

(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.	F 1	テーマコード (参考)
G O 2 B 21/00 (2006.01)	G O 2 B 21/00	2 G O 4 3
G O 2 B 5/28 (2006.01)	G O 2 B 5/28	2 H O 4 8
G O 1 N 21/64 (2006.01)	G O 1 N 21/64	2 H O 5 2

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)	(71) 出願人	000004112
(22) 出願日	平成19年11月1日 (2007. 11. 1)		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 正聡
			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

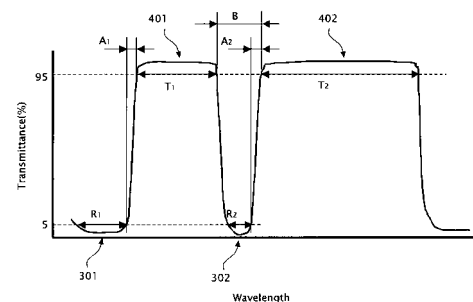
(54) 【発明の名称】 レーザ励起蛍光顕微鏡

(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25nm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6nm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FV1000 FLUOVIEW UIS2

【発明の開示】

30

【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】

40

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

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

【 0 0 1 8 】

レーザユニット 1 0 には、第 1 蛍光色素の励起波長 (4 0 5 n m) と同じ波長のレーザ光を発光するレーザ光源 1 1 と、第 2 蛍光色素の励起波長 (4 8 8 n m) と同じ波長のレーザ光を発光するレーザ光源 1 2 と、全反射ミラー 1 5 と、コンバイナミラー (ダイクロイックミラー) 1 6 と、A O T F (音響光学フィルタ) 1 4 と、ファイバカブラ 1 7 とが備えられる。因みに、レーザ光源 1 1 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 4 0 0 n m ~ 4 1 5 n m のばらつきの幅を持ち、レーザ光源 1 2 から射出するレーザ光の波長も同様に、波長 4 8 6 n m ~ 4 9 0 n m のばらつきの幅を持つ。

【 0 0 1 9 】

共焦点ユニット 1 0 0 には、コリメートレンズ 2 1 と、全反射ミラー 2 2 A と、高機能ダイクロイックミラー 2 2 と、光スキャナ (ガルバノスキャナなど) 2 3 と、瞳投影レンズ 2 4 と、集光レンズ 2 7 と、ピンホール部材 2 8 と、リレーレンズ 3 4 とが備えられる。このうち高機能ダイクロイックミラー 2 2 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

【 0 0 2 0 】

顕微鏡本体 1 1 0 には、集光レンズ 2 5 と、対物レンズ 2 6 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 2 6 の焦点が標本 S に合った状態では、標本 S と、光ファイバ 1 8 の出射端と、ピンホール部材 2 8 と、光ファイバ 3 8 の入射端とは光学的に共役となる。

【 0 0 2 1 】

検出ユニット 5 0 には、コリメートレンズ 5 1 と、ダイクロイックミラー 5 2 と、エミッションフィルタ 5 3、5 6 と、集光レンズ 5 4、5 5 と、光電子増倍管 (P M T) 5 7、5 8 とが備えられる。

20

【 0 0 2 2 】

以上の顕微鏡システムにおいて、レーザユニット 1 0、共焦点ユニット 1 0 0、顕微鏡本体 1 1 0、検出ユニット 5 0 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。

【 0 0 2 3 】

次に、顕微鏡システムの動作を説明する。

30

【 0 0 2 4 】

レーザユニット 1 0 において、レーザ光源 1 2 から射出したレーザ光は、コンバイナミラー 1 6 を透過し、A O T F 1 4、ファイバカブラ 1 7 を介して光ファイバ 1 8 へ入射し、共焦点ユニット 1 0 0 へ向かう。また、レーザ光源 1 1 から射出したレーザ光は、全反射ミラー 1 5 で反射した後、コンバイナミラー 1 6 で反射し、レーザ光源 1 2 から射出したレーザ光と共通の光路へ導かれる。なお、このレーザユニット 1 0 から共焦点ユニット 1 0 0 に向かうレーザ光の波長選択や光量調整は、A O T F 1 4 によって行われる。

【 0 0 2 5 】

共焦点ユニット 1 0 0 において、光ファイバ 1 8 の出射端から射出したレーザ光は、コリメートレンズ 2 1 により平行光束に変換され、全反射ミラー 2 2 A へ入射する。全反射ミラー 2 2 A へ入射したレーザ光は、全反射ミラー 2 2 A で反射し、高機能ダイクロイックミラー 2 2 へ入射する。

40

【 0 0 2 6 】

高機能ダイクロイックミラー 2 2 の分離波長は、第 1 蛍光色素の励起波長 (4 0 5 n m) の長波長側と、第 2 蛍光色素の励起波長 (4 8 8 n m) 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 1 1 から射出したレーザ光に含まれる励起光 (波長 4 0 5 n m) と、レーザ光源 1 2 から射出したレーザ光に含まれる励起光 (波長 4 8 8 n m) とは、高機能ダイクロイックミラー 2 2 で反射する。

