

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-223462

(P2015-223462A)

(43) 公開日 平成27年12月14日(2015.12.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 1/00 (2006.01)	A 6 1 B 1/00 3 0 0 Y	2 H 0 4 0
G 0 2 B 23/26 (2006.01)	A 6 1 B 1/00 3 0 0 U	2 H 0 5 2
G 0 2 B 19/00 (2006.01)	G 0 2 B 23/26 B	2 H 0 8 7
G 0 2 B 25/02 (2006.01)	G 0 2 B 19/00	4 C 1 6 1
G 0 2 B 13/18 (2006.01)	G 0 2 B 25/02	
審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 36 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2014-111994 (P2014-111994)
 (22) 出願日 平成26年5月30日 (2014. 5. 30)

(71) 出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100095957
 弁理士 亀谷 美明
 (74) 代理人 100096389
 弁理士 金本 哲男
 (74) 代理人 100101557
 弁理士 萩原 康司
 (74) 代理人 100128587
 弁理士 松本 一騎
 (72) 発明者 松延 剛
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

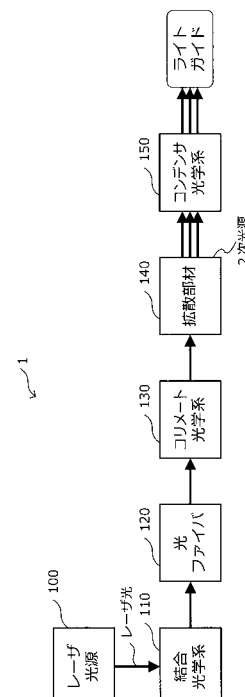
(54) 【発明の名称】 照明装置、照明方法及び内視鏡

(57) 【要約】

【課題】 より簡便な方法でスペckルノイズを低減させること。

【解決手段】 本開示に係る照明装置は、レーザ光を射出する少なくとも1つのレーザ光源と、前記レーザ光源から射出された前記レーザ光を光ファイバに結合させる結合光学系と、前記光ファイバから射出された前記レーザ光を平行光束とするコリメート光学系と、前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に配置され、前記平行光束を拡散させることで2次光源を生成する拡散部材と、前記2次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像するコンデンサ光学系と、を備える。

【選択図】 図1 A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ光を射出する少なくとも 1 つのレーザ光源と、
 前記レーザ光源から射出された前記レーザ光を光ファイバに結合させる結合光学系と、
 前記光ファイバから射出された前記レーザ光を平行光束とするコリメート光学系と、
 前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に配置され、前記平行光束を拡散させることで 2 次光源を生成する拡散部材と、
 前記 2 次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像するコンデンサ光学系と、
 を備える、照明装置。

10

【請求項 2】

前記コンデンサ光学系により前記ライトガイドの入射端に結像される前記 2 次光源の像の大きさを Y' とし、前記ライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} としたとき、以下の式 1 で表わされる関係が成立する、請求項 1 に記載の照明装置。

$$0.8 \leq Y' / \phi_{LG} \leq 1.2 \quad \cdots (\text{式 1})$$

【請求項 3】

前記コンデンサ光学系の前記近軸横倍率は、 $0.4 \sim 2.3$ である、請求項 1 に記載の照明装置。

20

【請求項 4】

前記コンデンサ光学系により前記ライトガイドの入射端に結像される前記 2 次光源の像の大きさを Y' とし、前記ライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} としたとき、 $Y' = \phi_{LG}$ の関係が成立する、請求項 2 に記載の照明装置。

【請求項 5】

複数の前記レーザ光源が設けられ、
 前記結合光学系は、それぞれの前記レーザ光源から射出された前記レーザ光間で、前記光ファイバへの入射開口数を揃える開口数調整部を有する、請求項 1 に記載の照明装置。

【請求項 6】

前記開口数調整部は、
 ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムを少なくとも有し、
 前記ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムへの前記レーザ光の入射位置、又は、前記結合光学系の中心光軸に対する前記ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムの配置位置により、前記入射開口数を調整する、請求項 5 に記載の照明装置。

30

【請求項 7】

前記結合光学系を透過した少なくとも 1 つの前記レーザ光は、前記光ファイバの入射端面に、当該入射端面の法線に対して斜め方向から入射する、請求項 1 に記載の照明装置。

【請求項 8】

複数の前記レーザ光源が設けられ、
 少なくとも一つの前記レーザ光源では、前記コンデンサ光学系により前記ライトガイドの入射端に結像される前記 2 次光源の大きさを Y' とし、前記ライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} としたとき、以下の式 1 で表わされる関係が成立し、

40

$$0.8 \leq Y' / \phi_{LG} \leq 1.2 \quad \cdots (\text{式 1})$$

前記少なくとも一つの前記レーザ光源以外のレーザ光源では、前記結合光学系は、それぞれの前記レーザ光源から射出された前記レーザ光間で、前記光ファイバへの入射開口数を揃える開口数調整部を有する、請求項 1 に記載の照明装置。

【請求項 9】

前記コンデンサ光学系は、前記 2 次光源が形成される側の面、及び、前記 2 次光源の像

50

が形成される面がそれぞれ平面であるレンズ系からなる、請求項 1 に記載の照明装置。

【請求項 1 0】

前記コンデンサ光学系は、前記拡散部材の側から順に、平面を前記拡散部材側に向けた正の平凸レンズと、1 枚以上の正レンズと、平面を前記コンデンサ光学系の後段側に向けた正の平凸レンズと、を有するレンズ系からなる、請求項 9 に記載の照明装置。

【請求項 1 1】

前記コンデンサ光学系における前記 2 次光源が形成される側に最も位置する平凸レンズの前記拡散部材の側の面は、非球面である、請求項 9 に記載の照明装置。

【請求項 1 2】

前記レーザ光源は、半導体レーザ又は固体レーザの少なくとも何れかである、請求項 1 に記載の照明装置。

10

【請求項 1 3】

前記拡散部材は、ホログラフィックパターンが施されたホログラフィック拡散板、又は、マイクロレンズアレイである、請求項 1 に記載の照明装置。

【請求項 1 4】

少なくとも 1 つのレーザ光源から射出されたレーザ光を、結合光学系を介して光ファイバに結合させることと、

光ファイバから射出された前記レーザ光を、コリメート光学系により平行光束とすることと、

前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に設けられた拡散部材により、前記平行光束を拡散させて 2 次光源を生成することと、

20

前記 2 次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像させることと、を含む、照明方法。

【請求項 1 5】

レーザ光を射出する少なくとも 1 つのレーザ光源、前記レーザ光源から射出された前記レーザ光を光ファイバに結合させる結合光学系、前記光ファイバから射出された前記レーザ光を平行光束とするコリメート光学系、前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に配置され、前記平行光束を拡散させることで 2 次光源を生成する拡散部材、及び、前記 2 次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像するコンデンサ光学系を有する照明装置と、

30

前記照明装置から射出されたレーザ光が入射するライトガイドと、を備える、内視鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本開示は、照明装置、照明方法及び内視鏡に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

内視鏡の光学系は、光源、集光光学系、光ファイバを束ねたバンドルファイバであるライトガイド及び照明光学系を含む。内視鏡用の光源には、一般的に、キセノンランプやハロゲンランプなどのランプ光源が良く用いられており、ランプ光源からの光をライトガイドに結合し、患者装着部である内視鏡挿入部の先端部位までライトガイドを接続することで、ライトガイド先端部から観察部位に光を照射する。

40

【0 0 0 3】

しかしながら、特にキセノンランプなどのランプ光源は、消費電力や発熱量が大きい。また、ランプ光源は、配光角度が非常に広いため、光効率が悪い。そこで、近年、内視鏡用の光源として、ランプ光源に代えてレーザを用いることが行われている。

【0 0 0 4】

光源としてレーザを使用する利点は、(1) 光源の電気光変換効率が高く、ライトガイ

50

ドへの光結合効率が高いことなどから、照明装置の低消費電力化が期待できること、(2) レーザ光の指向性の高さから細径ライトガイドへの光結合効率が高く、細径の内視鏡挿入部を実現することが可能となること、(3) 波長幅が狭いことから、血管などの組織の光吸収特性と組み合わせ、特定組織の強調観察がしやすくなること、などが挙げられる。

【0005】

しかしながら、レーザを光源とする照明装置から射出された光で物体を照明して照射野を観察した場合、レーザ光の可干渉性の高さに起因して、明暗の斑点模様が現れることがある。この現象は、物体の粗面でランダムな光の干渉が起こり、ランダムな強度分布を持った干渉パターンが現れるために発生する。このような斑点模様はスペックル (speckle) ノイズと呼ばれ、照射野観察の妨げとなりうる。

10

【0006】

そこで、スペックルノイズの発生の少ない観察像を得るために、下記特許文献1～特許文献5に例示したような様々な技術が提案されている。

【0007】

例えば下記特許文献1では、コヒーレンス長以上の光路差長を有する複数本の光ファイバを束ねたバンドルファイバをノイズ低減装置として利用する内視鏡システムが開示されている。

【0008】

例えば下記特許文献2では、強度変調したレーザ光を光ファイバで出力するモジュールを複数台使用し、それぞれの光ファイバを束ね、更に単一の光ファイバに光結合する内視鏡用光源装置が開示されている。

20

【0009】

例えば下記特許文献3には、光源である半導体レーザに供給する駆動電流に高周波信号を重ねて半導体レーザを多モード発振させる高周波重畳手段を備えた照明装置が開示されている。

【0010】

例えば下記特許文献4には、光ファイバを振動させる加振手段が内視鏡挿入部内に配置された内視鏡が開示されている。

【0011】

例えば下記特許文献5には、得られた撮像画像を画像処理して観察画像として出力する内視鏡システムが開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2008-043493号公報

【特許文献2】特開2009-240560号公報

【特許文献3】特開2010-042153号公報

【特許文献4】特開2010-172651号公報

【特許文献5】特開2012-005785号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

しかしながら、上記特許文献1では素線長さがそれぞれコヒーレンス長以上のバンドルファイバデバイス、上記特許文献2では複数ファイバ光源デバイス及び強度変調装置、上記特許文献3では高周波重畳回路、上記特許文献4では機械的加振手段、上記特許文献5では画像処理装置と、照明装置の機能を実現するための構成に加えて更なる装置が用いられるため、装置全体が大型化するとともに、スペックルノイズ低減のためのコストが別途必要になってしまう。

【0014】

そこで、本開示では、上記事情に鑑みて、より簡便な方法でスペックルノイズを低減さ

50

せることが可能な、照明装置、照明方法及び内視鏡を提案する。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本開示によれば、レーザ光を射出する少なくとも1つのレーザ光源と、前記レーザ光源から射出された前記レーザ光を光ファイバに結合させる結合光学系と、前記光ファイバから射出された前記レーザ光を平行光束とするコリメート光学系と、前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に配置され、前記平行光束を拡散させることで2次光源を生成する拡散部材と、前記2次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像するコンデンサ光学系と、を備える、照明装置が提供される。

【0016】

また、本開示によれば、少なくとも1つのレーザ光源から射出されたレーザ光を、結合光学系を介して光ファイバに結合させることと、光ファイバから射出された前記レーザ光を、コリメート光学系により平行光束とすることと、前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に設けられた拡散部材により、前記平行光束を拡散させて2次光源を生成することと、前記2次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像させることと、を含む照明方法が提供される。

【0017】

また、本開示によれば、レーザ光を射出する少なくとも1つのレーザ光源、前記レーザ光源から射出された前記レーザ光を光ファイバに結合させる結合光学系、前記光ファイバから射出された前記レーザ光を平行光束とするコリメート光学系、前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に配置され、前記平行光束を拡散させることで2次光源を生成する拡散部材、及び、前記2次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像するコンデンサ光学系を有する照明装置と、前記照明装置から射出されたレーザ光が入射するライトガイドと、を備える内視鏡が提供される。

【発明の効果】

【0018】

以上説明したように本開示によれば、より簡便な方法でスペックルノイズを低減させることが可能である。

【0019】

なお、上記の効果は必ずしも限定的なものではなく、上記の効果とともに、又は、上記の効果に代えて、本明細書に示されたいずれかの効果、又は、本明細書から把握され得る他の効果が奏されてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1A】本開示の第1の実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図1B】ライトガイドの入射端を模式的に示した説明図である。

【図2】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図3】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図4】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【図5】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【図6】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【図7】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【図8】ダイクロイックミラーの光軸上でのシフト量とスペックルとの関係を示したグラフ図である。

【図9A】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図であ

10

20

30

40

50

る。

【図 9 B】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【図 1 0】同実施形態に係る照明装置を備えた内視鏡の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 1】同実施形態に係るコンデンサ光学系のレンズデータを示した説明図である。

【図 1 2 A】同実施形態に係るコンデンサ光学系のレンズ構成例を示した説明図である。

【図 1 2 B】同実施形態に係るコンデンサ光学系のレンズ構成例を示した説明図である。

【図 1 2 C】同実施形態に係るコンデンサ光学系のレンズ構成例を示した説明図である。

【図 1 3 A】本開示の第 2 の実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 3 B】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 4 A】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 4 B】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 4 C】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 5】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 6】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 7】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 1 8 A】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【図 1 8 B】コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【図 1 9】同実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 2 0】同実施形態に係る照明装置を備えた内視鏡の構成を模式的に示した説明図である。

