

(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2004-125478

(P2004-125478A)

(43) 公開日 平成16年4月22日(2004.4.22)

(51) Int.Cl.⁷

G O 1 N 25/16

G O 1 N 21/41

F I

G O 1 N 25/16

G O 1 N 21/41

C

Z

テーマコード (参考)

2 G O 4 0

2 G O 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2002-286929 (P2002-286929)

(22) 出願日 平成14年9月30日 (2002.9.30)

(71) 出願人 000004008

日本板硝子株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

(74) 代理人 100081880

弁理士 渡部 敏彦

(72) 発明者 遠山 實

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

日本板硝子株式会社内

(72) 発明者 山口 淳

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

日本板硝子株式会社内

(72) 発明者 服部 明彦

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

日本板硝子株式会社内

最終頁に続く

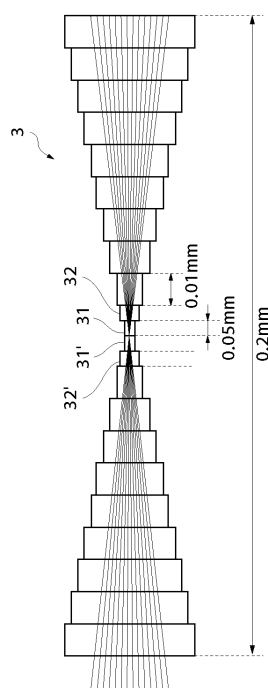
(54) 【発明の名称】 熱レンズ分析装置

(57) 【要約】

【課題】熱レンズ分析を安定して行うことができる熱レンズ分析装置を提供する。

【解決手段】熱レンズ分析装置1は、励起光及び検出光を試料溶液に照射するロッドレンズ10と、試料溶液中に熱レンズ12が形成される前後の検出光の信号強度を検出するPD11と、PD11が検出した信号強度からTLM出力を算出するコンピュータとを備える。励起ビーム伝播強度 $I(r, z)$ に応じた屈折率分布を有する熱レンズ12を、屈折率差 dn を変数とするSNS積層光学系3と近似し、この熱レンズ12に色収差 df を変数とする検出光を照射し、規格化されたPD距離 Lo を変数とするPD11で受光したときのTLM出力を求める。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部に試料溶液を流す流路を有するマイクロ化学システム用チップと、前記試料溶液に熱レンズを生成するための励起光と前記熱レンズを検出するための検出光とをレンズを介して前記試料溶液に照射する光源と、前記試料溶液の熱レンズ分析を行なうべく前記検出光の T L M 出力を検出する検出手段とを備える熱レンズ分析装置において、前記試料溶液のうち前記熱レンズが生成されている部分と生成されていない部分との屈折率差は、 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-10}$ であることを特徴とする熱レンズ分析装置。

【請求項 2】

10

前記レンズの開口数 N A と、前記励起光及び前記検出光の色収差 d f (m m) との関係は、

$$0.15 < N A < 0.60$$

$$0 < N A \times d f < 2.4 \times 10^{-3}$$

を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の熱レンズ分析装置。

【請求項 3】

前記屈折率差は $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-8}$ であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の熱レンズ分析装置。

【請求項 4】

前記開口数 N A と前記色収差 d f との関係は、

20

$$0.15 < N A < 0.60$$

$$4.5 \times 10^{-3} < N A \times d f < 9 \times 10^{-3}$$

を満たすことを特徴とする請求項 3 記載の熱レンズ分析装置。

【請求項 5】

前記開口数 N A と前記検出手段の規格化された P D 距離 L o との関係は、

$$0.15 < N A < 0.60$$

$$2.8125 < N A \times L o < 5.625$$

を満たすことを特徴とする請求項 3 又は 4 記載の熱レンズ分析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

30

【発明の属する技術分野】

本発明は、熱レンズ分析装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来から、化学反応を微小空間で行うための集積化技術が、化学反応の高速性や微量での反応、オンサイト分析等の観点から注目されており、そのための研究が、世界的に精力的に進められている。

【0003】

化学反応の集積化技術の 1 つとして微細な流路の中で試料溶液の混合、反応、分離、抽出、検出等を行う所謂マイクロ化学システムがある。このマイクロ化学システムで行われるものとしては反応の例として、ジアゾ化反応、ニトロ化反応、抗原抗体反応などがあり、抽出、分離の例として溶媒抽出、電気泳動分離、カラム分離などがある。マイクロ化学システムは、分離だけを目的としたような単一の機能のみで用いられても良く、また複合的に用いられても良い。

40

【0004】

これらのマイクロ化学システムでは試料溶液が極微量であるので、高感度な検出方法が必須である。このような方法として、微細な流路内の試料溶液に励起光を照射する前後の検出光の信号強度の差を照射する前の検出光の信号強度で割った値（以下「T L M 出力」という。）を検出する熱レンズ分析法が確立され、これによりマイクロ化学システムの実用化の道が開かれている。

50

【 0 0 0 5 】

試料溶液に光を集光照射すると試料溶液中の溶質が光を吸収すると共に熱エネルギーが放出される。この熱エネルギーによって溶媒が局所的に温度上昇すると、屈折率が変化して熱レンズが形成される（熱レンズ効果）。熱レンズ分析法はこの熱レンズ効果を利用するものである。

【 0 0 0 6 】

熱レンズ分析法は、熱の拡散、即ち屈折率の変化を T L M 出力として観察するものであるので、極微小試料の濃度を検出するのに適している。

【 0 0 0 7 】

従来の熱レンズ分析装置においては、マイクロ化学システム用チップが顕微鏡の対物レンズの下方に配置されており、励起光源から出力された所定波長の励起光が顕微鏡に入射して、この顕微鏡の対物レンズによりマイクロ化学システム用チップの流路内の試料に集光照射される。これにより、集光照射位置を中心として試料に熱レンズが形成される。

