(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2012-508366
(P2012-508366A)
(43)公表日　平成24年4月5日(2012.4.5)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G01J 3/36	(2006.01)	G01J	3/36		2G020
G01J 3/14	(2006.01)	G01J	3/14		2H052
A61B 1/00	(2006.01)	A61B	1/00	300D	4C161
A61B 3/14	(2006.01)	A61B	3/14	A	
G02B 21/36	(2006.01)	G02B	21/36		

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 114 頁）

(21)出願番号　特願2011-534898 (P2011-534898)
(86)(22)出願日　平成21年11月4日 (2009.11.4)
(85)翻訳文提出日　平成23年6月30日 (2011.6.30)
(86)国際出願番号　PCT/US2009/063259
(87)国際公開番号　WO2010/053979
(87)国際公開日　平成22年5月14日 (2010.5.14)
(31)優先権主張番号　61/111,182
(32)優先日　平成20年11月4日 (2008.11.4)
(33)優先権主張国　米国(US)

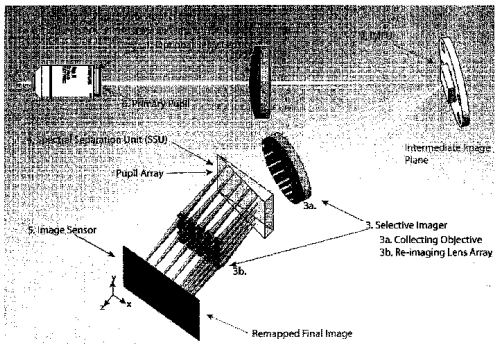
(71)出願人　511109294
ウィリアム・マーシュ・ライス・ユニバーシティ
ＷＩＬＬＩＡＭ　ＭＡＲＳＨ　ＲＩＣＥ　ＵＮＩＶＥＲＳＩＴＹ
アメリカ合衆国、７７００５－１８９２　テキサス州、ヒューストン、メイン・ストリート、６１００、オフィス・オブ・テクノロジー・トランスファー
(74)代理人　110001195
特許業務法人深見特許事務所
(72)発明者　テカチク，トマシュ・エス
アメリカ合衆国、７７５８４　テキサス州、ペアランド、アマーソン・ドライブ、３２３０

最終頁に続く

(54)【発明の名称】画像マッピング分光計

(57)【要約】
ハイパースペクトルおよびマルチスペクトル撮像のための装置および方法について述べる。具体的には、画像マッピング分光計システム、使用方法、および製造方法を示す。概して、画像マッピング分光計は、画像マッピングフィールドユニットと、スペクトル分離ユニットと、選択的撮像素子とを含む。画像マッピング分光計を、光学試料のスペクトル撮像に使用してもよい。ある実施例では、画像マッピング分光計の画像マッピングフィールドユニットを、表面成形ダイヤモンドツールを用いて製造できる。

Fig. 2



【特許請求の範囲】
【請求項１】
画像マッピング分光計であって、
画像マッピングフィールドユニットと、
スペクトル分離ユニットと、
選択的撮像素子とを含む、画像マッピング分光計。
【請求項２】
少なくとも１つの画像センサをさらに含む、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項３】
各画像センサは定量的電磁放射線検出器のアレイを含む、請求項２に記載の画像マッピング分光計。
【請求項４】
各画像センサは、約１：１、約３：２、および約４：３からなる群より選択されるアスペクト比を有する、請求項２に記載の画像マッピング分光計。
【請求項５】
リレーレンズをさらに含む、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項６】
前記画像マッピングフィールドユニットは光学部品のアレイを含み、各光学部品は、屈折部品、反射部品、および導波路からなる群より選択される少なくとも１つの部品を含む、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項７】
前記光学部品は各々、前記画像マッピング分光計の入射回折限界スポットサイズ以下の少なくとも１つの空間寸法を有する、請求項６に記載の画像マッピング分光計。
【請求項８】
少なくとも１つの光学部品はミラー小面傾斜を含む、請求項６に記載の画像マッピング分光計。
【請求項９】
光学部品は、ミラー小面傾斜により、前記画像マッピングフィールドユニット上で空間的にグループ分けされる、請求項８に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１０】
少なくとも１つの光学部品はプリズム楔角度を含む、請求項６に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１１】
前記画像マッピングフィールドユニットは光学部品のアレイを含み、各光学部品は、対称、非対称、およびアナモルフィックからなる群より選択される屈折力を示す、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１２】
前記画像マッピングフィールドユニットは光学部品のアレイを含み、少なくとも１つの光学部品は動的である、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１３】
前記画像マッピングフィールドユニットは光学部品のアレイを含み、
前記光学部品のうち１つ以上は同様の光学特性を示すことによって論理グループを形成し、
前記論理グループにおける光学部品各々からの画像は１つの画像センサに入射する、請求項２に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１４】
前記スペクトル分離ユニットは、屈折部品および回折部品からなる群より選択される光学部品を含む、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１５】
前記スペクトル分離ユニットは動的である少なくとも１つの光学部品を含む、請求項１

に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１６】
前記選択的撮像素子は、
１つ以上の集光対物レンズと、
１つ以上の再撮像レンズとを含む、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１７】
少なくとも１つの集光対物レンズは、前記画像マッピングフィールドユニットからのサブ画像を受けることができる、請求項１６に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１８】
前記サブ画像は完全ではない画像を含む、請求項１７に記載の画像マッピング分光計。
【請求項１９】
少なくとも１つの再撮像レンズは、前記画像マッピングフィールドユニットからのサブ画像を受けることができ、前記サブ画像は完全ではない画像を含む、請求項１６に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２０】
各再撮像レンズは、光学試料のサブ画像を画像センサ上に形成することができる、請求項１６に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２１】
前記選択的撮像素子は、動的である少なくとも１つの光学部品を含む、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２２】
前記画像マッピング分光計は、光学デジタルズームを同時にかつ独立して行なうことができる、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２３】
前記画像マッピング分光計は、光学試料を２つの空間寸法および１つのスペクトル寸法で撮像することができ、前記画像マッピング分光計は、３つの寸法すべてにおいて同時にかつ独立してズームを行なうことができる、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２４】
前記画像マッピング分光計は、光学試料内の対象となる複数の領域において同時にかつ独立してズームを行なうことができる、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２５】
前記画像マッピング分光計は、少なくとも約１００万ボクセルの並列データ収集が可能である、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２６】
前記画像マッピング分光計は、動作中構成を変更することができる、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２７】
前記画像マッピングフィールドユニットはスペクトル分離を示さない、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２８】
前記画像マッピングフィールドユニットは、スペクトルドメイン内の超分解能が可能である、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項２９】
前記画像マッピングフィールドユニットは光学部品のアレイを含み、
前記光学部品は、同様の光学特性を示す光学部品の複数の論理グループを形成し、
各論理グループはサブ画像を画像センサ上に形成することができ、
サブ画像は前記画像センサの少なくとも約６０％に入射する、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項３０】
前記画像マッピングフィールドユニットは光学部品のアレイを含み、

前記光学部品は、同様の光学特性を示す光学部品の複数の論理グループを形成し、
各論理グループはサブ画像を画像センサ上に形成することができ、
サブ画像は画像センサにおいて重なり合う、請求項１に記載の画像マッピング分光計。
【請求項３１】
スペクトル撮像方法であって、
光学試料を与えるステップと、
画像マッピング分光計を与えるステップとを含み、前記画像マッピング分光計は、
画像マッピングフィールドユニットと、
スペクトル分離ユニットと、
選択的撮像素子とを含み、
前記方法は前記光学試料を前記画像マッピング分光計によって撮像するステップを含む、スペクトル撮像方法。
【請求項３２】
前記画像マッピング分光計は少なくとも１つの画像センサをさらに含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項３３】
前記光学試料を撮像するステップは、画像を少なくとも１つの画像センサのうち１つ以上にマッピングするステップを含む、請求項３２に記載の方法。
【請求項３４】
各画像センサは定量的電磁放射線検出器のアレイを含む、請求項３２に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項３５】
各画像センサは２次元である、請求項３２に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項３６】
前記光学試料を撮像するステップは３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを取得するステップをさらに含み、前記画像を画像センサにマッピングするステップはデータキューブを表示するステップを含む、請求項３３に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項３７】
前記データキューブの取得および表示は、毎秒少なくとも約１つの画像という速度で生じる、請求項３６に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項３８】
前記画像マッピングフィールドユニットは光学部品のアレイを含み、
前記光学部品は、同様の光学特性を示す光学部品の複数の論理グループを形成し、
各論理グループは、サブ画像を少なくとも１つの画像センサのうち１つ以上に形成する、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項３９】
前記選択的撮像素子は、
１つ以上の集光対物レンズと、
１つ以上の再撮像レンズとを含み、
前記選択的撮像素子におけるクロストークは約１％以下である、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４０】
前記光学試料を妨害せずに前記画像マッピング分光計の構成を変更するステップをさらに含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４１】
前記光学試料の対象となる少なくとも１つの領域を光学的にズームするステップをさらに含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４２】
前記光学試料の対象となる少なくとも１つの領域をデジタルでズームするステップをさらに含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。

【請求項４３】
前記光学試料は、紫外線、可視光線、近赤外線、中波赤外線、長波赤外線、およびその任意の組合せからなる群より選択される少なくとも１つの形態からの電磁放射線を与える、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４４】
前記光学試料は組織試料を含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４５】
前記光学試料は蛍光顕微鏡画像を含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４６】
前記光学試料は反射顕微鏡画像を含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４７】
前記光学試料は透過顕微鏡画像を含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４８】
前記画像マッピング分光計は、内視鏡撮像が可能な光学素子をさらに含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項４９】
前記光学素子は、グリンレンズ、干渉性マルチファイバの束、非干渉性マルチファイバの束、小型対物レンズ、小型レンズ、およびその任意の組合せからなる群より選択される少なくとも１つの光学素子を含む、請求項４８に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項５０】
データを遠隔場所に送信するステップをさらに含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項５１】
前記光学試料は食品成分試料を含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項５２】
前記光学試料は網膜画像を含む、請求項３１に記載のスペクトル撮像方法。
【請求項５３】
画像マッピングフィールドユニットの製造方法であって、
（ａ）　画像マッピングフィールドユニット基板を与えるステップと、
（ｂ）　光学部品断面プロファイルを与えるステップと、
（ｃ）　前記光学部品断面プロファイルに特化した表面成形ダイヤモンドツールを与えるステップと、
（ｄ）　前記表面成形ダイヤモンドツールを用いて光学部品断面プロファイルを前記画像マッピングフィールドユニット基板に形成することによりマッピング素子を形成するステップとを含む、画像マッピングフィールドユニットの製造方法。
【請求項５４】
前記マッピング素子を用いて金型を形成するステップと、
さらなるマッピング素子を成形するステップとをさらに含む、請求項５３に記載の画像マッピングフィールドユニットの製造方法。
【請求項５５】
前記基板は、アルミニウム合金、真鍮化合物、銅化合物、金化合物、ニッケル化合物、銀化合物、アクリル化合物、フッ素プラスチック化合物、ポリカーボネート化合物、およびその任意の組合せからなる群より選択される化合物を含む、請求項５３に記載の画像マッピングフィールドユニットの製造方法。
【請求項５６】
複数の光学部品断面プロファイルに対してステップ（ｂ）～（ｄ）を繰返すことをさらに含む、請求項５３に記載の画像マッピングフィールドユニットの製造方法。
【請求項５７】
前記光学部品断面プロファイルは、ミラー小面傾斜により、前記マッピング素子上で空間的にグループ分けされる、請求項５６に記載の画像マッピングフィールドユニット製造

方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
本願は、本明細書に引用により援用する、２００８年１１月４日に提出された米国仮特許出願第６１／１１１,１８２号の利益を主張する。
【背景技術】
【０００２】
背景
ハイパースペクトル撮像素子は、一般的には物体または情景のスペクトルまたは波長依存成分を調べるために使用される、周知の装置である。（ハイパースペクトル撮像素子は撮像分光計とも呼ばれている。）ハイパースペクトル撮像素子では、所与の物体または情景から発せられたまたは反射された光の画像が、通常はこの物体または情景の１つの線画像を通すスリット素子である分光計の入口に形成される。そうすると、分光計は、光をその波長に従ってスリット素子の向きに直交する方向に分散させながら、この光の画像を容易に観察または記録できる別の場所に再び形成する。このようにして、物体または情景の各線画像を２次元データアレイに分解し、この物体または情景を、ライン毎に増分して走査することにより、３次元データキューブを形成する。
【０００３】
蛍光顕微鏡検査は、さまざまな細胞力学をより深く理解するために、広範囲にわたって使用される。この解析ツールの幅広い応用への刺激となっているのは主に、生理的検体に対してある範囲の感度を有する蛍光タンパク質、ナノ結晶、および有機発蛍光団の、進行中の開発である。蛍光プローブの開発および応用は、細胞および組織生理学の研究を激変させた。しかしながら、これらのプローブが生み出す潜在的な情報を十分に活用するには、検出システムが、発蛍光団の組合せの分光変化を同時にモニタする必要がある。これが必要となる理由は、ほとんどの細胞応答が単独で生じず、細胞エフェクタに反応する複雑な一連の事象があるからである。さらに、生理学的興味の対象となる試料は、細胞の不均一な集団で構成されていることが多い。この集団の各細胞は、場合によっては他の細胞と結合し摂動に対して独自のパターンで反応する。このような事象の時系列を蛍光技術で求めるためには、スペクトル撮像システムが、高い空間、スペクトル、および時間の分解能の適切な組合せを示さなければならない。現在利用できるシステムの走査要件のため、これらパラメータのうち１つ以上が別のパラメータの改善の犠牲になることが多い。これは、生物学的プロセスの時間的経過における空間的または時間的な不明確さにつながる。これらの同じ限界は内因性蛍光信号にもあり、走査技術では検出することが難しい、試料の異なる分子と固有の時間的相互作用の固有の組合せが存在することが多い。加えて、多くの内因性および外因性蛍光造影剤は、時間の経過とともに光退色し、統合期間全体にわたって信号を収集できる非走査手法の恩恵を受けるであろう。反射率および吸収に基づく信号も同様に、検出については走査に基づく撮像分光計に対して妥協する。
【０００４】
早期および前癌検出のための内視鏡撮像技術において強まりつつある傾向は、その技術の診断能力を画像のスペクトル成分を改善することによって高めることであった。分光技術は、ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド（「ＮＡＤＨ」）、フラビンアデニンジヌクレオチド（「ＦＡＤ」）、コラーゲン、ならびにオキシおよびデオキシヘモグロビンといった内因性癌バイオマーカに、蛍光および反射率に基づく際立った分光的特徴があることを示してきた。これら分子バイオマーカは、前および早期癌領域を、より伝統的な形態学的および構造的特徴として識別する際の、重要な指標の役割を果たすことができる。撮像分光計が提案されてきたが、欠点のためにその用途は手頃なリアルタイムスクリーニングツールに限定されてきた。これらの手法の主な限界は、より大きなスペクトル帯域幅を得るために、液晶または音響光学といった高額の可同調フィルタに依存していることであ

った。こうしたフィルタは、極めて高額であるだけでなく、スペクトルデータを連続的に収集するので画像収集時間に遅れがある（＞約２３秒）。計算トモグラフィ撮像分光計（「ＣＴＩＳ」）といったスナップショット技術は、この限界を回避しているが、収集後処理が長い（約３０～６０分）ので、これも生体内撮像には不向きである。

【０００５】

リモートセンシングは、交戦地帯、氷河、深海、ハリケーン、ガスの柱、生物兵器等の危険なまたは近づきにくい領域から情報を取得するのに役立つツールである。撮像分光計は、リモートセンシング技術を向上させ、試料からのわずかなスペクトル特徴に基づいて重要な情報を提供する。この装置は、衛星および航空機といった高速で移動する乗物で使用されることが多く、結果として高速データ収集を必要とする。走査に基づく手法は、この高速取得要件を満たすために、画像の大きさ、コントラスト、および／またはスペクトル分解能について妥協することが多い。場合によっては、問題となっている事象、たとえばミサイルがその標的に命中したことの確認は、あまりに短期間で明らかになるので、走査手法を、ミサイルが標的に命中したことの確認といったことに使用するのは実際不可能である。このため、非走査スナップショットスペクトル撮像技術が望ましいであろう。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

食品検査は、我が国で消費される食品の品質を保証するのに重要な役割を果たす。しかしながら、このプロセスは一般的に、見た目に明らかな欠陥を対象とした、食品の人手による観察である。この手法には、多くの欠陥は人間の目で観察できないことを含めていくつかの限界がある。また、これは、遅いプロセスとなる可能性もあり、人為的ミスおよびサンプリング誤差が生じやすい。スペクトル撮像技術は、食品の複数の欠陥を、特有のスペクトル特徴に基づいて迅速かつ定量的に評価できることによって、この分野で重要な役割を果たすことができる。市場に投入するまでの時間に対する影響を最小にするために、検査所は情報を非常に素早く取得し分析しなければならず、これは走査に基づく手法の有用性を制限する。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

概要

本開示は概してハイパースペクトルおよびマルチスペクトル撮像の分野に属する。より具体的には、本開示は、ある実施例に従うと、小型画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）システムおよび方法に関する。

【０００８】

本開示の一実施例は、画像マッピング分光計を提供する。画像マッピング分光計は、画像マッピングフィールドユニットを含む。画像マッピング分光計はさらに、スペクトル分離ユニットを含む。画像マッピング分光計はさらに、選択的撮像素子を含む。

【０００９】

本開示の別の実施例は、スペクトル撮像方法を提供する。スペクトル撮像方法は、光学試料を与えることを含む。スペクトル撮像方法はさらに、画像マッピング分光計を与えることを含み、画像マッピング分光計は、画像マッピングフィールドユニットと、スペクトル分離ユニットと、選択的撮像素子とを含む。スペクトル撮像方法はさらに、光学試料を画像マッピング分光計によって撮像することを含む。

【００１０】

本開示の他の実施例は、画像マッピングフィールドユニットの製造方法を提供する。画像マッピングフィールドユニットの製造方法は、画像マッピングフィールドユニット基板を与えることを含む。この方法はさらに、光学部品断面プロファイルを与えることを含む。この方法はさらに、光学部品断面プロファイルに特化した表面成形ダイヤモンドツールを与えることを含む。この方法はさらに、表面成形ダイヤモンドツールを用いて光学部品断面プロファイルを画像マッピングフィールドユニット基板に形成することによりマッピ

ング素子を形成することを含む。
【００１１】
本発明の特徴および利点は当業者には明らかであろう。当業者は数多くの変更を行なうことができるが、このような変更は本開示の精神に含まれる。
【００１２】
例示される本開示のいくつかの特定の実施例は、部分的には以下の説明および添付の図面を参照することによって理解されるであろう。
【図面の簡単な説明】
【００１３】
【図１】画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）システムの一実施例に従う、３次元オブジェクトキューブの電荷結合素子（「ＣＣＤ」）アレイへの撮像シーケンスを示す。
【図２】本開示の実施例に従うＩＭＳシステムの基本構成を示す。
【図３】本開示の実施例に従う、可能な画像マッピングフィールドユニット（「ＩＭＦＵ」）設計の例を示す。
【図４】本開示の実施例に従う、特定設計の表面成形ダイヤモンドツールを用いてＩＭＦＵを製造するためのダイヤモンド機械加工構成（ラスターフライカット）を示す。
【図５】本開示の実施例に従う、複数の小面（facet）が形成された表面成形ダイヤモンドツールを示す。
【図６】典型的にはダイヤモンド機械加工のラスターフライカットによって生じる、「エッジ侵食」として知られている製造関連の収差を示す。
【図７】本開示の実施例に従う、エッジ侵食効果を最小にできるいくつかのＩＭＦＵ設計構成を示す。
【図８】本開示の実施例に従い、（ａ）はＩＭＦＵの小型光学部品によって生じる回折効果をシミュレートしたものを示し、（ｂ）は約１％の最小クロストークのための隣のサブ瞳の最適配置を示す。
【図９】（ａ）は本開示の実施例に従うＩＭＳシステムからの実際の瞳によって作られた画像を示し、２５の傾斜（５つのｘ傾斜および５つのｙ傾斜）があり、回折によって生じた楕円形の瞳を示す。これはミュレートした瞳によって作られた画像と比較される（ｂ）。実際の瞳およびシミュレートした瞳のｙ軸およびｘ軸を通る断面はそれぞれ（ｃ）および（ｄ）に示される。
【図１０】本開示の実施例に従うレンズアレイ部品の異なる選択的撮像素子構成を示す。
【図１１】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて選択的撮像素子の色収差補正を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１２】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて最終像平面でのＩＳＭシステムのスペクトル分離を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１３】本開示の実施例に従う、ｙ軸の３つの傾斜角およびｘ軸の３つの傾斜角を有する画像マッピング器の一例を示す。傾斜の総数は９であり、これは選択的撮像素子のサブシステムの数に相当し、画像センサの表面における画像ラインの間の分離にも関連する。
【図１４】本開示の一実施例に従う単軸傾斜画像マッピング器を示す。
【図１５】本開示の一実施例に従う環状ミラーを有する反射型ＩＭＳシステムを示す。
【図１６】本開示の一実施例に従うビームスプリッタを有する反射型ＩＭＳシステムを示す。
【図１７】本開示の一実施例に従う反射型傾斜ＩＭＳシステムを示す。
【図１８】本開示の一実施例に従う屈折型ＩＭＳシステムを示す。
【図１９】本開示の一実施例に従うＩＭＳレンズのアレイを示す。
【図２０】本開示の一実施例に従うマルチスペクトルまたは「範囲拡大」ＩＭＳシステムを示す。
【図２１】本開示の一実施例に従う、単一の画像検出器を用いるマルチスペクトルまたは「スペクトル範囲拡大」ＩＭＳシステムを示す。
【図２２】本開示の一実施例に従う、フィールド圧縮部品を用いる拡大スペクトルサンプ

リングＩＭＳシステムを示す。
【図２３】本開示の一実施例に従う動的ＩＭＳシステムを示す。
【図２４】本開示の一実施例に従う導波路ＩＭＳを示す。
【図２５】本開示の一実施例に従う複数のＩＭＦＵを有するＩＭＳシステムを示す。
【図２６】本開示の一実施例に従う、内視鏡に応用するのに適しているであろうＩＭＳシステムを示す。
【図２７】本開示の一実施例に従う、眼科に応用するのに適しているであろうＩＭＳシステムを示す。
【図２８】本開示の一実施例に従う、倒立顕微鏡のサイドポートにおけるＩＭＳシステム組立の一例を示す。
【図２９】（ａ）は本開示の実施例に従う初期ＩＭＦＵを示す。（ｂ）はサイズ比較のために（ａ）のＩＭＦＵを米国の２５セント硬貨とともに示す。（ｃ）は（ａ）のＩＭＦＵのランプミラー１－５の中央領域のザイゴ（Zygo）のNewView 5000による３次元画像を示し、擬似色は深さ情報を示す
【図３０】図２８のシステムの例から得られた画像を示す。（ａ）は１９５１ＵＳＡＦ分解能試験対象の１つのサブ画像を示し、（ｂ）は１×５の瞳の画像を示し、（ｃ）はハロゲン源からの画像を示し、（ｄ）はソース画像空間マッピングラインからのスペクトル拡散を示す。
【図３１】本開示の実施例に従う初期ＩＭＳシステムを示す。ＩＭＳシステムは１回の統合事象で１００×１００×２５の３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを収集することができる。（ｂ）はＩＭＳシステムの概略図を示す。
【図３２】本開示の実施例に従う、ＣＣＤカメラ上の視野（「ＦＯＶ」）の重なりを示す。隣接する再撮像レンズのＦＯＶが重なり合うことでＣＣＤ領域を十分に利用できる。
【図３３】本開示のある実施例に従う、１９５１ＵＳＡＦ分解能試験対象の分散していない画像を示す。原画像（ａ）はビニング（binning）なしで１６ビットカメラを用いて得ることができる（画素サイズ～９μｍ）。（ｂ）は復元された画像を示す。比較のために、（ｃ）に示されるように同じバーの画像を顕微鏡のサイドポートで単色カメラを用いて直接撮影した。ＦＯＶにおける最上段のバーはグループ７の要素６に属している（バーの幅～２．１９μｍ）。
【図３４】本開示の実施例に従う、分散していない画像からの１つのマッピングラインの点拡がり関数を示す。カメラの画素サイズは９μｍに等しい。ｘ位置およびｙ位置は、ＣＣＤカメラのグローバル座標における画像の中の場所を示す。
【図３５】本開示の実施例に従う、緑の蛍光ビードの１００×１００×２５システムからのＩＭＳ画像を示す。原画像は、１６ビットＣＣＤカメラを用いて統合時間約６秒で得ることができる。ビードのスペクトルは復元された画像中の点Ａから得られる。
【図３６】本開示の実施例に従う、赤および黄の蛍光ビードのＩＭＳ画像を示す。原画像は、１６ビットＣＣＤカメラを用いて統合時間約２秒で得ることができる。黄のビードのスペクトルは復元された画像中の点Ｂから得られ、赤のビードのスペクトルは復元された画像中の点Ｃから得られる。
【図３７】本開示の実施例に従う初期ＩＭＳシステムの図を示す。ＩＭＳシステムは１回の統合事象で２８５×２８５×６２の３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを収集することができる。このシステムの概略図は図３１の（ｂ）と同様である。
【図３８】側部において、基準ＣＣＤを用いて撮像した生体試料を示す。この生体試料は、ウシの肺動脈の内皮細胞を含み、この細胞を、MitoTracker（登録商標）Red CMXRosでインキュベートしてミトコンドリアを標識し、BODIPY（登録商標）ファラシジン（phallacidin）でフィラメントアクチン（Ｆアクチン）を標識し、４',６－ジアミノ－２－フェニルインドール（「ＤＡＰＩ」）で核を標識した。下側において、本開示の実施例に従う、ＩＭＳシステムを用いて撮影した、スペクトル間隔約５～８ｎｍの約５００～約６８４ｎｍの生体試料の２８のスペクトル帯画像を示す。
【図３９】（ａ）は本開示の実施例に従う、軸が表示されたＩＭＦＵ製造のためのNanote

ch 250UPLマシンを示す。（ｂ）はｘ傾斜のミラー小面を作るためにＩＭＦＵを回転させるのに使用されるゴニオメータ固定具の拡大図を示す。
【図４０】（ａ）は本開示の実施例に従う、２８５のミラー小面ならびにｘ軸およびｙ軸の２５の傾斜を有する大型フォーマットのＩＭＦＵの上面図をサイズ比較のために米国の２５セント硬貨とともに示す。（ｂ）は図２８（ａ）の大型フォーマットのＩＭＦＵの拡大側面図を示す。
【図４１】本開示の実施例に従う、大型フォーマットのＩＭＦＵにおける個々のミラー小面の白色干渉計による表面プロファイル測定を示す。（ａ）は部品の左端、（ｂ）はその中央、（ｃ）はその右端を示す。
【図４２】本開示の実施例に従う、幅７５ミクロンの表面成形ダイヤモンドツールを用いて製造された大型フォーマットのＩＭＦＵ（２８５のミラー小面）から得られた典型的な粗さの結果を示す。
【００１４】
本特許または出願ファイルは、彩色された図面を少なくとも１つ含む。この特許または特許出願公報の写はカラー図面とともに、要求し必要な費用を支払えば特許庁から提供されるであろう。
【００１５】
本開示にはさまざまな変形および代替形態が可能であるが、実施例の特定の例が図面に示され本明細書でより詳細に説明される。しかしながら、実施例の特定の例についての説明は、本発明を開示された特定の形態に限定することを意図しているのではなく、逆に、この開示は、一部添付の請求項によって示されるすべての変形および均等物を包含することが理解されるはずである。
【発明を実施するための形態】
【００１６】
説明
本開示は、一般的にはハイパースペクトルおよびマルチスペクトル撮像の分野に属する。より具体的には、本開示は、ある実施例に従うと、小型画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）システムおよび方法に関する。
【００１７】
この文書の文脈において「マッピング」という用語は一般的に、データを変換して最終画像を形成するプロセスを意味する。典型的な撮像システムでは、マッピング変換は線形でもよく、軸対称であることが多い。マッピングはまた、何らかの配列または配向の任意のプロセスを含んでいてもよく、これにより、スペクトルおよび空間情報を並列に収集することができる。
【００１８】
本明細書で使用される「レンズ」は一般的に、任意の光学部品または組合された屈折力を有する複数の光学部品の組合せを意味する。レンズは、１つ以上の屈折部品、１つ以上の回折部品、１つ以上の反射部品、および屈折、回折、および／または反射部品の任意の組合せを含み得る。
【００１９】
本明細書で使用される「マッピングライン」は一般的に、光学試料全体または光学試料の一部を通る１次元の点の集まりを意味する。「マッピング画素」は一般的に、光学試料内の任意の場所からの１つの点を意味する。「マッピング領域」は一般的に、光学試料全体または光学試料の一部を通る２次元の連続した点の集まりを意味する。「傾斜」は一般的に、主光線または中心光線が光学試料内の１点からまたはその１点まで伝搬する方向を意味する。
【００２０】
本明細書で使用される「開口絞り」または「絞り」は一般的に、光学試料内のある軸方向の点からの光の束を制限する物理的な構成要素を意味する。光学系における任意の光学空間内の絞りの像を「瞳」と呼んでもよい。場合によっては光学部品の絞りを「瞳」と呼

ぶことがある。なぜならこれらは互いの共役像でありその例に対して同じ機能を果たすからである。

【００２１】

本開示は、ある実施例に従い、画像マッピング原理に基づいたハイパースペクトルおよびマルチスペクトル撮像に役立つ画像マッピング分光計（ＩＭＳ）を提供する。この開示の装置および方法は、生体および医療用撮像、生体計算、監視用途、リモートセンシング（たとえばミサイル防衛、即席爆発装置の検出、現場検出、生化学的検出）、大気撮像（たとえば気象学または汚染スクリーニングにおけるもの）、食品検査、ならびに実時間スペクトル撮像を必要とするその他多数の用途（たとえばラーマン分光法、コヒーレントアンチストークスラマン散乱（「ＣＡＲＳ」）、および分光－偏光分析および偏光分析）に応用されてもよい。ＩＭＳは、走査を必要とすることなくスペクトル情報を瞬時に取得できる。ＩＭＳは、大量の画像およびスペクトルデータを並列に取得してもよい。たとえば、ＩＭＳは約１００万のボクセル（voxel）を一度に取得できる。ＩＭＳは、ある実施例では約５２０万のボクセルを一度に取得してもよく、他の実施例では約１６００万と約１億の間のボクセルの同時取得に備えてもよい。ＩＭＳは、画像データを、遠隔場所に、たとえば、（約１０ｍよりも長い）長い距離離れた場所および／または視線の範囲で見ることができない場所に、送信することができる。走査なしシステムの利点は、たとえば高い光学スループット、高速画像取得、および高いスペクトル／空間相関関係を含む。画像を生成するために、ＩＭＳは非常に限定された処理（画像の再マッピング）を必要とすることで、高速で明確で直接的な手順を提供できる。これが有益であるいくつかの応用例があり、そのような応用例の１つは、生体細胞内の複数の蛍光プローブの同時で高分解能の細胞小器官顕微鏡検査のための蛍光スペクトル撮像の分野にある。

【００２２】

本開示はまた、ある実施例に従い、たとえば顕微鏡、内視鏡、ポイントオブケア（「ＰＯＣ」）装置、カメラ、暗視機器等の、１つ以上のその他の撮像システムと結合されるＩＭＳを提供する。また、ＩＭＳを、任意の電磁放射線、たとえば紫外線、可視光線、および赤外線のスペクトル帯に応用してもよい。可視および近赤外、中波赤外、長波赤外およびその他多くの領域などのスペクトル範囲を組合せてマルチバンドを実現することも可能であろう。

【００２３】

本開示はまた、ある実施例に従い、１つのアレイ検出器またはアレイ検出器を組合せたものにおいて全スペクトル情報を同時に取得することができる分光撮像方法を提供する（たとえばＩＭＳは大型フォーマットの検出器または数個の検出器を使用してもよい）。本発明を特定の理論または作用機構に限定することなく、ＩＭＳはそれでもやはり画像マッピング領域の方向を空間的に変えて検出器／画素の間の空間を得ることによって機能すると現在考えられている。したがって、回折部品、屈折部品、および／または組合された部品を使用することによって、ＩＭＳはこの空間をこれら再分配された画像区域からのスペクトル情報で満たすことができる。この空間およびスペクトルについて再分配された最終画像を、画像センサ（たとえば電荷結合素子（「ＣＣＤ」）、相補型金属酸化物半導体（「ＣＭＯＳ」）、フォトダイオードのアレイ、アバランシェフォトダイオード、光電子増倍管のアレイ、熱検出器など）によって検出および／または記録することにより、明確な３次元（ｘ，ｙ，λ）情報（「データキューブ」と呼ばれることがある）を画像センサ上に与えることができる。

【００２４】

限定ではなく説明のために、提案するＩＭＳ機器の動作原理を図１に示す。例として、オブジェクトのさまざまな点に対する色が重なり合っていない４つのスペクトル帯からなる単純な光学試料について考える（図１のＡ）。まず、３次元（ｘ，ｙ，λ）オブジェクトの選択された行をシフトし大型フォーマットの画像センサに撮像してスペクトル拡散のための領域を作る（図１のＢ）。この領域は図面では白い正方形（画像センサの個々の検出器）で表わされている。行をシフトさせた後、垂直方向に分散させて１つの画像におけ

る３次元（ｘ，ｙ，λ）情報を取得する（図１のＣ）。すなわち、空間およびスペクトル情報を１回のスナップショットで符号化してもよく、すべての空間－スペクトル成分を画像センサの異なる検出器にマッピングしてもよい。このような手法の重要性は、同じ空間的場所に多数のスペクトル帯があるオブジェクトについては大きくなる（このようなオブジェクトの一例を図１のＤに示す）。従来の撮像を用いて、数個の波長帯を同一の検出器で統合してもよく、スペクトル特徴は失われるかもしれない（図１のＥ）が、これはＩＭＳマッピング技術によって保存される（図１のＦ）。

【００２５】

なお、ｘ、ｙ、およびλ要素の総数は、典型的には画像センサ上の検出器の総数を超えず、明確で直接的な空間－スペクトル情報を提供する。本明細書において使用される「明確な」は一般的に、３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブからの一般的にボクセルと呼ばれる最小データ量と、２次元画像センサからの個々の検出器との間の直接的な１対１の対応関係を意味する。たとえば、１０２４×１０２４の検出器の画像センサは、２５６×２５６×１６または５１２×５１２×４のデータキューブを明確に取得することができ、ここで最初の２つの数はｘ方向およびｙ方向における空間要素の量を表わし、３番目の数はスペクトル帯の数を表わす。画像取得後に、データを再びマッピングして処理し（一般的にはいくつかのコンピュータおよび／またはソフトウェアを使用）、鮮やかなカラー画像をコンピュータ画面に表示してもよく、ここからスペクトルを実時間で各マッピング画素で取得できる。なお、不明確なデータも収集して空間／スペクトルサンプリングを向上させてもよいが、これには画像処理技術が必要であり、結果として画像表示が遅くなる可能性がある。

【００２６】

一般的に、本開示のＩＭＳは、画像マッピングフィールドユニット（「ＩＭＦＵ」）と、スペクトル分離ユニット（「ＳＳＵ」）と、選択的撮像素子とを含む。ＩＭＳは、それ自身でまたは他の研究もしくは診断ツール（倒立顕微鏡、内視鏡など）と組合せて使用することができる自律的な機器として設計してもよい。ＩＭＳレイアウトの一例の概念図を図２に示す。ここでは光学試料（図示せず）をＩＭＳによって撮像する。光学試料は、物理的オブジェクトでも、撮像前システムからの画像でも、いずれかの共役像でもよい。光学試料は、透過、反射または蛍光といった任意の仕組みによってＩＭＳ撮像のための電磁放射線を提供してもよい。この電磁放射線をまず１次瞳６を通して収集してもよい。この１次瞳６は、１つ以上の任意のリレーレンズ１に先行および／または後続していてもよい。図２に示される実施例では、任意のリレーレンズ１が１次瞳６の前にも後ろにもある。任意のリレーレンズは、光学試料からの画像をＩＭＦＵに中継して伝えることができるどのような光学部品であってもよい。たとえば、任意のリレーレンズは、１つのレンズでも、レンズのアレイでも、屈折率分布型（「グリン（ＧＲＩＮ）」）レンズでも、光ファイバでも、１束の光ファイバでもよい。（光ファイバの任意のリレーレンズは内視鏡用途では特に有用である。）電磁放射線は次にＩＭＦＵ２に入射する。以下でさらに説明するように、ＩＭＦＵ２は、電磁放射線の向きを変えて選択的撮像素子３に向けるときに、「画像マッピング」または「マッピング」とも呼ばれる画像の空間的再編成を行なう。ＩＭＦＵは、一般的に任意の仮想または実際の画像共役場所もしくはフィールド空間、または画像共役場所から１ミリメートル以内のところに位置していてもよい。一般的に、選択的撮像素子３は、空間的に隔てられた２つの部品：（１）集光対物レンズまたは集光対物レンズのアレイ３ａ、および（２）再撮像レンズのアレイ３ｂを含む。図２に示されるように、ＳＳＵ４を選択的撮像素子３の上記２つの構成要素の間に配置してもよい。ＳＳＵは一般的に、瞳共役場所、または絞り空間、または瞳共役場所から数ミリメートル以上の範囲内にある。たとえば、ＳＳＵ４は、１次瞳６とＩＭＦＵ２との間、ＩＭＦＵ２と選択的撮像素子３との間、または選択的撮像素子３と画像センサ５との間にあってもよい。最後に、電磁放射線が画像センサ５に入射する。画像センサ５は、ＣＣＤといった電磁放射線を定量的に測定することが可能な検知部または検出器の任意のアレイを含み得る。簡潔にするためにこの開示が所与の光学部品を１つのレンズまたはプリズムとして説明または示す

ことがあるが、所望の効果を得るために各部品が複数のレンズまたはプリズムを含む場合があることが理解されるはずである。本明細書で使用されるＩＭＳの「構成」は一般的に、相対的な、要素（光学試料、１次瞳、任意のリレーレンズ、ＩＭＦＵ、選択的撮像素子の集光対物レンズ、選択的撮像素子の再撮像レンズアレイ、ＳＳＵ、および画像センサを含む）の数、種類およびレイアウトを意味する。

【００２７】

ＩＭＦＵまたはマッピング器は、画像を空間的に再編成し、スペクトル情報の符号化に使用される画像空間に光学的に空白の領域を作る。ＩＭＦＵは、その面上に空間的に配置された光学部品を含んでいてもよい。ある配置は、同様の光学機能を示すことにより、光学素子の論理的グループ分けを形成することができる。たとえば、マッピング領域１、４、および７が同様の光学機能を示しＩＭＦＵ光学部品グループＡとして論理的にグループ分けされてもよく、マッピング領域２、３、８、および９がＩＭＦＵ光学部品グループＡの光学機能とは異なる同様の光学機能を示し、マッピング領域２、３、８および９がＩＭＦＵ光学部品グループＢとして論理的にグループ分けされてもよい。ある実施例ではＩＭＦＵ光学部品グループをＩＭＦＵの面の上で対称となるように配置してもよい。ある実施例ではＩＭＦＵ光学部品グループの配置が幾何学的形状および／または繰返しパターンを形成してもよい。光学部品を、マッピングライン、マッピング画素、および／またはマッピング領域といった特に有用なマッピング形状で配置してもよいが、他の一般的な形状（たとえば正方形、三角形、「Ｌ」、「Ｏ」など）を使用することもできる。特定のマッピングライン、マッピング画素、および／またはマッピング領域の光学部品はしたがって、その形状特有の同様の光学機能を示すであろう。他の実施例におけるＩＭＦＵ光学部品グループの配置はランダムでも無秩序でもよい。１つの光学部品グループが生成した画像を、サブ画像と呼んでもよい。ＩＭＦＵの面の上のＩＭＦＵ光学部品グループの特定の配置を、ＩＭＦＵの「幾何学形態」と呼んでもよい。ＩＭＦＵの幾何学形態がマッピングを一意的に定めることが、本開示の利益を受ける当業者には理解されるであろう。さらに、ＩＭＦＵの幾何学形態は静的でも動的でもよく、この幾何学形態を、システムの分解または光学試料の妨害を伴うことなく、実時間で制御して変化させてもよい。

【００２８】

ＩＭＦＵ光学部品は、オブジェクトの点からの主光線の向きを画像内の新たな場所に変えることができる。ＩＭＦＵ光学部品は、屈折型、反射型または導波路でもよい。屈折型の手法は、たとえばプリズムのアレイ、レンズのアレイ、および／または光学部品の組合せを含み得る。反射型の手法は、カタジオプトリック（catadioptric）型の手法と同様、たとえば鏡および／またはレンズのアレイを含み得る。導波路の手法は、たとえば光ファイバを含み得る。任意の種類のマッピング器も、より従来的な視野レンズまたはミラーと同様、屈折力を有し得るものであり、リレー光学系からの射出瞳を、選択的撮像素子の対物レンズの入射瞳または集光対物レンズの瞳のアレイに、再び撮像することができる。これにより、小型で光学的に効率的な多重撮像システムが可能である。マッピング器はまた、各マッピング部品に対してアナモルフィックなまたは円筒形の湾曲を取入れ、これにより、システムのスペクトル分解能を高めることができる。最後に、ＩＭＦＵは、屈折および反射部品を組合せてこれらの異なるタスクを個々にまたは組合せて実行することができる。ＩＭＦＵのスペクトル分離を補正してもよい。

【００２９】

図３は、可能なＩＭＦＵ設計の数個の例を示す。以下の説明では、固有の傾斜角９つのみについて述べるが、実際これよりも多くの傾斜角を使用することができる。加えて、ミラー部品のみを示しているが、ＩＭＦＵ部品はたとえばプリズム、レンズ、および光学部品の組合せを含んでいてもよい。図３の（ａ）の幾何学的形態は、オブジェクトを通る水平マッピングライン全体の向きを、９つの異なる角度方向に変えることを示している。ｘ軸およびｙ軸という２つの軸の周りで回転させることにより、大きなスペクトルサンプリングおよび／またはシステムの分解能を提供できる。この手法は、概念および製造の簡潔さに利点がある。しかしながら、この手法の場合、より大きな傾斜のミラーについてはマ

ッピングされている画像が焦点から外れることによってフィールドのエッジ部分では空間分解能が低下することがある。この欠陥は、図３の（ｂ）に示される第２の幾何学的形態で小さくすることができ、ここでは画像マッピングラインを水平（ｘ軸）方向において２、３または４以上のセグメントに分割してもよい。この幾何学的形態の場合、マッピング性能はより優れているが、作成するのはより困難である可能性がある。図３の（ｃ）に示される具体例としての第３のＩＭＦＵの幾何学的形態は、静的または能動的な画素サイズミラーマッピングの手法である（たとえばＭＥＭＳミラー、液晶変調器など）。この概念は、用途が広く、スペクトルおよび空間情報双方を記録するための任意の数の再マッピング方式を提供することができる。なお、マッピング画素は正方形または矩形である必要はない。円形マッピング画素のマッピング器の一例を、図３の（ｄ）に示し、これは図３（ｃ）に示されるものと概念的には同様である。傾斜させたマッピング部品に加え、各傾斜ミラー小面（facet）が、反射した（または屈折した）光を焦点に集めるための屈折力を有していてもよい。この焦点効果を画像マッピング画素サイズの圧縮に使用することにより、図３の（ｅ）に示されるようにシステムのスペクトルサンプリングを増すことができる。図３の（ｆ）に示されるように、ＩＭＦＵ全体が屈折力を有していてもよく、システム内の前部光学部品の射出瞳の再撮像に使用されてもよい。図３の（ｇ）では、２つ以上の要素マッピング器の組合せを使用してもよく、これはタスクを個々にまたは集合的に組合せて画像マッピングという目的を果たす。

【００３０】

上記のように、ＩＭＦＵは屈折型でも反射型でもよい。屈折ＩＭＦＵは、反射ＩＭＦＵと幾何学的形態は同様であるが、屈折ＩＭＦＵは光学試料のマッピング画素の主光線の向きを、光が表面から反射するときではなく透過するときに変えることができる。屈折型および反射型はいずれも、静的または動的に使用できる。たとえば、高精細度テレビ（「ＨＤＴＶ」）で使用することができるデジタル光プロセッサ（「ＤＬＰ」）装置と同様に機能する動的微小電気機械システム（「ＭＥＭＳ」）ミラーアレイを開発してもよい。たとえば、適切なＤＬＰは、テキサス州ダラスのテキサスインスツルメンツ（Texas Instruments）から市場で入手できる。既存のＤＬＰのこの用途における主な欠点は、２つの可能な位置（オンおよびオフ）のみに限定されることであり、したがって空間／スペクトル分解能の実時間調整に対して十分な柔軟性を提供することはできない。このため、個々の光学試料マッピング画素の向きを、像平面の任意の領域に変えることにより応用範囲を最大にすることができる、ヨー（yaw）およびピッチ（pitch）にいくつかの傾斜位置があるアナログまたは高ビット深度アレイを使用してもよい。動的ＩＭＦＵの他の例も液晶変調器および屈折型液体変調器（ミクロ流体に基づく）を含み得る。このようなマッピング器を、液晶変調器またはＭＥＭＳに基づく回転プリズムおよび／またはプリズムアレイのような、可同調屈折または回折ＳＳＵと組合せてもよい。ＩＭＳを、そのスペクトルおよび空間分解能を実時間で調整できる適応型装置として使用してもよい。

【００３１】

ＩＭＦＵを、たとえば精密ダイヤモンドラスターフライカット、低速スライドサーボを用いるダイヤモンド旋盤加工、高速ツールサーボを用いるダイヤモンド旋盤加工、マイクロダイヤモンドフライス加工、精密線引（ruling）、ＣＮＣに基づくマイクロ研削および研磨、直接ビーム書込に基づくグレースケールリソグラフィ、マスクを使用するグレースケールリソグラフィ、多段リフローリソグラフィを含む任意の利用可能な方法を用いて製造してもよい。ダイヤモンド機械加工の手法には、他の技術と比較していくつかの利点がある。まず、各光学部品の大きさ、角度および相対的位置を非常に正確に維持することができる。なぜなら、これは精度を数的に制御したステージによって決定されるからである。第２に、複雑なマッピング傾斜の幾何学的形態（ロール－ヨー－ピッチを含む）は、精密傾斜ステージをダイヤモンド旋盤加工の旋盤に追加することによって可能であろう。第３に、初期プロトタイプ開発コストおよび時間がそれほど多くない。第４に、精密アライメントの特徴をＩＭＦＵに取入れることにより、ＩＭＦＵとバッフルおよびレンズ焦点アレイといった他の部品とのアライメント精度を高めることができる。

【００３２】
特に、ＩＭＦＵを、ＩＭＦＵのミラー小面といった薄く直線的でアスペクト比の高い特徴を形成するために有望なダイヤモンド機械加工方法であるダイヤモンドラスターフライカットを用いて製造してもよい。画像のアスペクト比とはその幅をその高さで割ったものであることが、この開示の利益を受ける当業者には理解されるはずである。ダイヤモンドラスターフライカットでは、図４の（ａ）に示されるように、ツールをスピンドルを中心として回転させ、被加工物（すなわちＩＭＦＵ）から材料を掘出してもよい。この例では、被加工物がｙ軸を横切り薄いミラー小面を形成してもよい。隣接する小面を形成するために、被加工物を図４の（ｂ）に示されるようにｚ軸に沿って移動させてもよい。これを、表面全体が切削されるまでＩＭＦＵの長さに沿って繰返してもよい。図４の（ｂ）は、被加工物を切削するツールの拡大図を示す。なお、小面の異なる角度は、被加工物の、特定のｘ－ｚ面における高さの違いに対応し得る。ダイヤモンドラスターフライカットを用いて製造されたＩＭＦＵの一例が図５の（ａ）および（ｃ）に示される。いくつかの実施例では、新たな技術を、表面成形ダイヤモンドツールを用いて適用し、ＩＭＦＵ基板に個々の小面の断面プロファイルを形成してもよい。従来のラスターフライカットでは、マッピング器全体を含む個々の光学部品を、ダイヤモンドツールをマッピング器の基板材料において横方向（マッピング器の面に平行）および軸方向（マッピング器の面に垂直）双方に動かすことによって形成できる。このツールが通過する度に、必要な材料の小さな部分が除去される。その結果、個々の光学部品を製造するにはこのツールを複数回通過させる必要があり、これは高額かつ時間のかかるプロセスに繋がる。一方、表面成形ダイヤモンドツールを用いて製造する場合、横方向の移動は不要であり、軸方向の移動だけで個々の光学部品（または光学部品群）を形成することができる。

【００３３】
さらに、小型でより高いサンプリング（＞１００要素）のＩＭＦＵが必要とするミラー小面は一層小さいであろう。小面の幅を縮小することにより、光学部品の断面プロファイルに合わせて予め成形したツールを使用することができる。これには、製造時間の大幅な短縮、プログラムの簡潔性、より高密度で配置されたミラー小面、および切削方向に垂直な軸の機械精度とは無関係の幾何学的形状の高い相対精度を含むいくつかの利点がある。

【００３４】
この手法の短所は、ツールの形状、チップおよび／またはその他の欠陥のために、ミラー小面の断面の誤差を補正する能力がほとんどないことである。これにより、ダイヤモンドツールの品質は、製造プロセスにおける重要な要素となる可能性がある。表面成形製造ツールの一例が図４の（ａ）および（ｂ）に示される。図示のツールに加え、複数の小面および／または特徴を有するより複雑な幾何学形態も可能であり、場合によっては、１つの表面成形ツールよりも好都合である。図５は、一体化されて１つの表面になった６つの小面を有する表面成形ツールの一例を示す。この方法は、複雑なＩＭＦＵの製造には有利であろう。なぜなら、これは（１）製造時間を短縮し、（２）多軸傾斜を可能とし、（３）より高密度の特徴を可能とし、（４）切削方向に平行な軸に対するダイヤモンドマシンの精度とは無関係であるからである。

【００３５】
刃先角θ、主横逃げ角α、主チップ逃げ角φ、トップすくい角β、ツール幅、切削の最大深さ、エッジ品質、および材料といった、表面成形ダイヤモンドツールに対して考慮し得るいくつかの設計パラメータがある。これらの幾何学的パラメータは図４の（ｂ）および（ｄ）に示される。平底ツールのチップ幅および切削の最大深さは、ツールの主要な設計パラメータである。なぜならこれらはシステムの光学設計を決めるからである。ツールのチップ幅はミラー小面の幅となるのに対し、切削の最大深さは実現可能な最大のｙ軸傾斜を決定する。他のツールパラメータの適切な選択は、最適な切削性能、耐久性、ツールの製造性、および総費用にとって重要であろう。

【００３６】
ＩＭＦＵの幾何学的形態は、製造プロセスの重要な側面でもある。図６に示されるダイ

ヤモンドツールの幾何学的形態（刃先角）によって生じるエッジ侵食の効果を減じるために、光学部品に対し（１）図７の（ａ）および図７の（ｂ）に示されるようにｙ軸方向において段違いにすることにより、エッジでの段の高さの相違を最小にし、光学部品を（２）図７の（ｃ）および図７（ｄ）に示されるようにｘ傾斜についてグループ分けすることにより、段の高さの相違がある小面の数を減じ、および／または光学部品を（３）図７の（ｅ）に示されるように凹状のｘ傾斜小面の位置の方向にすることにより、刃先角を隣接する小面の傾斜の大きさの分だけ減じることができる。

【００３７】

回折効果は、特に、典型的には高密度で詰込まれた何百から何百万もの小型光学部品を必要とする、大型フォーマットの空間撮像状況にとっては、ＩＭＦＵ設計の別の重要な側面であろう。最も顕著な回折効果は、およそ数十～数百ミクロンである小面の幅によって生じると考えられる。瞳の中では、この回折効果が、図８の（ａ）に示されるように、小面の幅に対して共役である軸における幾何学的直径を伸ばすことにより、楕円形の瞳を作ることがある。この回折によって生じる楕円形の瞳は、システムに対して２倍の効果を有する。第１に、これはクロストークに繋がり得る。クロストークは一般的に、ＩＭＦＵの１つのサブ画像からの光が別のサブ画像の光路の中に入ったときに生じる現象を意味する。第１のサブ画像を形成するＩＭＦＵ光学部品グループは、第２のサブ画像を形成する光学部品グループの隣にある場合がある。クロストークは典型的に、隣り合う瞳、集光対物レンズ、および／または再撮像レンズに生じ、最終画像の劣化に繋がることが多い。１％までのクロストークに対し、最小分離傾斜角度は約$\alpha_{1\%}$＝ｘ／ｆ～１．３５λ／ｂでなければならず、この式においてλは光の波長、ｂは小面の幅である。このクロストークは図８の（ｂ）に示されるように理論的に検証できる。なお、瞳の距離は、たとえば小面の断面、表面粗さおよび入射回折限界スポットサイズといった、ＩＭＦＵに関連する他の要因によって、変化する可能性がある。瞳の間隔は、常にではないが典型的に、選択的撮像素子の集光対物レンズおよび／または再撮像レンズの間隔に関連する。これは選択的撮像素子の要素のうち少なくとも１つに対して軸対称であることが多いからである。第２に、楕円形の瞳は、スペクトルの範囲内に「超分解能」効果を生み出し得る。本明細書で使用される「超分解能」は一般的に、１つの点光源の画像をレイリー基準よりも近い隣接する１つの光源と区別することができるような状況を指す。レイリー基準は、１つの点光源の画像の第１の回折最小値が隣の点の最大値と一致する場合の最小の分解可能な特徴として受入れられている基準であることが理解されるはずである。

