

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-109933

(P2009-109933A)

(43) 公開日 平成21年5月21日(2009.5.21)

(51) Int.Cl.

G02B 21/00 (2006.01)
G02B 5/28 (2006.01)
G01N 21/64 (2006.01)

F 1

G02B 21/00
G02B 5/28
G01N 21/64

テーマコード (参考)

2 G04 3
2 H04 8
2 H05 2

E

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願2007-284758 (P2007-284758)

(22) 出願日

平成19年11月1日 (2007.11.1)

(71) 出願人

000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(74) 代理人

100072718

弁理士 古谷 史旺

(74) 代理人

100116001

弁理士 森 俊秀

(72) 発明者

相川 直志

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者

佐藤 正聰

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

最終頁に続く

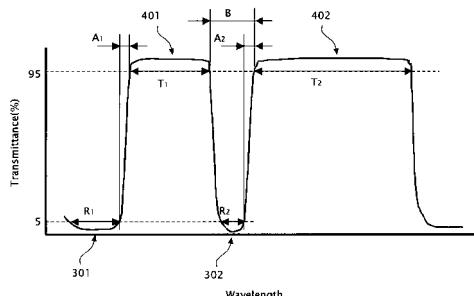
(54) 【発明の名称】レーザ励起蛍光顕微鏡

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】高機能ダイクロイックミラーを有する高効率な蛍光顕微鏡を提供する。

【解決手段】蛍光顕微鏡は、高機能ダイクロイックミラーを有し、その反射 / 透過率の波長特性カーブは、2種類の励起光のうち一方の励起光の波長帯域をカバーする第1の反射帯域と、一方の励起光に応じて発生する蛍光の波長帯域をカバーする第1の透過帯域と、2種類の励起光のうち他方の励起光の波長帯域をカバーする第2の反射帯域と、他方の励起光に応じて発生する蛍光の波長帯域をカバーする第2の透過帯域とを有し、第1の反射帯域及び第2の反射帯域の反射率は95%以上であり、第1の透過帯域及び第2の透過帯域の透過率は95%以上であり、第1の透過帯域の波長幅及び第2の透過帯域の波長幅は2.5 nm以上であり、第1の反射帯域から第1の透過帯域までの立ち上がり幅及び第2の反射帯域から第2の透過帯域までの立ち上がり幅は6 nm以下である。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長の異なる少なくとも 2 種類の励起光を射出するレーザ光源部と、
 前記レーザ光源部が出射した前記 2 種類の励起光を標本へ集光する集光部と、
 前記レーザ光源部と前記集光部との間に配置され、前記レーザ光源部が出射した前記 2 種類の励起光を反射して前記集光部へ入射させると共に、それら 2 種類の励起光に応じて前記標本で発生した 2 種類の蛍光を透過させる誘電体多層膜からなる高機能ダイクロイックミラーと、
 前記高機能ダイクロイックミラーを透過した光を検出する検出部と、
 を備えたレーザ励起蛍光顕微鏡において、
 前記高機能ダイクロイックミラーの反射 / 透過率の波長特性カーブは、
 前記 2 種類の励起光のうち一方の励起光の波長帯域をカバーする第 1 の反射帯域と、
 前記一方の励起光に応じて発生する蛍光の波長帯域をカバーする第 1 の透過帯域と、
 前記 2 種類の励起光のうち他方の励起光の波長帯域をカバーする第 2 の反射帯域と、
 前記他方の励起光に応じて発生する蛍光の波長帯域をカバーする第 2 の透過帯域とを有し、

前記第 1 の反射帯域及び前記第 2 の反射帯域の各々の反射率は 95 % 以上であり、
 前記第 1 の透過帯域及び前記第 2 の透過帯域の各々の透過率は 95 % 以上であり、
 前記第 1 の透過帯域の波長幅 T_1 及び前記第 2 の透過帯域の波長幅 T_2 の各々は 25 nm 以上であり、

前記第 1 の反射帯域から前記第 1 の透過帯域までの立ち上がり幅 A_1 及び前記第 2 の反射帯域から前記第 2 の透過帯域までの立ち上がり幅 A_2 の各々は 6 nm 以下である
 ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のレーザ励起蛍光顕微鏡において、
 前記第 1 の透過帯域及び前記第 2 の透過帯域の各々の透過率は、
 波長幅の 90 % 以上に亘り 98 % 以上の値を示す
 ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載のレーザ励起蛍光顕微鏡において、
 前記第 1 の透過帯域と前記第 2 の透過帯域との間隙 B は、
 20 nm 以下である
 ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか一項に記載のレーザ励起蛍光顕微鏡において、
 前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度 θ は、
 $0^\circ < \theta < 45^\circ$ の式を満たす
 ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか一項に記載のレーザ励起蛍光顕微鏡において、
 前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度 θ は、
 $10^\circ < \theta < 25^\circ$ の式を満たす
 ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか一項に記載のレーザ励起蛍光顕微鏡において、
 前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度 θ は、
 $10^\circ < \theta < 15^\circ$ の式を満たす
 ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか一項に記載のレーザ励起蛍光顕微鏡において、

10

20

30

40

50

前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度は、
12°である
ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【請求項 8】

請求項1～請求項7の何れか一項に記載のレーザ励起蛍光顕微鏡において、
前記検出部は、
前記高機能ダイクロイックミラーを透過した光のスペクトルを検出する
ことを特徴とするレーザ励起蛍光顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数種類の励起光と複数種類の蛍光とを分離する高機能ダイクロイックミラーを備えたレーザ励起蛍光顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

複数種類の蛍光色素で多重染色された標本を共焦点レーザ走査型蛍光顕微鏡で観察する場合、波長の異なる複数種類のレーザ光が励起光として使用されると共に、それらの励起光と、それら励起光に応じて生じる複数種類の蛍光とを分離するダイクロイックミラーが使用される。このダイクロイックミラーの波長特性には、分離波長（反射帯域から透過帯域への立ち上がり箇所）が複数化されているという特徴がある。本明細書では、このように分離波長の複数化されたダイクロイックミラーを「高機能ダイクロイックミラー」という。

20

【0003】

この高機能ダイクロイックミラーには、通常、ガラス基板上に誘電体多層膜を形成したものが使用される。図20において実線で示すのは、非特許文献1で紹介された高機能ダイクロイックミラーの透過率の波長特性カーブである。

【非特許文献1】オリンパスカタログ、共焦点レーザ走査型顕微鏡 F V 1 0 0 0 F L U O V I E W U I S 2

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、この波長特性カーブでは複数種類の励起光と複数種類の蛍光とを完全には分離できないので、例えば、標本で発生した蛍光の一部が無駄になり、蛍光画像の検出感度が低下する虞がある。

【0005】

そこで本発明は、高機能ダイクロイックミラーを使用しつつも高効率なレーザ励起蛍光顕微鏡を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明のレーザ励起蛍光顕微鏡は、波長の異なる少なくとも2種類の励起光を射出するレーザ光源部と、前記レーザ光源部が出射した前記2種類の励起光を標本へ集光する集光部と、前記レーザ光源部と前記集光部との間に配置され、前記レーザ光源部が出射した前記2種類の励起光を反射して前記集光部へ入射させると共に、それら2種類の励起光に応じて前記標本で発生した2種類の蛍光を透過させる誘電体多層膜からなる高機能ダイクロイックミラーと、前記高機能ダイクロイックミラーを透過した光を検出する検出部と、を備えたレーザ励起蛍光顕微鏡において、前記高機能ダイクロイックミラーの反射/透過率の波長特性カーブは、前記2種類の励起光のうち一方の励起光の波長帯域をカバーする第1の反射帯域と、前記一方の励起光に応じて発生する蛍光の波長帯域をカバーする第1の透過帯域と、前記2種類の励起光のうち他方の励起光の波長帯域をカバーする第2の反射

40

50

帯域と、前記他方の励起光に応じて発生する蛍光の波長帯域をカバーする第2の透過帯域とを有し、前記第1の反射帯域及び前記第2の反射帯域の各々の反射率は95%以上であり、前記第1の透過帯域及び前記第2の透過帯域の各々の透過率は95%以上であり、前記第1の透過帯域の波長幅 T_1 及び前記第2の透過帯域の波長幅 T_2 の各々は25nm以上であり、前記第1の反射帯域から前記第1の透過帯域までの立ち上がり幅 A_1 及び前記第2の反射帯域から前記第2の透過帯域までの立ち上がり幅 A_2 の各々は6nm以下であることを特徴とする。

