

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6538873号  
(P6538873)

(45) 発行日 令和1年7月3日(2019.7.3)

(24) 登録日 令和1年6月14日(2019.6.14)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 21/87 (2006.01)

F 1

G O 1 N 21/87

請求項の数 22 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願2017-551701 (P2017-551701)  
 (86) (22) 出願日 平成28年3月30日 (2016.3.30)  
 (65) 公表番号 特表2018-510356 (P2018-510356A)  
 (43) 公表日 平成30年4月12日 (2018.4.12)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2016/025060  
 (87) 國際公開番号 WO2016/161014  
 (87) 國際公開日 平成28年10月6日 (2016.10.6)  
 審査請求日 平成29年11月30日 (2017.11.30)  
 (31) 優先権主張番号 14/673,776  
 (32) 優先日 平成27年3月30日 (2015.3.30)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 517340921  
 ジェモロジカル インスティテュート オ  
 ブ アメリカ インコーポレイテッド (ジ  
 一アイエー)  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92  
 008, カールスバッド, アーマダ ドラ  
 イブ 5345, ロバート モワード キ  
 ャンパス  
 (74) 代理人 110000659  
 特許業務法人広江アソシエイツ特許事務所  
 (72) 発明者 タハカシ, ヒロシ  
 アメリカ合衆国 ニュージャージー州 0  
 7024, フォート リー, 2エフ, セン  
 トナル ロード 2215エヌ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】宝石の光学的品質を評価するための装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

宝石の色特性を評価する装置であって、  
 評価される宝石を支持するよう構成された平坦で円形の表面を有する光学的に不透明な  
 プラットフォームと、  
 平坦で円形の前記プラットフォームを少なくとも部分的に取り囲むように形作られた同心  
 円状でリング状昼光近似 LED 光源であって、前記プラットフォームと同じレベル又は  
 前記プラットフォームの下に配置され、前記プラットフォーム上の前記宝石に対して均一  
 な拡散照明を提供するよう設計された昼光近似光源と、

少なくとも部分的に球形であり、反射材料を備える内面を有するリフレクタ装置であつ  
 て、一方のトラックに取り付けられてオープン状態とクローズド状態とすることができ、  
 前記リフレクタ装置は、オープン位置では前記プラットフォームを露出し、クローズ位置  
 では前記光源からの照射を宝石が配置された前記プラットフォーム表面上に向けて反射す  
 るために、前記光源及びプラットフォーム表面を少なくとも部分的に覆うことを特徴とす  
 る、リフレクタ装置と、

カメラ構成要素であって、前記宝石を支持する前記プラットフォーム表面に対して所定  
 の角度で配置され、プラットフォームが前記カメラ構成要素に対して回転するよう構成さ  
 れている、カメラ構成要素と、

前記カメラ構成要素が、前記カメラ構成要素と共に配置されるテレセントリックレンズ  
 を含んでいることを特徴とする装置。

10

20

**【請求項 2】**

前記テレセントリックレンズが、物体 - 空間テレセントリックレンズ、またはダブルテレセントリックレンズを備える、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 3】**

前記テレセントリックレンズが、ダブルテレセントリックレンズである、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 4】**

前記プラットフォームが、前記宝石が支持されている前記プラットフォームの前記表面上に垂直な回転軸の周りを回転するよう構成される請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 5】**

前記プラットフォームが、回転軸を中心に 360 度回転するよう構成される、請求項 4 に記載の装置。

10

**【請求項 6】**

前記プラットフォームが、平坦な円形プラットフォームであり、前記回転軸が前記円形プラットフォームの中心を通る、請求項 5 に記載の装置。

**【請求項 7】**

前記カメラ構成要素と前記プラットフォーム表面との間の前記所定の角度が、約 0 ° ~ 約 45 ° の間である、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 8】**

前記カメラ構成要素と前記プラットフォーム表面との間の前記所定の角度が、約 10 ° ~ 約 35 ° の間である、請求項 1 に記載の装置。

20

**【請求項 9】**

前記プラットフォーム表面が反射材料を備える、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 10】**

前記プラットフォーム表面が拡散反射材料を備える、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 11】**

前記プラットフォーム表面が白色拡散反射材料を備える、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 12】**

前記プラットフォームが、ポリテトラフルオロエチレン ( P T F E ) 、フルオロポリマー、硫酸バリウム、酸化マグネシウム、およびそれらの組み合わせからなる群から選択される材料で作られる、請求項 11 に記載の装置。

30

**【請求項 13】**

前記プラットフォーム表面がポリテトラフルオロエチレン材料を備える、請求項 12 に記載の装置。

**【請求項 14】**

前記昼夜光近似光源が、前記プラットフォーム表面を囲むリングライトとして構成される、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 15】**

前記カメラ構成要素は、カラーカメラ、または C C D カメラである請求項 1 に記載の装置。

40

**【請求項 16】**

前記カメラ構成要素が、前記照らされた宝石の複数のカラー画像を取り込み、それぞれ前記カメラ構成要素と前記プラットフォーム表面とが異なる相対回転位置にある場合に撮影される、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 17】**

前記カメラ構成要素によって収集された前記画像を記憶するためのコンピュータ可読媒体をさらに備える、請求項 16 に記載の装置。

**【請求項 18】**

前記色特性が色等級である、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 19】**

50

前記リフレクタ装置の内面が半球形状を有する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 20】

宝石の色特性を評価する装置であって、

評価される宝石を支持するよう構成された平坦で円形の表面を有する光学的に不透明なプラットフォームと、

前記プラットフォームに又は前記プラットフォームの下に配置され、同心円状でリング状の昼光近似 LED 光源と、

ディフューザであって、前記プラットフォーム上の前記宝石に均一な拡散照明を提供するよう前記昼光近似光源と結合される、ディフューザと、

少なくとも部分的に球形であり、反射材料を備える内面を有するリフレクタ装置であって、オープン状態とクローズド状態を構成するように一方のトラックに取り付けられており、前記リフレクタ装置は、オープン位置では前記プラットフォームを露出し、クローズ位置では前記光源及びプラットフォーム表面を少なくとも部分的に覆い、前記光源からの照射を前記プラットフォーム表面に向けて反射するリフレクタ装置と、

カメラ構成要素であって、前記宝石を支持する前記プラットフォーム表面に対して所定の角度で配置され、プラットフォームが前記カメラ構成要素に対して回転するよう構成されている、カメラ構成要素と、

前記照らされた宝石の画像を前記カメラ構成要素に提供するよう配置されたテレセントリックレンズと、を備える、装置。

【請求項 21】

前記リフレクタ装置の内面が半球形状を有する、請求項 20 に記載の装置。

【請求項 22】

前記プラットフォームが、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)、フルオロポリマー、硫酸バリウム、および酸化マグネシウムからなる群から選択される少なくとも 1 つと組み合わされた金で作られる、請求項 11 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願の相互参照]

本出願は、2015年3月30日に出願された、「APPARATUS AND METHOD FOR ASSESSING OPTICAL QUALITY OF GEMSTONES」というタイトルの米国特許出願第14/673,776号の優先権を主張するものであり、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

【0002】

本明細書に開示される装置および方法は、概して、宝石、特に、カットされた宝石の光学的品質の評価に関する。特に、本装置および方法は、カットされたダイヤモンドの色品質の評価に関する。本明細書で開示される装置および方法は、さらに、色成分分析に基づくデジタル画像処理に関する。

【背景技術】

【0003】

ダイヤモンドおよびその他の宝石は、多くの場合、視覚的な外観に基づいて、複数の訓練された熟練者によって分析され、等級付けされる。例えば、ダイヤモンド分析の基礎は、4つのC（色、透明度、カット、およびカラット重量）の分析を備え、そのうちの2つ、すなわち、色および透明度は、従来は、人間による検査によって評価してきた。特に、天然または昼光に近い光の下で人の目にダイヤモンドがどう見えるかは、ダイヤモンドの品質の主要な指標である。したがって、ダイヤモンドの品質は実質的に人間の視覚に基づいているので、分析および等級付けは、判断の行使、意見の形成、および視覚的比較に基づく細かい区別を引き出す能力を必要とする。

【0004】

検査と分析の処理は、しばしば時間がかかり、各訓練された経験豊富な個人による複数

10

20

30

40

50

回の検査、測定、および確認を含む。この処理には品質管理も含まれ、標本の品質に影響を与える可能性のある処理、充填剤、またはその他の欠陥を識別するための様々な非破壊検査を含む場合がある。最後に、この処理は、ダイヤモンド色に関する歴史的基準として機能するダイヤモンド原石の基準セットとダイヤモンドとの集中的な視覚的比較を含む。

#### 【0005】

訓練された経験豊富な個人がいなくても効率を向上させ、宝石の分析を可能にするための計器が作られている。しかし、これらの計器の性能は概ね良好であるが、引き続き懸念を引き起こす問題がある。最も重大なことは、経験豊富な人間のグレーダによる視覚的な等級付けと比較して、そのような計器で測定した場合、一定の石が一貫して著しく異なる結果を与えるという十分な証拠があるように見える。

10

#### 【0006】

訓練された経験豊富な個人による宝石の分析および等級付け（例えば、ダイヤモンドの色）を一貫して正確に近似することができる装置および方法が必要とされている。

#### 【発明の概要】

#### 【0007】

一態様では、本明細書において、宝石の色特性を評価するための装置が提供される。本装置は、評価される宝石を支持するように構成された表面を有する光学的に不透明なプラットフォームと、プラットフォームを少なくとも部分的に囲むように形作られた昼光近似光源であって、プラットフォーム上の宝石に対して均一な拡散照明を提供するように設計される、昼光近似光源と、画像捕捉構成要素であって、宝石を支持するプラットフォーム表面に対して所定の角度で配置され、プラットフォームと互いに対し回転するように構成されている、画像捕捉構成要素と、照らされた宝石の画像を画像捕捉構成要素に提供するように配置されたテレンセントリックレンズと、を備える。

20

#### 【0008】

別の態様では、本明細書において、宝石の色特性を評価するための装置が提供される。本装置は、評価される宝石を支持するように構成された表面を有する光学的に不透明なプラットフォームと、昼光近似光源と、ディフューザであって、プラットフォーム上の宝石に対して均一な拡散照明を提供するよう昼光近似光源と結合される、ディフューザと、画像捕捉構成要素であって、宝石を支持するプラットフォーム表面に対して所定の角度で配置され、プラットフォームと互いに対し回転するように構成されている、画像捕捉構成要素と、照らされた宝石の画像を画像捕捉構成要素に提供するように配置されたテレンセントリックレンズと、を備える。

30

#### 【0009】

いくつかの実施形態では、装置は、少なくとも部分的に球形であり、反射材料を備える内面を有するリフレクタ装置をさらに備え、リフレクタ装置は、昼光近似光源およびプラットフォーム表面を少なくとも部分的に覆い、光源からの光をプラットフォーム表面上に配置された宝石に向かって導く。いくつかの実施形態では、リフレクタ装置の内面は、半球形状を有する。

#### 【0010】

いくつかの実施形態では、テレンセントリックレンズは、物体 - 空間テレンセントリックレンズ、またはダブルテレンセントリックレンズを備える。いくつかの実施形態では、テレンセントリックレンズは、ダブルテレンセントリックレンズである。

40

#### 【0011】

いくつかの実施形態では、プラットフォームは、宝石が支持されているプラットフォームの表面に垂直な回転軸の周りを回転するよう構成される。いくつかの実施形態では、プラットフォームは、回転軸を中心に360度回転するよう構成される。いくつかの実施形態では、プラットフォームは平坦な円形プラットフォームであり、回転軸は円形プラットフォームの中心を通る。

#### 【0012】

いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素とプラットフォーム表面との間の所定の角

50

度は、約 0 ° ~ 約 45 ° の間である。いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素とプラットフォーム表面との間の所定の角度は、約 10 ° ~ 約 35 ° の間である。

#### 【 0 0 1 3 】

いくつかの実施形態では、リフレクタ装置の少なくとも部分的に球形の内面上の反射材料は、ポリテトラフルオロエチレン ( P T F E ) 、 S p e c t r a l o n ( 商標 ) 、硫酸バリウム、金、酸化マグネシウム、およびこれらの組み合わせからなる群から選択される。

#### 【 0 0 1 4 】

いくつかの実施形態では、プラットフォーム表面は反射材料を備える。いくつかの実施形態では、プラットフォーム表面は拡散反射材料を備える。いくつかの実施形態では、プラットフォーム表面は白色拡散反射材料を備える。いくつかの実施形態では、プラットフォーム表面はテフロン ( 登録商標 ) 材料を備える。

10

#### 【 0 0 1 5 】

いくつかの実施形態では、プラットフォームは、ポリテトラフルオロエチレン ( P T F E ) 、 S p e c t r a l o n ( 商標 ) 、硫酸バリウム、金、酸化マグネシウム、およびそれらの組み合わせからなる群から選択される材料で作られる。

#### 【 0 0 1 6 】

いくつかの実施形態では、昼光近似光源は、プラットフォーム表面を囲むリングライトとして構成される。いくつかの実施形態では、昼光近似光源は、カラーバランスフィルタを有する 1 つまたは複数のハロゲンランプ、プラットフォーム表面を囲むリング状構造に配置された複数の発光ダイオード、蛍光ランプ、 X e ランプ、タンゲステンランプ、メタルハライドランプ、レーザ誘起白色光 ( L D L S ) 、およびこれらの組み合わせからなる群から選択される。

20

#### 【 0 0 1 7 】

いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素は、カラーカメラ、 C C D カメラ、および 1 つまたは複数の C M O S センサアレイからなる群から選択される。

#### 【 0 0 1 8 】

いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素は、照らされた宝石の複数のカラー画像を取り込み、それぞれ画像捕捉構成要素とプラットフォーム表面とが異なる相対回転位置にある場合に取られる。

30

#### 【 0 0 1 9 】

いくつかの実施形態では、装置は、画像捕捉構成要素によって収集された画像を記憶するためのコンピュータ可読媒体をさらに備える。いくつかの実施形態では、宝石の色特性は色等級である。

#### 【 0 0 2 0 】

一態様では、本明細書において、サンプル宝石の色特性を評価する方法が提供される。本方法は、( i ) 複数のカラー画像に基づいて、サンプル宝石の割合または形状特性を決定するステップであって、複数のカラー画像の各画像がサンプル宝石のフル画像を含み、固有の画像角度で撮影され、複数の画素を備える、ステップと、( i i ) さらなる色分析のための割合または形状特性に対応する所定領域を選択するステップであって、所定領域が、複数のカラー画像の各画像内のサンプル宝石のフル画像内にある、ステップと、( i i i ) 複数のカラー画像の各画像内の所定の領域における各画素内の個々の色成分を定量化し、それにより、個々の色成分の値を各画素の色特性を表す 1 つまたは複数のパラメータに変換するステップと、( i v ) 複数のカラー画像のすべての画像の所定の領域内のすべての画素について、1 つまたは複数のパラメータのそれぞれについての平均値を決定するステップと、( v ) 複数のカラー画像のすべての画像の所定の領域内の全画素の 1 つまたは複数のパラメータの平均値に基づいて、サンプル宝石の 1 つまたは複数のカラースコアを計算するステップと、( v i ) 1 つまたは複数のカラースコアを、所定のカテゴリーに分類された 1 つまたは複数の対照宝石の対応するカラースコアの値と比較することによってサンプル宝石の色特性を評価し、それにより、サンプル宝石に色等級を割り当てるステ