【 0 0 2 7 】

高機能ダイクロイックミラー 2 2 で反射した励起光は、光スキャナ 2 3 へ入射する。光

50

スキャナ 2 3 へ入射した励起光は、光スキャナ 2 3 の 2 つの可動ミラーで順に反射してから光スキャナ 2 3 を射出する。光スキャナ 2 3 を射出した励起光は、瞳投影レンズ 2 4 を介して顕微鏡本体 1 1 0 へ向かう。

【 0 0 2 8 】

顕微鏡本体 1 1 0 へ入射した励起光は、集光レンズ 2 5 を介して対物レンズ 2 6 へ入射する。対物レンズ 2 6 へ入射した励起光は、その対物レンズ 2 6 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 2 3 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。

【 0 0 2 9 】

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 2 6 、集光レンズ 2 5 、瞳投影レンズ 2 4 、光スキャナ 2 3 を介して高機能ダイクロイックミラー 2 2 へ入射する。その蛍光の高機能ダイクロイックミラー 2 2 に対する入射角度は、全反射ミラー 2 2 A で反射したレーザ光の高機能ダイクロイックミラー 2 2 に対する入射角度と同じである。

【 0 0 3 0 】

高機能ダイクロイックミラー 2 2 の分離波長は、前述したとおり、第 1 蛍光色素の励起波長 (4 0 5 n m) の長波長側と、第 2 蛍光色素の励起波長 (4 8 8 n m) の長波長側に設定されている (詳細は後述) 。よって、高機能ダイクロイックミラー 2 2 へ入射した蛍光の多くは、高機能ダイクロイックミラー 2 2 を透過し、集光レンズ 2 7 へ向かう。

【 0 0 3 1 】

集光レンズ 2 7 へ入射した蛍光は、ピンホール部材 2 8 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 2 8 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 2 8 を通過してリレーレンズ 3 4 へ向かう。リレーレンズ 3 4 へ入射した蛍光は、光ファイバ 3 8 へ入射し、検出ユニット 5 0 へ向かう。

【 0 0 3 2 】

検出ユニット 5 0 において、光ファイバ 3 8 の出射端から射出した蛍光は、コリメートレンズ 5 1 により平行光束に変換され、ダイクロイックミラー 5 2 へ入射する。そのダイクロイックミラー 5 2 の分離波長は、第 1 蛍光色素の蛍光波長 (4 3 0 n m ~ 4 7 0 n m) と第 2 蛍光色素の蛍光波長 (5 1 0 n m ~ 6 1 0 n m) との間の波長に設定されている。よって、検出ユニット 5 0 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 5 2 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 5 2 を透過する。

【 0 0 3 3 】

ダイクロイックミラー 5 2 で反射した第 1 蛍光は、エミッションフィルタ 5 3 、集光レンズ 5 4 を介して光電子増倍管 5 7 へ入射し、ダイクロイックミラー 5 2 を透過した第 2 蛍光は、エミッションフィルタ 5 6 、集光レンズ 5 5 を介して光電子増倍管 5 8 へ入射する。ここでエミッションフィルタ 5 3 、5 6 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。そのために、エミッションフィルタ 5 3 の透過波長帯域は 4 3 0 n m ~ 4 7 0 n m に、エミッションフィルタ 5 6 の透過波長帯域は 5 1 0 n m ~ 6 1 0 n m 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 (4 0 5 n m) と第 2 蛍光色素の励起波長 (4 8 8 n m) 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 5 7 、5 8 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 5 7 、5 8 の各々は、不図示の制御ユニットによって光スキャナ 2 3 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 5 7 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 5 8 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の受光チャンネルの数は、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ンネルに集光し、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の受光チャン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ンネルの電気信号は、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。

【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とに基づき、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。

【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の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。

【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。

10

20

30

40

50

【0042】

但し、入射角度は、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、入射角度が 10° 以下であると、必要な光線が蹴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ったことを利用し、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出検することができる。

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6nm

50

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。

【0058】

20

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。

【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 $\theta = 12^\circ$ 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 Nb_2O_5 の誘電体膜と SiO_2 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 $\theta = 12^\circ$ の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は、 $9.42428\mu\text{m}$ に抑えられる。

30

【0061】

図6、図7は、入射角度 $\theta = 12^\circ$ 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、 $\theta = 12^\circ$ 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 $\theta = 15^\circ$ 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 Nb_2O_5 の誘電体膜と SiO_2 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 $\theta = 15^\circ$ の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は、 $10.27728\mu\text{m}$ に抑えられる。

【0063】

50

図 10、図 11 は、入射角度 $\theta = 15^\circ$ 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、 $\theta = 15^\circ$ 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、 $\theta = 12^\circ$ 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 $\theta = 25^\circ$ 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 Nb_2O_5 の誘電体膜と SiO_2 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 $\theta = 25^\circ$ の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は、 $13.43647 \mu\text{m}$ に抑えられる。