10

【 0 0 0 8 】

このような熱レンズ分析は流路内の試料溶液の定量的な制御を行なう必要があり、その点で、マイクロ化学システム用チップの流路としては、平面上に存在し、適度な圧力損失を有するキャピラリーを用いるのが適している（例えば、特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 9 】

また、高い分解能による熱レンズ分析を行なうには、対物レンズとして、検出光と励起光の焦点距離の差（以下「色収差」という。）のあるレンズを用いるとよく（例えば、特許文献 2 参照）、特に、このようなレンズとしてロッドレンズを用いることが有効であることが知られている（例えば、特許文献 3 参照）。

20

【 0 0 1 0 】

【 特許文献 1 】

特開 2 0 0 1 - 1 6 5 9 3 9 号公報

【 特許文献 2 】

特開 2 0 0 1 - 3 5 6 6 1 1 号公報

【 特許文献 3 】

特開 2 0 0 2 - 1 6 5 9 3 9 号公報

【 0 0 1 1 】

30

【 発明が解決しようとする課題 】

しかしながら、平面上に存在し、適度な圧力損失を有するキャピラリーを流路として用いると、流路内の試料溶液の定量的な制御を行なうことはできるが、そのみでは試料溶液の濃度測定を高い分解能で行なうことはできない。

【 0 0 1 2 】

また、色収差があるレンズを用いると熱レンズ分析により、試料溶液の濃度測定を高い分解能で行なうことができるが、具体的に、どのような色収差の範囲にあるレンズを用いると安定した測定を行なうことができるのかを開示する従来技術はない。

【 0 0 1 3 】

本発明の目的は、熱レンズ分析を安定して行うことができる熱レンズ分析装置を提供することにある。

40

【 0 0 1 4 】

【 課題を解決するための手段 】

上記目的を達成するために、請求項 1 記載の熱レンズ分析装置は、内部に試料溶液を流す流路を有するマイクロ化学システム用チップと、前記試料溶液に熱レンズを生成するための励起光と前記熱レンズを検出するための検出光とをレンズを介して前記試料溶液に照射する光源と、前記試料溶液の熱レンズ分析を行なうべく前記検出光の T L M 出力を検出する検出手段とを備える熱レンズ分析装置において、前記試料溶液のうち前記熱レンズが生成される部分と生成されない部分との屈折率差は、 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-1}$ であることを特徴とする。

50

【0015】

請求項1記載の熱レンズ分析装置によれば、流路を流れる試料溶液のうち熱レンズが生成される部分と生成されない部分との屈折率差は、 1.0×10^{-5} 以下であるので、検出光の信号強度に外乱が生じるのを防ぐことができ、また、この屈折率差は 1.0×10^{-10} 以上であるので、TLM出力の検出をすることができ、以って熱レンズ分析を安定して行うことができる。

【0016】

請求項2記載の熱レンズ分析装置は、請求項1記載の熱レンズ分析装置において、前記レンズの開口数NAと、前記励起光及び前記検出光の色収差df(mm)との関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $0 < NA \times df < 24 \times 10^{-3}$ を満たすことを特徴とする。 10

【0017】

請求項2記載の熱レンズ分析装置によれば、レンズの開口数NAと、励起光及び検出光の色収差dfとの関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $0 < NA \times df < 24 \times 10^{-3}$ を満たすので、TLM出力を確実に検出することができ、定性分析を行なうことができる。

【0018】

請求項3記載の熱レンズ分析装置は、請求項1又は2記載の熱レンズ分析装置において、前記屈折率差は $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-8}$ であることを特徴とする。

【0019】

請求項3記載の熱レンズ分析装置によれば、屈折率差は 1.0×10^{-6} 以下であるので、屈折率差とTLM出力との間に比例関係が生じ、定量分析を行なうことができ、また、この屈折率差は 1.0×10^{-8} 以上であるので、TLM出力を確実に検出することができる。 20

【0020】

請求項4記載の熱レンズ分析装置は、請求項3記載の熱レンズ分析装置において、前記開口数NAと前記色収差dfとの関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $4.5 \times 10^{-3} < NA \times df < 9 \times 10^{-3}$ を満たすことを特徴とする。

【0021】

請求項4記載の熱レンズ分析装置によれば、開口数NAと色収差dfとの関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $4.5 \times 10^{-3} < NA \times df < 9 \times 10^{-3}$ を満たすので、屈折率差とTLM出力との間の比例関係が確実に維持することができ、安定した定量分析を行なうことができる。 30

【0022】

請求項5記載の熱レンズ分析装置は、請求項3又は4記載の熱レンズ分析装置において、前記開口数NAと前記検出手段の規格化されたPD距離Loとの関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $2.8125 < NA \times Lo < 5.625$ を満たすことを特徴とする。

【0023】

請求項5記載の熱レンズ分析装置によれば、開口数NAと検出手段の規格化されたPD距離Loとの関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $2.8125 < NA \times Lo < 5.625$ を満たすので、屈折率差とTLM出力との間の比例関係が確実に維持しつつ、TLM出力を大きくすることができ、より安定した定量分析を行なうことができる。 40

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態に係る熱レンズ分析装置により生成される熱レンズを図面を参照しながら詳細に説明する。

【0025】

図1は、本発明の実施の形態に係る熱レンズ分析装置を示す図である。

【0026】

図1において、本発明の実施の形態に係る熱レンズ分析装置1は、不図示のマイクロ化学システム用チップ内に形成された流路中の試料溶液に励起光及び検出光を同軸で照射するロッドレンズ10と、マイクロ化学システム用チップを通過した励起光及び検出光のうち 50

検出光の信号強度のみを不図示のフィルタ等で濾波して検出する P D 1 1 とから成る。

【 0 0 2 7 】

励起光は検出光より短い波長の光であり、ロッドレンズ 1 0 は、試料溶液中で励起光及び検出光が焦点を結ぶように光軸合わせを行ない、また、励起光と検出光の焦点距離には差（以下「色収差」という。） d f がある。