40

50

ップと、を備える。

**【0021】**

いくつかの実施形態では、サンプル宝石はダイヤモンドである。

**【0022】**

いくつかの実施形態では、複数のカラー画像に基づいて作成された輪郭マスクを使用して、サンプル宝石の割合または形状特性が決定され、各輪郭マスクは、複数のカラー画像内の各画像におけるサンプル宝石の全画像に対応する空き領域を有する。

**【0023】**

いくつかの実施形態では、各輪郭マスクは、幅および高さを有する。いくつかの実施形態では、割合または形状特性は、 $w_{\text{width}_{\text{max}}} / w_{\text{width}_{\text{min}}}$  あり、 $W_{\text{width}_{\text{max}}}$  は輪郭マスクについて識別される最大幅であり、 $w_{\text{width}_{\text{min}}}$  は輪郭マスクに対して識別される最小幅ダイヤモンド幅である。  
10

**【0024】**

いくつかの実施形態では、割合または形状特性は、 $(\text{height} / \text{width})_{\text{min}}$  であり、 $(\text{height} / \text{width})_{\text{max}}$  は、輪郭マスクについて識別される最小アスペクト比である。

**【0025】**

いくつかの実施形態では、所定の領域は、対応する輪郭マスク内の空き領域の一部に対応する空き領域を有する仮想マスクを使用して選択される。いくつかの実施形態では、仮想マスクの空き領域は、輪郭マスクの空き領域の全領域の 30% ~ 100% に対応する。  
20

**【0026】**

いくつかの実施形態では、個々の色成分は、赤色 (R)、緑色 (G)、および青色 (B) を備える。

**【0027】**

いくつかの実施形態では、1つの個別の色成分の平均値は、所定の領域内の各画素の個々の色成分に対応する値を平均することによって計算される。

**【0028】**

いくつかの実施形態では、本方法は、一意的に異なる画像角度で画像捕捉構成要素を使用してサンプル宝石の複数のカラー画像を収集するステップをさらに備え、画像角度は、画像捕捉構成要素とサンプル宝石が置かれるプラットフォーム表面上の所定の基準位置との間の相対角度位置を定義する。  
30

**【0029】**

いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素は、テレセントリックレンズからの複数のカラー画像の照らされた宝石の各画像を受け取る。いくつかの実施形態では、テレセントリックレンズは、物体 - 空間テレセントリックレンズ、またはダブルテレセントリックレンズを備える。いくつかの実施形態では、テレセントリックレンズは、ダブルテレセントリックレンズである。

**【0030】**

いくつかの実施形態では、色評価の方法は、画像角度およびプラットフォーム表面上の所定の基準位置で画像捕捉構成要素を使用してサンプル宝石の新しい複数のカラー画像を収集するステップをさらに備える。そのような実施形態では、複数のカラー画像が収集される時間と新しい複数のカラー画像が収集される時間との間に時間間隔が存在する。  
40

**【0031】**

いくつかの実施形態では、ステップ (i) ~ (vi) を適用することにより、新しい複数のカラー画像に基づいてサンプル宝石に新しい色等級が割り当てられる。次に、新しい色等級および以前に決定された色等級を比較して、時間間隔の間の色の変化を評価する。

**【0032】**

いくつかの実施形態では、時間間隔は 2 分から 2 時間の間である。

**【0033】**

本明細書に開示された実施形態のいずれも、単独で、または組み合わせて、本発明のす  
50

べての態様に適用できることが理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【0034】

当業者であれば、以下に説明する図面は説明のためのものに過ぎないことを理解するであろう。図面は、本教示の範囲を決して限定するものではない。

【0035】

【図1】光学ユニット、宝石評価ユニットを含む宝石光学評価システムの例示的な実施形態を示す図である。

【0036】

【図2A】クローズド構成の宝石光学評価システムの例示的な概略実施形態を示す図である。

10

【0037】

【図2B】オープン構成の宝石光学評価システムの例示的な概略実施形態を示す図である。

【0038】

【図3】周囲リングライト照明を有するサンプルプラットフォームの例示的な実施形態を示す図である。

【0039】

【図4】画像視野角および画像回転角を例示する概略図である。

【0040】

20

【図5A】内部反射面を有する上部リフレクタの例示的な実施形態を示す図である。

【0041】

【図5B】内部反射面を有する上部リフレクタの例示的な実施形態を示す図である。

【0042】

【図5C】内部反射面を有する上部リフレクタの例示的な実施形態を示す図である。

【0043】

【図5D】内部反射面を有する上部リフレクタの例示的な実施形態を示す図である。

【0044】

【図6A】宝石評価ユニットと光学ユニットとを連結するためのコネクタモジュールの例示的な実施形態を示す図である。

30

【0045】

【図6B】宝石評価ユニットと光学ユニットとを連結するためのコネクタモジュールの例示的な実施形態を示す図である。

【0046】

【図6C】宝石評価ユニットと光学ユニットとを連結するためのコネクタモジュールの例示的な実施形態を示す図である。

【0047】

【図7A】輪郭マスクが適用される前の例示的な実施形態を示す図である。

【0048】

【図7B】ダイヤモンドの幅および高さを強調するために輪郭マスクが適用された後の例示的な実施形態を示す図である。

40

【0049】

【図8】コンピュータシステムの例示的な構成を示す図である。

【0050】

【図9A】データ収集および分析のための例示的な処理を示す図である。

【0051】

【図9B】データ収集および分析のための例示的な処理を示す図である。

【0052】

【図10】例示的な分析処理を示す図である。

【0053】

50

【図11A】例示的な分類処理を示す図である。

【0054】

【図11B】例示的な再分類処理を示す図である。

【0055】

【図12A】例示的な色等級計算を示す図である。

【0056】

【図12B】例示的な色等級結果を示す図である。

【0057】

【図13】例示的な色等級結果を示す図である。

【0058】

【図14A】例示的な色等級結果を示す図である。

【0059】

【図14B】例示的な色等級計算を示す図である。

【0060】

【図15】例示的な色等級結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0061】

特記しない限り、用語は、当業者による従来の使用法に従って理解されるべきである。説明のために、代表的な宝石としてダイヤモンドが使用される。当業者は、本明細書に開示された装置、システム、および方法が、UV曝露時に蛍光を発することができるあらゆるタイプの宝石に適用可能であることを理解するであろう。同様の装置に基づく蛍光の等級付けのためのシステムおよび方法は、「APPARATUS AND METHOD FOR ASSESSING FLUORESCENCE GRADING OF GEMSTONES」というタイトルで同時に提出される米国特許出願公開第XX/XXX, XXX号に開示され、参照により本明細書に組み込まれる。

【0062】

現在入手可能な色等級計器は、特定のタイプの宝石、例えば、ケープイエロー色相のD-Z色等級の範囲にあるレギュラー・ラウンド・ブリリアント・カット(RBC)ダイヤモンド・ストーンの色等級付けには非常に適している。しかし、不規則な形、カット、大きさ、まれな色の宝石では同様の成功は見られない。特に、現在の計器は、茶色の石、オフカラー石(ピンク、黄緑色、緑色、青色)、および装飾的な形のカットストーン(ステップカット、ハート、マーキス、橢円形、西洋なし形、三角形、プリンセス、およびRBCではない他のカット)に一貫した再現可能な色等級をもたらすことができない。

【0063】

より良好で実用的な色等級付け計器を構築する前に、いくつかの重要な問題を解決する必要がある。例えば、現在の計器は、光ファイバを使用してダイヤモンドから出る光を検出する。結果的に、色等級はファイバの光軸に対するダイヤモンドの位置によって大きく影響され、システムをセットアップするには、テストの宝石がまったく同じ位置になければならないため、再現性のある結果を得ることは困難である。さらに、色等級は、ファイバエッジとダイヤモンドとの間の距離のわずかな変化および光ファイバの角度によっても大きく影響を受ける。これはまた、光学セットアップが非常に困難であり、その配置が毎日の動作の間に容易に変更されるので、異なる装置間で一貫しない色等級につながる。

【0064】

既存の問題を克服するために、以下の特徴を有する改善された色等級計器が本明細書で開示される。すなわち、(1)異なる色相範囲(茶色、ピンク色、緑色、および青色)を有するダイヤモンドに一貫した再現可能な色等級を提供すること、(2)あらゆる種類の装飾的な形のダイヤモンドに一貫した再現可能な色等級を提供すること、(3)(例えば、操作者が石を同じ位置に置く必要がないなどの)簡単で迅速な操作で、一貫した再現可能な色等級を提供すること、および(4)光学セットアップが日々の操作をするのに十分容易で堅牢であるよう単純であること。

10

20

30

40

50

**【 0 0 6 5 】**

一態様では、カットダイヤモンドのような宝石の色評価のための改良された色等級付け装置が本明細書で提供される。本装置は、不規則な形状、大きさ、および色の宝石を含む、カットダイヤモンドのような任意の宝石の等級付けに適している。例えば、本装置は、1つまたは複数の湾曲したエッジ有する宝石、1つまたは複数の真っ直ぐなエッジを有する宝石、真っ直ぐなエッジと湾曲したエッジとの組み合わせを有する宝石、深度の高いまたは低い宝石、マーキス、エメラルド、およびクッションのような珍しい形の石、ならびにピンク、青、茶、緑、黄色などの珍しい色の石を等級付けすることができる。例示的な装置100が図1に示されており、これには、限定するものではないが、例えば、宝石評価構成要素10、光源20、テレセントリックレンズ30、および画像捕捉構成要素40が含まれる。

**【 0 0 6 6 】**

機能性に基づいて、本明細書で開示される装置の構成要素は、2つの主要なユニット、すなわち、宝石提示ユニットと光学ユニットとに分けることができる。宝石提示ユニットは、分析される宝石に均一な照明を提供し、光学ユニットは提示される宝石の画像を捉える。

**【 0 0 6 7 】**

さらに、図1には示されていないが、例示的な装置は、画像捕捉構成要素によって収集された情報を分析するコンピュータ処理ユニットをさらに備える。

**【 0 0 6 8 】**

図1に示すように、例示的な宝石提示ユニットは、少なくとも2つの部分、すなわち、宝石評価構成要素10と光源20とを備える。宝石評価構成要素は、宝石が提示される場所である。図2Aおよび図2Bに示すように、宝石評価構成要素は、クローズド構成とオープン構成とを有する。クローズド構成（例えば、図2A参照）では、分析の対象となる宝石は完全に隠され、観察者からは見えない。いくつかの実施形態では、周辺光のような他の光からの干渉によって引き起こされる不一致を避けるために、宝石評価構成要素は、周辺光または他の光が除外される独立したクローズドシステムである。宝石評価構成要素および光学ユニットは、周辺光または他の光が、サンプルの宝石が収容されている隠蔽されたサンプルチャンバから除外されるように補完的に結合される。

**【 0 0 6 9 】**

クローズド構成の下で、分析されている宝石に関する画像情報は、テレセントリックレンズ30および画像捕捉装置40（例えば、カメラ）を備える光学ユニットによって受け取られ捕捉される。

**【 0 0 7 0 】**

オープン構成（例えば、図2B参照）では、画像情報は収集されない。代わりに、分析の対象となる宝石は観察者に曝される。オープン構成では、宝石提示ユニットは、2つの部分、すなわち、下部提示構成要素50および上部リフレクタ構成要素60を有することが明らかになる。いくつかの実施形態では、図2Bに示すように、上部リフレクタ構成要素は、可動側トラックに取り付けられる。上部リフレクタが光学ユニットから離れてこれらのトラック上を移動すると、下部提示構成要素50が露出される。図2Bに示すように、上部リフレクタ構成要素60の開口部の形状および設計は、光学ユニットの光コネクタモジュール（例えば、図2Bの要素70）の形状および設計と相補的である。いくつかの実施形態では、光コネクタモジュールは、テレセントリックレンズ30が取り付けられるレンズフードである。

**【 0 0 7 1 】**

例示的な下部提示構成要素50が図3に示される。円形の白色反射プラットフォーム510は、サンプル宝石520が置かれるベースとして機能する。同心円形リングライト530は、プラットフォームがリングライト530内に完全に囲まれるように、円形プラットフォームの外側に配置される。

**【 0 0 7 2 】**

10

20

30

40

50

プラットフォーム 510 は、ステージまたはサンプルステージとも呼ばれ、本明細書に開示されたシステムにとって重要である。重要なのは、分析されている宝石を支持することである。いくつかの実施形態では、プラットフォームの上面は水平で平坦である。また、テレセントリックレンズ 30 や画像捕捉装置 40 によるデータ収集やその後の解析のためのステージとして機能する。データの一貫性を達成するために、テレセントリックレンズ 30 は、プラットフォーム 510 の上面に対して第 1 の所定の角度で位置決めされる。いくつかの実施形態では、画像捕捉装置 40 は、プラットフォーム 510 の上面に対して第 2 の所定の角度に位置決めされて配置される。いくつかの実施形態では、第 1 および第 2 の所定の角度は同じであり、データ収集のために最適化されている。いくつかの実施形態では、第 1 および第 2 の所定の角度は異なるが、それぞれがデータ収集のために最適化されている。第 1 および第 2 の所定の角度は、画像またはカメラの視野角と呼ぶことができる。10

#### 【0073】

光学ユニット（例えば、テレセントリックレンズ 30 およびカメラ 40）に対するプラットフォーム 510 の上面の相対的な構成の例示的な図が、図 4 に示されている。ここで、テレセントリックレンズ 30 および画像捕捉装置 40 の両方を含む光学ユニットは、プラットフォーム表面に対して所定の角度（アルファ）で位置決めされる。

#### 【0074】

いくつかの実施形態では、円形反射プラットフォームは回転可能である。例えば、プラットフォームは、ロータに取り付けられるか、またはロータに接続される。好適な実施形態では、分析対象の宝石は、図 3 に示すように、プラットフォーム表面の中心に置かれる。プラットフォームは光学ユニットに対して回転され、異なる角度の宝石の画像が画像捕捉装置によって収集される。20

#### 【0075】

いくつかの実施形態では、プラットフォーム表面は、円形プラットフォーム表面の起点の中心を通り、プラットフォーム表面に垂直な回転軸、例えば、図 4 に示す軸 Zz を中心に回転される。

#### 【0076】

いくつかの実施形態では、プラットフォームは、設定された角度変化で光学ユニットに対して回転される。角度変化の大きさは、データ収集の程度、例えば、宝石の画像をどれだけ収集するかを決定する。例えば、プラットフォームを 12 度の角度変化で回転させると、完全な回転により宝石の 30 枚の画像が収集される。角度変化は、データ収集および分析を容易にするために任意の値に設定することができる。例えば、プラットフォームは、0.5 度以下、1 度以下、1.5 度以下、2 度以下、3 度以下、4 度以下、5 度以下、6 度以下、7 度以下、8 度以下、9 度以下、10 度以下、12 度以下、15 度以下、18 度以下、20 度以下、24 度以下、30 度以下、45 度以下、60 度以下、90 度以下、120 度以下、150 度以下、または 180 度以下の角度変化で回転させることができる。角度回転変化は任意の数に設定することができることが理解されよう。また、360 度のフル回転に限定されるものではなく、任意の値のフル回転角度でプラットフォームを回転させることも理解されよう。いくつかの実施形態では、データ（例えば、カラー画像）は 360 度フル回転未満の回転に対しての収集である。いくつかの実施形態では、データ（例えば、カラー画像）は 360 度フル回転を超える回転に対しての収集である。30