【0007】

なお、前記第1の透過帯域及び前記第2の透過帯域の各々の透過率は、波長幅の90%以上に亘り98%以上の値を示すことが望ましい。

10

【0008】

また、前記第1の透過帯域と前記第2の透過帯域との間隙Bは、20nm以下であることが望ましい。

【0009】

また、前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度は、 $0^\circ < \theta < 45^\circ$ の式を満たすことが望ましい。

【0010】

さらに、前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度は、 $10^\circ < \theta < 25^\circ$ の式を満たすことが望ましい。

20

【0011】

さらに、前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度は、 $10^\circ < \theta < 15^\circ$ の式を満たすことが望ましい。

【0012】

さらに、前記高機能ダイクロイックミラーに対する前記励起光及び前記蛍光の入射角度は、 12° であることが望ましい。

【0013】

また、前記検出部は、前記高機能ダイクロイックミラーを透過した光のスペクトルを検出してもよい。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、高機能ダイクロイックミラーを使用しつつも高効率なレーザ励起蛍光顕微鏡が実現する。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明の実施形態を説明する。本実施形態は、共焦点レーザ走査型蛍光顕微鏡システムの実施形態である。

【0016】

先ず、顕微鏡システムの構成を説明する。図1は、顕微鏡システムの構成図である。図1に示すとおり顕微鏡システムには、レーザユニット10と、共焦点ユニット100と、顕微鏡本体110と、検出ユニット50と、不図示の制御ユニットとが備えられる。このうちレーザユニット10と共に焦点ユニット100との間は光ファイバ18によって光学的に結合され、共焦点ユニット100と検出ユニット50との間は光ファイバ38によって光学的に結合される。

40

【0017】

顕微鏡本体110には、複数種類の蛍光色素によって多重染色された標本Sがセットされている。ここでは簡単のため、染色に使用された蛍光色素の種類数を2とし、励起波長が405nmである第1蛍光色素と、励起波長が488nmである第2蛍光色素とを想定する。因みに、第1蛍光色素の蛍光波長は、その励起波長の長波長側（およそ430nm～470nmの範囲）であり、第2蛍光色素の蛍光波長は、その励起波長の長波長側（およそ510nm～610nmの範囲）である。

50

【0018】

レーザユニット10には、第1蛍光色素の励起波長(405nm)と同じ波長のレーザ光を発光するレーザ光源11と、第2蛍光色素の励起波長(488nm)と同じ波長のレーザ光を発光するレーザ光源12と、全反射ミラー15と、コンバイナミラー(ダイクロイックミラー)16と、AOTF(音響光学フィルタ)14と、ファイバカプラ17とが備えられる。因みに、レーザ光源11から射出するレーザ光の波長は、個体差があるために、波長400nm~415nmのばらつきの幅を持ち、レーザ光源12から射出するレーザ光の波長も同様に、波長486nm~490nmのばらつきの幅を持つ。

【0019】

共焦点ユニット100には、コリメートレンズ21と、全反射ミラー22Aと、高機能ダイクロイックミラー22と、光スキャナ(ガルバノスキャナなど)23と、瞳投影レンズ24と、集光レンズ27と、ピンホール部材28と、リレーレンズ34とが備えられる。このうち高機能ダイクロイックミラー22は、ガラス基板上に分離膜として誘電体多層膜を形成したものである。

10

【0020】

顕微鏡本体110には、集光レンズ25と、対物レンズ26と、標本Sを支持する不図示のステージとが備えられる。対物レンズ26の焦点が標本Sに合った状態では、標本Sと、光ファイバ18の出射端と、ピンホール部材28と、光ファイバ38の入射端とは光学的に共役となる。

20

【0021】

検出ユニット50には、コリメートレンズ51と、ダイクロイックミラー52と、エミッショングループ53、56と、集光レンズ54、55と、光電子増倍管(PMT)57、58とが備えられる。

【0022】

以上の顕微鏡システムにおいて、レーザユニット10、共焦点ユニット100、顕微鏡本体110、検出ユニット50は、不図示の制御ユニットに接続される。その制御ユニットには、各部を制御する制御回路や、画像処理を実行する演算回路などが搭載される。また、その制御ユニットは、コンピュータを介して入力器や表示器に接続される。

【0023】

次に、顕微鏡システムの動作を説明する。

30

【0024】

レーザユニット10において、レーザ光源12から射出したレーザ光は、コンバイナミラー16を透過し、AOTF14、ファイバカプラ17を介して光ファイバ18へ入射し、共焦点ユニット100へ向かう。また、レーザ光源11から射出したレーザ光は、全反射ミラー15で反射した後、コンバイナミラー16で反射し、レーザ光源12から射出したレーザ光と共に光路へ導かれる。なお、このレーザユニット10から共焦点ユニット100に向かうレーザ光の波長選択や光量調整は、AOTF14によって行われる。

【0025】

共焦点ユニット100において、光ファイバ18の出射端から射出したレーザ光は、コリメートレンズ21により平行光束に変換され、全反射ミラー22Aへ入射する。全反射ミラー22Aへ入射したレーザ光は、全反射ミラー22Aで反射し、高機能ダイクロイックミラー22へ入射する。

40

【0026】

高機能ダイクロイックミラー22の分離波長は、第1蛍光色素の励起波長(405nm)の長波長側と、第2蛍光色素の励起波長(488nm)の長波長側とに設定されている(詳細は後述)。よって、レーザ光源11から射出したレーザ光に含まれる励起光(波長405nm)と、レーザ光源12から射出したレーザ光に含まれる励起光(波長488nm)とは、高機能ダイクロイックミラー22で反射する。

【0027】

高機能ダイクロイックミラー22で反射した励起光は、光スキャナ23へ入射する。光

50

スキャナ23へ入射した励起光は、光スキャナ23の2つの可動ミラーで順に反射してから光スキャナ23を射出する。光スキャナ23を射出した励起光は、瞳投影レンズ24を介して顕微鏡本体110へ向かう。

【0028】

顕微鏡本体110へ入射した励起光は、集光レンズ25を介して対物レンズ26へ入射する。対物レンズ26へ入射した励起光は、その対物レンズ26によって集光され、標本S上にレーザスポットを形成する。この状態で光スキャナ23が駆動されると、レーザスポットが標本S上を二次元走査する。

【0029】

標本Sのレーザスポット上では、蛍光が発生する。その蛍光は、レーザスポットを形成した励起光の光路を逆方向に進行しながら対物レンズ26、集光レンズ25、瞳投影レンズ24、光スキャナ23を介して高機能ダイクロイックミラー22へ入射する。その蛍光の高機能ダイクロイックミラー22に対する入射角度は、全反射ミラー22Aで反射したレーザ光の高機能ダイクロイックミラー22に対する入射角度と同じである。

【0030】

高機能ダイクロイックミラー22の分離波長は、前述したとおり、第1蛍光色素の励起波長(405nm)の長波長側と、第2蛍光色素の励起波長(488nm)の長波長側とに設定されている(詳細は後述)。よって、高機能ダイクロイックミラー22へ入射した蛍光の多くは、高機能ダイクロイックミラー22を透過し、集光レンズ27へ向かう。

【0031】

集光レンズ27へ入射した蛍光は、ピンホール部材28のピンホールに向けて集光する。ピンホールに向かって集光した蛍光のうち、ピンホールから外れた領域に入射した余分な光線は、ピンホール部材28においてカットされ、ピンホールに入射した必要な光線は、ピンホール部材28を通過してリレーレンズ34へ向かう。リレーレンズ34へ入射した蛍光は、光ファイバ38へ入射し、検出ユニット50へ向かう。

【0032】

検出ユニット50において、光ファイバ38の出射端から射出した蛍光は、コリメートレンズ51により平行光束に変換され、ダイクロイックミラー52へ入射する。そのダイクロイックミラー52の分離波長は、第1蛍光色素の蛍光波長(430nm~470nm)と第2蛍光色素の蛍光波長(510nm~610nm)との間の波長に設定されている。よって、検出ユニット50に入射した蛍光のうち、第1蛍光色素で発生した蛍光(第1蛍光)はダイクロイックミラー52で反射し、第2蛍光色素で発生した蛍光(第2蛍光)はダイクロイックミラー52を透過する。

