

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013年11月21日(21.11.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/171969 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 13/00 (2006.01) G02B 13/14 (2006.01)
G02B 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/002515
- (22) 国際出願日: 2013年4月12日(12.04.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-112423 2012年5月16日(16.05.2012) JP
- (71) 出願人: ソニー株式会社 (SONY CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 齊藤 政宏 (SAITO, Masahiro); 〒1080075
東京都港区港南1丁目7番1号ソニー株式会社
Tokyo (JP). 梶澤 秀年 (KABASAWA, Hidetoshi);
〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号ソ
ニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大森 純一 (OMORI, Junichi); 〒1070052
東京都港区赤坂7-5-47 U&M赤坂ビル
2F Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, 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, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: IMAGING OPTICAL SYSTEM, IMAGING DEVICE

(54) 発明の名称: 撮像光学系、撮像装置

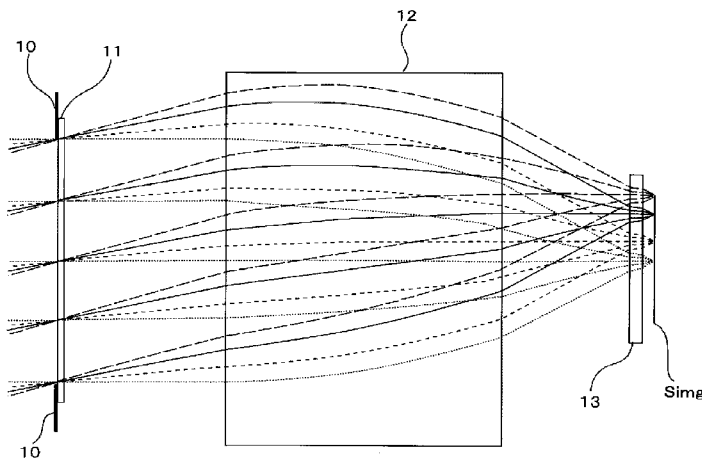


FIG. 8:
1 Implementation example

(57) Abstract: The invention is related to an imaging optical system that performs image formation for imaging for infrared and terahertz waves in particular, and provides for preventing a drop in image formation performance while providing for cost reduction. The invention is an imaging optical system: provided with a first lens (11) provided near an aperture diaphragm (10) and responsible for aberration correction, and provided with a second lens (12) placed between the first lens (11) and an imaging element, and responsible for light condensation; and in which the first lens (11) is a gradient index lens. The gradient index lens has a higher design degree of freedom than a lens with a uniform refractive index, and has high potential as an element for a lens. By using this type of gradient index lens, aberration correction can be achieved without performing high-cost processing such as polishing, for example. By means of this structure, it is possible to provide for preventing the drop in image formation performance, while providing for the cost reduction.

(57) 要約: 特に赤外線やテラヘルツ波について撮像のための結像を行う撮像光学系に関して、コストの削減を図りつつ、結像性能の低下の防止を図る。開口絞り(10)付近に設けられ収差補正を担う第1のレンズ(11)

と、上記第1のレンズ(11)と撮像素子との間に配置されて集光を担う第2のレンズ(12)とを備え、上記第1のレンズ(11)を屈折率分布型レンズとした撮像光学系とする。屈折率分布型レンズは、屈折率が一般的なレンズに比して設計上の自由度が高く、レンズ用素子として高い潜在力を持つものである。このような屈折率分布型レンズを用いることで、例えば研磨等の高コストな加工を施すことなく、収差補正を実現できる。これにより、コストの削減を図りつつ、結像性能の低下防止を図ることが可能となる。

WO 2013/171969 A1

明 細 書

発明の名称 : 撮像光学系、撮像装置

技術分野

[0001] 本技術は、画像検出のための結像を行う撮像光学系と、当該撮像光学系を用いた撮像装置とに関する。

背景技術

[0002] 画像検出のための撮像光学系として、可視光領域だけでなく、赤外線やテラヘルツといった周波数域で用いられる撮像光学系が開発されている。

例えば赤外線撮像光学系は、人間や動物などの対象物から発せられる熱、すなわち遠赤外線（波長 $8\ \mu\text{m}$ ~ $12\ \mu\text{m}$ ）を利用して、暗所での撮影や温度分布の観測等に用いられる。

また、テラヘルツ波（波長 $30\ \mu\text{m}$ ~ $3\ \text{mm}$: $100\ \text{GHz}$ ~ $10\ \text{THz}$ ）についての撮像光学系は、例えば空港施設における手荷物検査などのいわゆる非破壊検査に用いられている。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献1 : 特表2010-526318号公報
特許文献2 : 特開2011-82324号公報
特許文献3 : 特表2010-527565号公報
特許文献4 : 特表2008-507733号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ここで、上記のような赤外線やテラヘルツ波の撮像に用いられる撮像光学系としても、鮮明な撮像画像が得られるようにすべく、高分解能であることが望まれる。

