく検査手段において、開口数(NA)が非常に高い光学系の使用、および、パルス放出レーザーによる高出力、短波長( )照射(通常、遠紫外域内)が、これらの目標を達成する方法である。このようなシステムの光学的分解能(R)は、 $R = (0.61) / \lambda$  であるレイリーの基準によって規定される。光学的分解能(R)の値が小さくなるほど、光学系の分解能は高くなる。

【0004】

パルス紫外線レーザーは、検査手段が要求された処理量および検出感度を達成可能にするために十分な高さの出力を発生する、現在のところ唯一の発生源である。これらのレーザー光源は、純粹に単一波長の放出源である傾向がある低出力連続波レーザー光源と比較すると、かなり広い放出波長帯域を有する傾向がある。

【0005】

屈折(ガラス)素子にのみ基づく光学システムには、紫外線透過特性の良好なガラス材料の選択に限りがあるため、紫外線領域において色補正が困難であるという問題および色収差の問題がある。このように、屈折光学系は、より高い開口数において画質が劣る傾向がある。この問題への1つの解決方法は、反射要素および屈折要素の組み合わせである反射屈折システムを使用することである。これらのシステムでは、光源光の小さな帯域内において色収差を限定的に補正できる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

したがって、上述したような問題を、少なくとも部分的に減らすシステムが求められている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記およびその他の要求は、凹面の非球面反射面および第1の距離以下である外径を有し、その内部に、視野から画像システムへと光を受け入れるための開口が形成された後方平面反射体と、凹面の非球面反射面および第1の距離以下である外径を有し、画像システムから像面へと光を送り出すための開口が形成された前方平面反射体と、前方平面反射体

10

20

30

40

50

からの光を受けて、その光を前方平面反射体内の開口を介して画像システムから送り出すための凸面の非球面反射面を有する中央反射体とを含む画像システムによって満たされる。

【0008】

上述の反射光学要素のみを用いて主となる画像（イメージング）チャネルを形成することにより、システムは、広範な開口数を示し、波長無依存であり、著しく高い分解能を有し、非常に小型である。

【0009】

本発明のこの様態に基づく様々な実施形態において、画像システムは、純粋な反射光学システムである。いくつかの実施形態において、第1の距離は、約172ミリメートル以下である。いくつかの実施形態において、中央反射体は、後方平面反射体と前方平面反射体との間に配置される。いくつかの実施形態において、後方平面反射体の反射面は、前方平面反射体の反射面に向き合う。いくつかの実施形態において、視野から画像システムへと受け入れた光は、前方平面反射体において2回反射し、後方平面反射体および中央反射体の両方において、それぞれ1回ずつ反射する。いくつかの実施形態において、システムは、約0.375から約0.93の開口数を有する扇状の光（fan of light）を視野から受け入れて、像面へ送り出す。いくつかの実施形態において、屈折光学要素は、中央反射体から放出された光を、後方平面反射体内の開口を介して受け取るように配置される。

10

【0010】

いくつかの実施形態において、直角屈折プリズムは、視野からの光の一部を捉えて、その光の一部を、前方平面反射体と後方平面反射体との間のシステムから送り出すために、後方平面反射体と中央反射体との間に配置される。いくつかの実施形態において、直角屈折プリズムは、湾曲した入力面および出力面を有する。いくつかの実施形態において、直角屈折プリズムは、約0.3の開口数を有する扇状の光を視野から受け入れて、システムから送り出す。いくつかの実施形態は、後方平面反射体と前方平面反射体との間のシステム内、直角屈折プリズム内および視野上へ照射光を向けるための光源を含む。

20

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施形態の構成を示す図である。

【0012】

本発明のさらなる利点は、図面と合わせて考慮する際、詳細な説明を参照すれば明らかである。図面は、詳細をより明確に示すために原寸に比例せず、類似の参照番号は類似の要素を一貫して指し、本発明の実施形態に基づく画像システムを示す。