【0033】

ダイクロイックミラー52で反射した第1蛍光は、エミッショングルタ53、集光レンズ54を介して光電子増倍管57へ入射し、ダイクロイックミラー52を透過した第2蛍光は、エミッショングルタ56、集光レンズ55を介して光電子増倍管58へ入射する。ここでエミッショングルタ53、56の各々は、誘電体多層膜からなる干渉フィルタであり、蛍光波長のみを選択的に透過して他の波長を遮光するフィルタである。そのため、エミッショングルタ53の透過波長帯域は430nm~470nmに、エミッショングルタ56の透過波長帯域は510nm~610nmに設定されている。これらのフィルタは、第1蛍光色素の励起波長(405nm)と第2蛍光色素の励起波長(488nm)とを遮光する。したがって、標本Sのレーザスポット上で反射したレーザ光が、蛍光に混入して同じ経路を通ったとしても、光電子増倍管57、58に不要なレーザ光として入射するのを防止する。光電子増倍管57、58の各々は、不図示の制御ユニットによって光スキャナ23と共に制御され、入射光量を示す電気信号を生成する。よって、前述した二次元走査の期間中に光電子増倍管57が繰り返し生成する電気信号は、標本Sで生じた第1蛍光による蛍光画像を示し、前述した二次元走査の期間中に光電子増倍管58が繰り返し生成する電気信号は、標本Sで生じた第2蛍光による蛍光画像を示す。これらの蛍光画像は、制御ユニットを介してコンピュータへ取り込まれ、表示器へ表示されたり、

10

20

30

40

50

コンピュータの記憶部（ハードディスクドライブなど）に保存されたりする。

【0034】

なお、以上の顕微鏡システムでは、検出ユニット50の代わりに、図2に示すスペクトル検出ユニット600を使用することもできる。図2に示すとおり、スペクトル検出ユニット600には、コリメートレンズ61と、反射型の回折格子62と、集光ミラー63と、マルチチャンネル式の光電子増倍管64とが備えられる。光電子増倍管64の受光チャネルの数は、例えば32である。

【0035】

このスペクトル検出ユニット600において、光ファイバ38の出射端から射出した蛍光は、コリメートレンズ61により平行光束に変換され、回折格子62へ入射する。回折格子62に入射した蛍光は、波長毎に少しずつずれた方向へ反射する。それらの各波長の蛍光は、集光ミラー63へ入射し、集光ミラー63で反射する。集光ミラー63で反射した各波長の蛍光は、光電子増倍管64の互いに異なる受光チャネルに集光し、それぞれ電気信号に変換される。なお、標本Sのレーザスポット上で反射したレーザ光も、蛍光に混入して同じ経路を通るが、蛍光と波長が異なるので、その大部分は光電子増倍管64の受光チャネルの外側に集光するので、電気信号に変換されることはない。前述した二次元走査の期間中に光電子増倍管64が繰り返し生成する各チャネルの電気信号は、標本Sの蛍光スペクトル画像を示す。この蛍光スペクトル画像は、制御ユニットを介してコンピュータへ取り込まれ、表示器へ表示されたり、コンピュータの記憶部（ハードディスクドライブなど）に保存されたりする。

10

20

30

【0036】

なお、蛍光スペクトル画像を取り込んだコンピュータは、試薬メーカーが公開している第1蛍光色素の発光スペクトルデータと、試薬メーカーが公開している第2蛍光色素の発光スペクトルデータに基づき、蛍光スペクトル画像から、第1蛍光による蛍光画像と第2蛍光による蛍光画像とを分離（アンミックス）することもできる。

【0037】

次に、高機能ダイクロイックミラー22を説明する。

【0038】

図1に示すとおり、高機能ダイクロイックミラー22の姿勢は、高機能ダイクロイックミラー22に対するレーザ光及び蛍光の入射角度が45°より小さくなるよう設定される。高機能ダイクロイックミラー22の前段に配置された全反射ミラー22Aは、高機能ダイクロイックミラー22の入射光路を折り畳むために配置された光路折り曲げミラーである。

30

【0039】

このように入射角度を45°より小さくすると、高機能ダイクロイックミラー22の反射／透過率の波長特性が、入射光の偏光方位に依存しにくくなる。その結果、所望の波長特性を得るために必要な誘電体多層膜の総膜厚を抑え易くなる。実際、入射角度を45°より小さくすると、高機能ダイクロイックミラー22の誘電体多層膜の総膜厚は、19.3193μm未満に抑えられる。

40

【0040】

そして、誘電体多層膜が薄化することにより、膜応力が弱くなり、高機能ダイクロイックミラー22の平面度が維持されるので、レーザスポットの形状も良好に保たれ、その結果、蛍光画像の空間分解能は高く維持される。また、誘電体多層膜が薄化し層数が減るため、高機能ダイクロイックミラー22の製造コストも抑えられる。

【0041】

因みに、入射角度が小さいほど、誘電体多層膜は薄化し易くなる。例えば、入射角度を25°より小さくすれば、総膜厚は13.43647μm未満に抑えられ、入射角度を15°より小さくすれば、総膜厚は10.27728μm未満に抑えられる。また、入射角度を12°に設定すれば、総膜厚を9.42428μmにまで抑えることができる。

50

【0042】

但し、入射角度 θ は、小さ過ぎないことが望ましく、最小でも 10° は確保されることが望ましい。なぜなら、入射角度 θ が 10° 以下であると、必要な光線が跳られないよう高機能ダイクロイックミラー22からその周辺の光学素子(全反射ミラー22A又は光スキャナ23)までの距離を大きく確保しなければならなくなり、共焦点ユニット100が大型化するからである。

【0043】

よって、本実施形態では、入射角度 θ は $0^\circ < \theta < 45^\circ$ の範囲内、望ましくは $10^\circ < \theta < 25^\circ$ の範囲内、さらに望ましくは $10^\circ < \theta < 15^\circ$ の範囲内(例えば 12° 程度)に設定されるものとする。10

【0044】

また、本実施形態では、高機能ダイクロイックミラー22の波長特性を制御し易くなつたことを利用し、波長特性を以下のとおり制御する。

【0045】

次に、高機能ダイクロイックミラー22の波長特性が満たす条件を説明する。図3は、高機能ダイクロイックミラー22の透過率の波長特性カーブを説明する図である。

【0046】

図3に示すとおり、高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブには、短波長側から順に、第1の反射帯域301、第1の透過帯域401、第2の反射帯域302、第2の透過帯域402が並んでいる。20

【0047】

このうち第1の反射帯域301は、2種類の蛍光色素のうち、一方の蛍光色素の励起波長をカバーし、第2の反射帯域302は、他方の励起波長をカバーしている。

【0048】

また、第1の透過帯域401は、2種類の蛍光色素のうち、一方の蛍光色素の蛍光波長をカバーし、第2の透過帯域402は、他方の蛍光色素の蛍光波長をカバーしている。

【0049】

よって、第1の反射帯域301と第1の透過帯域401との境界波長が高機能ダイクロイックミラー22の一方の分離波長に相当し、第2の反射帯域302と第2の透過帯域402との境界波長が高機能ダイクロイックミラー22の他方の分離波長に相当する。30

【0050】

ここで、第1の反射帯域301の反射率、第2の反射帯域302の反射率、第1の透過帯域401の透過率、第2の透過帯域402の透過率は、それぞれ95%以上であり、第1の透過帯域401の波長幅 T_1 、第2の透過帯域402の波長幅 T_2 は、それぞれ25nm以上である。

【0051】

したがって、この高機能ダイクロイックミラー22によると、2種類の蛍光色素の各々の励起光を顕微鏡本体110へ効率よく導入することができ、かつ、標本Sで発生した2種類の蛍光の各々を検出ユニット50(又はスペクトル検出ユニット600)へ効率よく導入することができる。したがって、本実施形態の顕微鏡システムは、2種類の蛍光画像の各々を高感度に検出することができる。40

【0052】

なお、検出感度を更に高めるためには、第1の反射帯域301の反射率は、その波長幅 R_1 の90%以上に亘り98%以上の値を示し、第2の反射帯域302の反射率は、その波長幅 R_2 の90%以上に亘り98%以上の値を示し、第1の透過帯域401の透過率は、その波長幅 T_1 の90%以上に亘り98%以上の値を示し、第2の透過帯域402の透過率は、その波長幅 T_2 の90%以上に亘り98%以上の値を示すことが望ましい。

【0053】

また、第1の反射帯域301から第1の透過帯域401までの立ち上がり幅 A_1 は6nm以下、第2の反射帯域302から第2の透過帯域402までの立ち上がり幅 A_2 は6nm50

m以下である。つまり、第1反射帯域301から第1の透過帯域401までの立ち上がり、第2反射帯域302から第2の透過帯域402までの立ち上がりは、それぞれ急峻である。