10

【0065】

図 14、図 15 は、入射角度 $\theta = 25^\circ$ 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、 $\theta = 25^\circ$ 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、 $\theta = 15^\circ$ 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 $\theta = 45^\circ$ 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 Nb_2O_5 の誘電体膜と SiO_2 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 $\theta = 45^\circ$ の条件下では、誘電体多層膜の総膜厚は大きく、 $19.3193 \mu\text{m}$ である。

【0067】

図 18、図 19 は、入射角度 $\theta = 45^\circ$ 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、 $\theta = 45^\circ$ 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。

30

【0068】

以上の図 4 ~ 図 19 によると、入射角度 θ 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 θ 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は、明らかである。

【0069】

（その他）

40

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。

【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 θ 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。

【 0 0 7 1 】

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 1 0 が出射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 2 2 の分離波長の個数も 3 以上に設定され、検出ユニット 5 0 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 2 2 に対する入射角度 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】

【 0 0 7 2 】

【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 6 0 0 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 2 2 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 $= 12^\circ$ 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 $= 12^\circ$ 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）。

【図 7】図 7 は、入射角度 $= 12^\circ$ 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 $= 15^\circ$ 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 1 0】図 1 0 は、入射角度 $= 15^\circ$ の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー 2 2 の波長特性カーブである（s 偏光成分、p 偏光成分）。

【図 1 1】図 1 1 は、入射角度 $= 15^\circ$ の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー 2 2 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 1 2】図 1 2 は、入射角度 $= 25^\circ$ の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー 2 2 の構成を示す図である。

【図 1 3】図 1 3 は、図 1 2 の続きである。

【図 1 4】図 1 4 は、入射角度 $= 25^\circ$ の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー 2 2 の波長特性カーブである（s 偏光成分、p 偏光成分）。

【図 1 5】図 1 5 は、入射角度 $= 25^\circ$ の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー 2 2 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 1 6】図 1 6 は、入射角度 $= 45^\circ$ の条件下で設計された高機能ダイクロイックミラー 2 2 の構成を示す図（比較例）である。

【図 1 7】図 1 7 は、図 1 6 の続きである。

【図 1 8】図 1 8 は、入射角度 $= 45^\circ$ 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）。

【図 1 9】図 1 9 は、入射角度 $= 45^\circ$ 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 2 0】図 2 0 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】

【 0 0 7 3 】

1 0 ... レーザユニット, 1 0 0 ... 共焦点ユニット, 1 1 0 ... 顕微鏡, 5 0 ... 検出ユニット, 1 8 ... 光ファイバ, 3 8 ... 光ファイバ, 1 1 ... レーザ光源, 1 2 ... レーザ光源, 1 5 ... 全反射ミラー, 1 6 ... コンバイナミラー（ダイクロイックミラー）, 1 4 ... A O T F (

10

20

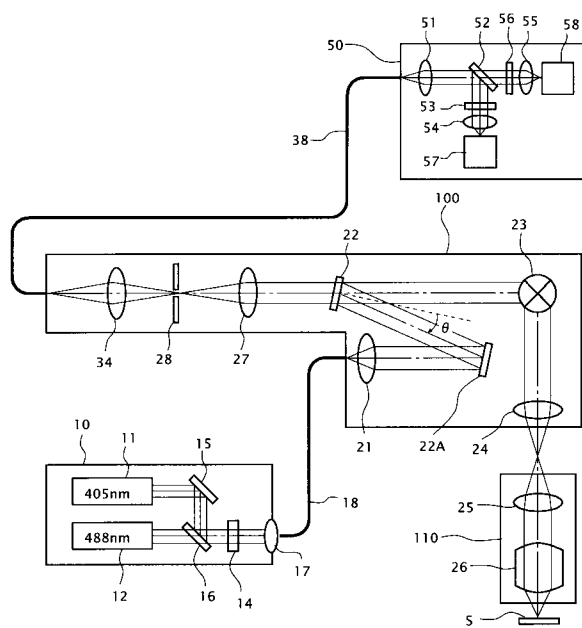
30

40

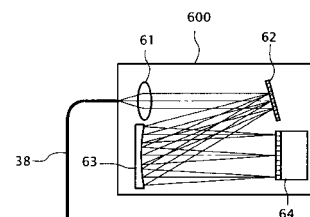
50

音響光学フィルタ) , 17 ... ファイバカプラ

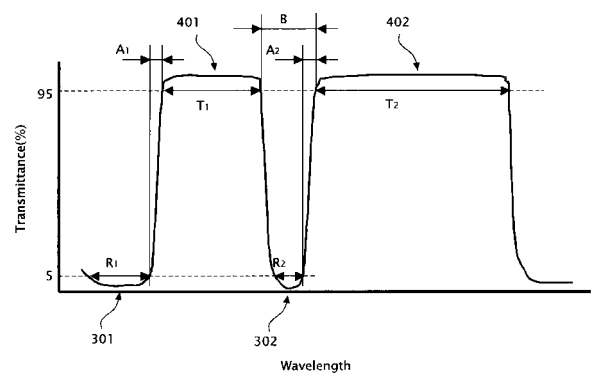
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【図 4】