【図 2 1】ダイクロイックミラーの光軸上でのシフト量とスペックルとの関係を検証するための装置構成を模式的に示した説明図である。

【図 2 2】ダイクロイックミラーの光軸上でのシフト量とスペックルとの関係を示したグラフ図である。

【図 2 3】ダイクロイックミラーの光軸上でのシフト量とスペックルとの関係を検証するための装置構成を模式的に示した説明図である。

【図 2 4】ダイクロイックミラーの光軸上でのシフト量とスペックルとの関係を示したグラフ図である。

【図 2 5】本開示の第 3 の実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【図 2 6】同実施形態に係る照明装置を備えた内視鏡の構成を模式的に示した説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 1】

以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0 0 2 2】

なお、説明は以下の順序で行うものとする。

1. スペックルノイズについて

2. 第 1 の実施の形態（照明装置全体のスペックルノイズを低減する例）

2. 1. 照明装置の構成について

2. 2. 内視鏡の構成について

2. 3. コンデンサ光学系の具体例

3. 第 2 の実施の形態（各光源のスペックルノイズを低減し、各光源で観察されるスペ

10

20

30

40

50

ツクルノイズのうち空間的な可干渉性に関係する部分を等しい程度にする例)

3. 1. 照明装置の構成について

3. 2. 内視鏡の構成について

3. 3. 検証例

4. 第3の実施の形態(第1の実施の形態と第2の実施の形態の組み合わせ例)

【0023】

(スペckルノイズについて)

本開示の実施形態に係る照明装置、照明方法及び内視鏡について説明するに先立ち、本開示で着目するスペckルノイズ(以下、単に「スペckル」ともいう。)について、簡単に説明する。

10

【0024】

スペckルノイズは、(a)観察部位を照明する光源の波長幅と、(b)観察部位を照明する光源の輝度分布と、(c)観察部位の表面粗度と、に依存することが知られている。この3つの要因のうち、(a)は光源の時間的な可干渉性に関係し、(b)は、光源の空間的な可干渉性に関係する。従って、ここで問題として扱うスペckルは、光源の空間的な可干渉性に関係する。

【0025】

輝度分布 $S(\xi)$ を持った光源により照らされた物体面の可干渉性は、以下の式1で表わされる Van Cittert Zernike (ファン・シッター・ゼルニケ) の定理に従うことが知られている。

20

【0026】

【数1】

$$\mu(x, x + \Delta x) = \frac{1}{\int d\xi S(\xi)} \int d\xi S(\xi) \exp \left[-i \frac{2\pi}{\lambda} \xi \Delta x \right] \cdots (\text{式1})$$

【0027】

ここで、上記式1において、

x : 物体面上における位置

30

μ : 複素コヒーレンス度(位置 x と $(x + \Delta x)$ との間の空間的な可干渉性を示すパラメータ)

$S(\xi)$: 光源の輝度分布

i : 虚数単位

λ : 波長

である。

【0028】

上記式1の形状から明らかなように、物体面の空間的な可干渉性は、光源の輝度分布 $S(\xi)$ のフーリエ変換により与えられる。すなわち、光源の輝度分布の空間周波数スペクトルがコヒーレンス度である。従って、光源が点光源であれば、輝度分布 $S(\xi)$ は δ 関数とみなすことができ、物体面のあらゆる点同士が干渉して、可干渉性が高くなる。このような光源(点光源)は、コヒーレント(coherent)な光源といわれる。一方、大きさ無限大の一樣光源である場合には、輝度分布 $S(\xi) = 1$ となっており、そのフーリエ変換は δ 関数となり、物体面上の同一位置でしか干渉しなくなり、可干渉性が低くなる。このような大きさが無限大の光源は、インコヒーレント(incoherent)な光源といわれる。照明装置に実際に用いられる光源は、空間的にコヒーレント光源とインコヒーレント光源の間に位置する部分的コヒーレントな光源であるため、見かけ上の光源の大きさが大きく、光源の輝度分布が一樣であるほど、可干渉性が低くなる。

40

【0029】

近年、光源として用いられるレーザは、その発光原理から、ランプ光源と比較して波長

50

幅が狭く、発光部位の大きさが小さいため、光の空間的、時間的な可干渉性が高い。その結果、光源としてレーザを用いた場合には、スペックルノイズが大きく観測される傾向にある。

【0030】

ここで、レーザ光を用いて白色光を得るためには、光の三原色であるR（赤色光）、G（緑色光）、B（青色光）をそれぞれ射出するレーザデバイスを用いたり、Bのレーザデバイスと青色励起の蛍光体による発光を加えたりすることが考えられる。しかしながら、各色のレーザデバイス毎にニアフィールドパターン（Near-Field Pattern：NFP）やファーフィールドパターン（Far-Field Pattern：FFP）が異なるため、色ムラが生じるとともに、ビーム形状を起因とする空間的可干渉性に相違が生じた結果、各色で観察されるスペックルノイズの大きさが異なってしまう。

10

【0031】

また、光学系全体で保持される不変量の一つに、以下の式2で表わされるラグランジェの不変量がある。

【0032】

$$L_1 = \phi_1 \times NA_1 \cdots (\text{式2})$$

L_1 ：ラグランジェの不変量

ϕ_1 ：光源の大きさ

NA_1 ：光源の開口数（ $= n \times \sin \theta_1$ ）

n ：屈折率

θ_1 ：光源の発散角

20

【0033】

ここで、レーザを用いた光学系は、上記のラグランジェの不変量が小さいため、ライトガイドに結合する際に求められる大きな光源のサイズと大きな発散角の両立が難しい。

【0034】

従って、レーザを用いて内視鏡のための照明光源を実現する場合には、上記のような点を十分に考慮することが求められる。

【0035】

レーザのようなコヒーレントな光源を用いた場合に、ライトガイドの入射端に対してライトガイドへの光結合効率の向上のみを重視してビーム径を小さくすると、上記説明から明らかなように可干渉性が高くなり、スペックルノイズがより発生しやすくなってしまう。スペックル低減策としては、従来では、上記特許文献1～特許文献5に示したように、照明装置に更なる機構を付加することで、スペックルノイズの低減を図られる。

30

【0036】

しかしながら、本発明者らは上記内容について鋭意検討した結果、レーザ光のビーム径と輝度分布に着目することで、より簡便にスペックルノイズを低減可能であることに想到し、以下で説明する本開示の各実施形態に係る照明装置及び照明方法を完成するに至ったのである。以下では、本開示の各実施形態に係る照明装置及び照明方法と、かかる照明装置を用いた内視鏡について、詳細に説明する。

【0037】

40

（第1の実施形態）

以下では、まず、照明装置全体での可干渉性を低減してスペックルノイズを発生しにくくすることが可能な照明装置及び照明方法と、この照明装置を有する内視鏡について、詳細に説明する。

【0038】

<照明装置の構成について>

まず、図1A～図9Bを参照しながら、本開示の第1の実施形態に係る照明装置の構成について説明する。図1Aは、本実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図であり、図1Bは、ライトガイドの入射端を模式的に示した説明図である。図2～図3は、本実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。図4～図7及び図9

50

A～図9Bは、コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。図8は、ダイクロイックミラーの光軸上でのシフト量とスペックルとの関係を示したグラフ図である。

【0039】

本実施形態に係る照明装置1は、図1Aに模式的に示したように、レーザ光源100と、結合光学系110と、光ファイバ120と、コリメート光学系130と、拡散部材140と、コンデンサ光学系150と、を有する。

【0040】

レーザ光源100は、照明装置1において少なくとも1つ設けられ、所定波長のレーザ光を射出する。本実施形態に係る照明装置1において、かかるレーザ光源100としては、各種の半導体レーザや固体レーザを使用することが可能であり、これらのレーザと波長変換機構とを組み合わせたものを使用することも可能である。レーザ光源100から射出されるレーザ光の波長は、照明対象においてどのような対象物や現象を観察するかに応じて適宜選択されればよい。かかる波長の例としては、波長400～700nm程度の可視光帯域や、ICG (Indocyanine green) 蛍光造影法に用いられる近赤外帯域を挙げることができる。なお、かかるレーザ光を蛍光励起用の励起光とする場合、観察される蛍光は、励起光照射部位の自家蛍光や、照射部位に導入された各種蛍光試薬に起因する薬剤蛍光などを含んでもよい。

【0041】

結合光学系110は、レーザ光源100から射出された上記レーザ光を、後段に設けられた光ファイバ120に光結合させるための光学系である。かかる結合光学系110の構成は特に限定されるものではなく、公知の様々な光学素子を適宜組み合わせ、レーザ光を光ファイバ120に対して光結合させるようにすればよく、レーザ光を光ファイバ120に光結合させるための集光レンズ(コレクタレンズ)を少なくとも1つ有している。

【0042】

また、複数のレーザ光源100を組み合わせ、白色の照明光を実現する場合、結合光学系110には、上記コレクタレンズに加えて、少なくとも1つのダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムが更に設けられる。複数のレーザ光源100から射出された複数のレーザ光は、ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムにより合波されて、白色光が生成される。合波された光は、上記コレクタレンズによって集光されて、光ファイバ120に結合される。

【0043】

なお、複数のレーザ光源100を組み合わせ、用いる場合には、各レーザ光の光ファイバ120への入射開口数は、揃っていることが好ましい。しかしながら、各レーザのFFPが異なることにより、実際は揃えることが難しい。従って、かかる場合には、結合光学系110において、それぞれのレーザ光源100から射出されたレーザ光間で入射開口数を揃えるための開口数調整部が設けられる。この開口数調整部については、以下で改めて詳細に説明する。

【0044】

光ファイバ120は、結合光学系110によって導光されたレーザ光を、後段に設けられたコリメート光学系130へと導光する。光ファイバ120の射出光は、回転対称なビームとなり、輝度分布の一様化に寄与する。この光ファイバ120は、特に限定されるものではなく、公知のマルチモード光ファイバ(例えば、ステップインデックス型マルチモードファイバ)を利用することが可能である。また、光ファイバ120のコア径についても特に限定されるものではなく、例えばコア径が1mm程度のものを利用可能である。

【0045】

本実施形態に係る光ファイバ120では、光ファイバの入射端において複数光源間の開口数になるべく一致するように、光ファイバ120の入射端へと導光される。このとき、レーザ光源から射出されるレーザ光をコリメートするレンズの焦点距離を最適化するなどして、光ファイバ120の射出端から射出されるレーザ光が、光ファイバの中心光軸近傍

10

20

30

40

50

の光量が周辺部の光量と比べて低くなるようなドーナツ状の光線ではなく、光ファイバの中心光軸近傍が周辺部と同等の光量を有するような中実の光線とすることが望ましい。

【0046】

コリメート光学系130は、光ファイバ120の出射端の下流側に設けられ、光ファイバ120から射出されたレーザ光を平行光束へと変換する。コリメート光学系130によりレーザ光が平行光束へと変換されることで、後段に設けられた拡散部材140において、拡散部材140の拡散角度によりレーザ光の拡散状態を容易に制御することが可能となる。コリメート光学系130の構成については、特に限定されるものではなく、公知の光学素子を適宜組み合わせ、レーザ光を平行光束へと変換するための公知の光学系を構成すればよい。

10

【0047】

拡散部材140は、コリメート光学系130の後側焦点位置近傍に設けられ、コリメート光学系130から射出された平行光束を拡散させることで、2次光源を生成する。すなわち、拡散部材140における光の射出端が、2次光源として機能することとなる。

【0048】

拡散部材140により生成される2次光源のサイズは、コリメート光学系130の焦点距離によって制御することができる。また、拡散板の拡散角度により出射光のNAを制御することが可能である。両者の効果により、上記式2で示したラグランジェの不変量を大きくすることが可能となり、所望の光源サイズと所望の照明範囲とを両立することが可能となる。

20

【0049】

なお、2次光源の大きさを調整したい場合には、光ファイバからの出射NAとコリメート光学系の焦点距離より最適化すればよい。なお、後側焦点位置近傍が、実際にどのくらいの範囲となるかについては、特に限定されるものではないが、例えば、後側焦点位置を含み、その上流側及び下流側に焦点距離±10%程度の範囲とすることが好ましい。

【0050】

拡散部材140から射出される光の発散角は、拡散部材140の持つ拡散角度によって制御される。いま、画角 ω （度）の平行光束が拡散部材（例えば拡散板）を透過した場合の出射角度は、以下の式101で近似される。

【0051】

【数2】

$$\Theta = \sqrt{\Theta_w^2 + \Theta_d^2} \quad \cdots (式101)$$

30

【0052】

ここで、上記式101において、

Θ ：拡散部材出射角度

Θ_w ：入射光の画角

Θ_d ：拡散部材の拡散角度

である。

40

【0053】

いま、拡散部材の拡散角度 $\Theta_d = 23$ 度であり、光ファイバ120（マルチモードファイバ）のコア径 $w = 1$ mmであるとする。入射光の画角 Θ_w は、コリメート光学系130の焦点距離を $f_{c.1}$ とすると、 $\Theta_w = \arctan \{ (w/2) / f_{c.1} \}$ で与えられるため、例えば、コリメート光学系の焦点距離を参考に $f_{c.1} = 7.9$ mmとすると、 $\Theta_w = 3.6$ 度となる。かかる Θ_d 及び Θ_w を上記式101に代入すると、拡散部材の出射角度 $\Theta = 23.27$ 度となる。この結果は、拡散部材の出射角度 Θ において、マルチモードファイバのコア径が上記程度であれば、画角 Θ_w はほとんど影響を与えるものではなく、軸上、軸外の光は、共に拡散部材140に設定された拡散角度に制御されることを示している。

50

【0054】

本実施形態において、拡散部材140の拡散角度は特に限定されるものではなく、照明装置1が実現すべきサイズや、照明装置1に適用可能な拡散部材が有する特性値などに応じて適宜決定すればよい。かかる拡散角度 Θ_d は、例えば23度程度に設定することができる。