#### 【0077】

いくつかの実施形態では、反射率を達成するために、プラットフォームまたはその一部（例えば、上面）に反射面がコーティングされる。いくつかの実施形態では、プラットフォームまたはその一部（例えば、上面）は反射材料を備える。いくつかの実施形態では、プラットフォームまたはその一部（例えば、上面）は反射材料で作られる。いくつかの実施形態では、反射材料は白色反射材料である。いくつかの実施形態では、反射材料は Teflon（商標）材料である。いくつかの実施形態では、反射材料は、ポリテトラフルオ40

ロエチレン(PTFE)、Spectralon(商標)、硫酸バリウム、金、酸化マグネシウム、またはそれらの組み合わせを含むが、これらに限定されない。

#### 【0078】

回転可能プラットフォームは円形であり、分析される任意のサンプル宝石のサイズよりも大きいことが好ましい。いくつかの実施形態では、プラットフォームは水平であり、回転している間は水平のままである。

#### 【0079】

いくつかの実施形態では、プラットフォームの高さは固定されている。いくつかの実施形態では、プラットフォームの高さは、手動で、またはコンピュータプログラムの制御によって調整される。プラットフォームは、コンピュータユニットによって実行されるコンピュータプログラムの制御によって上昇または下降することができるが好ましい。10

#### 【0080】

いくつかの実施形態では、プラットフォームは平坦である。いくつかの実施形態では、宝石サンプルが配置される中心領域は平坦であり、プラットフォーム上の周辺領域は平坦ではない。プラットフォーム全体は平坦なドームのような構造の確認を採用している。

#### 【0081】

いくつかの実施形態では、プラットフォームと照明源との間の相対位置を調整することができる。例えば、照明源をプラットフォームに近づけたり遠ざけたりすることができる。20

#### 【0082】

プラットフォームは、金属、木材、ダークガラス、プラスチック、または他の硬質ポリマー材料のような任意の剛性および不透明材料で作ることができます。いくつかの実施形態では、プラットフォームおよび/またはプラットフォームを取り囲む領域は、非反射性または低反射性の材料でコーティングされる。

#### 【0083】

最も広い意味では、光源20は、光を生成する光源、1つまたは複数のフィルタ、生成された光を導くための要素、および照明として光を放射する構成要素(例えば、円形リングライト)を含むが、これらに限定されない。本明細書で開示するように、光を生成するための源は、光源と呼ばれることがある。当業者であれば、照明要素もまた光源の一部であることを理解するであろう。30

#### 【0084】

いくつかの実施形態では、光発生源は最終照明部品から分離されており、例えば、照明源を提供するために(例えば、光伝送ケーブルによって)円形のリングライトと接続される。いくつかの実施形態では、光発生源自体が円形リングライトである。ここで、照明を発生させることができる要素は、円形またはほぼ円形に配置される。図3に示された実施形態では、環状リングライト530がサンプル宝石に照明を提供する。

#### 【0085】

好適な実施形態では、光源は昼光近似光源である。例示的な昼光近似光源は、カラーバランスフィルタを有する1つまたは複数のハロゲンランプ、プラットフォーム表面を囲むリング状構造に配置された複数の発光ダイオード、蛍光ランプ、Xeランプ、タンゲステンランプ、メタルハライドランプ、レーザ誘起白色光(LDLS)、またはそれらの組み合わせを含むが、これらに限定されない。40

#### 【0086】

いくつかの実施形態では、それが1つまたは複数の分岐を含むゲースネック光ガイド、可撓性光ガイドなどのケーブルを使用して、リングライトを光源に接続する。

#### 【0087】

照明源は、サンプル宝石の光学分析に適した任意の形状およびサイズを採用することができる。例えば、照明源は、点照明、円形照明、リング照明、橢円照明、三角照明、正方形照明、または適切なサイズおよび形状を有する任意の他の照明とすることができる。いくつかの実施形態では、光照射源は、リング状または円形の形状であり、円形のプラット50

フォームの直径よりも大きい直径を有する。

**【0088】**

いくつかの実施形態では、環状リングライトは、1つまたは複数の光源を備えている。例えば、リングライトは、円形の蛍光灯であってもよい。いくつかの実施形態では、リングライトは、1つまたは複数の発光ダイオード（LED）内に埋め込まれている。そのような実施形態では、光源および円形リングライトは、交換可能に使用することができる。いくつかの実施形態では、光源は宝石の上に配置され、例えば、ランプまたは1つまたは複数のLEDがプラットフォームの上に配置される。分析の対象となる宝石は、その全体が参照により本明細書に組み込まれる米国特許第6,473,164号に記載されているように、光学ディフューザを介して照射される。

10

**【0089】**

照明構成要素は、サンプル宝石を分析することができる入力光を提供する。いくつかの実施形態では、理論的なCIE標準光源D65に対する合理的に良好な近似である照明の形態が選択される。

**【0090】**

実験的な柔軟性を提供するために、装置の設計に対するモジュール式アプローチが採用されている。これはまた、そのようなダイヤモンドなどの宝石を照らす方法に適用される。テーブルの下に取り付けられた石の場合、背面から、および上方から、2つの照明構成が使用される。

20

**【0091】**

いくつかの実施形態では、光線がダイヤモンドの色に関する情報を含むためには、光線は石を通過していなければならない。ダイヤモンドの前面ファセットから反射された光線には色情報は含まれていない。したがって、一見して、ダイヤモンドの前面を照らすことを避けながら、ダイヤモンドの後部から実質的に照明を提供することは実用的であるようと思われる。

**【0092】**

いくつかの実施形態では、拡散照明がダイヤモンドの上および方位角のはるかに広い範囲から来る場合、画像の輝度が不均一なることを避けることができる。上部照明は、視覚的な等級付けに使用される照明ジオメトリをはるかに厳密にエミュレートするという利点を有するが、当然、前面反射を含む。

30

**【0093】**

この上部照明ジオメトリを達成するために、光ファイバ環状「リングライト」を収容するための、新しいイルミネータベースプレートを製造した。光ファイバリングライトの直径は、宝石が置かれるプラットフォームの直径よりも大きいことが好ましい。例えば、光ファイバリングライトの直径は、10mm以上、16mm以上、20mm以上、24mm以上、28mm以上、32mm以上、40mm以上、44mm以上、50mm以上、56mm以上、60mm以上、64mm以上、70mm以上、80mm以上、90mm以上、または100mm以上である。当業者であれば、特定の宝石サンプルの測定値を最適化するためにリングライトの直径を調整できることを理解するであろう。いくつかの実施形態では、光ファイバリングライトの直径は58mmである。

40

**【0094】**

いくつかの実施形態では、光源は、プラットフォーム表面レベルまたはわずかに下に配置される。いくつかの実施形態では、光源はプラットフォーム表面の上に配置される。いくつかの実施形態では、照明源の強度を調整して画像収集を最適化することができる。

**【0095】**

図2Aおよび図2Bに示すように、上部リフレクタモジュールは、サンプル宝石が配置されている領域上を移動することができる。図2Aに示すクローズド構成では、上部リフレクタモジュールの内部空洞は、制御された環境でサンプル宝石が分析される密閉および隔離されたサンプルチャンバとして機能する。例えば、周辺光または他の光は、チャンバから排除される。ユーザは、チャンバ内の光強度を調整して、データ収集を最適化するこ

50

とができる。いくつかの実施形態では、収集されたデータは、異なる角度から見た宝石のカラー画像を含む。

#### 【0096】

図5Aから図5Dは、上部リフレクタ構成要素60の例示的な実施形態を示す。全体的に、上部リフレクタは、シリンドラの一部が彫刻されて湾曲勾配を形成することを除いて、短いシリンドラの形状に類似する外部形態を有する（例えば、図5Bおよび5Dの要素610参照）。勾配の一部は、リフレクタ構成要素の内部へのアクセスを可能にするために除去される。例えば、図5Aから図5Dに示されるように、勾配610の下部は、開口部620を形成するために除去される。いくつかの実施形態では、開口部620の上部ポートは円形であり、例えば、光学ユニットからのレンズが嵌め込まれる直径を有する。いくつかの実施形態では、その直径は、周辺光または他の光がリフレクタの内部に入るのを防ぐために、テレセントリックレンズの直径と同じである。いくつかの実施形態では、その直径は、周辺光または他の光がリフレクタの内部に入るのを防ぐためにアダプタモジュールが必要となるように、テレセントリックレンズの直径よりもわずかに大きい。

#### 【0097】

上部リフレクタモジュール60の内部は、反射面630である。この内部反射面は、少なくとも部分的に半球状である。いくつかの実施形態では、内部反射面は、半径Rを有する円のインボリュートの一部である形態を採用する。好ましい実施形態では、円はプラットフォーム表面の中心に位置し、分析される宝石のサイズよりも大きい直径を有する。インボリュート面の形状は、以下の等式に基づいて記述される。

$$\begin{aligned} x &= R (\cos \theta + r \sin \theta) \\ y &= R (\sin \theta - r \cos \theta), \end{aligned}$$

ここで、Rは円の半径であり、θはラジアン単位の角度パラメータである。インボリュート面は、分析される宝石の照明が最適化されるように中心円形領域に向かって光を反射する。

#### 【0098】

いくつかの実施形態では、反射面630またはその一部は反射材料を備える。いくつかの実施形態では、反射面630またはその一部は反射材料で作られる。いくつかの実施形態では、反射材料は白色反射材料である。いくつかの実施形態では、反射材料はTeflon（商標）材料である。いくつかの実施形態では、反射材料は、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）、Spectralon（商標）、硫酸バリウム、金、酸化マグネシウム、またはそれらの組み合わせを含むが、これらに限定されない。追加の反射コーティング材料には、亜鉛塩（硫化亜鉛）、二酸化チタン、二酸化ケイ素、マグネシウム塩（フッ化マグネシウム、硫化マグネシウム）が含まれるが、これらに限定されない。

#### 【0099】

図2Bに示すように、光コネクタモジュール70は、宝石評価ユニットを光学ユニットにリンクして、画像捕捉装置40によるデータ収集を可能にし、同時に、周辺光または他の光が宝石評価ユニットに入ることおよびデータ測定値に干渉することを防止する。

#### 【0100】

図6Aから図6Cは、光コネクタモジュールの例示的な実施形態のより詳細な図を提供する。この場合、コネクタは、テレセントリックレンズ30を受け入れるためのレンズフードである。テレセントリックレンズと接触する側では、レンズフードは平坦な表面710を有する。リフレクタに接触する反対側では、レンズフードは湾曲した内面720を有する。いくつかの実施形態では、曲面720は、リフレクタ上の曲面610と相補的な形状を有する。

さらに、コネクタはまた、開口部730を有する。これに関しては、図6A、図6Bおよび図6Cを参照されたい。いくつかの実施形態では、開口730は、周辺光または他の光からの干渉を防止しながらテレセントリックレンズを収容する構成を有する。

#### 【0101】

いくつかの実施形態では、内面720またはその一部は反射材料を含む。いくつかの実

10

20

30

40

50

施形態では、内面 720 またはその一部は反射材料から作られる。いくつかの実施形態では、反射材料は白色反射材料である。いくつかの実施形態では、反射材料は Teflon (商標) 材料である。いくつかの実施形態では、反射材料は、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)、Spectralon (商標)、硫酸バリウム、金、酸化マグネシウム、またはそれらの組み合わせを含むが、これらに限定されない。追加の反射コーティング材料には、亜鉛塩 (硫化亜鉛)、二酸化チタン、二酸化ケイ素、マグネシウム塩 (フッ化マグネシウム、硫化マグネシウム) が含まれるが、これらに限定されない。

#### 【0102】

レンズフードまたは他の光コネクタモジュールは、2つの異なる機能部品の統合を可能にする。周辺光または他の光がサンプルチャンバに入らないようにまたは非常に僅かになるように設計されている。いくつかの実施形態では、周辺光または他の光を排除するためにシーリングテープなどの追加の要素を使用することができる。

10

#### 【0103】

システムの別の主要な機能的構成要素は、宝石のデータを分析する光学ユニットである。光学ユニットは、チャンバの外部からの光を排除しながら、サンプル宝石を含む領域からの可視光スペクトルの収集を可能にするサンプルチャンバを提供する。サンプル宝石を含む領域の画像などの光学測定値が捕捉され、おそらく画像の詳細な構造の分析を介して、以前は異常な等級付け結果を生じた特定の石に対する理由にいくつかの洞察を提供する。

#### 【0104】

20

本明細書で開示される例示的な実施形態は、光学ユニット内の2つの重要な機能モジュール、すなわち、テレセントリックレンズ 30 と、カラーカメラなどの画像捕捉構成要素 40 とを含むが、これらに限定されない。当業者は、データ収集を容易にするために追加の構成要素が存在し得ることを理解するであろう。

#### 【0105】

テレセントリックレンズは、照明された宝石の画像を画像捕捉構成要素に提供するために使用される。テレセントリシティは、特定のレンズ設計を通る主光線（開口絞りの中心を通過する斜めの光線）が、コリメートされ、画像および / または物体空間内の光軸に平行である、独特な光学特性を指す。テレセントリックレンズは、入射瞳または射出瞳が無限遠にある複合レンズである。有利には、テレセントリックレンズは、作動距離の範囲にわたって一定の倍率（物体のサイズは変化しない）を提供し、事実上、視角誤差を排除する。多くの用途では、これは、物体の動きが画像の倍率に影響しないことを意味し、計測用途での高精度測定を可能にする。このレベルの精度と再現性は、標準レンズでは得られない。レンズをテレセントリックにする最も簡単な方法は、開口絞りをレンズの焦点の1つに置くことである。

30

#### 【0106】

テレセントリックレンズには3種類ある。無限遠の入射瞳は、レンズ物体空間をテレセントリックにする。無限遠の射出瞳は、レンズ画像空間をテレセントリックにする。両方の瞳が無限遠にある場合、レンズはダブルテレセントリックである。

#### 【0107】

40

被写界深度の高いテレセントリックレンズが、本明細書に開示されたシステムで使用される。いくつかの実施形態では、使用されるテレセントリックレンズは、物体 - 空間テレセントリックレンズである。いくつかの実施形態では、テレセントリックレンズは、ダブルテレセントリックレンズである。好適な実施形態では、一貫性をさらに確実にするために、所与の宝石に関するすべての画像収集についてズームを固定する必要がある。

#### 【0108】

有利には、本装置およびシステムは、サンプル宝石をプラットフォーム表面の中央に配置する必要はない。さらに、テレセントリックレンズは、サンプル宝石のサイズを区別しない。同じテレセントリックレンズを使用して、非常に小さな宝石およびかなり大きな宝石についての画像を収集することができる。

50

**【 0 1 0 9 】**

光学ユニットは、画像捕捉構成要素またはデジタルカメラなどの検出器をさらに備える。

**【 0 1 1 0 】**

いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素 40 は、CCD（電荷結合素子）の 1 つまたは複数のフォトダイオードアレイを備える。いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素 40 は、1 つまたは複数の CMOS（相補型金属酸化膜半導体）イメージセンサを備える。いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素 40 は、CMOS センサを有する 1 つまたは複数のフォトダイオードアレイの組み合わせを備える。いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素 40 は、カラーデジタルカメラなどの CCD デジタルカメラである。異なる色等級付け装置からの画像が分析される場合、装置が同じタイプの検出方法、例えば、すべての CCD アレイ、すべての CMOS センサ、または両方のタイプの同じ組み合わせ、を使用する場合、より一貫した結果が得られる。10

**【 0 1 1 1 】**

より正確な分析結果を得るために、集められたデジタル画像の解像度限界は 600 画素 × 400 画素以上である。いくつかの実施形態では、各画素は、各色成分について 8 ビット値（例えば、0 ~ 255）を有する。デジタルカメラのアナログ - デジタル変換器（ADC）は、画像品質をほとんど、または全く損なうことなく画素に埋め込まれた情報を効率的に処理するために、8 ビット以上である。いくつかの実施形態では、ADC は、画像捕捉構成要素のダイナミックレンジに応じて 10 ビット以上である。いくつかの実施形態では、ADC は 10 ビットと 14 ビットとの間にある。20