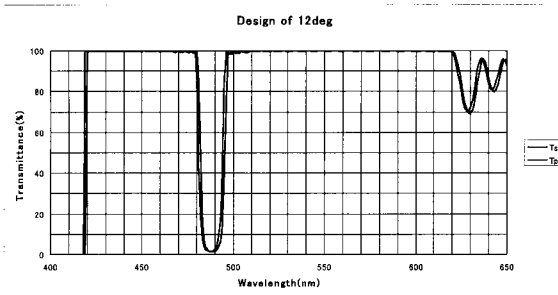
12度入射 総膜厚(μm) 9.42428

層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
1	Nb2O5	13.81	51	Nb2O5	35.2	101	Nb2O5	38.35
2	SiO2	58.8	52	SiO2	57.34	102	SiO2	61.07
3	Nb2O5	34.72	53	Nb2O5	36.14	103	Nb2O5	36.37
4	SiO2	50.68	54	SiO2	60.35	104	SiO2	57.04
5	Nb2O5	32.18	55	Nb2O5	38.03	105	Nb2O5	34.79
6	SiO2	57.61	56	SiO2	60.11	106	SiO2	56.05
7	Nb2O5	36.45	57	Nb2O5	35.3	107	Nb2O5	35.25
8	SiO2	56.92	58	SiO2	55.25	108	SiO2	59.52
9	Nb2O5	34.9	59	Nb2O5	34.81	109	Nb2O5	38.29
10	SiO2	58.27	60	SiO2	58.41	110	SiO2	61.84
11	Nb2O5	36.13	61	Nb2O5	36.93	111	Nb2O5	36.54
12	SiO2	56.31	62	SiO2	60.18	112	SiO2	55.99
13	Nb2O5	34.32	63	Nb2O5	37.4	113	Nb2O5	34.17
14	SiO2	57.94	64	SiO2	59.81	114	SiO2	56.8
15	Nb2O5	37.31	65	Nb2O5	35.69	115	Nb2O5	36.16
16	SiO2	59.81	66	SiO2	55.33	116	SiO2	59.74
17	Nb2O5	35.68	67	Nb2O5	34.28	117	Nb2O5	37.63
18	SiO2	56.95	68	SiO2	58.2	118	SiO2	61.12
19	Nb2O5	35.68	69	Nb2O5	37.66	119	Nb2O5	36.81
20	SiO2	57.8	70	SiO2	61.29	120	SiO2	56.43
21	Nb2O5	35.32	71	Nb2O5	37.12	121	Nb2O5	33.74
22	SiO2	57.72	72	SiO2	58.42	122	SiO2	56.2
23	Nb2O5	36.99	73	Nb2O5	35.42	123	Nb2O5	36.71
24	SiO2	60.71	74	SiO2	56.17	124	SiO2	61.13
25	Nb2O5	36.49	75	Nb2O5	34.56	125	Nb2O5	37.62
26	SiO2	56.53	76	SiO2	57.66	126	SiO2	59.67
27	Nb2O5	34.72	77	Nb2O5	37.53	127	Nb2O5	36.19
28	SiO2	57.67	78	SiO2	62.12	128	SiO2	57.08
29	Nb2O5	36.32	79	Nb2O5	37.59	129	Nb2O5	34.3
30	SiO2	58.8	80	SiO2	57.76	130	SiO2	55.85
31	Nb2O5	36.64	81	Nb2O5	34.54	131	Nb2O5	36.33
32	SiO2	59.99	82	SiO2	56.03	132	SiO2	61.67
33	Nb2O5	36.8	83	Nb2O5	35.33	133	Nb2O5	38.27
34	SiO2	57.26	84	SiO2	58.39	134	SiO2	59.52
35	Nb2O5	34.34	85	Nb2O5	37.17	135	Nb2O5	35.24
36	SiO2	56.58	86	SiO2	61.47	136	SiO2	56.32
37	Nb2O5	36.6	87	Nb2O5	37.77	137	Nb2O5	35.02
38	SiO2	60.47	88	SiO2	58.32	138	SiO2	57.14
39	Nb2O5	37.08	89	Nb2O5	34.2	139	Nb2O5	36.1
40	SiO2	58.98	90	SiO2	55.02	140	SiO2	60.59
41	Nb2O5	36.14	91	Nb2O5	35.52	141	Nb2O5	38.23
42	SiO2	57.58	92	SiO2	59.85	142	SiO2	60.37
43	Nb2O5	34.8	93	Nb2O5	37.6	143	Nb2O5	35.21
44	SiO2	56.24	94	SiO2	60.62	144	SiO2	55.06
45	Nb2O5	36.19	95	Nb2O5	37.06	145	Nb2O5	34.79
46	SiO2	61.03	96	SiO2	58.35	146	SiO2	58.63
47	Nb2O5	37.92	97	Nb2O5	34.64	147	Nb2O5	36.9
48	SiO2	59.25	98	SiO2	54.88	148	SiO2	59.9
49	Nb2O5	35.33	99	Nb2O5	35.11	149	Nb2O5	37.21
50	SiO2	56.53	100	SiO2	60.19	150	SiO2	59.98