【００３８】

大型フォーマットのＩＭＳシステムにとっては、光学部品の限定された、またはほぼ限定された撮像分解能を維持することが重要であることが多い。一般的に受入れられている最小分解可能基準であるナイキストサンプリングでは、少なくとも２つのＩＭＦＵ光学部品が入射回折限界スポットの中にありこれを分解できることが必要である。したがって、ＩＭＦＵの個々の光学部品の幅の範囲は、入射回折限界スポットサイズの幅の約２分の１からスポットサイズ数個までであろう。回折限界スポットサイズは一般的に、光学試料からの極小点の収差のない画像と言われる。

【００３９】

楕円形の瞳は、非対称の点拡がり関数を生み出すことがあり、空間方向に垂直なスペクトル方向における軸がより狭い。この効果は図９において見ることができ、ＩＭＦＵの２８５の小面は幅が７０ミクロンである。これらの小面は２５の多軸傾斜（５つのｘ傾斜、５つのｙ傾斜）に対して配置されている。図９の（ａ）は、実際の瞳のアレイの原画像を示す。比較のために、理論上の瞳のアレイの画像を図９の（ｂ）に示す。これら両画像のｙ軸およびｘ軸双方における断面プロファイルをそれぞれ図９の（ｃ）および図９の（ｄ）で比較する。ｙ軸について（図９の（ｃ））、理論上のおよび測定された瞳の直径および位置は極めて一致度が高い。しかしながら、ｘ軸については（図９の（ｄ））、測定された瞳の直径は、シミュレーションに基づいて予測されたものよりもはるかに大きい。これは、ＩＭＦＵの各ミラー小面に対し追加された屈折力のためである。これはＩＭＳシス

テムのスペクトル分解能を増す第２の方法に繋がる。

【００４０】

ＩＭＳのスペクトル分解能を高めるために、ＩＭＦＵの個々の光学部品は、反射したマッピングライン幅を実際の部品自体よりも小さくなるように圧縮するための屈折力を有していてもよい。これに代えて、光学部品の別のアレイをＩＭＦＵの前または後に加えてこの屈折力を生成してもよい。この屈折力を使用してマッピングラインの幅を実際のＩＭＦＵ部品よりも狭くすることにより、追加されたスペクトルの広がりに対して隣接するマッピングラインの間にさらなる光学空間を形成することにより、システムのスペクトル分解能を増してもよい。加えて、ＩＭＦＵの屈折力を使用して、リレー光学部品の入射瞳を、選択的撮像素子の集光対物レンズまたは集光対物レンズのアレイの入射瞳に、再度撮像し、より小型で光学的に効率的なＩＭＳ設計にすることができる。

【００４１】

ＳＳＵは一般的に、光学試料のスペクトル分離の原因となる。これは、屈折光学部品、回折光学部品または組合された光学部品いずれで構成されてもよい。このような部品の例は、楔、プリズム、回折格子、グリズム（プリズムと格子の組合せであって、カメラ通過時に選択された中央波長の光がずれないように配置される）、計算によって生成したホログラムなどを含み得る。ＳＳＵはＩＭＦＵの後の任意の光学空間に配置してもよいが、選択的撮像素子の瞳の位置にあることが好ましい。なぜなら、特に、すべてのフィールド点からの光が部品の同じ領域を照射することによってより均一的な色分離を与えるからである。分散方向、または複数の分散方向は、画像マッピングフィールドユニットの主マッピング軸を除いてどのような方向でもよい。分散がマッピング軸に生じた場合、色および空間情報が失われるかまたは減少する可能性がある。ＳＳＵは、瞳の空間全体における１つの連続する光学部品かまたはより小さな光学部品のアレイで構成されてもよい。異なるＳＳＵ設計は、各オブジェクト点に対してスペクトル分離が同じまたはこれらの点の間で異なる光学部品のように単純であってもよい。これらは単一のＳＳＵ光学部品として設計することができ、またはこのような光学部品のアレイとして設計することができる。受動および能動部品双方が可能である。能動部品は、液晶変調器（可同調プリズム、楔、回折格子、コンピュータ生成ホログラム（「ＣＧＨ」））、調整可能な傾斜および楔角度を有する楔のアレイ（場合によってはＭＥＭＳに基づく）、電気光学変調器、電磁光学部品、または格子の組合せであり、これは変化する相互回折角度とともに異なる格子定数を与える。能動または受動プリズムを、直視プリズム（すなわちAmici型）で使用されるもののような均一分散および／またはゼロ変位を有するものとして設計することも好都合である。これによりさらに小型で均一的にサンプリングされたスペクトル設計が可能であるためである。

【００４２】

選択的撮像素子は、ＩＭＦＵおよびＳＳＵとともに機能して、分散したオブジェクトを画像センサに再度配置し再度撮像する。上記のように、光学試料は、ＩＭＦＵおよびＳＳＵそれぞれによって空間的およびスペクトル的に再編成してもよい。ＩＭＳ構成は、（ａ）各サブ画像を選択的に分離する光学系、（ｂ）各傾斜方向を選択的に分離する光学系、および（ｃ）マッピング角度総数の間に多数の撮像素子を有する混合設計を含む、多数の可能な選択的撮像素子の種類および位置を含み得る。

【００４３】

いくつかの実施例が提供するＩＭＳ構成は、ＩＭＦＵの幾何学的形態からの同数の光学部品グループおよび／またはマッピング傾斜方向と一致する選択的撮像素子の再撮像光学系のアレイを有する。この解決策の利点は、オブジェクト区域間のさまざまな間隔を与える柔軟性であるが、設計が複雑である場合があり、非対称のマッピング幾何学的形態に対してアナモルフィックな光学部品を必要とする可能性がある。このような方法は、図３の（ｃ）および図３の（ｄ）に示されるようなあるマッピング器の幾何学的形態にとっておよび可同調／動的ＩＭＳ実施例にとって最適であろう。製造された選択的撮像素子の再撮像レンズアレイの例が図１０に示される。このレンズアレイは、図１０の（ｂ）および図

１０の（ｃ）に示されるような、１つの色消しされたダブレットレンズまたは数個のレンズで構成されてもよい。選択的撮像素子の色収差を図１１に示されるように補正してもよい。図１１は、Ｆ帯（～４８６ｎｍ）、ｄ帯（～５８７．６ｎｍ）、およびＣ帯（～６５６．３ｎｍ）のスポット図および変調伝達関数の図を示す。この設計は、これらの可視波長において回折が制限されている。ＳＳＵユニットによって導入されるスペクトル拡散は、図１２に示されるように、さまざまなフィールド位置について、およそ８００ミクロンである。歪を原因とするマッピング収差も最小にすることができるが、これは画像を表示のために再びマッピングできるからである。これはさほど重要ではない。アライメントのために、各サブシステムは、静的または動的いずれかの調整可能な焦点を有していてもよい。可能な動的光学部品は、たとえばＭＥＭＳ、電気湿潤、ミクロ流体、および液晶レンズを含み得る。

【００４４】

他の実施例は、光学系のアレイを有するＩＭＳ構成を提供することができ、マッピング角度の数は、図１３に示されるようにスペクトル拡散に必要な分離画素の数に相当するであろう。しかしながら、この相関関係は必ずしも１対１でなくてもよい。なぜなら、スペクトル拡散を傾斜させてマッピング角度の数よりも多い画素をカバーすることができるが、それでもなお線形的な関係にあるはずであるからである。マッピング光学部品を、画像全体がカバーされるまでＩＭＦＵにおいて繰返してもよい。図１３では、たとえばｙ軸に沿って繰返される固有の傾斜角度が９つある。

【００４５】

ＩＭＦＵミラーの傾斜角度の大きさおよび方向は、各画像マッピングラインからの光が絞りおよび同様に中間瞳に方向付けられる場所を決定することができる。異なるミラー傾斜角度の数は、瞳のサブ領域の数に正比例していてもよい。図１３に示される例では、傾斜角度が９つであるため、瞳のサブ領域は９つである。これらのサブ領域の後ろには、各傾斜ミラーの瞳のサブ領域からの光を撮像センサ（ＣＣＤまたはその他のアレイ検出器）に再び撮像する光学系のアレイがあってもよい。各レンズは、光学試料全体の視野（「ＦＯＶ」）を有していてもよいが、特定のマッピング角度からの光を受けるだけでもよい。結果として、画像のマッピングラインを分離する（またはより複雑なマッピングの場合、マッピングライン部分またはマッピング画素を分離する）大きな暗領域があるかもしれない。ＳＳＵを中間瞳位置に配置して各画像マッピング領域またはマッピングラインからの光をこれら暗領域に対応する角度に分散させてもよい。画像センサ上の最終画像は、図１３の（ｃ）に示されものと同様に見えるであろう。

【００４６】

簡単なソフトウェアアルゴリズムによって、光学試料および各オブジェクトマッピング画素に対するスペクトル情報を再マッピングしてもよい。再マッピングを、たとえばデジタル信号処理（「ＤＳＰ」）ユニットを用いてハードウェアで行なってもよい。ソフトウェアによる解決策でもハードウェアによる解決策でも、３次元（ｘ、ｙ、λ）データキューブをモニタ画面上に実時間で表示することができるであろう。いくつかの実施例では、画像センサが、１つの大型フォーマットの検出器の代わりに、１つ以上のマッピング角度に対応する複数の検出器を含むことも可能であろう。このように、図１３を一例として用いると、大判カメラまたは９つの低分解能カメラ、またはすべてのマッピング角度が撮像されることを保証する任意の数のカメラを用いることができる。複数のカメラの使用を実現することにより、空間およびスペクトル分解能を増し、画像間の、または赤外線（「ＩＲ」）のような大型フォーマットの検出器が一般的に非常に高価で容易に入手できない用途における、未使用の領域を最小にすることができる。単一の部品からなる画像センサは、システムをより小型にし、より均一的な応答を提供し、画像取得を簡単にすることができる。

【００４７】

ある実施例では、ＩＭＳが傾斜軸が１つのＩＭＦＵを含んでいてもよい。これは特に、選択的撮像素子内の構成部品の総数を減じマッピング角度の数を制限し、一方ではそれで

もなおスペクトル拡散に対して十分な分離を与えるためには、有効であろう。たとえば、ＩＭＦＵは１つの方向（ｙ軸の周り）に２、３の傾斜しか必要としない場合があり、スリットまたはピンホールマスクを中間画像面で用いると、画像センサにおける分離を大きくすることができる。他の実施例では、球形または円筒形の再撮像システムのアレイを用いて分離を大きくすることができる。レンズのアレイを利用するシステムは非対称の形状を必要とする場合があり、これは結果として非対称の点拡がり関数となる。これを補うために、これらのシステムは、アナモルフィックなリレー撮像システムを必要とする場合がある。このような１方向傾斜マッピング器の例は図１４に示される。

【００４８】

上記のようにＩＭＳは反射型でもよい。反射型ＩＭＳシステムの例は図１５から図１７に示される。図１５は、傾斜を設けた環状ミラーを有する反射型システムを示す。図１６はビームスプリッタを有する反射型ＩＭＳを示し、図１７は傾斜したＩＭＦＵを有する反射型ＩＭＳを示す。これらのシステムにおいて、上記のようなＳＳＵの任意の選択を用いてもよい。加えて、選択的撮像素子は数多くの異なる構成を有していてもよい。たとえば、単一のコリメート対物レンズおよび再撮像対物レンズのアレイからなるものであっても、または再撮像対物レンズのアレイを有するコリメータのアレイからなるものでもよい。アレイ部品の数も、設計手法および選択された重要な部品構成によっても変わる可能性がある。

【００４９】

本開示のＩＭＳ構成の１つの具体例は、環状ミラーを備えた反射型システムである。このＩＭＳの実施例は一般的に、反射型画像マッピングフィールドユニットで高い光学スループットを維持する。これは、対物レンズ１と集光対物レンズとの間の絞り位置に環状の折返しミラーを配置することによって可能であろう（図１５参照）。（視野絞りの場所にある）光学試料からの光線を対物レンズ１によって撮像してもよく、これは、対物レンズに対する絞りの役割を果たす環状ミラー内の小さな中央の開口を遮られないまま通過する。（黒の線で示される）これらの光線を、集光対物レンズによってＩＭＦＵ上に撮像してもよい。この画像を、たとえば図１３に示される傾斜した矩形の鏡によって水平方向のサブマッピング領域に「マッピング」してもよい。各ミラーは、幅におけるマッピング画素１つのみを除く画像の長さ全体でもよい。異なるミラー角度を、画像全体がカバーされるまでＩＭＦＵにおいて繰返してもよい。図１３では、ｙ軸に沿って繰返される９つの固有の傾斜角度がある。これらのミラーから反射した光（図１５の彩色された線で示される）は、集光対物レンズを通って戻ってもよいが、第１の対物レンズの絞りの外側の環状のミラー領域に戻る。環状のミラー面は、集光対物レンズ（Ｌ２）の絞りとして作用することができ、また元々のシステムの経路から光を瞳リレーに向かって反射してもよい。なお、集光対物レンズおよび再撮像レンズアレイは選択的撮像素子を形成する。

【００５０】

集光対物レンズと再撮像レンズアレイとの間に配置された瞳リレーは、環状ミラー（絞り）をよりアクセスしやすい中間の瞳の場所に撮像する一方で、最終画像を画像センサ上に合わせるのに適切な倍率を加える。マッピングミラー傾斜角度の大きさおよび方向は、対応する画像マッピングラインからの光が絞りまたはその共役中間瞳場所のどこに向けられるかを決定し得る。異なるマッピング角度の数は、瞳のサブ領域の数に正比例してもよい。レンズのアレイによって、特定のマッピングサブ領域の各サブ瞳からの光を、ＣＣＤ検出器またはその他のアレイ検出器といった画像センサ上に再び撮像してもよい。各レンズは、光学試料全体のＦＯＶを有していてもよいが、各々は特定のマッピング角度からの光しか受けないであろう。ＳＳＵを選択的撮像素子の絞りまたはその共役瞳位置に配置して、各マッピングラインまたはマッピング領域からの光をこれら暗領域に対応する角度に分散させてもよい。

【００５１】

上記システムには、全体の機能性を保ちつつ以下の小さな変形があってもよい。環状ミラーに小面を形成することにより、マッピングされた光の一部を元のシステムの経路から

外れた方向に偏向させてもよい。環状ミラーは、中央領域が好ましいが表面上の任意の場所において遮蔽されていない領域を有していてもよい。鏡面は平坦である必要はないが、それに関連する何らかの屈折力を有していてもよい。集光対物レンズを、固有の（または数個の）マッピング角度を受けるように配置してもよい。瞳リレーも、空間データの圧縮のために配置および／またはアナモルフィックにしてもよい。また、ＳＳＵは１つのシステムまたはシステムのアレイでもよい。ＳＳＵは、屈折型、回折型、および／または組合せ部品でもよい。レンズアレイはアナモルフィックにしてもよい。環状ミラーは、その表面上またはその表面近くに配置されたＳＳＵを有していてもよい。

【００５２】

本開示のＩＭＳ構成の別の具体例は、ビームスプリッタを有する反射型ＩＭＳである。ビームスプリッタを有するこの反射型ＩＭＳは、ビームスプリッタによって接続された２つの光路からなるものであってもよい。一方は「再撮像」光路（Ｌ０、Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３およびＩＭＦＵで構成される）と呼ばれ、他方は「マッピング」光路（ＩＭＦＵ、Ｌ３、Ｌ２、Ｌ４、光学系のアレイＬ５、ＳＳＵ、および画像センサで構成される）と呼ばれる。このシステムの１つの実施例が図１６に示される。ここでは、ＩＭＦＵが光をＮ＝２５の異なる瞳に反射するが、この数は任意の数でよい。画像センサ上の空白領域の大きさはＮに比例してもよい。Ｌ０、Ｌ３およびＬ５のアレイの開口は、画像リレーシステムによって共役にされる。分散プリズムは、Ｌ５のアレイの入射瞳に配置されて光学試料からのマッピングラインからのスペクトルを拡散させることにより、ＳＳＵとして機能してもよい。光学試料の画像は、Ｌ３、Ｌ２、Ｌ４、およびＬ５を通過後、マッピングされてもよく、ビームを、コリメートし、分散させ、再撮像してもよい。実際、画像を、画像センサ上に、検出器領域の上に分散させたマッピングラインのパターンで、マッピングしてもよい。各ｘ、ｙ、およびλ要素を、異なるカメラ画素に直接マッピングしてもよい。撮像システムは、オブジェクト空間および画像空間双方についてテレセントリックであることで焦点ずれの影響を小さくしてもよい。残念ながらこの仕組みは非常にエネルギ効率が低く、光の約７５％まで失われる可能性がある（５０％ビームスプリッタで２回通過するため）。その最大の利点は、単純で対称性があることであり、これによって画像センサアレイ全体を容易に使用することができる。

【００５３】

本開示のＩＭＳの別の具体例は、反射型で傾斜したＩＭＳである。１つのこのようなＩＭＳシステムは、図１７に示され、任意のリレーレンズ、ＩＭＦＵ、コリメートレンズのアレイ、ブレーズド回折格子、再撮像対物レンズのアレイ、および像平面に位置する画像センサからなる。回折格子の線はこの文書の頁の面に平行であるため、示されている断面において散乱効果は見えない。ここでモデルとして形成されているＩＭＦＵには、像の異なる高さに位置する４つの傾斜した小面（マッピングライン）がある。これにより、図１７に示されているように、画像を、複数のマッピング画素行によって分離された、Ｘ方向に沿うマッピングラインに、再編成することができる。回折格子はこれらのマッピングラインをｙ方向に拡散させてもよく、これによって空間およびスペクトル情報双方を同時に、走査なしで記録できる。このシステムの１つの利点は、これがビームスプリッタによる光の損失を回避することである。その最大の欠点はマッピング部品の傾斜であり、これによって、結果として焦点から外れる領域が増える可能性がある。これは、オブジェクト／中間画像を傾斜させて共役面を最適化することによって埋合わせてもよい。

【００５４】

上記のようにＩＭＳは屈折型でもよい。このようなＩＭＳは、反射型システムと、ＩＭＦＵが反射型の代わりに屈折型部品であること以外、概念的には同様である。このようなＩＭＳの１つの利点は、このシステムは広げたままにすることができるので、光学機器があまり複雑でなくより小型になる点である。屈折効果は、望ましくない分散を導入してスペクトル分離を生じさせることもある。マッピング中のスペクトル分離によって、近隣の像点が最終画像で重なり、情報を曖昧にし、画像処理の補正が必要になる場合があることが、本開示の利益を受けた当業者には理解されるはずである。これにより、ＩＭＳシステ

ムの主な利点のうちの１つである、実時間画像表示のための直接的で明確なデータ取得が損なわれる可能性がある。したがって、ＩＭＦＵ内の屈折光学部品のこのスペクトル分離およびその他の色収差を補正することが好都合であろう。これは、分散が異なる２つ以上の屈折性材料を組合せること、屈折および反射部品を組合せること、ならびに回折および屈折部品を組合せることを含むがこれらに限定されない数多くの方法で行なうことができる。光学試料からの光を、リレー光学素子Ｌ１（たとえば図１８に示される）が中継してＩＭＦＵに送ってもよい。この画像は、ごく小さなプリズムによって多くのサブ領域または個々のマッピング画素に「マッピング」されてもよい。これらプリズムは、それらに関連した異なる角度があってもよく、図１８で異なる色で示されているように、光を異なる経路に沿って進ませてもよい。「マッピングされた」画像からの異なる光路を対物レンズＬ２によって集め、瞳の中の特定のサブ領域に導いてもよい。ＳＳＵは、これらサブ領域の光を、最終画像の中でＩＭＦＵによって形成された暗領域に対応する異なる角度に分散させてもよい。ＳＳＵの直後に、レンズのアレイが光を画像センサ（たとえばＣＣＤ、ＣＭＯＳ、または同様の検出器）上に再び撮像してもよく、ここで簡単なソフトウェアアルゴリズムが光学試料をスペクトル情報を用いて再びマッピングすることができる。

【００５５】

上記システムには、全体の機能性を保ちつつ以下の小さな変形があってもよい。対物レンズ２を、固有の（または数個の）マッピング角度を受けるように配置してもよい。また、スペクトル分離ユニットは１つのシステムまたはシステムのアレイでもよい。スペクトル分離ユニットは、屈折型または回折型部品でもよい。レンズアレイを、スペクトルまたは空間情報圧縮のためにアナモルフィックにしてもよい。

【００５６】

本開示のあるＩＭＳに対する別の手法は、視野絞りがレンズの焦点面と一致するように配置された「レンズのアレイ」の用途に基づく。このようなＩＭＳ構成は反射および屈折手法を用いてもよい。マイクロレンズアレイは、並列サンプリングプローブの役割を果たすことができる。図１９はこの概念を示す。全体的な撮像原理はここでも同じであり、ＩＭＳに上記レイアウトで使用されたものと同様の他の部品を補充してもよい。このシステムのこの場合の空間分解能は、アレイ内のレンズの詰込み密度によって決まるであろう。なぜなら、各レンズが１つの像点に関わり得るからである。視野絞りから出た光線は、マイクロレンズ通過後、光軸に平行に現われ得る。マッピング器で反射すると、光線は特定の方向に伝搬して必要な画像マッピングを実現するであろう。この手法の１つの利点は、焦点外れに対して反応しないことである。このシステムの精度は、アレイ内のレンズの均一性およびビームのコリメートの質に依存するであろう。

【００５７】

より多くの量のおよび／またはより高品質のスペクトル情報を取得するために、図２０に示されるようにダイクロイックミラーを選択的撮像素子の画像空間に追加してもよい。ダイクロイックミラーによって、このシステムは、光学試料からのスペクトル情報を、可視光線と近赤外線といった隣り合うスペクトル帯および紫外線と中波赤外線といった隣り合っていないスペクトル帯を含む２つ以上の異なるスペクトル帯で、収集できる。加えて、このスペクトル情報を単一のスペクトル帯の中でも高めて、スペクトル分解能を元のシステムの２倍以上にしてもよい。図２０に示される構成は、追加のカメラ（画像センサ検出器＃２）を利用することにより、第２の帯域の情報を収集することができる。この図において、画像センサ検出器＃１は、可視帯の赤から緑の領域から光を収集してもよく、画像センサ検出器＃２は、緑から紫外線までの光を収集してもよい。しかしながら、この概念を、図２１に示されるように選択された波長領域のフィルタが近隣の検出器画素の行の前に配置されている、単一のカメラ画像センサに応用してもよい。フィルタなしの画像センサ検出器は、図２１の（ａ）に示されるように、光学試料からの１つのマッピングライン（ライン＃１）からのスペクトルを、光学試料からの次のマッピングライン（ライン＃２）に拡散させるだけの場合がある。この例については、ライン＃１からの青色－紫外線スペクトルのための空間がない。フィルタ（たとえば図２１の（ｂ）参照）を画像センサ

に追加し、画像の点拡がり関数をオーバーサンプリングすることによって、ライン２からさらなるスペクトルを得ることが可能であろう（たとえば図２１の（ｃ）参照）。この手法の代価は、システムの光学スループットが低下し得ることである。これを克服するには、ＣＣＤおよびＣＭＯＳ画像検出器で既に使用されているものと同様のレンズアレイを用いてフィルファクタ（fill factor）の問題を解消すればよい。

【００５８】

別のＩＭＳ構成は、マイクロレンズアレイおよび／またはマイクロ視野絞りアレイを用いてマッピング器上の小面を光学的に圧縮し、スペクトルのためのさらなる空間を生み出してもよい。１つの可能な実施例が図２２に示される。この例では、１組のマイクロ円筒レンズアレイが、選択的撮像素子の後の、サブ画像面近くに配置される。レンズアレイおよび／またはマイクロ絞りアレイは、画像の子午面ではなくその正中面に屈折力を加えることができる。これにより、画像をスペクトル拡散させるために用いられる方向でもある正中面においてより狭い非対称の点拡がり関数を最終画像面に形成することができる。

【００５９】

動的ＩＭＳシステムを図２３に示す。このシステムは、３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブ全体に対してデジタル光学ズームカメラシステムのように機能することができ、動作中ＩＭＳ構成を変えることにより光学試料の１つまたは複数のマッピング領域から異なる空間およびスペクトルサンプリングを得る。対象となる１つの以上の領域（「ＲＯＩ」）にズームし、より高いスペクトルおよび空間分解能を得ることが可能であろう。本明細書で使用される「ズーム」は一般的に、光学試料の画像のＲＯＩのサンプルの数を増やすことを意味する。デジタルズームは、画像センサを含むセンサのアレイを電子的に再構成することにより画像センサの選択された領域内のサンプルの数を変更することができる。光学ズームは一般的にハードウェア再構成を意味し、これにより、光学試料の画像を変更してそのサンプリングを画像センサによって変えることができる。スペクトルズームは一般的に、所与のスペクトル範囲に対する検知素子の数を増すこと、または所与の数の検知素子に対するスペクトル範囲を減じることを、意味する。空間ズームは一般的に、所与の空間マッピング領域に対する検知素子の数を増すこと、または所与の数の検知素子に対する空間マッピング領域を減じることを意味する。これは、システムの重要な部品すなわちＩＭＦＵ、ＳＳＵ、選択的撮像素子、および任意で画像リレーレンズ、のうち１つ以上に対して動的部品を利用することによって実現されるであろう。リレーレンズは、光学試料の画像の大きさを変更することができ、ＩＭＦＵ上の画像サンプリングを増すことにより空間ドメインをズームする。複数のＩＭＦＵおよび／または動的リレーレンズが使用される場合、図２５と同様に、光学ズームを画像上の２つ以上の場所に設けることが可能であろう。動的ＩＭＦＵは、ＭＥＭＳ技術を用いてミラーの傾斜を調整し対象となる画像マッピング画素を選択的撮像素子に向けて選択的に反射し、スペクトルおよび空間ドメイン内にズームを作り出すことができる。次にこれらのマッピング画素を、ＳＳＵの分散を動的に調整することによって、多少スペクトル拡散させてもよい。ＳＳＵのスペクトル拡散を調整するための１つの可能な手法は、平凸および平凹レンズ対または同様の材料を利用することによってプリズムのような構造（たとえば図２３参照）を形成することである。平凸レンズを回転させることにより、プリズムの角度が変化し、プリズムの分散も変えることができる。動的に変化できる最後の部品は、選択的撮像素子内のレンズアレイである。レンズアレイのパワーを調整することにより、最終画像の大きさも調整することができ、スペクトルおよび空間双方について画像のサンプリングの増加を生み出す。これはまた、（カメラをビニングすることにより）画像をより速くするおよび／または動的範囲を改善することを可能にするであろう。

【００６０】

上記屈折型または反射型手法に代えて、ＩＭＳシステムは、導波路マッピング器を使用することによって図２４の（ａ）に示されるように隣接する像点の間に光学的に空白の領域を形成してもよい。リレー光学部品（１次瞳および０、１または２以上の任意のリレーレンズ）は、光学試料を導波路マッピング器の入力面上に撮像する。図２４の（ｂ）に示

されるように、導波路マッピング器は、個々の導波路からの光を、マッピング器の面の出力の分離されたマッピング画素に案内してもよい。なお、このマッピングは、マッピング器の入力端と出力端との間で干渉性または非干渉性でもよい。マッピング器の面を、大きなＦＯＶ対物レンズ（Ｌ２）によって撮像し、ＳＳＵによって分散させ、再撮像レンズによってＣＣＤ検出器といった画像センサ上に撮像してもよい。この構成は、屈折型および反射型構成部品よりも複雑ではない選択的撮像素子を利用するが、各導波路構造の周りに集中するため光学スループットはより低い可能性がある。

【００６１】

ＩＭＳシステムの別の実施例は、互いに撮像される２つ以上のＩＭＦＵ素子を含む。言い換えれば、これらは互いの画像共役物である。複数ＩＭＦＵ共役構成は図２５に示される。この設計において、光学試料を任意のリレーレンズを通して第１のＩＭＦＵ上に撮像してもよい。このリレーシステムは任意である。なぜなら、光学試料は何らかの前方光学素子を用いて第１のＩＭＦＵ上に直接撮像できるからである。第１のＩＭＦＵは、ＩＭＦＵリレーレンズによって第２のＩＭＦＵに撮像してもよい。次々にまたは並列に順次カスケード接続される複数のＩＭＦＵリレーレンズおよび複数のＩＭＦＵが、ＩＭＦＵおよびリレーレンズのアレイを形成してもよい。このアレイ手法は、システムを小型に保つのに有利であろう。図２５では、設計概念を限定するためではなく単純にするために、示されているＩＭＦＵは２つのみである。最後のＩＭＦＵ（図２５の第２のＩＭＦＵ）および選択的撮像素子の後、ＳＳＵおよび画像センサはたとえば図１８の例の先の概念と同じように機能する。この設計のＩＭＦＵは、静的または動的または組合せでもよい。この種のＩＭＳシステムは、動的システム（図２３）において有利で、第１の部品は光学試料から１つ以上のＲＯＩを選択することができ、これらＲＯＩを第２のＩＭＦＵに導いて１つ以上の画像センサ検出器に対してより高度のサンプリングおよびマッピングを行なってもよい。この手法はまた、最終マッピングの１つの側面にしか関わらない各共役ＩＭＦＵによって、各ＩＭＦＵの設計を簡単にできるであろう。たとえば、第１のＩＭＦＵはｘ軸における傾斜に関わっていてもよく、第２のＩＭＦＵはｙ軸の傾斜に関わっていてもよい。このことは、この実施例の各ＩＭＦＵが他のＩＭＦＵと同一の幾何学的形態または機能を有している必要はなく、各ＩＭＦＵは独立して機能しても依存して機能してもよいことを示唆している。

【００６２】

先に述べたように、ＩＭＳを多数のさまざまな応用例に適合させることができる。たとえば、ＩＭＳは内視鏡に特に適しているであろう。このＩＭＳ概念の内視鏡版を図２６に示す。ＩＭＳシステムの動作についての説明は、広帯域源がここでの光学試料となる組織（肉眼で見えるまたは顕微鏡で見える大きさ）のある領域を照射し得る干渉性のマルチファイバの束（「ＭＦＢ」）の組織（遠位）側から始まる。これ以外の内視鏡撮像部品も、図２６に示されるＭＦＢの代わりにまたはこれに加えて使用できる。これら内視鏡撮像部品は、非干渉性ファイバの束、小型対物レンズ、小型レンズ、およびグリンレンズを含み得る。組織からの反射光および／または蛍光を、小型対物レンズを通して収集しＭＦＢの遠位端に撮像した後、近位端に伝えてもよい。画像リレーシステムは、ＭＦＢ近位面からの組織画像を拡大し再びＩＭＦＵに撮像してもよい。ここでの例示のために、ＩＭＦＵは、像面での１×２００マッピング画素に相当する大きさのミラー小面のアレイで構成されていてもよい。なお、ＩＭＦＵも、プリズム、レンズのアレイ、および／または部品の組合せで構成されていてもよい。各ミラー小面は、組織画像（光学試料）の一部を、選択的撮像素子の瞳内の特定の領域に偏向させてもよい（異なる光線色で示す）。光を、瞳の中においてＳＳＵ（すなわちプリズムアレイ）によりスペクトル拡散（すなわち分散）させて、マッピング面とは方向が異なる面における角度の範囲としてもよい。再撮像レンズアレイは各サブ領域を画像センサ上に撮像してもよい。各サブ画像は１組のマッピング領域に対する空間およびスペクトル情報を含み得る。最後に、簡単なソフトウェア再マッピングによって、サブ画像を再結合して光学試料（組織）の「マッピングされていない」画像を形成する一方で、各マッピング領域のスペクトル特徴を保存する。走査または画像処理

がないため、このシステムは内視鏡用途において重要な実時間でのハイパースペクトル画像の取得および表示を行なうことができる。

【００６３】

眼科医は長い間さまざまな目の状態および病気の評価において光学装置に依存してきた。特に重要なのは、目の内面の後側にあり光信号を脳が処理できる信号に変換する感光光受容体を含む目の網膜の撮像である。網膜の観察および画像取込には、網膜の照射および撮像を同時に行なうことができる眼底カメラと呼ばれる複雑な光学装置の使用が必要である。照射システムが外部照射か内部照射かによって設計が異なる主に２種類の眼底カメラがある。いずれの種類が与える入射照明も、網膜によって散乱した後、眼科医が直接見ることができる眼底カメラの撮像素子部によって捉えられる、および／または画像検知装置によって捉えられる。眼科医が網膜の写真を記録するためにＣＣＤまたはＣＭＯＳカメラといったデジタル検出器を使用することがますます多くなっている。これらのデジタル写真を用いて、何らかの病気を識別し、その病気の患者の生涯にわたる進行を追跡することができる。これに関連して、ＩＭＳシステムは眼科学にとって重要な撮像ツールとなるであろう。このシステムは、網膜の３次元（ｘ，ｙ，λ）画像を、画像内の各マッピング画素からのスペクトル内に含まれるさらなる診断情報とともに取得することができる。図２７は、眼底カメラに組込まれたＩＭＳシステムの一例を示す。ＩＭＳシステムは、網膜の画像が位置する眼底カメラのサイドポートまたはカメラポートに配置される。ＩＭＳシステムは、目を撮像するための独立型システムとして使用することもできる。独立型ＩＭＳシステムの場合、眼底カメラで通常使用されているのと同じやり方で、システムの外部からまたは内部で照射をＩＭＳシステムに取入れることができる。眼科に応用されるＩＭＳシステムの主な利点は、ＩＭＳシステムがその３次元データキューブを迅速な実時間撮像のために正に並列に収集できる点である。これは、目の動きが不随意であるために生じる一時的な曖昧さを軽減するのに重要である。並列に取得することによって、照射の強度を低下させることもできる。なぜなら、すべての像点から収集した信号は同時に統合され、患者の目の負担が少ないからである。ＩＭＳシステムにとって必要である簡単なソフトウェア画像再マッピングによっても眼科医に対して実時間のフィードバックが可能であり、診察を管理しより高品質の診断情報を提供するのに役立つ。

【００６４】

本発明をより理解しやすくするために、以下で具体的な実施例の例を示す。以下の例は本発明の範囲全体を限定または規定すると理解されてはならない。

【００６５】

実施例

作業卓上プロトタイプＩＭＳおよびマッピング素子（またはマッピング器、画像マッピングフィールドユニット、または「ＩＭＦＵ」）のプロトタイプを組立て、ビームスプリッタを備える反射型画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）として構成した。このプロトタイプシステムの概略図および実際の組立の図を図２８に示す。

【００６６】

このＩＭＳ構成の光学試料は、倒立顕微鏡、すなわち市場ではカールツァイス社（Carl Zeiss Inc.）から入手できるAxio Observer A1またはAX10から得た。実演のために、選択的撮像素子のレンズアレイを、単レンズ（低倍率顕微鏡対物レンズ）と置き換え、異なる瞳位置に移して対応する傾斜角度の視野（「ＦＯＶ」）を撮像した。ＩＭＦＵのプロトタイプは、高純度アルミニウムのラスターフライカットを用いて製造した。マッピング素子には１方向のみにおいて５つの傾斜角度があった（合計１７５のランプミラー）。ＩＭＦＵを製造するために、Nanotech 250UPLダイヤモンド回転旋盤を用いた。最初の光学部品の切削プロセスは、約１２０時間と長時間を要した。所望のマッピング素子を作っておけば、複製または成形プロセス（たとえば射出成形、打抜き成形など）いずれかによって大量生産することができ、より手頃になる。

【００６７】

図２９の（ａ）は、第１のプロトタイプＩＭＦＵを示す。図２９の（ｃ）に示されるよ

うに、個々の光学部品の小面をさらに特徴付け、市場ではザイゴ社（Zygo Corporation）から入手できる白色光干渉計NewView 5000を用いて角度および表面品質を検証した。マッピング素子の前および側面にバッフルを追加して遷移マッピング光学部品からの散乱光を減じてもよい。また、レンズアレイをマッピング器に追加し、散乱光をマッピング器の光学部品のエッジから外してマッピング光学部品の表面の中央により近くなるように集めることによって、散乱光を減じ易くしてもよい。レンズアレイも近隣のＩＭＦＵ光学部品の陰影効果を減じることができる。これは特に、高さの相違が最大になるであろう光学部品のエッジ部分では重要である。プロトタイプＩＭＦＵは、ダイヤモンドフライカット技術を用いて製造したが、ダイヤモンドフライス加工およびグレースケールリソグラフィといった他の技術を所望の幾何学的形状に応じて用いて製造してもよい。グレースケールリソグラフィは、この素子の大量生産のための代替技術であるが、最初の開発段階で多大なプロセス開発時間およびコストを要する場合がある。

【００６８】

図３０は、このシステムプロトタイプを用いて実施された最初の撮像実験を示す。図３０の（ａ）は、中央ＦＯＶに対する１９５１ＵＳＡＦ分解能試験対象の画像を示す。この図面はマッピング方向を１つしか示しておらず、この場合分散は導入されなかった。図３０の（ｂ）は、ＩＭＳが単一モード（λ～６３０ｎｍ）ファイバレーザ（オブジェクト）からの出力を画像マッピング器の少なくとも５つのマッピングラインに撮像しているときの、選択的撮像素子の瞳の画像を示す。この例では、ＩＭＦＵの各マッピングラインは概して、入射画像の１つの（場合によっては不連続な）ラインを固有の方向に反射することができる小型ランプミラーである。５つの明るい領域は、異なるライン光学部品およびその対応する角度から反射したオブジェクトからの光に対応する。線形のＩＭＦＵの幾何学的形態および表面粗さによって生じる回折および迷光効果が、これら中央領域の外側の光の強度の原因となる。再撮像レンズをある瞳位置から次の位置へと移すと、結果として得られる画像は、異なる１組の線形マッピングという点を除けば図３０の（ａ）に示されるものと同様である。

【００６９】

図３０の（ｃ）は、ハロゲン光源によって照射された光ファイバのプロトタイプシステム（ＩＭＦＵおよびＳＳＵを除く）によって撮影された画像を示す。この多色画像は、広いスペクトル帯で構成され、標準撮像システムから得られるであろう典型的な画像を表わす。この画像は一般的には白い円に見え、スペクトル情報はすべて失われる。この画像の中には、最終システムで修正できる横方向の色収差のために画像内にいくつかの青色および赤色の外側領域がある。プロトタイプシステムを再構成してＩＭＦＵおよびＳＳＵを含むようにした場合、この多色画像の全スペクトル特徴が得られる。これは、傾斜角度が同一の１組のランプミラーについて図３０の（ｄ）に示される。画像のスペクトルデータからわかるように、マッピングラインは、近隣ミラーマッピング部品（繰返される赤から緑の領域）の間の空白領域に分散している場合がある。最終画像を復元するために、再撮像レンズを他の瞳の位置に移動させて他のマッピングラインの画像を取得し、単純な画像処理を行なって当初の画像をそのスペクトル特徴とともに復元することができる。

【００７０】

第２の作業用プロトタイプＩＭＳを構成してこれが蛍光顕微鏡画像を取得する機能を実演した。ＩＭＳは、空間およびスペクトルドメインそれぞれについて約０．４５ミクロンおよび約５．６ｎｍ分解能に相当する、１００×１００×２５サンプリングの３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを得ることができた。このＩＭＳシステムを、前光学素子として市場ではカールツァイス社から入手できる倒立顕微鏡ＡＸ１０に結合した。このプロトタイプシステムの写真を図３１の（ａ）に示し、概略的なレイアウトを図３１の（ｂ）に示す。試験片を顕微鏡の台の上に置き、市場ではＥＸＦＯライフサイエンス＆インダストリアルディビジョン（EXFO Life Sciences & Industrial Division）から入手できる120W X-cite（登録商標）アークランプによって照射した。蛍光信号を、市場ではカールツァイス社から入手できるEC Plan-Neofluar、４０×／開口数～０．７５の対物レンズを用い

た。中間画像を、ＩＭＳシステムの視野絞りと同一場所にある顕微鏡の側部の画像ポートの外側で形成した。視野絞りにおける中間画像を、最初に倍率約１０倍の画像リレーシステム（オブジェクトおよび画像空間双方においてテレセントリック）によって特注生産の画像ＩＭＦＵに再度撮像した。この画像リレーシステムの１つの役割は、画像の分解能を、画像ＰＳＦの大きさをＩＭＦＵの大きさと一致させることによって保存することである。他の役割は、主光線を正しく誘導するＩＭＦＵの側面で厳密なテレセントリック性を与えることである。ＩＭＦＵは、２５の異なる２次元傾斜角度（ｘ軸およびｙ軸双方に対して０°、±０．２３°、±０．４６°）を有する１次元ミラーアレイであり、これはマッピングされた画像のゾーンを２５の異なる方向に反射することができた。ＩＭＦＵ上のマッピング光学部品の総数は１００で、各々の寸法は長さ約１６ｍｍ×幅約１６０μｍであった。図３１の（ｂ）において、ｙ軸に対する傾斜角のみが示されている。方向が変えられた光を、集光レンズ（約１３０ｍｍのチューブレンズ、市場ではカールツァイス社から入手できる、開口数～０．０３３、ＦＯＶ～２５ｍｍ）によって集め、瞳の面に２５の別々の瞳を形成した。市場ではエドモンドオプティクス社（Edmund Optics）から入手可能な約５．５６×のビーム拡大器（Gold Seriesテレセントリックレンズ58258、ＦＯＶ～８ｍｍ）によって瞳の寸法を調整し再撮像レンズアレイ光学部品のものに合わせた。拡大した瞳を、市場ではタワーオプティクス社（Tower Optics）から入手可能なカスタムプリズム、ＳＦ４、楔角度約１０°、によって分散させ、再撮像システムの５×５アレイによって、大型フォーマットのＣＣＤカメラ（Apogee U16M、４０９６×４０９６画素、画素サイズ約９ミクロン、ＲＭＳノイズ：１０．５ｅ－、暗電流：０．１３ｅ－／画素）上に、再撮像した。各再撮像レンズは、焦点距離約６０ｍｍの正の色消しダブレットレンズ（エドモンドオプティクス社の４７６９８、直径～６．２５ｍｍ）および焦点距離約１２．５ｍｍの負の色消しダブレットレンズ（エドモンドオプティクス社の４５４２０、直径～６．２５ｍｍ）で構成されて焦点距離の長い（焦点距離～３５０ｍｍ）レンズを形成した。なお、ここで示されるＩＭＳプロトタイプは、全ＣＣＤ分解能を使用しない。しかしながら、この大型画像センサにより、将来のシステム開発におけるシステム分解能を改善された分解能にすることができるであろう。

【００７１】

最終画像のフォーマットは、３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブの記録２次元画像センサへのマッピングを最大化するのに非常に重要であろう。多くの場合、画像センサ上の各検出器または画素が光学試料からの信号を記録することが好都合である。明確なデータ収集のために、データキューブ内の各ボクセルは、画像センサ上のおよそ１つの画素に対応していてもよい。画像センサ内の利用できる検出器のうちすべてまたはほとんどを効率的に利用する明確なマッピングは、ＩＭＦＵからのサブ画像が互いに近接していることを必要とするであろう。なお、構成のほとんどにおいて、画像センサは、ＩＭＦＵの２つ以上のサブ画像を有し得る。製造誤差、光学収差、迷光、他の説明できない製造誤差および光学効果の補正のために、ＩＭＦＵの幾何学的形態は、隣接するサブ画像間に一定の距離を設けてもよい。理想的には、この未使用の画像センサ表面領域は、全検出表面積の約４０％以下の大きさでなければならない。一方、サブ画像が重なり合って不明確なデータおよび明確なデータ双方を含むことも有益であり、これはシステムの利用できるスペクトルおよび空間成分を改善し得る。この重なりは、画像センサ上の数個の検出器と同じほど小さくてもよく、画像センサ上のすべての検出器まで及んでもよい。先に述べたように、サブ画像の重なりが大きすぎる場合の欠点は、ソフトウェア復元アルゴリズムが非常に長時間を要し、ＩＭＳがデータを実時間表示する機能が失われることである。マッピングされた最終画像のサブ画像が、表１に記載されているような業界標準カメラフォーマットおよびアスペクト比に一致するように配置されることも有利であろう。しかしながら、特別フォーマットを使用してもよい。

【００７２】

【表１】

表1 画像センサフォーマット

撮像素子フォーマット	アスペクト比	幅 (mm)	高さ (mm)	対角線 (mm)
¼ in.	4:3	3.2	2.4	4
1/3 in.	4:3	4.8	3.6	6
½ in.	4:3	6.4	4.8	8
2/3 in.	4:3	8.8	6.6	11
1 in.	4:3	12.8	9.6	16
4/3 in.	4:3	17.8	13.4	22.3
APS	3:2	25.1	16.7	30.1
35 mm	3:2	36.0	24.0	43.3
48 x 36 mm	4:3	48.0	36.0	60.0
645	4:3	56.0	41.5	69.7
10.5 / 16.8 MP	1:1	36.8	36.8	52.1
4.3 MP	1:1	50.02	50.02	70.7

【００７３】

表１に記載された寸法は、各画像センサ製造業者に少し違いがあるため、おおよその寸法である。最も一般的なアスペクト比のうちのいくつかは、１：１、３：２、および４：３であろう。

【００７４】

このプロトタイプＩＭＳの再撮像レンズセットのＦＯＶは、隣接するレンズセットと重なることによってＣＣＤカメラの利用可能な領域を最大化するように設計された。ＩＭＦＵプレートの画像全体は正方形の形状であるが、再撮像レンズセットのＦＯＶは円形であったので、ＩＭＦＵプレートの画像の外側には存在するＦＯＶの内側以外の４つの空白領域があった（図３２参照）。これら空白領域のため、近隣の再撮像レンズセットのＦＯＶは重なることができた。これにより、ＣＣＤカメラ上の撮像領域を十分に利用することができた。このＣＣＤカメラは、正方形の（３６．８×３６．８ｍｍ）表面積内に１６のメガピクセルを含む１０．５／１６．８ＭＰフォーマットチップを使用した。

【００７５】

画像性能を検証しＩＭＳプロトタイプの空間およびスペクトル分解能を試験するために、分散していない１９５１ＵＳＡＦ分解能テスト対象を撮像し、（１つのミラーマッピング部品からの）１つの画像マッピングラインの点拡がり関数（「ＰＳＦ」）を測定した。蛍光ビードを用いて作った試験サンプルのスペクトル画像を取得した。結果を図３３～図３６に示す。

【００７６】

第３のプロトタイプＩＭＳを構成し、蛍光標本に対して２８５×２８５×６２の３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを収集することが可能な大型フォーマット構成を示した。ＩＭＳ構成のレイアウトは、第２のプロトタイプと同様であり、図３７に示される。このＩＭＳ構成は、大型フォーマットＩＭＦＵにおける主要な技術的進歩を表わす。ＩＭＦＵは幅がわずか約７０ミクロンで高密度で詰込まれたミラー小面光学部品を有し、２８５の小面をリレー光学素子のＦＯＶの中に置くことができた。小面の大きさが小さいため、回折効果を設計において考慮する必要があり、さらなる傾斜角度を与えてサブ撮像システム

間のクロストークを最小にした。最後に、ＩＭＦＵの幾何学的形態を最適化してエッジ侵食効果を減じシステムスループットを改善した。

【００７７】

第３のプロトタイプの生物学的撮像機能を、MitoTracker Red CMXRosでインキュベートしてミトコンドリアを標識し、BODIPY FLファラシジンでフィラメントアクチン（Ｆアクチン）を標識し、ＤＡＰＩで核を標識したウシの肺動脈の内皮細胞を撮像することによって、評価した。カラーＣＣＤカメラを用いて撮影した基準画像を、比較のために図３８の左上に示す。下側の一連の画像は、ＩＭＳシステムを用いて１回の約４秒の統合事象で撮影した。２５のスペクトル画像のサンプルを、約５０５から約６８４ｎｍのスペクトル範囲にわたって表示し、サンプリング平均は約５ｎｍである。セル内のスペクトル符号化特徴は、容易に識別可能であり、基準画像との強い相関関係を示す。

【００７８】

さまざまな幾何学的形態のＩＭＦＵを製造するために、３つの異なる表面成形ツール設計を開発した。表２は、各表面成形ツールの異なる設計仕様を示す。ツール＃１は、図３１に示されるＩＭＳ蛍光ハイパースペクトル顕微鏡内で使用される１００部品のＩＭＦＵを製造するために使用される第１の表面成形ツールであった。この表面成形ツールは、幅が約１６０ミクロンの平底のチップを有し、辺の長さが約１６ｍｍの正方形のＩＭＦＵを製造するために使用された。ツール＃２は、約７５ミクロンの平底の表面成形ツールであり、図３７に示されるより大型のフォーマットのＩＭＳシステムのために開発され、これはそれでもなお集光対物レンズのＦＯＶの制約の中にある。この表面成形ツールは、空間サンプリングを２５０部品のＩＭＦＵまで拡大した。ツール＃３も幅が約７５ミクロンであったが、刃先角を小さくしてエッジ侵食効果を最小にしている。

【００７９】

【表２】

表2 表面成形平底ツール設計パラメータ

パラメータ	ツール#1	ツール#2	ツール#3
刃先角θ（度）	20±0.5	20 ±0.5	5 ±0.5
横逃げ角α（度）	3	3	3
チップ逃げ角φ（度）	6	5	5
トップすくい角β（度）	0	0	0
ツールチップ幅（μm）	150±15	70 ±7	70±7
切削の最大深さ（μm）	500	300	300
エッジの質	750 X	750 X	750 X
材料(ダイヤモンド)	合成	合成	合成

【００８０】

ＩＭＦＵの製造のために、高精度ＣＮＣ４軸ダイヤモンド旋盤（Nanotech 250UPL）を使用した。この機械は、ナノメートルレベルの精度で各軸（ｘ，ｙ，ｚ）の移動が約２００ｍｍである。被加工物をｘ軸およびｚ軸移動の２つのステージ上に置き、スピンドルおよびダイヤモンドツールはｘ軸ステージ上に置いた（図３９の（ａ）参照）。ミラー光学部品の小面は、被加工物をｙ軸方向に上下動させることによって切削した。ｙ方向の傾斜は、ｘ方向およびｙ方向双方に移動させながら各マッピングライン光学部品を切削することによって得られた。マッピングライン光学部品の切削後、スピンドルおよびツールが移動して被加工物から離れ、巻戻し、次のマッピングライン光学部品の切削を開始する。また、被加工物は、次のマッピングライン光学部品の切削前に、ツール幅の分だけｚ軸方向に進む。ｘ傾斜は、被加工物をゴニオメータ（Newport P/N:手動高分解能マイクロメータ

P/N: HR-13を有するGON40-U）に載置することによって得た。このとき切削面がゴニオメータの回転軸と一致するようにした（図３９の（ｂ）参照）。ゴニオメータを手動で回転させるので、ｘ傾斜は同時に作られた。終了すると、ゴニオメータを次のｘ傾斜に調整し、このプロセスをすべてのミラー光学部品小面が作られるまで繰返す。異なるｘ傾斜に対しＹ高さ補償ファクタを適用した。大きなｘ傾斜角度については、ｚ軸補償ファクタも使用しコサイン効果を補償してもよい。

【００８１】

ＩＭＦＵ光学部品を製造するためには、一般的に、最初に粗く切削することによってアルミニウム基板に異なるミラー小面を設ける。この基板も、表３に示されるような他のダイヤモンド機械加工可能な材料から作ってもよい。この工程の後、精密切削プログラムを用いてＩＭＦＵ光学部品を整え、最良の表面粗さにし、金属フラップ、チップおよびその他の破片といった見た目上の欠陥を取除く。

【００８２】

【表３】

表3 可能なIMFU基板材料

金属	ポリマ	IR結晶
• アルミニウム合金	• アセチル	• 硫化カドミウム
• 真鍮	• アクリル	• ヨウ化セシウム
• 銅	• フッ素プラスチック	• インジウムアンチモナイト
• 金	• ナイロン	• フッ化マグネシウム
• ニッケル	• ポリカーボネート	• リン酸塩(KDP)
• 銀	• ポリプロピレン	• 二酸化テルル
• 錫	• ポリスルホン	• テルル化カドミウム
• 亜鉛	• シリコーン	• ガリウムヒ素
	• オレフィン	• イリジウム
	• ゼオネックス(ポリオレフィン)	• 臭化カリウム
		• シリコン
		• セレン化亜鉛
		• フッ化カルシウム
		• ゲルマニウム
		• ニオブ酸リチウム
		• 脱水素カリウム
		• 塩化ナトリウム
		• 硫化亜鉛

【００８３】

図４０の（ａ）は、ツール＃３を用いて製造した最終大型フォーマット（２５０部品）ＩＭＦＵの写真を示す。図４０の（ｂ）は、ＩＭＦＵの拡大側面図を示し、小面の優れた整列状態を示している。ｘ傾斜グループ分けおよび凹の向きならびに段違いにされたｙ傾斜が容易に観察される。

【００８４】

ミラー光学部品小面の傾斜および幅を、白色光干渉計（ザイゴ社のNewview）を用いて測定した。部品試験の前に、ＩＭＦＵを干渉計の電動４軸ステージ（Ｘ、Ｙ、θ_X、θ_Y）