30

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の様々な実施形態は、屈折要素をもたない、3つの反射体からなる全反射型の反射光学画像システムに向けられているため、いかなる形態の色収差もなく、原則として、レーザ源のあらゆる帯域および全波長で作動する。

【0014】

様々な実施形態は、単一倍率段階の有限共役系を含む。反射体の表面のうちの1つは2回使用されるため、この反射体によって、光源から発せられる光が全て2回反射され、その結果、回折限界のレンズの要求する性能にかなう4回反射型システムが得られる。

40

【0015】

ここで図面を参照すると、本発明の実施形態100が図示されている。システム100は、3つの反射面を使用し、前方平面反射体104と、後方平面反射体102と、中央反射体106とを含み、このうち1つの反射体104の表面は2回使用される。このため、対物面124から発せられた光118は、像面（図示せず）に結像する前に、4つの反射108、110、112および114を経る。4つの反射108、110、112および114を（より少ない反射数の代わりに）用いる理由の1つは、これら4つの反射が、折り畳みを行う反射体による閉じ込めを出て像を形成する光束を、より高開口数のものでき

50

るためである。

【 0 0 1 6 】

曲率半径および全ての反射面の反射体離間距離は、特定の設計要求を達成するために選択される。反射体 1 0 4 の曲率半径は、対物面 1 2 4 から発した周辺光線 1 1 6 の高さが、反射体 1 0 4 からの第 1 の反射の後、反射体 1 0 2 に当たる際に減少する（収束）ように選択される。反射体 1 0 2 の曲率半径は、周辺光線 1 1 6 が、反射体 1 0 4 からの第 2 の反射の後、反射体 1 0 6 に当たる際に、その収束が低減されるように選択され、それによって、オブスキュレーション比を低減する。最後に、反射体 1 0 6 の曲率半径は、周辺光線 1 1 6 がシステム 1 0 0 から出るために必要な反射体 1 0 4 の孔の寸法を縮小するように選択され、これもまた、オブスキュレーション（obscuration）比を低減する。

10

【 0 0 1 7 】

この周辺光線の収束により、オブスキュレーション比を低減するとともにシステムを非常に小型化できる。その他の反射システムにおいて、第 1 および第 2 の鏡は、さらに離間して配置され、所望のとおり光束を収束させる。反射体 1 0 2、1 0 4 および 1 0 6 の土台部分の曲率を選択することによってこの速やかな収束を達成した後、非球形係数が加えられて、光学システム 1 0 0 の第 1 収差、および、より高次の収差を補正する。非球形係数を有する表面の球欠高さ（sag）は、次の多項式によって規定される。

【 数 1 】

$$s = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2 h^2}} + \sum_i^N A_i h^{2i} \quad i = 2, 3, \dots$$

20

【 0 0 1 8 】

ただし、s は、表面の球欠高さ、  
c は、土台部分の曲率半径、  
h は、軸からの高さ、  
k は、コーニック定数、  
A' は、非球形係数である。

30

【 0 0 1 9 】

A' は、最適化手法の間、体系的に加えられて、対物面 1 2 4 から発せられる光線の収差を所望の程度に補正されるまで低減し、一方で、周辺光線の速やかな収束という設計の第 1 原理を維持する。

【 0 0 2 0 】

直列の反射光学システムは、中心オブスキュレーションを有して、開口数の部分的な集光を阻み、検出感度を低下させる。システム 1 0 0 において、反射体 1 0 6 の配置および寸法は、中心オブスキュレーションを低減させるように選択される。反射体 1 0 6 を反射体 1 0 4 に近づけると、中心オブスキュレーションは低減する。しかしながら、周辺光線 1 1 6 がシステム 1 0 0 から出る際に、反射体 1 0 6 から外れないように注意する必要がある。外れてしまうとシステム 1 0 0 の開口数が低下する。