【0055】

なお、具体的な拡散部材140の種類については、特に限定されるものではなく、公知の拡散素子を利用することが可能である。このような拡散部材の例として、例えば、フロスト型のすりガラスやガラス内に光拡散物質を分散させることで拡散特性を利用したオパール型の拡散板やホログラフィック拡散板を挙げることができる。ホログラフィック拡散板は、所定の基板上にホログラフィックパターンが施されたものであり、出射光の拡散角度を任意の角度に設定することができるため、特に好ましい。

【0056】

拡散部材140から射出された光は、コンデンサ光学系150へと導光される。コンデンサ光学系150は、拡散部材140に形成された2次光源を、所定の近軸横倍率で、照明対象へと結像させる。かかる照明対象としては、例えば、コンデンサ光学系150の下流側に位置する、内視鏡ユニットに設けられたライトガイドの入射端を挙げることができる。図1Bに模式的に示したように、ライトガイドの入射端では、ファイバコア部とファイバクラッド部とから構成される光ファイバが、複数束ねられた構造となっている。ここで、本実施形態に係るコンデンサ光学系150は、従来とは異なり、照明対象（例えば、内視鏡ユニットに設けられたライトガイドの入射端）の面積をなるべく満たすように2次光源を結像させる。これにより、照明装置1全体としてスペckルノイズを低減させることができる。

【0057】

コンデンサ光学系150の結像倍率（近軸横倍率） β は、コンデンサ光学系の焦点距離 f と、焦点位置 F から物体面までの距離 X により、以下の式102で表わされる。

【0058】

$$\beta = f / X \quad \cdots \text{(式102)}$$

【0059】

ここで、コンデンサ光学系150が無収差の場合、コンデンサ光学系150の結像倍率 β と、コンデンサ光学系150の入射開口数及び出射開口数は、以下の式103で表わされる関係式を満足する。

【0060】

$$\beta = Y' / Y = NA_{cond} / NA_{cond'} \quad \cdots \text{(式103)}$$

Y : 2次光源の大きさ

Y' : 2次光源の像の大きさ

NA_{cond} : コンデンサ光学系の入射開口数

$NA_{cond'}$: コンデンサ光学系の出射開口数

【0061】

一方、光ファイバを束ねたバンドルファイバであるライトガイドの許容開口数 NA_L は、光ファイバのコア部の屈折率を n_1 とし、クラッド部の屈折率を n_2 としたときに、以下の式104で与えられ、一般的なライトガイドの許容開口数 NA_L は、 $0.56 \leq NA_L \leq 0.88$ の範囲にある。

【0062】

【数3】

$$NA_L = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \cdots \text{(式104)}$$

【0063】

また、光源からの光をコンデンサ光学系 150 により集光して、コンデンサ光学系 150 の後段に設けられたライトガイドに効率よく入射させるには、以下の式 105 の関係を満足することが好ましい。

【0064】

$$NA_{cond} \leq NA_L \quad \cdots \text{(式 105)}$$

【0065】

その上で、本実施形態に係る照明装置 1 では、コンデンサ光学系 150 を透過した 2 次光源が入射するライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} とし、2 次光源の像の大きさを Y' としたときに、以下の式 106 で表わされる関係が成立するように、2 次光源の像の大きさが制御されることが好ましい。すなわち、2 次光源の像がライトガイドの入射端を満たすようにすることが望ましい。以下の式 106 で表わされる関係式を満足することで、上記式 105 で表わされる関係式を満たしつつ、スペックルノイズの低減を図ることが可能となる。なお、2 次光源の像の大きさは、マルチモードファイバの射出 NA とコリメータの焦点距離により規定される。

【0066】

$$0.8 \leq Y' / \phi_{LG} \leq 1.2 \quad \cdots \text{(式 106)}$$

【0067】

Y' / ϕ_{LG} が 0.8 未満となる場合には、ライトガイドの入射端の直径よりも 2 次光源の像が小さくなる。ライトガイドの入射端と射出端は一般的に共役となり、結果として、ライトガイドの射出光で照明する場合、被照射面から観察した時の見かけ上の光源サイズが小さくなり、スペックルが悪化してしまう。光結合効率の観点よりコア径よりも十分に小さくなるように 2 次光源は制御される場合、スポットサイズが小さい場合にスペックルが悪化してしまう可能性が高い。また、ライトガイドを途中で分岐して複数の射出端で照明する構成とした内視鏡の場合、分岐された射出端間の輝度分布が大きく異なってしまう、スペックルが悪化する不具合がある。

【0068】

一方、 Y' / ϕ_{LG} が 1.2 超過となる場合には、2 次光源又は 2 次光源の像が、ライトガイドの入射端の直径よりも大きくなる。その場合、ライトガイド入射端面において、レーザ光のケラレが発生して、光結合効率が落ちてしまう。

【0069】

なお、コンデンサ光学系で結像される 2 次光源の像が形成されるライトガイドの入射端の直径 ϕ_{LG} と、2 次光源の像の大きさ Y' とは、 $Y' = \phi_{LG}$ の関係が成立することがより好ましい。

【0070】

また、コンデンサ光学系 150 の近軸横倍率 β は、2 次光源の像の大きさ Y' が上記式 106 の範囲を満足するように適宜決定すればよいが、 $0.4 \leq \beta \leq 2.3$ を満たすことがより好ましい。

【0071】

近軸横倍率 β が 0.4 未満である場合には、拡散部材 140 の有効径が大きくなりすぎてしまい、装置が大型化してしまう可能性があるため、好ましくない。一方、近軸横倍率 β が 2.3 超過である場合には、拡散部材 140 として大きな拡散角が必要となって、透過率が低下する可能性がある。また、拡散部材 140 として特殊な構造のものを別途入手しなくてはならず、コストが増加してしまう可能性がある。コンデンサ光学系 150 の近軸横倍率 β が上記範囲となることで、照明装置を製造するにあたってのコストを抑えながら、装置の小型化を図ることが可能となる。また、式 106 を満たすように 2 次光源の像の大きさ Y' を調整する方法として、コンデンサレンズとライトガイドの入射端面の間隔を調整できる機構を設けても良い。

【0072】

以上、図 1 A 及び図 1 B を参照しながら、本実施形態に係る照明装置 1 の構成について、詳細に説明した。

10

20

30

40

50

【0073】

〔照明装置の具体例〕

次に、図2～図9Bを参照しながら、本実施形態に係る照明装置の構成を具体的に説明する。

【0074】

図2は、レーザ光源100として、赤色光、緑色光、青色光をそれぞれ射出するレーザ光源を用い、拡散部材140として、ホログラフィック拡散板141を用いた場合の照明装置1の構成を模式的に示したものである。図3は、赤色光、緑色光、青色光をそれぞれ射出するレーザ光源を用い、拡散部材140として、マイクロレンズアレイ143を用いた場合の照明装置1の構成を模式的に示したものである。

10

【0075】

図2及び図3に示したように、RGB各色のレーザ光源から射出されたレーザ光は、ミラーMやダイクロイックミラーDMによって合波されて、コレクタレンズLへと導光される。図2及び図3に示したように、複数のレーザを光源として用いる場合、例えば図4に模式的に示したように、コレクタレンズLの瞳位置において、各色のビーム径が異なっていることが生じうる。

【0076】

先だって説明したように、RGBの各色がコレクタレンズLによって光ファイバ120に結合される際には、各色の光ファイバへの入射開口数が揃っていることが好ましい。この理由としては、次のことがあげられる。一般的に、入射開口数が最も大きいレーザ光に合わせてレンズのパワー配置は決定されるため、入射開口数が小さいレーザ光は、拡散板位置でのビーム径が小さくなってしまう。すなわち、ライトガイド入射端における輝度分布が、不均一になってしまう。各色の入射開口数を揃えるためには、例えば、コレクタレンズLの瞳位置において、各色の見かけ上のビーム径を合わせる方法がある。この方法は、例えば図5に模式的に示したように、最大の入射開口数となる位置（すなわち、ビーム径最大のレーザ光の端部）に、最ビーム径最少のレーザ光の端部が位置するようにすればよい。このようにすることで、ビーム径最大のレーザ光と、ビーム径最少のレーザ光とは、ある一点で互いに接することとなる。なお、図5において、2つのレーザ光は、 ξ 軸正方向側の端部で互いに接しているが、かかる位置は図5に示した場合に限定されるものではなく、 ξ 軸負方向側の端部で互いに接していてもよい。

20

30

【0077】

また、出力の確保や時間的コヒーレンスの低減などの理由により、同一又は近い波長の複数レーザを合波している場合には、図6に模式的に示したように、少なくとも瞳の中心と、最大の入射開口数の位置とにビーム径最少のビームを配置すればよい。

【0078】

図5や図6に模式的に示したように入射開口数を一致させることで、拡散部材140の位置に形成される2次光源の光量分布が均一化され、色によるスペックル発生量の差を低減することができる。換言すれば、拡散部材140に形成される各色の2次光源の最大ビーム径がほぼ等価になり、色によるスペックル発生量の差を低減することができる。

【0079】

40

図5に示したような状況を実現するためには、結合光学系110の一つとして設けられたダイクロイックミラーDMを開口数調整部として利用し、レーザ光のコレクタレンズLへの入射位置を調整すればよい。

【0080】

具体的には、図7に示したように、ビーム径のより大きなレーザ光を射出するレーザ光源Aと、ビーム径のより小さなレーザ光を射出するレーザ光源Bがある場合に、結合光学系110の中心光軸に対するダイクロイックミラーDMの配置位置光軸方向にシフトさせて、ビーム位置を図5に示したようにオフセットすればよい。これにより、図5に示したように、互いのビーム位置を合わせることができる。

【0081】

50

実際に、かかる構成でダイクロイックミラーをシフトさせた結果を、図 8 に示す。図 8 の横軸は、結合光学系 110 の中心光軸に対するダイクロイックミラー DM のシフト量を示しており、図 8 の縦軸は、スペックル量に対応するスペックルコントラストレシオ (SCR) を示している。図 8 から明らかなように、シフトによりライトガイド入射端における輝度分布が一様に近づき、スペックルコントラストが低減されていることが分かる。

【0082】

また、図 6 に示したような状況を実現するためには、例えば図 9 A や図 9 B に示したように、開口数調整部として、ミラー M や、 $\lambda/2$ 波長板や、偏光ビームスプリッタ PBS を更に利用して、ダイクロイックミラー DM へのレーザ光の入射位置を調整すればよい。

【0083】

なお、ビーム径の大きいレーザ光を射出するレーザ光源については、かかる開口数調整部を設けることなく、上記式 106 を満たすようにコンデンサ光学系 150 の近軸横倍率を設定し、ビーム径の小さなレーザ光を射出するレーザ光源については、かかる開口数調整部を利用して、上記式 106 を満たすように開口数の調整を行うといった態様も実現可能である。

【0084】

以上、図 2 ～図 9 B を参照しながら、本実施形態に係る照明装置の構成を具体的に説明した。

【0085】

<内視鏡の構成について>

続いて、図 10 を参照しながら、本実施形態に係る照明装置 1 が照明光源として用いられる内視鏡 10 の構成について、簡単に説明する。図 10 は、本実施形態に係る照明装置を備えた内視鏡の構成を模式的に示した説明図である。

【0086】

以上説明したような照明装置 1 を光源として用い、コンデンサ光学系による光源の像を、任意の内視鏡ユニット 900 が備えるライトガイド 901 に結像させることで、スペックルノイズの低減された照明光を得ることが可能となる。ライトガイド 901 に導光された照明光は、ライトガイド 901 によって内視鏡本体 903 へと導光されて、内視鏡の先端部へと導かれる。

【0087】

ここで、照明装置 1 が装着される内視鏡ユニット 900 については特に限定されるものではなく、一般的なライトガイド 901 を備えた内視鏡ユニット 900 であれば、任意のものが利用可能である。逆に、特定のライトガイド 901 を有する内視鏡ユニット 900 を利用したい場合には、ライトガイド 901 の許容入射開口数 NA_L に応じて、本実施形態に係る照明装置 1 の 2 次光源の像の大きさ Y' や、コンデンサ光学系 150 の近軸横倍率 β を設定すればよい。

【0088】

以上、図 10 を参照しながら、本実施形態に係る照明装置 1 を備えた内視鏡 10 について、簡単に説明した。

【0089】

<コンデンサ光学系の具体例>

次に、図 11 ～図 12 C を参照しながら、本実施形態に係る照明装置 1 におけるコンデンサ光学系 150 について、具体例を挙げながら説明する。図 11 は、本実施形態に係るコンデンサ光学系のレンズデータを示した説明図であり、図 12 A ～図 12 C は、本実施形態に係るコンデンサ光学系のレンズ構成例を示した説明図である。

【0090】

本実施形態に係るコンデンサ光学系 150 の具体例のレンズデータを図 11 に示し、レンズ構成図を図 12 A ～図 12 C に示した。図 11 に示した表において、 f は、焦点距離であり、 $S1toH$ は、コンデンサレンズ系の第 1 面から前側主点位置までの距離であり、 β は、近軸横倍率であり、 OBJ は、第 1 面から物体面までの距離であり、 X は、焦点

10

20

30

40

50

位置 F から物体面までの距離である。また、図 1 1 の上段に示した表において、カラム A ～カラム C のレンズデータは、それぞれ図 1 2 A ～図 1 2 C に示したレンズ構成図に対応している。