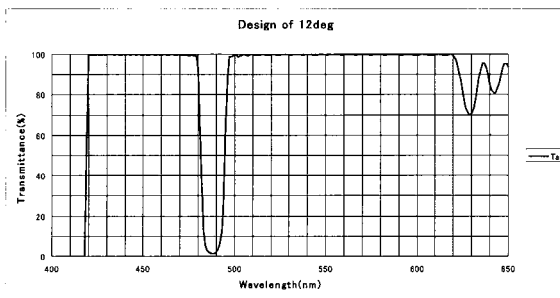
【図 5】

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	Nb2O5	35.87	201	Nb2O5	10.04			
152	SiO2	55.47		air	-			
153	Nb2O5	34.19						
154	SiO2	58.35						
155	Nb2O5	37.72						
156	SiO2	61.01						
157	Nb2O5	36.6						
158	SiO2	58.07						
159	Nb2O5	35.76						
160	SiO2	57.15						
161	Nb2O5	34.64						
162	SiO2	57.21						
163	Nb2O5	37.25						
164	SiO2	61.95						
165	Nb2O5	37.21						
166	SiO2	57.03						
167	Nb2O5	34.63						
168	SiO2	57.53						
169	Nb2O5	36						
170	SiO2	57.86						
171	Nb2O5	36.17						
172	SiO2	60.58						
173	Nb2O5	37.74						
174	SiO2	58.35						
175	Nb2O5	34.05						
176	SiO2	55.85						
177	Nb2O5	36.5						
178	SiO2	60.28						
179	Nb2O5	36.29						
180	SiO2	57.94						
181	Nb2O5	36.67						
182	SiO2	59.86						
183	Nb2O5	35.18						
184	SiO2	54.47						
185	Nb2O5	35.19						
186	SiO2	61.35						
187	Nb2O5	37.88						
188	SiO2	57.23						
189	Nb2O5	34.19						
190	SiO2	58.64						
191	Nb2O5	37.16						
192	SiO2	56.09						
193	Nb2O5	32.72						
194	SiO2	58.44						
195	Nb2O5	39.52						
196	SiO2	59.43						
197	Nb2O5	29.41						
198	SiO2	50.38						
199	Nb2O5	40.94						
200	SiO2	69.9						