40

【 0 0 2 1 】

このバランスは、反射体 1 0 6 を非球形の表面形状に形成することにより本システム 1 0 0 において達成される。この実施形態においては、より高い多項式係数の非球面形状である。一般的なシュヴァルツシルト対物鏡は約 2 0 パーセントのオブスキュレーションを有するのに対し、システム 1 0 0 において、反射体 1 0 6 の配置および寸法は、オブスキュレーションを約 1 6 パーセント以下に低減する。

【 0 0 2 2 】

システム 1 0 0 の全長 1 2 0 および反射体どうしの離間距離もまた調整されて、上述の結果を達成し、かつ、システム 1 0 0 の寸法を縮小する。結果として、図示のように、認

50

められた開口数は、約 0.375 (光束の境界 118) から約 0.93 (光束の境界 116) までである。この設計は、小型のシステム 100 を生み出し、これは 1 つの実施形態において、円筒状のハウジング内に囲まれており、直径 122 がわずかに約 172 ミリメートル、長さ 120 が約 65 ミリメートルである。

#### 【0023】

この実施形態における 3 つの反射面 102、104 および 106 は、視野 124 内に回折限界スポットを生成するために使用され、この直径は、約 150 ミクロンから約 300 ミクロンである。この収束スポットは、システム 100 により像面 (図示せず) において約 52.8 倍に拡大される。このシステム 100 のコンパクト性のために、反射光学システムにおいて一般にみられる中間像の形成が阻まれる。システム 100 のコンパクト性は、反射体 102 および 104 に求められる直径をも減らす。反射体 104 の直径は、対物面 124 からのその物理的な距離によって決定され、また、反射体 102 の直径は、周辺光線 116 の光路によって決定される。

10

#### 【0024】

反射体 104 の表面形状が、周辺光線 116 の光路および方向を決定づける。反射 108 の後、反射体 104 から光線 116 が発散してしまうと、位置 108 よりも半径方向に中心からより遠ざかる位置 110 において反射体 102 に当たることになるため、反射体 102 の直径は、図示の実施形態にあるよりも大きくする必要があろう。

#### 【0025】

いくつかの実施形態において、システム 100 の収差は、反射体 102、104 および 106 のうちのいくつかまたは全てを非球面の表面形状として形成することにより低減される。球面の形状を有する表面は、高開口数の光学システムの収差を補正するために限られた性能しか有していない。他方、非球面の形状の表面は、設計の自由度を増すことができ、このことにより、より高い開口数の入力に付随するレンズの収差を低減するために使用できる。この実施形態 100 において、反射体 102、104 および 106 は、非球面の形状を有して、システム 100 の寸法を縮小し、集光効率を改善する。

20

#### 【0026】

基板平面 124 からのより低い開口数の散乱を集光するために (低い開口数の暗視野)、1 つの実施形態において、第 2 の光チャネル 126 がシステム 100 に加えられる。これは、実行焦点距離が約 19.28 ミリメートルの湾曲した直角屈折プリズム 128 を利用する。湾曲した入力面および出力面を有する屈折プリズム 128 により、第 2 のチャネル 126 は非常に小型化することができて、反射体システム 100 の使用可能領域を塞ぐことなく、大きな開口数の集光光学系の空所に収まるようにする。プリズム 128 の入力面および出力面の曲率は、開口数 0.3 の扇状の光線 130 を捉えて、反射体 102 および 104 の間の入手可能な空き空間内に、そこを出るまでは、収容するように構成される。

30

#### 【0027】

第 2 のチャネル 126 の要素 132 の全ては、屈折性であるため、比較的高い分散を示す。したがって、第 2 のチャネル 126 は、設計波長 266 ナノメートル + 半値幅 150 ピコメートル (266 nm + 150 pm FWHM) に対して補正される。このチャネル 126 の散乱は、開口数の範囲が主となるチャネルよりもかなり低いため、許容し得る。

40

#### 【0028】

第 2 のチャネル 126 が開口数約 0.3 まで集光するため、主となる光チャネルは、約 0.375 から約 0.93 までを集光し、開口数が約 0.30 から約 0.375 の範囲内の開口数だけは、システム 100 は集光されない。