【0091】

なお、図 1 1 ～図 1 2 C に示したコンデンサ光学系 1 5 0 は、ライトガイドの入射面の直径 $\phi_{LG} = 2.0$ 、許容開口数 $NA_L = 0.57$ のライトガイド 9 0 1 を用いる場合を想定しており、照明装置 1 の他の設定値は、以下の通りである。

【0092】

マルチモードファイバ出射開口数 $NA_M = 0.22$

コリメート光学系焦点距離 $f_{co1} = 7.6$

2 次光源の大きさ $Y = 3.34$

拡散板角度 = 23 度

10

【0093】

図 1 2 A ～図 1 2 C に示したように、本実施形態に係るコンデンサ光学系 1 5 0 の各具体例は、2 次光源側の入射面（図 1 2 A ～図 1 2 C において、図中右側に位置する面）、及び、2 次光源の像側の出射面（図 1 2 A ～図 1 2 C において、図中左側に位置する面）が、それぞれ平面であるレンズ系からなる。また、図 1 1 の下段に示した表及び図 1 2 A ～図 1 2 C から明らかなように、かかるコンデンサ光学系 1 5 0 は、拡散部材 1 4 0 の側から順に、平面を拡散部材側に向けた正の平凸レンズと、1 枚以上の正レンズと、平面をコンデンサ光学系 1 5 0 の後段側に向けた正の平凸レンズと、を有するレンズ系から構成されている。また、2 次光源の像側に最も位置する平凸レンズの拡散部材 1 4 0 の側の面（図 1 1 の下段に示したレンズデータのうち、面番号 $S = 7$ に対応。）は、非球面となっている。

20

【0094】

なお、光軸を中心とする回転対称非球面は、以下の式 1 0 7 で表わされる。ここで、以下の式 1 0 7 において、 C は、曲率（ $1/r$ ）であり、 h は、光軸からの高さであり、 K は、円錐係数である。また、面番号 $S = 7$ の非球面データは、図 1 1 下段に示した通りである。

【0095】

【数 4】

30

$$x = \frac{Ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)C^2h^2}} + (A4)h^4 + (A6)h^6 + (A8)h^8 + \dots \quad \dots (式 1 0 7)$$

【0096】

本実施形態に係るコンデンサ光学系 1 5 0 では、図 1 1 ～図 1 2 C に示したようなレンズを用いることで、低コスト化を図ることが可能となる。

【0097】

特に、図 1 2 B に示したレンズ構成の場合、 $\beta = 0.6$ 、 $Y = 3.34$ であるため、 $Y' = 2$ となり、式 1 0 6 を満足する。また、 $NA = 0.57$ となり、式 1 0 5 も成立し、高効率でライトガイドに照明光を結合させることが可能である。また、ラグランジェの不変量が小さいレーザを光源とした照明光学系であっても、本光学系によりライトガイドに結合する際に求められる大きな光源のサイズと大きな発散角の両立を実現することが可能となる。

40

【0098】

以上、図 1 ～図 1 2 C を参照しながら、本発明の第 1 の実施形態に係る照明装置、照明方法及び内視鏡について、詳細に説明した。

【0099】

（第 2 の実施形態）

以下では、光源から射出されたレーザ光のスペックルノイズを低減することが可能な照

50

明装置及び照明方法と、この照明装置を有する内視鏡について、詳細に説明する。

【0100】

＜照明装置の構成について＞

まず、図13A～図19を参照しながら、本開示の第2の実施形態に係る照明装置の構成について説明する。図13A～図17及び図19は、本開示の第2の実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。図18A及び図18Bは、コレクタレンズの瞳位置とレーザ光との位置関係を説明するための説明図である。

【0101】

本実施形態に係る照明装置2は、図13Aに模式的に示したように、レーザ光源200と、光ファイバ220と、拡散部材240と、を少なくとも有する。また、本実施形態に係る照明装置2は、図13Bに模式的に示したように、レーザ光源200と光ファイバ220との間に結合光学系210を更に有するとともに、光ファイバ220と拡散部材240との間にコリメート光学系230を更に有することが好ましい。

【0102】

レーザ光源200は、照明装置2において少なくとも1つ設けられ、所定波長のレーザ光を射出する。本実施形態に係る照明装置2において、かかるレーザ光源200としては、各種の半導体レーザや固体レーザを使用することが可能であり、これらのレーザと波長変換機構とを組み合わせたものを使用することも可能である。レーザ光源200から射出されるレーザ光の波長は、照明対象においてどのような対象物や現象を観察するかに応じて適宜選択されればよい。かかる波長の例としては、波長400～700nm程度の可視光帯域や、ICG（Indocyanine green）蛍光造影法に用いられる近赤外帯域を挙げることができる。なお、かかるレーザ光を蛍光励起用の励起光とする場合、観察される蛍光は、励起光照射部位の自家蛍光や、照射部位に導入された各種蛍光試薬に起因する薬剤蛍光などを含んでもよい。

【0103】

結合光学系210は、レーザ光源200から射出された上記レーザ光を、後段に設けられた光ファイバ220に光結合させるための光学系である。かかる結合光学系210の構成は特に限定されるものではなく、公知の様々な光学素子を適宜組み合わせ、レーザ光を光ファイバ220に対して光結合させるようにすればよく、レーザ光を光ファイバ220に光結合させるための集光レンズ（コレクタレンズ）を少なくとも1つ有している。

【0104】

また、結合光学系210は、レーザ光源200と上記コレクタレンズとの間に、レーザ光源200から射出されたレーザ光を略平行化する（換言すれば、略平行光束とする）コリメートレンズを更に有することが好ましい。ここで、略平行とは、コリメートレンズから放射される光の放射角が最小化された状態であることをいい、コリメートレンズの焦点距離の位置と、レーザ光源200から射出されたレーザ光のビームウェスト位置とを一致させたときに達成される。

【0105】

更に、赤色半導体レーザ、緑色発光の半導体励起固体レーザ及び青色反動レーザなど、複数のレーザ光源200を組み合わせ、白色の照明光を実現する場合、結合光学系210には、上記コレクタレンズに加えて、少なくとも1つのダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムが更に設けられる。複数のレーザ光源200から射出された複数のレーザ光は、ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムにより合波されて、白色光が生成される。合波された光は、上記コレクタレンズによって集光されて、光ファイバ220に結合される。

【0106】

ここで、本実施形態に係る照明装置2では、レーザ光は、光ファイバ220の入射端面に、当該入射端面の法線に対して斜め方向から入射する。より詳細には、レーザ光（又は、合波された光）の集光角又は放射角が、光ファイバ220の開口数（すなわち、入射許容角）よりも小さい場合に、レーザ光は、光ファイバ220の開口数（入射許容角）の範

10

20

30

40

50

囲内でレーザ光に角度をつけて、入射端面の法線に対して斜め方向から入射する。更により好ましくは、本実施形態に係る照明装置 2 は、レーザ光の入射端面での角度成分に入射端面の法線方向を含む。これにより、レーザ光源 200 から射出されたレーザ光のスペckルノイズを低減することが可能となる。なお、レーザ光の光ファイバ 220 への入射のさせ方については、以下で改めて詳細に説明する。

【0107】

光ファイバ 220 は、結合光学系 210 によって導光されたレーザ光を、後段に設けられた図 13A における拡散部材 240、又は、図 13B におけるコリメート光学系 230 へと導光する。この光ファイバ 220 は、特に限定されるものではなく、公知のマルチモード光ファイバ（例えば、ステップインデックス型マルチモードファイバ）を利用することが可能である。また、光ファイバ 220 のコア径についても特に限定されるものではなく、例えばコア径が 1 mm 程度のものを利用可能である。

10

【0108】

本実施形態に係る光ファイバ 220 では、光ファイバの許容開口数の範囲で、なるべく大きな入射角度になるように、入射端面の法線に対して斜め方向からレーザ光が導光されるため、光ファイバ 220 の射出端から射出されるレーザ光の放射角は、入射端面でのレーザ光の集光角より大きなものとなる。

【0109】

光ファイバ 220 の射出端から射出されるレーザ光の遠視野像（強度分布）は、光ファイバ 220 に入射するレーザ光の入射角度成分に入射端面の法線方向が含まれない場合は、光ファイバの中心光軸近傍の光量が周辺部の光量と比べて低くなるようなドーナツ状になる。一方、光ファイバ 220 に入射するレーザ光の入射角度成分に入射端面の法線方向が含まれる場合には光ファイバの中心光軸近傍が周辺部と同等の光量を有するような中実の形状なる。従って、本実施形態に係る照明装置 2 は、より好ましくは、光ファイバ 220 に入射するレーザ光の入射角度成分に入射端面の法線方向が含まれ、光ファイバ 220 の射出端から射出されるレーザ光の遠視野像（強度分布）が中実の形状となるように構成される。

20

【0110】

コリメート光学系 230 は、光ファイバ 220 の出射端の下流側に設けられ、光ファイバ 220 から射出されたレーザ光を略平行化する。コリメート光学系 230 により光ファイバ 220 から射出されたレーザ光を略平行化することで、後段に設けられた拡散部材 240 において、拡散部材 240 の拡散角度によりレーザ光の拡散状態を容易に制御することが可能となる。なお、コリメート光学系 230 の構成については、特に限定されるものではなく、公知の光学素子を適宜組み合わせ、レーザ光を平行光束へと変換するための公知の光学系を構成すればよい。

30

【0111】

拡散部材 240 は、光ファイバ 220 の後段（コリメート光学系 230 が設けられている場合には、コリメート光学系 230 の後段）に設けられ、光ファイバ 220 又はコリメート光学系 230 から射出されたレーザ光を拡散させることで、2 次光源を生成する。すなわち、拡散部材 240 における光の射出端が、2 次光源として機能することとなる。

40

【0112】

ここで、拡散部材 240 から射出される光の発散角は、上記第 1 の実施形態において説明したように、拡散部材 240 の持つ拡散角度によって制御される。

【0113】

本実施形態において、拡散部材 240 の拡散角度は特に限定されるものではなく、照明装置 2 が実現すべきサイズや、照明装置 2 に適用可能な拡散部材が有する特性値などに応じて適宜決定すればよい。

【0114】

なお、具体的な拡散部材 240 の種類については、特に限定されるものではなく、公知の拡散素子を利用することが可能である。このような拡散部材の例として、例えば、フロ

50

スト型のすりガラスやガラス内に光拡散物質を分散させることで拡散特性を利用したオパール型の拡散板やホログラフィック拡散板やマイクロレンズアレイなどの拡散板や、複数の光ファイバが束ねられたバンドルファイバを挙げることができる。ホログラフィック拡散板は、所定の基板上にホログラフィックパターンが施されたものであり、出射光の拡散角度を任意の角度に設定することができる。また、マイクロレンズアレイは、出射光の拡散角度を任意の角度に設定することができる。なお、バンドルファイバによる拡散効果は限定的であり、入射端面の法線対し角度 θ で入射した光に対し、出射ビームは出射端面の法線に対し角度 θ の角度を持つコーン状の形状に散乱される。

【0115】

以上、図13A及び図13Bを参照しながら、本実施形態に係る照明装置2の構成について、詳細に説明した。

【0116】

[照明装置の具体例]

次に、図14A～図19を参照しながら、本実施形態に係る照明装置の構成を具体的に説明する。

【0117】

○レーザ光源が1つである場合

まず、図14A～図15を参照しながら、レーザ光源200として、1つのレーザ光源を用いる場合を例に挙げて、説明を行う。

【0118】

1つのレーザ光源200から射出されたレーザ光は、結合光学系210として設けられたコリメートレンズCLへと導光されて略平行化され、平行光束となる。平行光束となったレーザ光は、コレクタレンズLへと導光される。コレクタレンズLは、入射した平行光束を、マルチモード・シングルコアの光ファイバ220に光結合する。ここで、光ファイバ220の入射端面におけるレーザ光源200、コリメートレンズCL及びコレクタレンズLの中心光軸は、光ファイバ220の光軸（換言すれば、光ファイバ220の入射端面の法線）に対して斜め方向から入射している。2つの光軸のなす角の大きさは、 θ である。レーザ光を光ファイバ220の入射端面に斜め方向から入射させることで、レーザ光源200に起因するスペックルノイズを低減させることが可能となる。

【0119】

いま、図14Bに示したように、光ファイバ220の入射端面におけるレーザ光の集光角を θ_{beam} とし、図14Cに示したように、光ファイバ220の入射許容角を θ_{fiber} とした場合、本実施形態に係る照明装置2では、以下の式201、式201-2で表わされる関係が満たされることが、スペックル低減に好ましい。ただし、ここでは、 $\theta_{beam} < \theta_{fiber}$ であるとする。

【0120】

$$\begin{aligned} (\theta + \theta_{beam}) &\leq \theta_{fiber} \quad \cdots \text{(式201)} \\ \theta &\leq \theta_{beam} \quad \cdots \text{(式201-2)} \end{aligned}$$

【0121】

上記式201で表わされる関係が満たされることで、光ファイバ220をレーザ光が損失無く伝搬し、かつ、より大きな θ を選択することで、光ファイバ220から射出されるレーザ光はより放射角が大きくなる。

【0122】

また、上記式201-2で表わされる関係が満たされることで、光ファイバ220に入射するレーザ光の角度成分に入射端面の法線方向が含まれて、光ファイバ220の射出端から射出されるレーザ光の遠視野像（強度分布）は、ドーナツ状ではなく中実の形状になる。

【0123】

なお、上記式201において、より好ましくは、 $(\theta + \theta_{beam}) = \theta_{fiber}$ である。この場合は、 θ が最大の値となり、光ファイバ220の入射許容角に相当する、最