**【 0 1 1 2 】**

いくつかの実施形態では、画素内の色成分は、赤色（R）、緑色（G）、および青色（B）を含むが、これらに限定されない。いくつかの実施形態では、画素内の色成分は、シアン（C）、マゼンタ（M）、イエロー（Y）、およびキー（ブラックまたは B）を含むが、これらに限定されない。いくつかの実施形態では、画素内の色成分は、赤色（R）、イエロー（Y）、および青色（B）を含むが、これらに限定されない。

**【 0 1 1 3 】**

いくつかの実施形態では、画像を取り込むためにマルチバンドカメラまたはハイペースペクトルカメラが使用される。マルチバンドカメラは、可視スペクトルに加えて赤外線（IR）および遠赤外線（FIR）の範囲の光を検出することができる。例えば、マルチスペクトルカメラは、カラー画像を IR 帯域からの情報と混合することによって、ユーザが背景とデコイの両方からターゲットをよりよく区別することを可能にする。そのようなシステムから得られた画像は、目に見える画像または IR 画像だけの場合よりも良好に、暗闇、カモフラージュ、スマート、およびクラッタを貫通することができる。30

**【 0 1 1 4 】**

他のスペクトルイメージングデバイスと同様に、ハイペースペクトルカメラは、電磁スペクトル全体から、可視範囲を超えて、情報を収集、処理する。ハイペースペクトルイメージングの目的は、シーンの画像内の各画素のスペクトルを取得することである。人間の目が可視光を 3 つのバンド（赤、緑、青）で見るのと同じように、スペクトルイメージングはスペクトルをより多くのバンドに分割する。ハイペースペクトルイメージング技術は、画像を、可視範囲を超えて拡張できるバンドに分割する。ハイペースペクトルイメージングでは、記録されたスペクトルは微細な波長分解能を有し、広範囲の波長をカバーするため、ユーザは通常のイメージング技術を使用する場合、以前は不可能であった物体の発見、材料の特定または処理の検出が可能になる。40

**【 0 1 1 5 】**

一態様では、イメージング技術を使用して、人間の目の視覚を近似またはシミュレートする。例えば、場合によっては、人間の目の知覚（例えば、色知覚）を記述するためにスペクトル関数  $f(x)$  が使用される。人間の目は、特定の波長または波長範囲において光に対してより受容性であり、一方、他の波長または波長範囲に対しては受容性が低いこと50

が理解される。実際には、複数のフィルタを使用して非受容光を弱めるかまたは排除することによって、効果を近似またはシミュレートすることができる。いくつかの実施形態では、各画像視野角および画像回転角度について複数の画像が取得され、各画像はバンドパスフィルタを使用して取得される。このようにして、複数のスペクトル領域を有する宝石画像を得ることができる。次に、これらの画像を合成して、人間の目による視覚をシミュレートする合成画像を形成する。1つの帯域フィルタのみを使用すると、スペクトル関数  $f(x)$  で記述した効果と一致する可能性は低くなり、より多くの帯域フィルタによって、微調整が可能になり、記載された視覚効果とほぼ一致する。

#### 【0116】

画像視野角：図4に示すように、画像捕捉装置（またはテレスコピックレンズ30または両方）は、プラットフォーム表面に対して所定の角度（アルファ、画像視野角とも呼ばれる）で位置決めされる。いくつかの実施形態では、画像視野角は、65度以下、60度以下、56度以下、52度以下、50度以下、48度以下、46度以下、44度以下、42度以下、40度以下、39度以下、38度以下、37度以下、36度以下、35度以下、34度以下、33度以下、32度以下、31度以下、30度以下、29度以下、28度以下、27度以下、26度以下、25度以下、24度以下、23度以下、22度以下、21度以下、20度以下、19度以下、18度以下、17度以下、16度以下、15度以下、14度以下、13度以下、12度以下、11度以下、または10度以下である。いくつかの実施形態では、画像視野角は約10度から約45度の間である。一貫性を保つために、所与の宝石の画像視野角は、画像を収集する場合に一定のままである。

10

#### 【0117】

画像回転角：また、図4に示すように、画像捕捉構成要素とプラットフォーム上の所定の位置（例えば、点540）との間の相対回転位置は、画像回転角ベータによって記述することができる。例えば、画像捕捉構成要素およびプラットフォーム表面は、画像回転角が連続する画像間の設定された角度変化によって変化するように、互いに対しても回転させることができる。例えば、2つの連続する画像間の角度変化は、0.5度以下、1度以下、1.5度以下、2度以下、3度以下、4度以下、5度以下、6度以下、7度以下、8度以下、9度以下、10度以下、12度以下、15度以下、18度以下、20度以下、24度以下、30度以下、45度以下、60度以下、90度以下、または180度以下とすることができる。角度回転変化は任意の数に設定することができるよう。

20

#### 【0118】

プラットフォームおよび画像捕捉構成要素は、360度のフル回転に限定されない、任意の値のフル回転角のために互いに対しても回転することができることも理解されよう。いくつかの実施形態では、データ（例えば、カラー画像）は360度フル回転未満の回転に対しての収集である。いくつかの実施形態では、データ（例えば、カラー画像）は360度フル回転を超える回転に対しての収集である。

30

#### 【0119】

同じサンプル宝石の画像セットを収集する場合に、角度回転変化を変更することが可能である。例えば、画像1と画像2との間の角度差は5度であり得るが、画像2と画像3との間の差は10度であり得る。好適な実施形態では、連続する画像の間の角度差は、同じサンプル宝石用の画像の同じセット内で一定のままである。いくつかの実施形態では、1セットの画像のみが、所与のサンプル宝石用に収集される。いくつかの実施形態では、角度差が各セット内で一定であるが、互いに異なる、同じ宝石用の複数の画像セットが収集される。例えば、第1のセットの画像は、連続する画像に対して有理画像角度を12度変化させることによって収集され、第2のセットの画像は、連続する画像に対して有理画像角度を18度変化させることによって収集される。

40

#### 【0120】

所与のサンプル宝石について収集される画像の数は、宝石の特性に依存して変化する。例示的な特性には、形状、カット、サイズ、および色などが含まれるが、これらに限定されない。

50

**【0121】**

サンプル宝石を含むプラットフォーム表面上の領域からの可視光スペクトルが選択的に収集される。いくつかの実施形態では、複数のカラー画像が各宝石に対して収集される。いくつかの実施形態では、複数の非カラー画像が各宝石に対して収集される。カラー画像は、例えば、カットダイヤモンドの色等級を決定するのに有利である。

**【0122】**

いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素または検出器は、Nikon Digit al Sight 5.0メガピクセルカラーCCDカメラヘッド、DS-Fi1である。これは $2560 \times 1920$ 画素の視野域と、1秒あたり12フレームの適度に高い取得レートとで高い空間解像度を有する。いくつかの実施形態では、別の解像度を有する別のカメラが使用される。10

**【0123】**

いくつかの実施形態では、画像捕捉構成要素または検出器は、コニカミノルタ：CA-2500などの人間の目と同じフィルタ機能およびより高い色分解能を有するCCDカメラである。いくつかの実施形態では、検出器は、マイクロコンピュータ制御を用いて光ルミネセンスを測定する。

**【0124】**

いくつかの実施形態では、以下のセクションでさらに説明するように、異なる強度の色の領域を識別するために、CCDカメラによって取り込まれた画像が処理される。さらには、カメラ画素からの赤色、緑色、および青色の信号を使用して、これらの異なる領域について比色計算を行うことができる。いくつかの実施形態では、そのような計算は、色等級を与えるのに十分に正確である。いくつかの実施形態では、そのような計算は、ダイヤモンド全体にわたる色分布を提供するのに十分に正確であり、測定されたスペクトルから得られるものとのこれらの色計算との比較は、異常な結果をもたらす可能性が高いダイヤモンドを識別するのに役立てることができる。20

**【0125】**

いくつかの実施形態では、色等級は、サンプル宝石全体から計算された色値に基づいて決定される。いくつかの実施形態では、色等級は、サンプル宝石の選択された領域から計算された色値に基づいて決定される。

**【0126】**

検出器の解像度および容量は、検出器アレイ内の画素の数およびサイズによって決定することができる。一般に、デジタル画像の空間解像度は画素サイズによって制限される。残念ながら、画素サイズを小さくすると空間分解能が向上するが、これは信号対雑音比(SNRまたは信号/ノイズ比)を犠牲にして生じる。特に、画像センサの画素サイズを大きくしたり画像センサを冷却したりすると、信号対雑音比が向上する。同時に、画像センサの解像度が同じに保たれるならば、画像センサのサイズは増加する。より高品質の検出器(例えば、より良いデジタルカメラ)は、良好な画像品質のために、大きな画像センサと比較的大きな画素サイズを有する。30

**【0127】**

いくつかの実施形態では、本発明の検出器は、 $1 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2 \mu\text{m}^2$ 以下、 $3 \mu\text{m}^2$ 以下、 $4 \mu\text{m}^2$ 以下、 $5 \mu\text{m}^2$ 以下、 $6 \mu\text{m}^2$ 以下、 $7 \mu\text{m}^2$ 以下、 $8 \mu\text{m}^2$ 以下、 $9 \mu\text{m}^2$ 以下、 $10 \mu\text{m}^2$ 以下、 $20 \mu\text{m}^2$ 以下、 $30 \mu\text{m}^2$ 以下、 $40 \mu\text{m}^2$ 以下、 $50 \mu\text{m}^2$ 以下、 $60 \mu\text{m}^2$ 以下、 $70 \mu\text{m}^2$ 以下、 $80 \mu\text{m}^2$ 以下、 $90 \mu\text{m}^2$ 以下、 $100 \mu\text{m}^2$ 以下、 $200 \mu\text{m}^2$ 以下、 $300 \mu\text{m}^2$ 以下、 $400 \mu\text{m}^2$ 以下、 $500 \mu\text{m}^2$ 以下、 $600 \mu\text{m}^2$ 以下、 $700 \mu\text{m}^2$ 以下、 $800 \mu\text{m}^2$ 以下、 $900 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,000 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,100 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,200 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,300 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,400 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,500 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,600 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,700 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,800 \mu\text{m}^2$ 以下、 $1,900 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,000 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,100 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,200 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,300 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,400 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,500 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,600 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,700 \mu\text{m}^2$ 以下、 $2,800 \mu\text{m}^2$ 40

$\mu\text{m}^2$  以下、 $2,900 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,000 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,100 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,200 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,300 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,400 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,500 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,600 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,700 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,800 \mu\text{m}^2$  以下、 $3,900 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,000 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,100 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,200 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,300 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,400 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,500 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,600 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,700 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,800 \mu\text{m}^2$  以下、 $4,900 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,000 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,100 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,200 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,300 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,400 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,500 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,600 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,700 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,800 \mu\text{m}^2$  以下、 $5,900 \mu\text{m}^2$  以下、 $6,000 \mu\text{m}^2$  以下、 $6,500 \mu\text{m}^2$  以下、 $7,000 \mu\text{m}^2$  以下、 $7,500 \mu\text{m}^2$  以下、 $8,000 \mu\text{m}^2$  以下、 $8,500 \mu\text{m}^2$  以下、 $9,000 \mu\text{m}^2$  以下、または $10,000 \mu\text{m}^2$  以下の画素サイズを有する。いくつかの実施形態では、画素サイズは $10,000 \mu\text{m}^2$  より大きく、例えば、 $20,000 \mu\text{m}^2$ 、 $50,000 \mu\text{m}^2$ 、または $100,000 \mu\text{m}^2$  までである。  
。

#### 【0128】

いくつかの実施形態では、検出器への曝露時間は、画像品質を最適化し、宝石の光学品質、例えば、色または蛍光の等級の決定を容易にするよう調整することができる。例えば、CCD検出器への曝露時間は、 $0.1 \text{ ミリ秒 (ms)}$  以上、 $0.2 \text{ ms}$  以上、 $0.5 \text{ ms}$  以上、 $0.8 \text{ ms}$  以上、 $1.0 \text{ ms}$  以上、 $1.5 \text{ ms}$  以上、 $2.0 \text{ ms}$  以上、 $2.5 \text{ ms}$  以上、 $3.0 \text{ ms}$  以上、 $3.5 \text{ ms}$  以上、 $4.0 \text{ ms}$  以上、 $4.5 \text{ ms}$  以上、 $5.0 \text{ ms}$  以上、 $5.5 \text{ ms}$  以上、 $6.0 \text{ ms}$  以上、 $6.5 \text{ ms}$  以上、 $7.0 \text{ ms}$  以上、 $7.5 \text{ ms}$  以上、 $8.0 \text{ ms}$  以上、 $8.5 \text{ ms}$  以上、 $9.0 \text{ ms}$  以上、 $9.5 \text{ ms}$  以上、 $10.0 \text{ ms}$  以上、または $15.0 \text{ ms}$  以上とすることができる。曝露時間は、例えば、光源の強度に関して変化し得ることが理解される。  
。

#### 【0129】

図7Aおよび図7Bは、背景の白色が黒色でマスクされたダイヤモンドの画像を示す。このマスク（輪郭マスク）の開口部は、所与の画像視野角および所与の画像回転角におけるダイヤモンドのフル画像に対応する。分析セクションの方法に示すように、そのような輪郭マスクを各画像に対して定義して分析領域を分離し、幅および高さなどの測定値を抽出することができる。  
。

#### 【0130】

別の態様では、ハードウェア構成要素（例えば、コンピュータ）およびソフトウェア構成要素の両方を含むデータ分析ユニットも本明細書で提供される。

#### 【0131】

データ分析ユニットは、光学ユニットによって収集された画像を格納し、変換し、分析し、処理する。コンピュータユニットは、例えば、プラットフォームの回転および高さ調節、照明源の強度および露光時間の調整など、システムの様々な構成要素を制御する。コンピュータユニットはまた、ズームを制御し、光学ユニットの宝石プラットフォームに対する相対位置を調整する。  
。

#### 【0132】

図8は、例示的なコンピュータユニット800を示す。いくつかの実施形態では、コンピュータユニット800は、中央処理ユニット810、電源812、ユーザインタフェース820、通信回路816、バス814、不揮発性記憶コントローラ826、オプションの不揮発性記憶装置828、およびメモリ830を備える。  
。

#### 【0133】

メモリ830は、例えば、ランダムアクセスメモリ(RAM)、リードオンリメモリ(ROM)、およびフラッシュメモリなどの揮発性および不揮発性の記憶ユニットを備えることができる。いくつかの実施形態では、メモリ830は、システム制御プログラム、データ、およびアプリケーションプログラム、例えば不揮発性記憶装置828からロードされたプログラムおよびデータを格納するための高速RAMを備える。任意の所与の時点で

、メモリ 830 内のモジュールまたはデータ構造のいずれかのすべてまたは一部が、実際には、メモリ 828 に格納され得ることが理解されよう。

#### 【0134】

ユーザインターフェース 820 は、例えば、キーボード、キーパッド、マウス、およびスクロールホイールなどの 1 つまたは複数の入力装置 824 と、ディスプレイ 822 または他の出力装置とを備えることができる。ネットワークインターフェースカードまたは他の通信回路 816 は、任意の有線または無線通信ネットワークへの接続を提供することができる。内部バス 814 は、コンピュータユニット 800 の前述の要素の相互接続を提供する。