[0005] 高分解能を実現するためには、各種光学収差の抑制が図られることが望ましい。

しかしながら、赤外線やテラヘルツ波の波長帯では透過率等の問題から使用できるレンズ材料が少なく、加工も困難であるという問題がある。

例えば赤外線に対する透過率が比較的高い材料としてゲルマニウム等が知られているが、これら赤外線透過率の高いレンズ材料は比較的硬度が高く、加工が困難である。

加工に長時間を要するなどして、コストの削減が困難となり、特に、収差補正のため非球面形状に加工（研磨）する場合には、精密な設備を用いた長時間の作業が必要であり、高コスト化は避けられないものとなる。

[0006] 本技術は上記問題点に鑑み為されたものであり、特に、赤外線やテラヘルツ波について撮像のための結像を行う撮像光学系に関して、コストの削減を図りつつ、結像性能の低下の防止を図ることをその課題とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本技術では上記課題の解決のため、撮像光学系を以下のように構成することとした。

つまり、本技術の撮像光学系は、開口絞り付近に設けられ収差補正を担う第1のレンズを備える。

また、上記第1のレンズと撮像素子との間に配置されて集光を担う第2のレンズを備える。

そして、上記第1のレンズが屈折率分布型レンズとされるものである。

[0008] また本技術では撮像装置を以下のように構成することとした。

すなわち、本技術の撮像装置は、上記本技術の撮像光学系を備えると共に、上記撮像光学系により結像された像を検出する像検出部と、上記像検出部による検出信号に基づいて撮像画像信号を得る画像信号取得部とを備えるものである。

[0009] ここで、屈折率分布型レンズは、屈折率が一様なレンズに比して設計上の自由度が高く、レンズ用素子として高い潜在力を持つものである。このような屈折率分布型レンズを用いる本技術によれば、例えば研磨等の高コストな加工を施すことなく、収差補正を実現できる。つまりこれにより、コストの

削減を図りつつ、結像性能の低下防止を図ることが可能となる。

発明の効果

[0010] 本技術によれば、撮像のための結像を行う撮像光学系、特に赤外線やテラヘルツ波についての撮像光学系に関して、コストの削減を図りつつ、結像性能の低下の防止を図ることができる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]実施の形態の撮像装置の内部構成を示したブロック図である。
- [図2]実施の形態の撮像光学系の構成概要について説明するための図である。
- [図3]球面収差補正にあたり与えられるべき半径方向の屈折率分布パターンの例を示した図である。
- [図4]メタ材料を構成する単位セルの構造例を示した図である。
- [図5]メタ材料の構造を示した図である。
- [図6]メタ材料レンズにおける屈折率分布付与の手法についての説明図である。
- [図7]十字型導電体の十字の手の長さを変化させた際の屈折率の測定結果を示した図である。
- [図8]実施例1としての撮像光学系の構成を示した図である。
- [図9]実施例1における第1レンズの屈折率分布の半径方向に対する二階微分をグラフ化して示した図である。
- [図10]実施例1の撮像光学系についての各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示した図である。
- [図11]実施例2としての撮像光学系の構成を示した図である。
- [図12]実施例2における第1レンズの屈折率分布の半径方向に対する二階微分をグラフ化して示した図である。
- [図13]実施例2の撮像光学系についての各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示した図である。
- [図14]実施例3としての撮像光学系の構成を示した図である。
- [図15]実施例3における第1レンズの屈折率分布の半径方向に対する二階微

分をグラフ化して示した図である。

[図16]実施例3における第1レンズの屈折率分布の光軸方向に対する二階微分をグラフ化して示した図である。

[図17]実施例3における第2レンズの屈折率分布の光軸方向に対する二階微分をグラフ化して示した図である。

[図18]実施例3の撮像光学系についての各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示した図である。

[図19]実施例4としての撮像光学系の構成を示した図である。

[図20]実施例4における第1レンズの屈折率分布の半径方向に対する二階微分をグラフ化して示した図である。

[図21]実施例4の撮像光学系についての各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示した図である。

[図22]実施例5としての撮像光学系の構成を示した図である。

[図23]実施例5における第1レンズの屈折率分布の半径方向に対する二階微分をグラフ化して示した図である。

[図24]実施例5の撮像光学系についての各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示した図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本技術に係る実施の形態について説明する。

なお、説明は以下の順で行う。

<1. 実施の形態としての撮像装置及び撮像光学系>

[1-1. 撮像装置の構成]

[1-2. 実施の形態の撮像光学系の概要]

<2. 具体的な実施例>

[2-1. 実施例1]

[2-2. 実施例2]

[2-3. 実施例3]

[2-4. 実施例4]

[2-5. 実施例 5]

< 3. 変形例 >

[0013] < 1. 実施の形態としての撮像装置及び撮像光学系 >

[1-1. 撮像装置の構成]

図 1 は、実施の形態としての撮像装置 1 の内部構成を示したブロック図である。

先ず前提として、本実施の形態の撮像装置 1 は、赤外線についての撮像を行う赤外線撮像装置であるとする。

[0014] 図 1 に示すように、撮像装置 1 は、光学ブロック 2、イメージセンサ（イメージャ） 3、画像信号取得部 4、及び画像信号処理部 5 を有して構成される。