【 0 0 2 8 】

また、励起光が試料溶液に照射されると、その焦点位置を中心として熱レンズ 1 2 が形成される。

【 0 0 2 9 】

P D 1 1 は、励起光の焦点位置からの距離（以下「 P D 距離」という。） L に光軸と垂直に設置されるものであり、開口半径 r a d の光軸と同心円状の検出部からなるものである。ここで P D 1 1 の P D 距離 L と開口半径 r a d は可変である。 10

【 0 0 3 0 】

また、 P D 1 1 は、試料溶液に励起光を照射する前に試料溶液に照射した検出光の信号強度（ I o ）と、励起光を照射した後に試料溶液に照射した検出光の信号強度（ I ）を検出する。その後、不図示のコンピュータにより（ I - I o ） / I o の値（以下「 T L M 出力」という。）を算出することで、熱レンズ分析が行われる。

【 0 0 3 1 】

次に、図 1 の熱レンズ 1 2 の形状のシミュレーションを行なう。このシミュレーションの前提条件を以下のように設定する。 20

1 . 計算を容易にするため、ロッドレンズ 1 0 の N A と励起光及び検出光の N A は同一、ロッドレンズ 1 0 から P D 1 1 までの空間はすべて水中であり、伝播媒質屈折率 n は 1 . 3 3 2 とする。

2 . 励起光の焦点位置周辺の励起ビーム伝播強度 I (r , z) は、式 (1) に示すガウス分布である。

【 0 0 3 2 】

【数 1】

$$I(r,Z)=I_0 \times (W_0/Wz)^2 \times \exp(-2 \times r^2/Wz^2) \quad \dots (1)$$

30

【 0 0 3 3 】

3 . 熱レンズ 1 2 の形状は、後述する図 3 の屈折率差 d n を変数とする S N S 積層光学系であると近似する。

4 . 励起光の焦点位置近傍の屈折率分布は励起ビーム伝播強度に応じたものである。

5 . 色収差 d f を変数とする検出光を熱レンズ 1 2 に照射すると、検出光の光線は熱レンズ 1 2 の屈折率に応じて広がるように曲げられる。

【 0 0 3 4 】

さらに、ロッドレンズ 1 0 、 P D 1 1 、励起光、及び検出光の条件を以下の表 1 に示す。

【 0 0 3 5 】

【表 1】

40

パラメータ			
PD11	PD距離L	(mm)	可変
	開口半径rad	(mm)	可変
ロッドレンズ10	開口数NA		励起光及び検出光のNAと同一
励起光	波長 λ	(μm)	0.55
	開口数NA		0.15(水中)
	ビームウェスト半径	(μm)	0.88
検出光	波長 λ	(μm)	0.635
	開口数NA		0.15(水中)
	ビームウェスト半径	(μm)	1.01

10

【0036】

以上の条件で、図1のロッドレンズ10から照射された励起光の焦点位置周辺の励起ビーム伝播強度についてシミュレーションを行なう。

【0037】

図2は、図1のロッドレンズ10から照射された励起光の焦点位置周辺の励起ビーム伝播強度を示す図であり、(a)はz軸座標が0～20 μm 、rが0～2 μm の範囲を示し、
(b)はz軸座標が20～40 μm 、rが0～5 μm の範囲を示し、(c)はz軸座標が40～100 μm 、rが0～20 μm の範囲を示す。

20

【0038】

図2では、横軸は励起光の焦点位置を0とし、光の伝播方向を正とするz軸座標を示し、縦軸は励起光の光軸からの距離rを示す。

【0039】

励起ビーム伝播強度は、励起光の焦点位置に近い位置にあるもの程強くなり、励起光の焦点位置から離れた位置にあるもの程弱くなる。

【0040】

例えば、図2(a)では、励起光の焦点位置に最も近い位置にある範囲21のビーム伝播強度は1.0、その次に近い位置にある範囲22のビーム伝播強度は等高線間隔が0.1であるので0.9(=1.0-0.1)、最も離れた位置にある範囲23のビーム伝播強度は0.0となる。

30

【0041】

図3は、図1の熱レンズ12の形状をSNS積層光学系で近似した図を示す。

【0042】

図3において、SNS積層光学系3は、22個のSNSレンズから成り、合計厚みは0.2mm、各SNSレンズの厚さtは、励起光焦点位置に隣接するSNSレンズ31, 31'及びSNSレンズ31, 31'に隣接するSNSレンズ32, 32'を0.005mmとし、その他の18枚のSNSレンズを0.01mmとする。

40

【0043】

また、SNS積層光学系3が形成された部分はそれ以外の部分より屈折率が低く、その屈折率差 dn は $-1.0 \times 10^{-5} \sim -1.0 \times 10^{-8}$ の間で可変とする。

【0044】

さらに、前提条件4より、屈折率分布 $n(r, z)$ と励起ビーム伝播強度 $I(r, z)$ とは、式(2)に示す関係が成立する。

【0045】

【数2】

$$n(r, z) = (dn / I_0) \times I(r, z) \cdots (2)$$

また、SNS積層光学系3の屈折率分布は、式(3)から式(5)に示す近似式が成立す

50

ることが知られている。

【 0 0 4 6 】

【 数 3 】

$$n(r,z)=n_0+n_{z1}\times z+n_{z2}\times z^2+n_{z3}\times z^3+n_{z4}\times z^4+n_{r1}\times r^2+n_{r2}\times r^4+n_{r3}\times r^6+n_{r4}\times r^8 \quad \dots (3)$$

$$r^2=(1+s_{va}\times \sin(z/s_{vp}+s_{vf}))\times r^2 \quad \dots (4)$$

$$r^2=x^2+y^2 \quad \dots (5)$$

10

【 0 0 4 7 】

従って、式 (2) を用いて、式 (3) の係数 (n_0 , $n_{z1} \sim n_{z4}$, $n_{r1} \sim n_{r4}$, s_{va} , s_{vp} , s_{vf}) をカーブフィッティングにより求めると、図 3 の S N S 積層光学系 3 中の屈折率分布についてシミュレーションを行なうことができる。