#### 【0135】

いくつかの実施形態では、コンピュータユニット 800 の動作は、中央処理ユニット 810 によって実行されるオペレーティングシステム 832 によって主に制御される。オペレーティングシステム 832 は、システムメモリ 830 に格納することができる。オペレーティングシステム 832 に加えて、システムメモリ 830 の典型的な実装様式は、本発明によって使用される様々なファイルおよびデータ構造、1 つまたは複数のアプリケーションモジュール 836、および 1 つまたは複数のデータベースもしくはデータモジュール 852 へのアクセスを制御するファイルシステム 834 を含むことができる。

#### 【0136】

本発明によるいくつかの実施形態では、アプリケーションモジュール 836 は、以下に説明され図 8 に示される以下のモジュールのうちの 1 つまたは複数を備えることができる。

#### 【0137】

データ処理アプリケーション 838：本発明によるいくつかの実施形態では、データ処理アプリケーション 838 は、光学ユニットとデータ分析ユニットとの間で共有される光学測定値を受け取り、処理する。いくつかの実施形態では、データ処理アプリケーション 838 は、アルゴリズムを利用して、サンプル宝石に対応する画像の部分を決定し、無関係なデジタルデータを除去する（例えば、エッジ定義およびマスクアプリケーション）。いくつかの実施形態では、データ処理アプリケーション 838 は、デジタル画像の各画素を個々の色成分に変換する。

#### 【0138】

コンテンツ管理ツール 840：いくつかの実施形態では、コンテンツ管理ツール 840 は、異なる形式のデータ 852 を複数のデータベース 854、例えば、画像データベース 856、処理済み画像データベース 858、基準宝石データベース 860、およびオプションのユーザパスワードデータベース 862 に編成するために使用される。本発明によるいくつかの実施形態では、コンテンツ管理ツール 840 を使用して、コンピュータユニット 800 上にホストされているデータベースのいずれかを検索して比較する。例えば、異なる時間に撮影された同じサンプル宝石の画像を同じデータベースに編成することができる。さらに、サンプル宝石に関する情報を使用して画像データを編成することができる。例えば、同じカットのダイヤモンドの画像を同じデータベースに編成することができる。さらに、同じソースのダイヤモンドの画像を同じデータベースに編成することができる。

#### 【0139】

コンピュータユニット 800 に格納されたデータベースは、フラットファイル、リレーショナルデータベース（SQL）、およびオンライン分析処理（OLAP）データベース（MDX および / またはそのバリアント）を含むが、それらに限定されない、任意の形式のデータ記憶システムを備える。いくつかの特定の実施形態では、データベースは階層 OLAP キューブである。いくつかの実施形態では、データベースはそれぞれ、キューブとして記憶されていないが、階層を定義する次元テーブルを有するスタースキーマを有する。さらに、いくつかの実施形態では、データベースは、基礎となるデータベースまたはデータベーススキーマ（例えば、次元テーブルが階層的に配置されていない）において明示的に分解されない階層を有する。

10

20

30

40

50

**【 0 1 4 0 】**

いくつかの実施形態では、コンテンツ管理ツール 8 4 0 は、等級特性を決定するためのクラスタリング方法を利用する。

**【 0 1 4 1 】**

システム管理および監視ツール 8 4 2 : 本発明によるいくつかの実施形態では、システム管理および監視ツール 8 4 2 は、コンピュータユニット 8 0 0 のすべてのアプリケーションおよびデータファイルを管理および監視する。システム管理および監視ツール 8 4 2 は、どのユーザ、サーバ、またはデバイスがコンピュータユニット 8 0 0 にアクセスできるかを制御する。いくつかの実施形態では、セキュリティ管理および監視は、データが悪意のあるアクセスから保護されるように、コンピュータユニット 8 0 0 からのデータダウンロードまたはアップロードアクセスを制限することによって達成される。いくつかの実施形態では、システム管理および監視ツール 8 4 2 は、コンピュータユニット 8 0 0 に格納されたデータを保護するために 2 つ以上のセキュリティ対策を使用する。いくつかの実施形態では、ランダム回転セキュリティシステムを適用して、リモートコンピュータユニット 8 0 0 に格納されたデータを保護することができる。10

**【 0 1 4 2 】**

ネットワークアプリケーション 8 4 6 : いくつかの実施形態では、ネットワークアプリケーション 8 4 6 は、コンピュータユニット 8 0 0 をネットワークに接続し、それによって任意のネットワークデバイスに接続する。いくつかの実施形態では、ネットワークアプリケーション 8 4 6 は、データ処理アプリケーション 8 3 8 、コンテンツ管理ツール 8 4 0 、およびシステム管理および監視ツール 8 4 2 などの他のアプリケーションモジュールにデータを転送する前に、仲介ゲートウェイサーバまたは 1 つまたは複数のリモートデータサーバからデータを受信する。20

**【 0 1 4 3 】**

計算および分析ツール 8 4 8 : 計算および分析ツール 8 4 8 は、サンプル宝石から収集された画像を分析および処理するための任意の利用可能な方法またはアルゴリズムを適用することができる。

**【 0 1 4 4 】**

システム調整ツール 8 5 0 : システム調整ツール 8 5 0 は、システムの様々な構成要素の構成を制御および変更する。例えば、システム調整ツール 8 5 0 は、異なるマスクを切り替え、調整可能マスクのサイズおよび形状を変更し、ズーム光学系を調整し、露光時間を設定および変更などができる。30

**【 0 1 4 5 】**

データモジュール 8 5 2 およびデータベース 8 5 4 : いくつかの実施形態では、コンピュータユニット 8 0 0 に記憶されたデータ構造のそれぞれは、単一のデータ構造である。他の実施形態では、そのようなデータ構造のいずれかまたはすべては、コンピュータユニット 8 0 0 上にすべて格納されていてもいなくてもよい複数のデータ構造（例えば、データベース、ファイル、およびアーカイブ）を備えることができる。1 つまたは複数のデータモジュール 8 5 2 は、コンテンツ管理ツール 8 4 0 によって異なる構造（または他の形態のデータ構造）に編成された任意の数のデータベース 8 5 2 を含むことができる。40

**【 0 1 4 6 】**

上記で特定されたモジュールに加えて、様々なデータベース 8 5 4 は、コンピュータユニット 8 0 0 、またはコンピュータユニット 8 0 0 によってアドレス可能なりモートデータサーバ（例えば、コンピュータユニットが、情報を送信することができる、および／または情報をそこから検索することができる、任意のリモートデータサーバ）に格納してもよい。例示的なデータベース 8 5 4 には、画像データベース 8 5 6 、処理済み画像データベース 8 5 8 、基準宝石データベース 8 6 0 、オプションのメンバーパスワードデータセット 8 6 2 、および宝石データ 8 6 4 が含まれるが、これらに限定されない。

**【 0 1 4 7 】**

画像データベース 8 5 6 は、分析される前に宝石の画像を記憶するために使用される。

50

処理済み画像データベース 858 は、処理済み宝石画像を格納するために使用される。いくつかの実施形態では、処理済み画像データベース 858 はまた、処理画像から変換されたデータを記憶する。変換されたデータの例には、画像内の画素の個々の色成分、画像内の画素の色分布を表す 2 次元または 3 次元マップ、画像内の画素の計算された L\*、C\*、a、または b 値、もしくは 1 つまたは複数の画像の L\*、C\*、a、または b 値の平均を含むが、これらに限定されない。

#### 【0148】

基準宝石データベース 860：既存または既知の基準、またはマスタ宝石（例えば、等級値または L\*、C\*、h 値）のデータが、基準宝石データベース 860 に格納される。いくつかの実施形態では、未知の宝石サンプルの等級値または L\*、C\*、h 値を決定するための基準として、既知の基準またはマスタ宝石の情報が使用される。色または蛍光等級などの光学品質は、既知の基準、またはマスタ宝石について既に決定されている。例えば、ブリリアントカットのサンプルダイヤモンドの光学的測定値を使用して、L\*、C\*、h の値を計算し、これを複数の既知の基準または同じカットのマスタダイヤモンドの L\*、C\*、h の値と比較する。サンプルダイヤモンドの等級は、それらの L\*、C\*、および h を基準石のものと比較することによって決定される。好適な実施形態では、基準宝石は、サンプル宝石と同じまたは類似のサイズまたは重量のものである。

#### 【0149】

オプションのユーザパスワードデータベース 862：いくつかの実施形態では、オプションのパスワードデータベース 862 が提供される。本システムのユーザに関するパスワードおよび他のセキュリティ情報は、ユーザのパスワードが記憶および管理されるコンピュータユニット 800 上に作成および記憶することができる。いくつかの実施形態では、ユーザにはセキュリティ設定を選択する機会が与えられる。

#### 【0150】

一態様では、システム較正、データ収集、データ処理、および分析のための方法が本明細書で提供される。例えば、宝石のカラーデジタル画像が、ダイヤモンドのようなカット宝石の品質を評価および等級付けするための 1 つまたは複数の値を与えるよう処理および計算される。

#### 【0151】

本明細書に開示された装置およびシステムに基づく例示的な処理が図 9A に概説されている。当業者は、提供されるステップが例示的であり、任意の順序で適用され得るか、または任意の可能な組み合わせで使用され得ることを理解するであろう。

#### 【0152】

ステップ 910 において、システム較正が実行される。例えば、再現性のある結果を得て光源の変動を相殺するために、カラーカメラなどの画像捕捉構成要素のホワイトバランスを調整する。このステップでは、プラットフォーム表面の背景画像が白色になるように、個々の色成分（例えば、R G B）の画素利得が調整される。背景調整はむき出しのプラットフォーム面で行われ、すなわち、サンプル宝石はプラットフォーム表面上にまだ配置されていない。背景調整は、光源が安定した後に行われるのが好ましい。いくつかの実施形態では、背景調整は、サンプル宝石の画像が収集される前の短時間で行われる。いくつかの実施形態では、背景調整は、光源が安定した後、宝石画像収集の直前に行われる。白背景調整は、上部リフレクタモジュール 60 がクローズド構成にある場合に実行される。その後、上部のリフレクタモジュールが開かれ、ユーザは、プラットフォーム表面の中心にサンプル宝石を置くことができる。サンプルチャンバおよび光学ユニットのプラットフォーム表面、照明、ならびに他の条件および設定が、サンプル宝石が置かれる前後で変わらないよう注意が払われる。

#### 【0153】

ステップ 920 では、同じサンプル宝石の複数のカラー画像に基づいて、割合または形状特性が決定される。ここで、各画像は、サンプル宝石のフル画像を含む。各画像は固有の画像回転角度で撮影され、複数の画素を含む。いくつかの実施形態では、割合または形

10

20

30

40

50

状特性を決定するステップはオプションである。例えば、目視検査によって、サンプル宝石が完全なカット（例えば、完全なラウンドブリリアントカットまたはRBC）を有する場合、割合または形状特性を決定する必要はない。ユーザは、後の分析に直接進むことができる。

#### 【0154】

割合または形状特性を決定するための詳細な例示的処理が、図9Bに概説されている。まず、ステップ922において、複数のカラー画像が収集される。背景調整が完了したら、サンプル宝石がプラットフォームの表面上に、例えば、必ずしも必要ではないが、プラットフォーム表面の中心またはその近くに置かれる。いくつかの実施形態では、サンプル宝石は、プラットフォーム表面上の様々な位置に配置される。次に、宝石の複数のカラー画像が異なる画像回転角度で撮影される。好適な実施形態では、連続するカラー画像の間の角度差は、すべての画像の収集にわたって一定のままである。本明細書に開示された任意の構成（例えば、画像視野角および画像回転角度に関する）は、画像収集処理に適用することができる。例えば、カメラが毎秒30枚の画像を撮影するよう設定されていて、サンプルプラットフォームの1フル回転に3秒かかる場合、フル回転後に90枚の画像が収集されます。いくつかの実施形態では、プラットフォーム表面は、画像捕捉構成要素に対して少なくともフル回転を完了する。いくつかの実施形態では、回転はフル回転未満である。いくつかの実施形態では、回転は1フル回転超、例えば、1.2フル回転以下、1.5フル回転以下、1.8フル回転以下、2フル回転以下、5回転、または10フル回転以下である。

10

#### 【0155】

ステップ924において、各画像に対する輪郭マスクが抽出される。一般に、輪郭マスクは、サンプル宝石が占める、サンプル宝石のフル画像で表される、物理的領域に対応する。図7Aおよび図7Bは、輪郭マスクが適用される前後の、同じダイヤモンドの画像の相違を示す。図7Bに示すように、輪郭マスクは、幅および高さなどのパラメータにより容易に測定できるように、ダイヤモンドのエッジを強調表示し、明確に定義する。

20

#### 【0156】

エッジ検出には多くの方法があり、その大部分は検索ベースとゼロ交差ベースの2つのカテゴリにグループ化することができる。検索ベースの方法は、まず、エッジ強度の測定値、通常は勾配の大きさなどの一次微分式を計算し、次に、エッジの局所的な向き、通常は、勾配方向の計算された推定値を使用して勾配の大きさの局所的な指向性最大値を探索することによって、エッジを検出する。ゼロ交差ベースの方法は、エッジ、通常はラプラスアンのゼロ交差または非線形微分式のゼロ交差を見つけるために、画像から計算された二次微分方程式のゼロ交差を検索する。

30

#### 【0157】

現在までに知られているエッジ検出方法は、適用される平滑化フィルタの種類およびエッジ強度の測定を計算する方法が主に異なる。多くのエッジ検出方法は、画像勾配の計算に依存するため、x方向およびy方向の勾配推定値の計算に使用されるフィルタの種類も異なる。

#### 【0158】

40

ここで、輪郭マスクを抽出するための適用可能な方法は、例えば、Photoshop（商標）などの市販のソフトウェア製品におけるエッジ決定フィルタを使用することができる。さらに、例えば、（以前に較正された）背景の白色に一致する色値を有する画像内の任意の連続領域を黒色と定義する単純なアルゴリズムを開発することができる。結果的に、連続的な黒色領域は、サンプル宝石のフル画像に対応する開口部を有する輪郭マスクを形成する。

#### 【0159】

ステップ926において、サンプル宝石のフル画像に対応する各開口領域について、幾何学的パラメータ（例えば、図7Bに示すような宝石の幅および高さ）の値が決定される。輪郭マスクは、幾何学的パラメータのより正確な、または自動化された測定に使用され

50

る。本質的に、幾何学的パラメータは、各輪郭マスク、またはより正確には各輪郭マスクの開口部に基づいて決定される。各画像について測定値がとられる。このステップの後に、例えば、複数の幅測定値および複数の高さ測定値を含む、複数のカラー画像（または、その対応する輪郭マスク）について測定値の複数のセットが決定される。

#### 【0160】

ステップ928では、1つまたは複数の割合または形状特性が定義される。例えば、複数の幅測定値の中で、最大幅および最小幅が識別される。 $Width_{max}$ は、複数の輪郭マスクの中で識別された最大幅であり、 $Width_{min}$ は、輪郭マスクの中で識別された最小幅ダイヤモンド幅である。特性 $Width_{max} / Width_{min}$ は、最大幅対最小幅の比として定義される。また例えば、アスペクト比（高さ対幅の比：高さ／幅として定義される）は、各画像（または、輪郭マスク）について決定することができる。特性 $Aspect_{max} / Aspect_{min}$ は、最小アスペクト比対最大アスペクト比の比として定義される。いくつかの実施形態では、平均アスペクト比も計算され、割合または形状特性として使用される。形状または割合特性の別の例は、アスペクト比の平均、すなわち、平均高さ／幅である。いくつかの実施形態では、サンプル宝石の幅比（例えば、 $Width_{max} / Width_{min}$ ）およびアスペクト比（例えば、 $Aspect_{max} / Aspect_{min}$ ）を、単独で、または組み合わせて、サンプル宝石を分類するために、例えば、さらなる色分析のために宝石内の領域を選択する目的のために使用することができる。いくつかの実施形態では、幅比（例えば、 $Width_{max} / Width_{min}$ ）が初期幅比閾値よりも大きい場合、宝石は著しく非対称であり、装飾的な形状の宝石として定義される（図11A）。そのような実施形態では、 $Width_{max} / Width_{min}$ 閾値は1.05以上、1.1以上、1.15以上、1.2以上、1.25以上、1.3以上、1.35以上、または1.4以上である。