上に置き、調整してＩＭＦＵのゼロ傾斜（ｘ軸およびｙ軸）ミラー小面からの反射光をシステムの光軸と整列させた。残りの傾斜があれば記録し他の小面傾斜測定値から引いた。１．０×視野レンズを備えた１０×ミロー（Mirau）対物レンズ（ＦＯＶ＝０．７２ｍｍ×０．５４ｍｍ、解像度＝１．１２ミクロン）を用いてデータを収集した。１０個の測定値を各傾斜位置について取得しその平均値を求めた。表４は最終結果を示し、測定値を設計された傾斜値と比較している。この研究の結果は、所望の傾斜値と実際に測定された値が優れて一致していることを示す。最大傾斜誤差はｘ傾斜について－２ｍｒａｄであり（α_2＝０．０１０ｒａｄ）であり、傾斜のほとんどに大きな誤差はなかった。

【００８５】

【表４】

表4 IMFU傾斜の設計値と測定値の比較

x傾斜 (α's)	y傾斜 (β's)	理想 (rad.)	測定 (α's)	測定 (β's)	誤差 (α's)	誤差 (β's)
α1	β1	+0.020	+0.020	+0.020	0	0
α2	β2	+0.010	+0.098	+0.010	-0.002	0
α3	β3	0	-	-	-	-
α4	β4	-0.010	-0.010	-0.010	0	0
α5	β5	-0.020	-0.021	-0.020	+0.001	0

【００８６】

各光学部品小面の幅を、その小面の左、中央および右端の表面を通る断面プロファイルで測定した。図４２は、これら測定値から得られる典型的な結果を示す。製造プロセス中、およそ５ミクロンの重なりを導入して隣り合う小面間の薄い金属フラップを除去した。この重なりによって、小面の設計された幅は、小面位置に応じ、約７５ミクロンから約７０～６５ミクロン間に変化した。中央のｘ傾斜（２－４）について、測定された幅は、７０ミクロンの約＋／－１ミクロン以内であったが、端に位置するｘ傾斜（１および５）の場合、これはｙ軸に応じて約５０～７０ミクロンに変化した。ｙ傾斜のために最も高いマッピングライン光学部品となったものは、図４１の２次元強度マップに示されるように、重なりとエッジ侵食のためにより薄い。

【００８７】

ミラー光学部品小面の表面の粗さは、最終画像のコントラストおよびＩＭＦＵのスループットを低下させる。この効果を定量化するために、５０×ミロー対物レンズ、２．０×視野レンズ（ＦＯＶ＝０．０７ｍｍ×０．０５ｍｍ、解像度＝０．１１ミクロン）を有する白色光干渉計を用いた。図４２は、１つの小面から得られた典型的な粗さの結果を示す。この製造方法の場合、ツールの欠陥によって、小面の長さに沿ってラインが生じる。ＩＭＦＵの表面粗さのより統計的な推定値を得るために、ランダムに選択した１０の小面表面領域を測定し、平均ｒｍｓ粗さが５．３＋／－１．２ｎｍであることがわかった。この粗さの値に基づきＩＭＦＵの光学スループットを推定したところおよそ９７％であった。

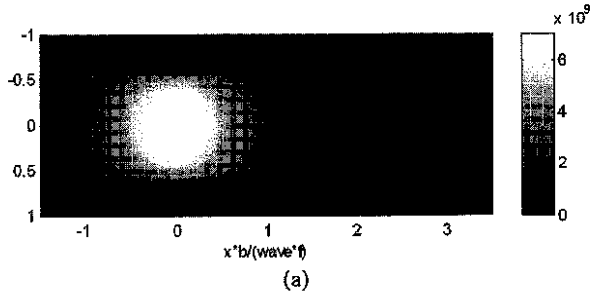
【００８８】

本発明の広い範囲を示す数値範囲およびパラメータにかかわらず、特定の例において記載された数値はできるだけ正確に報告されている。しかしながら、どのような数値も、必然的にそれぞれの試験測定値に見られる標準偏差のため、本質的に何らかの誤差を含んでいる。

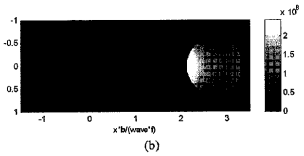
【００８９】

このように、本発明は、上記目的および利点ならびに本質的な目的および利点の達成に適応している。当業者によって数多くの変更が加えられてもよいが、このような変更は一部が添付の請求項によって示される本発明の精神に含まれる。

【図８（ａ）】

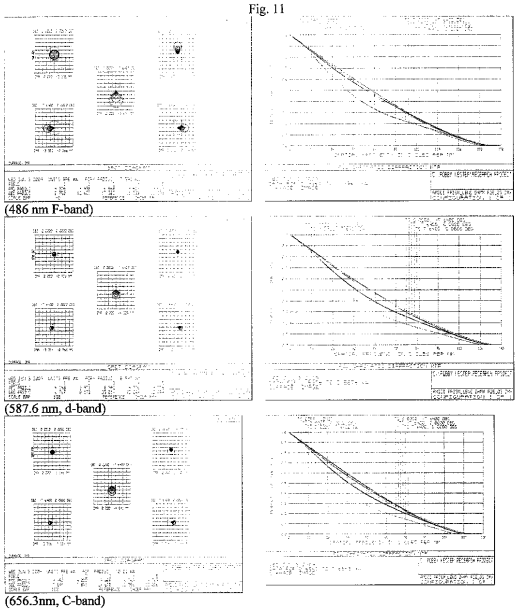


【図８（ｂ）】



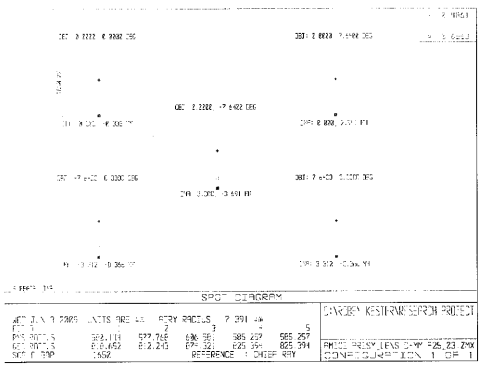
【図１１】

Fig. 11



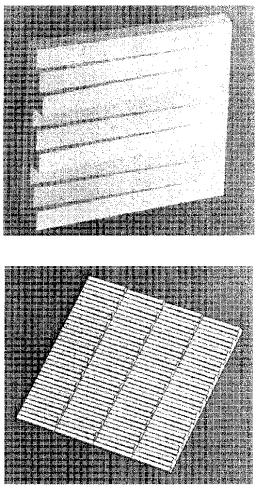
【図１２】

Fig. 12

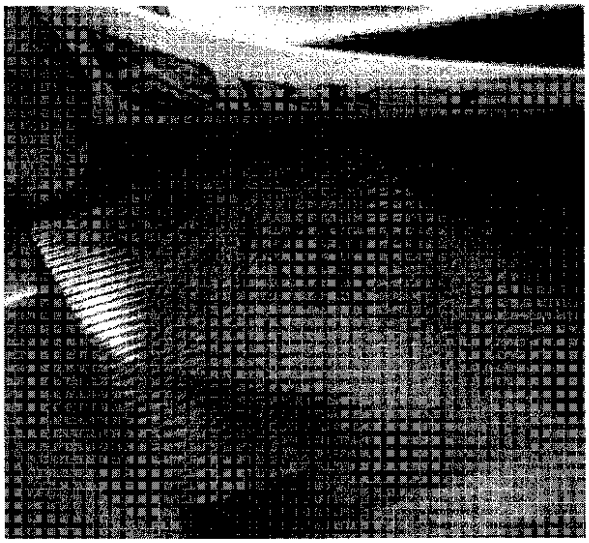


【図１４】

Fig. 14

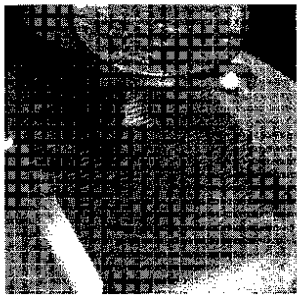


【図２９（ａ）】



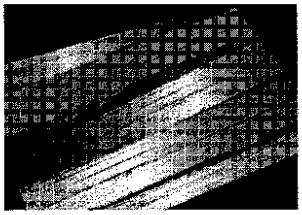
(a)

【図２９（ｂ）】



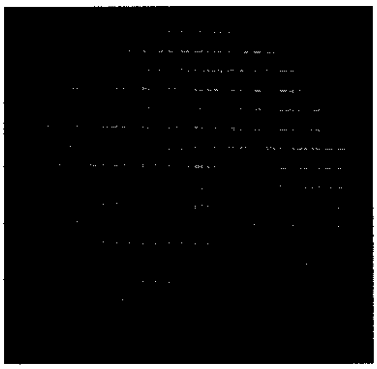
(b)

【図２９（ｃ）】



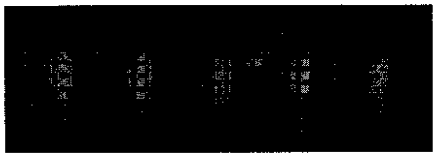
(c)

【図３０（ａ）】



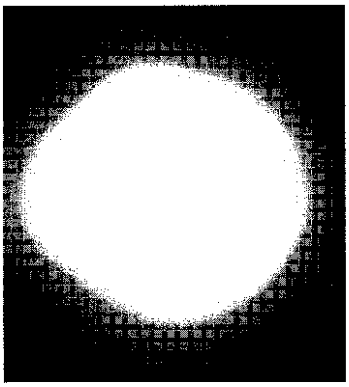
(a)

【図３０（ｂ）】



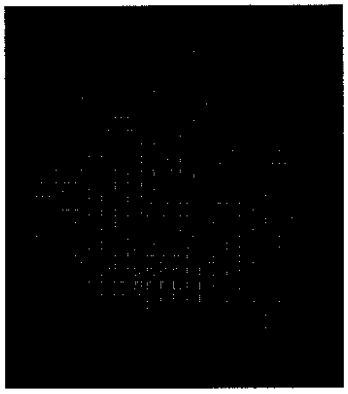
(b)

【図３０（ｃ）】



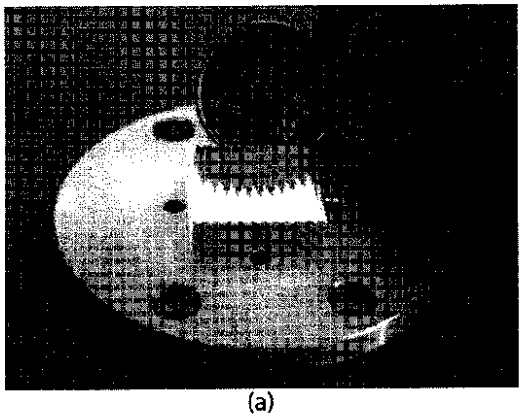
(c)

【図３０（ｄ）】



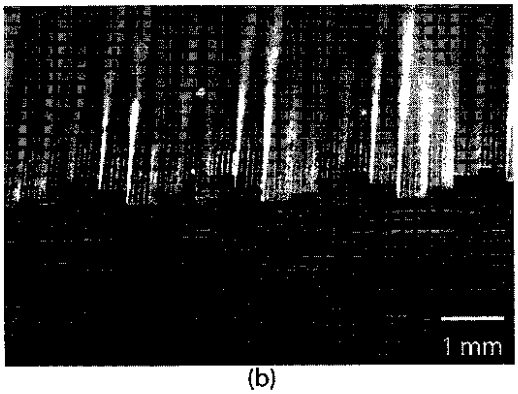
(d)

【図４０（ａ）】



(a)

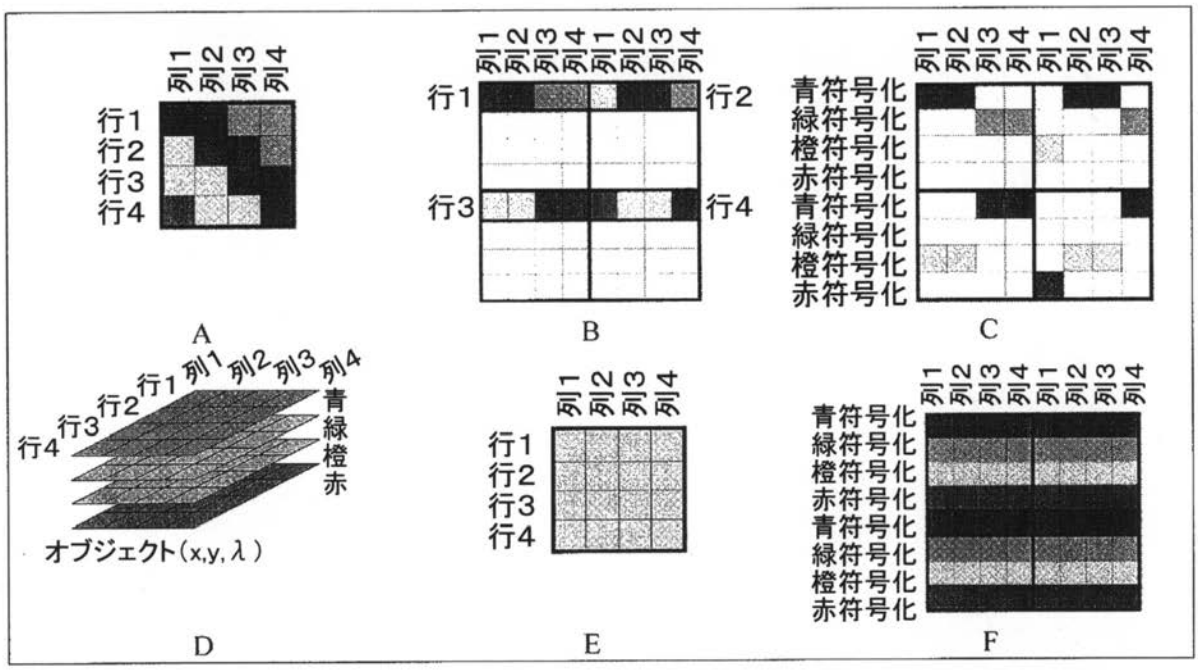
【図４０（ｂ）】



(b)

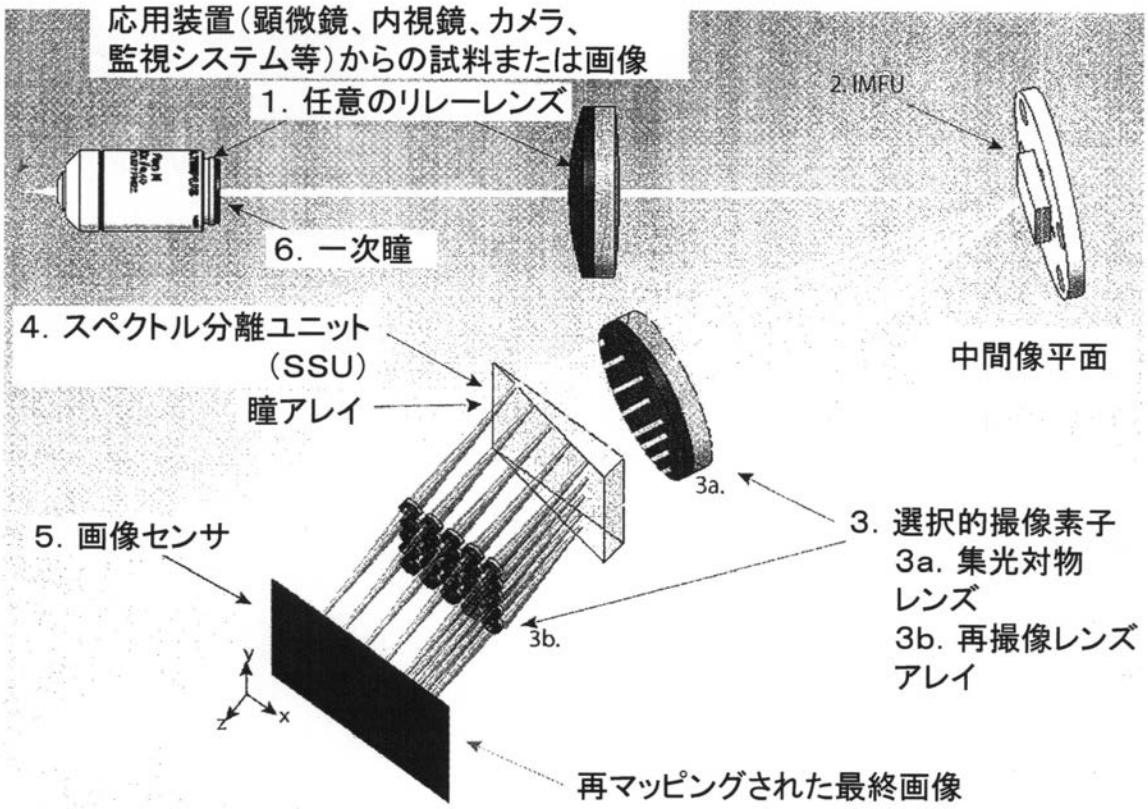
【図１】

Fig. 1


列1 列2 列3 列4
行1 行2 行3 行4
A
列1 列2 列3 列4 列1 列2 列3 列4
行1 行2 行3 行4
B
青符号化 緑符号化 橙符号化 赤符号化 青符号化 緑符号化 橙符号化 赤符号化
列1 列2 列3 列4 列1 列2 列3 列4
C
行1 行2 行3 行4 列1 列2 列3 列4 青 緑 橙 赤
オブジェクト(x,y,λ)
D
列1 列2 列3 列4
行1 行2 行3 行4
E
青符号化 緑符号化 橙符号化 赤符号化 青符号化 緑符号化 橙符号化 赤符号化
列1 列2 列3 列4 列1 列2 列3 列4
F

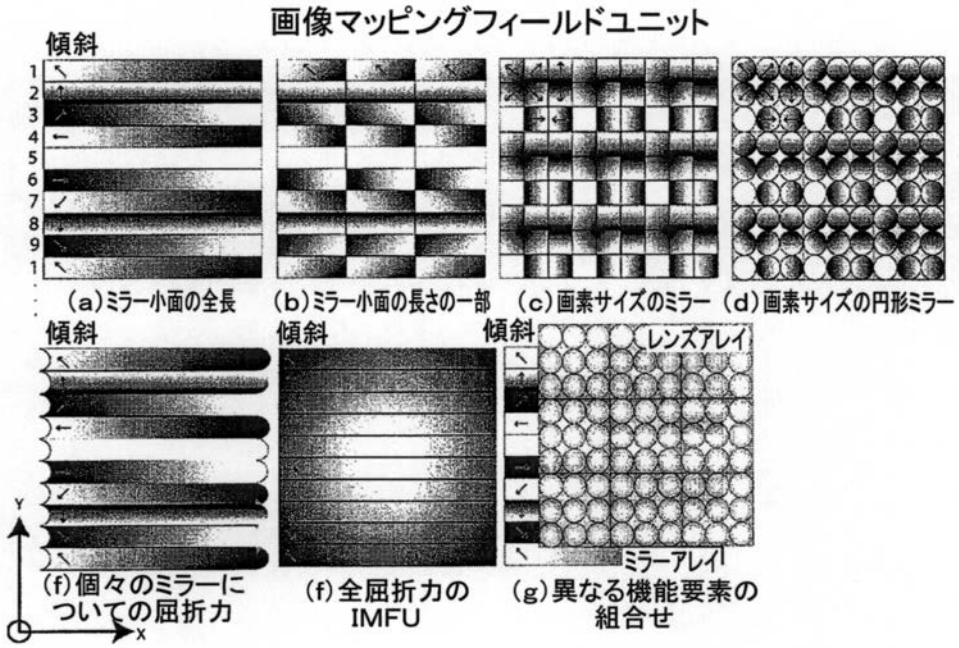
【図２】

Fig. 2



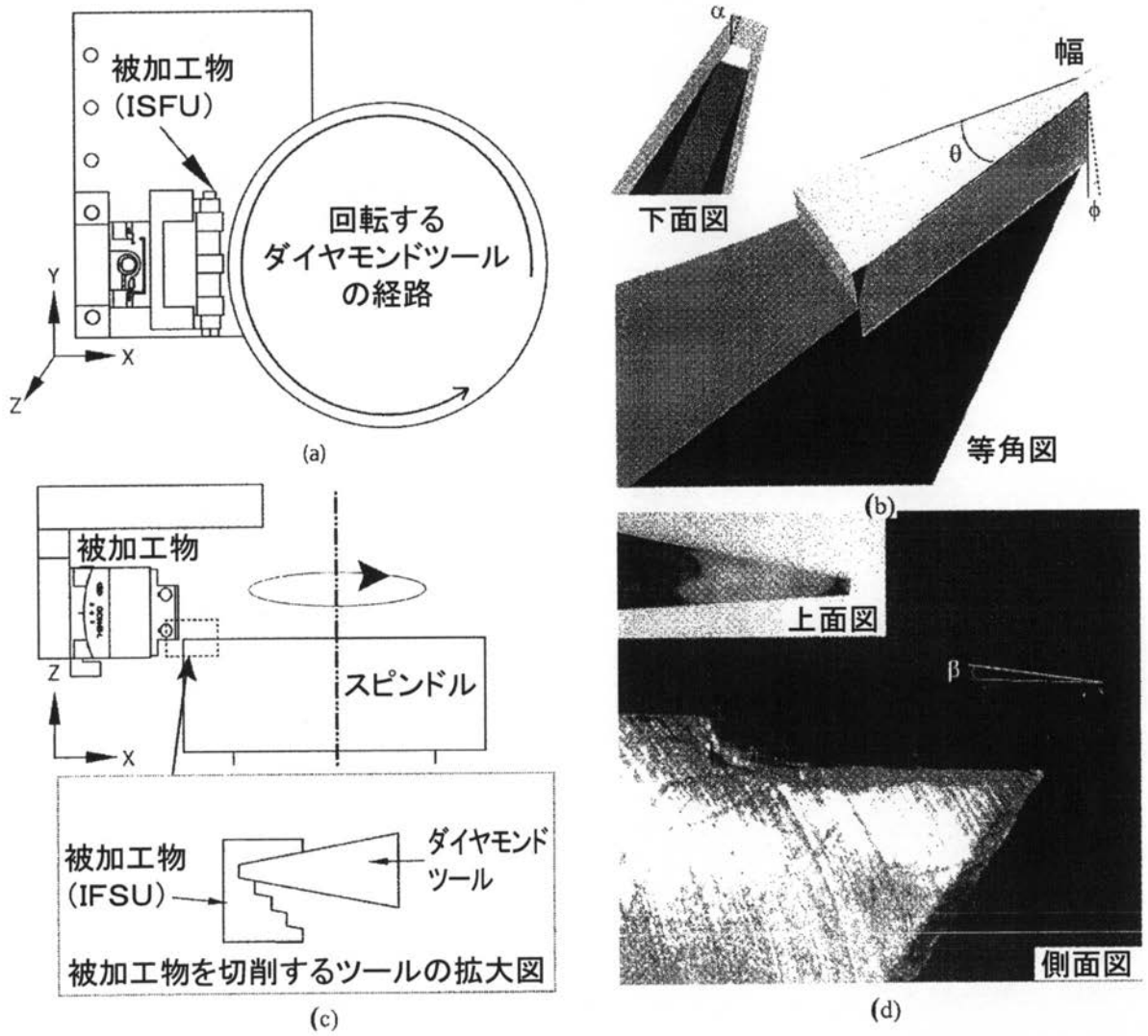
【図３】

Fig. 3



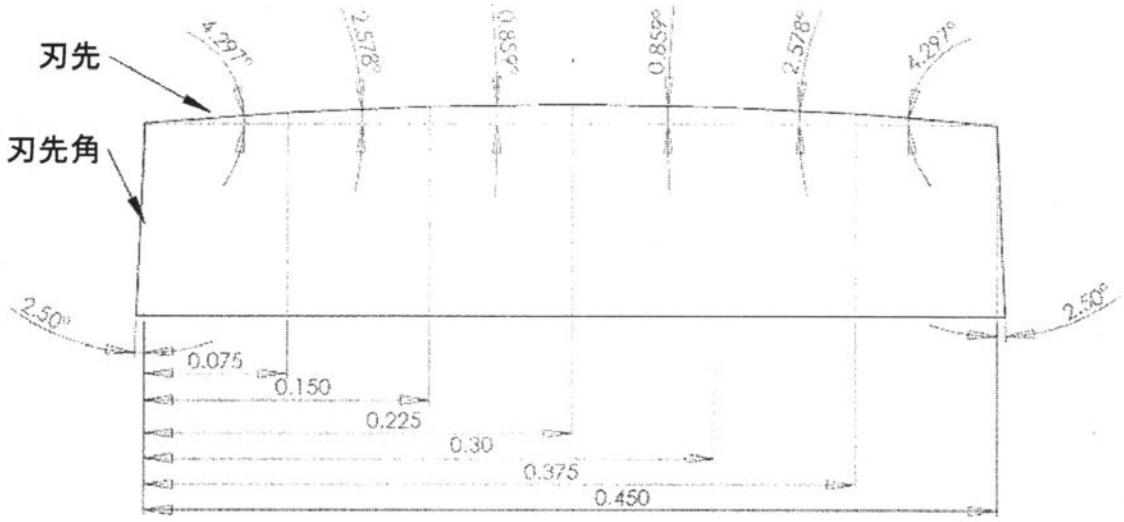
【図４】

Fig. 4


被加工物
(ISFU)
回転する
ダイヤモンドツール
の経路
Y
X
Z
(a)
α
幅
θ
ϕ
下面図
等角図
(b)
被加工物
スピンドル
Z
X
被加工物
(IFSU)
ダイヤモンド
ツール
被加工物を切削するツールの拡大図
(c)
上面図
β
側面図
(d)

【図５】

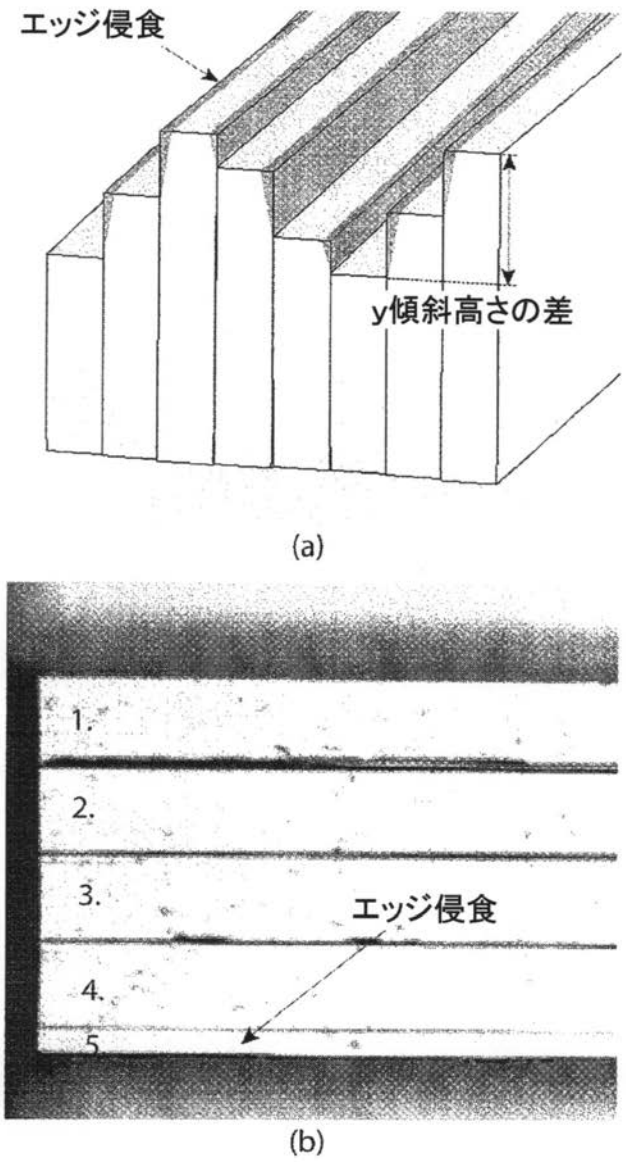
Fig. 5



ツールの上面図

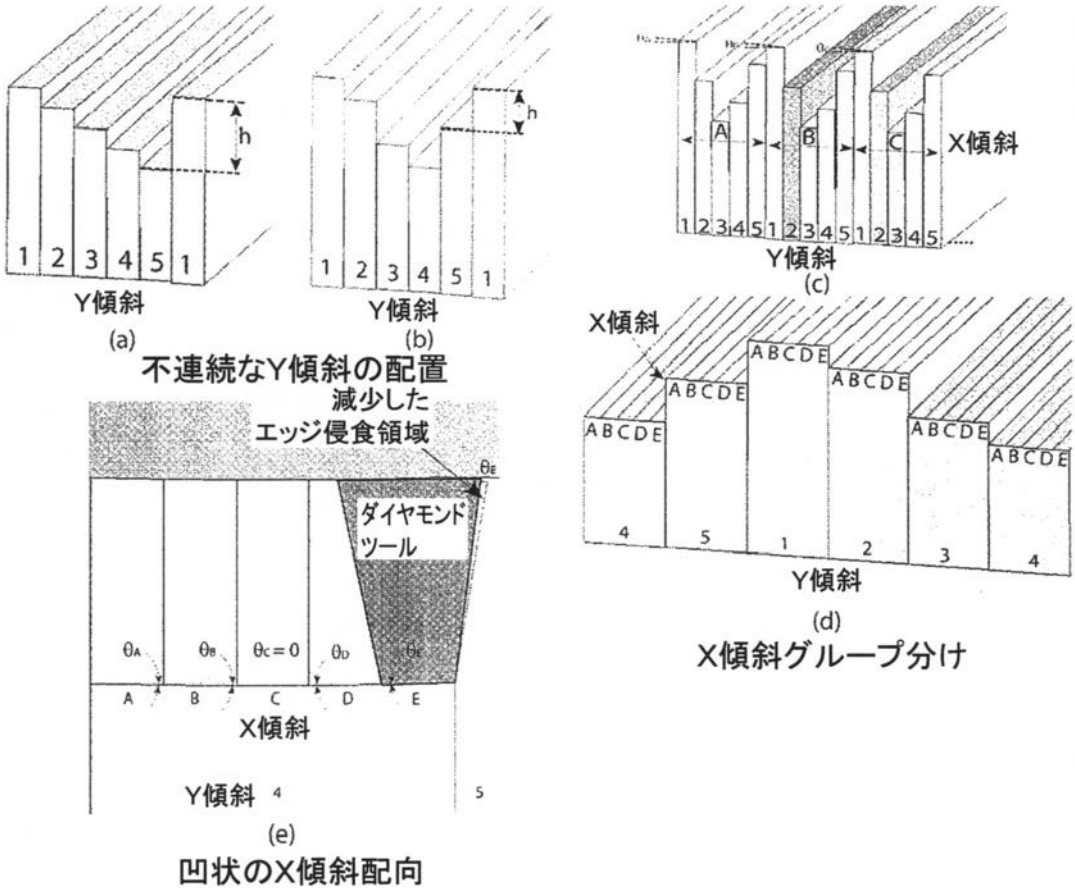
【図６】

Fig. 6



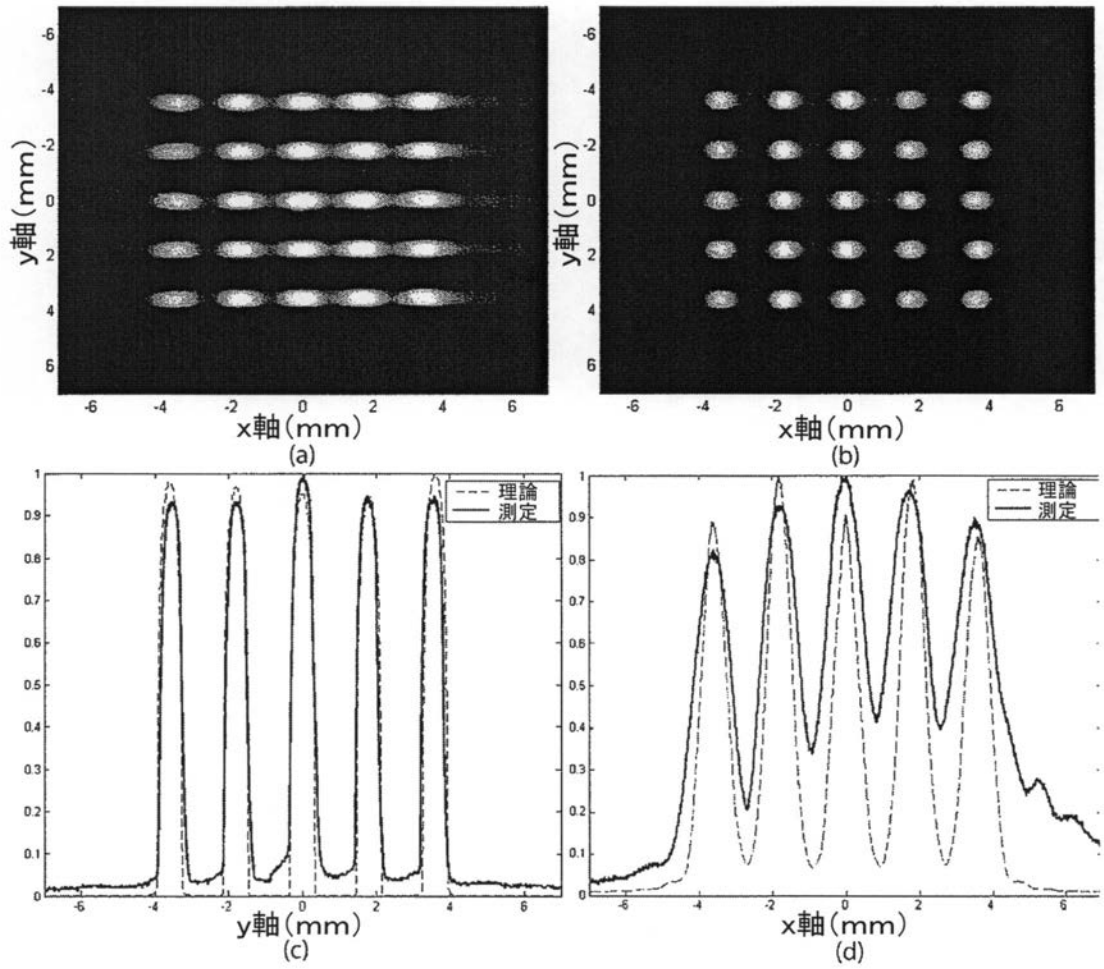
【図７】

Fig. 7


h
1 2 3 4 5 1
Y傾斜
(a)
h
1 2 3 4 5 1
Y傾斜
(b)
不連続なY傾斜の配置
減少した
エッジ侵食領域
θE
ダイヤモンド
ツール
θA
θB
θC = 0
θD
θE
A B C D E
X傾斜
Y傾斜 4 5
(e)
凹状のX傾斜配向
A
B
C
X傾斜
1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
Y傾斜
(c)
X傾斜
A B C D E
4 5 1 2 3 4
Y傾斜
(d)
X傾斜グループ分け

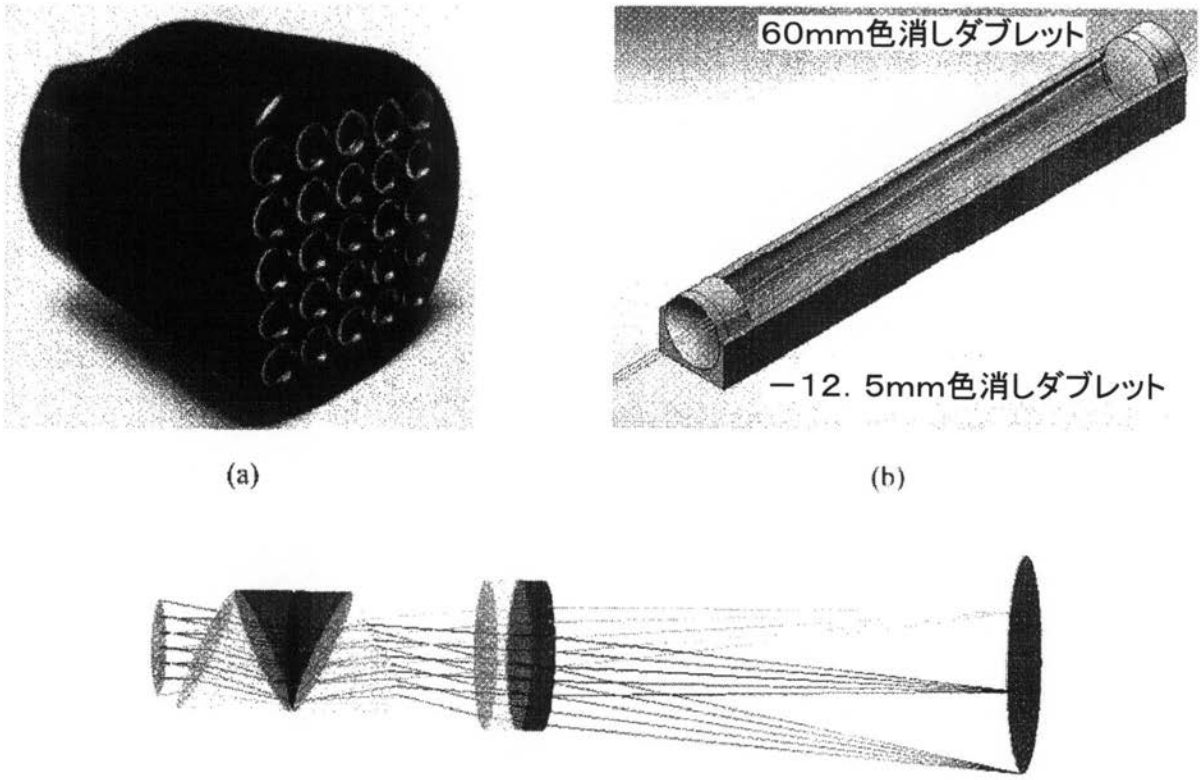
【図９】

Fig. 9



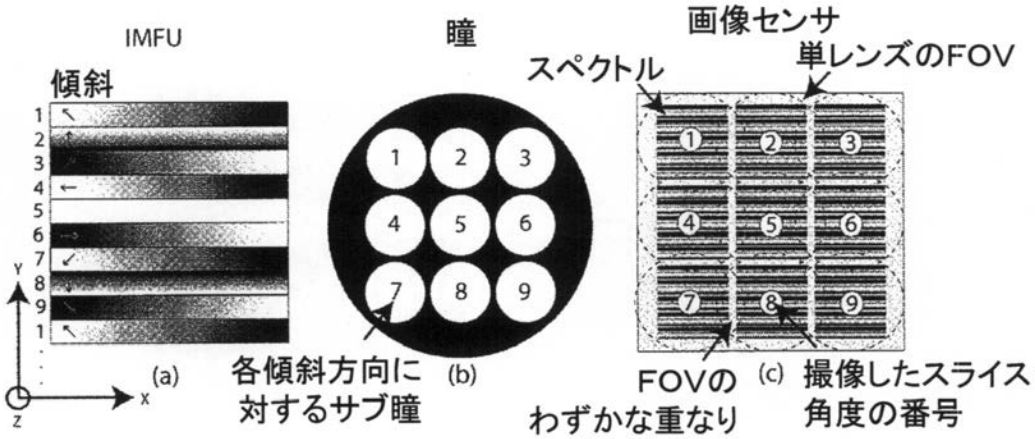
【図１０】

Fig. 10



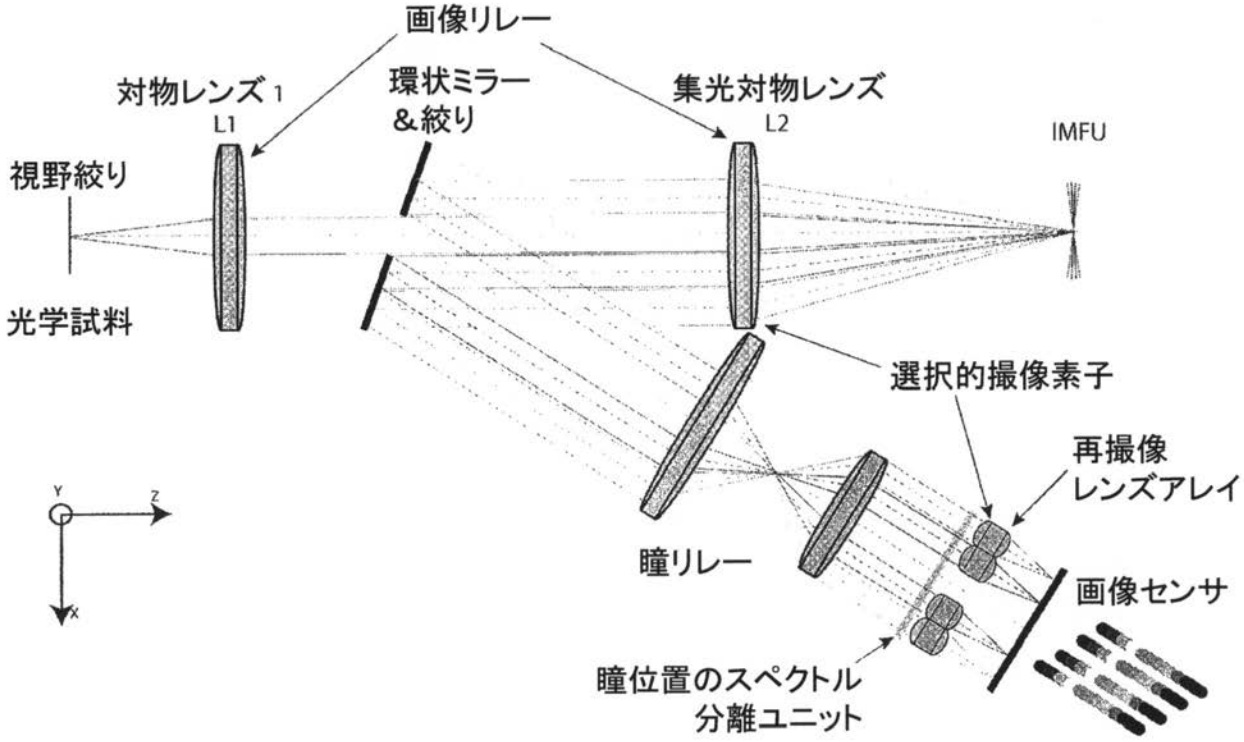
【図１３】

Fig. 13



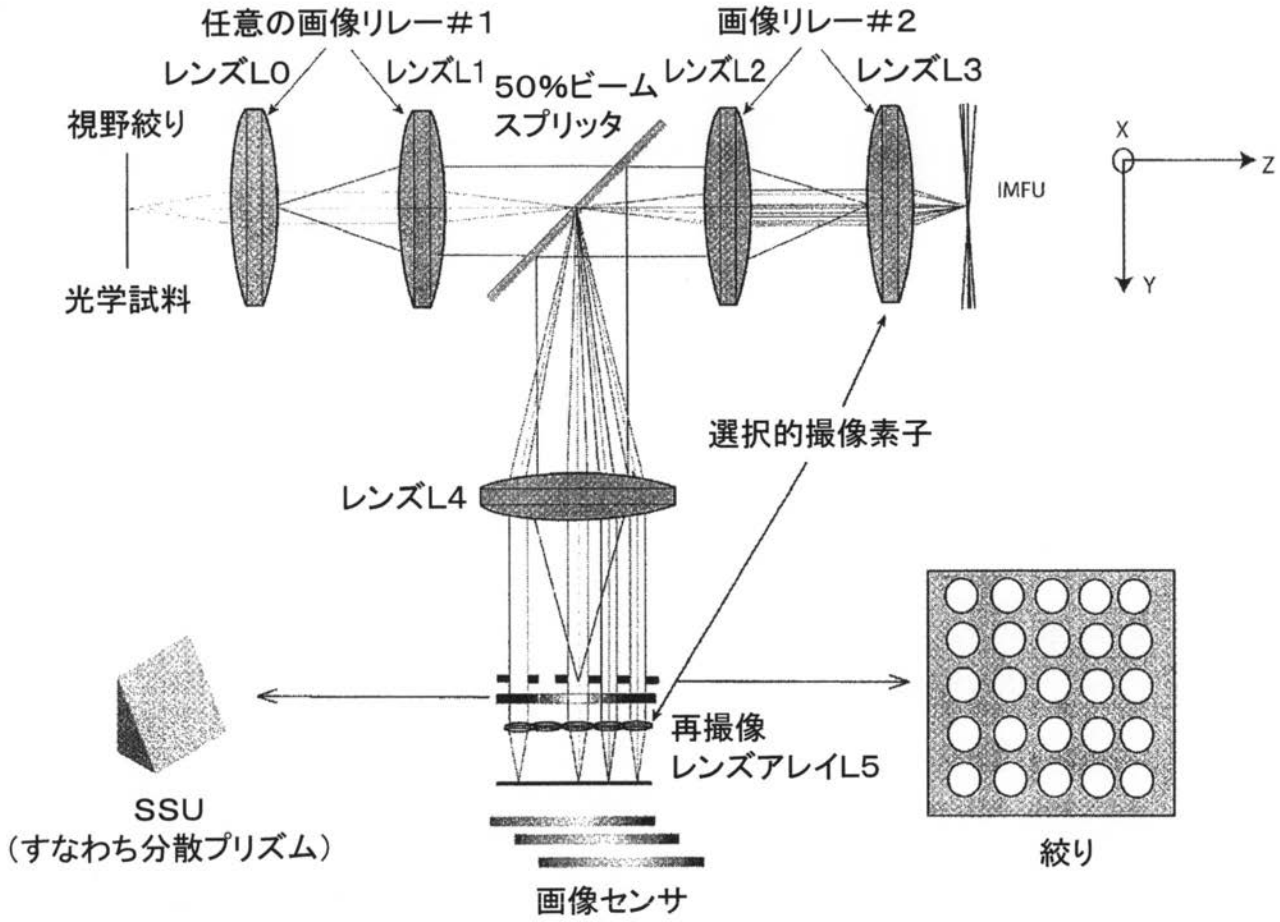
【図１５】

Fig.15


画像リレー
対物レンズ 1
L1
環状ミラー
&絞り
集光対物レンズ
L2
IMFU
視野絞り
光学試料
選択的撮像素子
再撮像
レンズアレイ
瞳リレー
画像センサ
瞳位置のスペクトル
分離ユニット
Y
Z
X

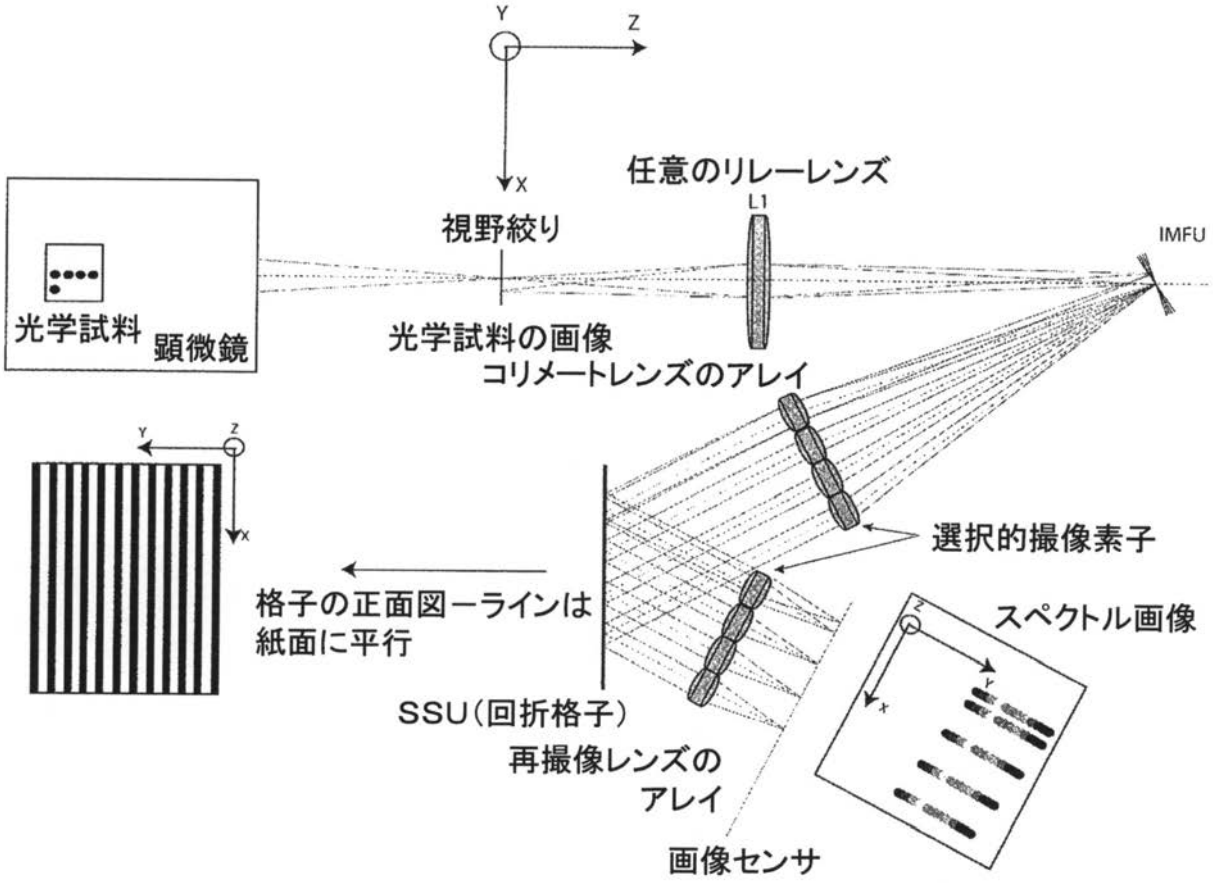
【図１６】

Fig. 16


任意の画像リレー#1
画像リレー#2
レンズL0
レンズL1
50%ビーム
スプリッタ
レンズL2
レンズL3
視野絞り
IMFU
X
Z
Y
光学試料
選択的撮像素子
レンズL4
再撮像
レンズアレイL5
SSU
(すなわち分散プリズム)
絞り
画像センサ

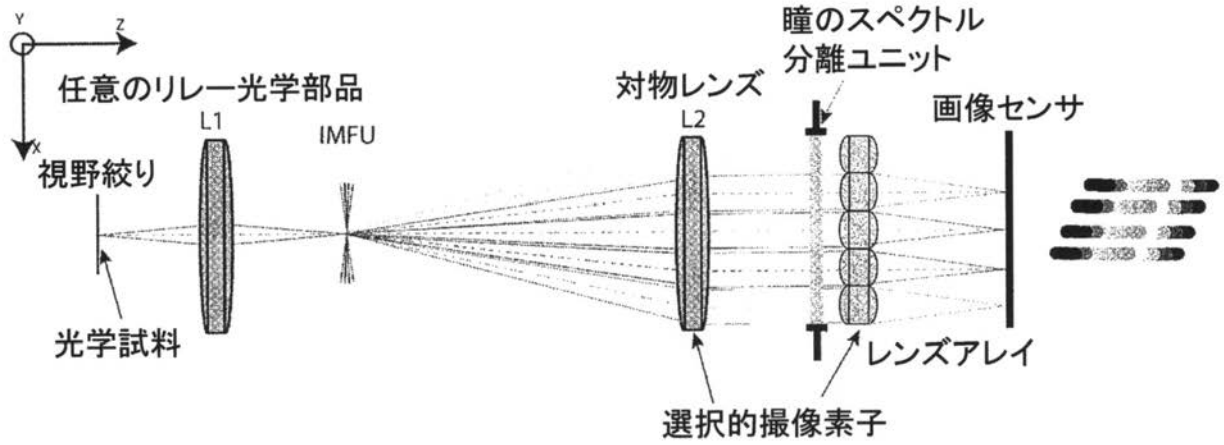
【図１７】

Fig. 17


Y
Z
X
任意のリレーレンズ
L1
視野絞り
IMFU
光学試料
顕微鏡
光学試料の画像
コリメートレンズのアレイ
選択的撮像素子
格子の正面図ーラインは
紙面に平行
スペクトル画像
SSU（回折格子）
再撮像レンズの
アレイ
画像センサ