【 0 0 4 8 】

以上の条件で、 $d n = 1 . 0 \times 10^{-5}$ のときの図 3 の S N S 積層光学系 3 中の屈折率分布を各 S N S レンズの範囲でカーブフィッティングを行なった結果を表 2 に示す。

【 0 0 4 9 】

【 表 2 】

20

dn=1E-5

レンズ名	L1(5)	L2(10)	L3(20)	L4(30)	L5(40)	L6(50)
apr=	0.002	0.003	0.004	0.006	0.008	0.01
t(Zmax)=	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01
no=	-0.00001	-5.7718E-06	-2.5435E-06	-7.8508E-07	-3.6529E-07	-2.0881E-07
nz1=	-4.273E-05	0.00098107	0.00037623	7.20883E-05	0.00002343	1.02195E-05
nz2=	0.368678483	-0.07646	-0.03509	-0.004644735	-0.00109	-0.000369982
nz3=	-45.2408578	0.85	2.06	0.209762205	0.04	0.009999521
nz4=	1400.336081	200	-60	-4.994338206	-0.8	-0.199990422
nr1=	24.01908374	7.726728377	1.479322989	0.143403893	0.031583938	0.010381423
nr2=	-2.40E+07	-4.17E+06	-3.37E+05	-1.05E+04	-1.11E+03	-2.12E+02
nr3=	1.11688E+13	1.02243E+12	34195608403	343433989.9	20142817.76	2019732.069
nr4=	-1.9775E+18	-9.37795E+16	-1.27024E+15	-4.0404E+12	-1.00714E+11	-7069062243
sva=	-0.8	-0.75	-0.9	-0.8	-0.8	-0.7
svp=	0.004	0.003	0.006	0.007	0.008	0.0075
svf=	0	0	0	0	0	0

レンズ名	L7(60)	L8(70)	L9(80)	L10(90)	L11(100)
apr=	0.012	0.014	0.016	0.018	0.02
t(Zmax)=	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
no=	-1.3465E-07	-9.39E-08	-6.916E-08	-5.303E-08	-4.195E-08
nz1=	0.00000531	0.0000031	0.00000196	0.00000132	0.00000093
nz2=	-0.00016	-0.00008	-0.00004	-0.00002	-0.00002
nz3=	0.004	0.002	0.0007	0.0004	0.0002
nz4=	-0.06	-0.02	-0.009	-0.004	-0.002
nr1=	0.004350696	0.002042188	0.001133439	0.000518474	0.000415949
nr2=	-6.04E+01	-2.03E+01	-8.10E+00	-2.53E+00	-2.03E+00
nr3=	402842.184	71120.96949	20239.97659	3793.712213	3043.530834
nr4=	-906394914	-101601385	-30359964.88	-2529141.475	-2029020.556
sva=	-0.7	-0.65	-0.6	-0.4	-0.2
svp=	0.009	0.01	0.007	0.006	0.003
svf=	0	0	0	0	0

10

20

30

【0050】

また、式(3)から式(5)により、係数 n_0 , $nz_1 \sim nz_4$, $nr_1 \sim nr_4$ は dn の値に比例するが、係数 sva , svp , svf は dn の値に関係なく一定であることが

40

【0051】

以上の結果から、図2の励起ビーム伝播強度に応じて形成された熱レンズ12の屈折率分布についてシミュレーションを行なう。

【0052】

図4は、図1の熱レンズ12が屈折率差 dn が 1.0×10^{-5} であるときの屈折率分布を示す図であり、(a)は z 軸座標が $0 \sim 20 \mu m$ 、 r が $0 \sim 2 \mu m$ の範囲を示し、(b)は z 軸座標が $20 \sim 40 \mu m$ 、 r が $0 \sim 5 \mu m$ の範囲を示し、(c)は z 軸座標が $40 \sim 100 \mu m$ 、 r が $0 \sim 20 \mu m$ の範囲を示す。

【0053】

50

屈折率は、励起光の焦点位置に近い位置にあるもの程低くなり、励起光の焦点位置から離れた位置にあるもの程高くなる。

【 0 0 5 4 】

例えば、図 4 (a) では、励起光の焦点位置に最も近い位置にある範囲 4 1 の屈折率は -1.0×10^{-5} 、その次に近い位置にある範囲 4 2 の屈折率は等高線間隔が 1.0×10^{-6} であるので、 -0.9×10^{-6} ($= -1.0 \times 10^{-5} + 1.0 \times 10^{-6}$)、最も離れた位置にある範囲 4 3 の屈折率は 0.0 となる。

【 0 0 5 5 】

次に、図 4 の熱レンズ 1 2 が試料溶液中に形成されると近似し、実光線追跡により T L M 出力についてシミュレーションを行なう。

10

【 0 0 5 6 】

図 5 は、図 1 の P D 距離 L を 10 mm として、屈折率差 $d n$ 及び開口半径 $r a d$ を変化させたときの T L M 出力と色収差 $d f$ の関係を示すグラフであり、(a) は屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-5} の場合を示し、(b) は屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-6} の場合を示し、(c) は屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-7} の場合を示し、(d) は屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-8} の場合を示す。

【 0 0 5 7 】

図 5 に示すように、開口半径 $r a d$ の値に関係なく、屈折率差 $d n$ の値が小さくなるほど T L M 出力の値は小さくなり、不図示ではあるが屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-10} 以下では T L M 出力の値が微小となり過ぎ、P D 1 1 では検出ができない。P D 1 1 で確実に T L M 出力を検出するには、屈折率差 $d n$ は 1.0×10^{-10} 、より好ましくは 1.0×10^{-8} 以上であることを要する。

20

【 0 0 5 8 】

また、屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-5} 以下の範囲で T L M 出力と色収差 $d f$ の関係を求めたのは、熱レンズ 1 2 が生成されている部分と生成されていない部分とでは、その温度差が 1 度以上となり、励起光を試料溶液に照射するのを止めても熱レンズ 1 2 が無くなるまでに時間を要し、検出光の信号強度に外乱が生じるためである。