10

20

30

40

50

大の放射角が得られる。また、 $(\theta + \theta_{beam}) = \theta_{fiber}$ で表わされる関係が、式 201-2 と同時に実現することにより、光ファイバ 220 から射出されたレーザ光は最大の放射角と中実形状の遠視野像（強度分布）となる。

【0124】

光ファイバ 220 によって導光されたレーザ光は、光ファイバ 220 の出射端から射出されて、拡散部材 240 へと導かれる。拡散部材 240 は、光ファイバ 220 からのビームを投影して、拡散部材 240 上の拡散面（拡散部材 240 の出射端面）に二次光源を形成する。二次光源の拡散面における強度分布（又はビームサイズ）は、光ファイバ 220 からの光が拡散面上に形成した強度分布（又はビームサイズ）に等しい。二次光源からの光は、観察野へと放射されて、照明対象を照明することとなる。なお、かかる照明装置 2 を内視鏡用光源として用いる場合、高視野角を得るために二次光源の放射角を大きくすることが多く、拡散角の大きい拡散部材が選択される。

10

【0125】

照明対象に観察されるスペックルは、二次光源のビームサイズが大きく、中実形状（一様な強度分布）であるほど低減する。従って、上記式 201 を満たし、かつ、より大きな θ を選択することで、スペックルノイズをより低減させることが可能となる。更に、上記式 201-2 で表わされる関係が満たされることで、よりスペックルノイズ低減させることが可能となる。

【0126】

また、本実施形態に係る照明装置 2 では、図 14A～図 14C のように、レーザ光源 200、コリメートレンズ CL 及びコレクタレンズ L の中心光軸と光ファイバ 220 の光軸とが互いに交差する場合について図示しているが、図 15 に示したように、レーザ光の平行光束の中心軸は、コレクタレンズ L に、コレクタレンズ L 及び光ファイバ 220 からなる光軸に対して平行に、かつ、ずれた位置に入射してもよい。

20

【0127】

この場合、図 15 に示したように、平行光束のビーム幅を W_A とし、コレクタレンズ L の焦点距離を f とし、光ファイバ 220 の入射許容角を θ_{fiber} とし、コレクタレンズ L 及び光ファイバ 220 からなる光軸の中心からのシフト量を D_A とした場合に、以下の式 202、式 202-2 で表わされる関係が成立することが、スペックル低減に好ましい。ただし、ここでは、 $(W_A / 2) < (f \times \sin(\theta_{fiber}))$ であるとする。

30

【0128】

$$(W_A / 2) + D_A \leq (f \times \sin(\theta_{fiber})) \quad \cdots \text{(式 202)}$$

$$D_A \leq (W_A / 2) \quad \cdots \text{(式 202-2)}$$

【0129】

上記式 202 で表わされる関係が満たされることにより、光ファイバ 220 をレーザ光が損失無く伝搬し、かつ、より大きな D_A を選択することで、光ファイバ 220 から射出されるレーザ光はより放射角が大きくなる。

【0130】

また、上記式 202-2 で表わされる関係が満たされることで、光ファイバ 220 に入射するレーザ光の角度成分に入射端面の法線方向が含まれて、光ファイバ 220 の射出端から射出されるレーザ光の遠視野像（強度分布）は、ドーナツ状ではなく中実の形状になる。

40

【0131】

なお、上記式 202 において、より好ましくは、 $(W_A / 2) + D_A = (f \times \sin(\theta_{fiber}))$ である。この場合は、光ファイバ 220 の入射許容角に相当する、最大の放射角が得られる。また、 $(W_A / 2) + D_A = (f \times \sin(\theta_{fiber}))$ で表わされる関係が式 202-2 と同時に実現することにより、光ファイバ 220 から射出されたレーザ光は、最大の放射角と中実形状の遠視野像（強度分布）となる。

【0132】

光ファイバ 220 によって導光されたレーザ光は、光ファイバ 220 の出射端から射出

50

されて、拡散部材 240 へと導かれる。拡散部材 240 は、光ファイバ 220 からのビームを投影して、拡散部材 240 上の拡散面（拡散部材 240 の出射端面）に二次光源を形成する。二次光源の拡散面における強度分布（又はビームサイズ）は、光ファイバ 220 からの光が拡散面上に形成した強度分布（又はビームサイズ）に等しい。二次光源からの光は、観察野へと放射されて、照明対象を照明することとなる。なお、かかる照明装置 2 を内視鏡用光源として用いる場合、高視野角を得るために二次光源の放射角を大きくすることが多く、拡散角の大きい拡散部材が選択される。

【0133】

照明対象に観察されるスペックルは、二次光源のビームサイズが大きく、中実形状（一様な強度分布）であるほど低減する。従って、上記式 202 を満たし、かつ、より大きな D_A を選択することで、スペックルノイズをより低減させることが可能となる。更に、上記式 202-2 で表わされる関係が満たされることで、よりスペックルノイズ低減させることが可能となる。

【0134】

図 16 に示したように、光ファイバ 220 と、拡散部材 240 と、の間にコリメートレンズ（すなわち、コリメート光学系）230 を配設してもよい。なお、図 16 では、レーザ光の平行光束の中心軸が、コレクタレンズ L に対し、コレクタレンズ L 及び光ファイバ 220 からなる光軸に対して平行に、かつ、ずれた位置に入射する場合について図示しているが、レーザ光が光ファイバ 220 の入射端面に斜め方向から入射する場合についても、同様にコリメート光学系 230 を配設してもよいことは、言うまでもない。

【0135】

○レーザ光源が複数存在する場合

続いて、図 17～図 19 を参照しながら、レーザ光源 200 として、複数のレーザ光源を用いる場合を例に挙げて、説明を行う。

【0136】

以下では、赤色レーザ光を射出する赤色レーザ光源（Red）と、緑色レーザ光源（Green）と、青色レーザ光源（Blue）と、を用いて、白色光を実現する場合を説明する。

【0137】

赤色レーザ光源から射出された赤色レーザ光は、図 17 に示したように、コリメートレンズ CL で平行光束へと変換された後ミラー M で反射され、2 つのダイクロイックミラー DM を透過しながら、コレクタレンズ L へと導光される。

【0138】

緑色レーザ光源から射出された緑色レーザ光は、コリメートレンズ CL で平行光束へと変換された後ダイクロイックミラー DM で反射され、青色レーザ光用のダイクロイックミラー DM を透過しながら、コレクタレンズ L へと導光される。

【0139】

青色レーザ光源から射出された青色レーザ光は、コリメートレンズ CL で平行光束へと変換された後ダイクロイックミラー DM で反射され、コレクタレンズ L へと導光される。

【0140】

いま、図 17 に示したように、赤色レーザ光の光軸を C1 とし、緑色レーザ光の光軸を C2 とし、青色レーザ光の光軸を C3 とする。赤色レーザ光の光軸 C1 は、ミラー M、ダイクロイックミラー DM、コレクタレンズ L 及び光ファイバ 220 の光軸 C0 と同軸となるように配設されている。

【0141】

図 18A は、図 17 の A-A 断面におけるビーム配置例を示したものである。なお、図 18A では、レーザ光源 200（一次光源）のビーム断面形状は、真円形状であるものとしている。ここで、ビーム幅最大のビームは、ビーム中心軸 C1 を中心光軸 C0 に一致するように配設されており、図 18A では、ビーム幅最大のビームが赤色ビームであり、そのビーム幅が W1 であるとしている。すなわち、図 18A において、各レーザ光のビーム

10

20

30

40

50

幅は、 $W1 > W2$ 、 $W1 > W3$ である。

【0142】

図18Aにおいて、赤色ビームのビーム幅は、後段のコレクタレンズL、光ファイバ220を透過する範囲で選択されている。すなわち、コレクタレンズL、光ファイバ220で定められる透過許容ビーム幅を $W0$ とすると、 $W0 > W1$ の関係にある。

【0143】

また、図18Aでは、許容ビーム幅を $W0$ で示しており、ビーム幅 $W0$ で形づけられる半径 $R0$ の許容外周円の内部を進行するビーム（レーザ光）が、光ファイバ220を透過可能である。なお、許容外周円の形状は、コレクタレンズLと光ファイバ220とで決定される形状であり、通常の光軸中心 $C0$ に対し回転対称であるレンズをコレクタレンズLとして使用する場合、 $W0$ は半径 $R0 = W0 / 2$ の真円形状となる。

10

【0144】

ここで、図17及び図18Aに示したように、最大のビーム幅より狭い緑色及び青色の一次光源ビームのそれぞれのビーム中心位置（すなわち $C2$ 、 $C3$ ）は、 $C0$ と一致させず、緑色及び青色の一次光源ビームは、中心光軸 $C0$ に対して平行移動して配置される。

【0145】

緑色及び青色の一次光源ビームの平行移動の範囲は、赤色の一次光源ビームが形作る最大半径（図18Aにおける $R1 = W1 / 2$ ）で示される円（ビームの最大外周円）の内部に、緑色及び青色の一次光源ビームが位置するように設定される。すなわち、中心光軸 $C0$ からの緑色の一次光源ビームの平行移動の距離を $D2$ とすると、 $D2$ の範囲は、 $0 < D2 \leq (R1 - W2 / 2)$ となる。また、青色の一次光源ビームの平行移動の距離を $D3$ とすると、同様に、 $D3$ の範囲は、 $0 < D3 \leq (R1 - W3 / 2)$ となる。

20

【0146】

ここで、本実施形態に係る照明装置2では、図18Aに示したような光軸に対して直交する断面において、最大のビーム幅が形作る $C0$ を中心とする最大半径の円（ビームの最大外周円）に、残りのビームが（図18Aにおける点Pや点Qで）内接していることが好ましい。

【0147】

また、図17Aに示した例では、緑色、青色の一次光源ビームが、 $R1$ で示されるビームの最大外周円に内接するように配設されることが、好ましい。すなわち、緑色の一次光源ビームの平行移動の距離 $D2$ は、 $D2 = (R1 - W2 / 2)$ であり、青色の一次光源ビームの平行移動の距離 $D3$ は、 $D3 = (R1 - W3 / 2)$ である。

30

【0148】

なお、図18Aにおいて、好ましくは、ビーム幅の狭い緑色、青色の一次光源ビームは $C0$ を中心とする半径0から $R1$ の範囲でビームが存在するように、緑色、青色の一次光源ビームを配置するとよい。すなわち、 $W2 \geq (W1 / 2)$ 、 $W3 \geq (W1 / 2)$ で、赤色、緑色、青色の各一次光源ビームは、光軸中心 $C0$ を内包する。

【0149】

これは、光ファイバ220の出力端から放射される光の遠視像において（すなわち、図17の光学系における拡散部材240での光強度分布において）、中心位置での輝度の低下を防ぎ、中実の形状にするためである。

40

【0150】

光ファイバ220によって導光されたレーザ光は、光ファイバ220の出射端から射出されて、拡散部材240へと導かれる。拡散部材240は、光ファイバ220からのビームを投影して、拡散部材240上の拡散面（拡散部材240の出射端面）に二次光源を形成する。二次光源の拡散面における強度分布（又はビームサイズ）は、光ファイバ220からの光が拡散面上に形成した強度分布（又はビームサイズ）に等しい。

【0151】

以上の操作により、赤色、緑色、青色の一次光源ビームは、二次光源において、拡散面における強度分布（又はビームサイズ）がほぼ等しいので、各色（波長）で照明対象に観

50

察されるスペックルノイズの大きさを等しい程度にすることが可能になる。

【0152】

図18Bは、図17のA-A断面における別のビーム配置例を示したものである。図18Bに示した例では、それぞれの一次光源ビームの断面形状は、楕円形状となっている。

【0153】

図18Bに示した例においても、最大のビーム幅より狭い緑色、青色の一次光源ビームのそれぞれのビーム中心位置（すなわち、C2、C3）は、C0と一致させず、緑色及び青色の一次光源ビームは、中心光軸C0に対して平行移動して配置される。

【0154】

かかる場合においても、緑色、青色の一次光源ビームの平行移動の範囲は、赤色の一次光源ビームが形作る最大半径（ $R1 = W1 / 2$ ）で示されるC0中心とするビームの最大外周円の内部に、緑色、青色の一次光源ビームが位置するように配設される。それぞれの一次光源ビームは、好ましくは、図17Bに示したように、緑色、青色の一次光源ビームがC0中心とするビームの最大外周円に内接するように配置される。

【0155】

更に、好ましくは、ビーム幅の狭い緑色、青色の一次光源ビームは、C0中心とする半径0からR1の範囲でビームが存在するように、緑色、青色の一次光源ビームを配置するとよい。すなわち、赤色、緑色、青色の各一次光源ビームは光軸中心C0を内包する。これは、光ファイバ220の出力端から放射される光の遠視像において（すなわち、図17の光学系における拡散部材240での光強度分布において）、中心位置での輝度の低下を防ぎ、中実の形状にするためである。

【0156】

以上の操作により、赤色、緑色、青色の一次光源ビームは、二次光源において、拡散面における強度分布（又はビームサイズ）がほぼ等しいので、各色（波長）で照明対象に観察されるスペックルノイズの大きさを等しい程度にすることが可能になる。

【0157】

なお、上記図17～図18Bに示したようなビームの平行移動は、第1の実施形態において説明したように、ダイクロイックミラーDMの移動により調整可能である。

【0158】

また、図19に示したように、光ファイバ220と、拡散部材240と、の間にコリメートレンズ（すなわち、コリメート光学系）230を配設してもよい。

【0159】

以上、図17～図19を参照しながら、本実施形態に係る照明装置の構成を具体的に説明した。

【0160】

<内視鏡の構成について>

続いて、図20を参照しながら、本実施形態に係る照明装置2が照明光源として用いられる内視鏡10の構成について、簡単に説明する。図20は、本実施形態に係る照明装置を備えた内視鏡の構成を模式的に示した説明図である。