光学ブロック 2 は、後述する実施の形態としての撮像光学系を包括的に表したものである。光学ブロック 2 は、図中に入射光 L_i と示す被写体（物体）からの赤外光（赤外線）をイメージセンサ 3 の撮像面（像面）に集光する。

[0015] イメージセンサ 3 は、光学ブロック 2 により集光された赤外線を検出し、上記被写体からの赤外線に応じた赤外線検出信号を得る。

赤外線検出信号を得るにあたってイメージセンサ 3 が備えるべき赤外線検出素子としては、例えば焦電素子を用いたものを挙げることができる。或いは、ゼーベック効果を生じさせる熱電対を接続したサーモパイル型、温度上昇による抵抗値の変化を利用したボロメータ型などの赤外線検出素子を用いることもできる。

なお、赤外線検出素子についてはこれらに限定されるべきものでなく、赤外線を検出できるものであればその種類は問わない。

[0016] なお、赤外線検出素子として焦電素子を用いた場合には、イメージセンサ 3 に入射する赤外光を周期的に遮蔽するためのシャッタを設けることになる。これは、焦電素子が、温度自体に応じた値を出力するものではなく、温度差（温度変化）に応じた値を出力する素子とされることに対応させるため

ある。すなわち、上記シャッタにより赤外光の周期的な照射状態／遮蔽状態を作り出すことにより意図的に温度差を発生させ、それにより、静止状態の物体についても、適正な温度分布画像（赤外線撮像画像）が得られるようにするものである。

[0017] 画像信号取得部4は、イメージセンサ3により得られる赤外線検出信号（上記赤外線検出素子ごとに得られる検出信号）を入力して、赤外線撮像画像信号を得る。

[0018] 画像信号処理部5は、画像信号取得部4で得られた撮像画像信号について各種の画像信号処理を施す。例えば、黒レベル補正、画素欠陥補完、収差補正、光学シェーディング補正、レンズディストーション補正、温度調整、距離変化量の算出、コーディング等を行う。

画像信号処理部5からの出力は、図示しないがインターフェース等を介して、撮像装置の外部のディスプレイ（画像表示装置）等に送られる。

[0019] [1-2. 実施の形態の撮像光学系の概要]

図2は、光学ブロック2内に設けられる、実施の形態としての撮像光学系の構成の概要について説明するための図である。

この図2を始めとして以下で説明する光学系の構成図（図8, 11, 14, 19, 22）においては、紙面の左側に撮像対象の物体が配置されているとする。すなわち、紙面左側が物体側、紙面右側が像面側となる。

なお、図2では撮像光学系の構成と共に、先の図1に示したイメージセンサ3も併せて示している。

[0020] 図示するように、実施の形態の撮像光学系は、物体側から像面側にかけて開口絞り10、第1レンズ11、第2レンズ12、センサ窓13が配置されている。

第1レンズ11は、収差補正を担うレンズであり、開口絞り10付近に設けられる。このように第1レンズ10が開口絞り10付近に配置されることで、球面収差の補正効果が高まる。

[0021] また、第2レンズ12は、第1レンズ11を通過した赤外光を集光する集

光レンズとして機能する。つまりは、赤外線像をイメージセンサ3の撮像面に結像させる結像レンズとして機能するものである。

[0022] センサ窓13は、例えば平板形状とされ、イメージセンサ3の撮像面を保護するために設けられる。

[0023] ここで、本実施の形態の撮像光学系では、少なくとも第1レンズ11が屈折率分布型レンズ（いわゆるGRINレンズ）で構成される。

GRINレンズは、屈折率が一般的なレンズに比して設計上の自由度が高く、レンズ用素子として高い潜在力を持つものである。

このようなGRINレンズを第1レンズ11に用いることで、収差補正にあたり従来のように高コストな加工を要することがなくなり、この点でコスト削減が図られる。

[0024] また、本実施の形態の撮像光学系では、第2レンズ12について、その焦点距離 f_2 が、該第2レンズ12も含めた撮像光学系全体の焦点距離 f と略一致するものとされている。

具体的には、例えば

[数1]

$$0.9 \leq \frac{f_2}{f} \leq 1.1 \quad \dots [式1]$$

の条件を満たすように、撮像光学系が設計されている。

[0025] 第2レンズ12の焦点距離 f_2 が撮像光学系全体の焦点距離 f と略一致するということは、光学系の集光機能はほぼ全て第2レンズ12が担っていることを意味するものであり、第1レンズ11側には集光機能を与える必要性は無いものとしてできる。つまりこれにより、第1レンズ11は、収差補正に特化したレンズとして設計することが可能となり、その結果、収差補正効果を高めることができるものである。

[0026] また、本実施の形態では、GRINレンズで構成される第1レンズ11の屈折率分布（以下、屈折率分布 N_1 とする）について、その半径方向に沿った

二階微分が単調増加となるように設計するものとしている。

[0027] ここで、GRINレンズの屈折率分布Nは、

[数2]

$$N = N_0 + nr_{12} \cdot R^2 + nr_{14} \cdot R^4 + nr_{16} \cdot R^6 + nz_{11} \cdot Z + nz_{12} \cdot Z^2 + nz_{13} \cdot Z^3 \quad \dots [式2]$$