【 0 0 5 9 】

以上の結果から、屈折率差 $d n$ は、 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-10}$ 、好ましくは 1.0×10^{-8} 以上である必要がある。

30

【 0 0 6 0 】

図 6 は、図 5 の T L M 出力間の T L M 出力比と色収差 $d f$ の関係を示すグラフであり、(a) は屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-5} の T L M 出力を 1.0×10^{-6} のときの T L M 出力で割った場合を示し、(b) は屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-6} の T L M 出力を 1.0×10^{-7} のときの T L M 出力で割った場合を示し、(c) は屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-7} の T L M 出力を 1.0×10^{-8} のときの T L M 出力で割った場合を示す。

【 0 0 6 1 】

屈折率差の値と T L M 出力の値とが比例関係にあるとき、熱レンズ分析を定量的に行なうことができる。従って、屈折率差の比は 10 である図 6 (a) ~ 図 6 (c) において、T L M 出力比が 10 である色収差 $d f$ の範囲があるか否かを判別することが、現在の条件で定量的な熱レンズ分析を行なうことができるかを判別することになる。

40

【 0 0 6 2 】

T L M 出力比が 10 である色収差 $d f$ の範囲は、開口半径 $r a d$ の値に関係なく、図 6 (a) の場合はほとんど無く、図 6 (b) の場合、図 6 (c) の場合になるにつれて広がることが判る。従って、定量的な熱レンズ分析を行なうには、 $d n$ が 1.0×10^{-6} 以下とすることが好ましい。

【 0 0 6 3 】

次に、P D 距離 L を一定としたときの開口半径 $r a d$ と T L M 出力の関係について説明する。

【 0 0 6 4 】

50

図 7 は、図 1 の P D 距離 L を 20 mm としたときの開口半径 r_{ad} と T L M 出力の関係を示すグラフであり、(a) は色収差 $d f$ が 0.03 mm の場合を示し、(b) は色収差 $d f$ が 0.04 mm の場合を示す。

【 0 0 6 5 】

図 7 (a) の T L M 出力が、図 7 (b) の T L M 出力の $1/10$ のスケールとなっていることからわかるように、色収差 $d f$ の値が小さいと同じ屈折率差 $d n$ であっても T L M 出力の値は小さくなることがわかる。

【 0 0 6 6 】

また、開口半径 r_{ad} が変化したとき、図 7 (a) の T L M 出力は大きく変動するのに対し、図 7 (b) の T L M 出力は大きな変動がないことがわかる。

10

【 0 0 6 7 】

図 8 は、図 1 の P D 距離 L と開口半径 r_{ad} の関係を示すグラフであり、(a) は P D 距離 L が 10 mm、屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-6} の場合を示し、(b) は P D 距離 L が 10 mm、屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-7} の場合を示し、(c) は P D 距離 L が 10 mm、屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-8} の場合を示し、(d) は P D 距離 L が 20 mm、屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-6} の場合を示し、(e) は P D 距離 L が 20 mm、屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-7} の場合を示し、(f) は P D 距離 L が 20 mm、屈折率差 $d n$ が 1.0×10^{-8} の場合を示す。

【 0 0 6 8 】

図 8 より、P D 距離 L を 2 倍としても開口半径 r_{ad} も 2 倍とすると同一となることからわかる。よって、以降、P D 距離 L については開口半径 r_{ad} が 0.5 mm (即ち、P D 11 の直径が 1.0 mm) で規格化された P D 距離 L_0 を用いる。

20

【 0 0 6 9 】

以上の結果に基づき、より現実に即した結果を導き出すため、前提条件 1 の条件を変更する。

【 0 0 7 0 】

具体的には、ロッドレンズ 10 の N A は、励起光及び検出光の開口数 N A の 1.5 倍とする。これは、励起光及び検出光をガウス分布を維持して伝播させるには、そのビーム径 (ビーム中心強度の 13.5 % の強度の直径) の 1.5 倍以上の有効径をもつ光学系でないと、ガウスビームの裾野にケラレが生じるのを防止することができないからである。また、P D 11 は水中でなく空気中にあるため、励起光及び検出光の開口数 N A、色収差 $d f$ 、P D 距離 L を空気換算する。

30

【 0 0 7 1 】

励起光及び検出光の開口数 N A (= 0.15) を空気換算した値は 0.2 であるため、ロッドレンズ 10 の開口数 N A はこの値を 1.5 倍した 0.3 となる。

【 0 0 7 2 】

まず、ロッドレンズ 10 の開口数 N A と色収差 $d f$ の関係について説明する。

【 0 0 7 3 】

図 5 から、T L M 出力は色収差 $d f$ が 0.080 mm 以下であれば検出できることがわかるが、その出力が 0 以下となる場合もあり (図 5 (a))、さらに、不図示ではあるが、色収差 $d f$ が 0.10 mm 以上となると屈折率差 $d n$ が 1×10^{-5} のとき、及び 1×10^{-6} のときに T L M 出力は全く検出できない。よって、色収差 $d f$ は水中で 0.10 mm 以下、空気換算すると 0.080 mm 以下であることを要する。一方、図 5 のロッドレンズ 10 の開口数 N A は上述したように 0.3 である。

40

【 0 0 7 4 】

以上より、ロッドレンズ 10 の開口数 N A と色収差 $d f$ の関係が $0 < N A \times d f < 2.4 \times 10^{-3}$ を満たすことがわかる。

【 0 0 7 5 】

また、ロッドレンズ 10 の開口数 N A が 0.15 以下とすると P D 距離 L が大きくなる結果、T L M 出力が弱くなったり、装置が大型化するため好ましくなく、開口数 N A が 0.