【0161】

以上説明したような照明装置2を光源として用い、射出された2次光源を、任意の内視鏡ユニット900が備えるライトガイド901に結合させることで、スペックルノイズの低減された撮影画像を得ることが可能となる。ライトガイド901に導光された2次光源からの照明光は、ライトガイド901によって内視鏡本体903へと導光されて、内視鏡の先端部へと導かれる。

【0162】

ここで、照明装置1が装着される内視鏡ユニット900については特に限定されるものではなく、一般的なライトガイド901を備えた内視鏡ユニット900であれば、任意のものが利用可能である。

【0163】

10

20

30

40

50

また、内視鏡の先端部まで光源装置 2 の光ファイバ 2 2 0 を延伸し、拡散部材 2 4 0 を設置することで二次光源からの照明光で観察野に照明してもよい。

【0164】

以上、図 2 0 を参照しながら、本実施形態に係る照明装置 2 を備えた内視鏡 1 0 について、簡単に説明した。

【0165】

< 検証例 >

以下では、図 2 1 ~ 図 2 4 を参照しながら、レーザ光源 2 0 0 (一次光源) の軸を光軸から平行移動させることでスペックルノイズを削減する場合について、スペックルノイズの削減度合いを具体的に検証した例を示す。

10

【0166】

図 2 1 に示した例では、レーザ光源 2 0 0 として、緑色発光の半導体励起固体レーザを使用した。このレーザは、コリメートビームが放射されるレーザ光源である。また、図 2 1 では、幅 1 mm のスリットを用いることで、ビーム幅 1 mm の一次光源ビームを形成した。光ファイバ 2 2 0 としては、コア径 1 mm のステップインデックス型のマルチモードファイバを使用し、焦点距離 3 0 mm のコレクタレンズ L を用いて、一次光源ビームを光ファイバ 2 2 0 の入射端面に集光した。

【0167】

光ファイバ 2 2 0 の出射端面から 5 mm の位置に、拡散部材 2 4 0 としてホログラフィック拡散板を配置し、照明野を照明する二次光源を形成した。二次光源位置から 3 0 0 mm の位置にテストチャートを配置し、このテストチャートを CCD カメラで撮像することでスペックルを計測した。

20

【0168】

図 2 1 に示した例では、ダイクロイックミラー DM を光軸方向に移動させることでコレクタレンズ L に入射する光の光軸中心を移動させて、それぞれの移動位置において、スペックル量を測定した。得られた計測結果を、図 2 2 に示した。図 2 2 の横軸は、光ファイバ 2 2 0 の中心光軸 C 0 からのズレ量を示しており、図 2 2 の縦軸は、スペックル量に対応するスペックルコントラストレシオ (SCR) を示している。

【0169】

図 2 2 に示した結果から明らかなように、シフト量が大きくなるにつれて、スペックル量が減少していることがわかる。

30

【0170】

図 2 3 に示した例では、拡散部材 2 4 0 として、バンドルファイバを使用した。また、レーザ光源 2 0 0 として、コリメートビームが放射される緑色発光の半導体励起固体レーザを使用した。また、図 2 3 に示した例では、幅 1 mm のスリットを用いることで、ビーム幅 1 mm の一次光源ビームを形成した。光ファイバ 2 2 0 としては、コア径 1 mm のステップインデックス型のマルチモードファイバを使用し、焦点距離 3 0 mm のコレクタレンズ L を用いて、一次光源ビームを光ファイバ 2 2 0 の入射端面に集光した。

【0171】

また、光ファイバ 2 2 0 の出射端面から 1 0 mm の位置に、拡散部材 2 4 0 としてバンドル径 5 mm のバンドルファイバを配置し、バンドルファイバの出射端面にて照明野を照明する二次光源を形成した。二次光源位置から 3 0 0 mm の位置にテストチャートを配置し、このテストチャートを CCD カメラで撮像し、スペックルを計測した。

40

【0172】

図 2 3 に示した例では、ダイクロイックミラー DM を光軸方向に移動させることでコレクタレンズ L に入射する光の光軸中心を移動させて、それぞれの移動位置において、スペックル量を測定した。得られた計測結果を、図 2 4 に示した。図 2 4 の横軸は、光ファイバ 2 2 0 の中心光軸 C 0 からのズレ量を示しており、図 2 4 の縦軸は、スペックル量に対応するスペックルコントラストレシオ (SCR) を示している。

【0173】

50

図 2 4 に示した結果から明らかなように、シフト量が大きくなるにつれて、スペックル量が減少していることがわかる。

【0174】

(第 3 の実施形態)

以下では、第 1 の実施形態で説明した、照明装置全体のスペックルノイズを低減するための方法と、第 2 の実施形態で説明した、光源から射出されたレーザ光のスペックルノイズを低減するための方法と、を組み合わせた例について、第 3 の実施形態として簡単に説明する。

【0175】

<照明装置の構成について>

まず、図 2 5 を参照しながら、本開示の第 3 の実施形態に係る照明装置の構成について説明する。図 2 5 は、本実施形態に係る照明装置の構成を模式的に示した説明図である。

【0176】

本実施形態に係る照明装置 3 は、図 2 5 に模式的に示したように、レーザ光源 3 0 0 と、結合光学系 3 1 0 と、光ファイバ 3 2 0 と、コリメート光学系 3 3 0 と、拡散部材 3 4 0 と、コンデンサ光学系 3 5 0 と、を有する。

【0177】

レーザ光源 3 0 0 は、照明装置 3 において少なくとも 1 つ設けられ、所定波長のレーザ光を射出する。本実施形態に係る照明装置 3 において、かかるレーザ光源 3 0 0 としては、各種の半導体レーザや固体レーザを使用することが可能であり、これらのレーザと波長変換機構とを組み合わせたものを使用することも可能である。レーザ光源 3 0 0 から射出されるレーザ光の波長は、照明対象においてどのような対象物や現象を観察するかに応じて適宜選択されればよい。かかる波長の例としては、波長 4 0 0 ~ 7 0 0 nm 程度の可視光帯域や、ICG (Indocyanine green) 蛍光造影法に用いられる近赤外帯域を挙げることができる。なお、かかるレーザ光を蛍光励起用の励起光とする場合、観察される蛍光は、励起光照射部位の自家蛍光や、照射部位に導入された各種蛍光試薬に起因する薬剤蛍光などを含んでもよい。

【0178】

結合光学系 3 1 0 は、レーザ光源 3 0 0 から射出された上記レーザ光を、後段に設けられた光ファイバ 3 2 0 に光結合させるための光学系である。かかる結合光学系 3 1 0 の構成は特に限定されるものではなく、公知の様々な光学素子を適宜組み合わせ、レーザ光を光ファイバ 3 2 0 に対して光結合させるようにすればよく、レーザ光を光ファイバ 3 2 0 に光結合させるための集光レンズ (コレクタレンズ) を少なくとも 1 つ有している。

【0179】

また、複数のレーザ光源 3 0 0 を組み合わせて白色の照明光を実現する場合、結合光学系 3 1 0 には、上記コレクタレンズに加えて、少なくとも 1 つのダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムが更に設けられる。複数のレーザ光源 3 0 0 から射出された複数のレーザ光は、ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムにより合波されて、白色光が生成される。合波された光は、上記コレクタレンズによって集光されて、光ファイバ 3 2 0 に結合される。

【0180】

なお、複数のレーザ光源 3 0 0 を組み合わせて用いる場合には、各レーザ光の光ファイバ 3 2 0 への入射開口数は、揃っていることが好ましい。しかしながら、各レーザの FFP が異なることにより、実際は揃えることが難しい。従って、かかる場合には、結合光学系 3 1 0 において、第 1 の実施形態及び第 2 の実施形態に示したような方法で、開口数調整部が設けられる。

【0181】

光ファイバ 3 2 0 は、結合光学系 3 1 0 によって導光されたレーザ光を、後段に設けられたコリメート光学系 3 3 0 へと導光する。光ファイバ 3 2 0 の射出光は、回転対称なビームとなり、輝度分布の一様化に寄与する。この光ファイバ 3 2 0 は、特に限定されるも

10

20

30

40

50

のではなく、公知のマルチモード光ファイバ（例えば、ステップインデックス型マルチモードファイバ）を利用することが可能である。また、光ファイバ 320 のコア径についても特に限定されるものではなく、例えばコア径が 1 mm 程度のものを利用可能である。

【0182】

本実施形態に係る光ファイバ 320 では、光ファイバの入射端において複数光源間の開口数になるべく一致するように、光ファイバ 320 の入射端へと導光される。このとき、レーザ光源から射出されるレーザ光をコリメートするレンズの焦点距離を最適化するなどして、光ファイバ 320 の射出端から射出されるレーザ光が、光ファイバの中心光軸近傍の光量が周辺部の光量と比べて低くなるようなドーナツ状の光線ではなく、光ファイバの中心光軸近傍が周辺部と同等の光量を有するような中実の光線とすることが望ましい。

10

【0183】

コリメート光学系 330 は、光ファイバ 320 の出射端の下流側に設けられ、光ファイバ 320 から射出されたレーザ光を平行光束へと変換する。コリメート光学系 330 によりレーザ光が平行光束へと変換されることで、後段に設けられた拡散部材 340 において、拡散部材 340 の拡散角度によりレーザ光の拡散状態を容易に制御することが可能となる。コリメート光学系 330 の構成については、特に限定されるものではなく、公知の光学素子を適宜組み合わせ、レーザ光を平行光束へと変換するための公知の光学系を構成すればよい。

【0184】

拡散部材 340 は、コリメート光学系 330 の後側焦点位置近傍に設けられ、コリメート光学系 330 から射出された平行光束を拡散させることで、2 次光源を生成する。すなわち、拡散部材 340 における光の射出端が、2 次光源として機能することとなる。

20

【0185】

拡散部材 340 により生成される 2 次光源のサイズは、コリメート光学系 330 の焦点距離によって制御することができる。また、拡散板の拡散角度により出射光の NA を制御することが可能である。両者の効果により、上記式 2 で示したラグランジェの不変量を大きくすることが可能となり、所望の光源サイズと所望の照明範囲とを両立することが可能となる。

【0186】

なお、2 次光源の大きさを調整したい場合には、光ファイバからの出射 NA とコリメート光学系の焦点距離より最適化すればよい。

30

【0187】

拡散部材 340 から射出された光は、コンデンサ光学系 350 へと導光される。コンデンサ光学系 350 は、拡散部材 340 に形成された 2 次光源を、所定の近軸横倍率で、照明対象へと結像させる。かかる照明対象としては、例えば、コンデンサ光学系 350 の下流側に位置する、内視鏡ユニットに設けられたライトガイドの入射端を挙げることができる。ここで、本実施形態に係るコンデンサ光学系 350 は、従来とは異なり、照明対象（例えば、内視鏡ユニットに設けられたライトガイドの入射端）の面積をなるべく満たすように 2 次光源を結像させる。これにより、照明装置 3 全体としてスペックルノイズを低減させることができる。

40

【0188】

コンデンサ光学系 350 の結像倍率（近軸横倍率） β は、コンデンサ光学系の焦点距離 f と、焦点位置 F から物体面までの距離 X により、上記式 102 で表わされる。

【0189】

その上で、本実施形態に係る照明装置 3 では、コンデンサ光学系 350 を透過した 2 次光源が入射するライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} とし、2 次光源の像の大きさを Y' としたときに、上記式 106 で表わされる関係が成立するように、2 次光源の像の大きさが制御されることが好ましい。

【0190】

また、コンデンサ光学系 350 の近軸横倍率 β は、2 次光源の像の大きさ Y' が上記式

50

106の範囲を満足するように適宜決定すればよいが、 $0.4 \leq \beta \leq 2.3$ を満たすことがより好ましい。

【0191】

以上、図25を参照しながら、本実施形態に係る照明装置1の構成について、詳細に説明した。

【0192】

<内視鏡の構成について>

続いて、図26を参照しながら、本実施形態に係る照明装置3が照明光源として用いられる内視鏡10の構成について、簡単に説明する。図26は、本実施形態に係る照明装置を備えた内視鏡の構成を模式的に示した説明図である。

10

【0193】

以上説明したような照明装置3を光源として用い、コンデンサ光学系による光源の像を、任意の内視鏡ユニット900が備えるライトガイド901に結像させることで、スペckルノイズの低減された照明光を得ることが可能となる。ライトガイド901に導光された照明光は、ライトガイド901によって内視鏡本体903へと導光されて、内視鏡の先端部へと導かれる。

【0194】

ここで、照明装置3が装着される内視鏡ユニット900については特に限定されるものではなく、一般的なライトガイド901を備えた内視鏡ユニット900であれば、任意のものが利用可能である。逆に、特定のライトガイド901を有する内視鏡ユニット900

20

【0195】

以上、図26を参照しながら、本実施形態に係る照明装置3を備えた内視鏡10について、簡単に説明した。

【0196】

以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示の技術的範囲はかかる例に限定されない。本開示の技術分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

30

【0197】

例えば、上記第3の実施形態において説明した以外にも、第1の実施形態において説明した各種の技術的思想を、第2の実施形態に対して適用することは可能であり、第2の実施形態において説明した各種の技術的思想を、第1の実施形態に対して適用することも可能である。

【0198】

また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的または例示的なものであって限定的ではない。つまり、本開示に係る技術は、上記の効果とともに、または上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

40

【0199】

なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

(1)