【0054】

したがって、仮に、2種類の蛍光色素の一方又は双方のストークスシフトが短かったとしても、2種類の蛍光画像の検出感度が低下することは無い。

【0055】

また、第1の透過帯域401と第2の透過帯域402との間隙Bは、20nm以下に抑えられる。また、前述したとおり第1の透過帯域401、第2の透過帯域402の各々の透過率は95%以上と高いので、第1の透過帯域401、第2の透過帯域402の各々にリップルは生じていないとみなせる。10

【0056】

したがって、スペクトル検出ユニット600(図2)が検出する蛍光スペクトル画像には、標本Sで生じた蛍光のスペクトルが殆ど欠け無く反映される。その結果、前述したアンミックスは高精度に行われる。

【0057】

また、第1の反射帯域301、第2の反射帯域302の各々の反射率は95%以上と高いので、検出ユニット50(又はスペクトル検出ユニット600)へ不要なレーザ光が入射する可能性は低い。20

【0058】

したがって、検出ユニット50(又はスペクトル検出ユニット600)は、高いSN比で蛍光画像(又は蛍光スペクトル画像)を検出することができる。特に、スペクトル検出ユニット600の内部では、マルチチャンネル式の光電子増倍管64に不要なレーザ光が入射するのを防止する措置として、最も効果的な措置である、誘電体多層膜からなる干渉フィルタを使用することが出来ず、高いSN比で蛍光スペクトル画像を検出することが困難なので、効果が高い。20

【0059】

次に、高機能ダイクロイックミラー22の実施例を説明する。

【0060】

図4、図5は、入射角度 = 12°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の構成を示す図である。その構成は、石英ガラス基板上にNb₂O₅の誘電体膜とSiO₂の誘電体膜とが交互に形成されたものである。なお、図5は、図4の続きである。これらの図4、図5に示すとおり、入射角度 = 12°の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は、9.42428μmに抑えられる。30

【0061】

図6、図7は、入射角度 = 12°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブである。図6では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性とを別々に描いており、図7では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性との平均を描いてある。図6に示すとおり、 = 12°の条件下では、p偏光成分に対する特性とs偏光成分に対する特性とのばらつきが小さいので、図7に示すとおり、波長特性カーブの形状は良好になる。なお、ここで言う「良好な形状」とは、反射帯域の反射率が高く、透過帯域の透過率が高く、反射帯域から透過帯域への立ち上がりが急峻であり、透過帯域同士の間隙が狭く、リップルの少ない形状のことを指す。40

【0062】

図8、図9は、入射角度 = 15°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の構成を示す図である。その構成は、石英ガラス基板上にNb₂O₅の誘電体膜とSiO₂の誘電体膜とが交互に形成されたものである。なお、図9は、図8の続きである。これらの図8、図9に示すとおり、入射角度 = 15°の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は、10.27728μmに抑えられる。50

【0063】

図10、図11は、入射角度 = 15°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブである。図10では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性とを別々に描いており、図11では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性との平均を描いてある。図10に示すとおり、= 15°の条件下では、p偏光成分に対する特性とs偏光成分に対する特性とのばらつきが小さいので、= 12°のときほどではないものの、図11に示すとおり波長特性カーブの形状は良好となる。

【0064】

図12、図13は、入射角度 = 25°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の構成を示す図である。その構成は、石英ガラス基板上にNb₂O₅の誘電体膜とSiO₂の誘電体膜とが交互に形成されたものである。なお、図13は、図12の続きである。これらの図12、図13に示すとおり、入射角度 = 25°の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は、13.43647 μmに抑えられる。

10

【0065】

図14、図15は、入射角度 = 25°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブである。図14では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性とを別々に描いており、図15では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性との平均を描いてある。図14に示すとおり、= 25°の条件下では、p偏光成分に対する特性とs偏光成分に対する特性とのばらつきが小さいので、= 15°のときほどではないものの、図15に示すとおり波長特性カーブの形状は良好となる。

20

【0066】

図16、図17は、入射角度 = 45°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの構成を示す図（比較例）である。その構成は、石英ガラス基板上にNb₂O₅の誘電体膜とSiO₂の誘電体膜とが交互に形成されたものである。なお、図17は、図16の続きである。これらの図16、図17に示すとおり、入射角度 = 45°の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は大きく、19.3193 μmである。

30

【0067】

図18、図19は、入射角度 = 45°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの波長特性カーブ（比較例）である。図18では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性とを別々に描いており、図19では、s偏光成分に対する特性とp偏光成分に対する特性との平均を描いてある。図18に示すとおり、= 45°の条件下では、p偏光成分に対する特性とs偏光成分に対する特性とのばらつきが大きいので、図19に示すとおり、波長特性カーブの形状は不良となる。

【0068】

以上の図4～図19によると、入射角度が小さいほど誘電体多層膜が薄化され、しかも波長特性カーブの形状が良好になることが判明した。したがって、高機能ダイクロイックミラー22に対する入射角度を45°より小さくするだけで、高機能ダイクロイックミラー22の歪み防止と、高機能ダイクロイックミラー22の高性能化との双方が同時に達成されることとは、明らかである。

30

【0069】

（その他）

なお、本実施形態の顕微鏡システムでは、標本Sを染色する複数種類の蛍光色素（ここでは2種類）の組み合わせが変更される可能性を想定し、図1に示したレーザユニット10、高機能ダイクロイックミラー22、ダイクロイックミラー52の各々は、交換可能であることが望ましい。その場合、例えば、共焦点ユニット100には、分離波長の組み合わせの互いに異なる複数種類の高機能ダイクロイックミラーが装着されたターレット（ホイール状の交換装置）が搭載される。

40

【0070】

因みに、交換装置は、ダイクロイックミラーの枚数分だけホイールの径が大きくなり、大型化してしまうのが常であるが、本実施形態の顕微鏡システムのようにダイクロイックミラーに対する入射角度が45°より小さい場合は、ダイクロイックミラーの面積を小

50

さくすることができるので、その分だけ交換装置も小型化される。

【0071】

また、本実施形態では、標本Sを染色した蛍光色素の種類数が2である場合を想定したが、3以上に拡張してもよい。その場合、レーザユニット10が射出可能なレーザ光の種類数は3以上に設定され、高機能ダイクロイックミラー22の分離波長の個数も3以上に設定され、検出ユニット50が検出可能な蛍光画像の数（又はコンピュータがアンミックス可能な蛍光画像の数）も3以上に設定される。このように蛍光色素の種類数が3以上であった場合にも、高機能ダイクロイックミラー22に対する入射角度θを45°より小さくするだけで、上述した実施形態と同様の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

10

【0072】

【図1】図1は、顕微鏡システムの構成図である。

【図2】図2は、スペクトル検出ユニット600の構成図である。

【図3】図3は、高機能ダイクロイックミラー22の透過率の波長特性カーブを説明する図である。

【図4】図4は、入射角度θ=12°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの構成を示す図である。

【図5】図5は、図4の続きである。

【図6】図6は、入射角度θ=12°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの波長特性カーブである（s偏光成分、p偏光成分）。

20

【図7】図7は、入射角度θ=12°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの波長特性カーブである（s偏光成分とp偏光成分との平均）。

【図8】図8は、入射角度θ=15°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの構成を示す図である。

【図9】図9は、図8の続きである。

【図10】図10は、入射角度θ=15°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブである（s偏光成分、p偏光成分）。

【図11】図11は、入射角度θ=15°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブである（s偏光成分とp偏光成分との平均）。

30

【図12】図12は、入射角度θ=25°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の構成を示す図である。

【図13】図13は、図12の続きである。

【図14】図14は、入射角度θ=25°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブである（s偏光成分、p偏光成分）。

【図15】図15は、入射角度θ=25°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の波長特性カーブである（s偏光成分とp偏光成分との平均）。

【図16】図16は、入射角度θ=45°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー22の構成を示す図（比較例）である。

【図17】図17は、図16の続きである。

【図18】図18は、入射角度θ=45°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの波長特性カーブ（比較例）である（s偏光成分、p偏光成分）。

40

【図19】図19は、入射角度θ=45°の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラーの波長特性カーブ（比較例）である（s偏光成分とp偏光成分との平均）。