50

60以上とすると焦点距離が短くなり、ロッドレンズ10が不図示のマイクロ化学システム用チップに当たる可能性がある。従って、ロッドレンズ10の開口数NAは、 $0.15 < NA < 0.60$ であることが好ましいことがわかる。

【0076】

即ち、ロッドレンズ10の開口数NAと色収差dfの関係が、 $0.15 < NA < 0.60$ であり、且つ、 $0 < NA \times df < 24 \times 10^{-3}$ を満たすものであるとき、TLM出力を確実に検出することができ、定性分析を行なうことができる(図9)。

【0077】

また、図6(b)、図6(c)から、屈折率差dnが 1.0×10^{-6} であって、色収差dfが0.02mmより大きく、0.04mmより小さいとき、屈折率差dnとTLM出力とを確実に比例関係とすることができる。また、図6の色収差dfは水中における値であるため、空気換算すると色収差dfは0.015mmより大きく、0.030mmより小さいことになる。

10

【0078】

従って、ロッドレンズ10の開口数NAと色収差dfの関係が、 $0.15 < NA < 0.60$ であり、且つ、 $4.5 \times 10^{-3} < NA \times df < 9 \times 10^{-3}$ を満たすとき、屈折率差とTLM出力との間の比例関係が確実に維持することができ、安定した定量分析を行なうことがわかる(図10)。

【0079】

次に、ロッドレンズ10の開口数NAと図8で前述した規格化されたPD距離Loの関係

20

【0080】

図7から、PD11の開口半径radは、0.4~0.8mmの範囲にあるとき、TLM出力と屈折率差dnの比例関係が維持できる。PD距離Lは、水中で20mmとしていたため、空気換算すると15mmとなる。

【0081】

従って、NAが0.3(空気換算値)のとき、規格化されたPD距離Loの最小値(Lo-min)は、 $9.375 \text{ mm} (= 15 \times 0.5 / 0.8)$ であり、最大値(Lo-max)は、 $18.75 \text{ mm} (= 15 \times 0.5 / 0.4)$ となる。

【0082】

従って、ロッドレンズ10の開口数NAと規格化されたPD距離Loの関係が、 $2.8125 (= Lo-min \times NA) < Lo \times NA < 5.625 (= Lo-max \times NA)$ を満たすとき、屈折率差とTLM出力との間の比例関係が確実に維持しつつ、TLM出力を大きくすることができ、より安定した定量分析を行なうことがわかる(図11)。

30

【0083】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、請求項1記載の熱レンズ分析装置によれば、流路を流れる試料溶液のうち熱レンズが生成される部分と生成されない部分との屈折率差は、 1.0×10^{-5} 以下であるので、検出光の信号強度に外乱が生じるのを防ぐことができ、また、この屈折率差は 1.0×10^{-10} 以上であるので、TLM出力の検出をすることができ、以って熱レンズ分析を安定して行うことができる。

40

【0084】

請求項2記載の熱レンズ分析装置によれば、レンズの開口数NAと、励起光及び検出光の色収差df(mm)との関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $0 < NA \times df < 24 \times 10^{-3}$ を満たすので、TLM出力を確実に検出することができ、定性分析を行なうことができる。

【0085】

請求項3記載の熱レンズ分析装置によれば、屈折率差は 1.0×10^{-6} 以下であるので、屈折率差とTLM出力との間に比例関係が生じ、定量分析を行なうことができ、また、

50

この屈折率差は 1.0×10^{-8} 以上であるので、TLM出力を確実に検出することができる。

【0086】

請求項4記載の熱レンズ分析装置によれば、開口数NAと色収差dfとの関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $4.5 \times 10^{-3} < NA \times df < 9 \times 10^{-3}$ を満たすので、屈折率差とTLM出力との間の比例関係が確実に維持することができ、安定した定量分析を行なうことができる。

【0087】

請求項5記載の熱レンズ分析装置によれば、開口数NAと検出手段の規格化されたPD距離Loとの関係は、 $0.15 < NA < 0.60$ 、 $2.8125 < NA \times Lo < 5.625$ を満たすので、屈折率差とTLM出力との間の比例関係が確実に維持しつつ、TLM出力を大きくすることができ、より安定した定量分析を行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る熱レンズ分析装置を示す図である。

【図2】図1のロッドレンズ10から照射された励起光の焦点位置周辺の励起光束伝播強度を示す図であり、(a)はz軸座標が0～20μm、rが0～2μmの範囲を示し、(b)はz軸座標が20～40μm、rが0～5μmの範囲を示し、(c)はz軸座標が40～100μm、rが0～20μmの範囲を示す。

【図3】図1の熱レンズ12の形状をSNS積層光学系で近似した図を示す。

【図4】図1の熱レンズ12が屈折率差dnが 1.0×10^{-5} であるときの屈折率分布を示す図であり、(a)はz軸座標が0～20μm、rが0～2μmの範囲を示し、(b)はz軸座標が20～40μm、rが0～5μmの範囲を示し、(c)はz軸座標が40～100μm、rが0～20μmの範囲を示す。

【図5】図1のPD距離Lを10mmとして開口半径radを変化させたときのTLM出力と色収差dfの関係を示すグラフであり、(a)は屈折率差dnが 1.0×10^{-5} の場合を示し、(b)は屈折率差dnが 1.0×10^{-6} の場合を示し、(c)は屈折率差dnが 1.0×10^{-7} の場合を示し、(d)は屈折率差dnが 1.0×10^{-8} の場合を示す。

【図6】図5のTLM出力間のTLM出力比と色収差dfの関係を示すグラフであり、(a)は屈折率差dnが 1.0×10^{-5} のTLM出力を 1.0×10^{-6} のときのTLM出力で割った場合を示し、(b)は屈折率差dnが 1.0×10^{-6} のTLM出力を 1.0×10^{-7} のときのTLM出力で割った場合を示し、(c)は屈折率差dnが 1.0×10^{-7} のTLM出力を 1.0×10^{-8} のときのTLM出力で割った場合を示す。