と表される。

ただし [式2] において、 N_0 はGRINレンズの基準屈折率であり、Rはレンズの半径方向位置（入射面光軸中心を0）、Zはレンズの光軸方向位置（入射面光軸中心を0）を意味する。また、 nr_{ij} は R^j の項の係数、 nz_{ij} は Z^j の項の係数である。

なおここでは簡単のため、Rの項は6乗まで、Zの項は3乗までを記載しているが、さらに高次項を用いても同様である。

[0028] 上記 [式2] のように表されるGRINレンズの屈折率分布Nのうち、半径方向（r）における屈折率分布を「N（r）」と表記する。

本実施の形態の第1レンズ11は、このような屈折率分布N（r）の半径方向に沿った二階微分

[数3]

$$\frac{\partial^2 N}{\partial R^2} \quad \dots [式3]$$

が、単調増加となるようにされている。

[0029] ここで以下、第1レンズ11の半径方向における屈折率分布N（r）については「 N_1 （r）」と表記する。

また、この第1レンズ11の屈折率分布 N_1 （r）の半径方向に沿った二階微分は

[数4]

$$\frac{\partial^2 N_1}{\partial R^2} \quad \dots \text{ [式 4]}$$

と表記する。

[0030] 上記のように半径方向に沿った二階微分が単調増加となるように屈折率分布 $N_1(r)$ が与えられていることで、第1レンズ11による球面収差補正効果が得られる。

[0031] ここで、図3に、球面収差補正にあたり与えられるべき半径方向の屈折率分布パターンの例を示す。

球面収差補正効果を得るにあたっては、これら図3A又は図3Bに示されるような屈折率分布 $N(r)$ を与えることになる。

[0032] これら図3A、図3Bに示す何れの屈折率分布 $N(r)$ についても、その半径方向に沿った二階微分を行うと、その結果は単調増加となることが分かる。

このことより、屈折率分布 $N_1(r)$ の半径方向に沿った二階微分が単調増加となる第1レンズ11によれば、球面収差補正効果が得られるものである。

[0033] ここで、本実施の形態では、第1レンズ11のみでなく、第2レンズ12についても屈折率分布型レンズを用いるものとしている。

このことで、第2レンズ12自体、及び光学系全体の設計自由度の向上を図ることができる。

[0034] そして、本実施の形態では、第1レンズ11と第2レンズ12の何れか一方に、光軸方向にも屈折率分布を持たせることとしている。

光軸方向にも屈折率分布を持たせることで、光学設計の設計自由度をさらに増すことができる。

[0035] ここで、後述する実施例では、第1レンズ11と第2レンズ12の双方に、光軸方向への屈折率分布を持たせる構成を提案している（実施例3）。

このように第1レンズ11と第2レンズ12の双方に光軸方向にも屈折率分布を持たせる場合には、第1レンズ11の屈折率分布 N_1 についての光軸方向（Z）に沿った二階微分と、第2レンズ12の屈折率分布（以下、屈折率分布 N_2 と表記）についての光軸方向に沿った二階微分とが、正／負の関係となるようにすることで、広い画角においてMTF（Modulation Transfer Function）を改善できる。すなわち、分解能を向上できる。

[0036] ここで、上記のように「第1レンズ11の屈折率分布 N_1 についての光軸方向に沿った二階微分と、第2レンズ12の屈折率分布 N_2 についての光軸方向に沿った二階微分とが正／負の関係となる」との条件の一例としては、例えば次の[式5]に示す条件を挙げることができる。

[数5]

$$\left. \frac{\partial^2 N_1}{\partial Z^2} \right|_{z=t_1/2} \geq 0$$

かつ

$$\left. \frac{\partial^2 N_2}{\partial Z^2} \right|_{z=t_2/2} \leq 0 \quad \dots \text{[式5]}$$

ただし[式5]において、「 $N_1(r, z)$ 」は第1レンズ11の屈折率分布（半径方向及び光軸方向）を意味し、「 $N_2(r, z)$ 」は第2レンズ12の屈折率分布（半径方向及び光軸方向）を意味するものである。また t_1 、 t_2 はそれぞれ第1レンズ11、第2レンズ12の中心厚さを意味する。

[0037] 上記「第1レンズ11の屈折率分布 N_1 についての光軸方向に沿った二階微分と、第2レンズ12の屈折率分布 N_2 についての光軸方向に沿った二階微分とが正／負の関係となる」との条件を満たすことは、収差補正に関して、第1レンズ11側と第2レンズ12側とでバランスが取られていることを意味する。この結果、周辺の収差に対する補正効果を高めることができ、広い画

角において分解能の向上が図られる。

[0038] また、本実施の形態において、GRINレンズとしては、いわゆるメタマテリアルレンズを用いることができる。

ここで、メタマテリアルは、一辺の長さが使用波長よりも短い単位セルで構成された人工構造物であり、上記単位セルが、その内部に導電体を有し、該導電体が誘電体で支持されて構成されるものである。