【図 6】



【図 7】



【図 8】

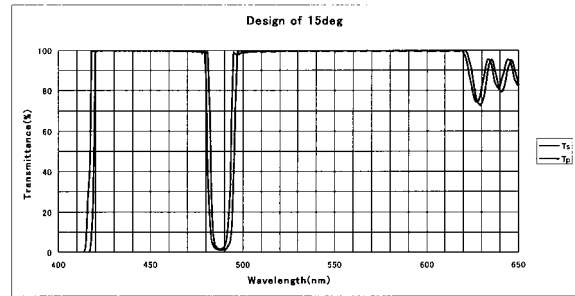
15度入射 総膜厚(μm) 10.27728

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	Nb2O5	13.21	51	Nb2O5	35.33	101	Nb2O5	37.44
2	SiO2	49.82	52	SiO2	55.12	102	SiO2	60.12
3	Nb2O5	30.42	53	Nb2O5	34.36	103	Nb2O5	36.52
4	SiO2	48.49	54	SiO2	58	104	SiO2	57.02
5	Nb2O5	31.91	55	Nb2O5	37.17	105	Nb2O5	34.07
6	SiO2	55.98	56	SiO2	60.19	106	SiO2	55
7	Nb2O5	34.49	57	Nb2O5	36.59	107	Nb2O5	35.67
8	SiO2	53.29	58	SiO2	57.82	108	SiO2	60.6
9	Nb2O5	33.2	59	Nb2O5	35.11	109	Nb2O5	38.01
10	SiO2	57.13	60	SiO2	55.86	110	SiO2	59.61
11	Nb2O5	36.43	61	Nb2O5	34.8	111	Nb2O5	35.36
12	SiO2	57.69	62	SiO2	58.34	112	SiO2	55.67
13	Nb2O5	34.93	63	Nb2O5	37.57	113	Nb2O5	34.39
14	SiO2	56.95	64	SiO2	61.02	114	SiO2	56.38
15	Nb2O5	35.6	65	Nb2O5	36.56	115	Nb2O5	36.1
16	SiO2	56.71	66	SiO2	56.51	116	SiO2	60.54
17	Nb2O5	34.87	67	Nb2O5	34.4	117	Nb2O5	37.95
18	SiO2	57.97	68	SiO2	56.34	118	SiO2	59.38
19	Nb2O5	37.08	69	Nb2O5	35.69	119	Nb2O5	34.74
20	SiO2	59.5	70	SiO2	59.04	120	SiO2	54.48
21	Nb2O5	35.45	71	Nb2O5	37.36	121	Nb2O5	34.55
22	SiO2	55.95	72	SiO2	60.53	122	SiO2	58.24
23	Nb2O5	35.11	73	Nb2O5	36.41	123	Nb2O5	37.06
24	SiO2	57.86	74	SiO2	56	124	SiO2	60.37
25	Nb2O5	35.96	75	Nb2O5	33.86	125	Nb2O5	37.17
26	SiO2	58.28	76	SiO2	56.28	126	SiO2	58.56
27	Nb2O5	36.64	77	Nb2O5	36.5	127	Nb2O5	34.76
28	SiO2	59.05	78	SiO2	60.41	128	SiO2	54.6
29	Nb2O5	35.51	79	Nb2O5	37.3	129	Nb2O5	34.64
30	SiO2	55.42	80	SiO2	59.11	130	SiO2	59.21
31	Nb2O5	34.43	81	Nb2O5	35.66	131	Nb2O5	37.99
32	SiO2	57.79	82	SiO2	55.91	132	SiO2	60.89
33	Nb2O5	36.7	83	Nb2O5	34.1	133	Nb2O5	36.44
34	SiO2	58.94	84	SiO2	56.53	134	SiO2	57
35	Nb2O5	35.78	85	Nb2O5	36.83	135	Nb2O5	34.73
36	SiO2	57.01	86	SiO2	61.35	136	SiO2	55.87
37	Nb2O5	34.85	87	Nb2O5	37.53	137	Nb2O5	35.18
38	SiO2	55.57	88	SiO2	58.03	138	SiO2	59.24
39	Nb2O5	34.59	89	Nb2O5	34.61	139	Nb2O5	38.07
40	SiO2	57.86	90	SiO2	55.51	140	SiO2	61.33
41	Nb2O5	36.96	91	Nb2O5	34.88	141	Nb2O5	36.33
42	SiO2	59.35	92	SiO2	57.8	142	SiO2	55.79
43	Nb2O5	35.32	93	Nb2O5	36.98	143	Nb2O5	34.22
44	SiO2	55.26	94	SiO2	61.05	144	SiO2	56.85
45	Nb2O5	34.34	95	Nb2O5	37.41	145	Nb2O5	36.24
46	SiO2	56.86	96	SiO2	57.63	146	SiO2	59.69
47	Nb2O5	35.9	97	Nb2O5	34	147	Nb2O5	37.47
48	SiO2	58.88	98	SiO2	54.89	148	SiO2	60.42
49	Nb2O5	36.86	99	Nb2O5	35.46	149	Nb2O5	36.3
50	SiO2	59.07	100	SiO2	59.57	150	SiO2	55.83

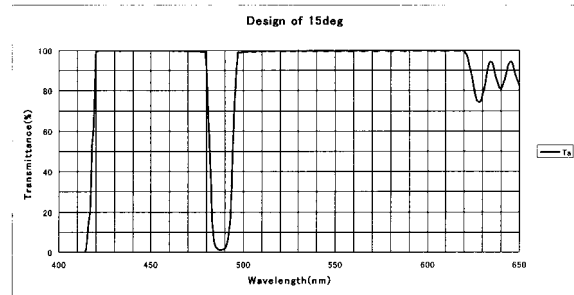
【図 9】

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	38.86	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	58.64						
193	Nb2O5	37.98						
194	SiO2	58.68						
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】

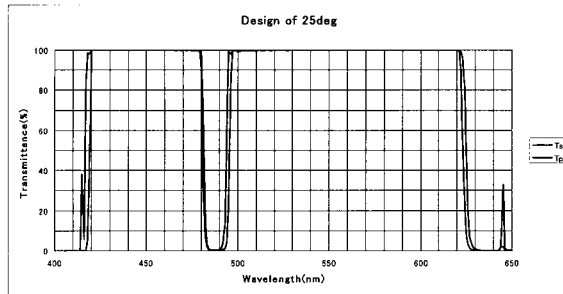
25度入射 総膜厚(μm) 13.43647

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	20.16	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	84.62	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	28.84	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

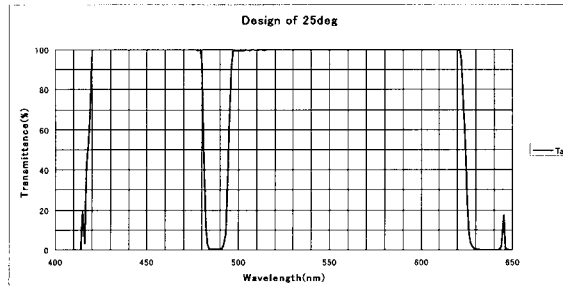
【図 13】

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			
186	SiO2	181.57	236	SiO2	99.09			
187	Nb2O5	118.15		air	--			
188	SiO2	36.21						
189	Nb2O5	142.08						
190	SiO2	31.89						
191	Nb2O5	50.29						
192	SiO2	10						
193	Nb2O5	74.77						
194	SiO2	22.48						
195	Nb2O5	66.73						
196	SiO2	11.97						
197	Nb2O5	72.53						
198	SiO2	17.13						
199	Nb2O5	35.34						
200	SiO2	48.2						