レーザ光を射出する少なくとも1つのレーザ光源と、
前記レーザ光源から射出された前記レーザ光を光ファイバに結合させる結合光学系と、
前記光ファイバから射出された前記レーザ光を平行光束とするコリメート光学系と、
前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に配置され、前記平行光束を拡散させることで2次光源を生成する拡散部材と、

前記2次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像するコンデンサ光

50

学系と、
を備える、照明装置。

(2)

前記コンデンサ光学系により前記ライトガイドの入射端に結像される前記2次光源の像の大きさを Y' とし、前記ライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} としたとき、以下の式1で表わされる関係が成立する、(1)に記載の照明装置。

$$0.8 \leq Y' / \phi_{LG} \leq 1.2 \quad \cdots (式1)$$

(3)

前記コンデンサ光学系の前記近軸横倍率は、0.4～2.3である、(1)又は(2)に記載の照明装置。

(4)

前記コンデンサ光学系により前記ライトガイドの入射端に結像される前記2次光源の像の大きさを Y' とし、前記ライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} としたとき、 $Y' = \phi_{LG}$ の関係が成立する、(2)又は(3)に記載の照明装置。

(5)

複数の前記レーザ光源が設けられ、

前記結合光学系は、それぞれの前記レーザ光源から射出された前記レーザ光間で、前記光ファイバへの入射開口数を揃える開口数調整部を有する、(1)～(4)の何れか1つ

(6)

前記開口数調整部は、

ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムを少なくとも有し、

前記ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムへの前記レーザ光の入射位置、又は、前記結合光学系の中心光軸に対する前記ダイクロイックミラー又はダイクロイックプリズムの配置位置により、前記入射開口数を調整する、(5)に記載の照明装置。

(7)

前記結合光学系を透過した少なくとも1つの前記レーザ光は、前記光ファイバの入射端面に、当該入射端面の法線に対して斜め方向から入射する、(1)～(6)の何れか1つ

(8)

複数の前記レーザ光源が設けられ、

少なくとも一つの前記レーザ光源では、前記コンデンサ光学系により前記ライトガイドの入射端に結像される前記2次光源の大きさを Y' とし、前記ライトガイドの入射端の直径を ϕ_{LG} としたとき、以下の式1で表わされる関係が成立し、

$$0.8 \leq Y' / \phi_{LG} \leq 1.2 \quad \cdots (式1)$$

前記少なくとも一つの前記レーザ光源以外のレーザ光源では、前記結合光学系は、それぞれの前記レーザ光源から射出された前記レーザ光間で、前記光ファイバへの入射開口数を揃える開口数調整部を有する、(1)～(7)の何れか1つに記載の照明装置。

(9)

前記コンデンサ光学系は、前記2次光源が形成される側の面、及び、前記2次光源の像が形成される面がそれぞれ平面であるレンズ系からなる、(1)～(8)の何れか1つに記載の照明装置。

(10)

前記コンデンサ光学系は、前記拡散部材の側から順に、平面を前記拡散部材側に向けた正の平凸レンズと、1枚以上の正レンズと、平面を前記コンデンサ光学系の後段側に向けた正の平凸レンズと、を有するレンズ系からなる、(9)に記載の照明装置。

(11)

前記コンデンサ光学系における前記2次光源が形成される側に最も位置する平凸レンズの前記拡散部材の側の面は、非球面である、(9)に記載の照明装置。

(12)

前記レーザ光源は、半導体レーザ又は固体レーザの少なくとも何れかである、(1)～(11)の何れか1つに記載の照明装置。

(13)

前記拡散部材は、ホログラフィックパターンが施されたホログラフィック拡散板、又は、マイクロレンズアレイである、(1)～(12)の何れか1つに記載の照明装置。

(14)

少なくとも1つのレーザ光源から射出されたレーザ光を、結合光学系を介して光ファイバに結合させることと、

光ファイバから射出された前記レーザ光を、コリメート光学系により平行光束とすることと、

前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に設けられた拡散部材により、前記平行光束を拡散させて2次光源を生成することと、

前記2次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像させることと、を含む、照明方法。

(15)

レーザ光を射出する少なくとも1つのレーザ光源、前記レーザ光源から射出された前記レーザ光を光ファイバに結合させる結合光学系、前記光ファイバから射出された前記レーザ光を平行光束とするコリメート光学系、前記コリメート光学系の後側焦点位置近傍に配置され、前記平行光束を拡散させることで2次光源を生成する拡散部材、及び、前記2次光源の像を所定の近軸横倍率でライトガイドの入射端に結像するコンデンサ光学系を有する照明装置と、

前記照明装置から射出されたレーザ光が入射するライトガイドと、を備える、内視鏡。

【符号の説明】

【0200】

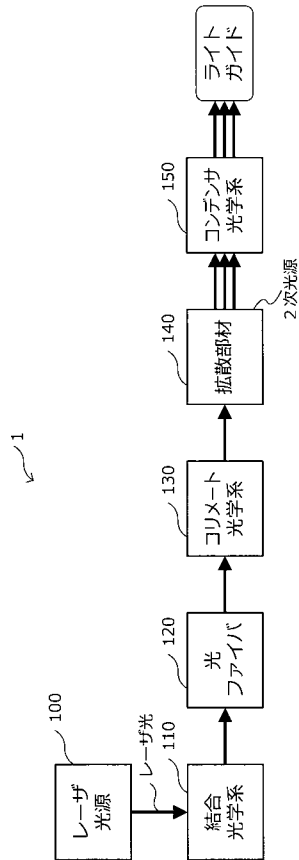
1, 2, 3	照明装置
100, 200, 300	レーザ光源
110, 210, 310	結合光学系
120, 220, 320	光ファイバ
130, 230, 330	コリメート光学系
140, 240, 340	拡散部材
150, 250, 350	コンデンサ光学系

10

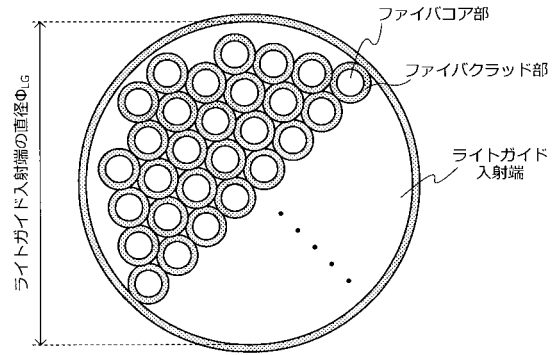
20

30

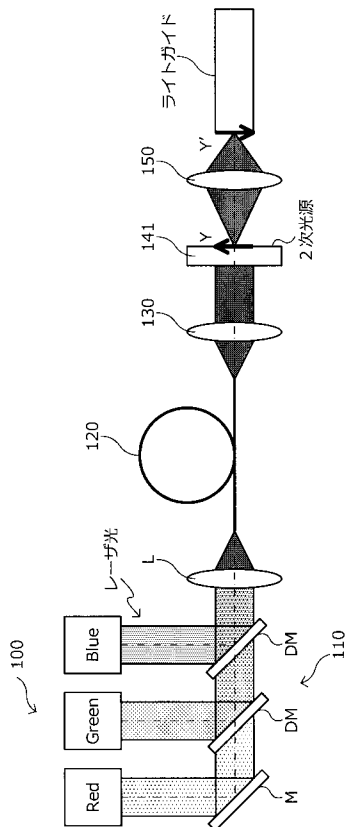
【図 1 A】



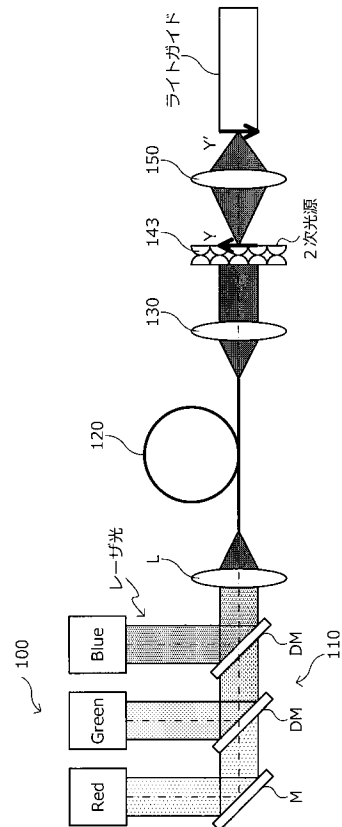
【図 1 B】



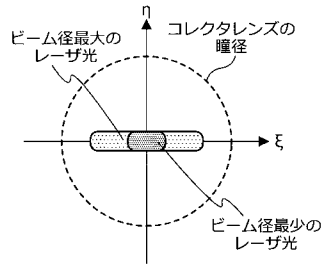
【図 2】



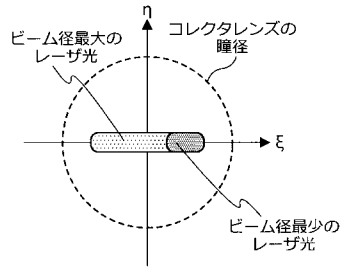
【図 3】



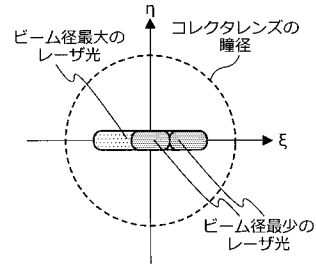
【図 4】



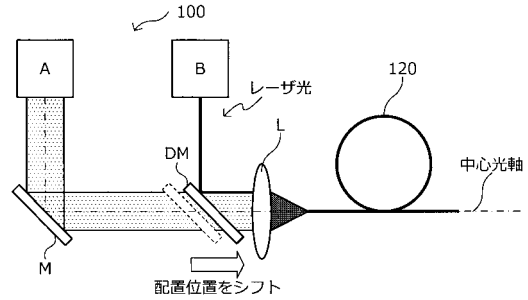
【図 5】



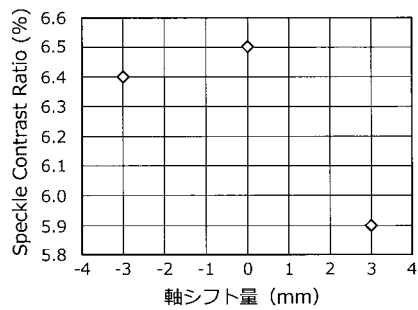
【図 6】



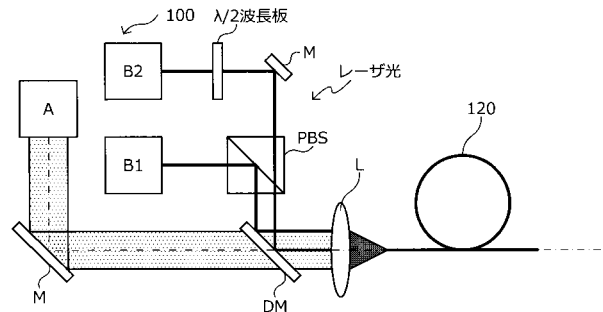
【図 7】



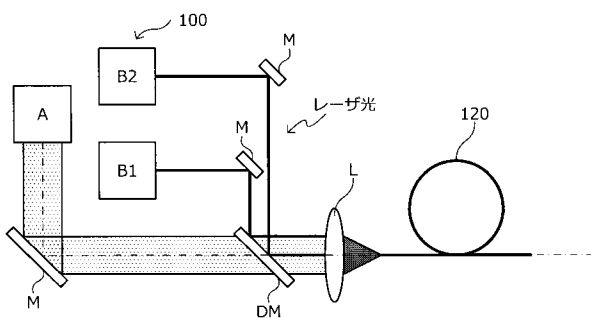
【図 8】



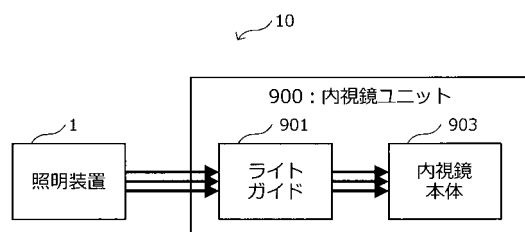
【図 9 B】



【図 9 A】



【図 10】



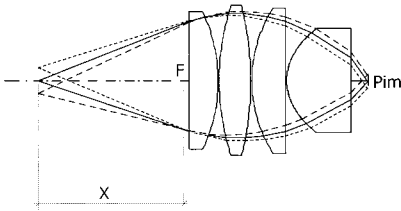
【図 1 1】

	A	B	C
f	11.727	11.727	11.727
S1 to H	10.773	10.773	10.773
β	0.4	0.6	1.2
OBJ	30.273	20.500	10.728
X	29.319	19.546	9.773

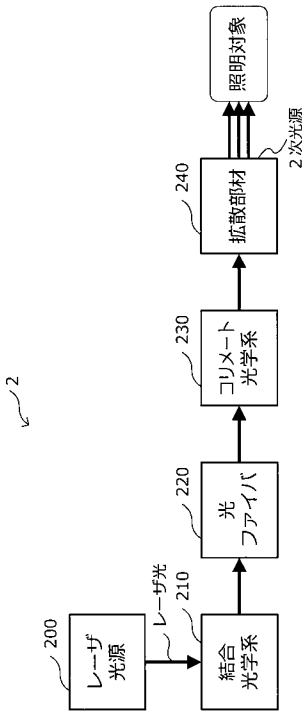
面番号S	曲率半径 r	中心厚間隔 d	屈折率 n	アッベ数 v
1	∞	5.9	1.51680	64.2
2	-31.525	0.2		
3	46.816	6.4	1.51680	64.2
4	-60.149	0.2		
5	26.357	6.8	1.51680	64.2
6	∞	0.2		
7*	9.937	13	1.52301	58.6
8	∞			