[0039] 図4は、メタマテリアルを構成する単位セル15の構造例を示している。

図4A又は図4Bに示されるように、単位セル15は、その内部に導電体16を有している。この導電体16が誘電体により支持されて、単位セル15が形成されるものである。

[0040] このような単位セル15が、図5に示されるようにX、Y、Zの各方向に積層されて、メタマテリアル（メタマテリアルレンズ）が形成される。

[0041] ここで、メタマテリアルは、単位セル15内の構造を制御し、入射波長に対する電氣的共振と磁氣的共振の何れか、又は双方を利用することで、使用波長の電磁波に対する誘電率と透磁率を制御することができる。

周知のように誘電率（ ϵ ）と透磁率（ μ ）の積の平方根が屈折率となるものである。

[0042] ここで、このようなメタマテリアルを用いない従来のGRINレンズは、例えばイオン交換法やゾルゲル法などにより、材料の溶解中やゲル状の段階で電磁界を用いて金属イオンの分布をコントロールすることで作製されているが、このような従来のGRINレンズでは、複雑な屈折率分布を形成することが困難とされる。このため、非球面形状の効果に相当するような屈折率分布を得ることが困難なものとされる。

[0043] また、半径方向に屈折率分布を持たせる場合、素子のもつ光学パワーは、半径方向の屈折率差と光軸方向の長さで決定されるが、従来のGRINレンズでは大きな屈折率差を得ることが困難とされ、結果として、径が小さく、光軸側に長い形状にしないと、十分な光学パワーを得ることができない可能性がある。

つまりその結果として、本実施の形態で例示している赤外線撮像光学系のように比較的明るさを必要とする撮像光学系への適用が、困難となる虞がある。

[0044] この点に鑑み、後述の各実施例では、GRINレンズとしてメタマテリアルレンズを用いるものとしている。

メタマテリアルレンズでは、上述のように誘電率と透磁率の積の平方根が屈折率となる。このため、単位セル内の構造を場所ごとに変えることにより、複雑な屈折率分布を比較的容易に作り出すことができる。

[0045] このことから、メタマテリアルレンズを用いることで、既存のGRINレンズ作製法ではその実現に困難性があった、半径方向と光軸方向の屈折率分布の並存や、複雑な屈折率分布を容易に構成することが可能となる。

つまりこのことで、収差補正能力の高い高分解能な撮像光学系の設計が容易となるものである。

[0046] また、メタマテリアルレンズによれば大きな屈折率差も容易に実現できることから、各レンズ（特に集光を担う第2レンズ12）の薄型化や大口径化が容易となる。この点より、光学系の明るさの向上を図る上で有利とできる。

[0047] ここで、メタマテリアルレンズとした場合、これを構成する単位セル15の構造を工夫することで、偏光特性を制御することができる。

例えば先の図4Aに示したように、単位セル15内の構造がZ軸（光軸方向）、及びZ軸に垂直な面上にあるX軸及びY軸の3軸に対して対称な構造を有していれば、この単位セル15は、等方的な屈折率を持つ。つまり、任意の偏光方向を持つ入射電磁波に対して、同じ屈折率を示すことになる。

通常、撮像光学系にはあらゆる偏光方向を含んだ電磁波が入射する。図4Aに示す構造によれば、それら任意の偏光方向に対する屈折率を等しくできる。

[0048] 或いは、図4Bに示されるようにX軸・Y軸の2軸に対してのみ対称な構造とすることもできる。この場合、X-Y平面に偏光をもつ電磁波に対する

屈折率 N_{x-y} と、Z軸方向に偏光をもつ電磁波に対する屈折率 N_z は異なる値となる。

このとき、X-Y平面に垂直に入射する電磁波、つまりX-Y平面に平行な偏光をもつ電磁波に対しては屈折率 N_{x-y} を示すが、X-Y平面に垂直以外の角度を持って入射した電磁波や、X-Y平面に垂直に入射してもその後屈折した電磁波に対しては、 N_{x-y} と N_z からなる屈折率楕円体と、その電磁波の方向ベクトルとで決定される屈折率を示すことになる。

これは、レンズ内の同じ場所に入射する電磁波でも、入射角が異なると屈折率が異なることを意味しており、特に画角の大きな撮像光学系の設計を行う場合には、一つの自由度とすることができる。

[0049] メタマテリアルレンズは、微細加工技術を用いて作製することができる。

例えば、誘電体製のプリント基板上に導電体構造をエッチングすることで単位セル15を構成することができる。或いは、半導体プロセス（リソグラフィ、蒸着、エッチング等）を用いて作製しても良い。