【図 14】



【図 15】



【図 17】

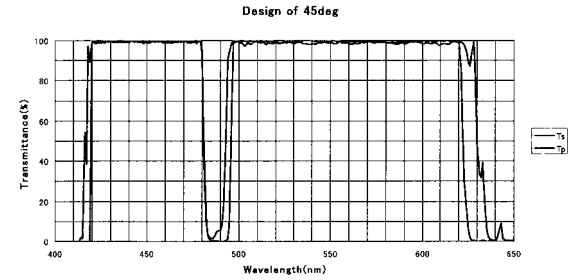
層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)	層番号	物質	膜厚(nm)
151	Nb2O5	121.81	201	Nb2O5	147.23	251	Nb2O5	116.49
152	SiO2	98.93	202	SiO2	209.75	252	SiO2	38.79
153	Nb2O5	12.49	203	Nb2O5	80.7	253	Nb2O5	145.19
154	SiO2	61.58	204	SiO2	190.64	254	SiO2	31.23
155	Nb2O5	57.13	205	Nb2O5	28.05	255	Nb2O5	35.86
156	SiO2	220.72	206	SiO2	203.69	256	SiO2	118.79
157	Nb2O5	36.46	207	Nb2O5	67.67		air	-
158	SiO2	27.84	208	SiO2	189.75			
159	Nb2O5	77.19	209	Nb2O5	10.24			
160	SiO2	11.63	210	SiO2	194.21			
161	Nb2O5	60.57	211	Nb2O5	104.98			
162	SiO2	50.64	212	SiO2	24.25			
163	Nb2O5	49.45	213	Nb2O5	14			
164	SiO2	10.79	214	SiO2	13.34			
165	Nb2O5	54.4	215	Nb2O5	77.82			
166	SiO2	134.54	216	SiO2	189.13			
167	Nb2O5	10.62	217	Nb2O5	87.21			
168	SiO2	36.21	218	SiO2	16.19			
169	Nb2O5	64.02	219	Nb2O5	32.83			
170	SiO2	251.02	220	SiO2	18.08			
171	Nb2O5	10.14	221	Nb2O5	163.99			
172	SiO2	76.72	222	SiO2	180.78			
173	Nb2O5	119.27	223	Nb2O5	89.13			
174	SiO2	86.25	224	SiO2	136.46			
175	Nb2O5	107.34	225	Nb2O5	107.97			
176	SiO2	115.04	226	SiO2	34.85			
177	Nb2O5	23.75	227	Nb2O5	120.6			
178	SiO2	21.38	228	SiO2	110.36			
179	Nb2O5	56.2	229	Nb2O5	18.3			
180	SiO2	129.34	230	SiO2	23.01			
181	Nb2O5	108.31	231	Nb2O5	359.29			
182	SiO2	278.25	232	SiO2	19.2			
183	Nb2O5	11.96	233	Nb2O5	515.36			
184	SiO2	54.95	234	SiO2	26.88			
185	Nb2O5	56.5	235	Nb2O5	121.28			
186	SiO2	206.32	236	SiO2	180.33			
187	Nb2O5	66.02	237	Nb2O5	107.93			
188	SiO2	38.27	238	SiO2	12.92			
189	Nb2O5	10.02	239	Nb2O5	273.49			
190	SiO2	120.58	240	SiO2	11.76			
191	Nb2O5	133.81	241	Nb2O5	238.6			
192	SiO2	92.24	242	SiO2	21.8			
193	Nb2O5	10.53	243	Nb2O5	145.93			
194	SiO2	82.18	244	SiO2	38.74			
195	Nb2O5	102.94	245	Nb2O5	112.39			
196	SiO2	159.22	246	SiO2	138.39			
197	Nb2O5	121.91	247	Nb2O5	109.31			
198	SiO2	47.6	248	SiO2	61.64			
199	Nb2O5	142.26	249	Nb2O5	104.45			
200	SiO2	16.01	250	SiO2	146.24			