*：回転対称非球面
非球面データ：K = -0.776872, A4 = 0.187240×10⁻⁴

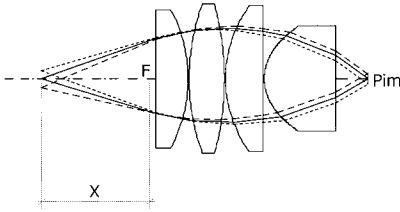
【図 1 2 A】



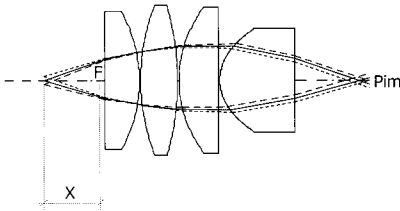
【図 1 3 B】



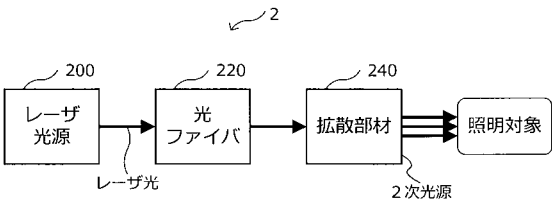
【図 1 2 B】



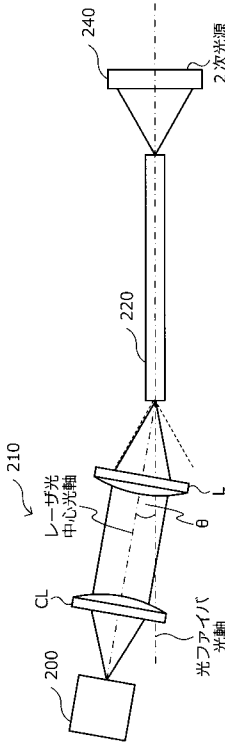
【図 1 2 C】



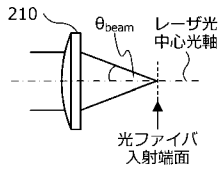
【図 1 3 A】



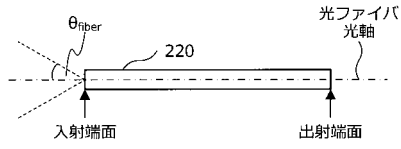
【図 1 4 A】



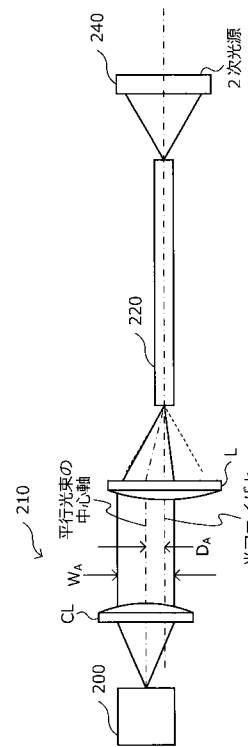
【図 1 4 B】



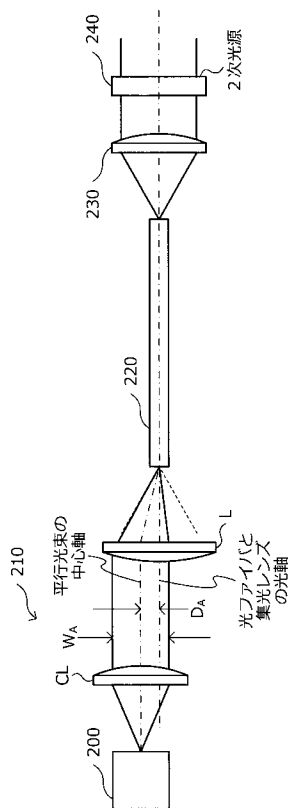
【図 1 4 C】



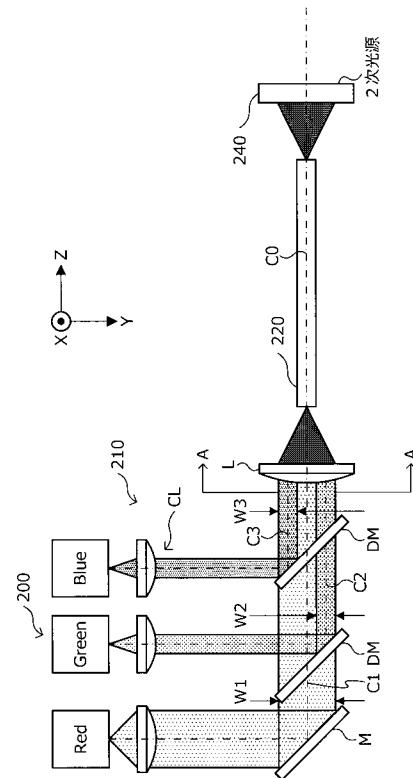
【図 1 5】



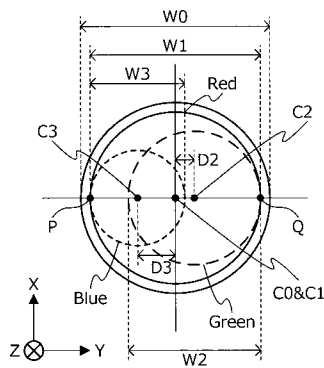
【図 1 6】



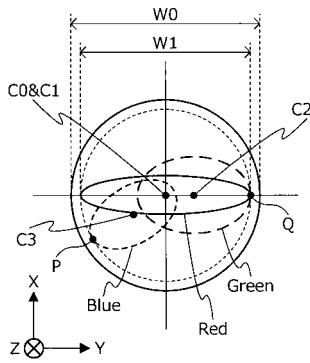
【図 1 7】



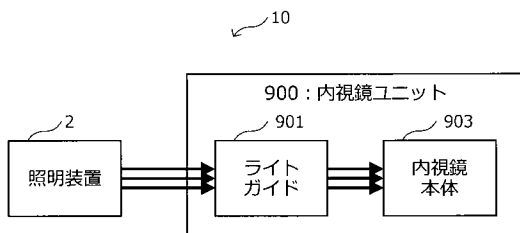
【図 18 A】



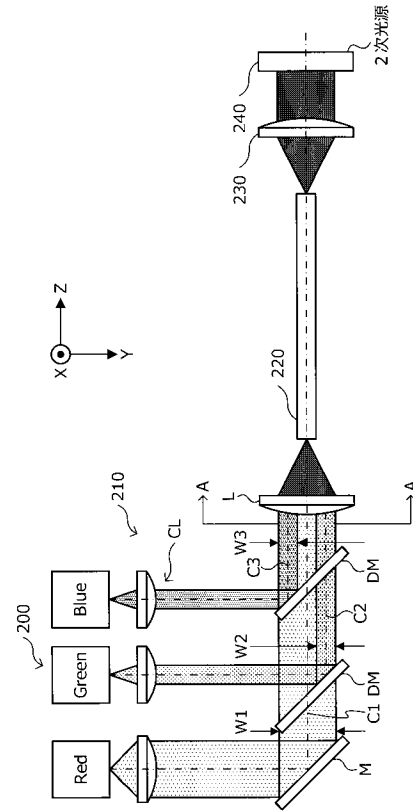
【図 18 B】



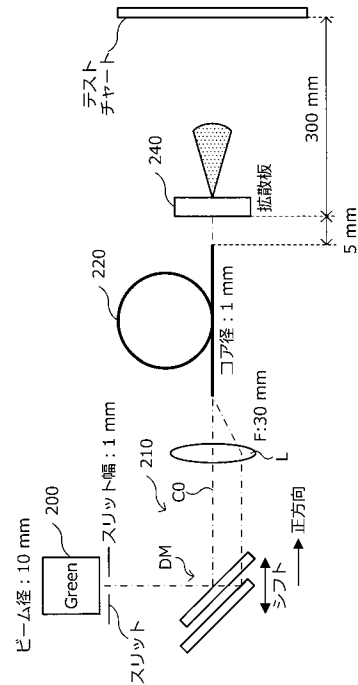
【図 20】



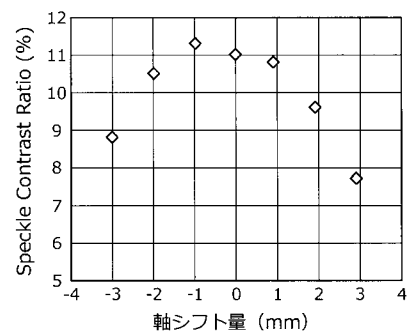
【図 19】



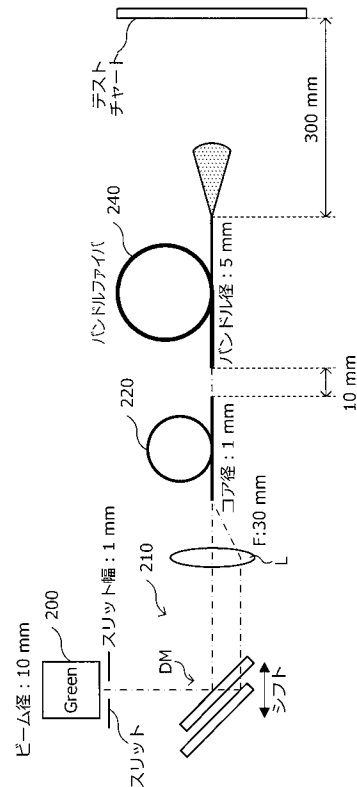
【図 21】



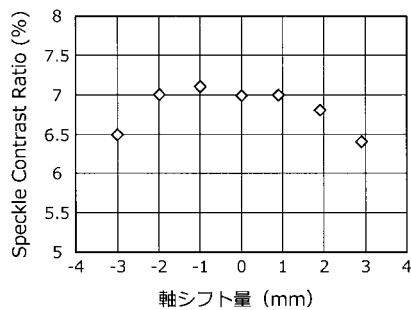
【図 2 2】



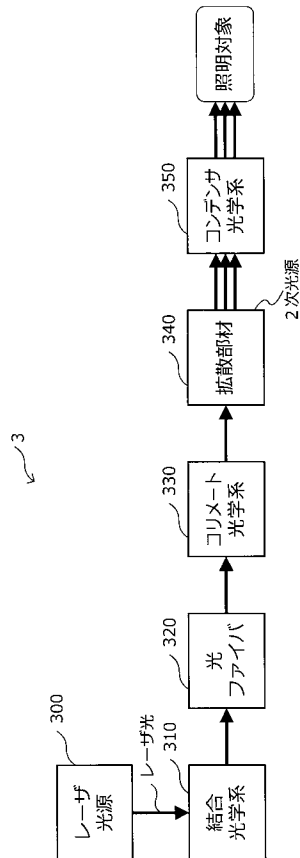
【図 2 3】



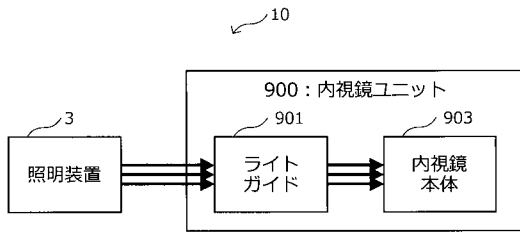
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 26】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

G 0 2 B 13/18

(72)発明者 山口 恭司

東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内

(72)発明者 古川 昭夫

東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内

F ターム(参考) 2H040 BA09 CA09 CA11 CA26

2H052 BA02 BA09 BA15

2H087 KA10 LA27 PA04 PA17 PB04 QA01 QA05 QA13 QA21 QA25

QA33 QA41 QA45 RA05 RA12

4C161 CC06 FF40 FF46 FF47 HH54 JJ06 JJ17 NN01 PP13 QQ04

专利名称(译)	<无法获取翻译>		
公开(公告)号	JP2015223462A5	公开(公告)日	2017-03-02
申请号	JP2014111994	申请日	2014-05-30
[标]申请(专利权)人(译)	索尼公司		
申请(专利权)人(译)	索尼公司		
[标]发明人	松延剛 山口恭司 古川昭夫		
发明人	松延 剛 山口 恭司 古川 昭夫		
IPC分类号	A61B1/00 G02B23/26 G02B19/00 G02B25/02 G02B13/18		
FI分类号	A61B1/00.300.Y A61B1/00.300.U G02B23/26.B G02B19/00 G02B25/02 G02B13/18		
F-TERM分类号	2H040/BA09 2H040/CA09 2H040/CA11 2H040/CA26 2H052/BA02 2H052/BA09 2H052/BA15 2H087/KA10 2H087/LA27 2H087/PA04 2H087/PA17 2H087/PB04 2H087/QA01 2H087/QA05 2H087/QA13 2H087/QA21 2H087/QA25 2H087/QA33 2H087/QA41 2H087/QA45 2H087/RA05 2H087/RA12 4C161/CC06 4C161/FF40 4C161/FF46 4C161/FF47 4C161/HH54 4C161/JJ06 4C161/JJ17 4C161/NN01 4C161/PP13 4C161/QQ04		
代理人(译)	松本 一骑		
其他公开文献	JP2015223462A JP6394071B2		

摘要(译)

要解决的问题：通过更简单的方法减少斑点噪声。 根据本公开的实施例的照明装置包括至少一个发射激光的激光光源，将从激光光源发射的激光耦合到光纤的耦合光学系统，一种准直光学系统，用于将激光准直为平行光通量;被布置靠近成像的后侧焦点位置，所述用于通过漫射准直光束产生的二次光源扩散部件，光导入射端在二次光源的图像的预定近轴横向放大率和一个聚光光学系统。