【図20】図20は、非特許文献1で紹介された高機能ダイクロイックミラーの透過率の波長特性カーブである。

【符号の説明】

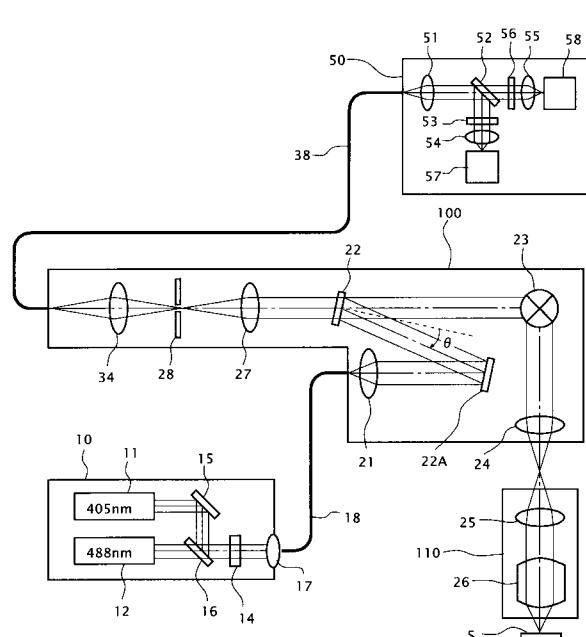
【0073】

10…レーザユニット，100…共焦点ユニット，110…顕微鏡，50…検出ユニット，18…光ファイバ，38…光ファイバ，11…レーザ光源，12…レーザ光源，15…全反射ミラー，16…コンバイナミラー（ダイクロイックミラー），14…AOTF（

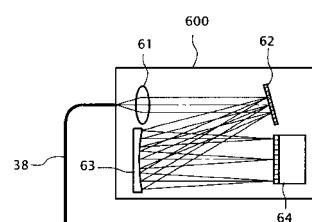
50

音響光学フィルタ) , 1 7 ... ファイバカプラ

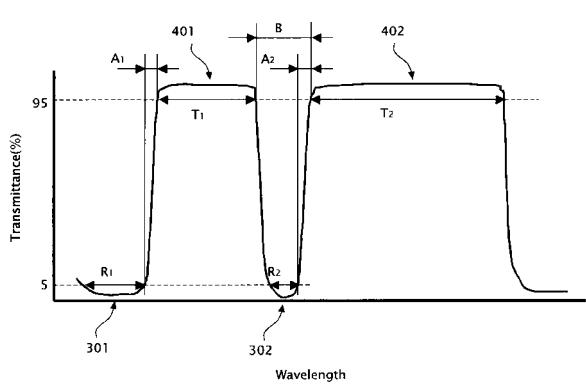
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

12度入射 総膜厚(μm) 9.42428

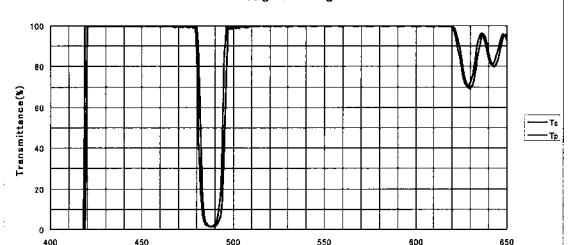
層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
石英	-		1 Nb205	13.81	51 Nb205	35.2	101 Nb205	38.35
6 SiO2	58.8	52 SiO2	57.34	102 SiO2	61.07			
3 Nb205	34.72	53 Nb205	36.14	103 Nb205	36.37			
4 SiO2	50.68	54 SiO2	60.35	104 SiO2	57.04			
5 Nb205	32.18	55 Nb205	38.03	105 Nb205	34.79			
6 SiO2	57.61	56 SiO2	60.11	106 SiO2	56.05			
7 Nb205	36.45	57 Nb205	35.3	107 Nb205	35.25			
8 SiO2	56.92	58 SiO2	55.25	108 SiO2	59.52			
9 Nb205	34.9	59 Nb205	34.81	109 Nb205	38.29			
10 SiO2	58.27	60 SiO2	58.41	110 SiO2	61.84			
11 Nb205	36.13	61 Nb205	36.93	111 Nb205	36.54			
12 SiO2	56.31	62 SiO2	60.18	112 SiO2	55.99			
13 Nb205	34.32	63 Nb205	37.4	113 Nb205	34.17			
14 SiO2	57.94	64 SiO2	59.81	114 SiO2	56.8			
15 Nb205	37.31	65 Nb205	35.69	115 Nb205	36.16			
16 SiO2	59.81	66 SiO2	55.33	116 SiO2	59.74			
17 Nb205	35.68	67 Nb205	34.28	117 Nb205	37.63			
18 SiO2	56.95	68 SiO2	58.2	118 SiO2	61.12			
19 Nb205	35.68	69 Nb205	37.66	119 Nb205	36.81			
20 SiO2	57.8	70 SiO2	61.29	120 SiO2	56.43			
21 Nb205	35.32	71 Nb205	37.12	121 Nb205	33.74			
22 SiO2	57.72	72 SiO2	58.42	122 SiO2	56.2			
23 Nb205	36.99	73 Nb205	35.42	123 Nb205	36.71			
24 SiO2	60.71	74 SiO2	56.17	124 SiO2	61.13			
25 Nb205	36.49	75 Nb205	34.56	125 Nb205	37.62			
26 SiO2	56.53	76 SiO2	57.66	126 SiO2	59.67			
27 Nb205	34.72	77 Nb205	37.53	127 Nb205	36.19			
28 SiO2	57.67	78 SiO2	62.12	128 SiO2	57.08			
29 Nb205	36.32	79 Nb205	37.59	129 Nb205	34.3			
30 SiO2	58.8	80 SiO2	57.76	130 SiO2	55.85			
31 Nb205	36.64	81 Nb205	34.54	131 Nb205	36.33			
32 SiO2	59.99	82 SiO2	56.03	132 SiO2	61.67			
33 Nb205	35.8	83 Nb205	35.33	133 Nb205	38.27			
34 SiO2	57.26	84 SiO2	58.39	134 SiO2	59.52			
35 Nb205	34.34	85 Nb205	37.17	135 Nb205	35.24			
36 SiO2	56.58	86 SiO2	61.47	136 SiO2	56.32			
37 Nb205	36.6	87 Nb205	37.77	137 Nb205	35.02			
38 SiO2	60.47	88 SiO2	58.32	138 SiO2	57.14			
39 Nb205	37.08	89 Nb205	34.2	139 Nb205	36.1			
40 SiO2	58.98	90 SiO2	55.02	140 SiO2	60.59			
41 Nb205	36.14	91 Nb205	35.52	141 Nb205	38.23			
42 SiO2	57.58	92 SiO2	59.85	142 SiO2	60.37			
43 Nb205	34.8	93 Nb205	37.6	143 Nb205	35.21			
44 SiO2	56.24	94 SiO2	60.62	144 SiO2	55.06			
45 Nb205	36.19	95 Nb205	37.06	145 Nb205	34.79			
46 SiO2	61.03	96 SiO2	58.35	146 SiO2	58.63			
47 Nb205	37.92	97 Nb205	34.64	147 Nb205	36.9			
48 SiO2	59.25	98 SiO2	54.88	148 SiO2	59.9			
49 Nb205	35.33	99 Nb205	35.11	149 Nb205	37.21			
50 SiO2	56.53	100 SiO2	60.19	150 SiO2	59.98			

【図5】

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
151 Nb205	-	35.87	201 Nb205	-	10.04			
152 SiO2	-	55.47	air	-				
153 Nb205	-	34.19						
154 SiO2	-	58.35						
155 Nb205	-	37.72						
156 SiO2	-	61.01						
157 Nb205	-	36.6						
158 SiO2	-	58.07						
159 Nb205	-	35.76						
160 SiO2	-	57.15						
161 Nb205	-	34.64						
162 SiO2	-	57.21						
163 Nb205	-	37.25						
164 SiO2	-	61.95						
165 Nb205	-	37.21						
166 SiO2	-	57.03						
167 Nb205	-	34.63						
168 SiO2	-	57.53						
169 Nb205	-	36						
170 SiO2	-	57.86						
171 Nb205	-	36.17						
172 SiO2	-	60.58						
173 Nb205	-	37.74						
174 SiO2	-	58.35						
175 Nb205	-	34.05						
176 SiO2	-	55.85						
177 Nb205	-	35.5						
178 SiO2	-	60.28						
179 Nb205	-	36.29						
180 SiO2	-	57.94						
181 Nb205	-	36.67						
182 SiO2	-	59.86						
183 Nb205	-	35.18						
184 SiO2	-	54.47						
185 Nb205	-	35.19						
186 SiO2	-	61.35						
187 Nb205	-	37.88						
188 SiO2	-	57.23						
189 Nb205	-	34.19						
190 SiO2	-	58.64						
191 Nb205	-	37.16						
192 SiO2	-	56.09						
193 Nb205	-	32.72						
194 SiO2	-	58.44						
195 Nb205	-	39.52						
196 SiO2	-	59.43						
197 Nb205	-	29.41						
198 SiO2	-	50.38						
199 Nb205	-	40.94						
200 SiO2	-	69.9						