また、液体・ゲル上の誘電体内に導電体構成を配置して後に、誘電体を硬化させる手法も開発されている。

本実施の形態において、メタマテリアルレンズの作製は、例えばこれら何れかの手法により行う。

[0050] 図6を参照して、メタマテリアルレンズにおける具体的な屈折率分布の付与の手法について説明しておく。

図6において、先ず前提として、この場合における単位セル15は略立方体形状とされ、その一辺の長さ m がおよそ $1\mu\text{m}$ とされているとする。

この場合、導電体16はCu（銅）であり、該導電体16を支持する誘電体はBaF₂（フッ化バリウム）とされる。

[0051] このようにBaF₂によって単位セル15内にCuの構造体を支持すると、Cuの形状を変形させることにより、屈折率を変化させることができる。

例えばこの図の例では、Cuの構造体として十字型の構造体を構成するものとしている。

十字型のCuが有する4つの手のそれぞれの幅aは一定とする（例えばa = 180 nm）。このとき、十字の手の長さbを図6A、図6Bに示すように変化させると、該長さbに応じて屈折率を調整できる

[0052] 図7は、手の長さbを変化させた際の屈折率の測定結果を示している。

具体的にこの図7では、手の長さbをb = 300 nm ~ 800 nmの範囲で100 nmごとに変化させた際における波長（ μm ）に対する屈折率変化特性を示している。

この図7からも、手の長さbによって屈折率を調整できることが分かる。

[0053] メタマテリアルレンズの屈折率分布は、このようなCu板（導電体16）の形状によって所要の屈折率が設定された単位セル15を、先の図5に示したような積層体状に組み合わせることによって付与することができる。具体的に、単位セル15の半径方向への積層により半径方向における屈折率分布N(r)を付与でき、また光軸方向への積層により光軸方向における屈折率分布N(z)を付与できるものである。

後述する各実施例においては、このような手法により所要の屈折率分布を持つメタマテリアルレンズを作製するものとした。

[0054] ここで、本実施の形態において、メタマテリアルレンズとしては、第1レンズ11のみ、或いは第1レンズ11と第2レンズ12の双方に用いることができるが、特に第2レンズ12にメタマテリアルレンズを用いるものとした場合、第2レンズ12は、1枚のメタマテリアルレンズではなく複数枚のメタマテリアルレンズで構成することができる。

これまでの説明からも理解されるように、本実施の形態では、結像のための光学パワーを第2レンズ12に集中させていることから、第2レンズ12は厚くなる傾向となる。導電体構造や誘電体を積層してメタマテリアルレンズを作製する場合には、レンズ厚さが厚くなると、その分製造時間も長くなってしまふ。

そこで、特に第2レンズ12については、複数枚のメタマテリアルレンズから成るレンズ群で構成することで、製造時間の短縮化を図ることができる

。すなわち、メタマテリアルレンズ1枚あたりの厚さを薄くできるので、個々のメタマテリアルレンズの製造時間を短縮化することができ、各レンズの製造を並行して行うものとするれば、第2レンズ12の製造時間は1枚のメタマテリアルレンズで構成する場合よりも大幅に短縮化できるものである。

なお、このように複数のメタマテリアルレンズから成るレンズ群とする場合、個々のメタマテリアルレンズの厚さは、強度確保の観点より0.2mm以上とすることが望ましい。

[0055] ところで、近年では、温度センサや人感センサとして遠赤外線を利用したデバイスが用いられるようになってきたが、これらは解像度が低い構成であり、サーモビューワやナイトビジョンシステムのように撮像対象の形状まで結像するような光学系を有するデバイスは限られている。今後、デバイスの普及を多用途に広げていくためには、光学系の広画角化が要請される。具体的には、少なくとも画角 25° を越えるものが望ましいものとなる。

後述する具体的な実施例においては、この点を考慮して光学系の設計を行っている。

[0056] また、遠赤外光やテラヘルツ波はエネルギーが低いため、可視光で使用している撮像素子は使用できず、イメージセンサ3の感度は比較的低いものとなる。従って、より多くの光量を集光するためにもF値は高いことが望ましく、例えばF値=1.8以下の構成とすることが望ましい。



また、温度分布測定等の解像度の必要な用途においては、集光量を上げ分解能の向上を図るべく、F値=1.3以下とすることが望ましい。

以下の各実施例においては、このようなF値に係る要請も考慮して光学系の設計を行っている。

[0057] <2. 具体的な実施例>

[2-1. 実施例1]

図8は、実施例1としての撮像光学系の構成を示している。

なお図8において、図中の面Sは、図1（及び図2）に示したイメージセンサ3の撮像面を表す（以下、撮像面Sと表記）。

また図8では赤外光（遠赤外光：中心波長 $10\mu\text{m}$ ）の光線も併せて示している。

図中の短破線で示す光線は像高 0.0mm に集光する光線を表し、丸破線で示す光線は像高 1.5mm に集光する光線を表している。また実線で示す光線は像高 3.5mm に、長破線で示す光線は像高 5.0mm にそれぞれ集光する光線を表す。