#### 【0161】

いくつかの実施形態では、装飾的ではない石は、さらなる分析の対象となる。例えば、アスペクト比（例えば、 $Aspect_{max} / Aspect_{min}$ ）が初期のアスペクト比閾値よりも小さい場合、宝石は通常のRBCよりも平坦であり、装飾的な形状の宝石としても定義される（図11A）。そのような実施形態では、 $Aspect_{max} / Aspect_{min}$ 閾値は0.95未満、0.9未満、0.85未満、0.8未満、0.75未満、0.7未満、0.65未満、または0.6未満である。いくつかの実施形態では、（例えば、ダイヤモンドのようなRBC宝石などの）アスペクト比分析後に通常の宝石として分類される宝石は、例えば、平均アスペクト比をパラメータとして使用して、さらなる分類の対象となる。宝石（例えば、ダイヤモンド）の平均アスペクト比が所定の範囲内にある場合、宝石は通常のRBCとして分類される（図11A）。宝石（例えば、ダイヤモンド）の平均アスペクト比が所定の範囲の上限値より大きい場合、その宝石は珍しい形状を有するもの（例えば、高クラウンまたはアイスクリームコーン形状のダイヤモンド）として分類される。同様に、宝石（例えば、ダイヤモンド）の平均アスペクト比が所定の範囲の下限値よりも小さい場合、その宝石はまた、珍しい形状を有するもの（例えば、浅いパビリオンのダイヤモンド）として分類される。いくつかの実施形態では、所定の範囲の上限は0.6と0.9の間であり、より好ましくは0.6と0.8の間、または0.7と0.85の間である。いくつかの実施形態では、所定の範囲の下限は0.4と0.7の間であり、より好ましくは0.5と0.7の間、または0.55と0.65の間である。

#### 【0162】

いくつかの実施形態では、（例えば、図11Aの例示的なアルゴリズムに基づいて）装飾的な石として分類される宝石がさらに分類される。例えば、新しい幅比（例えば、 $Width_{max} / Width_{min}$ ）閾値が選択される（図11B）。この新たな閾値に基づいて、装飾的な宝石は2つのグループに分類され、すなわち、新しい幅比閾値より高い幅比を持つグループおよび新しい幅比閾値より低い幅比を持つグループに分類される。新しい幅比閾値は、以前の幅比閾値よりも高く、例えば、1.2以上、1.25以上、1.3以上、1.35以上、1.4以上、1.45以上、または1.5以上である。

10

20

30

40

50

### 【0163】

いくつかの実施形態では、さらに分類された宝石は、例えば、それらのアスペクト比を調べることによってまたさらに分類される（図11B）。新しい幅比閾値より高い幅比を有する宝石は、それらの最小アスペクト比（例えば、最小高さ／幅比）に基づいてさらに分類される。これらの宝石は、第1の最小高さ／幅比閾値を用いて2つのグループに分類される。第1の最小高さ／幅比閾値以上の最小アスペクト比の宝石は、通常の石として再分類される。第1の最小高さ／幅比閾値よりも低い最小アスペクト比の宝石は、浅い石として再分類される（図11B）。いくつかの実施形態では、第1の最小高さ／幅比閾値は、0.6以下であり、0.55以下、0.5以下、0.45以下、0.4以下、0.35以下、0.3以下、0.25以下、または0.2以下である。新しい幅比閾値より低い幅比を有する宝石も、それらの最小アスペクト比（例えば、最小高さ／幅比）に基づいてさらに分類される（図11B）。これらの宝石は、第2の最小高さ／幅比閾値を用いて2つのグループに分類される。第2の最小高さ／幅比閾値以上の最小アスペクト比の宝石は、通常の石として再分類される。第2の最小高さ／幅比閾値よりも低い最小アスペクト比の宝石は、浅い石として再分類される（図11B）。いくつかの実施形態では、第2の最小高さ／幅比閾値は、0.7以下、0.65以下、0.6以下、0.55以下、0.5以下、0.45以下、0.4以下、0.35以下、0.3以下、0.25以下、または0.2以下である。10

### 【0164】

図9Aを再び参照すると、ステップ930で、 $Width_{max}/Width_{min}$ 比、 $Aspect_{max}/Aspect_{min}$ 比、平均または最小アスペクト比などの割合特性の値に応じて、定義された領域が、サンプル宝石のフル画像内で選択される。所定の領域は、対応する輪郭マスク内の空き領域の一部に対応する空き領域を有する仮想マスクを適用することによって選択される。定義された領域内の情報は、さらなる色分析の対象となる。20

### 【0165】

いくつかの実施形態では、定義された領域または仮想マスクは、重み付けされた中心を変更することなく、対応する輪郭マスクを比例縮小することによって計算される。いくつかの実施形態では、特定の範囲の色パラメータを有する選択された色領域によって仮想マスクが作成される。例えば、仮想マスクを形成するために、指定された範囲内の値を有するR、G、またはB成分を有する領域のみが含まれる。いくつかの実施形態では、範囲の代わりに、所定の閾値を使用して色領域を選択することができ、すなわち、閾値を上回るか、または下回る値を有するR、G、またはB成分を有する領域のみが仮想マスクを形成するために含まれる。いくつかの実施形態では、2つの色成分が評価に使用される。いくつかの実施形態では、3つすべての色成分が評価に使用される。仮想マスクを定義する際に使用できる他のパラメータには、L\*、a\*、b\*、h、C、M、Y、Kなどが含まれるが、これらに限定されない。各色パラメータは、単独で、または1つもしくは複数の他の色成分との任意の組み合わせで使用することができるよう。30

### 【0166】

いくつかの実施形態では、サンプル宝石の選択された部分が仮想マスクを定義するために使用される。例えば、ラウンドブリリアントカット（RBC）であるが高クラウン（すなわち、アイスクリームコーンタイプRBC）のダイヤモンドの場合、ダイヤモンドの頂部のみに三角形の仮想マスクを適用することによって、トップパビリオン部のみをさらに解析することが検討される。40

### 【0167】

いくつかの実施形態では、定義された領域（例えば、仮想マスクの空き領域）は、サンプル宝石全体（例えば、輪郭マスク）に対応する。いくつかの実施形態では、定義された領域は、サンプル宝石全体の一部分に対応する。いくつかの実施形態では、定義された領域は、サンプル宝石の上部に対応する。いくつかの実施形態では、定義された領域は、サンプル宝石の中間部分に対応する。いくつかの実施形態では、定義された領域は、サンプ50

ル宝石の下部に対応する。

#### 【0168】

いくつかの実施形態において、定義された領域は、宝石全体の20%以下、宝石全体の25%以下、宝石全体の30%以下、宝石全体の35%以下、または宝石全体の40%以下、宝石全体の45%以下、宝石全体の50%以下、宝石全体の55%以下、宝石全体の60%以下、宝石全体の65%以下、宝石全体の70%以下、宝石全体の75%以下、宝石全体の80%以下、宝石全体の85%以下、宝石全体の90%以下、または宝石全体の95%以下、または宝石全体の100%以下に対応する。例えば、いくつかの実施形態では、通常のRBCカットダイヤモンドの定義された領域は、宝石全体の100%に対応する。いくつかの実施形態では、浅いパビリオンを有するRBCカットダイヤモンドにおける定義された領域は、宝石全体のわずか50%に対応する。いくつかの実施形態では、高いクラウンを有するRBCカットダイヤモンドの定義された領域は、パビリオン領域の三角形部分のみに対応する。上述のように、いくつかの実施形態では、宝石はさらなる分析を経て再分類される。いくつかの実施形態では、再分類された通常の石の定義された領域は、宝石全体の100%に対応する。いくつかの実施形態では、再分類された浅い石の定義された領域は、宝石全体のわずか30%に対応する。10

#### 【0169】

定義された領域は任意の形状であることができる。いくつかの実施形態では、定義された領域は三角形である。いくつかの実施形態では、定義された領域は、楕円形、円形、または長方形である。いくつかの実施形態では、定義された領域は、4辺、5辺などを有する領域のような不規則な形状を有する。いくつかの実施形態では、定義された領域は、楕円形、円形、または不規則な湾曲形状などの湾曲特徴を有する。いくつかの実施形態では、定義された領域は、直線と曲線との特徴の組み合わせを有する。例えば、定義された領域は、湾曲した辺を有する三角形とすることができる。20

#### 【0170】

ステップ940において、定義された領域内の画素は、定量分析の対象となる。例えば、各画素を分析して、特定の画素内のすべての色成分の値を定量化することができる。色成分の数は、カラー画像が最初に取り込まれたときに画素が符号化されるアルゴリズムによって決定される。いくつかの実施形態では、画像は、その捕捉カラー モード（例えば、CMYK）から異なるカラー モード（例えば、RGB）に変換される。次いで、個々の色成分の値は、各画素の色特性を表す1つまたは複数のパラメータに変換される。いくつかの実施形態では、RGB値は、(L\*, a\*, b\*)などのCIE (Commission Internationale de l'EclairageまたはInternational Commission on Illumination) 色空間値に変換される。例示的な変換処理を図10に示す。30

#### 【0171】

ステップ950では、1つまたは複数のパラメータの平均値を計算するために、画像内の定義された領域内のすべての画素について変換処理を実行する。ステップ910～950は、複数のカラー画像内のすべての画像について繰り返すことができる。最終的に、1つまたは複数のパラメータ（例えば、L\*, a\*, およびb\*）の平均値は、すべての画像からの情報に基づいて、各色成分について計算することができる。40

#### 【0172】

ステップ960では、1つまたは複数のカラースコアが、1つまたは複数のパラメータの値に基づいて計算される。例えば、いくつかの実施形態では、CIE色空間値（例えば、L\*, a\*, およびb\*）は、例えば、以下の式（図10）に基づいて、彩度(C\*)および色相(h)値などの追加のカラースコアに変換される。

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$

## 【0173】

いくつかの実施形態では、カラー画像は、CIEによって公表された規格（例えば、カラーマッチング関数のテーブルおよび波長の関数としての光源）を使用して分析される。6500K、D<sub>65</sub>の相関色温度を持つ標準昼光光源のプロット。この光源はここでは関数 H<sub>D65</sub>(λ) で表される。カラーマッチング関数：

10

$$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$$

は、測色パラメータを計算するために使用される。

## 【0174】

ステップ970で、カラースコア、例えば L\*、C\*、h\* の値を、以前に決定された標準値と比較して、サンプル宝石に色等級を与える。以前に決定された標準値は、同一または類似の処理を用いて得られる。例えば、同一または類似の割合または形状特性を共有し、ならびに色等級値が以前に決定されたサンプル石の1つまたは複数のセットが、等級付け基準として使用される。

20

## 【0175】

色特性を計算する例は以下の通りである。ダイヤモンドは透明材料であるので、透過スペクトル T(λ) と反射スペクトル R(λ) の和は、三刺激値 X、Y、Z の計算に使用される。

$$X = \sum_{\lambda=380}^{780} H_{D65}(\lambda)(T(\lambda) + R(\lambda))\bar{x}(\lambda)$$

$$Y = \sum_{\lambda=380}^{780} H_{D65}(\lambda)(T(\lambda) + R(\lambda))\bar{y}(\lambda)$$

$$Z = \sum_{\lambda=380}^{790} H_{D65}(\lambda)(T(\lambda) + R(\lambda))\bar{z}(\lambda)$$

30

次に、色度座標 x および y は、以下のように定義される。

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

「知覚的に一様な」色空間を達成しようとする試みは、CIE 1976 色空間（CIELAB 色空間としても知られている）である。そのパラメータは、以下のような三刺激値から計算される：

40

光度、

$$L^* = 116(Y/Y_W)^{\frac{1}{3}} - 16$$

赤・緑パラメータ、

$$a^* = 500 \left[ (X/X_W)^{\frac{1}{3}} - (Y/Y_W)^{\frac{1}{3}} \right]$$

および

50

黄 - 青パラメータ、

$$b^* = 200 \left[ (Y/Y_W)^{\frac{1}{3}} - (Z/Z_W)^{\frac{1}{3}} \right],$$

ここで、 $X_w$ 、 $Y_w$ 、および $Z_w$ は、この場合はD 6 5で選択された光源に対応する白色点の三刺激値である。

$$X_w = \sum_{\lambda=380}^{780} H_{D65}(\lambda) \bar{x}(\lambda)$$

10

$$Y_w = \sum_{\lambda=380}^{780} H_{D65}(\lambda) \bar{y}(\lambda)$$

$$Z_w = \sum_{\lambda=380}^{780} H_{D65}(\lambda) \bar{z}(\lambda)$$

飽和または彩度は

$$C_{ab}^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{3}}$$

20

として表され、色相角は

$$h_{ab} = \tan^{-1}(b^*/a^*).$$

として表される。

#### 【0176】

画像 / 色変換および転換のためのソースが利用可能である。例えば、`d o c s < d o t > o p e n c v < d o t > o r g` でホストされている Open CV プロジェクトを使用して、RGB 値を CIE L、a、b 値に変換することができる。さらに、同じまたは類似のリソースは、Adams 色彩値数の色空間における、RGB 値と色相飽和値 (HSL) 値との間の変換、RGB 値と色相飽和明度 (HSL) 値との間の変換、RGB 値と CIELuv 値との間の変換を可能にする。

30

#### 【0177】

別の態様では、本明細書で開示される方法およびシステムは、経時的にサンプル宝石の色特性の変化を検出または評価するために使用される。例えば、宝石の色は時間とともに変化する可能性がある。また、宝石の色の強度も時間とともに変化する可能性がある。

#### 【0178】

そのような実施形態では、ある期間にわたって宝石の複数のセットまたは複数の画像（例えば、カラー画像）が収集される。例えば、本明細書に開示されたシステムを使用して、画像の各セットは複数の画像角度にわたって自動的に収集される。ある時間にわたって収集できる画像のセットの量に限界はなく、例えば、2つ以上の画像セット、3つ以上の画像セット、4つ以上の画像セット、5つ以上の画像セット、6つ以上の画像セット、7つ以上の画像セット、8つ以上の画像セット、9つ以上の画像セット、10個以上の画像セット、15個以上の画像セット、20個以上の画像セット、30個以上の画像セット、50個以上の画像セット、または100個以上の画像セットを収集することができる。

40

#### 【0179】

いくつかの実施形態では、同じシステム構成を適用することによって、例えば、同じカメラ、同じ画像角度、同じリフレクタ、および同じプラットフォームなどを使用することによって、同じ宝石の画像のすべてのセットが収集される。

50

**【 0 1 8 0 】**

画像の複数のセットの中で、石の色変化の性質に応じて、2つの連続する画像のセットが、数分から数時間または数日の範囲の時間間隔に対して別々にある。時間間隔の持続時間は、色変化がサンプル石でどのくらい速く起こるかによって決定される。時間間隔をどの程度長く、またはどの程度短くできるかに限界はない。例えば、時間間隔は2分以下、5分以下、10分以下、20分以下、30分以下、60分以下、2時間以下、5時間以下、12時間以下、24時間以下、2日以下、5日以下、または10日以下とすることができる。