【図7】図1のPD距離Lを20mmとしたときの開口半径radとTLM出力の関係を示すグラフであり、(a)は色収差dfが0.03mmの場合を示し、(b)は色収差dfが0.04mmの場合を示す。

【図8】図1のPD距離Lと開口半径radの関係を示すグラフであり、(a)はPD距離Lが10mm、屈折率差dnが 1.0×10^{-6} の場合を示し、(b)はPD距離Lが10mm、屈折率差dnが 1.0×10^{-7} の場合を示し、(c)はPD距離Lが10mm、屈折率差dnが 1.0×10^{-8} の場合を示し、(d)はPD距離Lが20mm、屈折率差dnが 1.0×10^{-6} の場合を示し、(e)はPD距離Lが20mm、屈折率差dnが 1.0×10^{-7} の場合を示し、(f)はPD距離Lが20mm、屈折率差dnが 1.0×10^{-8} の場合を示す。

【図9】図1のロッドレンズ10で定性分析ができるロッドレンズ10の開口数NAと色収差dfの関係を示すグラフである。

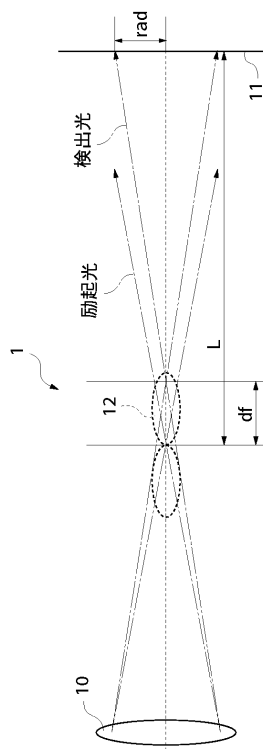
【図10】図1のロッドレンズ10で安定した定量分析ができるロッドレンズ10の開口数NAと色収差dfの関係を示すグラフである。

【図11】図1のロッドレンズ10でより安定した定量分析ができるロッドレンズ10の開口数NAと規格化されたPD距離Loの関係を示すグラフである。

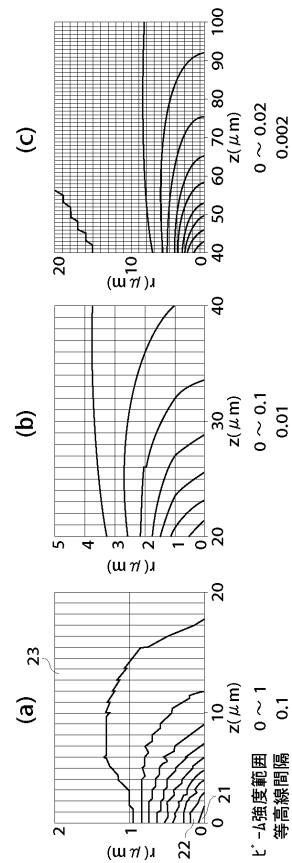
【符号の説明】

- 1 熱レンズ分析装置
- 10 ロッドレンズ
- 11 PD
- 12 熱レンズ
- 3 SNS 積層光学系
- 31, 31', 32, 32' SNS レンズ