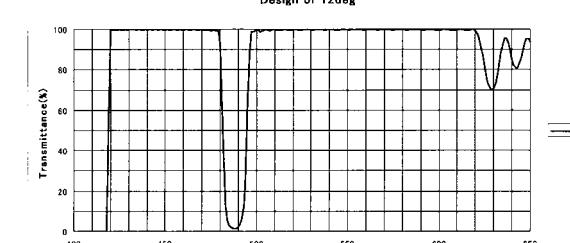
【図6】

Design of 12deg



【図7】

Design of 12deg



【図8】

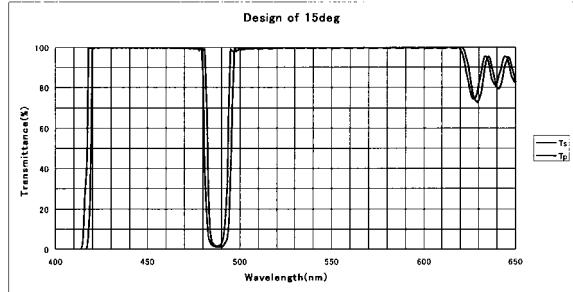
15度入射 総膜厚(μm) 10.27728

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
1 Nb205	石英	13.21	51 Nb205	35.33	101 Nb205	37.44		
2 SiO2	-	49.82	52 SiO2	55.12	102 SiO2	60.12		
3 Nb205	-	30.42	53 Nb205	34.36	103 Nb205	36.52		
4 SiO2	-	48.49	54 SiO2	58	104 SiO2	57.02		
5 Nb205	-	31.91	55 Nb205	37.17	105 Nb205	34.07		
6 SiO2	-	55.98	56 SiO2	60.19	106 SiO2	55		
7 Nb205	-	34.49	57 Nb205	36.59	107 Nb205	35.67		
8 SiO2	-	53.29	58 SiO2	57.82	108 SiO2	60.6		
9 Nb205	-	33.2	59 Nb205	35.11	109 Nb205	38.01		
10 SiO2	-	57.13	60 SiO2	55.86	110 SiO2	59.61		
11 Nb205	-	36.43	61 Nb205	34.8	111 Nb205	35.36		
12 SiO2	-	57.69	62 SiO2	58.34	112 SiO2	55.67		
13 Nb205	-	34.93	63 Nb205	37.57	113 Nb205	34.39		
14 SiO2	-	56.95	64 SiO2	61.02	114 SiO2	56.38		
15 Nb205	-	35.6	65 Nb205	36.56	115 Nb205	36.1		
16 SiO2	-	56.71	66 SiO2	56.51	116 SiO2	60.54		
17 Nb205	-	34.87	67 Nb205	34.4	117 Nb205	37.95		
18 SiO2	-	57.97	68 SiO2	56.34	118 SiO2	59.38		
19 Nb205	-	37.08	69 Nb205	35.69	119 Nb205	34.74		
20 SiO2	-	59.5	70 SiO2	59.04	120 SiO2	54.48		
21 Nb205	-	35.45	71 Nb205	37.36	121 Nb205	34.55		
22 SiO2	-	55.95	72 SiO2	60.53	122 SiO2	58.24		
23 Nb205	-	35.11	73 Nb205	36.41	123 Nb205	37.06		
24 SiO2	-	57.86	74 SiO2	56	124 SiO2	60.37		
25 Nb205	-	35.96	75 Nb205	33.86	125 Nb205	37.17		
26 SiO2	-	58.28	76 SiO2	56.28	126 SiO2	58.56		
27 Nb205	-	36.54	77 Nb205	36.5	127 Nb205	34.76		
28 SiO2	-	59.05	78 SiO2	60.41	128 SiO2	54.6		
29 Nb205	-	35.51	79 Nb205	37.3	129 Nb205	34.64		
30 SiO2	-	55.42	80 SiO2	59.11	130 SiO2	59.21		
31 Nb205	-	34.43	81 Nb205	35.66	131 Nb205	37.99		
32 SiO2	-	57.79	82 SiO2	55.91	132 SiO2	60.89		
33 Nb205	-	36.7	83 Nb205	34.1	133 Nb205	36.44		
34 SiO2	-	58.94	84 SiO2	56.53	134 SiO2	57		
35 Nb205	-	35.78	85 Nb205	36.83	135 Nb205	3		

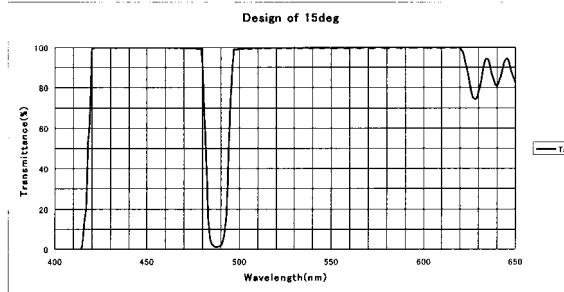
【図9】

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
151	Nb2O5	33.87	201	Nb2O5	36.59			
152	SiO2	56.75	202	SiO2	60.39			
153	Nb2O5	36.98	203	Nb2O5	35.87			
154	SiO2	60.91	204	SiO2	54.5			
155	Nb2O5	37.18	205	Nb2O5	34.52			
156	SiO2	58.54	206	SiO2	60.54			
157	Nb2O5	35.52	207	Nb2O5	38.11			
158	SiO2	56.29	208	SiO2	57.75			
159	Nb2O5	34.36	209	Nb2O5	34.17			
160	SiO2	56.67	210	SiO2	58.32			
161	Nb2O5	36.86	211	Nb2O5	37.5			
162	SiO2	61.42	212	SiO2	56.59			
163	Nb2O5	37.33	213	Nb2O5	32.32			
164	SiO2	57.31	214	SiO2	57.4			
165	Nb2O5	34.31	215	Nb2O5	39.67			
166	SiO2	56.01	216	SiO2	60.28			
167	Nb2O5	35.4	217	Nb2O5	29.42			
168	SiO2	57.96	218	SiO2	49.62			
169	Nb2O5	36.55	219	Nb2O5	41.07			
170	SiO2	60.31	220	SiO2	69.66			
171	Nb2O5	37.13	221	Nb2O5	10			
172	SiO2	57.37	air	-				
173	Nb2O5	33.86						
174	SiO2	55.32						
175	Nb2O5	36.07						
176	SiO2	60.07						
177	Nb2O5	36.91						
178	SiO2	58.67						
179	Nb2O5	36.12						
180	SiO2	57.76						
181	Nb2O5	34.68						
182	SiO2	55.46						
183	Nb2O5	35.86						
184	SiO2	61						
185	Nb2O5	37.81						
186	SiO2	58.38						
187	Nb2O5	34.87						
188	SiO2	56.98						
189	Nb2O5	35.84						
190	SiO2	57.34						
191	Nb2O5	35.52						
192	SiO2	59.64						
193	Nb2O5	37.98						
194	SiO2	59.68						
195	Nb2O5	34.64						
196	SiO2	55.18						
197	Nb2O5	35.89						
198	SiO2	59.89						
199	Nb2O5	36.34						
200	SiO2	57.68						