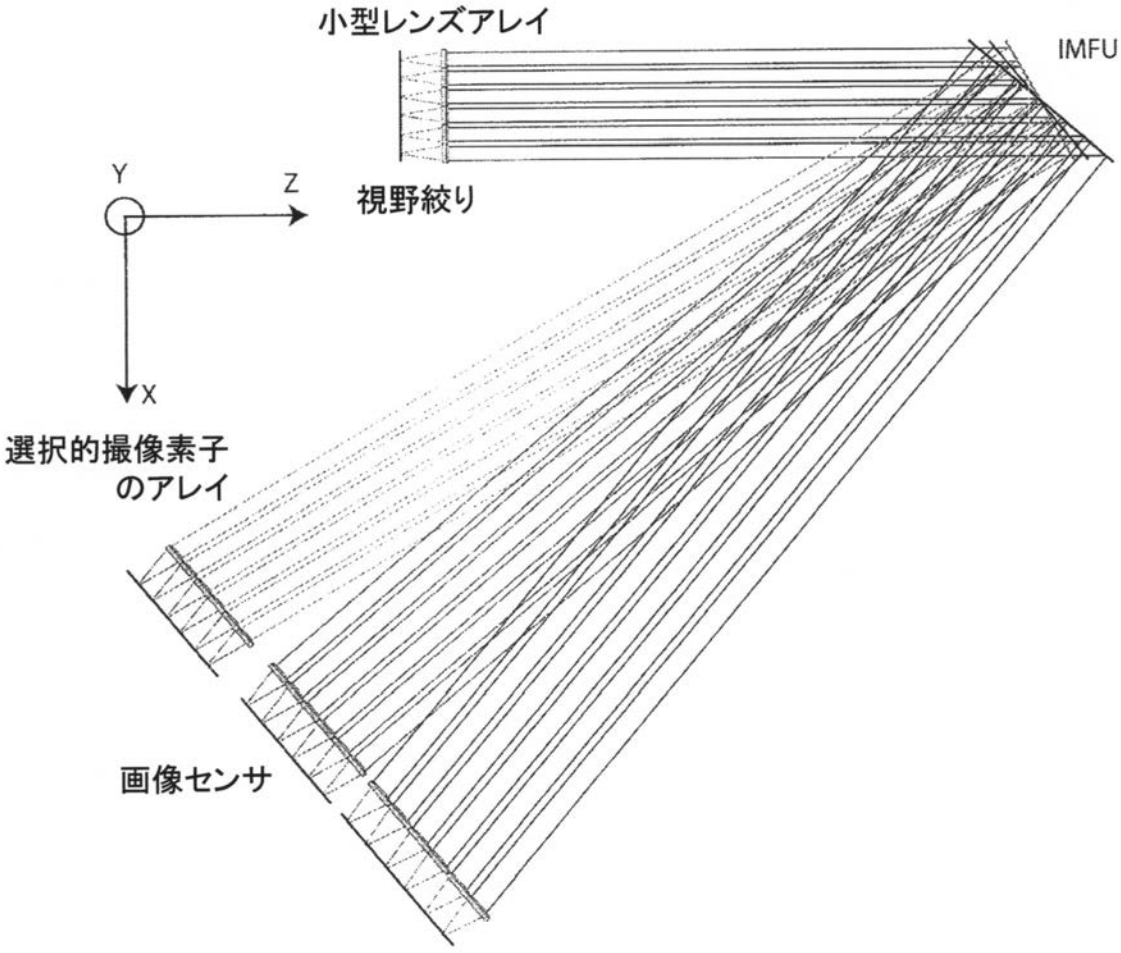
【図１８】

Fig. 18


Y
Z
X
任意のリレー光学部品
視野絞り
光学試料
L1
IMFU
対物レンズ
L2
瞳のスペクトル
分離ユニット
画像センサ
レンズアレイ
選択的撮像素子

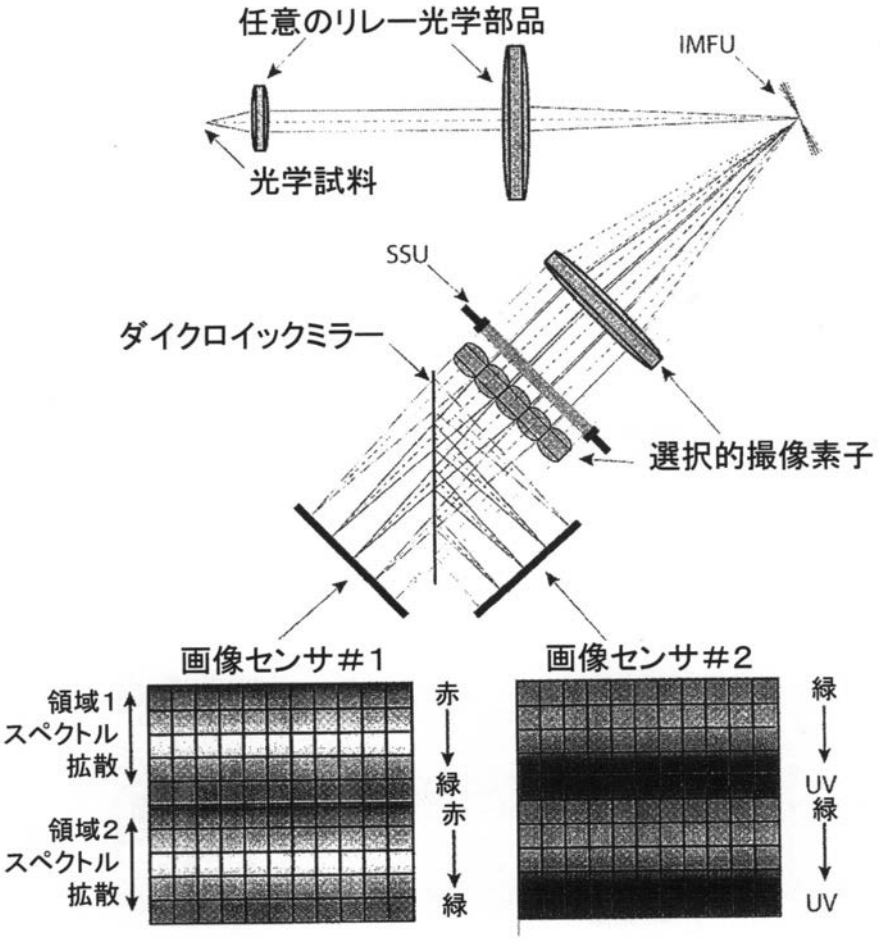
【図１９】

Fig. 19



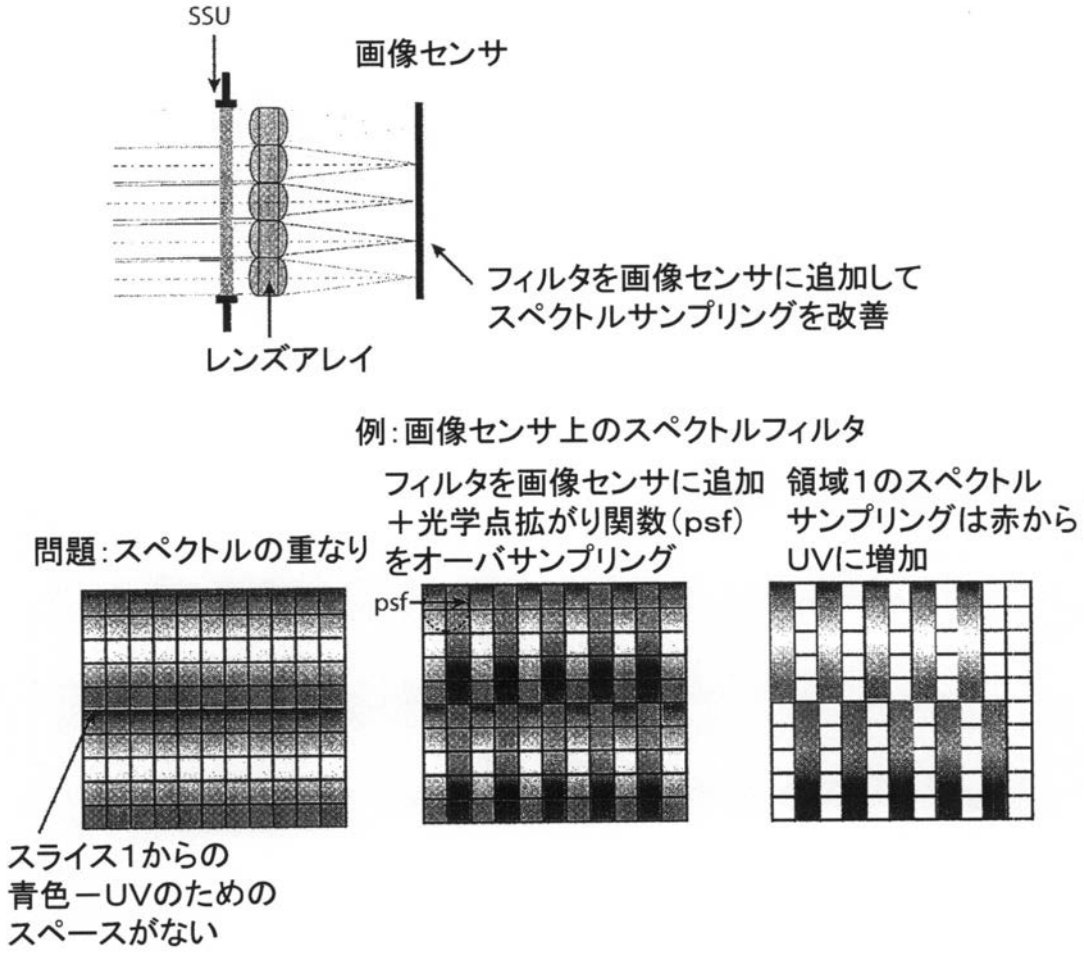
【図２０】

Fig. 20


任意のリレー光学部品
IMFU
光学試料
SSU
ダイクロイックミラー
選択的撮像素子
画像センサ＃１
画像センサ＃２
領域１
スペクトル
拡散
領域２
スペクトル
拡散
赤
緑
赤
緑
緑
UV
緑
UV

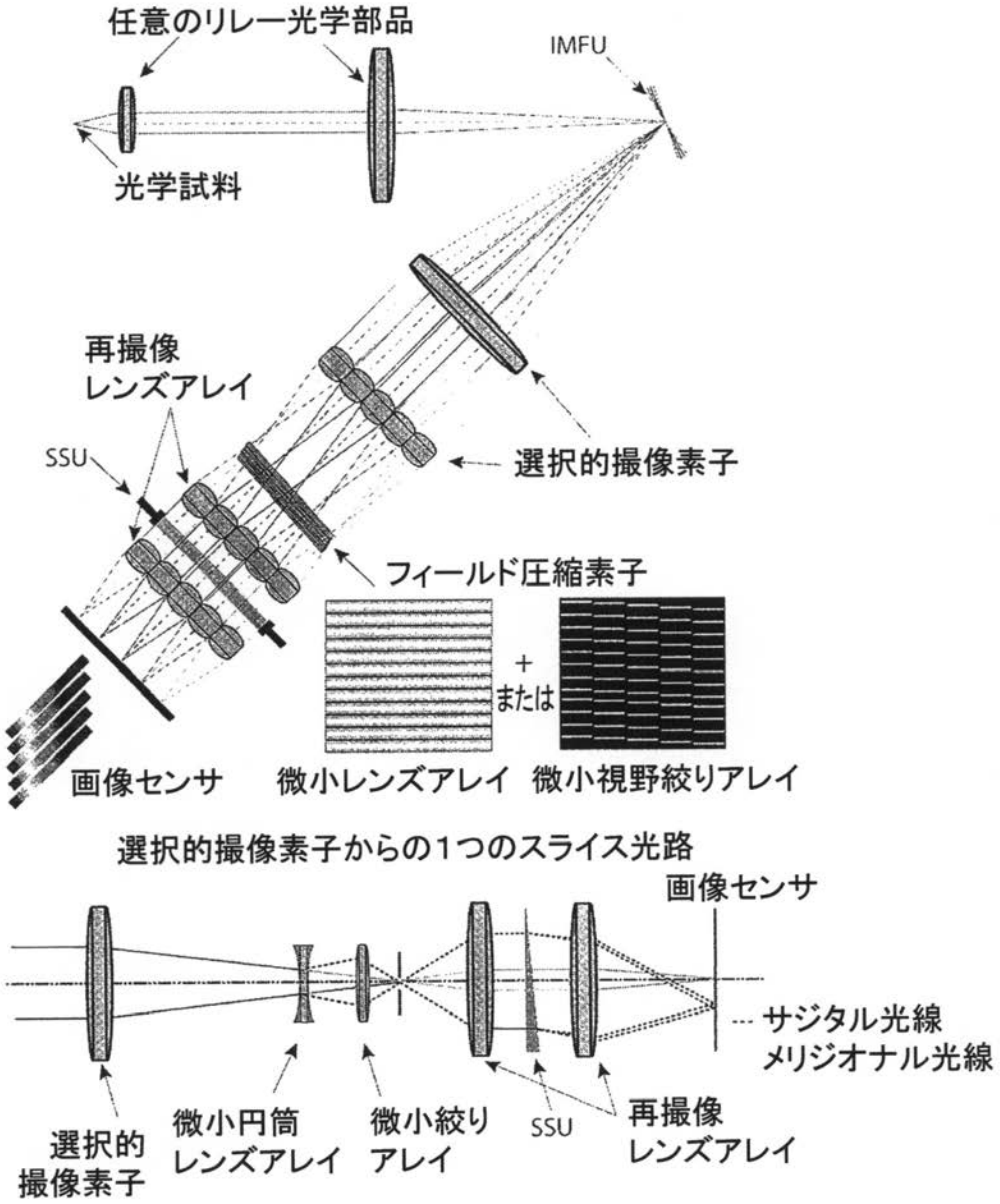
【図２１】

Fig. 21


SSU
画像センサ
フィルタを画像センサに追加して
スペクトルサンプリングを改善
レンズアレイ
例：画像センサ上のスペクトルフィルタ
問題：スペクトルの重なり
フィルタを画像センサに追加
＋光学点拡がり関数（psf）
をオーバサンプリング
psf
領域１のスペクトル
サンプリングは赤から
UVに増加
スライス１からの
青色－UVのための
スペースがない

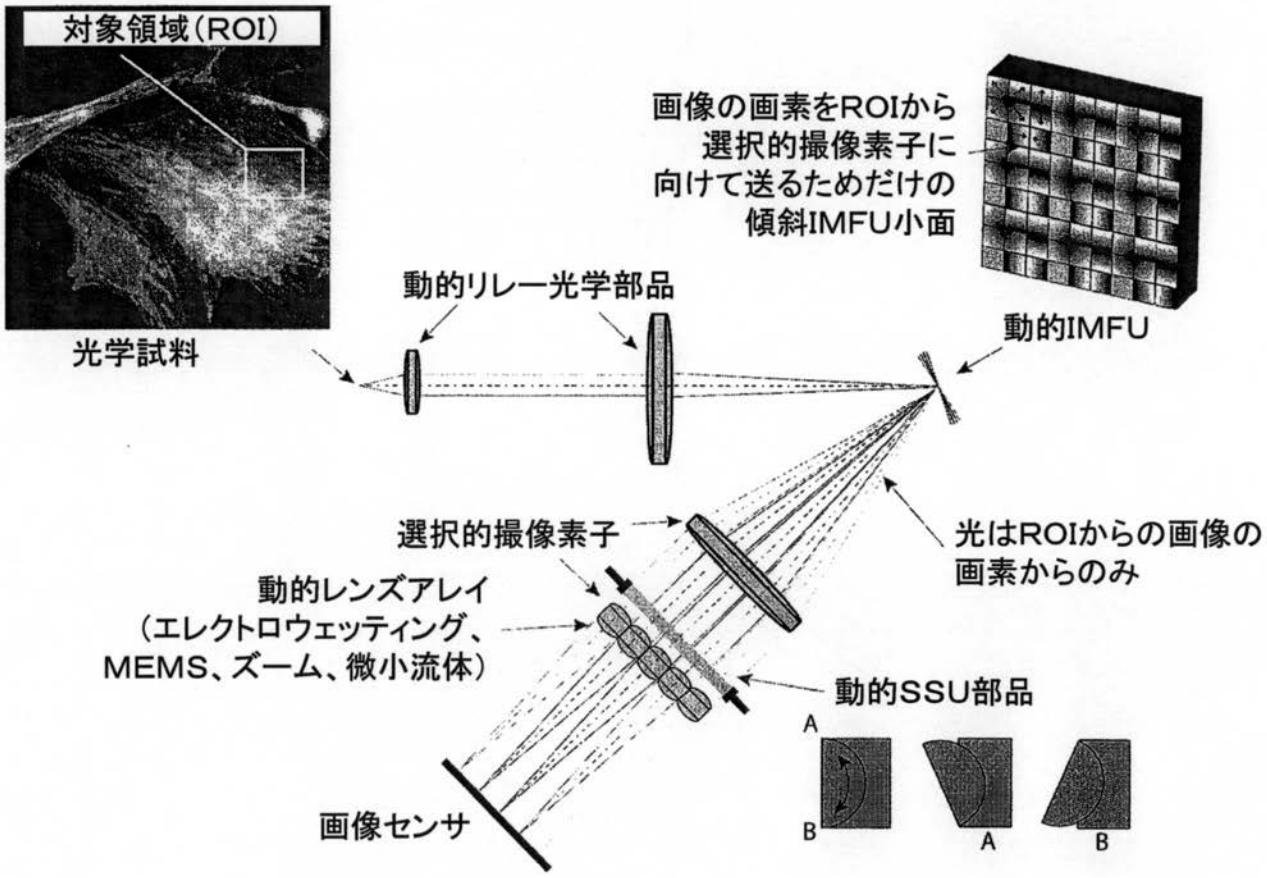
【図２２】

Fig. 22


任意のリレー光学部品
IMFU
光学試料
再撮像
レンズアレイ
SSU
選択的撮像素子
フィールド圧縮素子
+
または
画像センサ
微小レンズアレイ
微小視野絞りアレイ
選択的撮像素子からの1つのスライス光路
画像センサ
サジタル光線
メリジオナル光線
選択的
撮像素子
微小円筒
レンズアレイ
微小絞り
アレイ
SSU
再撮像
レンズアレイ

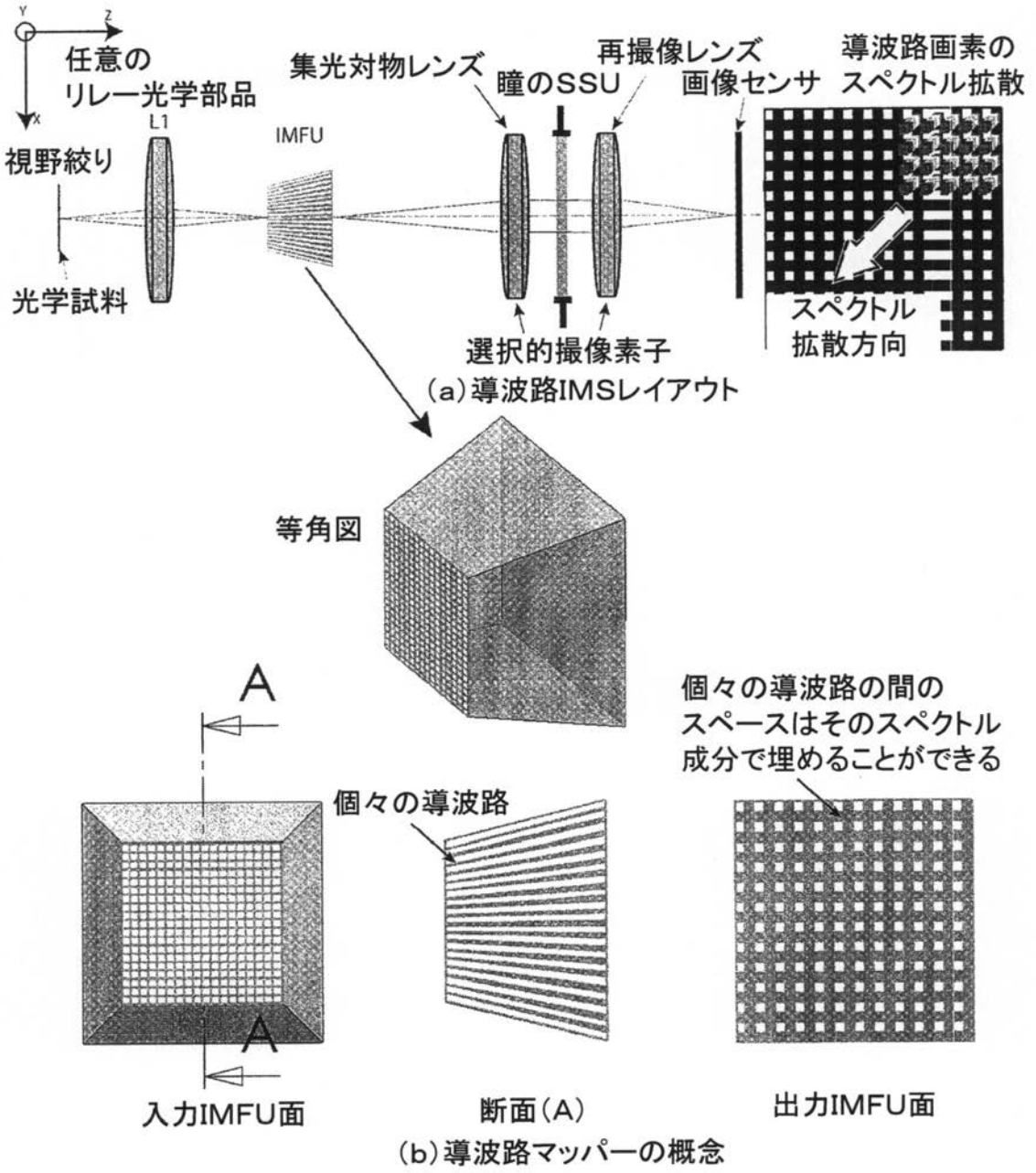
【図２３】

Fig. 23


対象領域(ROI)
光学試料
画像の画素をROIから
選択的撮像素子に
向けて送るためだけの
傾斜IMFU小面
動的リレー光学部品
動的IMFU
選択的撮像素子
光はROIからの画像の
画素からのみ
動的レンズアレイ
(エレクトロウェッティング、
MEMS、ズーム、微小流体)
動的SSU部品
A
B
A
B
画像センサ

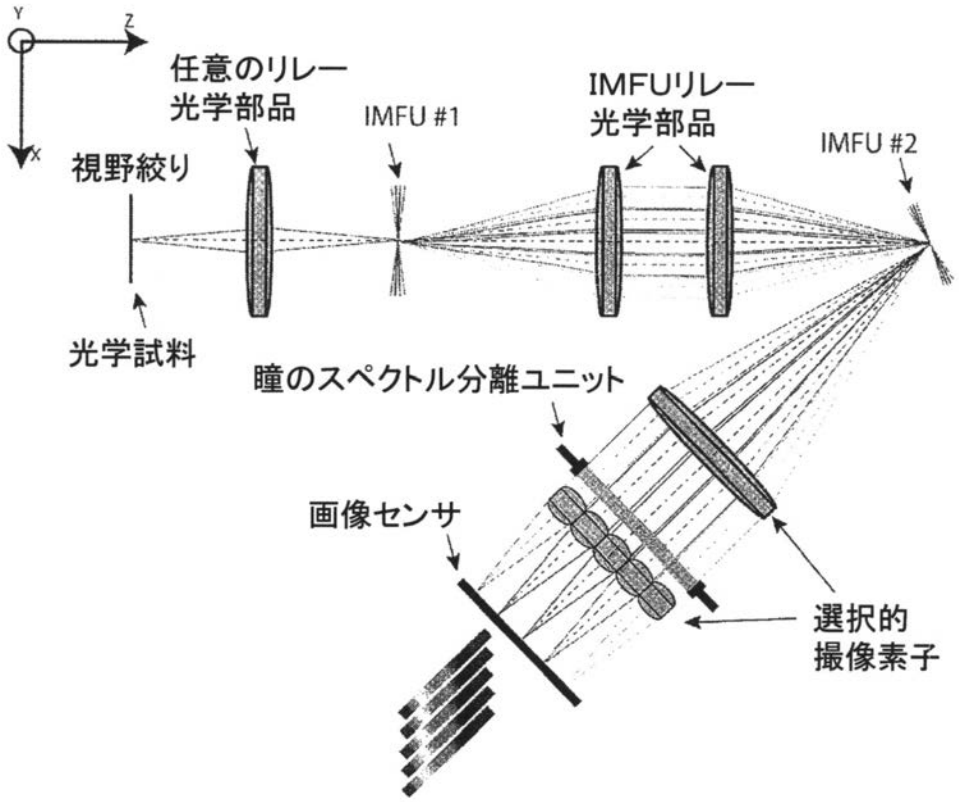
【図２４】

Fig. 24


Y
Z
X
任意の
リレー光学部品
L1
視野絞り
光学試料
IMFU
集光対物レンズ
瞳のSSU
再撮像レンズ
画像センサ
導波路画素の
スペクトル拡散
スペクトル
拡散方向
選択的撮像素子
(a)導波路IMSレイアウト
等角図
A
A
入力IMFU面
個々の導波路
断面(A)
個々の導波路の間の
スペースはそのスペクトル
成分で埋めることができる
出力IMFU面
(b)導波路マッパーの概念

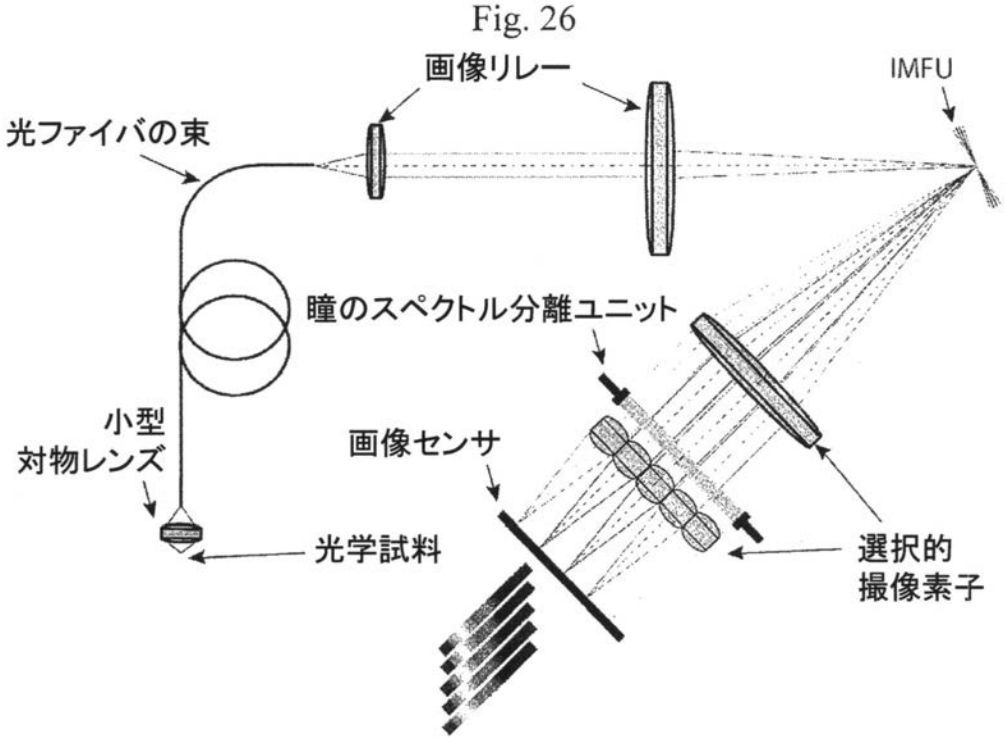
【図２５】

Fig. 25



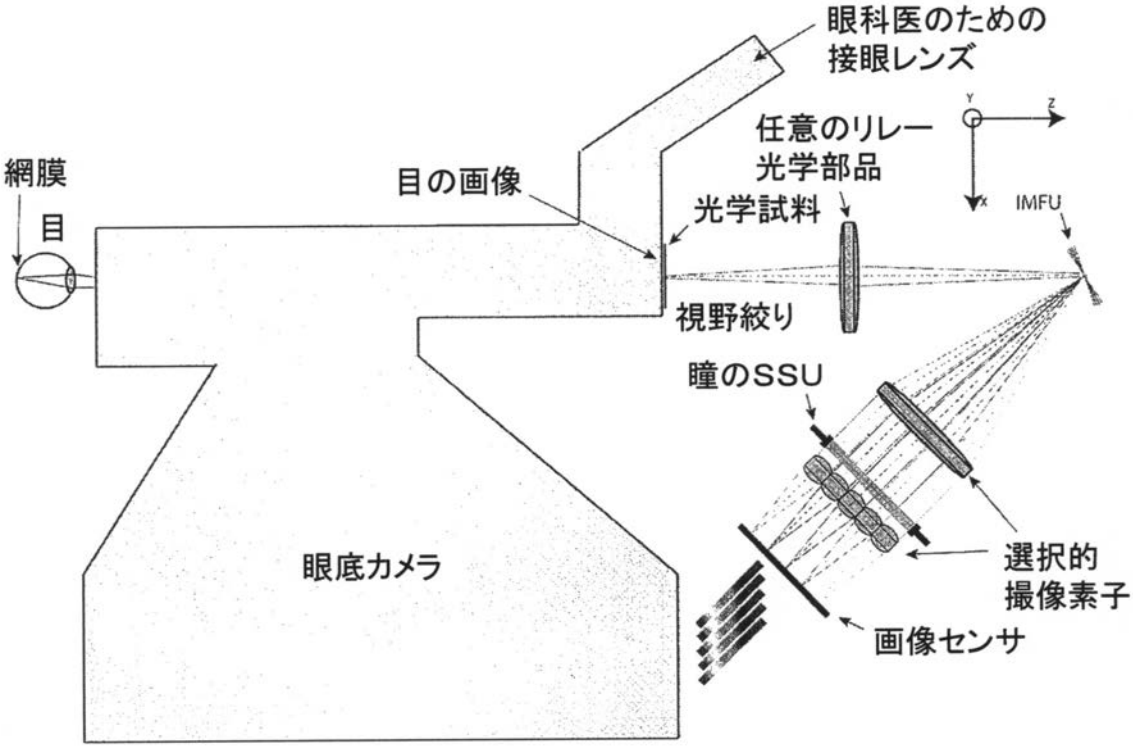
【図２６】

Fig. 26



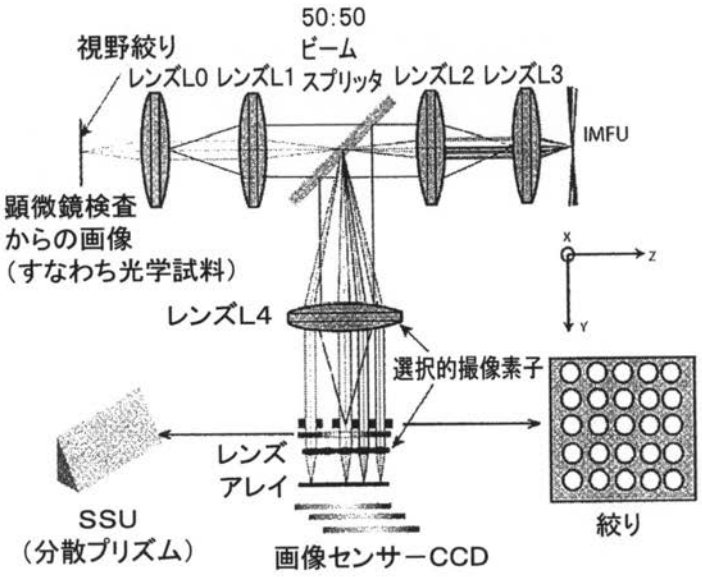
【図２７】

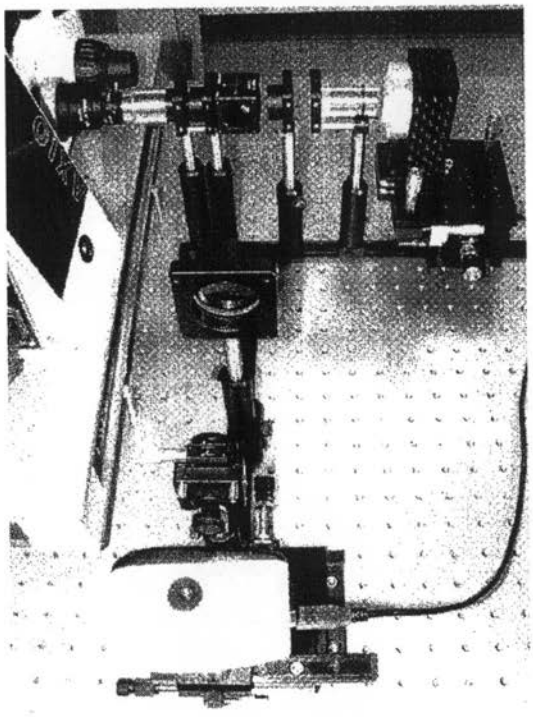
Fig. 27



【図２８】

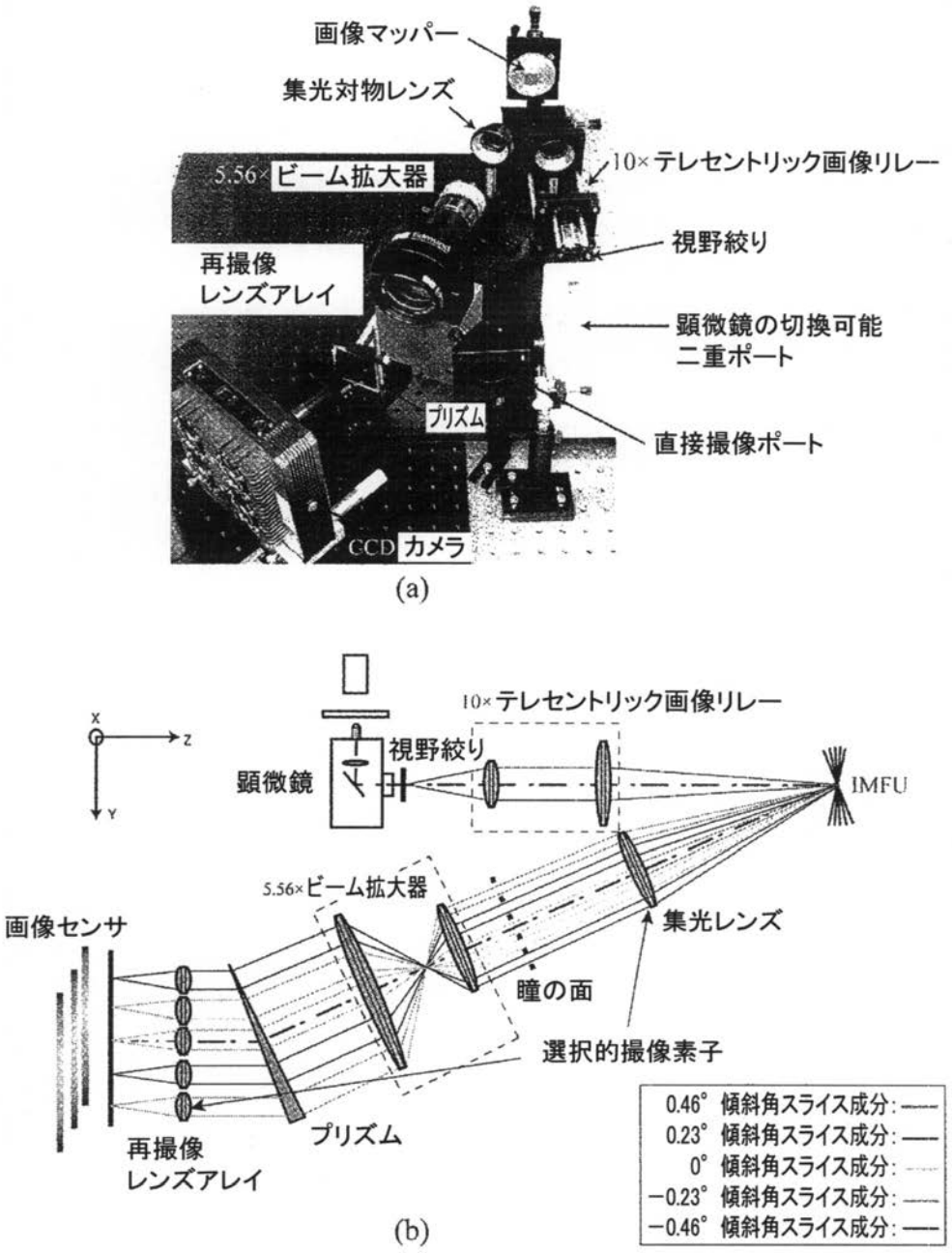
Fig. 28





【図３１】

Fig.31


画像マッパー
集光対物レンズ
5.56×ビーム拡大器
10×テレセントリック画像リレー
視野絞り
再撮像
レンズアレイ
顕微鏡の切換可能
二重ポート
プリズム
直接撮像ポート
CCD カメラ
(a)
X
Z
Y
10×テレセントリック画像リレー
顕微鏡
視野絞り
IMFU
5.56×ビーム拡大器
画像センサ
集光レンズ
瞳の面
選択的撮像素子
プリズム
再撮像
レンズアレイ
0.46° 傾斜角スライス成分:
0.23° 傾斜角スライス成分:
0° 傾斜角スライス成分:
−0.23° 傾斜角スライス成分:
−0.46° 傾斜角スライス成分:
(b)

【図３２】

Fig. 32

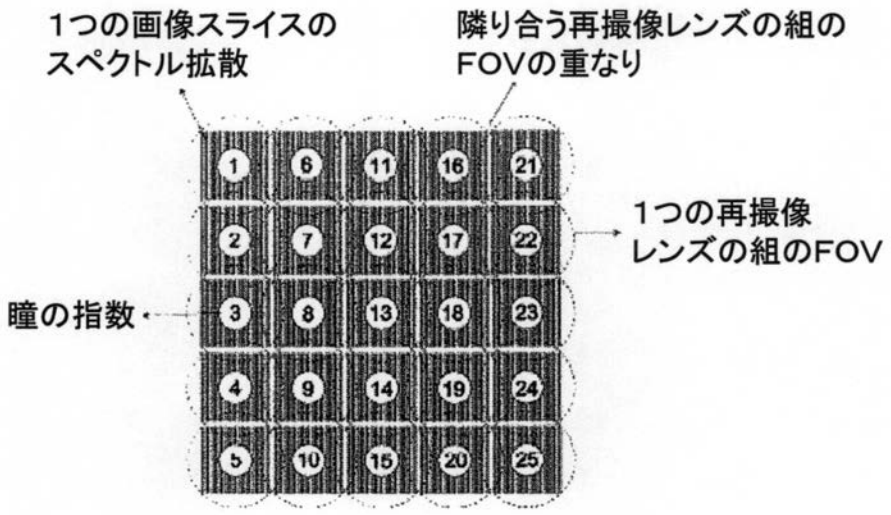
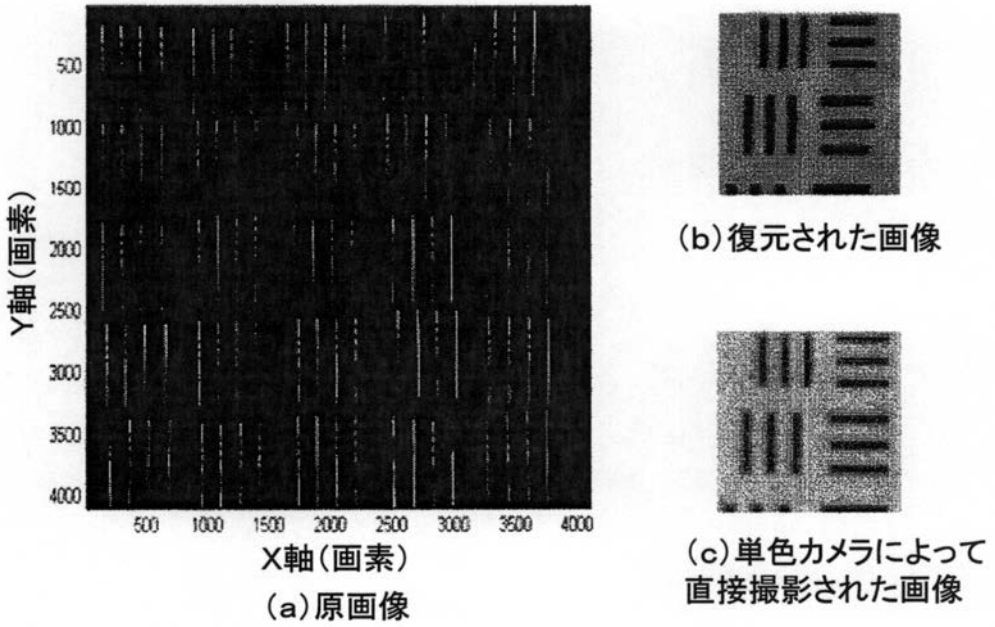


Fig. 33

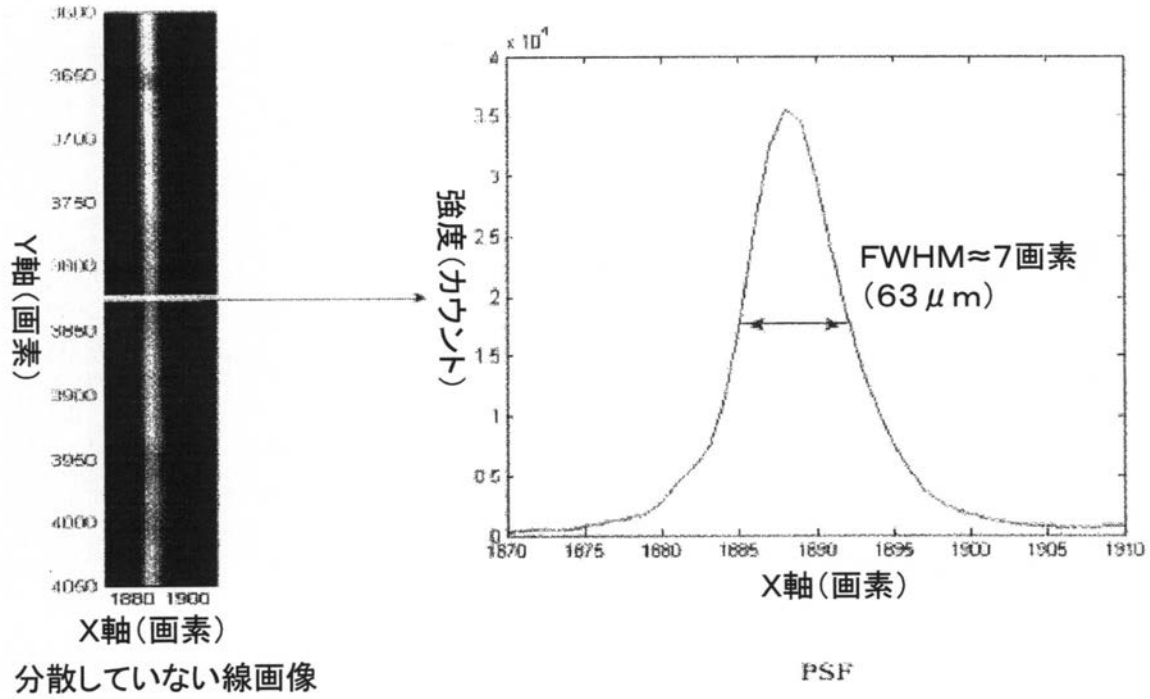
【図３３】

Fig. 33



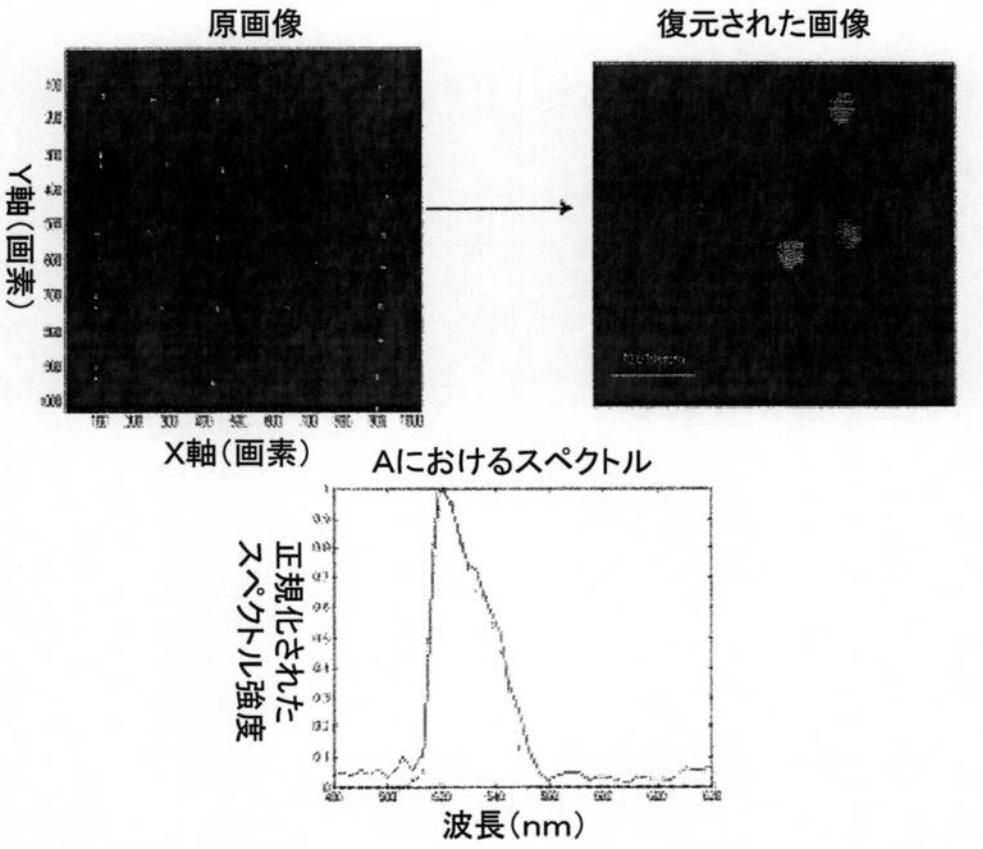
【図３４】

Fig.34



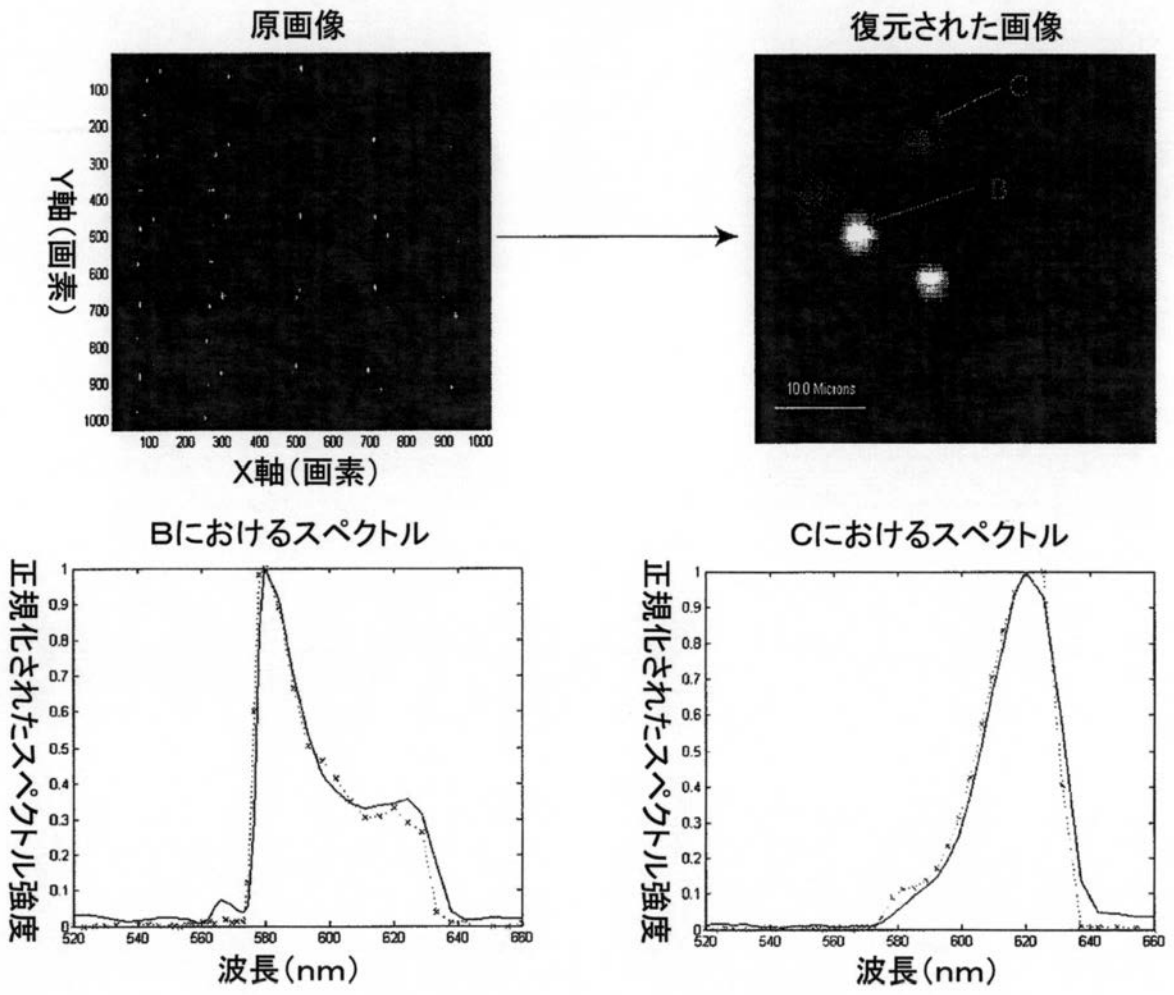
【図３５】

Fig. 35



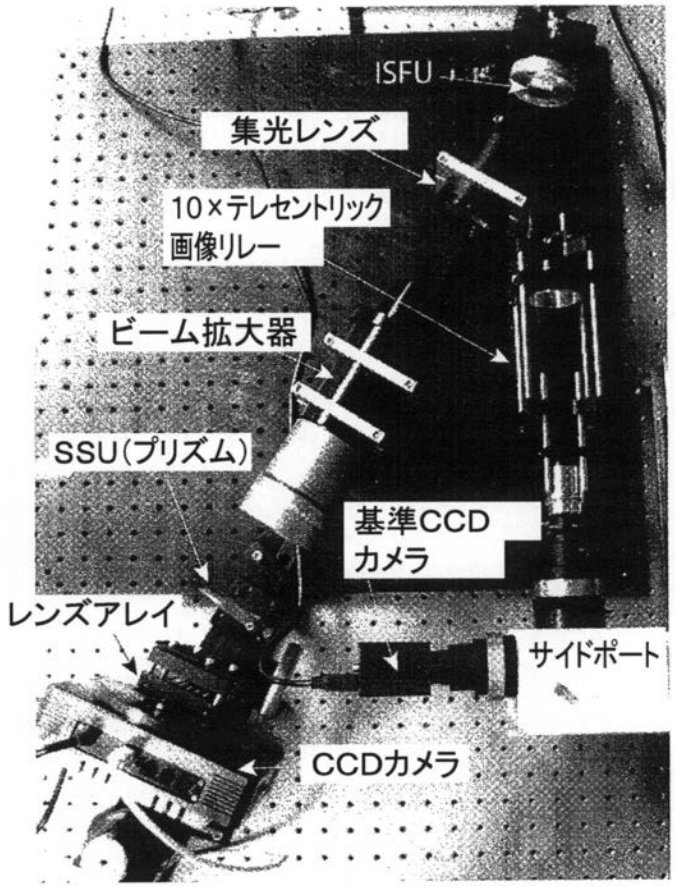
【図３６】

Fig. 36


原画像
復元された画像
Y軸(画素)
X軸(画素)
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
C
B
100 Microns
Bにおけるスペクトル
Cにおけるスペクトル
正規化されたスペクトル強度
波長(nm)
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1
520 540 560 580 600 620 640 660