#### 【0029】

第 2 のチャネル 126 における屈折プリズム 128 もまた、光源 136 を用いて、照射チャネル 134 の一部として使用できる。図示の実施形態は、焦点面 124 上に直径約 1.5 ミクロンの収束スポットを生成し、照射野直径約 150 ミクロンにまで延びる。

#### 【0030】

50

上述したように、表面 102、104 および 106 の非球面の構成要素は、高度な補正および高分解能を達成するために重要な役割を担う。土台となる球面の湾曲は、対物面 124 からの光線束を速やかに収束させるように設定されている。このことは、システムの収差を補正するそれらの性能を制限することから、より高次の多項式係数の要求に至る。

【0031】

この設計の別の特性は、反射体 104 における反射を 2 回用いることである。このことは費用削減の利点を有するが、この表面により達成可能な補正の程度に制限を課すことになる。最初に、周辺光線 116 は、表面 104 に 108 において当たって発散し、表面 102 からの第 2 の反射の後に収束する。光線の方法余弦は、その過程で符号を変え、光線の収差特性を生み出す。このことは、非球形係数なしでは事実上補正不可能として、設計にさらなる制約を課す。

10

【0032】

その他の反射設計において、各反射体は 1 度だけ使用されて、純粹に休憩を有することができる。しかしながら、そのようなシステムもまた、本システム 100 より大型となる。

【0033】

システム 100 のこれら 2 つの特性である、周辺光線の速やかな収束をもたらす土台部分の湾曲と、システムの収差を補正するための非球形係数の体系的な追加とによって、システム 100 は、光学設計技術において独自のものとなる。

【0034】

20

別の実施形態において、薄型の屈折要素 138 は、反射体 106 の下流、鏡の箱であるシステム 100 のすぐ外側に追加されて、軸外の場の追加的な補正を提供する。この要素 138 は、システム 100 の色補正に対していかなる影響をも及ぼさないほど十分に薄い、照射野面積 124 を 2 倍にしてしまう。

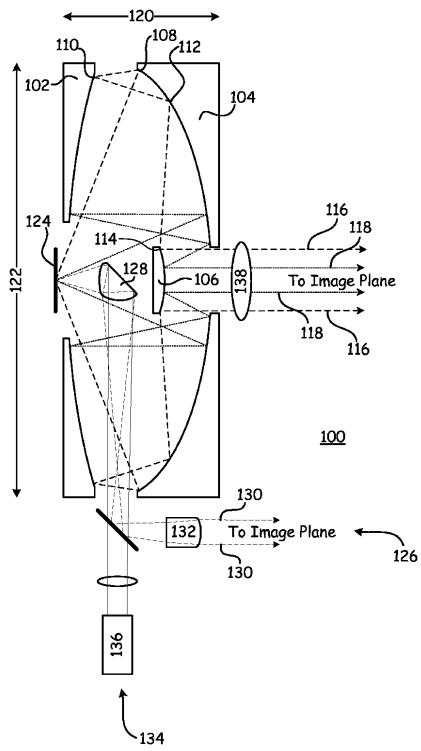
【0035】

上述の本発明の実施形態の説明は、説明と解説を目的として提示されている。これは、全てを網羅している訳ではなく、また、開示されるそのままの形態に本発明を限定するものでもない。上記の教示を踏まえて、自明な改変または変更をすることができる。実施形態は、本発明の原理およびその実質的な用途の説明を提供し、それによって当業者が本発明を様々な実施形態で、また企図される特定の用途に適するように様々な修正を行って利用できるようにすることを目的として選択され説明された。その能力に基づいて解釈された時、その能力に対して公正に、法的に、そして、公平に資格を与えられているのであるが、このような修正および改変の全ては添付の特許請求の範囲に記載された本発明の範囲内である。

30



【図 1】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特公昭61-046810(JP,B1)  
国際公開第2009/046137(WO,A1)  
特表2005-522293(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)  
G01N 21/84-21/958