【図10】



【図11】



【図12】

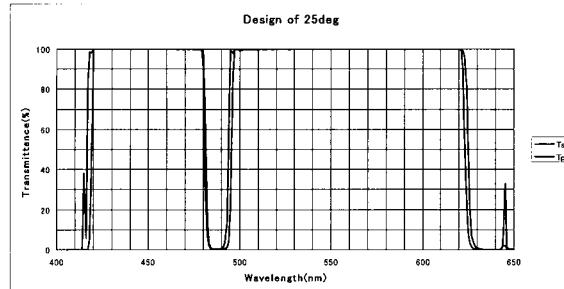
25度入射 総膜厚(μm) 13.43647

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
1	Nb2O5	-	51	Nb2O5	123.52	101	Nb2O5	62.62
2	SiO2	40.66	52	SiO2	71.75	102	SiO2	10
3	Nb2O5	32.73	53	Nb2O5	23.83	103	Nb2O5	58.46
4	SiO2	199.78	54	SiO2	10	104	SiO2	40.44
5	Nb2O5	45.04	55	Nb2O5	91.8	105	Nb2O5	118.21
6	SiO2	10.44	56	SiO2	61.79	106	SiO2	79.24
7	Nb2O5	164.57	57	Nb2O5	106.91	107	Nb2O5	122.82
8	SiO2	23.17	58	SiO2	169.78	108	SiO2	35.25
9	Nb2O5	48.51	59	Nb2O5	10	109	Nb2O5	91.06
10	SiO2	10	60	SiO2	36.19	110	SiO2	11.29
11	Nb2O5	57.7	61	Nb2O5	81.21	111	Nb2O5	10
12	SiO2	163.53	62	SiO2	12.43	112	SiO2	111.4
13	Nb2O5	52.93	63	Nb2O5	31.49	113	Nb2O5	116.6
14	SiO2	10	64	SiO2	103.36	114	SiO2	26.72
15	Nb2O5	46.14	65	Nb2O5	39.19	115	Nb2O5	36.92
16	SiO2	33.46	66	SiO2	10	116	SiO2	35.36
17	Nb2O5	106.72	67	Nb2O5	58.78	117	Nb2O5	29.64
18	SiO2	155.22	68	SiO2	48.36	118	SiO2	115.96
19	Nb2O5	114.89	69	Nb2O5	121.62	119	Nb2O5	10.55
20	SiO2	39.62	70	SiO2	84.82	120	SiO2	95.46
21	Nb2O5	132.29	71	Nb2O5	10	121	Nb2O5	11.16
22	SiO2	34.36	72	SiO2	10	122	SiO2	73.05
23	Nb2O5	117.88	73	Nb2O5	100.87	123	Nb2O5	57.77
24	SiO2	118.17	74	SiO2	191.53	124	SiO2	10
25	Nb2O5	28.94	75	Nb2O5	89.87	125	Nb2O5	64.51
26	SiO2	10	76	SiO2	11.74	126	SiO2	40.87
27	Nb2O5	64.78	77	Nb2O5	34.01	127	Nb2O5	52.04
28	SiO2	92.74	78	SiO2	64.26	128	SiO2	13.5
29	Nb2O5	10	79	Nb2O5	38.16	129	Nb2O5	47.14
30	SiO2	44.14	80	SiO2	10	130	SiO2	186.88
31	Nb2O5	192.75	81	Nb2O5	81.64	131	Nb2O5	56.68
32	SiO2	27.68	82	SiO2	24	132	SiO2	17.53
33	Nb2O5	35.4	83	Nb2O5	56.41	133	Nb2O5	10.26
34	SiO2	46.32	84	SiO2	10	134	SiO2	132.67
35	Nb2O5	121.95	85	Nb2O5	83.86	135	Nb2O5	108.96
36	SiO2	198.83	86	SiO2	30.26	136	SiO2	42.05
37	Nb2O5	16.77	87	Nb2O5	57.74	137	Nb2O5	37.53
38	SiO2	160.24	88	SiO2	11.96	138	SiO2	10
39	Nb2O5	91.63	89	Nb2O5	65.98	139	Nb2O5	48.07
40	SiO2	49.31	90	SiO2	10	140	SiO2	100.82
41	Nb2O5	11.11	91	Nb2O5	159.59	141	Nb2O5	10
42	SiO2	59.65	92	SiO2	23.18	142	SiO2	33.37
43	Nb2O5	69.91	93	Nb2O5	182.97	143	Nb2O5	81.48
44	SiO2	30.61	94	SiO2	10	144	SiO2	52.82
45	Nb2O5	25.18	95	Nb2O5	64.12	145	Nb2O5	10
46	SiO2	35.73	96	SiO2	14.03	146	SiO2	78.95
47	Nb2O5	70.48	97	Nb2O5	65.3	147	Nb2O5	51.4
48	SiO2	188.6	98	SiO2	10	148	SiO2	10
49	Nb2O5	50.27	99	Nb2O5	57.68	149	Nb2O5	67.46
50	SiO2	32.06	100	SiO2	46.89	150	SiO2	75.22

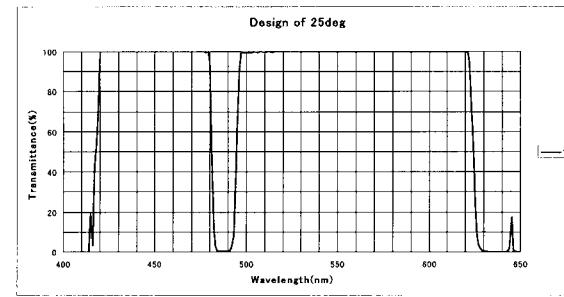
【図13】

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
151	Nb2O5	10	201	Nb2O5	20.65			
152	SiO2	66.75	202	SiO2	48.89			
153	Nb2O5	77.01	203	Nb2O5	72.33			
154	SiO2	10	204	SiO2	10			
155	Nb2O5	30.23	205	Nb2O5	41.71			
156	SiO2	112.72	206	SiO2	40.83			
157	Nb2O5	14.66	207	Nb2O5	66.43			
158	SiO2	38.45	208	SiO2	20.79			
159	Nb2O5	81.73	209	Nb2O5	44.44			
160	SiO2	10	210	SiO2	47.46			
161	Nb2O5	35	211	Nb2O5	61.4			
162	SiO2	45.69	212	SiO2	16.58			
163	Nb2O5	71.47	213	Nb2O5	49.99			
164	SiO2	10	214	SiO2	57.37			
165	Nb2O5	44.93	215	Nb2O5	36.76			
166	SiO2	51.58	216	SiO2	50.8			
167	Nb2O5	45.02	217	Nb2O5	39.64			
168	SiO2	10	218	SiO2	61.12			
169	Nb2O5	60.6	219	Nb2O5	29.07			
170	SiO2	80.13	220	SiO2	68.58			
171	Nb2O5	44.63	221	Nb2O5	32.77			
172	SiO2	10	222	SiO2	59.93			
173	Nb2O5	60.06	223	Nb2O5	31.17			
174	SiO2	57.85	224	SiO2	67.99			
175	Nb2O5	28.32	225	Nb2O5	34.66			
176	SiO2	11.16	226	SiO2	42.1			
177	Nb2O5	80.6	227	Nb2O5	28.66			
178	SiO2	76.46	228	SiO2	66.7			
179	Nb2O5	24.51	229	Nb2O5	11.21			
180	SiO2	26.31	230	SiO2	40.77			
181	Nb2O5	58.3	231	Nb2O5	111.15			
182	SiO2	10	232	SiO2	75.45			
183	Nb2O5	31.99	233	Nb2O5	20.45			
184	SiO2	12.62	234	SiO2	43.4			
185	Nb2O5	110.48	235	Nb2O5	41.61			