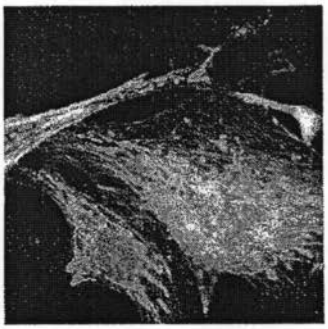
【図３７】

Fig. 37

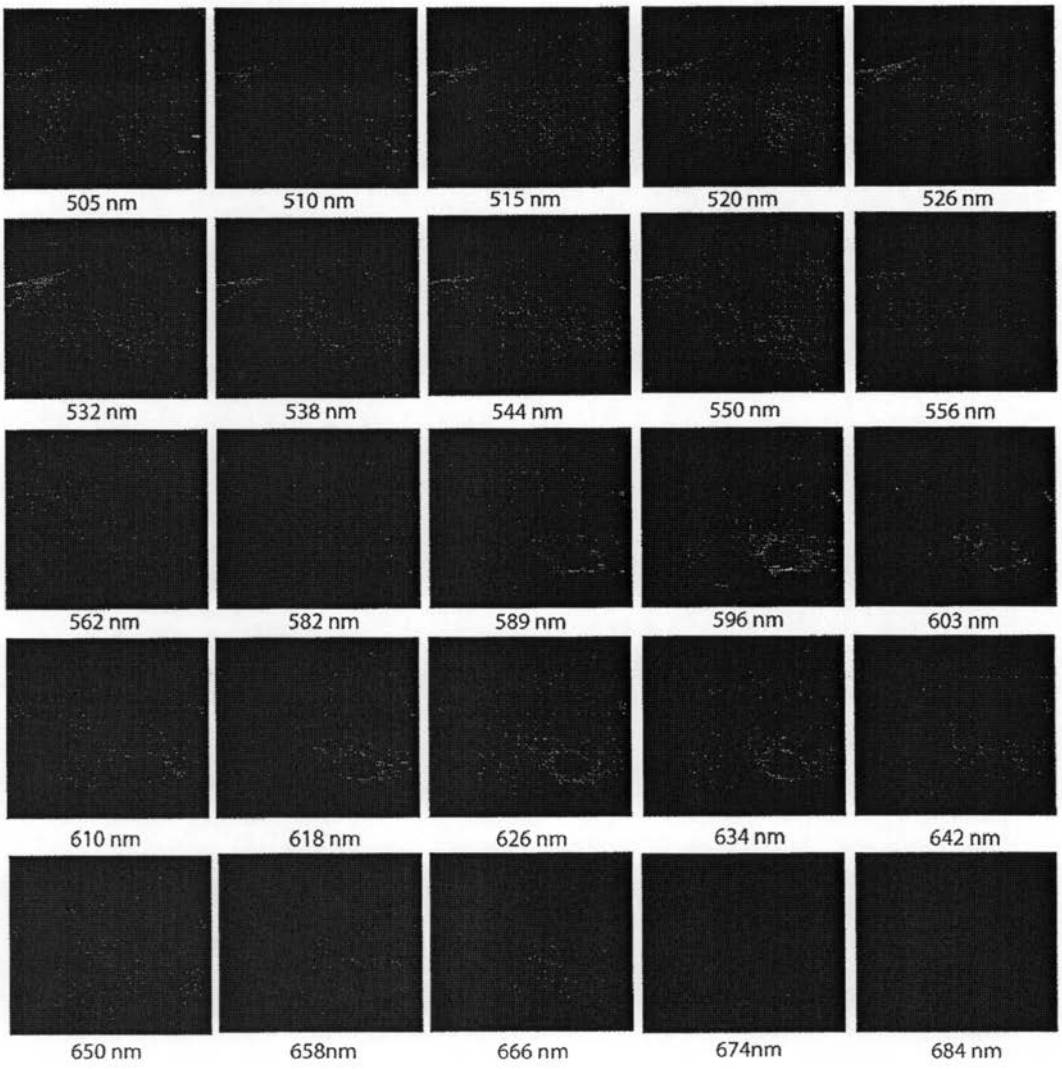

ISFU
集光レンズ
10×テレセントリック
画像リレー
ビーム拡大器
SSU(プリズム)
基準CCD
カメラ
レンズアレイ
サイドポート
CCDカメラ

【図３８】

Fig. 38

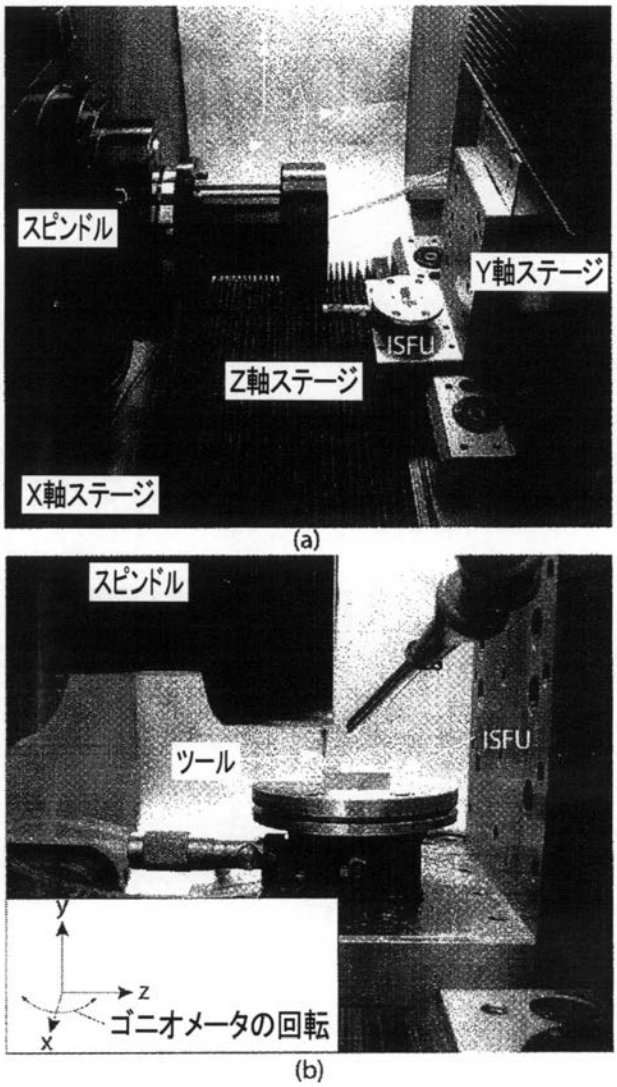


（横）基準CCDで撮像した生体試料。ウシの肺動脈の内皮細胞をMitoTracker Red CMXRosでインキュベートしてミトコンドリアを標識。BODIPY FLファラシジンでフィラメントアクチン（Fアクチン）を標識しDAPIで核を標識。
（下）IMSシステムによって取得したスペクトル間隔5～8nmの505～684nmの25のスペクトル帯画像。



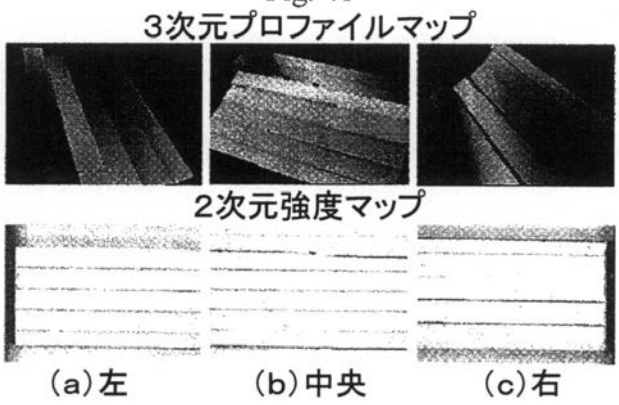
【図３９】

Fig. 39



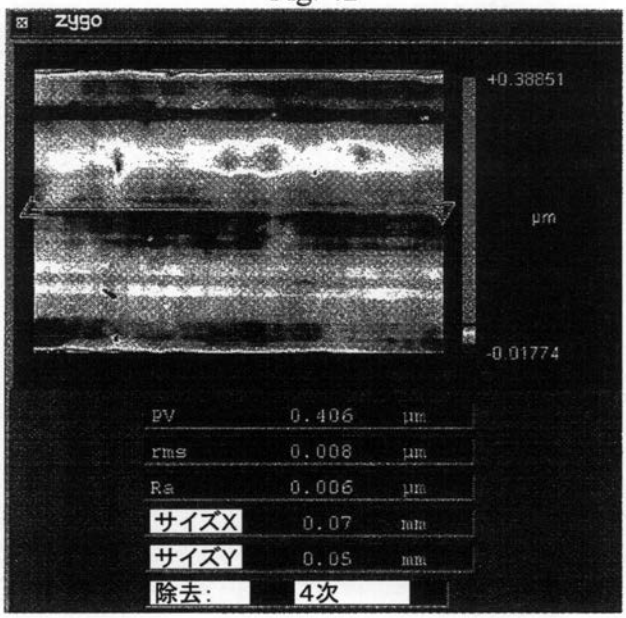
【図４１】

Fig. 41



【図４２】

Fig. 42



【手続補正書】
【提出日】平成23年9月29日(2011.9.29)
【手続補正１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
本願は、本明細書に引用により援用する、２００８年１１月４日に提出された米国仮特許出願第６１／１１１,１８２号の利益を主張する。
【背景技術】
【０００２】
背景
ハイパースペクトル撮像素子は、一般的には物体または情景のスペクトルまたは波長依存成分を調べるために使用される、周知の装置である。（ハイパースペクトル撮像素子は撮像分光計とも呼ばれている。）ハイパースペクトル撮像素子では、所与の物体または情景から発せられたまたは反射された光の画像が、通常はこの物体または情景の１つの線画像を通すスリット素子である分光計の入口に形成される。そうすると、分光計は、光をその波長に従ってスリット素子の向きに直交する方向に分散させながら、この光の画像を容易に観察または記録できる別の場所に再び形成する。このようにして、物体または情景の各線画像を２次元データアレイに分解し、この物体または情景を、ライン毎に増分して走査することにより、３次元データキューブを形成する。
【０００３】
蛍光顕微鏡検査は、さまざまな細胞力学をより深く理解するために、広範囲にわたって使用される。この解析ツールの幅広い応用への刺激となっているのは主に、生理的検体に対してある範囲の感度を有する蛍光タンパク質、ナノ結晶、および有機発蛍光団の、進行中の開発である。蛍光プローブの開発および応用は、細胞および組織生理学の研究を激変させた。しかしながら、これらのプローブが生み出す潜在的な情報を十分に活用するには

、検出システムが、発蛍光団の組合せの分光変化を同時にモニタする必要がある。これが必要となる理由は、ほとんどの細胞応答が単独で生じず、細胞エフェクタに反応する複雑な一連の事象があるからである。さらに、生理学的興味の対象となる試料は、細胞の不均一な集団で構成されていることが多い。この集団の各細胞は、場合によっては他の細胞と結合し摂動に対して独自のパターンで反応する。このような事象の時系列を蛍光技術で求めるためには、スペクトル撮像システムが、高い空間、スペクトル、および時間の分解能の適切な組合せを示さなければならない。現在利用できるシステムの走査要件のため、これらパラメータのうち１つ以上が別のパラメータの改善の犠牲になることが多い。これは、生物学的プロセスの時間的経過における空間的または時間的な不明確さにつながる。これらの同じ限界は内因性蛍光信号にもあり、走査技術では検出することが難しい、試料の異なる分子と固有の時間的相互作用の固有の組合せが存在することが多い。加えて、多くの内因性および外因性蛍光造影剤は、時間の経過とともに光退色し、統合期間全体にわたって信号を収集できる非走査手法の恩恵を受けるであろう。反射率および吸収に基づく信号も同様に、検出については走査に基づく撮像分光計に対して妥協する。

【０００４】

早期および前癌検出のための内視鏡撮像技術において強まりつつある傾向は、その技術の診断能力を画像のスペクトル成分を改善することによって高めることであった。分光技術は、ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド（「ＮＡＤＨ」）、フラビンアデニンジヌクレオチド（「ＦＡＤ」）、コラーゲン、ならびにオキシおよびデオキシヘモグロビンといった内因性癌バイオマーカに、蛍光および反射率に基づく際立った分光的特徴があることを示してきた。これら分子バイオマーカは、前および早期癌領域を、より伝統的な形態学的および構造的特徴として識別する際の、重要な指標の役割を果たすことができる。撮像分光計が提案されてきたが、欠点のためにその用途は手頃なリアルタイムスクリーニングツールに限定されてきた。これらの手法の主な限界は、より大きなスペクトル帯域幅を得るために、液晶または音響光学といった高額の可同調フィルタに依存していることであった。こうしたフィルタは、極めて高額であるだけでなく、スペクトルデータを連続的に収集するので画像収集時間に遅れがある（＞約２３秒）。計算トモグラフィ撮像分光計（「ＣＴＩＳ」）といったスナップショット技術は、この限界を回避しているが、収集後処理が長い（約３０～６０分）ので、これも生体内撮像には不向きである。

【０００５】

リモートセンシングは、交戦地帯、氷河、深海、ハリケーン、ガスの柱、生物兵器等の危険なまたは近づきにくい領域から情報を取得するのに役立つツールである。撮像分光計は、リモートセンシング技術を向上させ、試料からのわずかなスペクトル特徴に基づいて重要な情報を提供する。この装置は、衛星および航空機といった高速で移動する乗物で使用されることが多く、結果として高速データ収集を必要とする。走査に基づく手法は、この高速取得要件を満たすために、画像の大きさ、コントラスト、および／またはスペクトル分解能について妥協することが多い。場合によっては、問題となっている事象、たとえばミサイルがその標的に命中したことの確認は、あまりに短期間で明らかになるので、走査手法を、ミサイルが標的に命中したことの確認といったことに使用するのは実際不可能である。このため、非走査スナップショットスペクトル撮像技術が望ましいであろう。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

食品検査は、我が国で消費される食品の品質を保証するのに重要な役割を果たす。しかしながら、このプロセスは一般的に、見た目に明らかな欠陥を対象とした、食品の人手による観察である。この手法には、多くの欠陥は人間の目で観察できないことを含めていくつかの限界がある。また、これは、遅いプロセスとなる可能性もあり、人為的ミスおよびサンプリング誤差が生じやすい。スペクトル撮像技術は、食品の複数の欠陥を、特有のスペクトル特徴に基づいて迅速かつ定量的に評価できることによって、この分野で重要な役割を果たすことができる。市場に投入するまでの時間に対する影響を最小にするために、

検査所は情報を非常に素早く取得し分析しなければならず、これは走査に基づく手法の有用性を制限する。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

概要

本開示は概してハイパースペクトルおよびマルチスペクトル撮像の分野に属する。より具体的には、本開示は、ある実施例に従うと、小型画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）システムおよび方法に関する。

【０００８】

本開示の一実施例は、画像マッピング分光計を提供する。画像マッピング分光計は、画像マッピングフィールドユニットを含む。画像マッピング分光計はさらに、スペクトル分離ユニットを含む。画像マッピング分光計はさらに、選択的撮像素子を含む。

【０００９】

本開示の別の実施例は、スペクトル撮像方法を提供する。スペクトル撮像方法は、光学試料を与えることを含む。スペクトル撮像方法はさらに、画像マッピング分光計を与えることを含み、画像マッピング分光計は、画像マッピングフィールドユニットと、スペクトル分離ユニットと、選択的撮像素子とを含む。スペクトル撮像方法はさらに、光学試料を画像マッピング分光計によって撮像することを含む。

【００１０】

本開示の他の実施例は、画像マッピングフィールドユニットの製造方法を提供する。画像マッピングフィールドユニットの製造方法は、画像マッピングフィールドユニット基板を与えることを含む。この方法はさらに、光学部品断面プロファイルを与えることを含む。この方法はさらに、光学部品断面プロファイルに特化した表面成形ダイヤモンドツールを与えることを含む。この方法はさらに、表面成形ダイヤモンドツールを用いて光学部品断面プロファイルを画像マッピングフィールドユニット基板に形成することによりマッピング素子を形成することを含む。

【００１１】

本発明の特徴および利点は当業者には明らかであろう。当業者は数多くの変更を行なうことができるが、このような変更は本開示の精神に含まれる。

【００１２】

例示される本開示のいくつかの特定の実施例は、部分的には以下の説明および添付の図面を参照することによって理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】Ａ～Ｆは画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）システムの一実施例に従う、３次元オブジェクトキューブの電荷結合素子（「ＣＣＤ」）アレイへの撮像シーケンスを示す。

【図２】本開示の実施例に従うＩＭＳシステムの基本構成を示す。

【図３】Ａ～Ｇは本開示の実施例に従う、可能な画像マッピングフィールドユニット（「ＩＭＦＵ」）設計の例を示す。

【図４】Ａ～Ｄは本開示の実施例に従う、特定設計の表面成形ダイヤモンドツールを用いてＩＭＦＵを製造するためのダイヤモンド機械加工構成（ラスターフライカット）を示す。

【図５】本開示の実施例に従う、複数の小面（facet）が形成された表面成形ダイヤモンドツールを示す。

【図６】ＡおよびＢは典型的にはダイヤモンド機械加工のラスターフライカットによって生じる、「エッジ侵食」として知られている製造関連の収差を示す。

【図７】Ａ～Ｅは本開示の実施例に従う、エッジ侵食効果を最小にできるいくつかのＩＭＦＵ設計構成を示す。

【図８】本開示の実施例に従い、ＡはＩＭＦＵの小型光学部品によって生じる回折効果を

シミュレートしたものを示し、Ｂは約１％の最小クロストークのための隣のサブ瞳の最適配置を示す。
【図９】Ａは本開示の実施例に従うＩＭＳシステムからの実際の瞳によって作られた画像を示し、２５の傾斜（５つのｘ傾斜および５つのｙ傾斜）があり、回折によって生じた楕円形の瞳を示す。これはミュレートした瞳によって作られた画像と比較される（Ｂ）。実際の瞳およびシミュレートした瞳のｙ軸およびｘ軸を通る断面はそれぞれＣおよびＤに示される。
【図１０】Ａ～Ｃは本開示の実施例に従うレンズアレイ部品の異なる選択的撮像素子構成を示す。
【図１１Ａ】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて選択的撮像素子の色収差補正を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１１Ｂ】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて選択的撮像素子の色収差補正を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１１Ｃ】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて選択的撮像素子の色収差補正を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１１Ｄ】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて選択的撮像素子の色収差補正を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１１Ｅ】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて選択的撮像素子の色収差補正を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１１Ｆ】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて選択的撮像素子の色収差補正を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１２】本開示の実施例に従う、光学モデリングソフトウェアを用いて最終像平面でのＩＳＭシステムのスペクトル分離を検証するシミュレーションから得られた結果を示す。
【図１３】Ａ～Ｃは本開示の実施例に従う、ｙ軸の３つの傾斜角およびｘ軸の３つの傾斜角を有する画像マッピング器の一例を示す。傾斜の総数は９であり、これは選択的撮像素子のサブシステムの数に相当し、画像センサの表面における画像ラインの間の分離にも関連する。
【図１４】本開示の一実施例に従う単軸傾斜画像マッピング器を示す。
【図１５】本開示の一実施例に従う環状ミラーを有する反射型ＩＭＳシステムを示す。
【図１６】本開示の一実施例に従うビームスプリッタを有する反射型ＩＭＳシステムを示す。
【図１７】本開示の一実施例に従う反射型傾斜ＩＭＳシステムを示す。
【図１８】本開示の一実施例に従う屈折型ＩＭＳシステムを示す。
【図１９】本開示の一実施例に従うＩＭＳレンズのアレイを示す。
【図２０】本開示の一実施例に従うマルチスペクトルまたは「範囲拡大」ＩＭＳシステムを示す。
【図２１】本開示の一実施例に従う、単一の画像検出器を用いるマルチスペクトルまたは「スペクトル範囲拡大」ＩＭＳシステムを示す。Ａはフィルタなしの画像センサの例を示し、ＢおよびＣは各々フィルタ付きの画像センサの例を示す。
【図２２】本開示の一実施例に従う、フィールド圧縮部品を用いる拡大スペクトルサンプリングＩＭＳシステムを示す。
【図２３】図２３およびＡは本開示の一実施例に従う動的ＩＭＳシステムを示す。
【図２４】ＡおよびＢは本開示の一実施例に従う導波路ＩＭＳを示す。
【図２５】本開示の一実施例に従う複数のＩＭＦＵを有するＩＭＳシステムを示す。
【図２６】本開示の一実施例に従う、内視鏡に応用するのに適しているであろうＩＭＳシステムを示す。
【図２７】本開示の一実施例に従う、眼科に応用するのに適しているであろうＩＭＳシステムを示す。
【図２８】本開示の一実施例に従う、倒立顕微鏡のサイドポートにおけるＩＭＳシステム組立の一例を示す。

【図２９】Ａは本開示の実施例に従う初期ＩＭＦＵを示す。Ｂはサイズ比較のためにＡのＩＭＦＵを米国の２５セント硬貨とともに示す。ＣはＡのＩＭＦＵのランプミラー１－５の中央領域のザイゴ（Zygo）のNewView 5000による３次元画像を示し、擬似色は深さ情報を示す。
【図３０】図２８のシステムの例から得られた画像を示す。Ａは１９５１ＵＳＡＦ分解能試験対象の１つのサブ画像を示し、Ｂは１×５の瞳の画像を示し、Ｃはハロゲン源からの画像を示し、Ｄはソース画像空間マッピングラインからのスペクトル拡散を示す。
【図３１】本開示の実施例に従う初期ＩＭＳシステムを示す。ＩＭＳシステムは１回の統合事象で１００×１００×２５の３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを収集することができる。Ａはプロトタイプシステムを示し、ＢはＩＭＳシステムの概略図を示す。
【図３２】本開示の実施例に従う、ＣＣＤカメラ上の視野（「ＦＯＶ」）の重なりを示す。隣接する再撮像レンズのＦＯＶが重なり合うことでＣＣＤ領域を十分に利用できる。
【図３３】本開示のある実施例に従う、１９５１ＵＳＡＦ分解能試験対象の分散していない画像を示す。原画像Ａはビニング（binning）なしで１６ビットカメラを用いて得ることができる（画素サイズ～９μｍ）。Ｂは復元された画像を示す。比較のために、Ｃに示されるように同じバーの画像を顕微鏡のサイドポートで単色カメラを用いて直接撮影した。ＦＯＶにおける最上段のバーはグループ７の要素６に属している（バーの幅～２．１９μｍ）。
【図３４】本開示の実施例に従う、分散していない画像からの１つのマッピングラインの点拡がり関数を示す。カメラの画素サイズは９μｍに等しい。ｘ位置およびｙ位置は、ＣＣＤカメラのグローバル座標における画像の中の場所を示す。
【図３５】本開示の実施例に従う、緑の蛍光ビードの１００×１００×２５システムからのＩＭＳ画像を示す。原画像は、１６ビットＣＣＤカメラを用いて統合時間約６秒で得ることができる。ビードのスペクトルは復元された画像中の点Ａから得られる。
【図３６】本開示の実施例に従う、赤および黄の蛍光ビードのＩＭＳ画像を示す。原画像は、１６ビットＣＣＤカメラを用いて統合時間約２秒で得ることができる。黄のビードのスペクトルは復元された画像中の点Ｂから得られ、赤のビードのスペクトルは復元された画像中の点Ｃから得られる。
【図３７】本開示の実施例に従う初期ＩＭＳシステムの図を示す。ＩＭＳシステムは１回の統合事象で２８５×２８５×６２の３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを収集することができる。このシステムの概略図は図３１のＢと同様である。
【図３８】側部において、基準ＣＣＤを用いて撮像した生体試料を示す。この生体試料は、ウシの肺動脈の内皮細胞を含み、この細胞を、MitoTracker（登録商標）Red CMXRosでインキュベートしてミトコンドリアを標識し、BODIPY（登録商標）ファラシジン（phallacidin）でフィラメントアクチン（Ｆアクチン）を標識し、４',６－ジアミノ－２－フェニルインドール（「ＤＡＰＩ」）で核を標識した。下側において、本開示の実施例に従う、ＩＭＳシステムを用いて撮影した、スペクトル間隔約５～８ｎｍの約５００～約６８４ｎｍの生体試料の２５のスペクトル帯画像を示す。
【図３９】Ａは本開示の実施例に従う、軸が表示されたＩＭＦＵ製造のためのNanotech 250UPLマシンを示す。Ｂはｘ傾斜のミラー小面を作るためにＩＭＦＵを回転させるのに使用されるゴニオメータ固定具の拡大図を示す。
【図４０】Ａは本開示の実施例に従う、２８５のミラー小面ならびにｘ軸およびｙ軸の２５の傾斜を有する大型フォーマットのＩＭＦＵの上面図をサイズ比較のために米国の２５セント硬貨とともに示す。Ｂは図２９のＡの大型フォーマットのＩＭＦＵの拡大側面図を示す。
【図４１】本開示の実施例に従う、大型フォーマットのＩＭＦＵにおける個々のミラー小面の白色干渉計による表面プロファイル測定を示す。（ａ）は部品の左端、（ｂ）はその中央、（ｃ）はその右端を示す。
【図４２】本開示の実施例に従う、幅７５ミクロンの表面成形ダイヤモンドツールを用いて製造された大型フォーマットのＩＭＦＵ（２８５のミラー小面）から得られた典型的な

粗さの結果を示す。
【００１４】
本特許または出願ファイルは、彩色された図面を少なくとも１つ含む。この特許または特許出願公報の写はカラー図面とともに、要求し必要な費用を支払えば特許庁から提供されるであろう。
【００１５】
本開示にはさまざまな変形および代替形態が可能であるが、実施例の特定の例が図面に示され本明細書でより詳細に説明される。しかしながら、実施例の特定の例についての説明は、本発明を開示された特定の形態に限定することを意図しているのではなく、逆に、この開示は、一部添付の請求項によって示されるすべての変形および均等物を包含することが理解されるはずである。
【発明を実施するための形態】
【００１６】
説明
本開示は、一般的にはハイパースペクトルおよびマルチスペクトル撮像の分野に属する。より具体的には、本開示は、ある実施例に従うと、小型画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）システムおよび方法に関する。
【００１７】
この文書の文脈において「マッピング」という用語は一般的に、データを変換して最終画像を形成するプロセスを意味する。典型的な撮像システムでは、マッピング変換は線形でもよく、軸対称であることが多い。マッピングはまた、何らかの配列または配向の任意のプロセスを含んでいてもよく、これにより、スペクトルおよび空間情報を並列に収集することができる。
【００１８】
本明細書で使用される「レンズ」は一般的に、任意の光学部品または組合された屈折力を有する複数の光学部品の組合せを意味する。レンズは、１つ以上の屈折部品、１つ以上の回折部品、１つ以上の反射部品、および屈折、回折、および／または反射部品の任意の組合せを含み得る。
【００１９】
本明細書で使用される「マッピングライン」は一般的に、光学試料全体または光学試料の一部を通る１次元の点の集まりを意味する。「マッピング画素」は一般的に、光学試料内の任意の場所からの１つの点を意味する。「マッピング領域」は一般的に、光学試料全体または光学試料の一部を通る２次元の連続した点の集まりを意味する。「傾斜」は一般的に、主光線または中心光線が光学試料内の１点からまたはその１点まで伝搬する方向を意味する。
【００２０】
本明細書で使用される「開口絞り」または「絞り」は一般的に、光学試料内のある軸方向の点からの光の束を制限する物理的な構成要素を意味する。光学系における任意の光学空間内の絞りの像を「瞳」と呼んでもよい。場合によっては光学部品の絞りを「瞳」と呼ぶことがある。なぜならこれらは互いの共役像でありその例に対して同じ機能を果たすからである。
【００２１】
本開示は、ある実施例に従い、画像マッピング原理に基づいたハイパースペクトルおよびマルチスペクトル撮像に役立つ画像マッピング分光計（ＩＭＳ）を提供する。この開示の装置および方法は、生体および医療用撮像、生体計算、監視用途、リモートセンシング（たとえばミサイル防衛、即席爆発装置の検出、現場検出、生化学的検出）、大気撮像（たとえば気象学または汚染スクリーニングにおけるもの）、食品検査、ならびに実時間スペクトル撮像を必要とするその他多数の用途（たとえばラーマン分光法、コヒーレントアンチストークスラマン散乱（「ＣＡＲＳ」）、および分光－偏光分析および偏光分析）に応用されてもよい。ＩＭＳは、走査を必要とすることなくスペクトル情報を瞬時に取得で

きる。ＩＭＳは、大量の画像およびスペクトルデータを並列に取得してもよい。たとえば、ＩＭＳは約１００万のボクセル（voxel）を一度に取得できる。ＩＭＳは、ある実施例では約５２０万のボクセルを一度に取得してもよく、他の実施例では約１６００万と約１億の間のボクセルの同時取得に備えてもよい。ＩＭＳは、画像データを、遠隔場所に、たとえば、（約１０ｍよりも長い）長い距離離れた場所および／または視線の範囲で見ることができない場所に、送信することができる。走査なしシステムの利点は、たとえば高い光学スループット、高速画像取得、および高いスペクトル／空間相関関係を含む。画像を生成するために、ＩＭＳは非常に限定された処理（画像の再マッピング）を必要とすることで、高速で明確で直接的な手順を提供できる。これが有益であるいくつかの応用例があり、そのような応用例の１つは、生体細胞内の複数の蛍光プローブの同時で高分解能の細胞小器官顕微鏡検査のための蛍光スペクトル撮像の分野にある。

【００２２】

本開示はまた、ある実施例に従い、たとえば顕微鏡、内視鏡、ポイントオブケア（「ＰＯＣ」）装置、カメラ、暗視機器等の、１つ以上のその他の撮像システムと結合されるＩＭＳを提供する。また、ＩＭＳを、任意の電磁放射線、たとえば紫外線、可視光線、および赤外線のスペクトル帯に応用してもよい。可視および近赤外、中波赤外、長波赤外およびその他多くの領域などのスペクトル範囲を組合せてマルチバンドを実現することも可能であろう。

【００２３】

本開示はまた、ある実施例に従い、１つのアレイ検出器またはアレイ検出器を組合せたものにおいて全スペクトル情報を同時に取得することができる分光撮像方法を提供する（たとえばＩＭＳは大型フォーマットの検出器または数個の検出器を使用してもよい）。本発明を特定の理論または作用機構に限定することなく、ＩＭＳはそれでもやはり画像マッピング領域の方向を空間的に変えて検出器／画素の間の空間を得ることによって機能すると現在考えられている。したがって、回折部品、屈折部品、および／または組合された部品を使用することによって、ＩＭＳはこの空間をこれら再分配された画像区域からのスペクトル情報で満たすことができる。この空間およびスペクトルについて再分配された最終画像を、画像センサ（たとえば電荷結合素子（「ＣＣＤ」）、相補型金属酸化物半導体（「ＣＭＯＳ」）、フォトダイオードのアレイ、アバランシェフォトダイオード、光電子増倍管のアレイ、熱検出器など）によって検出および／または記録することにより、明確な３次元（ｘ，ｙ，λ）情報（「データキューブ」と呼ばれることがある）を画像センサ上に与えることができる。

【００２４】

限定ではなく説明のために、提案するＩＭＳ機器の動作原理を図１に示す。例として、オブジェクトのさまざまな点に対する色が重なり合っていない４つのスペクトル帯からなる単純な光学試料について考える（図１のＡ）。まず、３次元（ｘ，ｙ，λ）オブジェクトの選択された行をシフトし大型フォーマットの画像センサに撮像してスペクトル拡散のための領域を作る（図１のＢ）。この領域は図面では白い正方形（画像センサの個々の検出器）で表わされている。行をシフトさせた後、垂直方向に分散させて１つの画像における３次元（ｘ，ｙ，λ）情報を取得する（図１のＣ）。すなわち、空間およびスペクトル情報を１回のスナップショットで符号化してもよく、すべての空間－スペクトル成分を画像センサの異なる検出器にマッピングしてもよい。このような手法の重要性は、同じ空間的場所に多数のスペクトル帯があるオブジェクトについては大きくなる（このようなオブジェクトの一例を図１のＤに示す）。従来の撮像を用いて、数個の波長帯を同一の検出器で統合してもよく、スペクトル特徴は失われるかもしれない（図１のＥ）が、これはＩＭＳマッピング技術によって保存される（図１のＦ）。

【００２５】

なお、ｘ、ｙ、およびλ要素の総数は、典型的には画像センサ上の検出器の総数を超えず、明確で直接的な空間－スペクトル情報を提供する。本明細書において使用される「明確な」は一般的に、３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブからの一般的にボクセルと呼ば

れる最小データ量と、２次元画像センサからの個々の検出器との間の直接的な１対１の対応関係を意味する。たとえば、１０２４×１０２４の検出器の画像センサは、２５６×２５６×１６または５１２×５１２×４のデータキューブを明確に取得することができ、ここで最初の２つの数はｘ方向およびｙ方向における空間要素の量を表わし、３番目の数はスペクトル帯の数を表わす。画像取得後に、データを再びマッピングして処理し（一般的にはいくつかのコンピュータおよび／またはソフトウェアを使用）、鮮やかなカラー画像をコンピュータ画面に表示してもよく、ここからスペクトルを実時間で各マッピング画素で取得できる。なお、不明確なデータも収集して空間／スペクトルサンプリングを向上させてもよいが、これには画像処理技術が必要であり、結果として画像表示が遅くなる可能性がある。

【００２６】

一般的に、本開示のＩＭＳは、画像マッピングフィールドユニット（「ＩＭＦＵ」）と、スペクトル分離ユニット（「ＳＳＵ」）と、選択的撮像素子とを含む。ＩＭＳは、それ自身でまたは他の研究もしくは診断ツール（倒立顕微鏡１７０５、内視鏡など）と組合せて使用することができる自律的な機器として設計してもよい。ＩＭＳレイアウトの一例の概念図を図２に示す。ここでは光学試料２００をＩＭＳによって撮像する。光学試料は、物理的オブジェクトでも、撮像前システムからの画像でも、いずれかの共役像でもよい。光学試料は、透過、反射または蛍光といった任意の仕組みによってＩＭＳ撮像のための電磁放射線を提供してもよい。この電磁放射線をまず１次瞳２０１を通して収集してもよい。この１次瞳２０１は、１つ以上の任意のリレーレンズ２０２に先行および／または後続していてもよい。図２に示される実施例では、任意のリレーレンズ２０２が１次瞳２０１の前にも後ろにもある。任意のリレーレンズは、光学試料からの画像をＩＭＦＵ２０３に中継して伝えることができるどのような光学部品であってもよい。たとえば、任意のリレーレンズは、１つのレンズでも、レンズのアレイでも、屈折率分布型（「グリン（ＧＲＩＮ）」）レンズでも、光ファイバでも、１束の光ファイバでもよい。（光ファイバの任意のリレーレンズは内視鏡用途では特に有用である。）電磁放射線は次にＩＭＦＵ２０３に入射する。以下でさらに説明するように、ＩＭＦＵ２０３は、電磁放射線の向きを変えて選択的撮像素子２０４に向けるときに、「画像マッピング」または「マッピング」とも呼ばれる画像の空間的再編成を行なう。ＩＭＦＵは、一般的に任意の仮想または実際の画像共役場所もしくはフィールド空間、または画像共役場所から１ミリメートル以内のところに位置していてもよい。一般的に、選択的撮像素子２０４は、空間的に隔てられた２つの部品：（１）集光対物レンズまたは集光対物レンズのアレイ２０４ａ、および（２）再撮像レンズのアレイ２０４ｂを含む。図２に示されるように、ＳＳＵ２０５を選択的撮像素子２０４の上記２つの構成要素の間に配置してもよい。ＳＳＵは一般的に、瞳共役場所、または絞り空間、または瞳共役場所から数ミリメートル以上の範囲内にある。たとえば、ＳＳＵ２０５は、１次瞳２０１とＩＭＦＵ２０３との間、ＩＭＦＵ２０３と選択的撮像素子２０４との間、または選択的撮像素子２０４と画像センサ２０６との間にあってもよい。最後に、電磁放射線が画像センサ２０６に入射する。画像センサ２０６は、ＣＣＤといった電磁放射線を定量的に測定することが可能な検知部または検出器の任意のアレイを含み得る。簡潔にするためにこの開示が所与の光学部品を１つのレンズまたはプリズムとして説明または示すことがあるが、所望の効果を得るために各部品が複数のレンズまたはプリズムを含む場合があることが理解されるはずである。本明細書で使用されるＩＭＳの「構成」は一般的に、相対的な、要素（光学試料２００、１次瞳２０１、任意のリレーレンズ２０２、ＩＭＦＵ２０３、選択的撮像素子の集光対物レンズ２０４ａ、選択的撮像素子の再撮像レンズアレイ２０４ｂ、ＳＳＵ２０５、および画像センサ２０６を含む）の数、種類およびレイアウトを意味する。

【００２７】

ＩＭＦＵ２０３またはマッピング器は、画像を空間的に再編成し、スペクトル情報の符号化に使用される画像空間に光学的に空白の領域を作る。ＩＭＦＵ２０３は、その面上に空間的に配置された光学部品を含んでいてもよい。ある配置は、同様の光学機能を示すこ

とにより、光学素子の論理的グループ分けを形成することができる。たとえば、図３に示されるマッピング領域１、４、および７が同様の光学機能を示しＩＭＦＵ光学部品グループＡとして論理的にグループ分けされてもよく、図３に示されるマッピング領域２、３、８、および９がＩＭＦＵ光学部品グループＡの光学機能とは異なる同様の光学機能を示し、マッピング領域２、３、８および９がＩＭＦＵ光学部品グループＢとして論理的にグループ分けされてもよい。ある実施例ではＩＭＦＵ光学部品グループをＩＭＦＵの面の上で対称となるように配置してもよい。ある実施例ではＩＭＦＵ光学部品グループの配置が幾何学的形状および／または繰返しパターンを形成してもよい。光学部品を、マッピングライン、マッピング画素、および／またはマッピング領域といった特に有用なマッピング形状で配置してもよいが、他の一般的な形状（たとえば正方形、三角形、「Ｌ」、「Ｏ」など）を使用することもできる。特定のマッピングライン、マッピング画素、および／またはマッピング領域の光学部品はしたがって、その形状特有の同様の光学機能を示すであろう。他の実施例におけるＩＭＦＵ光学部品グループの配置はランダムでも無秩序でもよい。１つの光学部品グループが生成した画像を、サブ画像と呼んでもよい。ＩＭＦＵの面の上のＩＭＦＵ光学部品グループの特定の配置を、ＩＭＦＵの「幾何学形態」と呼んでもよい。ＩＭＦＵの幾何学形態がマッピングを一意的に定めることが、本開示の利益を受ける当業者には理解されるであろう。さらに、ＩＭＦＵの幾何学形態は静的でも動的でもよく、この幾何学形態を、システムの分解または光学試料の妨害を伴うことなく、実時間で制御して変化させてもよい。

【００２８】

ＩＭＦＵ光学部品は、オブジェクトの点からの主光線の向きを画像内の新たな場所に変えることができる。ＩＭＦＵ光学部品は、屈折型、反射型または導波路でもよい。屈折型の手法は、たとえばプリズムのアレイ、レンズのアレイ、および／または光学部品の組合せを含み得る。反射型の手法は、カタジオプトリック（catadioptric）型の手法と同様、たとえば鏡および／またはレンズのアレイを含み得る。導波路の手法は、たとえば光ファイバを含み得る。任意の種類のマッピング器も、より従来的な視野レンズまたはミラーと同様、屈折力を有し得るものであり、リレー光学系からの射出瞳を、選択的撮像素子の対物レンズの入射瞳または集光対物レンズの瞳のアレイに、再び撮像することができる。これにより、小型で光学的に効率的な多重撮像システムが可能である。マッピング器はまた、各マッピング部品に対してアナモルフィックなまたは円筒形の湾曲を取入れ、これにより、システムのスペクトル分解能を高めることができる。最後に、ＩＭＦＵは、屈折および反射部品を組合せてこれらの異なるタスクを個々にまたは組合せて実行することができる。ＩＭＦＵのスペクトル分離を補正してもよい。

【００２９】

図３は、可能なＩＭＦＵ設計の数個の例を示す。以下の説明では、固有の傾斜角９つのみについて述べるが、実際これよりも多くの傾斜角を使用することができる。加えて、ミラー部品のみを示しているが、ＩＭＦＵ２０３部品はたとえばプリズム、レンズ、および光学部品の組合せを含んでいてもよい。図３のＡの幾何学的形態は、オブジェクトを通る水平マッピングライン３０１全体の向きを、９つの異なる角度方向３０２に変えることを示している。ｘ軸およびｙ軸という２つの軸の周りで回転させることにより、大きなスペクトルサンプリングおよび／またはシステムの分解能を提供できる。この手法は、概念および製造の簡潔さに利点がある。しかしながら、この手法の場合、より大きな傾斜のミラーについてはマッピングされている画像が焦点から外れることによってフィールドのエッジ部分では空間分解能が低下することがある。この欠陥は、図３のＢに示される第２の幾何学的形態で小さくすることができ、ここでは画像マッピングラインを水平（ｘ軸）方向３０３において２、３または４以上のセグメントに分割してもよい。この幾何学的形態の場合、マッピング性能はより優れているが、作成するのはより困難である可能性がある。図３のＣに示される具体例としての第３のＩＭＦＵ２０３の幾何学的形態は、静的または能動的な画素サイズミラーマッピング３０４の手法である（たとえばＭＥＭＳミラー、液晶変調器など）。この概念は、用途が広く、スペクトルおよび空間情報双方を記録するた

めの任意の数の再マッピング方式を提供することができる。なお、マッピング画素３０４は正方形または矩形である必要はない。円形マッピング画素３０５のマッピング器の一例を、図３のＤに示し、これは図３のＣに示されるものと概念的には同様である。傾斜させたマッピング部品に加え、各傾斜ミラー小面（facet）が、反射した（または屈折した）光を焦点に集めるための屈折力３０６を有していてもよい。この焦点効果を画像マッピング画素サイズの圧縮に使用することにより、図３のＥに示されるようにシステムのスペクトルサンプリングを増すことができる。図３のＦに示されるように、ＩＭＦＵ２０３全体が屈折力３０７を有していてもよく、システム内の前部光学部品の射出瞳の再撮像に使用されてもよい。図３のＧでは、２つ以上の要素マッピング器の組合せを使用してもよく、これはタスクを個々にまたは集合的に組合せて画像マッピングという目的を果たす。

【００３０】

上記のように、ＩＭＦＵ２０３は屈折型でも反射型でもよい。屈折ＩＭＦＵ２０３は、反射ＩＭＦＵ２０３と幾何学的形態は同様であるが、屈折ＩＭＦＵ２０３は光学試料のマッピング画素の主光線の向きを、光が表面から反射するときではなく透過するときに変えることができる。屈折型および反射型はいずれも、静的または動的に使用できる。たとえば、高精細度テレビ（「ＨＤＴＶ」）で使用することができるデジタル光プロセッサ（「ＤＬＰ」）装置と同様に機能する動的微小電気機械システム（「ＭＥＭＳ」）ミラーアレイを開発してもよい。たとえば、適切なＤＬＰは、テキサス州ダラスのテキサスインスツルメンツ（Texas Instruments）から市場で入手できる。既存のＤＬＰのこの用途における主な欠点は、２つの可能な位置（オンおよびオフ）のみに限定されることであり、したがって空間／スペクトル分解能の実時間調整に対して十分な柔軟性を提供することはできない。このため、個々の光学試料マッピング画素の向きを、像平面の任意の領域に変えることにより応用範囲を最大にすることができる、ヨー（yaw）およびピッチ（pitch）にいくつかの傾斜位置があるアナログまたは高ビット深度アレイを使用してもよい。動的ＩＭＦＵ２３０２の他の例も液晶変調器および屈折型液体変調器（ミクロ流体に基づく）を含み得る。このようなマッピング器を、液晶変調器またはＭＥＭＳに基づく回転プリズムおよび／またはプリズムアレイのような、可同調屈折または回折ＳＳＵ２３０３と組合せてもよい。ＩＭＳを、そのスペクトルおよび空間分解能を実時間で調整できる適応型装置として使用してもよい。

【００３１】

ＩＭＦＵ２０３を、たとえば精密ダイヤモンドラスターフライカット、低速スライドサーボを用いるダイヤモンド旋盤加工、高速ツールサーボを用いるダイヤモンド旋盤加工、マイクロダイヤモンドフライス加工、精密線引（ruling）、コンピュータ数値制御（computer numerical controlled（ＣＮＣ））に基づくマイクロ研削および研磨、直接ビーム書込に基づくグレースケールリソグラフィ、マスクを使用するグレースケールリソグラフィ、多段リフローリソグラフィを含む任意の利用可能な方法を用いて製造してもよい。ダイヤモンド機械加工の手法には、他の技術と比較していくつかの利点がある。まず、各光学部品の大きさ、角度および相対的位置を非常に正確に維持することができる。なぜなら、これは精度を数的に制御したステージによって決定されるからである。第２に、複雑なマッピング傾斜の幾何学的形態（ロール－ヨー－ピッチを含む）は、精密傾斜ステージをダイヤモンド旋盤加工の旋盤に追加することによって可能であろう。第３に、初期プロトタイプ開発コストおよび時間がそれほど多くない。第４に、精密アライメントの特徴をＩＭＦＵ２０３に取入れることにより、ＩＭＦＵ２０３とバッフルおよびレンズ焦点アレイといった他の部品とのアライメント精度を高めることができる。

【００３２】

特に、ＩＭＦＵ２０３を、ＩＭＦＵ２０３のミラー小面といった薄く直線的でアスペクト比の高い特徴を形成するために有望なダイヤモンド機械加工方法であるダイヤモンドラスターフライカットを用いて製造してもよい。画像のアスペクト比とはその幅をその高さで割ったものであることが、この開示の利益を受ける当業者には理解されるはずである。ダイヤモンドラスターフライカットでは、図４のＡに示されるように、ツールをスピンド

ル４０１を中心として回転させ、被加工物４０２（すなわちＩＭＦＵ）から材料を掘出してもよい。この例では、被加工物４０２がｙ軸を横切り薄いミラー小面を形成してもよい。隣接する小面を形成するために、被加工物を図４のＣに示されるようにｚ軸に沿って移動させてもよい。これを、表面全体が切削されるまでＩＭＦＵ４０２の長さに沿って繰返してもよい。図４のＢは、被加工物４０２を切削するツール４０３の拡大図を示す。なお、小面の異なる角度は、被加工物４０２の、特定のｘ－ｚ面における高さの違いに対応し得る。ダイヤモンドラスターフライカットを用いて製造されたＩＭＦＵ２０３の一例が図３９のＡおよびＢに示される。いくつかの実施例では、新たな技術を、表面成形ダイヤモンドツールを用いて適用し、ＩＭＦＵ基板４０２に個々の小面の断面プロファイルを形成してもよい。従来のラスターフライカットでは、マッピング器全体を含む個々の光学部品を、ダイヤモンドツールをマッピング器の基板材料において横方向（マッピング器の面に平行）および軸方向（マッピング器の面に垂直）双方に動かすことによって形成できる。このツールが通過する度に、必要な材料の小さな部分が除去される。その結果、個々の光学部品を製造するにはこのツールを複数回通過させる必要があり、これは高額かつ時間のかかるプロセスに繋がる。一方、表面成形ダイヤモンドツールを用いて製造する場合、横方向の移動は不要であり、軸方向の移動だけで個々の光学部品（または光学部品群）を形成することができる。

【００３３】

さらに、小型でより高いサンプリング（＞１００要素）のＩＭＦＵ２０３が必要とするミラー小面は一層小さいであろう。小面の幅を縮小することにより、光学部品の断面プロファイルに合わせて予め成形したツールを使用することができる。これには、製造時間の大幅な短縮、プログラムの簡潔性、より高密度で配置されたミラー小面、および切削方向に垂直な軸の機械精度とは無関係の幾何学的形状の高い相対精度を含むいくつかの利点がある。

【００３４】

この手法の短所は、ツールの形状、チップおよび／またはその他の欠陥のために、ミラー小面の断面の誤差を補正する能力がほとんどないことである。これにより、ダイヤモンドツールの品質は、製造プロセスにおける重要な要素となる可能性がある。表面成形製造ツールの一例が図４のＡおよびＢに示される。図示のツールに加え、複数の小面および／または特徴を有するより複雑な幾何学形態も可能であり、場合によっては、１つの表面成形ツールよりも好都合である。図５は、一体化されて１つの表面になった６つの小面５０２～５０７を有する表面成形ツール５０１の一例を示す。この方法は、複雑なＩＭＦＵ２０３の製造には有利であろう。なぜなら、これは（１）製造時間を短縮し、（２）多軸傾斜を可能とし、（３）より高密度の特徴を可能とし、（４）切削方向に平行な軸に対するダイヤモンドマシンの精度とは無関係であるからである。

【００３５】

刃先角θ４０３、主横逃げ角α４０４、主チップ逃げ角φ４０５、トップすくい角β４０６、ツール幅、切削の最大深さ、エッジ品質、および材料といった、表面成形ダイヤモンドツールに対して考慮し得るいくつかの設計パラメータがある。これらの幾何学的パラメータは図４のＢおよびＤに示される。平底ツールのチップ幅および切削の最大深さは、ツールの主要な設計パラメータである。なぜならこれらはシステムの光学設計を決めるからである。ツールのチップ幅はミラー小面の幅となるのに対し、切削の最大深さは実現可能な最大のｙ軸傾斜を決定する。他のツールパラメータの適切な選択は、最適な切削性能、耐久性、ツールの製造性、および総費用にとって重要であろう。

【００３６】

ＩＭＦＵの幾何学的形態は、製造プロセスの重要な側面でもある。図６に示されるダイヤモンドツールの幾何学的形態（刃先角）によって生じるエッジ侵食６０１の効果を減じるために、光学部品に対し（１）図７のＡおよび図７のＢに示されるようにｙ軸方向において段違いにすることにより、エッジでの段の高さの相違７０１を最小にし、光学部品を（２）図７のＣおよび図７のＤに示されるようにｘ傾斜７０２についてグループ分けする

ことにより、段の高さの相違７０１がある小面の数を減じ、および／または光学部品を（３）図７のＥに示されるように凹状のｘ傾斜小面の位置の方向にすることにより、刃先角７０３を隣接する小面の傾斜の大きさの分だけ減じることができる７０４。

【００３７】

回折効果は、特に、典型的には高密度で詰込まれた何百から何百万もの小型光学部品を必要とする、大型フォーマットの空間撮像状況にとっては、ＩＭＦＵ２０３設計の別の重要な側面であろう。最も顕著な回折効果は、およそ数十～数百ミクロンである小面の幅によって生じると考えられる。瞳の中では、この回折効果が、図８のＡに示されるように、小面の幅に対して共役である軸における幾何学的直径を伸ばすことにより、楕円形の瞳を作ることがある。この回折によって生じる楕円形の瞳は、システムに対して２倍の効果を有する。第１に、これはクロストークに繋がり得る。クロストークは一般的に、ＩＭＦＵ２０３の１つのサブ画像からの光が別のサブ画像の光路の中に入ったときに生じる現象を意味する。第１のサブ画像を形成するＩＭＦＵ２０３光学部品グループは、第２のサブ画像を形成する光学部品グループの隣にある場合がある。クロストークは典型的に、隣り合う瞳、集光対物レンズ、および／または再撮像レンズに生じ、最終画像の劣化に繋がることが多い。１％までのクロストークに対し、最小分離傾斜角度は約α１％＝ｘ／ｆ～１．３５λ／ｂでなければならず、この式においてλは光の波長、ｂは小面の幅である。このクロストークは図８のＢに示されるように理論的に検証できる。なお、瞳の距離は、たとえば小面の断面、表面粗さおよび入射回折限界スポットサイズといった、ＩＭＦＵ２０３に関連する他の要因によって、変化する可能性がある。瞳の間隔は、常にではないが典型的に、選択的撮像素子２０４の集光対物レンズ２０４ａおよび／または再撮像レンズ２０４ｂの間隔に関連する。これは選択的撮像素子の要素のうち少なくとも１つに対して軸対称であることが多いからである。第２に、楕円形の瞳は、スペクトルの範囲内に「超分解能」効果を生み出し得る。本明細書で使用される「超分解能」は一般的に、１つの点光源の画像をレイリー基準よりも近い隣接する１つの光源と区別することができるような状況を指す。レイリー基準は、１つの点光源の画像の第１の回折最小値が隣の点の最大値と一致する場合の最小の分解可能な特徴として受入れられている基準であることが理解されるはずである。

【００３８】

大型フォーマットのＩＭＳシステムにとっては、光学部品の限定された、またはほぼ限定された撮像分解能を維持することが重要であることが多い。一般的に受入れられている最小分解可能基準であるナイキストサンプリングでは、少なくとも２つのＩＭＦＵ光学部品が入射回折限界スポットの中にありこれを分解できることが必要である。したがって、ＩＭＦＵ２０３の個々の光学部品の幅の範囲は、入射回折限界スポットサイズの幅の約２分の１からスポットサイズ数個までであろう。回折限界スポットサイズは一般的に、光学試料からの極小点の収差のない画像と言われる。

【００３９】

楕円形の瞳は、非対称の点拡がり関数を生み出すことがあり、空間方向に垂直なスペクトル方向における軸がより狭い。この効果は図９において見ることができ、ＩＭＦＵ２０３の２８５の小面は幅が７０ミクロンである。これらの小面は２５の多軸傾斜（５つのｘ傾斜、５つのｙ傾斜）に対して配置されている。図９のＡは、実際の瞳のアレイ９０１の原画像を示す。比較のために、理論上の瞳のアレイの画像を図９のＢに示す。これら両画像のｙ軸およびｘ軸双方における断面プロファイルをそれぞれ図９のＣおよび図９のＤで比較する。ｙ軸について（図９のＣ）、理論上のおよび測定された瞳の直径および位置は極めて一致度が高い。しかしながら、ｘ軸については（図９のＤ）、測定された瞳の直径は、シミュレーションに基づいて予測されたものよりもはるかに大きい。これは、ＩＭＦＵ２０３の各ミラー小面に対し追加された屈折力のためである。これはＩＭＳシステムのスペクトル分解能を増す第２の方法に繋がる。

【００４０】

ＩＭＳのスペクトル分解能を高めるために、ＩＭＦＵ２０３の個々の光学部品は、反射

したマッピングライン幅を実際の部品自体よりも小さくなるように圧縮するための屈折力を有していてもよい。これに代えて、光学部品の別のアレイをＩＭＦＵ２０３の前または後に加えてこの屈折力を生成してもよい。この屈折力を使用してマッピングラインの幅を実際のＩＭＦＵ２０３部品よりも狭くすることにより、追加されたスペクトルの広がりに対して隣接するマッピングラインの間にさらなる光学空間を形成することにより、システムのスペクトル分解能を増してもよい。加えて、ＩＭＦＵ２０３の屈折力を使用して、リレー光学部品の入射瞳２０１を、選択的撮像素子２０４の集光対物レンズまたは集光対物レンズのアレイの入射瞳に、再度撮像し、より小型で光学的に効率的なＩＭＳ設計にすることができる。

【００４１】

ＳＳＵ２０５は一般的に、光学試料のスペクトル分離の原因となる。これは、屈折光学部品、回折光学部品１７０１または組合された光学部品いずれで構成されてもよい。このような部品の例は、楔、プリズム、回折格子、グリズム（プリズムと格子の組合せであって、カメラ通過時に選択された中央波長の光がずれないように配置される）、計算によって生成したホログラムなどを含み得る。ＳＳＵ２０５はＩＭＦＵ２０３の後の任意の光学空間に配置してもよいが、選択的撮像素子２０４の瞳の位置にあることが好ましい。なぜなら、特に、すべてのフィールド点からの光が部品の同じ領域を照射することによってより均一的な色分離を与えるからである。分散方向、または複数の分散方向は、画像マッピングフィールドユニットの主マッピング軸を除いてどのような方向でもよい。分散がマッピング軸に生じた場合、色および空間情報が失われるかまたは減少する可能性がある。ＳＳＵ２０５は、瞳の空間全体における１つの連続する光学部品かまたはより小さな光学部品のアレイで構成されてもよい。異なるＳＳＵ２０５設計は、各オブジェクト点に対してスペクトル分離が同じまたはこれらの点の間で異なる光学部品のように単純であってもよい。これらは単一のＳＳＵ２０５光学部品として設計することができ、またはこのような光学部品のアレイとして設計することができる。受動および能動部品双方が可能である。能動部品は、液晶変調器（可同調プリズム、楔、回折格子、コンピュータ生成ホログラム（「ＣＧＨ」））、調整可能な傾斜および楔角度を有する楔のアレイ（場合によってはＭＥＭＳに基づく）、電気光学変調器、電磁光学部品、または格子の組合せであり、これは変化する相互回折角度とともに異なる格子定数を与える。能動または受動プリズムを、直視プリズム（すなわちAmici型）で使用されるもののような均一分散および／またはゼロ変位を有するものとして設計することも好都合である。これによりさらに小型で均一的にサンプリングされたスペクトル設計が可能であるためである。