[0058] 本実施例においては、第1レンズ11、第2レンズ12の双方にメタマテリアルレンズを用いるものとしている。

そして本実施例では、これら第1レンズ11、第2レンズ12の双方とも、半径方向にのみ屈折率分布を与えるものとし、光軸方向への屈折率分布付与は行っていない。

具体的に、この場合に設定した第1レンズ11、第2レンズ12の各係数を以下に示す。

第1レンズ11

$$t_1 = 0.51\text{mm}$$

$$N_{10} = 1.5$$

$$n_{r_{12}} = -0.0045619$$

$$n_{r_{14}} = 2.6341 \times 10^{-5}$$

$$n_{r_{16}} = 3.9083 \times 10^{-8}$$

$$n_{z_{11}} = 0$$

$$n_{z_{12}} = 0$$

$$n_{z_{13}} = 0$$

第2レンズ12

$$t_2 = 20.98\text{mm}$$

$$N_{20} = 1.7$$

$$n_{r_{22}} = -0.0014226$$

$$n_{r_{24}} = 1.5207 \times 10^{-7}$$

$$n_{r_{26}} = -2.4759 \times 10^{-10}$$

$$n_{z_{11}} = 0$$

$$n_{z_{12}} = 0$$

$$n_{z_{13}} = 0$$

ただし、 t_1 、 t_2 はそれぞれ第1レンズ11、第2レンズ12の中心厚さである。

また、 N_{20} は第2レンズ12の基準屈折率である。

[0059] 撮像光学系の構成としては、物体—開口絞り10間の距離を9000mm、開口絞り10—第1レンズ11間の距離を0mm、第1レンズ11—第2レンズ12間の距離を12.27mm、第2レンズ12—センサ窓13間の距離を9.60mm、センサ窓13—撮像面Simg間の距離を0.95mmとしている。

センサ窓13は、厚み1.0mmのSi（シリコン）製であり、波長10 μ mにおける屈折率は3.42である。

光学系全体の焦点距離 f は19mmであり、開口絞り10の直径は18.1mmで、F値=1.06、水平画角23.8度を実現している。

[0060] ここで、第1レンズ11の屈折率分布 N_1 を半径方向位置 R で二階微分した値は、

[数6]

$$\frac{\partial^2 N_1}{\partial R^2} = 2 \cdot nr_{12} + 12 \cdot nr_{14} \cdot R^2 + 30 \cdot nr_{16} \cdot R^4 \quad \dots \text{[式6]}$$

と表される。

実施例1では、 nr_{14} と nr_{16} の値が正であるため、この場合における屈折率分布 N_1 の半径方向に対する二階微分は、図9にそのグラフを示すように、単調増加となる（ R の増加に対し単調増加）。

[0061] また、第2レンズ12単体の焦点距離 f_2 は、GRINレンズの焦点距離の公式より、 nr_{22} が負のとき、以下によって与えられるものである。

[数7]

$$f_2 = \frac{1}{\sqrt{|2 \cdot N_{20} \cdot nr_{22}|} \cdot \sin \left(t_2 \cdot \left| \frac{2 \cdot nr_{22}}{N_{20}} \right|^{1/2} \right)} \quad \dots \text{[式7]}$$

[0062] この [式7] と、この場合の第2レンズ12に設定した係数 $nr_{22} = -0.0014226$ とによると、実施例1における焦点距離 f_2 は19.0と計算される。

従って、 $f_2/f = 1.0$ であり、前述した「 $0.9 \leq f_2/f \leq 1.1$ 」による条件を満たす。つまりこのことから、収差（コマ収差及びアス収差）を抑制する構成となっていることが分かる。

[0063] 図10は、実施例1の撮像光学系についての各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示している。

なおこの図10を始めとして以降で示すMTF図（図13、18、21、24）の共通事項として、図中の短波線は像高0.0mmの特性、丸波線は像高1.5mmの特性、実線は像高3.5mmの特性を表す。また、図中「T」の表記はタンジェンシャル値を意味し、「S」の表記はサジタル値を意味する。

[0064] ここで、像高5.0mmを10割とした場合、0割にあたる像高0.0mmと、3割にあたる像高1.5mmとで、20 line pairs/mmにおけるMTF値が0.3以上となり、且つ、7割にあたる像高3.5mmで10 line pairs/mmにおけるMTF値が0.3以上となることが望ましい。

[0065] 本実施例では、上記の設計によって、像高0.0mmにおける20 line pairs/mmにおけるMTF値（タンジェンシャル及びサジタル）が0.688、像高1.5mmにおける20 line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.621、サジタル値0.631、像高3.5mmにおける10 line pairs/mmでのMTFのタンジェン

シャル値0.661、サジタル値0.482と、高い分解能が得られている。

[0066] 上記により説明した実施例1によれば、2枚のGRINレンズを使用することにより、レンズの枚数を抑えながら、球面収差、コマ収差、アス収差という種々の収差を抑制して、高分解能な画像を得ることができる。

また、GRINレンズをメタマテリアルによって作製することにより、高次数の屈折率分布や、半径方向と光軸方向にともに屈折率分布をもつレンズが実現可能となり、F値が小さく、画角の広い、さらに入射光の偏光方向を考慮した光学系を構成できる。

[0067] [2-2. 実施例2]

図11は、実施例2としての撮像光学系の構成を示している。

なお、図11においても各像高(0.0mm、1.5mm、3.5mm、5.0mm)に集光する赤外光の光線を併せて示している。この場合も像高0.0mm=短破線、像高1.5mm=丸破線、像高3.5mm=実線、像高5.0mm=長破線となる。