【図14】



【図15】



【図16】

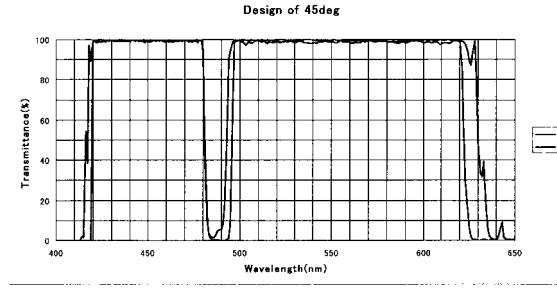
45度入射 総膜厚(μm) 19.3193

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
1	Nb205	16.19	51	Nb205	32.68	101	Nb205	38.29
2	SiO ₂	33.76	52	SiO ₂	62.14	102	SiO ₂	52.99
3	Nb205	244.3	53	Nb205	32.86	103	Nb205	51.47
4	SiO ₂	19.74	54	SiO ₂	69.47	104	SiO ₂	58.49
5	Nb205	41.57	55	Nb205	30.71	105	Nb205	17.2
6	SiO ₂	10.42	56	SiO ₂	68.65	106	SiO ₂	115.47
7	Nb205	119.85	57	Nb205	22.53	107	Nb205	33.07
8	SiO ₂	10	58	SiO ₂	247.09	108	SiO ₂	54.56
9	Nb205	33.56	59	Nb205	66.69	109	Nb205	30.83
10	SiO ₂	16.68	60	SiO ₂	18.06	110	SiO ₂	66.24
11	Nb205	17.91	61	Nb205	41.77	111	Nb205	29.41
12	SiO ₂	195.03	62	SiO ₂	52.03	112	SiO ₂	31.34
13	Nb205	219.62	63	Nb205	126.38	113	Nb205	26.24
14	SiO ₂	206.2	64	SiO ₂	264.74	114	SiO ₂	89.28
15	Nb205	16.75	65	Nb205	23.05	115	Nb205	10.75
16	SiO ₂	181.79	66	SiO ₂	50.66	116	SiO ₂	91.97
17	Nb205	113.14	67	Nb205	64.52	117	Nb205	23.92
18	SiO ₂	46.34	68	SiO ₂	18.3	118	SiO ₂	100.29
19	Nb205	109.26	69	Nb205	57.19	119	Nb205	24.22
20	SiO ₂	152.24	70	SiO ₂	55.86	120	SiO ₂	54.47
21	Nb205	114.22	71	Nb205	32.49	121	Nb205	42.97
22	SiO ₂	48.29	72	SiO ₂	68.82	122	SiO ₂	100.88
23	Nb205	116.21	73	Nb205	38.1	123	Nb205	20.69
24	SiO ₂	11.39	74	SiO ₂	62.82	124	SiO ₂	35.77
25	Nb205	10	75	Nb205	32.35	125	Nb205	64.71
26	SiO ₂	105.13	76	SiO ₂	69.86	126	SiO ₂	93.99
27	Nb205	11.34	77	Nb205	35.53	127	Nb205	17.8
28	SiO ₂	98.69	78	SiO ₂	64.85	128	SiO ₂	50.47
29	Nb205	16.73	79	Nb205	35.42	129	Nb205	52.42
30	SiO ₂	95.42	80	SiO ₂	67.24	130	SiO ₂	150.76
31	Nb205	45.31	81	Nb205	30.7	131	Nb205	10.19
32	SiO ₂	28.48	82	SiO ₂	94.99	132	SiO ₂	61.11
33	Nb205	50.87	83	Nb205	12.09	133	Nb205	17.3
34	SiO ₂	69.69	84	SiO ₂	118.71	134	SiO ₂	128.31
35	Nb205	26.03	85	Nb205	25.55	135	Nb205	40.3
36	SiO ₂	74.37	86	SiO ₂	74.96	136	SiO ₂	15.59
37	Nb205	36.01	87	Nb205	23.3	137	Nb205	58.28
38	SiO ₂	44.84	88	SiO ₂	121.97	138	SiO ₂	70.31
39	Nb205	67.63	89	Nb205	13.89	139	Nb205	110.38
40	SiO ₂	33.45	90	SiO ₂	92.26	140	SiO ₂	10.98
41	Nb205	29.35	91	Nb205	32.26	141	Nb205	10.5
42	SiO ₂	113.47	92	SiO ₂	60.62	142	SiO ₂	67.66
43	Nb205	10.09	93	Nb205	34.84	143	Nb205	37.94
44	SiO ₂	122.61	94	SiO ₂	70.9	144	SiO ₂	16.25
45	Nb205	10.32	95	Nb205	36.65	145	Nb205	62.88
46	SiO ₂	125.81	96	SiO ₂	65.74	146	SiO ₂	137.49
47	Nb205	12.51	97	Nb205	29.94	147	Nb205	10.27
48	SiO ₂	127.6	98	SiO ₂	74.68	148	SiO ₂	51.48
49	Nb205	14.23	99	Nb205	36.17	149	Nb205	10.99
50	SiO ₂	77.73	100	SiO ₂	58.9	150	SiO ₂	14.17

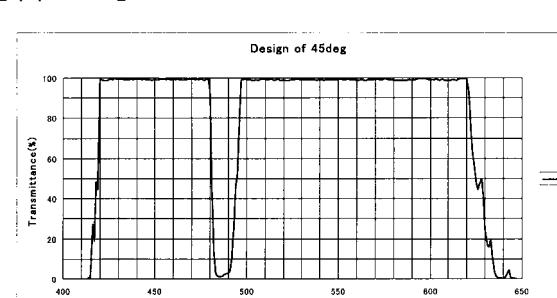
【図17】

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
151	Nb205	121.81	201	Nb205	147.23	251	Nb205	116.49
152	SiO ₂	98.93	202	SiO ₂	209.75	252	SiO ₂	38.79
153	Nb205	12.49	203	Nb205	80.7	253	Nb205	145.19
154	SiO ₂	61.58	204	SiO ₂	190.64	254	SiO ₂	31.23
155	Nb205	57.13	205	Nb205	28.05	255	Nb205	35.86
156	SiO ₂	220.72	206	SiO ₂	203.69	256	SiO ₂	118.79
157	Nb205	36.46	207	Nb205	67.67	air	-	-
158	SiO ₂	27.84	208	SiO ₂	189.75			
159	Nb205	77.19	209	Nb205	10.24			
160	SiO ₂	11.63	210	SiO ₂	194.21			
161	Nb205	60.57	211	Nb205	104.98			
162	SiO ₂	50.64	212	SiO ₂	24.25			
163	Nb205	49.45	213	Nb205	14			
164	SiO ₂	10.79	214	SiO ₂	13.34			
165	Nb205	54.4	215	Nb205	77.82			
166	SiO ₂	134.54	216	SiO ₂	189.13			
167	Nb205	10.62	217	Nb205	87.21			
168	SiO ₂	36.21	218	SiO ₂	16.19			
169	Nb205	64.02	219	Nb205	32.83			
170	SiO ₂	251.02	220	SiO ₂	18.08			
171	Nb205	10.14	221	Nb205	163.99			
172	SiO ₂	76.72	222	SiO ₂	180.78			
173	Nb205	119.27	223	Nb205	89.13			
174	SiO ₂	86.25	224	SiO ₂	136.46			
175	Nb205	107.34	225	Nb205	107.97			
176	SiO ₂	115.04	226	SiO ₂	34.85			
177	Nb205	23.75	227	Nb205	120.6			
178	SiO ₂	21.38	228	SiO ₂	110.36			
179	Nb205	58.2	229	Nb205	18.3			
180	SiO ₂	129.34	230	SiO ₂	23.01			
181	Nb205	108.31	231	Nb205	359.29			
182	SiO ₂	278.25	232	SiO ₂	19.2			
183	Nb205	11.96	233	Nb205	515.36			
184	SiO ₂	54.95	234	SiO ₂	26.88			
185	Nb205	56.5	235	Nb205	121.28			
186	SiO ₂	206.32	236	SiO ₂	180.33			
187	Nb205	66.02	237	Nb205	107.93			
188	SiO ₂	39.27	238	SiO ₂	12.92			
189	Nb205	10.02	239	Nb205	273.49			
190	SiO ₂	120.58	240	SiO ₂	11.76			
191	Nb205	133.81	241	Nb205	238.6			
192	SiO ₂	92.24	242	SiO ₂	21.8			
193	Nb205	10.53	243	Nb205	145.93			
194	SiO ₂	82.18	244	SiO ₂	38.74			
195	Nb205	102.94	245	Nb205	112.39			
196	SiO ₂	159.22	246	SiO ₂	138.39			
197	Nb205	121.91	247	Nb205	109.31			
198	SiO ₂	47.6	248	SiO ₂	61.64			
199	Nb205	142.26	249	Nb205	104.45			
200	SiO ₂	16.01	250	SiO ₂	146.24			

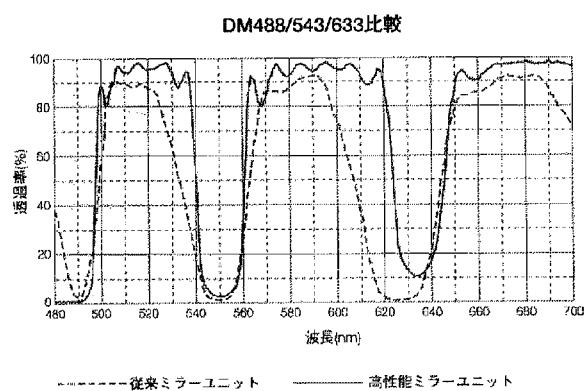
【図18】



【図19】



【図 20】



フロントページの続き

(72)発明者 奥川 久

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

F ターム(参考) 2G043 DA01 EA01 FA01 FA02 FA06 GA01 GB16 GB28 HA01 HA02
HA05 HA09 JA02 JA04 KA02 KA05 KA09 LA02
2H048 GA04 GA12 GA36 GA52
2H052 AA08 AA09 AB24 AC04 AC14 AC15 AC27 AC34 AD34 AF07