【００４２】

選択的撮像素子２０４は、ＩＭＦＵ２０３およびＳＳＵ２０５とともに機能して、分散したオブジェクトを画像センサ２０６に再度配置し再度撮像する。上記のように、光学試料２００は、ＩＭＦＵ２０３およびＳＳＵ２０５それぞれによって空間的およびスペクトル的に再編成してもよい。ＩＭＳ構成は、（ａ）各サブ画像を選択的に分離する光学系、（ｂ）各傾斜方向を選択的に分離する光学系、および（ｃ）マッピング角度総数の間に多数の撮像素子を有する混合設計を含む、多数の可能な選択的撮像素子２０４の種類および位置を含み得る。

【００４３】

いくつかの実施例が提供するＩＭＳ構成は、ＩＭＦＵ２０３の幾何学的形態からの同数の光学部品グループおよび／またはマッピング傾斜方向と一致する選択的撮像素子の再撮像光学系のアレイを有する。この解決策の利点は、オブジェクト区域間のさまざまな間隔を与える柔軟性であるが、設計が複雑である場合があり、非対称のマッピング幾何学的形態に対してアナモルフィックな光学部品を必要とする可能性がある。このような方法は、図３のＣおよび図３のＤに示されるようなあるマッピング器の幾何学的形態にとっておよび可同調／動的ＩＭＳ実施例にとって最適であろう。製造された選択的撮像素子の再撮像レンズアレイ２０４ｂの例が図１０に示される。このレンズアレイ１００１は、図１０のＢおよび図１０のＣに示されるような、１つの色消しされたダブレットレンズ１００２ま

たは数個のレンズ１００３で構成されてもよい。選択的撮像素子の色収差を図１１Ａ～図１１Ｆに示されるように補正してもよい。図１１Ａ～図１１Ｆは、Ｆ帯（～４８６ｎｍ）、ｄ帯（～５８７．６ｎｍ）、およびＣ帯（～６５６．３ｎｍ）のスポット図１１０１、１１０３、１１０５および変調伝達関数の図１１０２、１１０４、１１０６を示す。この設計は、これらの可視波長において回折が制限されている。ＳＳＵユニット２０５によって導入されるスペクトル拡散１２０１は、図１２に示されるように、さまざまなフィールド位置について、およそ８００ミクロンである。歪を原因とするマッピング収差も最小にすることができるが、これは画像を表示のために再びマッピングできるからである。これはさほど重要ではない。アライメントのために、各サブシステムは、静的または動的いずれかの調整可能な焦点を有していてもよい。可能な動的光学部品は、たとえばＭＥＭＳ、電気湿潤、ミクロ流体、および液晶レンズを含み得る。

【００４４】

他の実施例は、光学系のアレイを有するＩＭＳ構成を提供することができ、マッピング角度の数は、図１３に示されるようにスペクトル拡散に必要な分離画素の数に相当するであろう。しかしながら、この相関関係は必ずしも１対１でなくてもよい。なぜなら、スペクトル拡散を傾斜させてマッピング角度の数よりも多い画素をカバーすることができるが、それでもなお線形的な関係にあるはずであるからである。マッピング光学部品を、画像全体がカバーされるまでＩＭＦＵ２０３において繰返してもよい。図１３では、たとえばｙ軸に沿って繰返される固有の傾斜角度１３０１が９つある。

【００４５】

ＩＭＦＵ２０３ミラーの傾斜角度の大きさおよび方向は、各画像マッピングラインからの光が絞りおよび同様に中間瞳に方向付けられる場所を決定することができる。異なるミラー傾斜角度の数は、瞳のサブ領域の数に正比例していてもよい。図１３に示される例では、傾斜角度が９つであるため、瞳のサブ領域１３０２は９つである。これらのサブ領域の後ろには、各傾斜ミラーの瞳のサブ領域からの光を撮像センサ（ＣＣＤまたはその他のアレイ検出器）１３０３に再び撮像する光学系のアレイがあってもよい。各レンズは、光学試料全体の視野（「ＦＯＶ」）１３０４を有していてもよいが、特定のマッピング角度からの光を受けるだけでもよい。結果として、画像のマッピングラインを分離する（またはより複雑なマッピングの場合、マッピングライン部分またはマッピング画素を分離する）１３０６大きな暗領域があるかもしれない。ＳＳＵ２０５を中間瞳位置に配置して各画像マッピング領域またはマッピングラインからの光をこれら暗領域１３０５に対応する角度に分散させてもよい。画像センサ２０６上の最終画像は、図１３のＣに示されものと同様に見えるであろう。

【００４６】

簡単なソフトウェアアルゴリズムによって、光学試料および各オブジェクトマッピング画素に対するスペクトル情報を再マッピングしてもよい。再マッピングを、たとえばデジタル信号処理（「ＤＳＰ」）ユニットを用いてハードウェアで行なってもよい。ソフトウェアによる解決策でもハードウェアによる解決策でも、３次元（ｘ、ｙ、λ）データキューブをモニタ画面上に実時間で表示することができるであろう。いくつかの実施例では、画像センサが、１つの大型フォーマットの検出器の代わりに、１つ以上のマッピング角度に対応する複数の検出器を含むことも可能であろう。このように、図１３を一例として用いると、大判カメラまたは９つの低分解能カメラ、またはすべてのマッピング角度が撮像されることを保証する任意の数のカメラを用いることができる。複数のカメラの使用を実現することにより、空間およびスペクトル分解能を増し、画像間の、または赤外線（「ＩＲ」）のような大型フォーマットの検出器が一般的に非常に高価で容易に入手できない用途における、未使用の領域を最小にすることができる。単一の部品からなる画像センサ２０６は、システムをより小型にし、より均一的な応答を提供し、画像取得を簡単にすることができる。

【００４７】

ある実施例では、ＩＭＳが傾斜軸が１つのＩＭＦＵ１４０１を含んでいてもよい。これ

は特に、選択的撮像素子２０４内の構成部品の総数を減じマッピング角度の数を制限し、一方ではそれでもなおスペクトル拡散に対して十分な分離を与えるためには、有効であろう。たとえば、ＩＭＦＵは１つの方向（ｙ軸の周り）に２、３の傾斜しか必要としない場合があり１４０２、スリットまたはピンホールマスクを中間画像面で用いると、画像センサ２０６における分離を大きくすることができる。他の実施例では、球形または円筒形の再撮像システムのアレイを用いて分離を大きくすることができる。レンズのアレイを利用するシステムは非対称の形状を必要とする場合があり、これは結果として非対称の点拡がり関数となる。これを補うために、これらのシステムは、アナモルフィックなリレー撮像システムを必要とする場合がある。このような１方向傾斜マッピング器の例は図１４に示される。

【００４８】

上記のようにＩＭＳは反射型でもよい。反射型ＩＭＳシステムの例は図１５から図１７に示される。図１５は、傾斜を設けた環状ミラー１５０１を有する反射型システムを示す。図１６はビームスプリッタ１６０１を有する反射型ＩＭＳを示し、図１７は傾斜したＩＭＦＵ２０３を有する反射型ＩＭＳを示す。これらのシステムにおいて、上記のようなＳＳＵ１７０１の任意の選択を用いてもよい。加えて、選択的撮像素子２０６は数多くの異なる構成を有していてもよい。たとえば、単一のコリメート対物レンズ２０４ａおよび再撮像対物レンズのアレイ２０４ｂからなるものであっても、または再撮像対物レンズのアレイ２０４ｂを有するコリメータのアレイ１７０３からなるものでもよい。アレイ部品の数も、設計手法および選択された重要な部品構成によっても変わる可能性がある。

【００４９】

本開示のＩＭＳ構成の１つの具体例は、環状ミラー１５０１を備えた反射型システムである。このＩＭＳの実施例は一般的に、反射型画像マッピングフィールドユニットで高い光学スループットを維持する。これは、対物レンズ１　１５０２と集光対物レンズ１５０３との間の絞り位置に環状の折返しミラーを配置することによって可能であろう（図１５参照）。（視野絞り１５０４の場所にある）光学試料２００からの光線を対物レンズ１５０２によって撮像してもよく、これは、対物レンズに対する絞りの役割を果たす環状ミラー内の小さな中央の開口を遮られないまま通過する。（黒の線で示される）これらの光線を、集光対物レンズ１５０３によってＩＭＦＵ２０３上に撮像してもよい。この画像を、たとえば図１３に示される傾斜した矩形の鏡によって水平方向のサブマッピング領域に「マッピング」してもよい。各ミラーは、幅におけるマッピング画素１つのみを除く画像の長さ全体でもよい。異なるミラー角度を、画像全体がカバーされるまでＩＭＦＵ２０３において繰返してもよい。図１３では、ｙ軸に沿って繰返される９つの固有の傾斜角度１３０１がある。これらのミラーから反射した光（図１５の彩色された線で示される）は、集光対物レンズ１５０３を通って戻ってもよいが、第１の対物レンズの絞り２０１の外側の環状のミラー領域に戻る。環状のミラー面は、集光対物レンズ（Ｌ２）１５０３の絞り２０１として作用することができ、また元々のシステムの経路から光を瞳リレー１５０５に向かって反射してもよい。なお、集光対物レンズ１５０３および再撮像レンズアレイ２０４ｂは選択的撮像素子２０４を形成する。

【００５０】

集光対物レンズ１５０３と再撮像レンズアレイ２０４ｂとの間に配置された瞳リレー１５０５は、環状ミラー（絞り）２０１をよりアクセスしやすい中間の瞳の場所に撮像する一方で、最終画像を画像センサ２０６上に合わせるのに適切な倍率を加える。マッピングミラー傾斜角度の大きさおよび方向は、対応する画像マッピングラインからの光が絞りまたはその共役中間瞳場所のどこに向けられるかを決定し得る。異なるマッピング角度の数は、瞳のサブ領域の数に正比例してもよい。レンズのアレイによって、特定のマッピングサブ領域の各サブ瞳からの光を、ＣＣＤ検出器またはその他のアレイ検出器といった画像センサ２０６上に再び撮像してもよい。各レンズは、光学試料全体のＦＯＶ１３０４を有していてもよいが、各々は特定のマッピング角度１３０６からの光しか受けないであろう。ＳＳＵ２０５を選択的撮像素子の絞りまたはその共役瞳位置に配置して、各マッピング

ラインまたはマッピング領域からの光をこれら暗領域に対応する角度に分散させてもよい。

【００５１】

上記システムには、全体の機能性を保ちつつ以下の小さな変形があってもよい。環状ミラーに小面を形成することにより、マッピングされた光の一部を元のシステムの経路から外れた方向に偏向させてもよい。環状ミラーは、中央領域が好ましいが表面上の任意の場所において遮蔽されていない領域を有していてもよい。鏡面は平坦である必要はないが、それに関連する何らかの屈折力を有していてもよい。集光対物レンズ１５０３を、固有の（または数個の）マッピング角度を受けるように配置してもよい。瞳リレー１５０５も、空間データの圧縮のために配置および／またはアナモルフィックにしてもよい。また、ＳＳＵ２０５は１つのシステムまたはシステムのアレイでもよい。ＳＳＵ２０５は、屈折型、回折型、および／または組合せ部品でもよい。レンズアレイ２０４ｂはアナモルフィックにしてもよい。環状ミラー１５０１は、その表面上またはその表面近くに配置されたＳＳＵ２０５を有していてもよい。

【００５２】

本開示のＩＭＳ構成の別の具体例は、ビームスプリッタを有する反射型ＩＭＳである。ビームスプリッタを有するこの反射型ＩＭＳは、ビームスプリッタ１６０１によって接続された２つの光路からなるものであってもよい。一方は「再撮像」光路（１６０２、１６０３、１６０４、１６０５およびＩＭＦＵ２０３で構成される）と呼ばれ、他方は「マッピング」光路（ＩＭＦＵ２０３、１６０５、１６０４、１６０６、光学系のアレイ２０４ｂ、ＳＳＵ２０５、および画像センサ２０６で構成される）と呼ばれる。このシステムの１つの実施例が図１６に示される。ここでは、ＩＭＦＵ２０３が光をＮ＝２５の異なる瞳９０１に反射するが、この数は任意の数でよい。画像センサ上の空白領域の大きさはＮに比例してもよい。１６０２、１６０３および２０４ｂのアレイの開口は、画像リレーシステムによって共役にされる。分散プリズム２０５は、２０４ｂのアレイの入射瞳に配置されて光学試料からのマッピングラインからのスペクトルを拡散させることにより、ＳＳＵ２０５として機能してもよい。光学試料の画像は、１６０５、１６０４、１６０６、および２０４ｂを通過後、マッピングされてもよく、ビームを、コリメートし、分散させ、再撮像してもよい。実際、画像を、画像センサ２０６上に、検出器領域の上に分散させたマッピングラインのパターンで、マッピングしてもよい。各ｘ、ｙ、およびλ要素を、異なるカメラ画素に直接マッピングしてもよい。撮像システムは、オブジェクト空間および画像空間双方についてテレセントリックであることで焦点ずれの影響を小さくしてもよい。残念ながらこの仕組みは非常にエネルギ効率が低く、光の約７５％まで失われる可能性がある（５０％ビームスプリッタで２回通過するため）。その最大の利点は、単純で対称性があることであり、これによって画像センサ２０６アレイ全体を容易に使用することができる。

【００５３】

本開示のＩＭＳの別の具体例は、反射型で傾斜したＩＭＳである。１つのこのようなＩＭＳシステムは、図１７に示され、任意のリレーレンズ２０２、ＩＭＦＵ２０３、コリメートレンズのアレイ１７０３、ブレーズド回折格子１７０１、再撮像対物レンズのアレイ２０４ｂ、および像平面に位置する画像センサ２０６からなる。回折格子の線はこの文書の頁の面に平行であるため、示されている断面において散乱効果は見えない。ここでモデルとして形成されているＩＭＦＵ２０３には、像の異なる高さに位置する４つの傾斜した小面（マッピングライン）がある。これにより、図１７に示されているように、画像を、複数のマッピング画素行によって分離された、Ｘ方向に沿うマッピングラインに、再編成することができる。回折格子はこれらのマッピングラインをｙ方向に拡散させてもよく、これによって空間およびスペクトル情報双方を同時に、走査なしで記録できる。このシステムの１つの利点は、これがビームスプリッタによる光の損失を回避することである。その最大の欠点はマッピング部品の傾斜であり、これによって、結果としてＩＭＦＵ２０３領域が焦点から外れる領域が増える可能性がある。これは、オブジェクト／中間画像２０

０を傾斜させて共役面を最適化することによって埋合わせてもよい。
【００５４】
上記のようにＩＭＳは屈折型でもよい。このようなＩＭＳは、反射型システムと、ＩＭＦＵ２０３が反射型の代わりに屈折型部品であること以外、概念的には同様である。このようなＩＭＳの１つの利点は、このシステムは広げたままにすることができるので、光学機器があまり複雑でなくより小型になる点である。屈折効果は、望ましくない分散を導入してスペクトル分離を生じさせることもある。マッピング中のスペクトル分離によって、近隣の像点が最終画像で重なり、情報を曖昧にし、画像処理の補正が必要になる場合があることが、本開示の利益を受けた当業者には理解されるはずである。これにより、ＩＭＳシステムの主な利点のうちの１つである、実時間画像表示のための直接的で明確なデータ取得が損なわれる可能性がある。したがって、ＩＭＦＵ２０３内の屈折光学部品のこのスペクトル分離およびその他の色収差を補正することが好都合であろう。これは、分散が異なる２つ以上の屈折性材料を組合せること、屈折および反射部品を組合せること、ならびに回折および屈折部品を組合せることを含むがこれらに限定されない数多くの方法で行なうことができる。光学試料からの光を、リレー光学素子２０２（たとえば図１８に示される）が中継してＩＭＦＵ２０３に送ってもよい。この画像は、ごく小さなプリズムによって多くのサブ領域または個々のマッピング画素に「マッピング」されてもよい。これらプリズムは、それらに関連した異なる角度があってもよく、図１８で異なる色で示されているように、光を異なる経路に沿って進ませてもよい。「マッピングされた」画像からの異なる光路を対物レンズＬ２　２０４ｂによって集め、瞳の中の特定のサブ領域に導いてもよい。ＳＳＵ２０５は、これらサブ領域の光を、最終画像の中でＩＭＦＵ２０３によって形成された暗領域に対応する異なる角度に分散させてもよい。ＳＳＵ２０５の直後に、レンズのアレイ２０４ｂが光を画像センサ２０６（たとえばＣＣＤ、ＣＭＯＳ、または同様の検出器）上に再び撮像してもよく、ここで簡単なソフトウェアアルゴリズムが光学試料をスペクトル情報を用いて再びマッピングすることができる。
【００５５】
上記システムには、全体の機能性を保ちつつ以下の小さな変形があってもよい。対物レンズ２０４ａを、固有の（または数個の）マッピング角度を受けるように配置してもよい。また、スペクトル分離ユニット２０５は１つのシステムまたはシステムのアレイでもよい。スペクトル分離ユニット２０５は、屈折型または回折型部品でもよい。レンズアレイ２０４ｂを、スペクトルまたは空間情報圧縮のためにアナモルフィックにしてもよい。
【００５６】
本開示のあるＩＭＳに対する別の手法は、視野絞り１５０３がレンズの焦点面と一致するように配置された「レンズのアレイ」１９０１の用途に基づく。このようなＩＭＳ構成は反射および屈折手法を用いてもよい。マイクロレンズアレイは、並列サンプリングプローブの役割を果たすことができる。図１９はこの概念を示す。全体的な撮像原理はここでも同じであり、ＩＭＳに上記レイアウトで使用されたものと同様の他の部品を補充してもよい。このシステムのこの場合の空間分解能は、アレイ内のレンズの詰込み密度によって決まるであろう。なぜなら、各レンズが１つの像点に関わり得るからである。視野絞り１５０３から出た光線は、マイクロレンズ通過後、光軸に平行に現われ得る。マッピング器で反射すると、光線は特定の方向に伝搬して必要な画像マッピングを実現するであろう。この手法の１つの利点は、焦点外れに対して反応しないことである。このシステムの精度は、アレイ内のレンズの均一性およびビームのコリメートの質に依存するであろう。
【００５７】
より多くの量のおよび／またはより高品質のスペクトル情報を取得するために、図２０に示されるようにダイクロイックミラーを選択的撮像素子２０４の画像空間に追加してもよい。ダイクロイックミラー２００１によって、このシステムは、光学試料からのスペクトル情報を、可視光線と近赤外線といった隣り合うスペクトル帯および紫外線と中波赤外線といった隣り合っていないスペクトル帯を含む２つ以上の異なるスペクトル帯で、収集できる。加えて、このスペクトル情報を単一のスペクトル帯の中でも高めて、スペクトル

分解能を元のシステムの２倍以上にしてもよい。図２０に示される構成は、追加のカメラ（画像センサ検出器＃２　２００２）を利用することにより、第２の帯域の情報を収集することができる。この図において、画像センサ検出器＃１　２００３は、可視帯の赤から緑の領域２００４から光を収集してもよく、画像センサ検出器＃２　２００２は、緑から紫外線２００５までの光を収集してもよい。しかしながら、この概念を、図２１に示されるように選択された波長領域のフィルタが近隣の検出器画素の行の前に配置されている、単一のカメラ画像センサ２０６に応用してもよい。フィルタなしの画像センサ検出器は、図２１のＡに示されるように、光学試料からの１つのマッピングライン（ライン＃１）２１０１からのスペクトルを、光学試料からの次のマッピングライン（ライン＃２）２１０２に拡散させるだけの場合がある。この例については、ライン＃１からの青色－紫外線スペクトルのための空間がない２１０３。フィルタ（たとえば図２１のＢ参照）を画像センサに追加し２１０４、画像の点拡がり関数をオーバーサンプリングする２１０５ことによって、ライン２からさらなるスペクトルを得ることが可能であろう（たとえば図２１のＣ参照）。この手法の代価は、システムの光学スループットが低下し得ることである。これを克服するには、ＣＣＤおよびＣＭＯＳ画像検出器で既に使用されているものと同様のレンズアレイを用いてフィルファクタ（fill factor）の問題を解消すればよい。

【００５８】

別のＩＭＳ構成は、マイクロレンズアレイ２２０１および／またはマイクロ視野絞りアレイ２２０２を用いてマッピング器上の小面を光学的に圧縮し、スペクトルのためのさらなる空間を生み出してもよい。１つの可能な実施例が図２２に示される。この例では、１組のマイクロ円筒レンズアレイ２２０５が、選択的撮像素子２０４の後の、サブ画像面近くに配置される。レンズアレイ２０４ｂおよび／またはマイクロ絞りアレイ２２０２は、画像の子午面２２０４ではなくその正中面２２０３に屈折力を加えることができる。これにより、画像をスペクトル拡散させるために用いられる方向でもある正中面２２０３においてより狭い非対称の点拡がり関数２１０５を最終画像面に形成することができる。

【００５９】

動的ＩＭＳシステムを図２３に示す。このシステムは、３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブ全体に対してデジタル光学ズームカメラシステムのように機能することができ、動作中ＩＭＳ構成を変えることにより光学試料の１つまたは複数のマッピング領域から異なる空間およびスペクトルサンプリングを得る。対象となる１つの以上の領域（「ＲＯＩ」）２３０１にズームし、より高いスペクトルおよび空間分解能を得ることが可能であろう。本明細書で使用される「ズーム」は一般的に、光学試料２００の画像のＲＯＩ２３０１のサンプルの数を増やすことを意味する。デジタルズームは、画像センサ２０６を含むセンサのアレイを電子的に再構成することにより画像センサ２０６の選択された領域内のサンプルの数を変更することができる。光学ズームは一般的にハードウェア再構成を意味し、これにより、光学試料２００の画像を変更してそのサンプリングを画像センサ２０６によって変えることができる。スペクトルズームは一般的に、所与のスペクトル範囲に対する検知素子の数を増すこと、または所与の数の検知素子に対するスペクトル範囲を減じることを、意味する。空間ズームは一般的に、所与の空間マッピング領域に対する検知素子の数を増すこと、または所与の数の検知素子に対する空間マッピング領域を減じることを意味する。これは、システムの重要な部品すなわちＩＭＦＵ２３０２、ＳＳＵ２３０３、選択的撮像素子２３０４、および任意で画像リレーレンズ２３０５、のうち１つ以上に対して動的部品を利用することによって実現されるであろう。リレーレンズ２３０５は、光学試料の画像の大きさを変更することができ、ＩＭＦＵ２３０２上の画像サンプリングを増すことにより空間ドメインをズームする。複数のＩＭＦＵ２３０２および／または動的リレーレンズ２３０５が使用される場合、図２５と同様に、光学ズームを画像上の２つ以上の場所に設けることが可能であろう。動的ＩＭＦＵ２３０２は、ＭＥＭＳ技術を用いてミラーの傾斜を調整し対象となる画像マッピング画素を選択的撮像素子２３０４に向けて選択的に反射し、スペクトルおよび空間ドメイン内にズームを作り出すことができる。次にこれらのマッピング画素を、ＳＳＵ２３０３の分散を動的に調整することによって、多

少スペクトル拡散させてもよい。ＳＳＵ２３０３のスペクトル拡散を調整するための１つの可能な手法は、平凸および平凹レンズ対または同様の材料を利用することによってプリズムのような構造（たとえば図２３のＡ参照）を形成することである。平凸レンズを回転させることにより、プリズムの角度が変化し、プリズムの分散も変えることができる。動的に変化できる最後の部品は、選択的撮像素子２０４内のレンズアレイ２３０５である。レンズアレイ２３０５の屈折力を調整することにより、最終画像の大きさも調整することができ、スペクトルおよび空間双方について画像のサンプリングの増加を生み出す。これはまた、（カメラをビニングすることにより）画像をより速くするおよび／または動的範囲を改善することを可能にするであろう。

【００６０】

上記屈折型または反射型手法に代えて、ＩＭＳシステムは、導波路マッピング器２４０１を使用することによって図２４のＡに示されるように隣接する像点の間に光学的に空白の領域を形成してもよい。リレー光学部品２０２（１次瞳２０１および０、１または２以上の任意のリレーレンズ）は、光学試料２００を導波路マッピング器２４０１の入力面上に撮像する。図２４のＢに示されるように、導波路マッピング器２４０１は、個々の導波路２４０２からの光を、マッピング器の面２４０３の出力の分離されたマッピング画素に案内してもよい。なお、このマッピングは、マッピング器の入力端２４０４と出力端２４０３との間で干渉性または非干渉性でもよい。マッピング器の面２４０３を、大きなＦＯＶ対物レンズ（Ｌ２）２０４ａによって撮像し、ＳＳＵ２０５によって分散させ、再撮像レンズ２０４ｂによってＣＣＤ検出器といった画像センサ２０６上に撮像してもよい。この構成は、屈折型および反射型構成部品よりも複雑ではない選択的撮像素子２０４を利用するが、各導波路構造の周りに集中する２４０４ため光学スループットはより低い可能性がある。

【００６１】

ＩＭＳシステムの別の実施例は、互いに撮像される２つ以上のＩＭＦＵ２０３素子を含む。言い換えれば、これらは互いの画像共役物である。複数ＩＭＦＵ共役構成は図２５に示される。この設計において、光学試料２００を任意のリレーレンズ２０２を通して第１のＩＭＦＵ２５０１上に撮像してもよい。このリレーシステム２０２は任意である。なぜなら、光学試料２００は何らかの前方光学素子を用いて第１のＩＭＦＵ２５０１上に直接撮像できるからである。第１のＩＭＦＵ２５０１は、ＩＭＦＵリレーレンズ２５０３によって第２のＩＭＦＵ２５０２に撮像してもよい。次々にまたは並列に順次カスケード接続される複数のＩＭＦＵリレーレンズ２５０３および複数のＩＭＦＵ２０３が、ＩＭＦＵ２０３およびリレーレンズ２０２のアレイを形成してもよい。このアレイ手法は、システムを小型に保つのに有利であろう。図２５では、設計概念を限定するためではなく単純にするために、示されているＩＭＦＵ２０３は２つのみである。最後のＩＭＦＵ２０３（図２５の第２のＩＭＦＵ２５０２）および選択的撮像素子２０４の後、ＳＳＵ２０５および画像センサ２０６はたとえば図１８の例の先の概念と同じように機能する。この設計のＩＭＦＵ２０３は、静的または動的または組合せでもよい。この種のＩＭＳシステムは、動的システム（図２３）において有利で、第１の部品は光学試料２００から１つ以上のＲＯＩ２３０１を選択することができ、これらＲＯＩ２３０１を第２のＩＭＦＵ２５０１に導いて１つ以上の画像センサ２０６検出器に対してより高度のサンプリングおよびマッピングを行なってもよい。この手法はまた、最終マッピングの１つの側面にしか関わらない各共役ＩＭＦＵ２０３によって、各ＩＭＦＵ２０３の設計を簡単にできるであろう。たとえば、第１のＩＭＦＵ２５０１はｘ軸における傾斜に関わっていてもよく、第２のＩＭＦＵ２５０２はｙ軸の傾斜に関わっていてもよい。このことは、この実施例の各ＩＭＦＵ２０３が他のＩＭＦＵ２０３と同一の幾何学的形態または機能を有している必要はなく、各ＩＭＦＵ２０３は独立して機能しても依存して機能してもよいことを示唆している。

【００６２】

先に述べたように、ＩＭＳを多数のさまざまな応用例に適合させることができる。たとえば、ＩＭＳは内視鏡に特に適しているであろう。このＩＭＳ概念の内視鏡版を図２６に

示す。ＩＭＳシステムの動作についての説明は、広帯域源がここでの光学試料２００となる組織（肉眼で見えるまたは顕微鏡で見える大きさ）のある領域を照射し得る干渉性のマルチファイバの束（「ＭＦＢ」）２６０１の組織（遠位）側から始まる。これ以外の内視鏡撮像部品も、図２６に示されるＭＦＢの代わりにまたはこれに加えて使用できる。これら内視鏡撮像部品は、非干渉性ファイバの束、小型対物レンズ２６０２、小型レンズ、およびグリンレンズを含み得る。組織からの反射光および／または蛍光を、小型対物レンズ２６０２を通して収集しＭＦＢ２６０１の遠位端に撮像した後、近位端に伝えてもよい。画像リレーシステム２０２は、ＭＦＢ２６０２近位面からの組織画像を拡大し再びＩＭＦＵ２０３に撮像してもよい。ここでの例示のために、ＩＭＦＵ２０３は、像面での１×２００マッピング画素に相当する大きさのミラー小面のアレイで構成されていてもよい。なお、ＩＭＦＵ２０３も、プリズム、レンズのアレイ、および／または部品の組合せで構成されていてもよい。各ミラー小面は、組織画像（光学試料２００）の一部を、選択的撮像素子２０４の瞳内の特定の領域に偏向させてもよい（異なる光線色で示す）。光を、瞳の中においてＳＳＵ２０５（すなわちプリズムアレイ）によりスペクトル拡散（すなわち分散）させて、マッピング面とは方向が異なる面における角度の範囲としてもよい。再撮像レンズ２０４ｂアレイは各サブ領域を画像センサ２０６上に撮像してもよい。各サブ画像は１組のマッピング領域に対する空間およびスペクトル情報を含み得る。最後に、簡単なソフトウェア再マッピングによって、サブ画像を再結合して光学試料（組織）の「マッピングされていない」画像を形成する一方で、各マッピング領域のスペクトル特徴を保存する。走査または画像処理がないため、このシステムは内視鏡用途において重要な実時間でのハイパースペクトル画像の取得および表示を行なうことができる。

【００６３】

眼科医は長い間さまざまな目の状態および病気の評価において光学装置に依存してきた。特に重要なのは、目の内面の後側にあり光信号を脳が処理できる信号に変換する感光光受容体を含む目の網膜２７０１の撮像である。網膜の観察および画像取込には、網膜の照射および撮像を同時に行なうことができる眼底カメラ２７０２と呼ばれる複雑な光学装置の使用が必要である。照射システムが外部照射か内部照射かによって設計が異なる主に２種類の眼底カメラがある。いずれの種類が与える入射照明も、網膜によって散乱した後、眼科医が直接見ることができる眼底カメラの撮像素子部によって捉えられる、および／または画像検知装置によって捉えられる。眼科医が網膜の写真を記録するためにＣＣＤまたはＣＭＯＳカメラといったデジタル検出器を使用することがますます多くなっている。これらのデジタル写真を用いて、何らかの病気を識別し、その病気の患者の生涯にわたる進行を追跡することができる。これに関連して、ＩＭＳシステムは眼科学にとって重要な撮像ツールとなるであろう。このシステムは、網膜の３次元（ｘ，ｙ，λ）画像２７０３を、画像内の各マッピング画素からのスペクトル内に含まれるさらなる診断情報とともに取得することができる。図２７は、眼底カメラに組込まれたＩＭＳシステムの一例を示す。ＩＭＳシステムは、網膜の画像２７０３が位置する眼底カメラのサイドポートまたはカメラポートに配置される。ＩＭＳシステムは、目を撮像するための独立型システムとして使用することもできる。独立型ＩＭＳシステムの場合、眼底カメラで通常使用されているのと同じやり方で、システムの外部からまたは内部で照射をＩＭＳシステムに取入れることができる。眼科に応用されるＩＭＳシステムの主な利点は、ＩＭＳシステムがその３次元データキューブを迅速な実時間撮像のために正に並列に収集できる点である。これは、目の動きが不随意であるために生じる一時的な曖昧さを軽減するのに重要である。並列に取得することによって、照射の強度を低下させることもできる。なぜなら、すべての像点から収集した信号は同時に統合され、患者の目の負担が少ないからである。ＩＭＳシステムにとって必要である簡単なソフトウェア画像再マッピングによっても眼科医に対して実時間のフィードバックが可能であり、診察を管理しより高品質の診断情報を提供するのに役立つ。

【００６４】

本発明をより理解しやすくするために、以下で具体的な実施例の例を示す。以下の例は

本発明の範囲全体を限定または規定すると理解されてはならない。

【００６５】

実施例

作業卓上プロトタイプＩＭＳおよびマッピング素子（またはマッピング器、画像マッピングフィールドユニット、または「ＩＭＦＵ」）のプロトタイプを組立て、ビームスプリッタを備える反射型画像マッピング分光計（「ＩＭＳ」）として構成した。このプロトタイプシステムの概略図および実際の組立の図を図２８に示す。

【００６６】

このＩＭＳ構成の光学試料は、倒立顕微鏡、すなわち市場ではカールツァイス社（Carl Zeiss Inc.）から入手できるAxio Observer A1またはAX10から得た。実演のために、選択的撮像素子のレンズアレイを、単レンズ（低倍率顕微鏡対物レンズ）と置き換え、異なる瞳位置に移して対応する傾斜角度の視野（「ＦＯＶ」）を撮像した。ＩＭＦＵ２０３のプロトタイプは、高純度アルミニウムのラスターフライカットを用いて製造した。マッピング素子には１方向のみにおいて５つの傾斜角度があった（合計１７５のランプミラー）。ＩＭＦＵ２０３を製造するために、Nanotech 250UPLダイヤモンド回転旋盤を用いた。最初の光学部品の切削プロセスは、約１２０時間と長時間を要した。所望のマッピング素子を作っておけば、複製または成形プロセス（たとえば射出成形、打抜き成形など）いずれかによって大量生産することができ、より手頃になる。

【００６７】

図２９のＡは、第１のプロトタイプＩＭＦＵ２０３を示す。図２９のＣに示されるように、個々の光学部品の小面をさらに特徴付け、市場ではザイゴ社（Zygo Corporation）から入手できる白色光干渉計NewView 5000を用いて角度および表面品質を検証した。マッピング素子の前および側面にバッフルを追加して遷移マッピング光学部品からの散乱光を減じてもよい。また、レンズアレイをマッピング器に追加し、散乱光をマッピング器の光学部品のエッジから外してマッピング光学部品の表面の中央により近くなるように集めることによって、散乱光を減じ易くしてもよい。レンズアレイも近隣のＩＭＦＵ２０３光学部品の陰影効果を減じることができる。これは特に、高さの相違が最大になるであろう光学部品のエッジ部分では重要である。プロトタイプＩＭＦＵ２０３は、ダイヤモンドフライカット技術を用いて製造したが、ダイヤモンドフライス加工およびグレースケールリソグラフィといった他の技術を所望の幾何学的形状に応じて用いて製造してもよい。グレースケールリソグラフィは、この素子の大量生産のための代替技術であるが、最初の開発段階で多大なプロセス開発時間およびコストを要する場合がある。

【００６８】

図３０は、このシステムプロトタイプを用いて実施された最初の撮像実験を示す。図３０のＡは、中央ＦＯＶに対する１９５１ＵＳＡＦ分解能試験対象の画像を示す。この図面はマッピング方向を１つしか示しておらず、この場合分散は導入されなかった。図３０のＢは、ＩＭＳが単一モード（λ～６３０ｎｍ）ファイバレーザ（オブジェクト）からの出力を画像マッピング器２０３の少なくとも５つのマッピングラインに撮像しているときの、選択的撮像素子の瞳の画像２０９を示す。この例では、ＩＭＦＵ２０３の各マッピングラインは概して、入射画像の１つの（場合によっては不連続な）ラインを固有の方向に反射することができる小型ランプミラーである。５つの明るい領域は、異なるライン光学部品およびその対応する角度から反射したオブジェクトからの光に対応する。線形のＩＭＦＵ２０３の幾何学的形態および表面粗さによって生じる回折および迷光効果が、これら中央領域の外側の光の強度の原因となる。再撮像レンズ２０４ｂをある瞳位置から次の位置へと移すと、結果として得られる画像は、異なる１組の線形マッピングという点を除けば図３０のＡに示されるものと同様である。

【００６９】

図３０のＣは、ハロゲン光源によって照射された光ファイバのプロトタイプシステム（ＩＭＦＵ２０３およびＳＳＵ２０５を除く）によって撮影された画像を示す。この多色画像は、広いスペクトル帯で構成され、標準撮像システムから得られるであろう典型的な画

像を表わす。この画像は一般的には白い円に見え、スペクトル情報はすべて失われる。この画像の中には、最終システムで修正できる横方向の色収差のために画像内にいくつかの青色および赤色の外側領域がある。プロトタイプシステムを再構成してＩＭＦＵ２０３およびＳＳＵ２０５を含むようにした場合、この多色画像の全スペクトル特徴が得られる。これは、傾斜角度が同一の１組のランプミラーについて図３０のＤに示される。画像のスペクトルデータからわかるように、マッピングラインは、近隣ミラーマッピング部品（繰返される赤から緑の領域）の間の空白領域に分散している場合がある。最終画像を復元するために、再撮像レンズ２０４ｂを他の瞳の位置に移動させて他のマッピングラインの画像を取得し、単純な画像処理を行なって当初の画像をそのスペクトル特徴とともに復元することができる。

【００７０】

第２の作業用プロトタイプＩＭＳを構成してこれが蛍光顕微鏡画像を取得する機能を実演した。ＩＭＳは、空間およびスペクトルドメインそれぞれについて約０．４５ミクロンおよび約５．６ｎｍ分解能に相当する、１００×１００×２５サンプリングの３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを得ることができた。このＩＭＳシステムを、前光学素子として市場ではカールツァイス社から入手できる倒立顕微鏡ＡＸ１０に結合した。このプロトタイプシステムを図３１のＡに示し、概略的なレイアウトを図３１のＢに示す。試験片を顕微鏡の台の上に置き、市場ではＥＸＦＯライフサイエンス＆インダストリアルディビジョン（EXFO Life Sciences & Industrial Division）から入手できる120W X-cite（登録商標）アークランプによって照射した。蛍光信号を、市場ではカールツァイス社から入手できるEC Plan-Neofluar、４０×／開口数～０．７５の対物レンズを用いた。中間画像を、ＩＭＳシステムの視野絞り１５０３と同一場所にある顕微鏡の側部の画像ポート３１０２の外側で形成した。視野絞りにおける中間画像を、最初に倍率約１０倍の画像リレーシステム２０２（オブジェクトおよび画像空間双方においてテレセントリック）によって特注生産の画像ＩＭＦＵ２０３に再度撮像した。この画像リレーシステム２０３の１つの役割は、画像の分解能を、画像ＰＳＦの大きさをＩＭＦＵ２０３の大きさと一致させることによって保存することである。他の役割は、主光線を正しく誘導するＩＭＦＵ２０３の側面で厳密なテレセントリック性を与えることである。ＩＭＦＵ２０３は、２５の異なる２次元傾斜角度（ｘ軸およびｙ軸双方に対して０°、±０．２３°、±０．４６°）を有する１次元ミラーアレイであり、これはマッピングされた画像のゾーンを２５の異なる方向に反射することができた。ＩＭＦＵ２０３上のマッピング光学部品の総数は１００で、各々の寸法は長さ約１６ｍｍ×幅約１６０μｍであった。図３１のＢにおいて、ｙ軸に対する傾斜角のみが示されている。方向が変えられた光を、集光レンズ２０４ａ（約１３０ｍｍのチューブレンズ、市場ではカールツァイス社から入手できる、開口数～０．０３３、ＦＯＶ～２５ｍｍ）によって集め、瞳の面９０１に２５の別々の瞳を形成した。市場ではエドモンドオプティクス社（Edmund Optics）から入手可能な約５．５６×のビーム拡大器３１０１（Gold Seriesテレセントリックレンズ58258、ＦＯＶ～８ｍｍ）によって瞳の寸法を調整し再撮像レンズアレイ光学部品２０４ｂのものに合わせた。拡大した瞳を、市場ではタワーオプティクス社（Tower Optics）から入手可能なカスタムプリズム、ＳＦ４、楔角度約１０°、によって分散させ、再撮像システム２０４ｂの５×５アレイによって、大型フォーマットのＣＣＤカメラ２０６（Apogee U16M、４０９６×４０９６画素、画素サイズ約９ミクロン、ＲＭＳノイズ：１０．５ｅ－、暗電流：０．１３ｅ－／画素）上に、再撮像した。各再撮像レンズ２０４ｂは、焦点距離約６０ｍｍの正の色消しダブレットレンズ（エドモンドオプティクス社の４７６９８、直径～６．２５ｍｍ）および焦点距離約１２．５ｍｍの負の色消しダブレットレンズ（エドモンドオプティクス社の４５４２０、直径～６．２５ｍｍ）で構成されて焦点距離の長い（焦点距離～３５０ｍｍ）レンズを形成した。なお、ここで示されるＩＭＳプロトタイプは、全ＣＣＤ分解能を使用しない。しかしながら、この大型画像センサ２０６により、将来のシステム開発におけるシステム分解能を改善された分解能にすることができるであろう。

【００７１】

最終画像のフォーマットは、３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブの記録２次元画像センサ２０６へのマッピングを最大化するのに非常に重要であろう。多くの場合、画像センサ２０６上の各検出器または画素が光学試料２００からの信号を記録することが好都合である。明確なデータ収集のために、データキューブ内の各ボクセルは、画像センサ２０６上のおよそ１つの画素に対応していてもよい。画像センサ２０６内の利用できる検出器のうちすべてまたはほとんどを効率的に利用する明確なマッピングは、ＩＭＦＵ２０３からのサブ画像が互いに近接していることを必要とするであろう。なお、構成のほとんどにおいて、画像センサ２０６は、ＩＭＦＵ２０３の２つ以上のサブ画像を有し得る。製造誤差、光学収差、迷光、他の説明できない製造誤差および光学効果の補正のために、ＩＭＦＵ２０３の幾何学的形態は、隣接するサブ画像間に一定の距離を設けてもよい。理想的には、この未使用の画像センサ２０６表面領域は、全検出表面積の約４０％以下の大きさでなければならない。一方、サブ画像が重なり合って不明確なデータおよび明確なデータ双方を含むことも有益であり、これはシステムの利用できるスペクトルおよび空間成分を改善し得る。この重なりは、画像センサ２０６上の数個の検出器と同じほど小さくてもよく、画像センサ２０６上のすべての検出器まで及んでもよい。先に述べたように、サブ画像の重なりが大きすぎる場合の欠点は、ソフトウェア復元アルゴリズムが非常に長時間を要し、ＩＭＳがデータを実時間表示する機能が失われることである。マッピングされた最終画像のサブ画像が、表１に記載されているような業界標準カメラフォーマットおよびアスペクト比に一致するように配置されることも有利であろう。しかしながら、特別フォーマットを使用してもよい。

【００７２】

【表１】

表1　画像センサフォーマット

撮像素子フォーマット	アスペクト比	幅 (mm)	高さ (mm)	対角線 (mm)
¼ in.	4:3	3.2	2.4	4
1/3 in.	4:3	4.8	3.6	6
½ in.	4:3	6.4	4.8	8
2/3 in.	4:3	8.8	6.6	11
1 in.	4:3	12.8	9.6	16
4/3 in.	4:3	17.8	13.4	22.3
APS	3:2	25.1	16.7	30.1
35 mm	3:2	36.0	24.0	43.3
48 x 36 mm	4:3	48.0	36.0	60.0
645	4:3	56.0	41.5	69.7
10.5 / 16.8 MP	1:1	36.8	36.8	52.1
4.3 MP	1:1	50.02	50.02	70.7

【００７３】

表１に記載された寸法は、各画像センサ２０６製造業者に少し違いがあるため、おおよその寸法である。最も一般的なアスペクト比のうちのいくつかは、１：１、３：２、および４：３であろう。

【００７４】

このプロトタイプＩＭＳの再撮像レンズセットのＦＯＶ３２０１は、隣接するレンズセ

ットと重なる３２０２ことによってＣＣＤカメラの利用可能な領域を最大化するように設計された。ＩＭＦＵ２０３プレートの画像全体は正方形の形状であるが、再撮像レンズセットのＦＯＶ３２０１は円形であったので、ＩＭＦＵ２０３プレートの画像の外側には存在するＦＯＶ３２０１の内側以外の４つの空白領域があった（図３２参照）。これら空白領域のため、近隣の再撮像レンズセットのＦＯＶ３２０１は重なることができた。これにより、ＣＣＤカメラ上の撮像領域を十分に利用することができた。このＣＣＤカメラは、正方形の（３６．８×３６．８ｍｍ）表面積内に１６のメガピクセルを含む１０．５／１６．８ＭＰフォーマットチップを使用した。

【００７５】

画像性能を検証しＩＭＳプロトタイプの空間およびスペクトル分解能を試験するために、分散していない１９５１ＵＳＡＦ分解能テスト対象を撮像し、（１つのミラーマッピング部品からの）１つの画像マッピングラインの点拡がり関数（「ＰＳＦ」）を測定した。蛍光ビードを用いて作った試験サンプルのスペクトル画像を取得した。結果を図３３～図３６に示す。

【００７６】

第３のプロトタイプＩＭＳを構成し、蛍光標本に対して２８５×２８５×６２の３次元（ｘ，ｙ，λ）データキューブを収集することが可能な大型フォーマット構成を示した。ＩＭＳ構成のレイアウトは、第２のプロトタイプと同様であり、図３７に示される。このＩＭＳ構成は、大型フォーマットＩＭＦＵにおける主要な技術的進歩を表わす。ＩＭＦＵ２０３は幅がわずか約７０ミクロンで高密度で詰込まれたミラー小面光学部品を有し、２８５の小面をリレー光学素子のＦＯＶの中に置くことができた。小面の大きさが小さいため、回折効果を設計において考慮する必要があり、さらなる傾斜角度を与えてサブ撮像システム間のクロストークを最小にした。最後に、ＩＭＦＵ２０３の幾何学的形態を最適化してエッジ侵食効果を減じシステムスループットを改善した。

【００７７】

第３のプロトタイプの生物学的撮像機能を、MitoTracker Red CMXRosでインキュベートしてミトコンドリアを標識し、BODIPY FLファラシジンでフィラメントアクチン（Ｆアクチン）を標識し、ＤＡＰＩで核を標識したウシの肺動脈の内皮細胞を撮像することによって、評価した。カラーＣＣＤカメラ３７０２を用いて撮影した基準画像を、比較のために図３８の左上に示す。下側の一連の画像は、ＩＭＳシステムを用いて１回の約４秒の統合事象で撮影した。２５のスペクトル画像のサンプルを、約５０５から約６８４ｎｍのスペクトル範囲にわたって表示し、サンプリング平均は約５ｎｍである。セル内のスペクトル符号化特徴は、容易に識別可能であり、基準画像との強い相関関係を示す。

【００７８】

さまざまな幾何学的形態のＩＭＦＵ２０３を製造するために、３つの異なる表面成形ツール設計を開発した。表２は、各表面成形ツールの異なる設計仕様を示す。ツール＃１は、図３１に示されるＩＭＳ蛍光ハイパースペクトル顕微鏡内で使用される１００部品のＩＭＦＵ２０３を製造するために使用される第１の表面成形ツールであった。この表面成形ツールは、幅が約１６０ミクロンの平底のチップを有し、辺の長さが約１６ｍｍの正方形のＩＭＦＵ２０３を製造するために使用された。ツール＃２は、約７５ミクロンの平底の表面成形ツールであり、図３７に示されるより大型のフォーマットのＩＭＳシステムのために開発され、これはそれでもなお集光対物レンズのＦＯＶの制約の中にある。この表面成形ツールは、空間サンプリングを２５０部品のＩＭＦＵまで拡大した。ツール＃３も幅が約７５ミクロンであったが、刃先角を小さくしてエッジ侵食効果を最小にしている。

【００７９】

【表２】

表2 表面成形平底ツール設計パラメータ

パラメータ	ツール#1	ツール#2	ツール#3
刃先角θ(度)	20±0.5	20 ±0.5	5 ±0.5
横逃げ角α(度)	3	3	3
チップ逃げ角φ(度)	6	5	5
トップすくい角β(度)	0	0	0
ツールチップ幅(μm)	150±15	70 ±7	70±7
切削の最大深さ(μm)	500	300	300
エッジの質	750 X	750 X	750 X
材料(ダイヤモンド)	合成	合成	合成

【００８０】

ＩＭＦＵ２０３の製造のために、高精度ＣＮＣ４軸ダイヤモンド旋盤（Nanotech 250UPL）を使用した。この機械は、ナノメートルレベルの精度で各軸（ｘ，ｙ，ｚ）の移動が約２００ｍｍである。被加工物４０２をｙ軸３９０１およびｚ軸３９０２移動の２つのステージ上に置き、スピンドル４０１およびダイヤモンドツールはｘ軸ステージ３９０３上に置いた（図３９のＡ参照）。ミラー光学部品の小面は、被加工物４０２をｙ軸方向に上下動させることによって切削した。ｙ方向の傾斜は、ｘ方向およびｙ方向双方に移動させながら各マッピングライン光学部品を切削することによって得られた。マッピングライン光学部品の切削後、スピンドル４０１およびツールが移動して被加工物４０２から離れ、巻戻し、次のマッピングライン光学部品の切削を開始する。また、被加工物４０２は、次のマッピングライン光学部品の切削前に、ツール幅の分だけｚ軸方向に進む。ｘ傾斜は、被加工物４０２をゴニオメータ（Newport P/N:手動高分解能マイクロメータP/N: HR-13を有するGON40-U）に載置することによって得た。このとき切削面がゴニオメータの回転軸３９０４と一致するようにした（図３９のＢ参照）。ゴニオメータを手動で回転させるので、ｘ傾斜は同時に作られた。終了すると、ゴニオメータを次のｘ傾斜に調整し、このプロセスをすべてのミラー光学部品小面が作られるまで繰返す。異なるｘ傾斜に対しＹ高さ補償ファクタを適用した。大きなｘ傾斜角度については、ｚ軸補償ファクタも使用しコサイン効果を補償してもよい。

【００８１】

ＩＭＦＵ光学部品を製造するためには、一般的に、最初に粗く切削することによってアルミニウム基板に異なるミラー小面を設ける。この基板も、表３に示されるような他のダイヤモンド機械加工可能な材料から作ってもよい。この工程の後、精密切削プログラムを用いてＩＭＦＵ２０３光学部品を整え、最良の表面粗さにし、金属フラップ、チップおよびその他の破片といった見た目上の欠陥を取除く。

【００８２】

【表３】

表3 可能なIMFU基板材料

金属	ポリマ	IR結晶
• アルミニウム合金	• アセチル	• 硫化カドミウム
• 真鍮	• アクリル	• ヨウ化セシウム
• 銅	• フッ素プラスチック	• インジウムアンチモナイト
• 金	• ナイロン	• フッ化マグネシウム
• ニッケル	• ポリカーボネート	• リン酸塩(KDP)
• 銀	• ポリプロピレン	• 二酸化テルル
• 錫	• ポリスルホン	• テルル化カドミウム
• 亜鉛	• シリコーン	• ガリウムヒ素
	• オレフィン	• イリジウム
	• ゼオネックス(ポリオレフィン)	• 臭化カリウム
		• シリコン
		• セレン化亜鉛
		• フッ化カルシウム
		• ゲルマニウム
		• ニオブ酸リチウム
		• 脱水素カリウム
		• 塩化ナトリウム
		• 硫化亜鉛

【００８３】

図４０のＡは、ツール＃３を用いて製造した最終大型フォーマット（２５０部品）ＩＭＦＵ２０３の写真を示す。図４０のＢは、ＩＭＦＵ２０３の拡大側面図を示し、小面の優れた整列状態を示している。ｘ傾斜グループ分けおよび凹の向きならびに段違いにされたｙ傾斜が容易に観察される。

【００８４】

ミラー光学部品小面の傾斜および幅を、白色光干渉計（ザイゴ社のNewview）を用いて測定した。部品試験の前に、ＩＭＦＵ２０３を干渉計の電動４軸ステージ（Ｘ、Ｙ、θＸ、θＹ）上に置き、調整してＩＭＦＵ２０３のゼロ傾斜（ｘ軸およびｙ軸）ミラー小面からの反射光をシステムの光軸と整列させた。残りの傾斜があれば記録し他の小面傾斜測定値から引いた。１．０×視野レンズを備えた１０×ミロー（Mirau）対物レンズ（ＦＯＶ＝０．７２ｍｍ×０．５４ｍｍ、解像度＝１．１２ミクロン）を用いてデータを収集した。１０個の測定値を各傾斜位置について取得しその平均値を求めた。表４は最終結果を示し、測定値を設計された傾斜値と比較している。この研究の結果は、所望の傾斜値と実際に測定された値が優れて一致していることを示す。最大傾斜誤差はｘ傾斜について－２ｍｒａｄであり（α2＝０．０１０ｒａｄ）であり、傾斜のほとんどに大きな誤差はなかった。

【００８５】

【表４】

表4 IMFU傾斜の設計値と測定値の比較

x傾斜 (α's)	y傾斜 (β's)	理想 (rad.)	測定 (α's)	測定 (β's)	誤差 (α's)	誤差 (β's)
α1	β1	+0.020	+0.020	+0.020	0	0
α2	β2	+0.010	+0.098	+0.010	-0.002	0
α3	β3	0	-	-	-	-
α4	β4	-0.010	-0.010	-0.010	0	0
α5	β5	-0.020	-0.021	-0.020	+0.001	0