**【 0 1 8 1 】**

いくつかの実施形態では、画像の各セットについて計算が行われ、サンプル宝石に対して色等級が割り当てられる。次いで、複数の画像セットからの色等級を比較して、経時的な色変化を決定する。

10

**【 0 1 8 2 】**

本発明は、コンピュータ可読記憶媒体に埋め込まれたコンピュータプログラム機構を備えるコンピュータシステムおよび／またはコンピュータプログラム製品として実施することができる。さらに、本発明の方法のいずれも、1つまたは複数のコンピュータまたはコンピュータシステムで実施することができる。またさらに、本発明の方法のいずれも、1つまたは複数のコンピュータプログラム製品で実施することができる。本発明のいくつかの実施形態は、本明細書で開示される方法のいずれかまたはすべてを実行するための命令をコード化するか、または命令を有するコンピュータシステムまたはコンピュータプログラム製品を提供する。そのような方法／命令は、CD-ROM、DVD、磁気ディスク記憶製品、または他の任意のコンピュータ可読データもしくはプログラム記憶製品に格納することができる。そのような方法は、ROM、1つまたは複数のプログラマブルチップ、もしくは1つまたは複数の特定用途向け集積回路（ASIC）などの永久記憶装置に埋め込むこともできる。そのような永久記憶装置は、サーバ、802.11アクセスポイント、802.11無線ブリッジ／ステーション、リピータ、ルータ、携帯電話、または他の電子デバイスにローカライズすることができる。コンピュータプログラム製品にコード化されたそのような方法は、デジタル的にまたは搬送波上のコンピュータデータ信号（ソフトウェアモジュールが埋め込まれている）の伝送によって、インターネットまたはその他の方法で電子的に配布することもできる。

20

**【 0 1 8 3 】**

本発明のいくつかの実施形態は、本明細書で開示されるプログラムモジュールのいずれかまたはすべてを含むコンピュータシステムまたはコンピュータプログラム製品を提供する。このようなプログラムモジュールは、CD-ROM、DVD、磁気ディスク記憶製品、または他の任意のコンピュータ可読データもしくはプログラム記憶製品に格納することができる。プログラムモジュールは、ROM、1つまたは複数のプログラマブルチップ、もしくは1つまたは複数の特定用途向け集積回路（ASIC）などの永久記憶装置に埋め込むこともできる。そのような永久記憶装置は、サーバ、802.11アクセスポイント、802.11無線ブリッジ／ステーション、リピータ、ルータ、携帯電話、または他の電子デバイスにローカライズすることができる。コンピュータプログラム製品中のソフトウェアモジュールは、デジタル的にまたは搬送波上のコンピュータデータ信号（ソフトウェアモジュールが埋め込まれている）の伝送によって、インターネットまたはその他の方法で電子的に配布することもできる。

30

**【 0 1 8 4 】**

本発明を詳細に説明してきたが、添付の特許請求の範囲に定義された本発明の範囲を逸脱することなく、変更、変形、および同等の実施形態が可能であることは明らかであろう。さらに、本開示におけるすべての例は、非限定的な例として提供されることを理解されたい。

40

**【 0 1 8 5 】**

[ 実施例 ]

50

以下の非限定的な実施例は、本明細書に開示される本発明の実施形態をさらに例示するために提供される。以下の実施例に開示される技術は、本発明の実施において良好に機能することが見出された方法を表し、したがって、その実施のための態様の例を構成すると考えることができることは、当業者には理解されるべきである。しかし、当業者であれば、本開示に照らして、本発明の主旨および範囲から逸脱することなく、開示された特定の実施形態において多くの変更がなされ得、同様のまたは類似の結果が得られることを認識すべきである。

#### 【0186】

##### [実施例1]

##### [ケープイエローストーンの計器色等級付け]

10

図12Aおよび図12Bは、3つのケープイエローストーンの等級結果を示す。図12Aは、サンプル1の色等級値を計算する際に、宝石全体と一致する開口部を有するマスクを使用したことを示す。ここで、L、a、b、C、Hの値は、本明細書に開示された計器分析に基づいて計算される。

#### 【0187】

サンプル1～3の等級付け結果は、図12Bの表にまとめられている。ここでは、サンプル1、2、3の計器色等級はD、F、Jであり、これは経験豊富な人間のグレーダにより視覚的等級付けによって与えられた等級に一致した。

#### 【0188】

ここに示した結果は、本明細書に記載されている計器による色等級付けが、幅広い色品質にわたる人間グレーダの視覚等級付けと一致することを支持している。

20

#### 【0189】

##### [実施例2]

##### [珍しい色の石の計器色等級付け]

図13の表は、珍しい色やあまりよい色ではない石の色等級付け結果を示している。特定の色の存在が弱い場合、または複数の色が存在する場合、宝石の色はあまり良くない。

#### 【0190】

サンプル4～7は、青みがかかった、ピンクがかかった、茶色がかかった、および緑がかかった黄色の石を含む。この場合も、サンプル4、サンプル5、サンプル6、およびサンプル7に対する色等級値を計算する際に、宝石全体に一致する開口部を有するマスクを使用した。

30

#### 【0191】

青色のダイヤモンド（サンプル4）については、人間グレーダおよび本発明の計器の両方が、Eの色等級を提供した。ピンク色のダイヤモンド（サンプル5）については、人間グレーダおよび本発明の計器の両方が、Fの色等級を提供した。茶色のダイヤモンド（サンプル6）については、人間グレーダおよび本発明の計器の両方が、Y/Zの色等級を提供した。緑がかかった黄色のダイヤモンド（サンプル7）については、人間グレーダおよび本発明の計器の両方が、Fの色等級を提供した。

#### 【0192】

ここに示された結果は、本明細書に記載された計器による色等級付けが、色等級が低い宝石に対する人間グレーダによる視覚等級付けと一致することを支持する。

40

#### 【0193】

##### [実施例3]

##### [珍しい形状の石の計器色等級付け]

図15の表は、3つの例示的な珍しい形状の石の色等級付け結果をまとめたものである。この場合も、サンプル8、サンプル9、およびサンプル10の色等級値を計算する際に、宝石全体と一致する開口部を有するマスクを使用した。ここで、計器等級付けは、経験豊富な人間グレーダによって提供されたものと一致する色等級をこの場合も提供した。

#### 【0194】

これらの実施例は、初めに珍しい形状の石として分類された宝石は、依然として通常の

50

マスク分析、すなわち、宝石全体に一致する開口部を有するマスクを使用する分析の対象となり得ることを示している（例えば、図11B参照）。

【0195】

[実施例4]

[割合または形状に基づくマスク調整の効果]

この実施例は、適切な色等級付けに対するマスク調整の効果を示している。等級付け結果は図15の表にまとめられている。サンプル11は高深度の石である。人間による等級付けによれば、色等級はJである。宝石領域全体（100%）に対応する開口部を有するマスクを使用した場合、計器色分析は、人間による等級付け結果とは著しく異なる、色等級Lを提供した。しかし、マスク開口部領域が石の一部のみを覆う三角形（例えば、図11Aに図示されているような頂部）に調整されると、計器分析から得られた色等級はJとなり、人間による等級付けの結果と一致した。10

【0196】

サンプル12は、低深度石の石である。人間による等級付けによれば、色等級はHである。宝石領域全体（100%）に対応する開口部を有するマスクを使用した場合、計器色分析は、人間による等級付け結果とは著しく異なる、色等級Iを提供した。しかし、マスク開口部領域が石の一部のみを覆うより小さな領域（例えば、図11Aに図示されているような上部50%）に調整されると、計器分析から得られた色等級はHとなり、人間による等級付けの結果と一致した。

【0197】

上記の様々な方法および技術は、本発明を実施するための多くの方法を提供する。当然のことながら、記載された全ての目的または利点が必ずしも本明細書に記載の特定の実施形態に従って達成されるわけではないことを理解されたい。したがって、例えば、本明細書で教示または示唆されるような他の目的または利点を必ずしも達成することなく、本明細書で教示されるような1つの利点または利点群を達成または最適化する方法で本方法を実施できることを当業者は認識するであろう。様々な有利かつ不利な選択肢が本明細書で言及される。いくつかの好適な実施形態は、特に、1つ、別の、またはいくつかの有利な特徴を含み、また他のものは、特に、1つ、別の、またはいくつかの不利な特徴を特に排除し、またさらに他のものは、特に1つ、別の、またはいくつかの有利な特徴を含むことによってこの不利な特徴を軽減することを理解されたい。30

【0198】

さらに、当業者は、異なる実施形態からの様々な特徴の適用可能性を認識するであろう。同様に、上述の様々な要素、特徴、およびステップ、ならびにそのような要素、特徴、またはステップのそれぞれについての他の既知の均等物は、本明細書に記載された原理に従って本方法を実行するために、当業者によって混合され、適合され得る。様々な要素、特徴、およびステップの中には、具体的に含まれるものと、様々な実施形態で特に除外されるものとがある。

【0199】

本発明は、特定の実施形態および実施例の文脈で開示されているが、本発明の実施形態は、具体的に開示された実施形態を超えて、他の代替実施形態および/または使用および修正およびそれらの等価物にまで及ぶことが当業者によって理解されよう。40

【0200】

本発明の実施形態では、多くの変形および代替要素が開示されている。さらに別の変形および代替要素は、当業者には明らかであろう。

【0201】

いくつかの実施形態では、本発明の特定の実施形態を記載および請求するために使用される成分の量、分子量、反応条件などの特性を表す数字は、場合によっては「約」という用語によって修飾されると理解されるべきである。したがって、いくつかの実施形態では、記載された説明および添付の特許請求の範囲に記載された数値パラメータは、特定の実施形態によって得られることが求められる所望の特性に応じて変化し得る近似値である。50

いくつかの実施形態では、数値パラメータは、報告された有効数字の数と、通常の丸め技法を適用することによって解釈されるべきである。本発明のいくつかの実施形態の広い範囲を示す数値範囲およびパラメータが近似値であるにもかかわらず、特定の実施例に示された数値は、実施可能な限り正確に報告されている。本発明のいくつかの実施形態で提示される数値は、それぞれの試験測定値に見られる標準偏差から必然的に生じる特定の誤差を含むことができる。

#### 【0202】

いくつかの実施形態では、本発明の特定の実施形態を説明する文脈で（特に、以下の特許請求の範囲の特定の文脈において）使用される用語「*a*」および「*a n*」および「*t h e*」ならびに類似の言及は、単数形と複数形との両方をカバーすると解釈することができる。本明細書における値の範囲の列挙は、範囲内に入る個々の値ごとに個々に言及する簡略な方法として機能することを意図するに過ぎない。本明細書中で他に示されない限り、個々の各値は、本明細書中に個別に列挙されている場合と同様に明細書に組み込まれる。本明細書中に記載される全ての方法は、本明細書中で他に指示されない限り、または文脈によって明らかに矛盾しない限り、任意の適切な順序で実行することができる。本明細書の特定の実施形態に関して提供される任意のおよびすべての例、または例示的な用語（例えば、「など」）の使用は、単に本発明をよりよく示すことを意図しており、本発明の範囲を限定するものではない。本明細書中のいかなる言葉も、本発明の実施に不可欠な任意の請求されていない要素を示すものとして解釈されるべきではない。

#### 【0203】

本明細書で開示される本発明の代替要素または実施形態のグループ分けは、限定として解釈されるべきではない。各群のメンバは、個別に、またはここに記載されている群または他の要素の他のメンバとの任意の組み合わせで参照および要求することができる。利便性および／または特許性の理由から、1つまたは複数の群のメンバのある群に含めたり、群から削除したりすることができる。そのような包含または削除が生じる場合、本明細書は、改変された群を含むとみなされ、したがって、添付の特許請求の範囲で使用されるすべてのMarkush群の記述を満たすものとみなされる。

#### 【0204】

本発明を実施するために本発明者らに知られている最良の形態を含む、本発明の好ましい実施形態を本明細書に記載する。これらの好適な実施形態の変形は、前述の説明を読むことによって当業者には明らかになるであろう。当業者は、そのような変形を適切に用いることができ、本発明は、本明細書に具体的に記載されている以外の方法で実施することができると考えられる。したがって、本発明の多くの実施形態は、適用法によって許容されるように、添付の特許請求の範囲に記載された主題のすべての改変および均等物を含む。さらに、本明細書中で他に指示されない限り、あるいは文脈によって明らかに矛盾しない限り、それらのすべての可能な変形における上記の要素の任意の組み合わせが本発明に包含される。

#### 【0205】

さらに、本明細書を通して、特許および刊行物に多数の参照がなされている。上に引用した参考文献および印刷された刊行物のそれぞれは、参照によりその全体が個々に本明細書に組み込まれる。

#### 【0206】

最後に、本明細書で開示される本発明の実施形態は、本発明の原理を例示するものであることを理解されたい。使用することができる他の変形例も本発明の範囲内であり得る。したがって、限定ではなく例として、本発明の代替構成を本明細書の教示に従って利用することができる。したがって、本発明の実施形態は、図示および説明したものに厳密に限定されない。