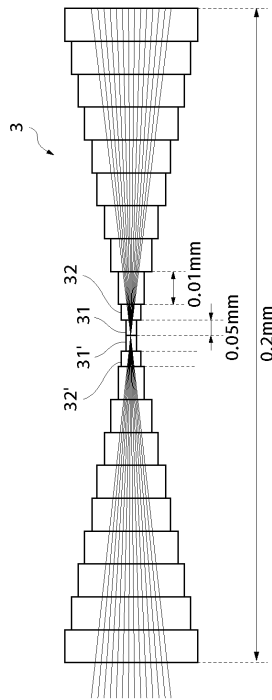
【図 1】



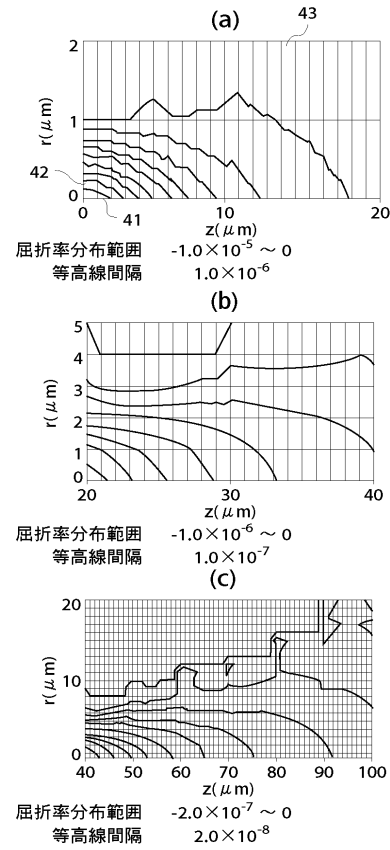
【図 2】



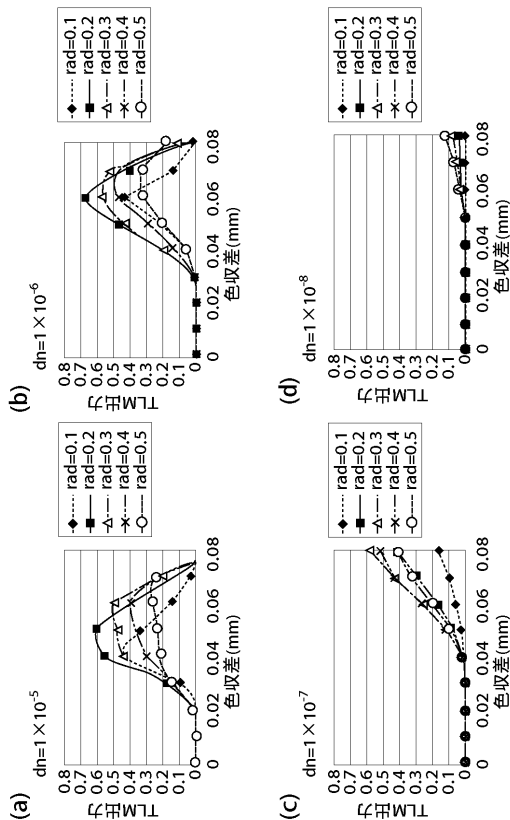
【図 3】



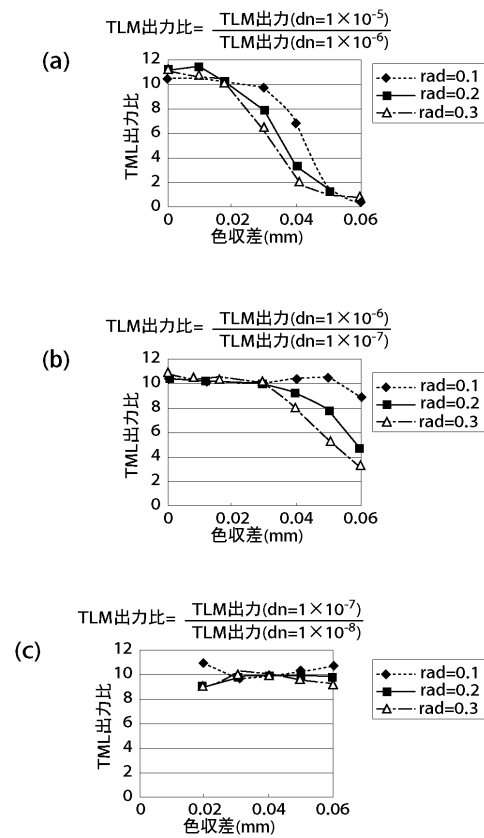
【図 4】



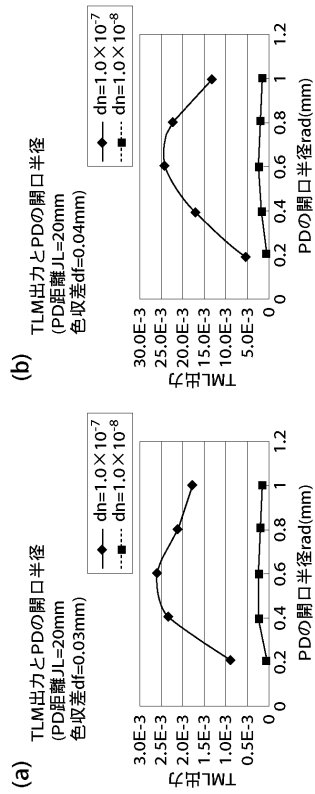
【図 5】



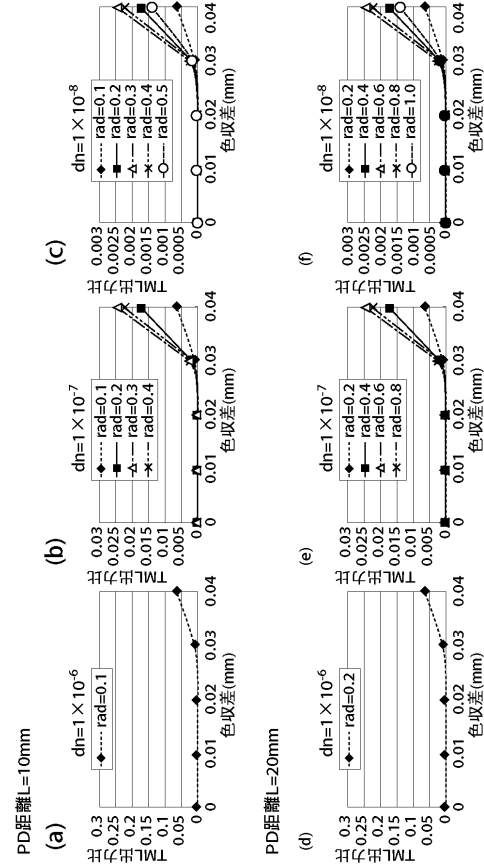
【図 6】



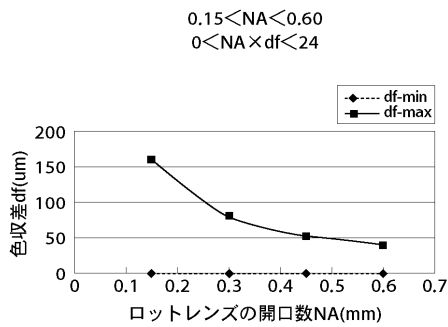
【図 7】



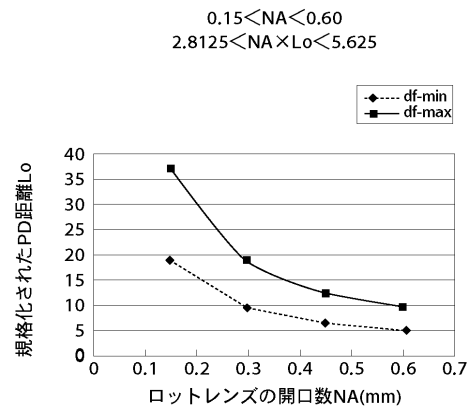
【図 8】



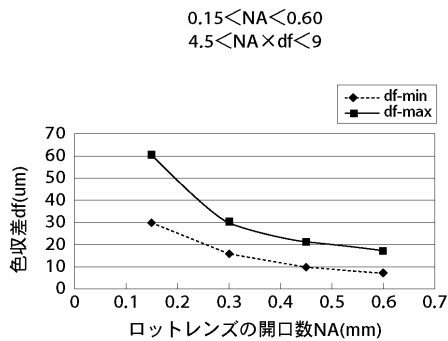
【図 9】



【図 11】



【図 10】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G040 AA02 AB07 AB12 BA02 BA24 CA12 CA23 EA06 EB02 GA05
GA07
2G059 BB04 DD12 EE04 EE11 GG01 JJ11 KK01 LL01 MM01