【００８６】

各光学部品小面の幅を、その小面の左、中央および右端の表面を通る断面プロファイルで測定した。図４２は、これら測定値から得られる典型的な結果を示す。製造プロセス中、およそ５ミクロンの重なりを導入して隣り合う小面間の薄い金属フラップを除去した。この重なりによって、小面の設計された幅は、小面位置に応じ、約７５ミクロンから約７０～６５ミクロン間に変化した。中央のｘ傾斜（２－４）について、測定された幅は、７０ミクロンの約＋／－１ミクロン以内であったが、端に位置するｘ傾斜（１および５）の場合、これはｙ軸に応じて約５０～７０ミクロンに変化した。ｙ傾斜のために最も高いマッピングライン光学部品となったものは、図４１の２次元強度マップに示されるように、重なりとエッジ侵食のためにより薄い。

【００８７】

ミラー光学部品小面の表面の粗さは、最終画像のコントラストおよびＩＭＦＵ２０３のスループットを低下させる。この効果を定量化するために、５０×ミロー対物レンズ、２．０×視野レンズ（ＦＯＶ＝０．０７ｍｍ×０．０５ｍｍ、解像度＝０．１１ミクロン）を有する白色光干渉計を用いた。図４２は、１つの小面から得られた典型的な粗さの結果を示す。この製造方法の場合、ツールの欠陥によって、小面の長さに沿ってラインが生じる。ＩＭＦＵ２０３の表面粗さのより統計的な推定値を得るために、ランダムに選択した１０の小面表面領域を測定し、平均ｒｍｓ粗さが５．３＋／－１．２ｎｍであることがわかった。この粗さの値に基づきＩＭＦＵ２０３の光学スループットを推定したところおよそ９７％であった。

【００８８】

本発明の広い範囲を示す数値範囲およびパラメータにかかわらず、特定の例において記載された数値はできるだけ正確に報告されている。しかしながら、どのような数値も、必然的にそれぞれの試験測定値に見られる標準偏差のため、本質的に何らかの誤差を含んでいる。

【００８９】

このように、本発明は、上記目的および利点ならびに本質的な目的および利点の達成に適応している。当業者によって数多くの変更が加えられてもよいが、このような変更は一部が添付の請求項によって示される本発明の精神に含まれる。

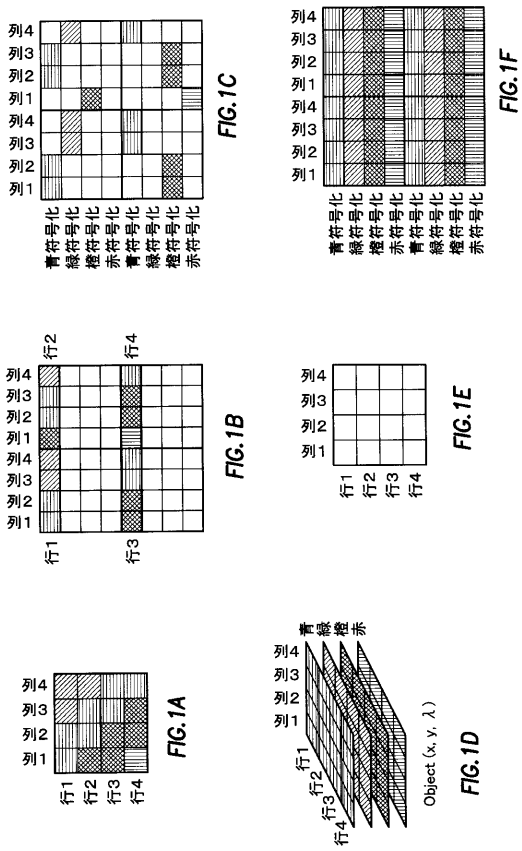
【手続補正２】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】

画像を受けて複数の画像マッピング形状を出力するように構成された画像マッピングフィールドユニットを含み、前記画像マッピングフィールドユニットは、

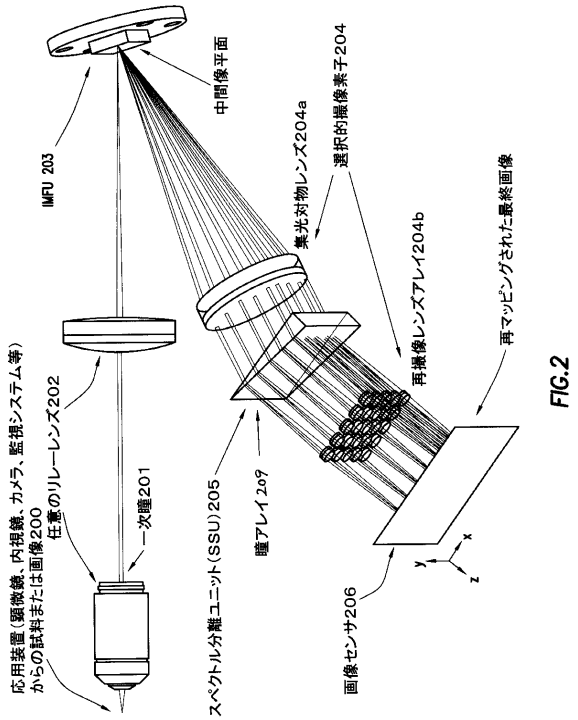
第１の画像マッピング形状の向きを第１の角度に沿って変えることにより、向きが変えられた第１の画像マッピング形状を生成するように構成された第１の光学部品と、
第２の画像マッピング形状の向きを前記第１の角度に沿って変えることにより、向きが変えられた第２の画像マッピング形状を生成するように構成された第２の光学部品と、
第３の画像マッピング形状の向きを第２の角度に沿って変えることにより、向きが変えられた第３の画像マッピング形状を生成するように構成された第３の光学部品とを含み、
前記第１の画像マッピング形状および前記第２の画像マッピング形状は、前記画像のサブ画像の一部であり、
前記サブ画像は２次元である、システム。
【請求項２】
前記システムは、前記向きが変えられた第１の画像マッピング形状、前記向きが変えられた第２の画像マッピング形状、および前記向きが変えられた第３の画像マッピング形状からなる群より選択される少なくとも１つを光学的に変換するように構成される、請求項１に記載のシステム。
【請求項３】
前記向きが変えられた第１の画像マッピング形状、前記向きが変えられた第２の画像マッピング形状、および前記向きが変えられた第３の画像マッピング形状からなる群より選択される少なくとも１つを光学的に変換することは、
少なくとも１つの画像マッピング形状を受けることを含み、前記受けた画像マッピング形状は、前記向きが変えられた第１の画像マッピング形状、前記向きが変えられた第２の画像マッピング形状、および前記向きが変えられた第３の画像マッピング形状からなる群より選択される少なくとも１つの画像マッピング形状であり、
前記少なくとも１つの画像マッピング形状をスペクトル分離して少なくとも１つのスペクトル分離された画像マッピング形状を生成することと、
前記少なくとも１つのスペクトル分離された画像マッピング形状を出力することとを含む、請求項２に記載のシステム。
【請求項４】
前記システムは選択的撮像素子をさらに含み、前記選択的撮像素子は、前記少なくとも１つのスペクトル分離された画像マッピング形状を、検出器上の少なくとも１つの場所の上に再撮像するように構成される、請求項３に記載のシステム。
【請求項５】
前記選択的撮像素子は複数の選択的撮像素子光学部品を含み、前記複数の選択的撮像素子光学部品のうち少なくとも１つは動的である、請求項４に記載のシステム。
【請求項６】
前記複数の選択的撮像素子光学部品のうち少なくとも１つは、各々が前記第１の角度に沿って向きを変えられた少なくとも前記第１の画像マッピング形状および前記第２の画像マッピング形状を受けるように構成される、請求項５に記載のシステム。
【請求項７】
前記検出器は電磁放射線検出器の２次元（２Ｄ）アレイを含む、請求項４に記載のシステム。
【請求項８】
前記検出器は前記少なくとも１つのスペクトル分離された画像マッピング形状をデジタル信号処理ユニットに出力するように構成される、請求項４に記載のシステム。
【請求項９】
前記デジタル信号処理ユニットは、前記少なくとも１つのスペクトル分離された画像マッピング形状を再度マッピングして光学像および空間的に分解されたスペクトルを得るように構成される、請求項８に記載のシステム。
【請求項１０】
前記デジタル信号処理ユニットはさらに、前記光学像および前記空間的に分解されたスペクトルを表示装置に出力するように構成される、請求項９に記載のシステム。

【請求項１１】
前記第１の光学部品は、屈折部品、反射部品、および導波路からなる群より選択される部品である、請求項１に記載のシステム。
【請求項１２】
前記第１の光学部品は動的である、請求項１に記載のシステム。
【請求項１３】
前記画像マッピングフィールドユニットは、前記第１の画像マッピング形状、前記第２の画像マッピング形状、および前記第３の画像マッピング形状の向きを同時に変える、請求項１に記載のシステム。
【請求項１４】
前記画像マッピングフィールドユニットは、前記第１の画像マッピング形状、前記第２の画像マッピング形状、および前記第３の画像マッピング形状を同時に取得する、請求項１３に記載のシステム。
【請求項１５】
前記画像マッピングフィールドユニットは複数のミラー小面を含み、前記第１の光学部品は、前記複数のミラー小面のうち第１の小面であり、前記第２の光学部品は、前記複数のミラー小面のうち第２の小面であり、前記第３の光学部品は、前記複数のミラー小面のうち第３の小面である、請求項１に記載のシステム。
【手続補正３】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】全図
【補正方法】変更
【補正の内容】

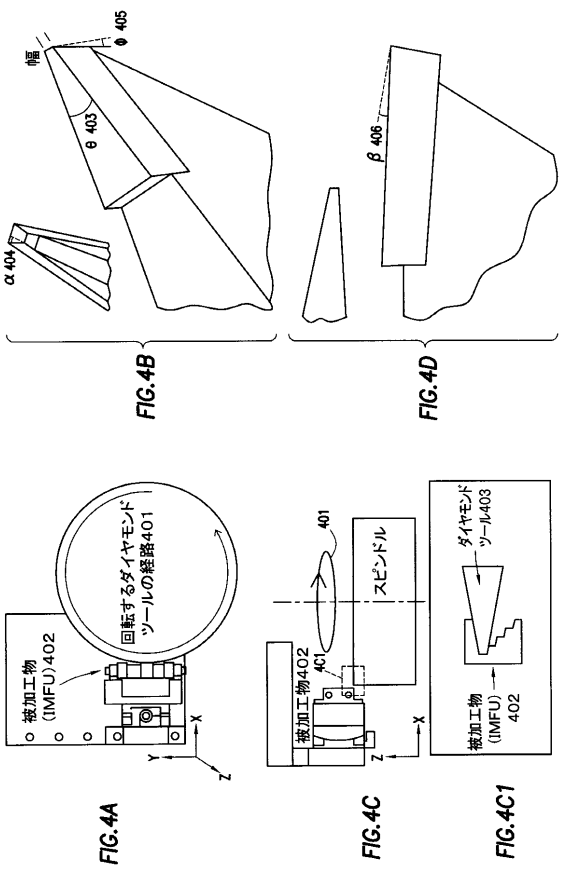
【図１】



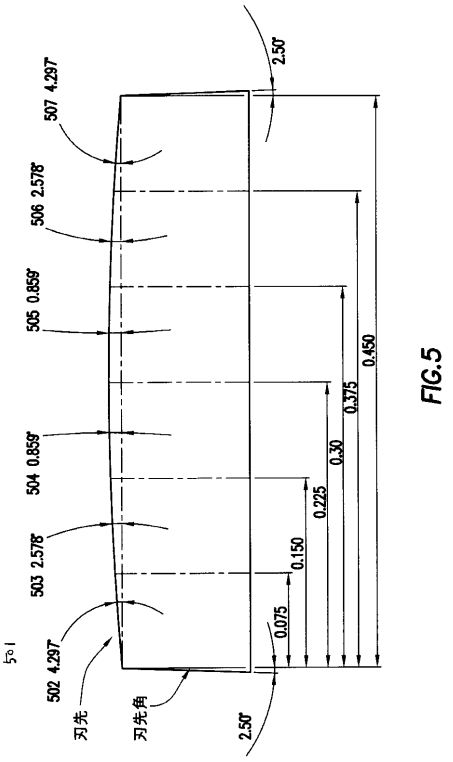
【図２】



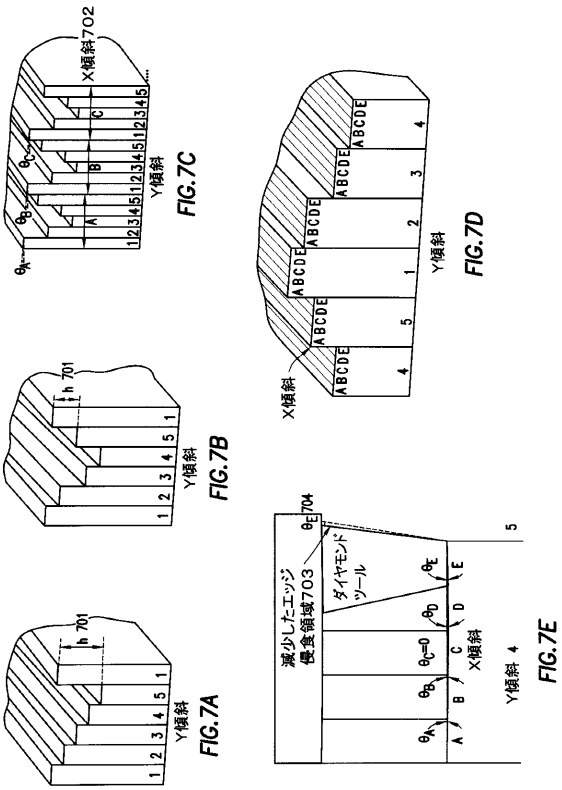
【図４】


幅
405
θ 403
α 404
β 406
FIG.4B
FIG.4D
回転するダイヤモンドツールの経路401
被加工物(IMFU)402
FIG.4A
401
スピンドル
被加工物402
401
FIG.4C
ダイヤモンドツール403
被加工物(IMFU)402
FIG.4C1

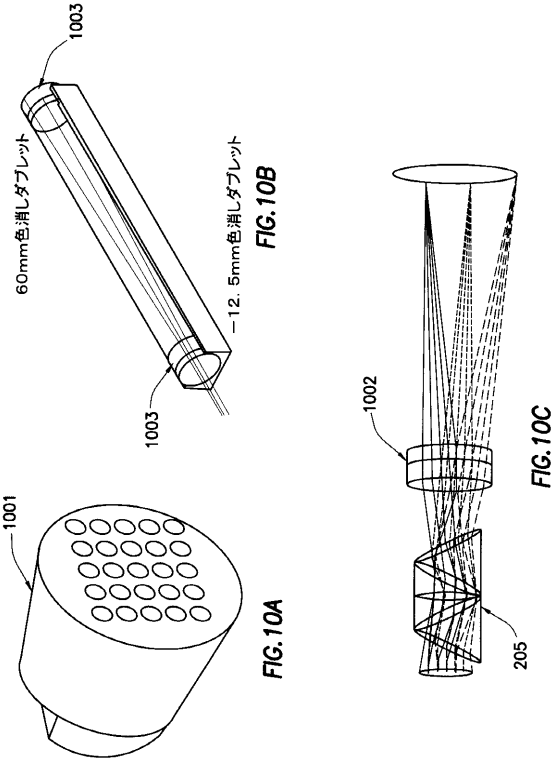
【図５】


507 4.297
506 2.578
505 0.859
504 0.859
503 2.578
502 4.297
2.50°
2.50°
刃先
刃先角
0.075
0.150
0.225
0.30
0.375
0.450
FIG.5

【図７】


X傾斜702
Y傾斜
FIG.7C
h 701
Y傾斜
FIG.7B
h 701
Y傾斜
FIG.7A
X傾斜
Y傾斜
FIG.7D
減少したエッジ検査領域703
ダイヤモンドツール
θE 704
X傾斜 4
Y傾斜 4
FIG.7E