10

20

30

40

【図1】

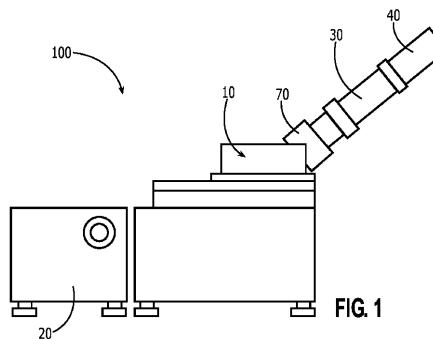


FIG. 1

【図2B】

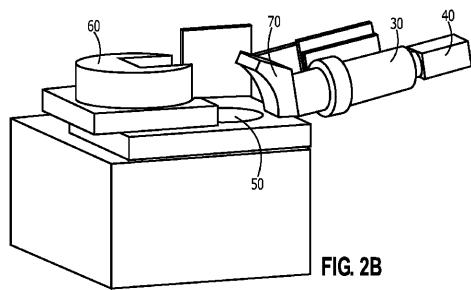


FIG. 2B

【図2A】

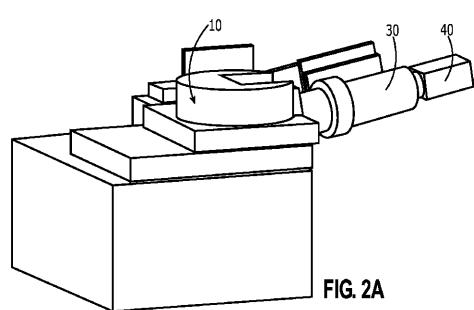


FIG. 2A

【図3】

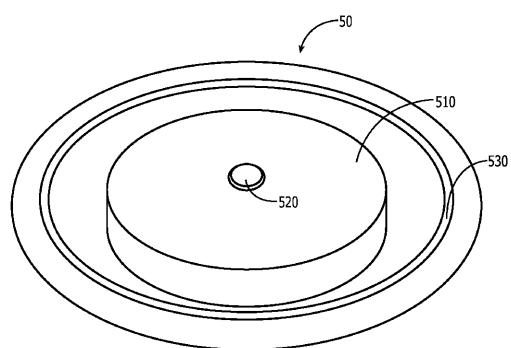


FIG. 3

【図4】

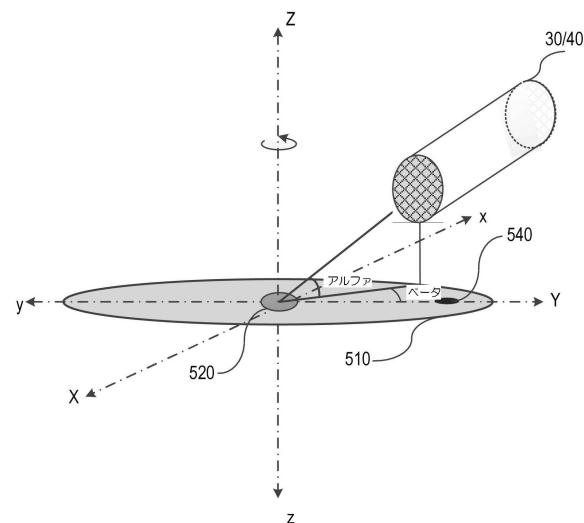


FIG. 4

【図5A】

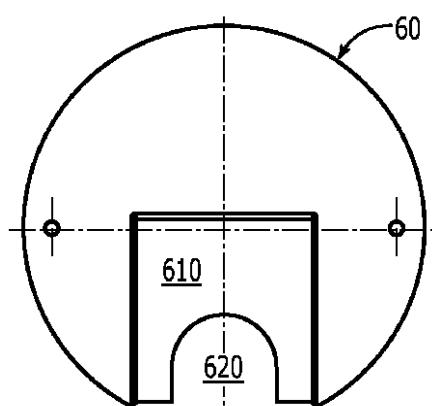


FIG. 5A

【図 5 B】

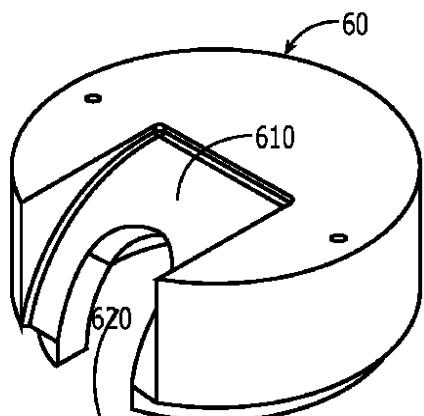


FIG. 5B

【図 5 C】

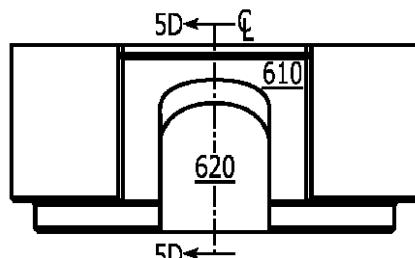


FIG. 5C

【図 5 D】

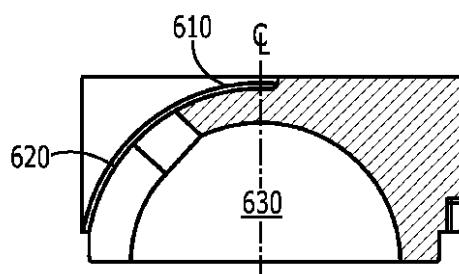


FIG. 5D

【図 6 A】

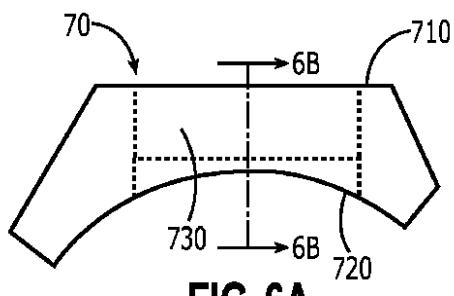


FIG. 6A

【図 6 C】

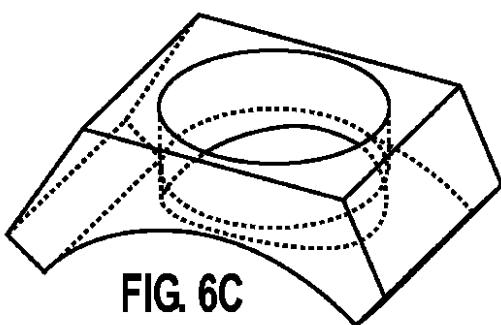


FIG. 6C

【図 6 B】

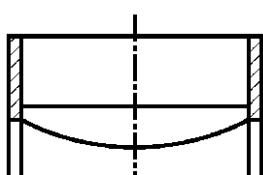


FIG. 6B

【図 7 A】

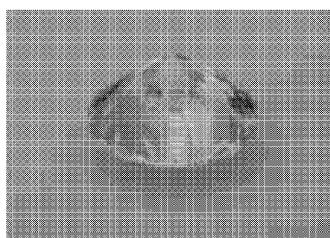


FIG. 7A

【図 7B】

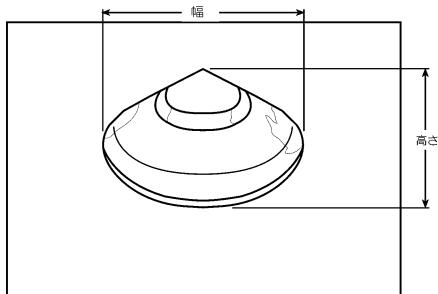


FIG. 7B

【図 8】

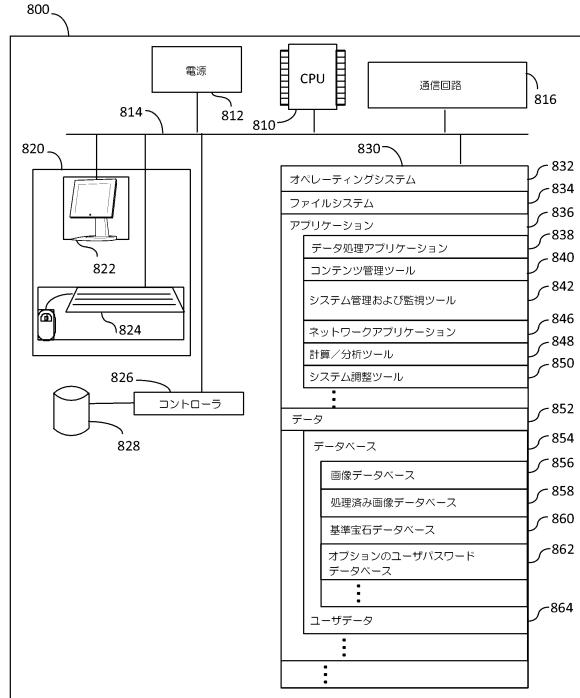


Figure 8

【図 9A】

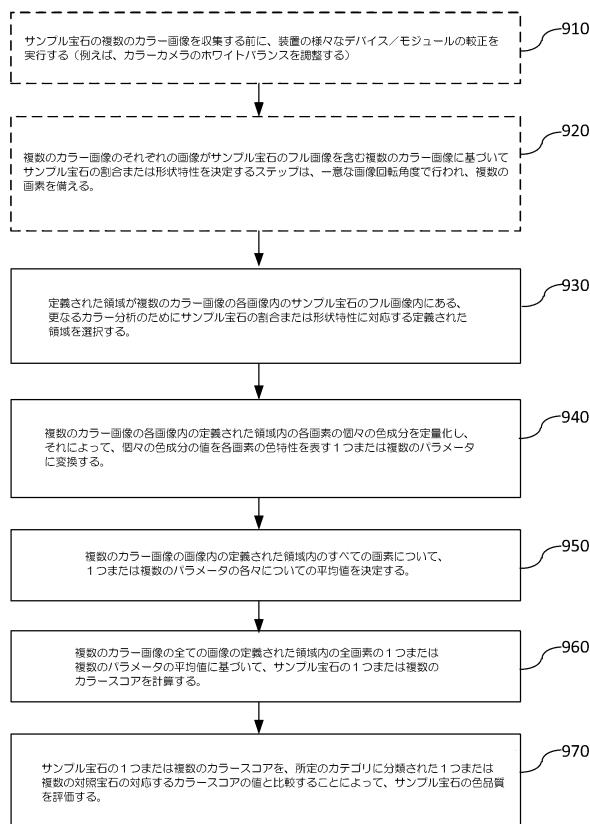


FIG. 9A

【図 9B】

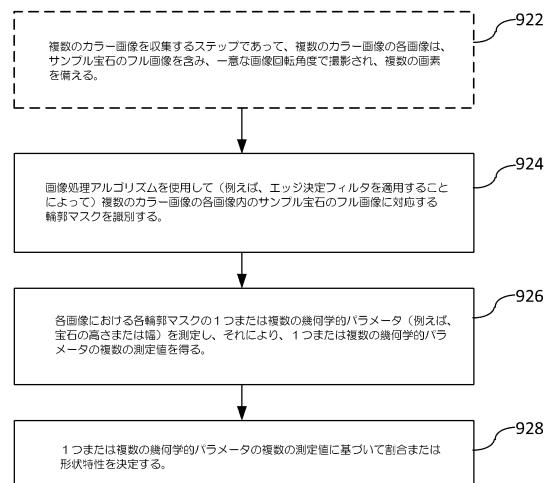


FIG. 9B

【図 10】

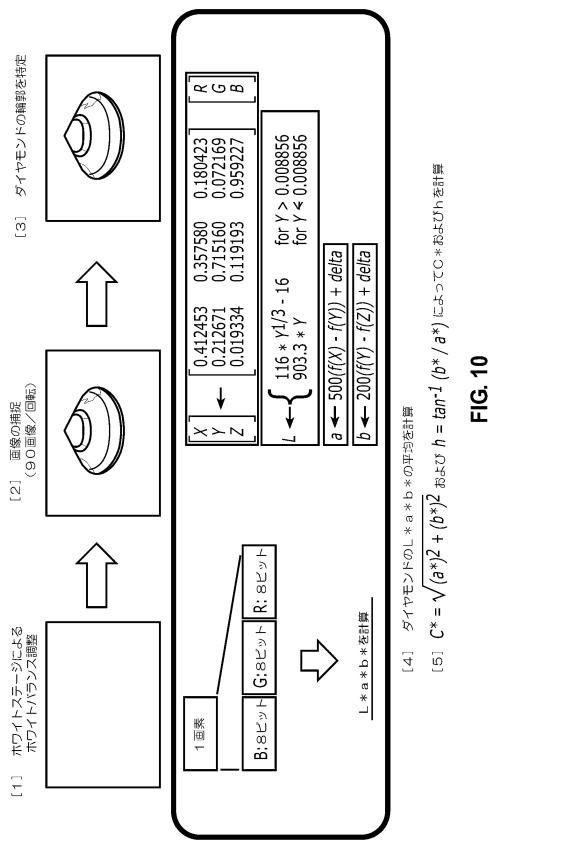


FIG. 10

【図 11B】

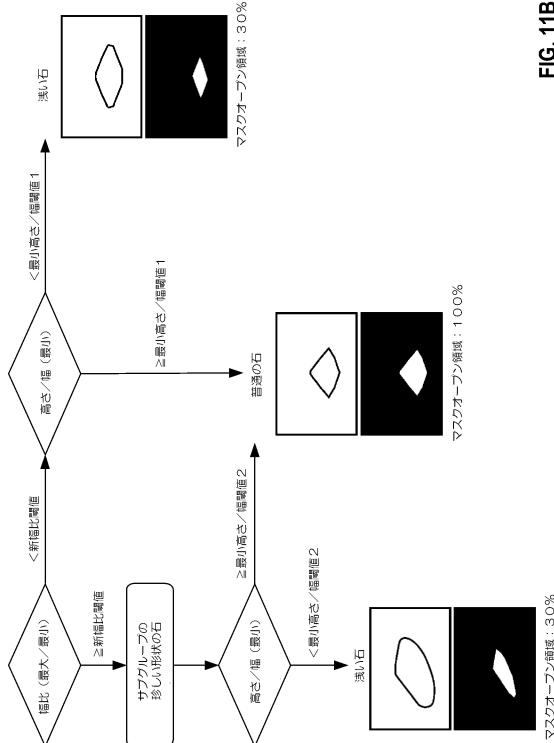


FIG. 11B

【図 12A】

	マスク	L	a	b	c	H	95.472
サンプル1	100%	0.951	-0.048	0.504	0.507		

FIG. 12A

【図 11A】

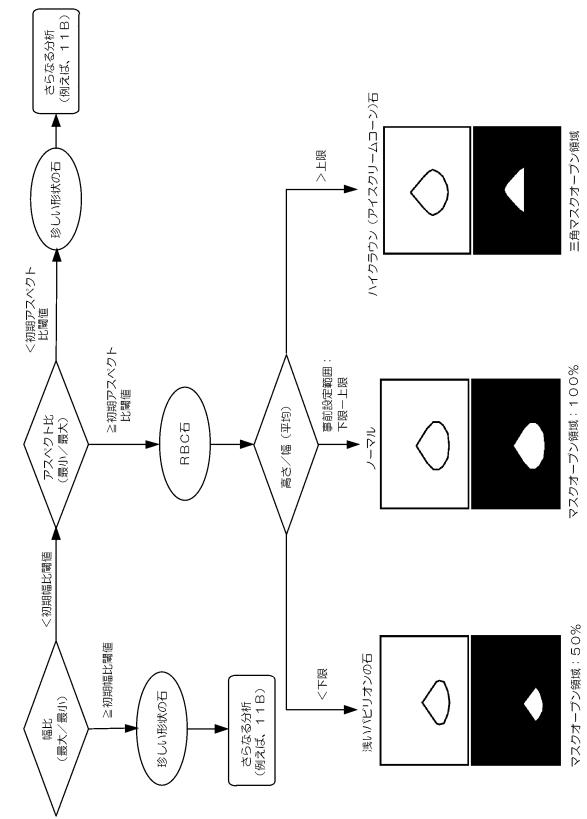


FIG. 11A

【図 1 2 B】

サンプル番号	形状	視覚的等級	計器等級	マスク適用
8	マーキス	F	F	100%
9	エメラルド	G	G	100%
10	クラシヨン	F	F	100%

FIG. 12B

【図 1 4 A】

サンプル番号	形状	視覚的等級	計器等級	マスク適用
8	マーキス	F	F	100%
9	エメラルド	G	G	100%
10	クラシヨン	F	F	100%

FIG. 14A

【図 1 4 B】

サンプル番号	L	a	b	C	H	98.576
サンプル9	100%	0.952	-0.306	2.032	2.055	

FIG. 14B

【図 1 3】

サンプル番号	色	視覚的等級	計器等級	マスク適用
4	青みがかった色	E	E	100%
5	ピンク色	F	F	100%
6	茶色	Y/Z	Y/Z	100%
7	緑色がかった 黄色	F	F	100%

FIG. 13

【図 15】

サンプル 番号	形状	視覚的 等級	レギュラーマスク付き 計器等級		修正されたマスク付き 計器等級	
			マスク 等級	マスク 等級	マスク 等級	等級
11	高深度	J	100%	L	三角形	J
12	低深度	H	100%	-	50%	H

FIG. 15

---

フロントページの続き

審査官 横尾 雅一

(56)参考文献 米国特許第06473164(US, B1)

特開平07-239303(JP, A)

特表2013-510302(JP, A)

米国特許出願公開第2007/0285650(US, A1)

米国特許出願公開第2003/0107722(US, A1)

特開2015-057791(JP, A)

米国特許出願公開第2010/0127180(US, A1)

米国特許出願公開第2010/0085299(US, A1)

米国特許出願公開第2004/0072137(US, A1)

特表2002-516992(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/84 - 21/958