【図 16】

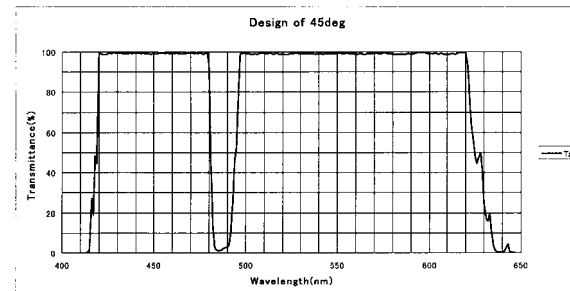
45度入射 総膜厚(μm) 19.3193

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	Nb2O5	16.19	51	Nb2O5	32.68	101	Nb2O5	38.29
2	SiO2	33.76	52	SiO2	62.14	102	SiO2	52.99
3	Nb2O5	244.3	53	Nb2O5	32.86	103	Nb2O5	51.47
4	SiO2	19.74	54	SiO2	69.47	104	SiO2	58.48
5	Nb2O5	41.57	55	Nb2O5	30.71	105	Nb2O5	17.2
6	SiO2	10.42	56	SiO2	68.65	106	SiO2	115.47
7	Nb2O5	119.65	57	Nb2O5	22.53	107	Nb2O5	33.07
8	SiO2	10	58	SiO2	247.09	108	SiO2	54.56
9	Nb2O5	33.58	59	Nb2O5	66.69	109	Nb2O5	30.83
10	SiO2	16.68	60	SiO2	18.06	110	SiO2	66.24
11	Nb2O5	17.91	61	Nb2O5	41.77	111	Nb2O5	29.41
12	SiO2	195.03	62	SiO2	52.03	112	SiO2	31.34
13	Nb2O5	219.62	63	Nb2O5	126.38	113	Nb2O5	26.24
14	SiO2	206.2	64	SiO2	264.74	114	SiO2	89.28
15	Nb2O5	16.75	65	Nb2O5	23.05	115	Nb2O5	10.75
16	SiO2	181.79	66	SiO2	50.66	116	SiO2	91.97
17	Nb2O5	113.14	67	Nb2O5	64.52	117	Nb2O5	23.92
18	SiO2	46.34	68	SiO2	18.3	118	SiO2	100.29
19	Nb2O5	109.26	69	Nb2O5	57.19	119	Nb2O5	24.22
20	SiO2	152.24	70	SiO2	55.86	120	SiO2	54.47
21	Nb2O5	114.22	71	Nb2O5	32.49	121	Nb2O5	42.97
22	SiO2	48.29	72	SiO2	68.82	122	SiO2	100.88
23	Nb2O5	116.21	73	Nb2O5	38.1	123	Nb2O5	20.69
24	SiO2	11.39	74	SiO2	62.82	124	SiO2	35.77
25	Nb2O5	10	75	Nb2O5	32.35	125	Nb2O5	64.71
26	SiO2	105.13	76	SiO2	69.86	126	SiO2	93.99
27	Nb2O5	11.34	77	Nb2O5	35.53	127	Nb2O5	17.8
28	SiO2	98.69	78	SiO2	64.85	128	SiO2	50.47
29	Nb2O5	16.73	79	Nb2O5	35.42	129	Nb2O5	52.42
30	SiO2	95.42	80	SiO2	67.24	130	SiO2	150.76
31	Nb2O5	45.31	81	Nb2O5	30.7	131	Nb2O5	10.19
32	SiO2	28.48	82	SiO2	94.99	132	SiO2	61.11
33	Nb2O5	50.87	83	Nb2O5	12.09	133	Nb2O5	17.3
34	SiO2	69.69	84	SiO2	118.71	134	SiO2	128.31
35	Nb2O5	26.03	85	Nb2O5	25.55	135	Nb2O5	40.3
36	SiO2	74.37	86	SiO2	74.96	136	SiO2	15.59
37	Nb2O5	36.01	87	Nb2O5	23.3	137	Nb2O5	58.28
38	SiO2	44.84	88	SiO2	121.97	138	SiO2	70.31
39	Nb2O5	67.63	89	Nb2O5	13.89	139	Nb2O5	110.38
40	SiO2	33.45	90	SiO2	92.26	140	SiO2	10.98
41	Nb2O5	29.35	91	Nb2O5	32.26	141	Nb2O5	10.5
42	SiO2	113.47	92	SiO2	60.62	142	SiO2	67.66
43	Nb2O5	10.09	93	Nb2O5	34.84	143	Nb2O5	37.94
44	SiO2	122.61	94	SiO2	70.9	144	SiO2	18.25
45	Nb2O5	10.32	95	Nb2O5	36.65	145	Nb2O5	62.86
46	SiO2	125.81	96	SiO2	65.74	146	SiO2	137.49
47	Nb2O5	12.51	97	Nb2O5	29.94	147	Nb2O5	10.27
48	SiO2	127.6	98	SiO2	74.68	148	SiO2	51.48
49	Nb2O5	14.23	99	Nb2O5	36.17	149	Nb2O5	10.99
50	SiO2	77.73	100	SiO2	58.9	150	SiO2	14.17

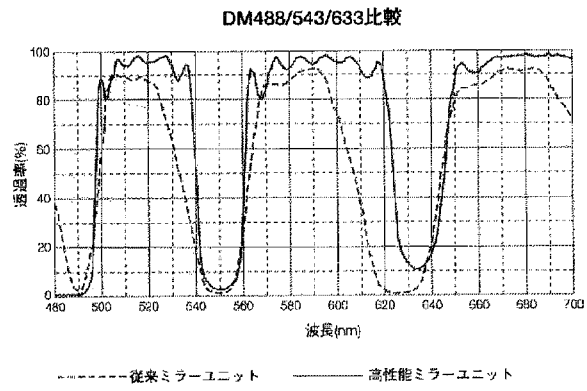
【図 18】



【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