【図１０】


1003
60mm色消しダブレット
12.5mm色消しダブレット
1003
FIG.10B
1001
FIG.10A
1002
205
FIG.10C

【図１１Ａ】

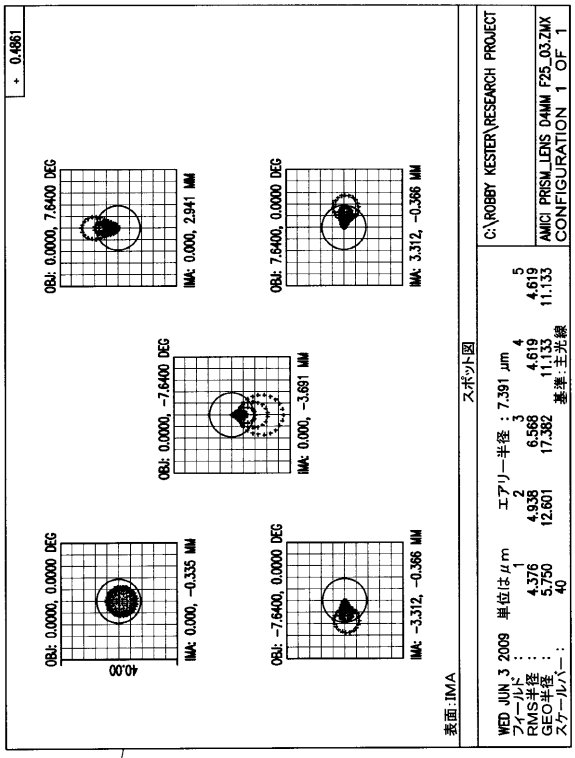


FIG.11A

1101

【図１１Ｂ】

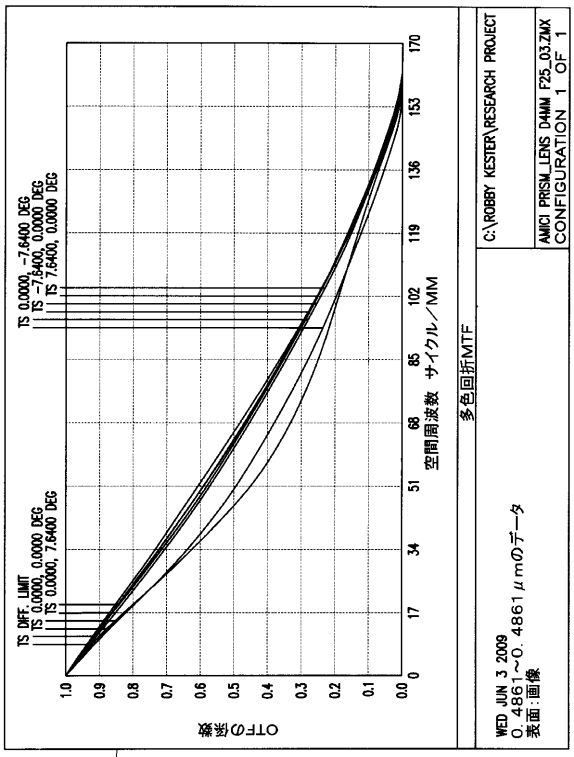


FIG.11B

1102

【図１１Ｃ】

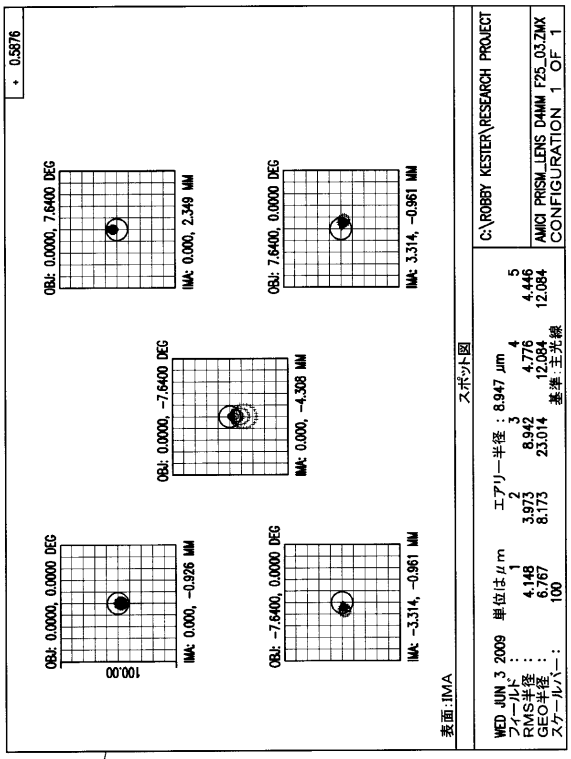


FIG.11C

1103

【図１１Ｄ】

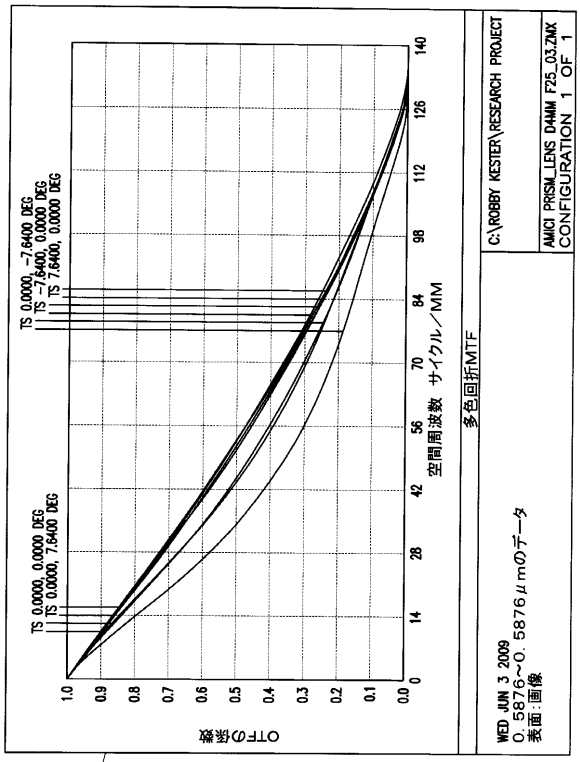


FIG.11D

1104

【図１１Ｅ】

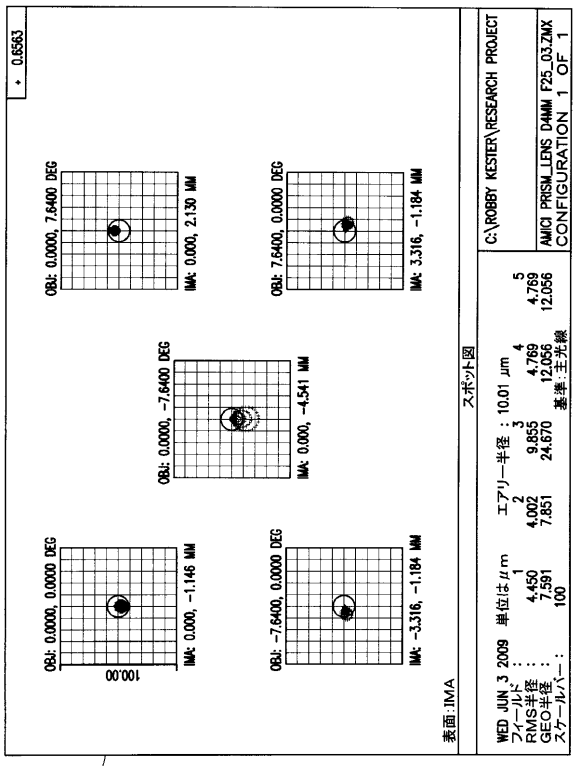


FIG.11E

【図１１Ｆ】

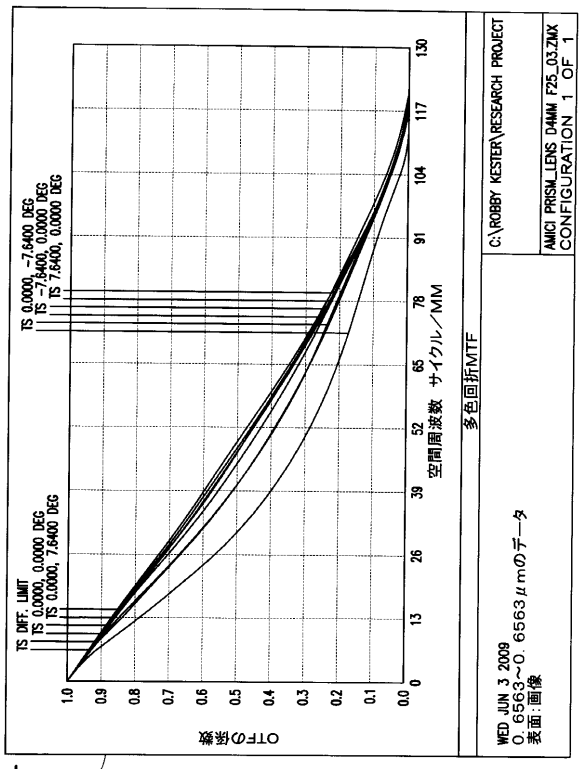


FIG.11F

【図１２】

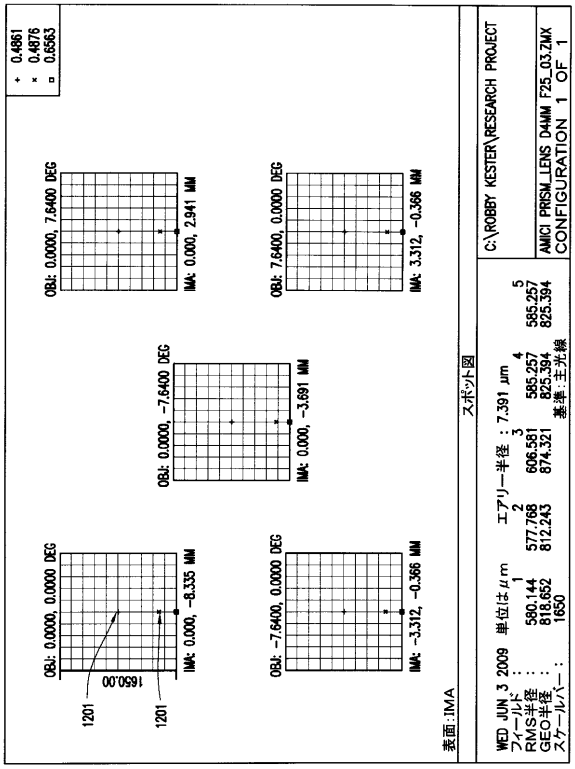


FIG.12

【図１３】

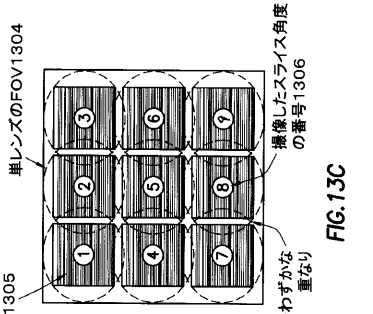


FIG.13C

FIG.13B

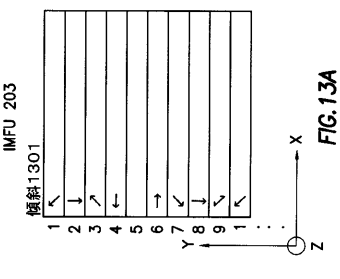


FIG.13A

【図１４】

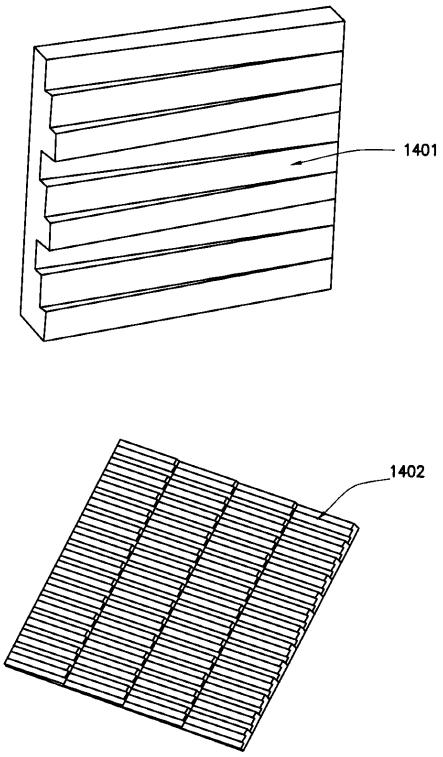


FIG.14

【図１５】

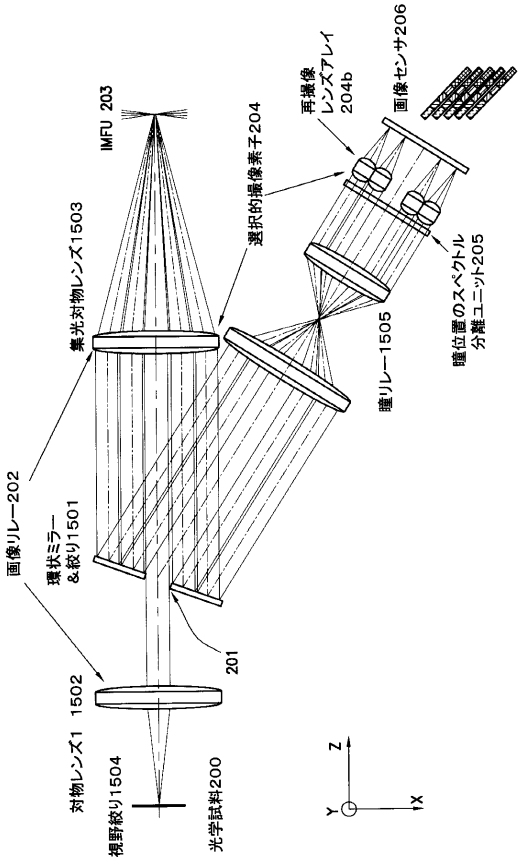


FIG.15

【図１６】

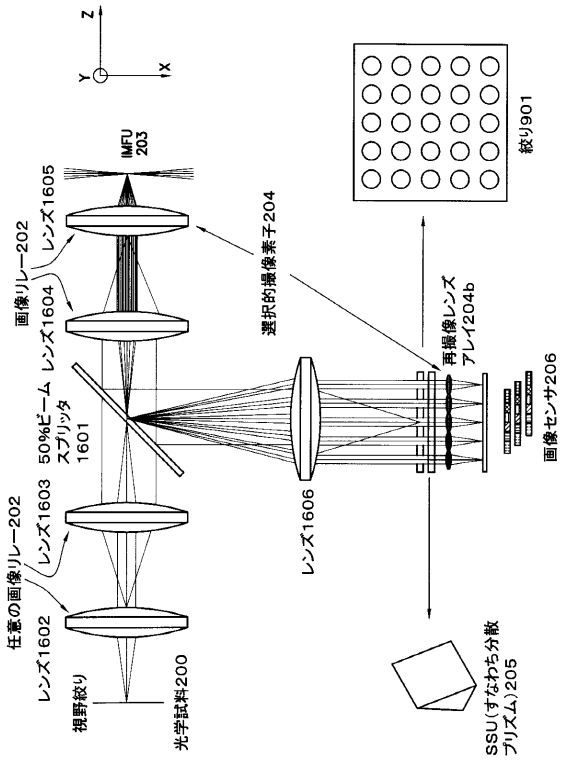


FIG.16

【図１７】

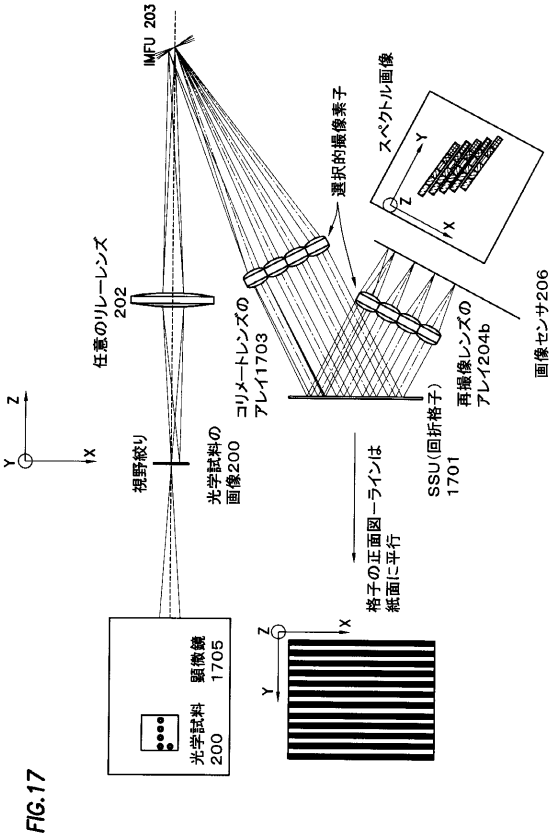


FIG.17

【図１８】

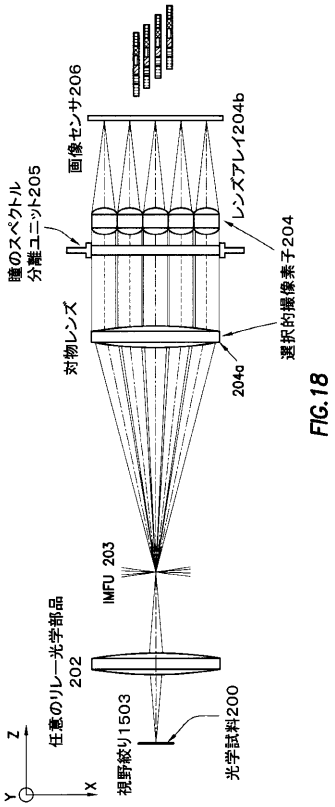


FIG.18

【図１９】

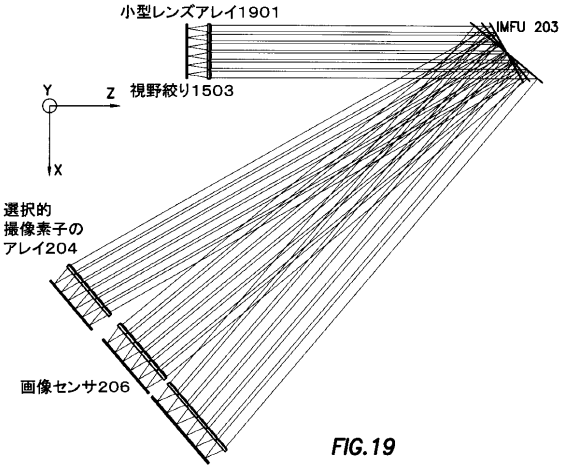


FIG.19

【図２０】

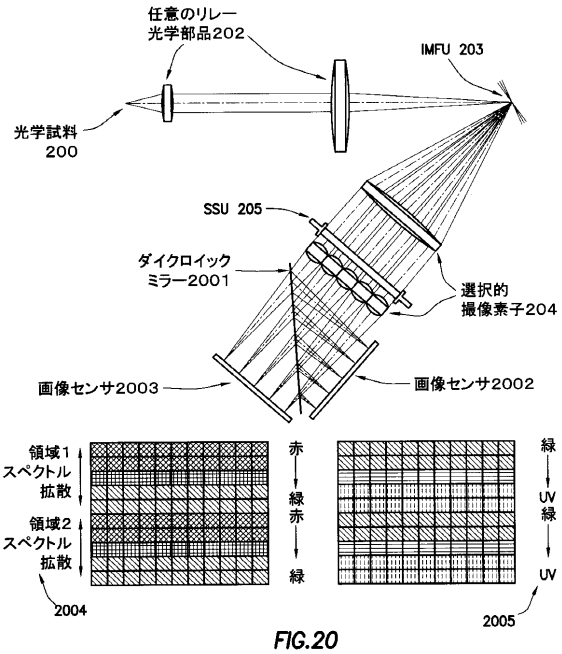


FIG.20

【図２１】

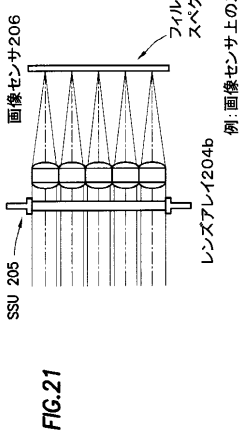


FIG.21

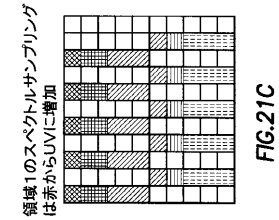


FIG.21C

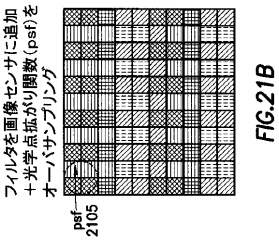


FIG.21B

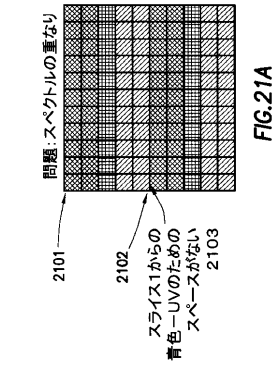


FIG.21A

【図２２】

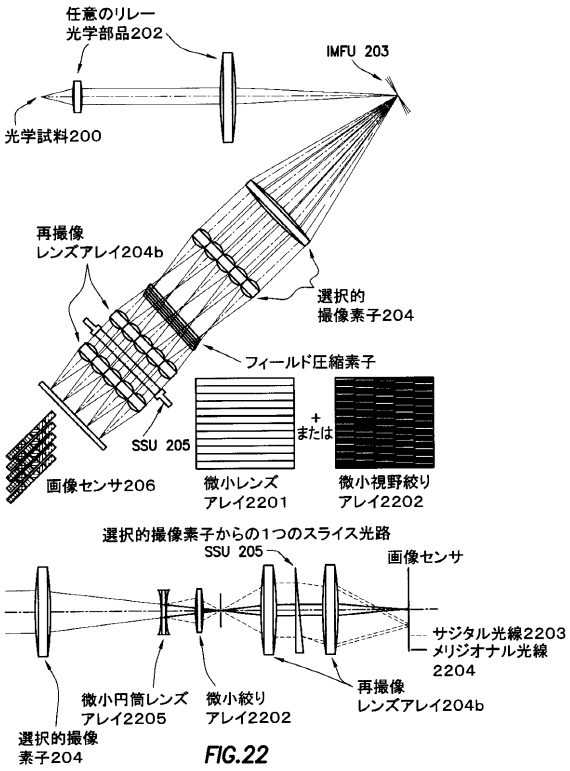


FIG.22

【図２４】

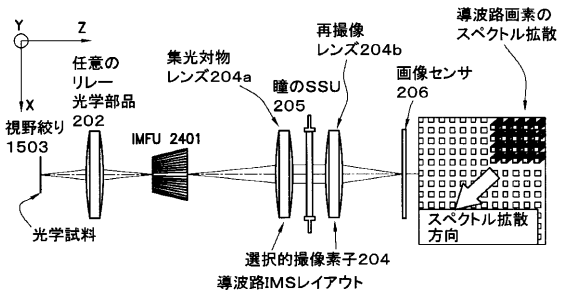


FIG.24A

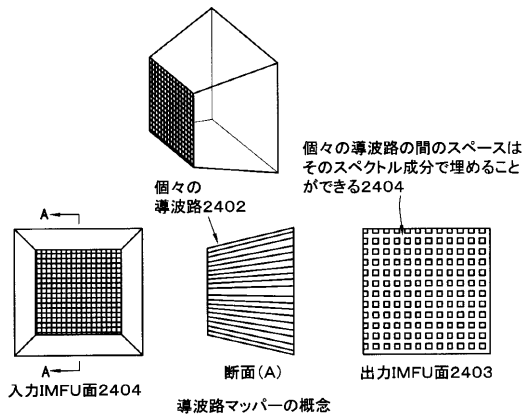


FIG.24B

【図２５】

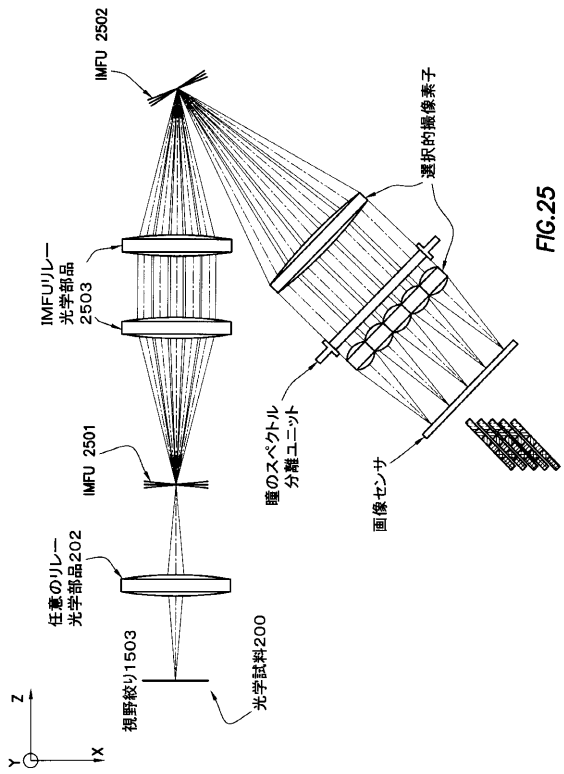


FIG.25

【図２６】

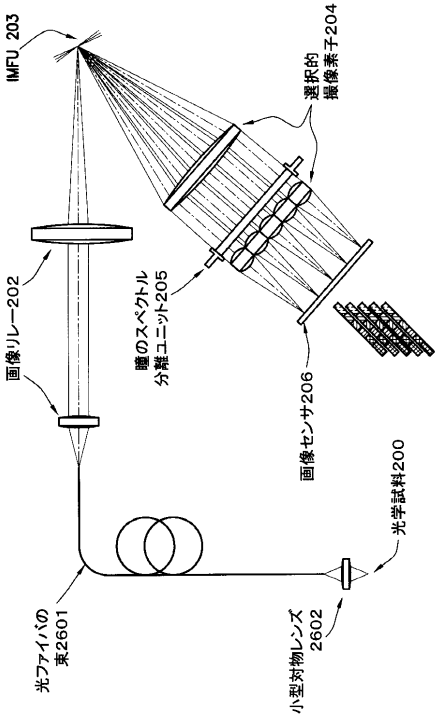


FIG.26

【図２７】

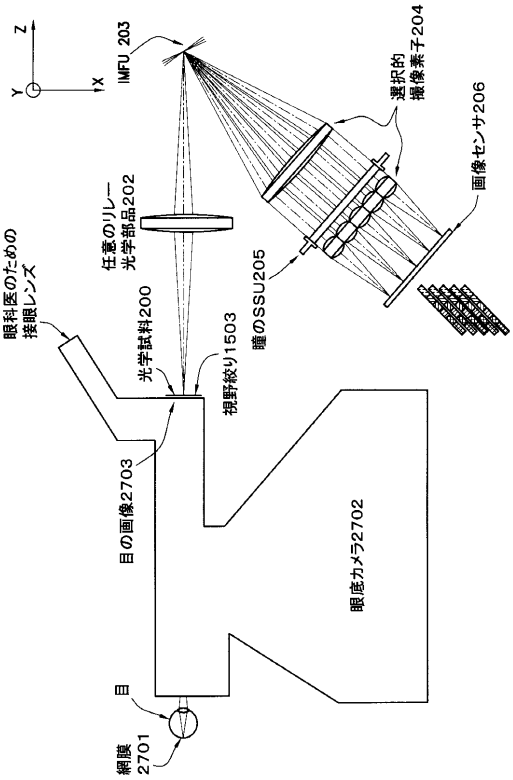


FIG.27

【図２８】

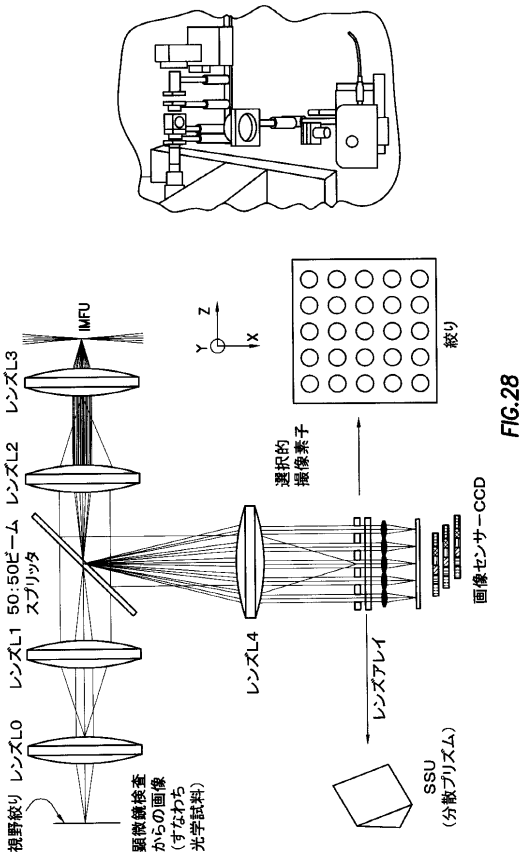


FIG.28

【図３１】

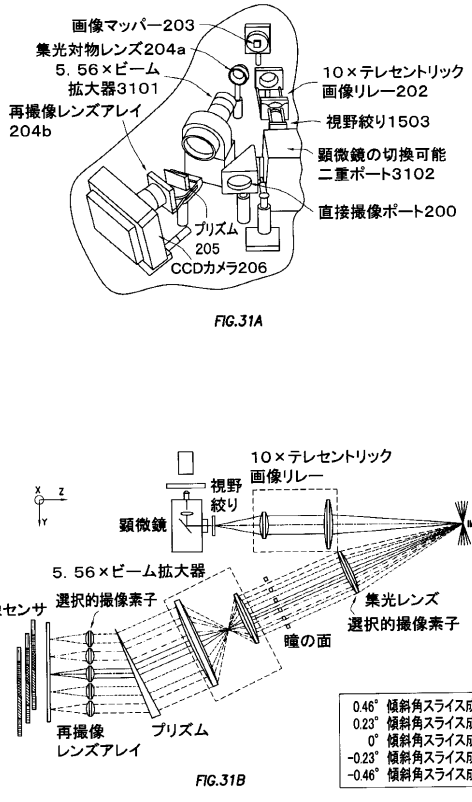


FIG.31A

FIG.31B

【図３７】

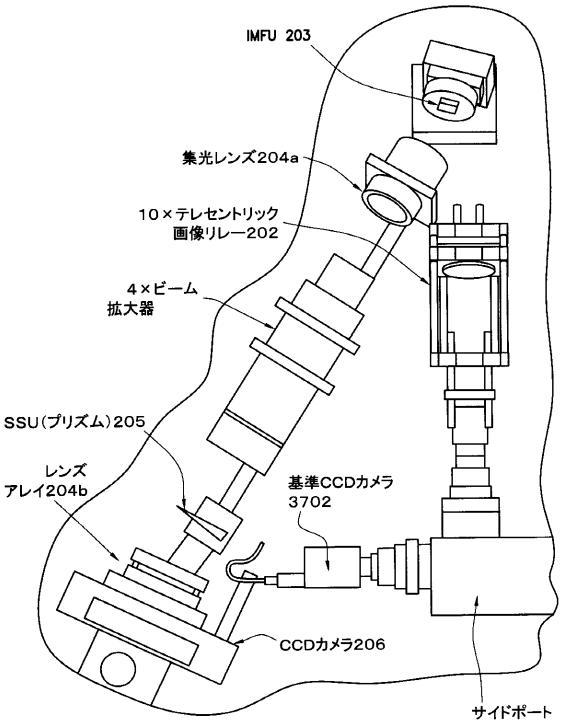


FIG.37

【図３９】

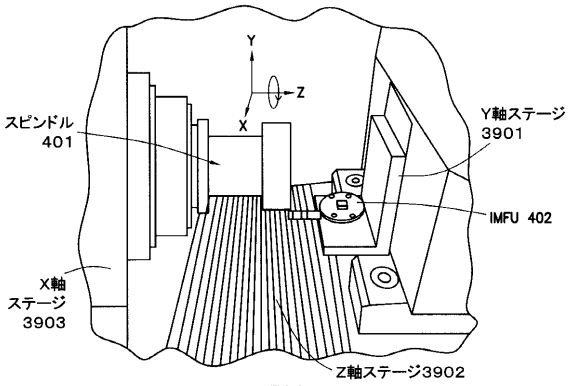


FIG.39A

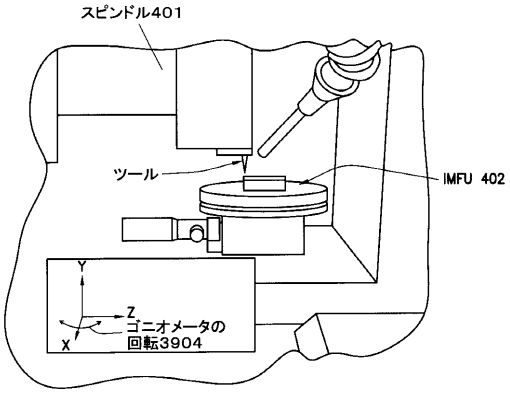


FIG.39B

【図３】

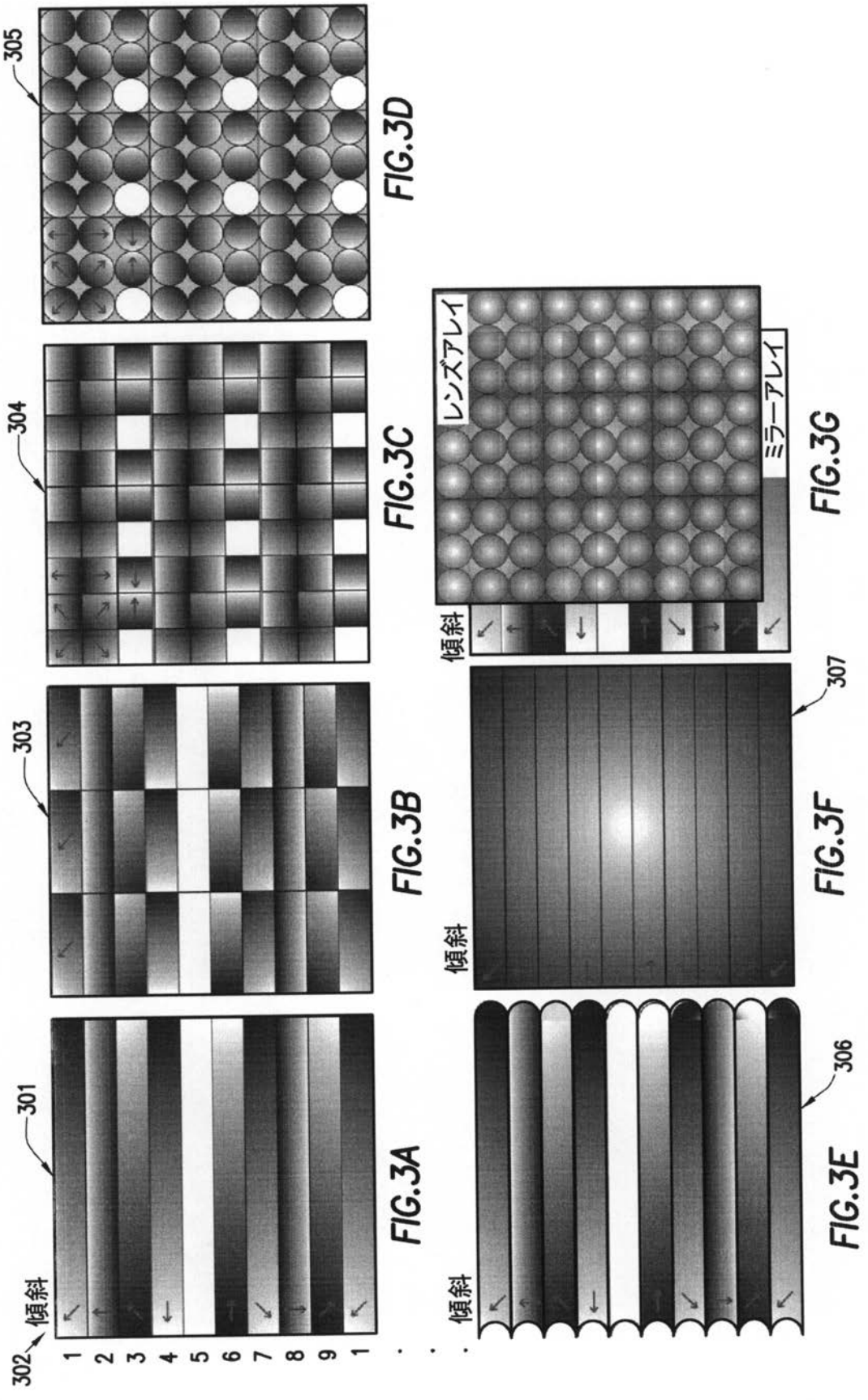


FIG.3A FIG.3B FIG.3C FIG.3D FIG.3E FIG.3F FIG.3G

【図６】

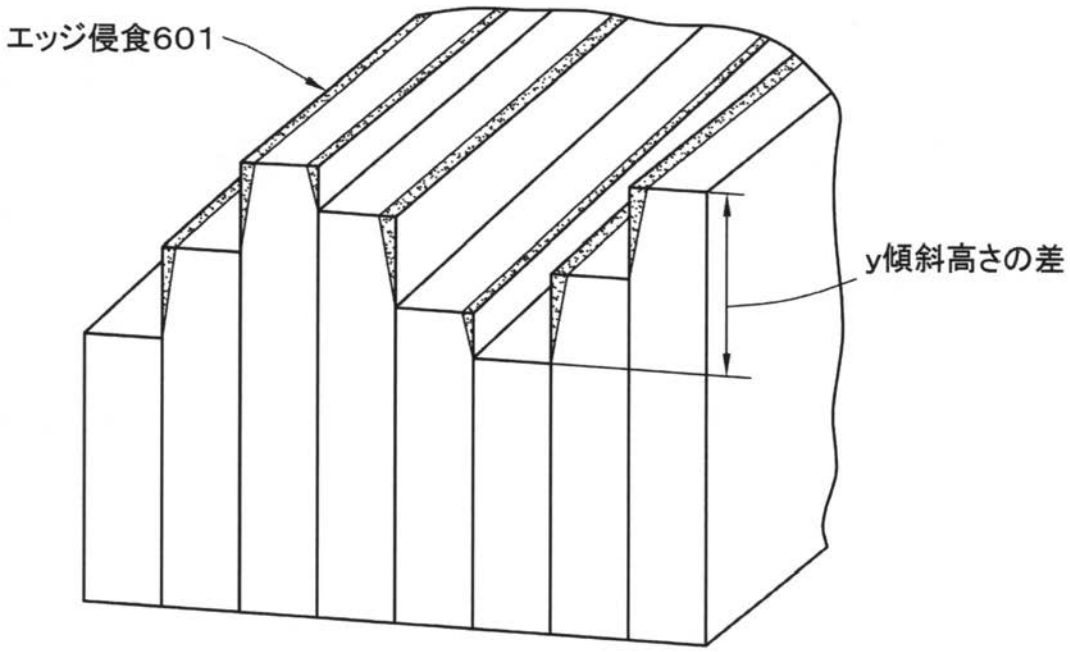


FIG.6A

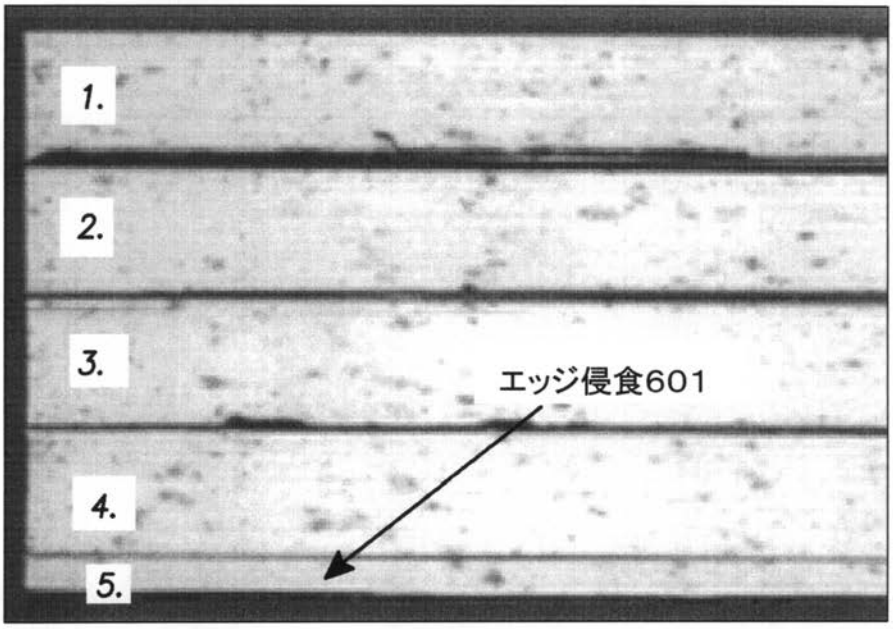


FIG.6B

【図８】

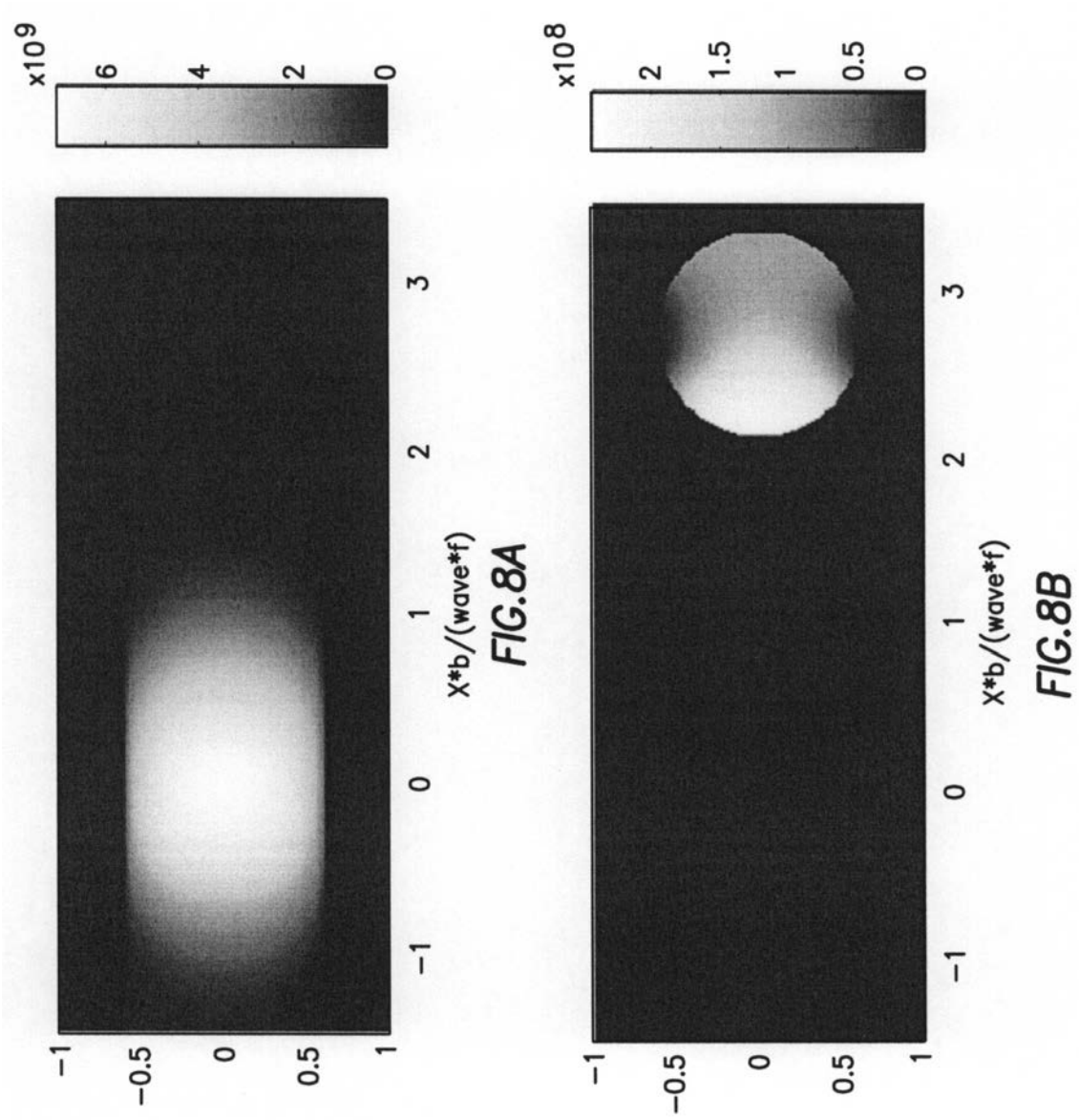


FIG.8A

FIG.8B

【図９】

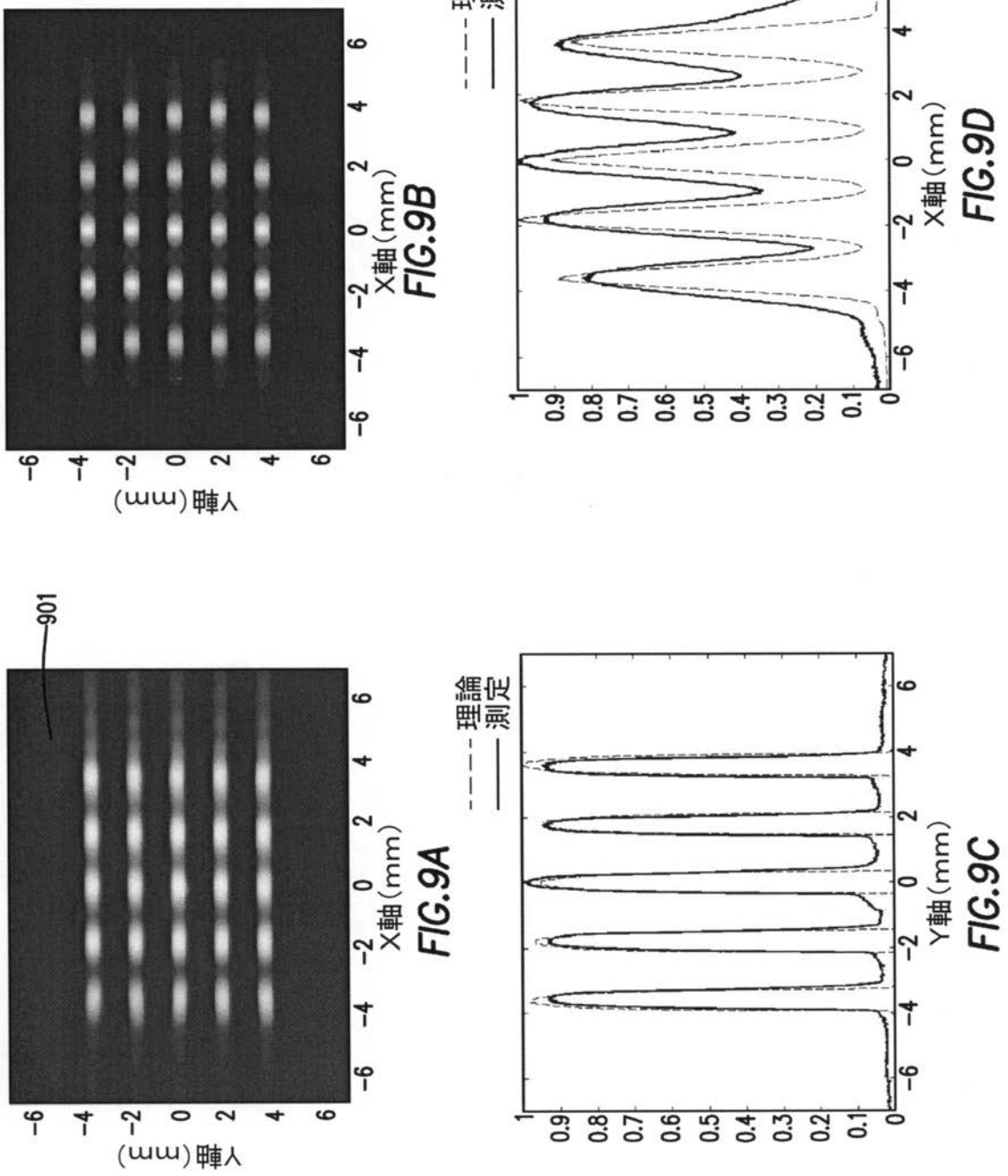


FIG.9A FIG.9B FIG.9C FIG.9D

【図２３】

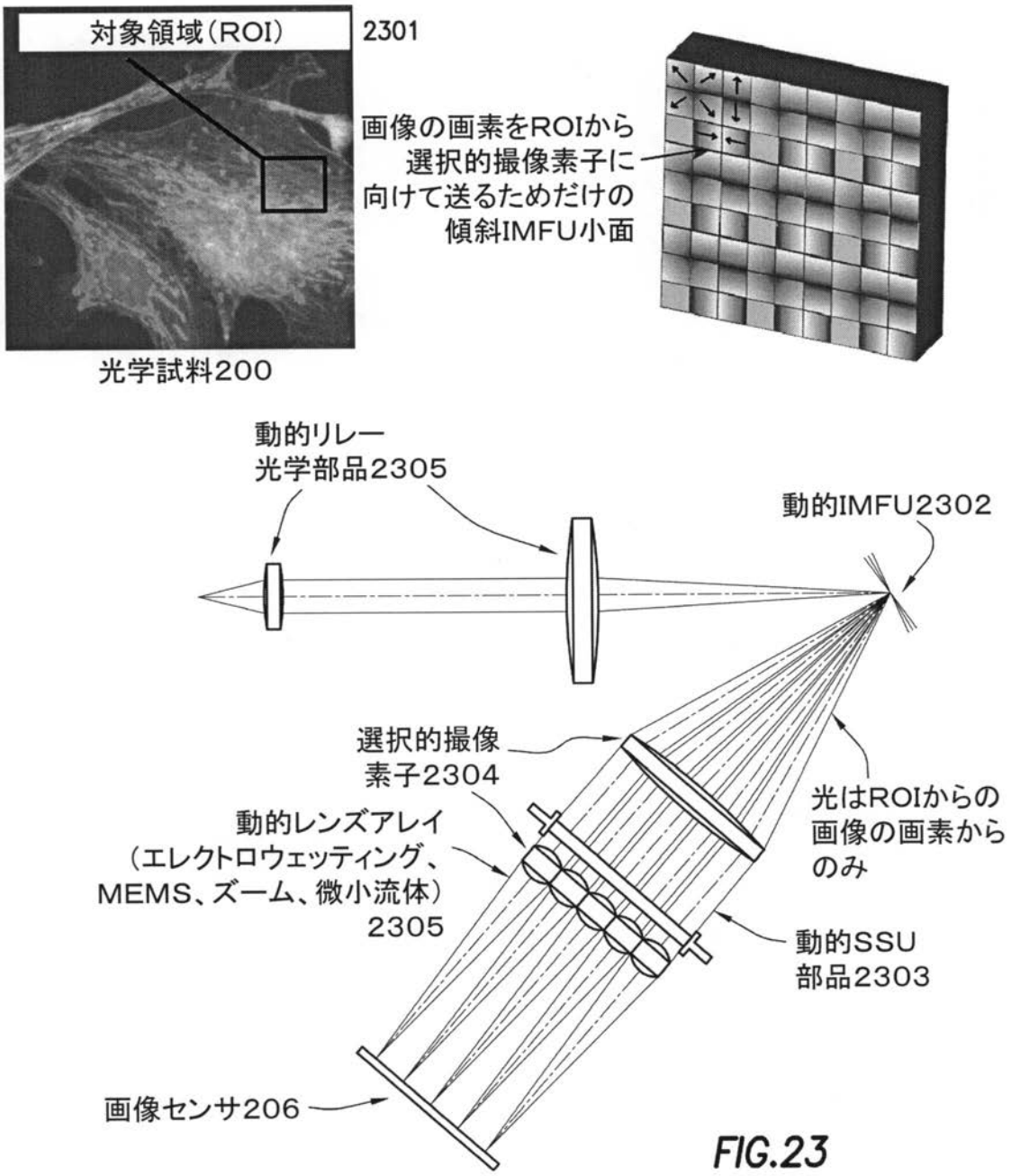


FIG.23

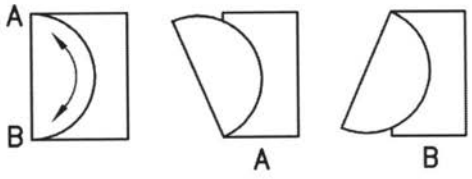


FIG.23A

【図２９】

FIG.29A

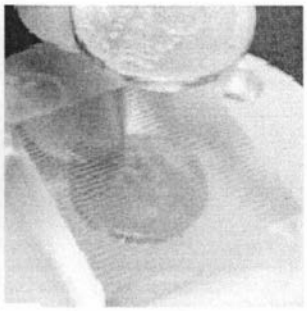


FIG.29B

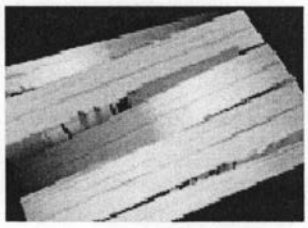


FIG.29C

【図３０】

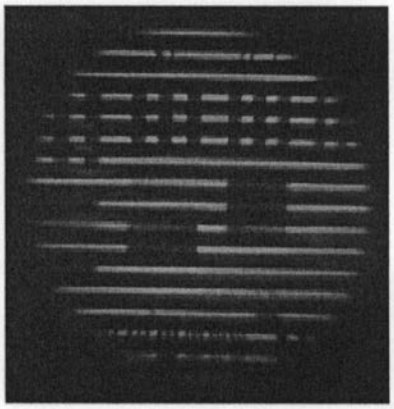


FIG.30A

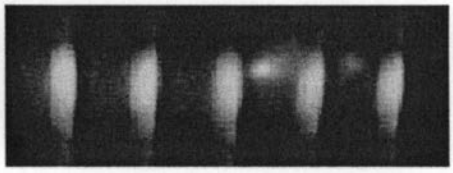


FIG.30B

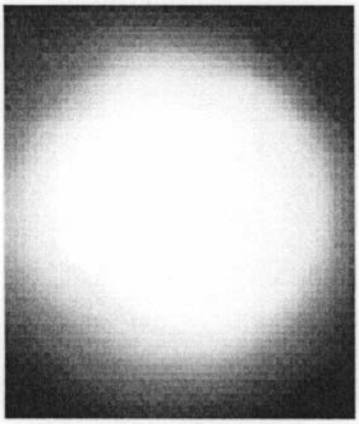


FIG.30C

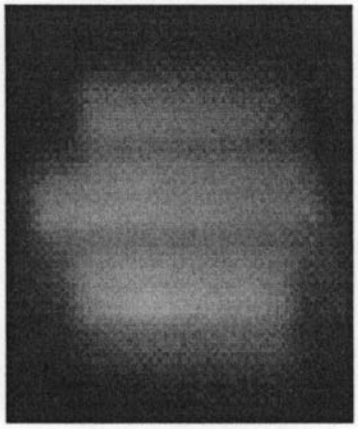


FIG.30D

【図３２】

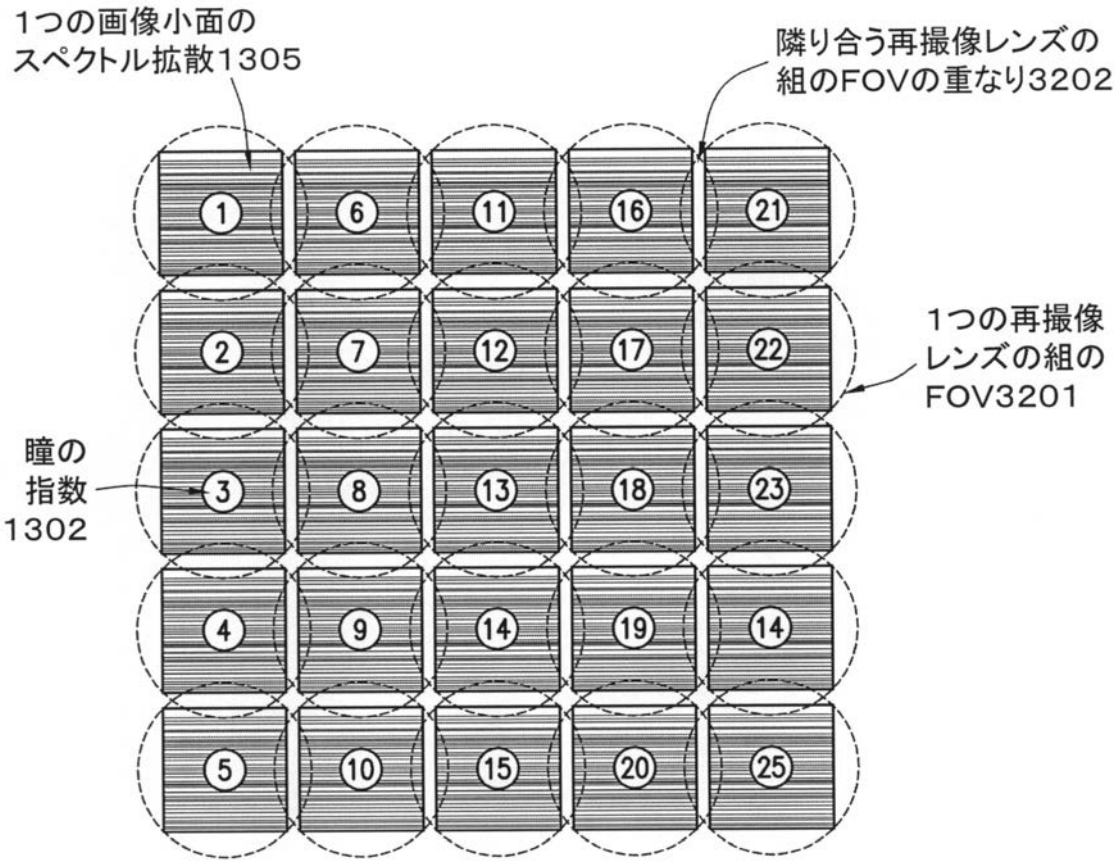


FIG.32

【図３３】

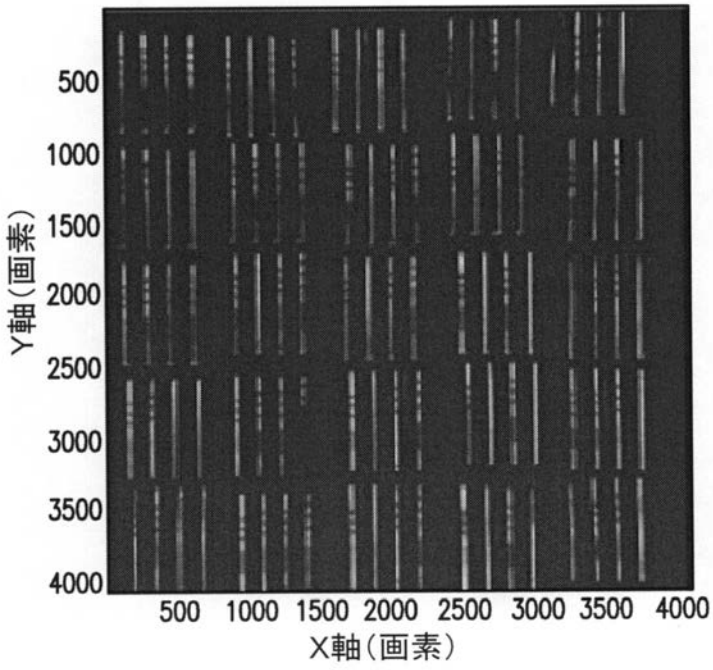


FIG.33A

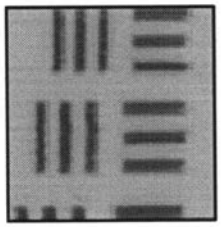


FIG.33B

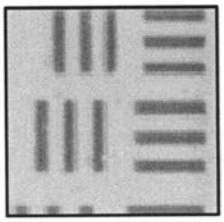


FIG.33C

【図３４】

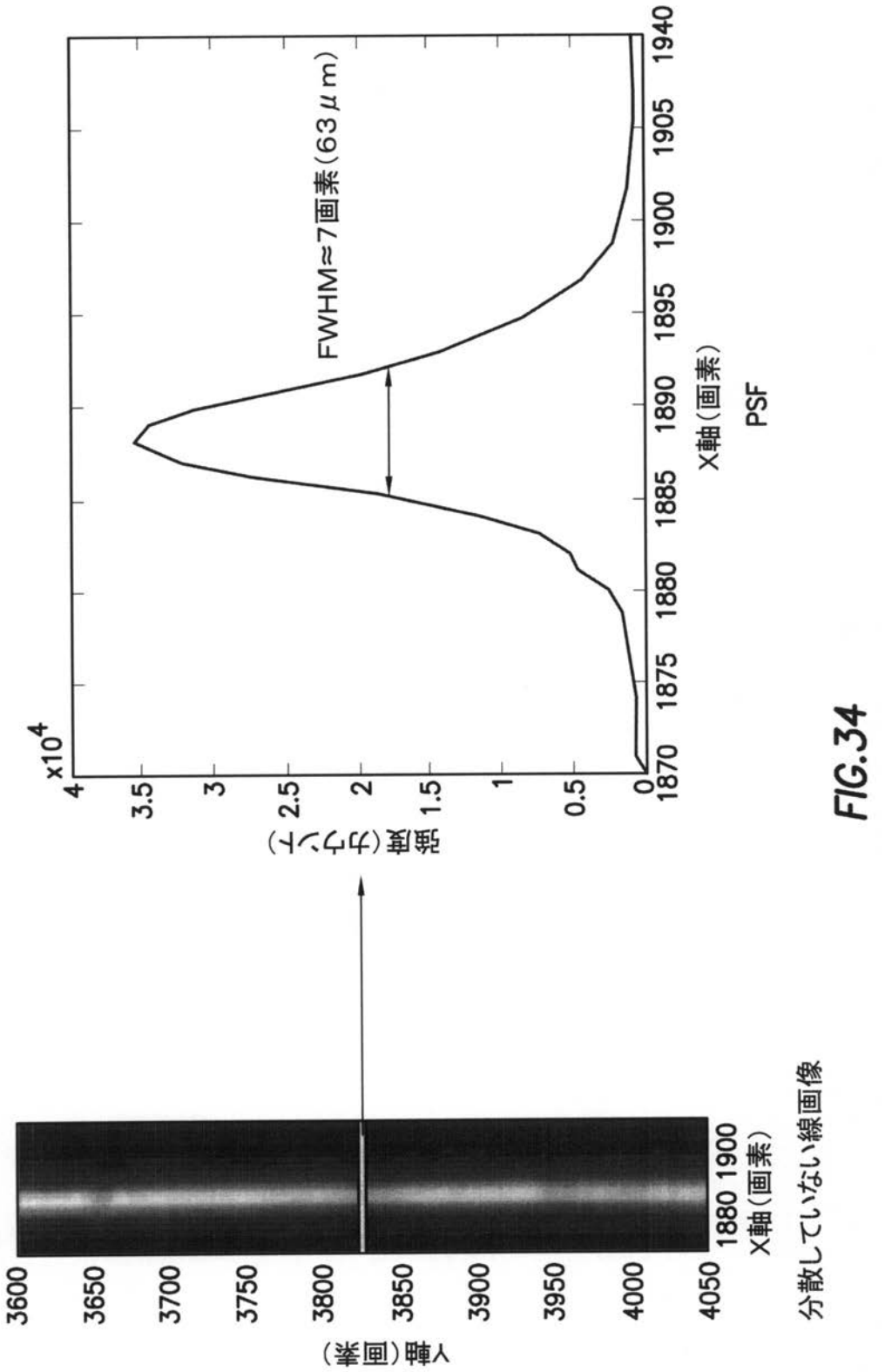
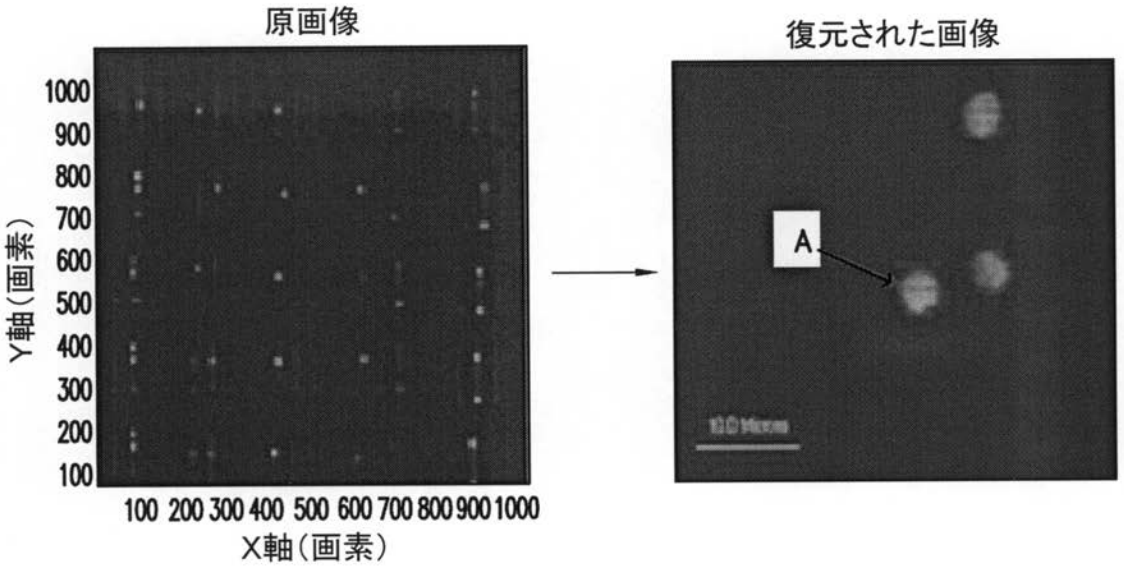

FWHM≈7画素(63μm)
x10^4
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
強度(カウント)
1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1940
X軸(画素)
PSF
3600 3650 3700 3750 3800 3850 3900 3950 4000 4050
Y軸(画素)
1880 1900
X軸(画素)
分散していない線画像

FIG.34

【図３５】


原画像
復元された画像
Y軸（画素）
X軸（画素）
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
A

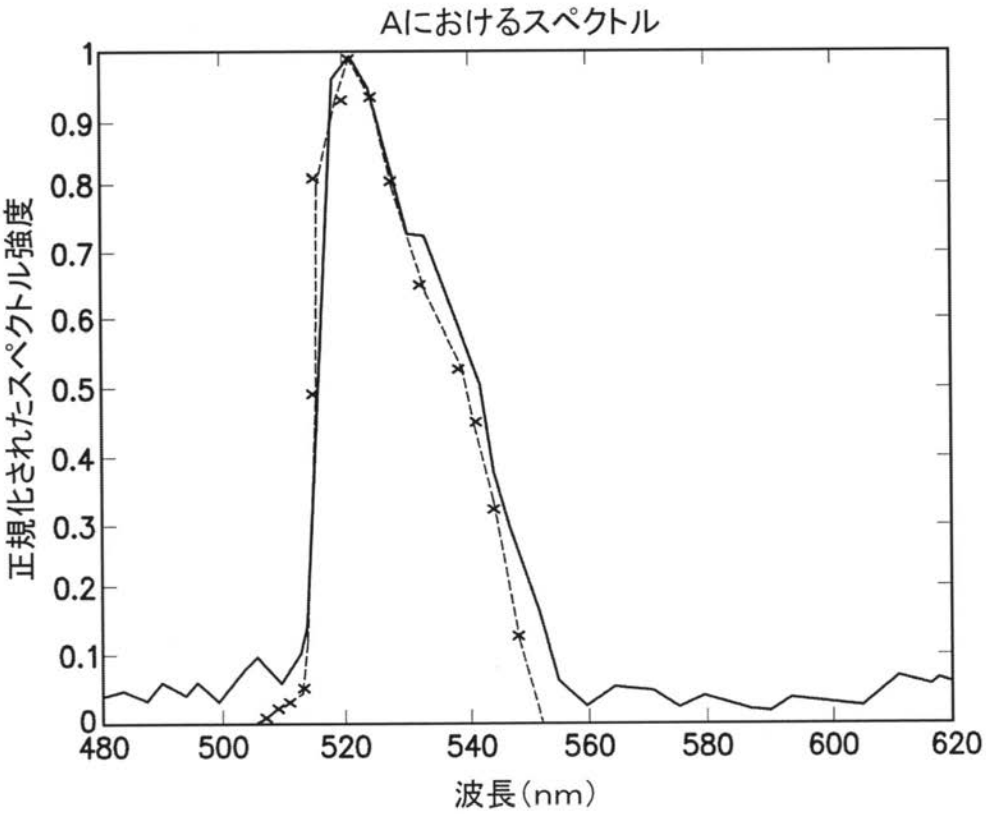

Aにおけるスペクトル
正規化されたスペクトル強度
波長（nm）
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
480 500 520 540 560 580 600 620

FIG.35

【図３６】

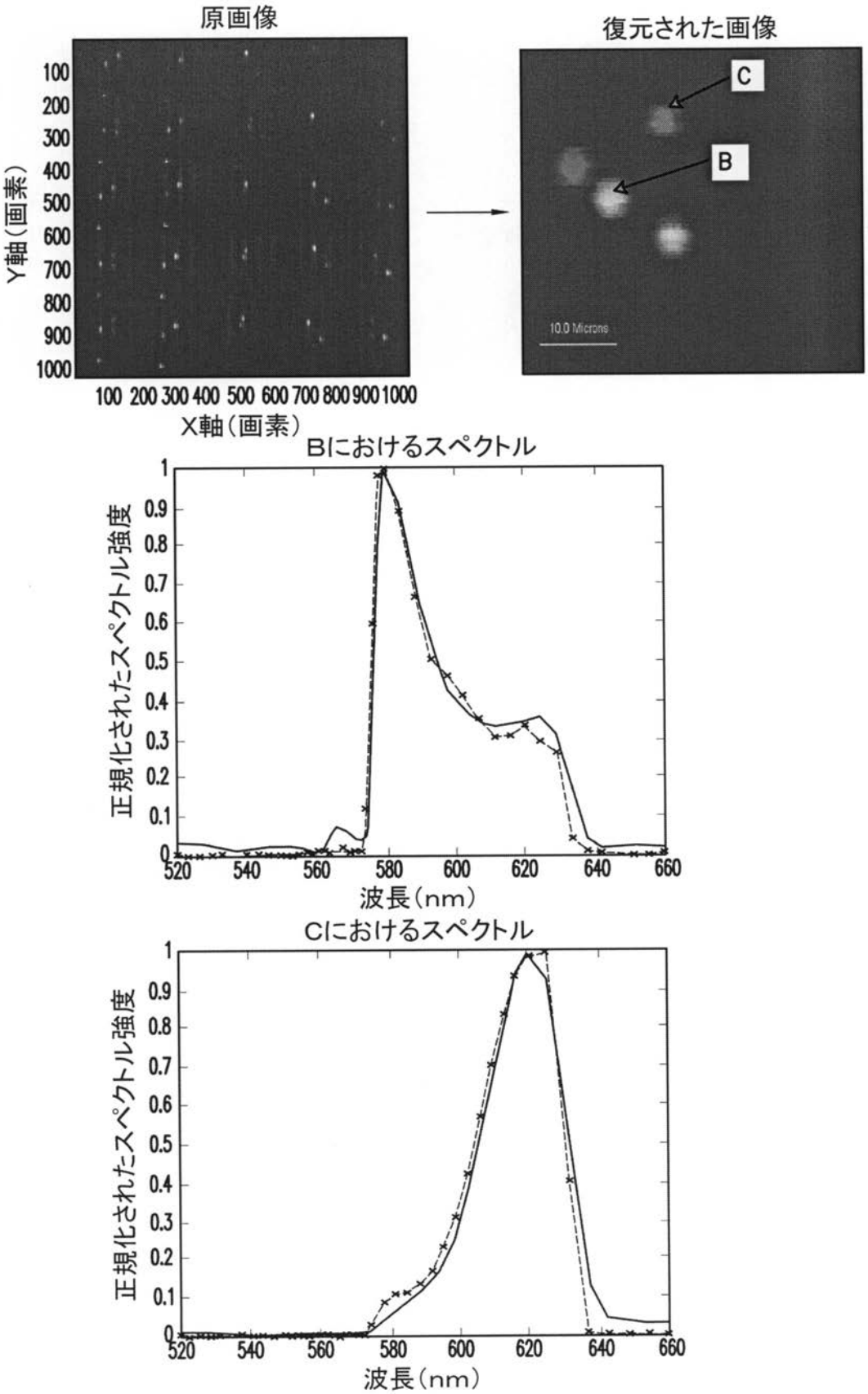

原画像
復元された画像
C
B
10.0 Microns
Y軸(画素)
X軸(画素)
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
Bにおけるスペクトル
正規化されたスペクトル強度
波長(nm)
520 540 560 580 600 620 640 660
Cにおけるスペクトル
正規化されたスペクトル強度
波長(nm)

FIG.36

【図３８】

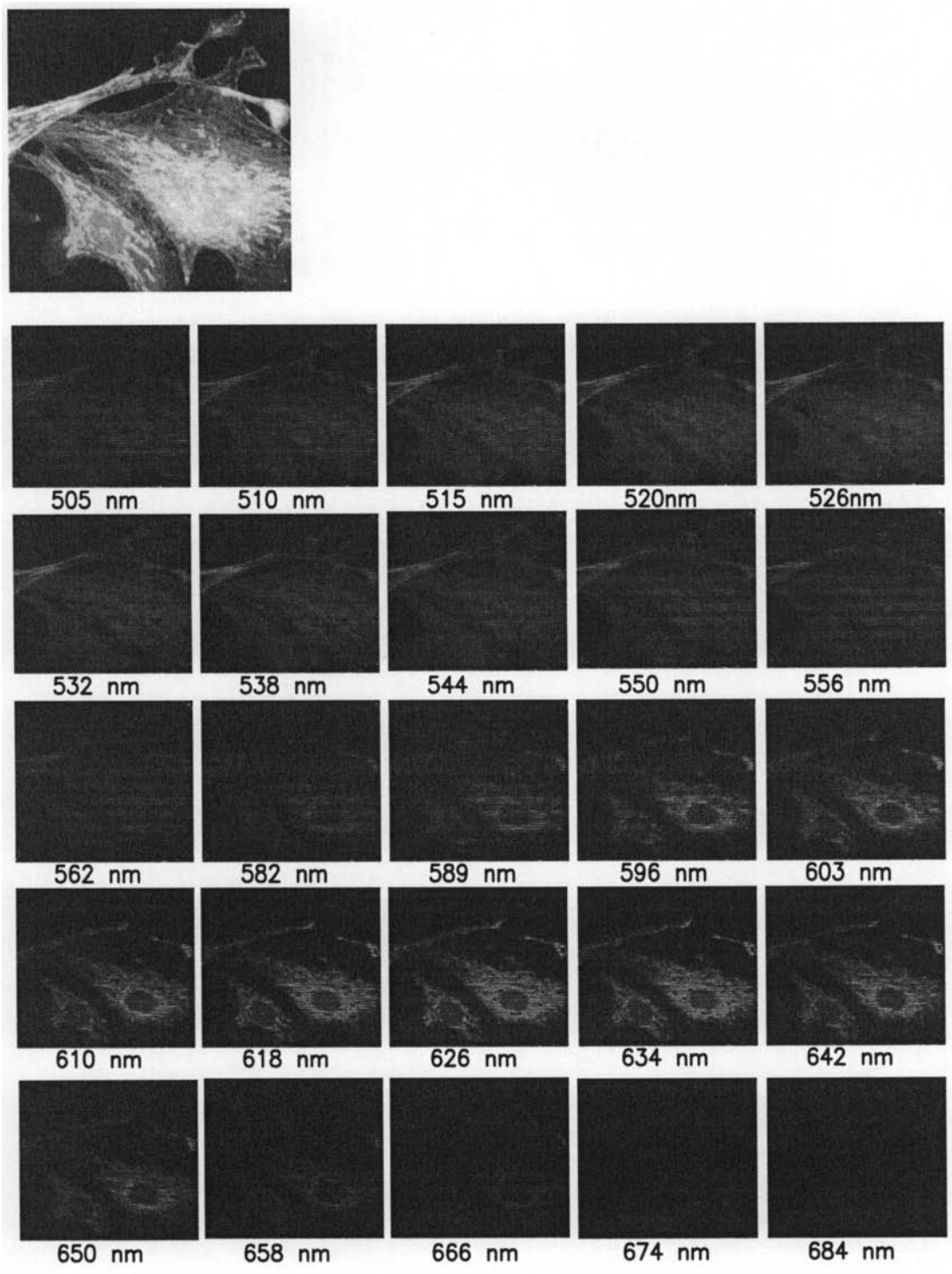

505 nm
510 nm
515 nm
520nm
526nm
532 nm
538 nm
544 nm
550 nm
556 nm
562 nm
582 nm
589 nm
596 nm
603 nm
610 nm
618 nm
626 nm
634 nm
642 nm
650 nm
658 nm
666 nm
674 nm
684 nm

FIG.38

【図４０】

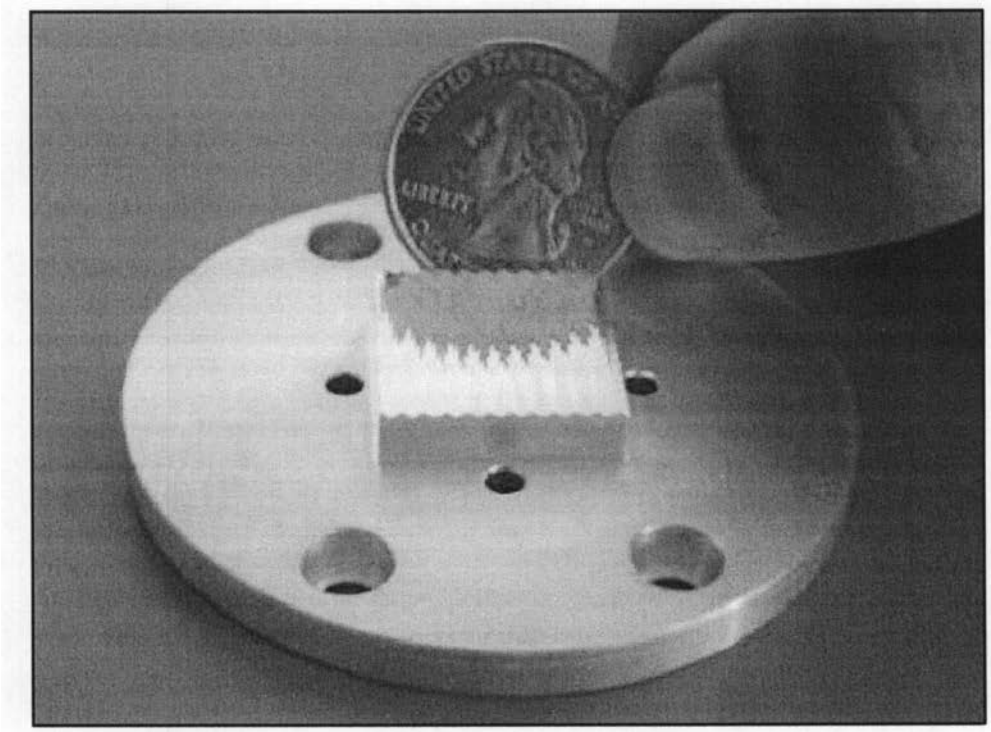


FIG.40A

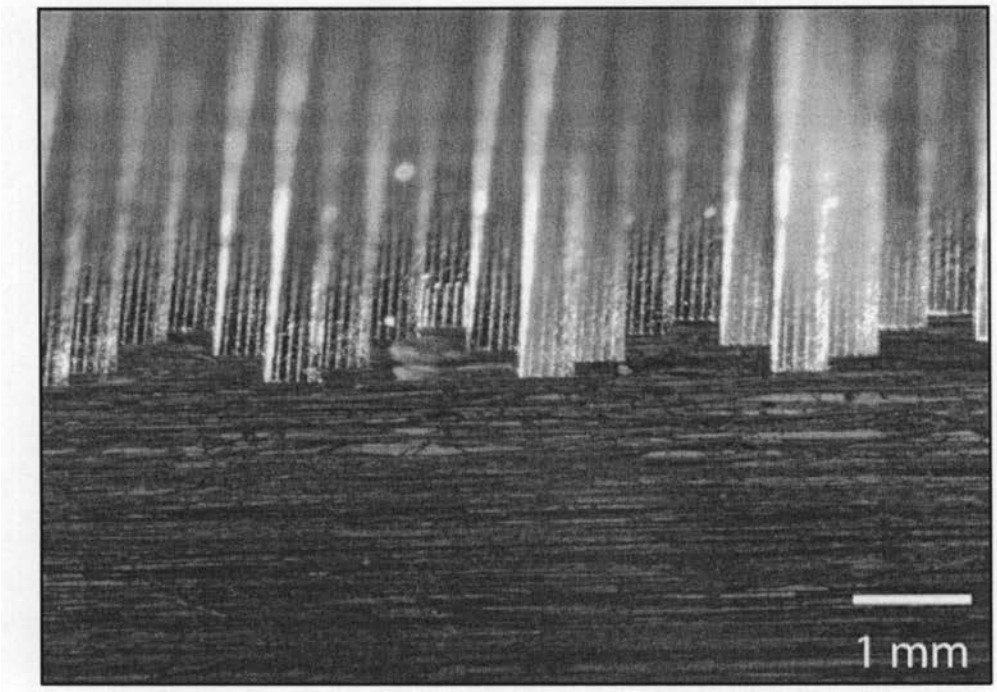


FIG.40B

【図４１】

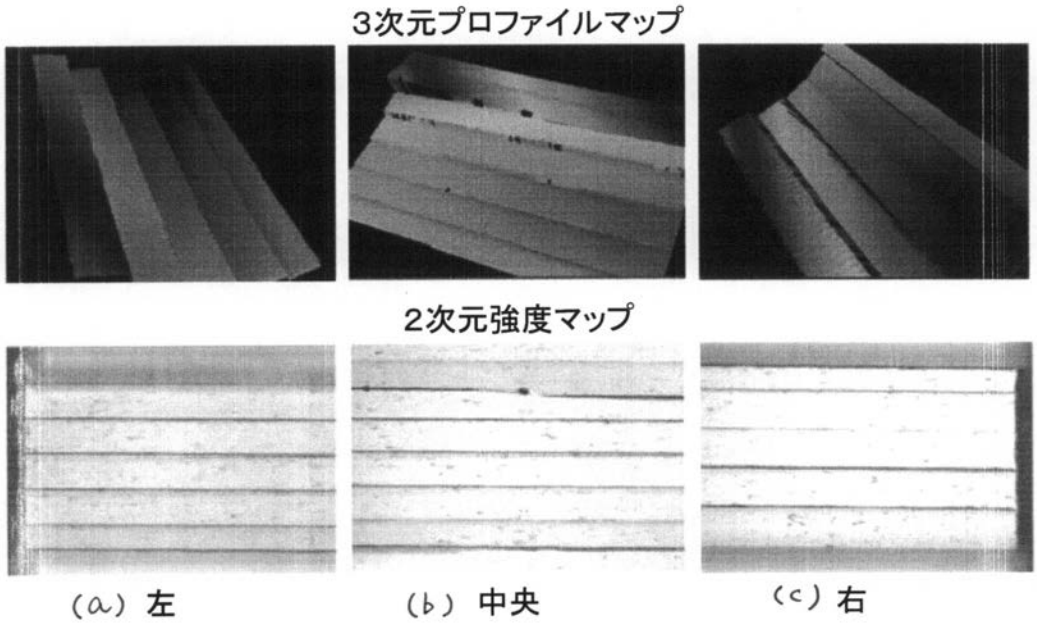


FIG.41

【図４２】

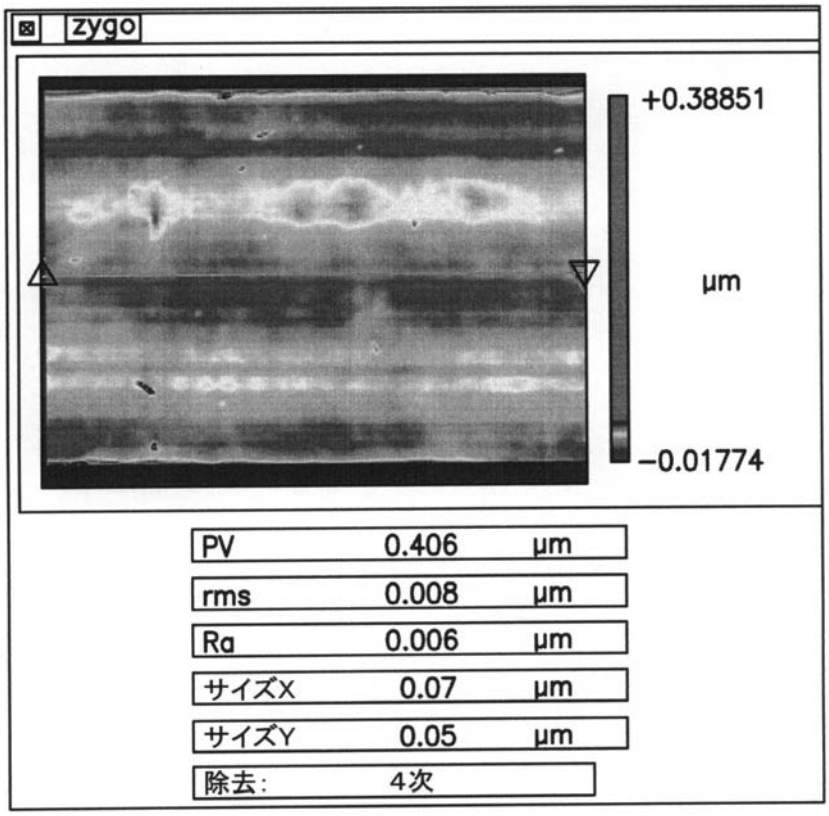


FIG.42

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2009/063259

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(8) - G01J 3/28 (2010.01)
USPC - 359/237
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC(8) -G01J 3/28; G02B 26/00; G02F 1/00 (2010.01)
USPC - 359/237; 356/326, 328

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
USPTO EAST System (US, USPG-PUB, EPO, DERWENT), MicroPatent

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4,678,332 A (ROCK et al) 07 July 1987 (07.07.1987) entire document	1-3, 5, 6, 12, 14-17, 21, 26, 29, 31-35, 40
---		---
Y		18-20, 25, 36, 37, 44, 52
X	US 2008/0043314 A1 (HAGLER) 21 February 2008 (21.02.2008) entire document	1, 2, 4, 6, 8-11, 13, 30-32, 38, 43, 46, 50
---		---
Y		18-20, 23, 24, 41, 42
X	US 2006/0033026 A1 (TREADO et al) 16 February 2006 (16.02.2006) entire document	1, 28, 31, 47, 51
X	US 2003/0232445 A1 (FULGHUM, JR) 18 December 2003 (18.12.2003) entire document	1, 31, 45, 48, 49
Y	US 2005/0270528 A1 (GESHWIND et al) 08 December 2005 (08.12.2005) entire document	23, 24, 36, 37, 41, 42
Y	US 2003/0025917 A1 (SUHAMI) 06 February 2003 (06.02.2003) entire document	25, 44, 52

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09 April 2010	23 APR 2010
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201	Authorized officer: Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2009/063259

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-52

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2009/063259

Continued from Box III.

This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be examined, the appropriate additional examination fees must be paid.

Group I, claims 1-52, drawn to an image mapping spectrometer and method comprising a spectral separation unit; and a selective imager.
Group II, claims 53-57, drawn to a method of fabricating image field units, comprising providing a substrate; providing an optical component cross sectional profile; providing a surface shaped diamond tool specific to the optical component cross sectional profile; and utilizing the surface shaped diamond tool to create the optical component cross sectional profile in the substrate to form a mapping element.

The inventions listed as Groups I-II do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons: the special technical feature of the Group I invention:a spectral separation unit; and a selective imager as claimed therein is not present in the invention of Group II. The special technical feature of the Group II invention: providing a surface shaped diamond tool specific to the optical component cross sectional profile; and utilizing the surface shaped diamond tool to create the optical component cross sectional profile in the substrate as claimed therein is not present in the invention of Groups I.

Groups I and II lack unity of invention because even though the inventions of these groups require the technical feature an image mapping spectrometer having an image mapping field unit, this technical feature is not a special technical feature as it does not make a contribution over the prior art in view of US 4,678,332 A (ROCK et al) 07 July 1987 (07.07.1987) column 4, lines 61-65; column 5, lines 35-66; figures 5a, 5b.

Since none of the special technical features of the Group I or II inventions are found in more than one of the inventions, unity of invention is lacking.

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PE,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ケスター，ロバート・ティ
アメリカ合衆国、７７５８４　テキサス州、ペアランド、ビッグ・スプリング・ドライブ、５０１０
(72)発明者 ガオ，リャン
アメリカ合衆国、７７０８１　テキサス州、ヒューストン、ガルフトン・ストリート、５８０５、アパートメント・２９３２

Ｆターム(参考) 2G020 AA03 AA04 AA05 CA01 CA02 CA05 CB26 CC02 CC13 CC63
CD06 CD24
2H052 AA09 AC04 AC05 AF02 AF14 AF25
4C161 CC06 FF40 FF47 HH54

专利名称(译)	<无法获取翻译>		
公开(公告)号	JP2012508366A5	公开(公告)日	2012-10-18
申请号	JP2011534898	申请日	2009-11-04
[标]申请(专利权)人(译)	莱斯大学		
申请(专利权)人(译)	威廉·马什莱斯大学		
[标]发明人	テカチクトマシュエス ケスターロバートティ ガオリャン		
发明人	テカチク,トマシュ·エス ケスター,ロバート·ティ ガオ,リャン		
IPC分类号	G01J3/36 G01J3/14 A61B1/00 A61B3/14 G02B21/36		
CPC分类号	G01J3/2823 G01J3/02 G01J3/0205 G01J3/0208 G01J3/021 G01J3/0229 G01J3/36 G01J3/4406 G02B3/0087 G02B13/22 G02B27/0025 G02B27/1066 G02B27/143		
FI分类号	G01J3/36 G01J3/14 A61B1/00.300.D A61B3/14.A G02B21/36		
F-TERM分类号	2G020/AA03 2G020/AA04 2G020/AA05 2G020/CA01 2G020/CA02 2G020/CA05 2G020/CB26 2G020/CC02 2G020/CC13 2G020/CC63 2G020/CD06 2G020/CD24 2H052/AA09 2H052/AC04 2H052/AC05 2H052/AF02 2H052/AF14 2H052/AF25 4C161/CC06 4C161/FF40 4C161/FF47 4C161/HH54		
优先权	61/111182 2008-11-04 US		
其他公开文献	JP2012508366A		

摘要(译)

讨论了用于高光谱和多光谱成像的装置和方法。特别地，提出了图像映射光谱仪系统，使用方法和制造方法。通常，图像映射光谱仪包括图像映射场单元，光谱分离单元和选择成像器。图像映射光谱仪可用于光学样品的光谱成像。在一些实施例中，图像映射光谱仪的图像映射场单元可以用表面形状的金刚石工具制造。