[0068] この図11に示す実施例2としての撮像光学系においても、第1レンズ11、第2レンズ12の双方にメタマテリアルレンズを用いるものとしている。

実施例2では、第1レンズ11が半径方向に対してのみ屈折率分布が付与され、第2レンズ12には、半径方向と光軸方向の双方に対して屈折率分布を与えるものとしている。

実施例2における第1レンズ11、第2レンズ12の係数は以下の通りである。

第1レンズ11

$$t_1 = 1.45 \text{ mm}$$

$$N_{10} = 1.5$$

$$n_{r_{12}} = -0.0026979$$

$$n_{r_{14}} = 8.3000 \times 10^{-6}$$

$$n r_{16} = 1.3708 \times 10^{-8}$$

$$n z_{11} = 0$$

$$n z_{12} = 0$$

$$n z_{13} = 0$$

第2レンズ12

$$t_2 : 22.1 \text{ mm}$$

$$N_{20} = 1.7$$

$$n r_{22} = -0.0012917$$

$$n r_{24} = 6.0592 \times 10^{-8}$$

$$n r_{26} = -1.0504 \times 10^{-10}$$

$$n z_{11} = 0.18715$$

$$n z_{12} = -0.010492$$

$$n z_{13} = 0.00016204$$

[0069] 実施例2の場合も、物体－開口絞り10間の距離は9000mm、開口絞り10－第1レンズ11間の距離は0mmである。この場合、第1レンズ11－第2レンズ12間の距離は13.47mm、第2レンズ12－センサ窓13間の距離は10.54mm、センサ窓13－撮像面Simg間の距離は0.95mmとしている。

実施例2においてもセンサ窓13は厚み1.0mmのSi製であり、波長10 μ mにおける屈折率は3.42である。

この場合も光学系全体の焦点距離fは19mm、開口絞り10の直径は18.1mmであり、F値=1.06、水平画角23.8度を実現している。

[0070] この実施例2の光学系においても、第1レンズ11の屈折率分布 N_1 を半径方向位置Rに沿って二階微分した値は、単調増加となる。

すなわち、実施例2においても、 $n r_{14}$ と $n r_{16}$ の値が正のため、図12にグラフ化して示すように、第1レンズ11の屈折率分布 N_1 の半径方向に対する二階微分はRの増加に対して単調増加となる。

[0071] また実施例2において、第2レンズ12単体の焦点距離 f_2 は、この場合に

設定された $n r_{22} = -0.0012917$ と先の [式7] とにより 19.88 と計算される。従って $f_2/f = 1.05$ である。

よって、この場合も「 $0.9 \leq f_2/f \leq 1.1$ 」の条件を満たし、コマ収差及びアス収差を抑制する構成となっている。

[0072] 図13は、実施例2の撮像光学系についての各像高（像高1.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示している。

実施例2の場合、像高0.0mmにおける20 line pairs/mmでのMTF値（タンジェンシャル及びサジタル）が0.687、像高1.5mmにおける20 line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.664、サジタル値0.715、像高3.5mmにおける10 line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.824、サジタル値0.781と、高い分解能が得られる。

[0073] 上記による実施例2によっても、2枚のGRINレンズを使用することにより、レンズの枚数を抑えながら、球面収差、コマ収差、アス収差という種々の収差を抑制して、高分解能な画像を得ることができる。また、GRINレンズとしてメタマテリアルレンズを用いることで、高次数の屈折率分布や、半径方向と光軸方向にともに屈折率分布をもつレンズが実現可能となり、F値が小さく、画角の広い、さらに入射光の偏光方向を考慮した光学系を構成できる。

[0074] [2-3. 実施例3]

図14は、実施例3としての撮像光学系の構成を示している。

なお、図13においても各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm、5.0mm）に集光する赤外光の光線を併せて示している。この場合も像高0.0mm＝短破線、像高1.5mm＝丸破線、像高3.5mm＝実線、像高5.0mm＝長破線となる。

[0075] 図14に示す実施例3としての撮像光学系においても、第1レンズ11、第2レンズ12の双方にメタマテリアルレンズを用いるものとしている。

実施例3では、第1レンズ11、第2レンズ12の双方について、半径方

向と光軸方向の双方に対する屈折率分布の付与を行うものとしている。

実施例3における第1レンズ11、第2レンズ12の係数は以下の通りである。

第1レンズ11

$$t_1 = 0.32 \text{ mm}$$

$$N_{10} = 1.5$$

$$n_{r_{12}} = -0.0084099$$

$$n_{r_{14}} = 4.5915 \times 10^{-5}$$

$$n_{r_{16}} = 2.3249 \times 10^{-8}$$

$$n_{z_{11}} = -11.279$$

$$n_{z_{12}} = 54.660$$

$$n_{z_{13}} = -53.038$$

第2レンズ12

$$t_2 = 21.59 \text{ mm}$$

$$N_{20} = 1.7$$

$$n_{r_{22}} = -0.0013365$$

$$n_{r_{24}} = 1.0580 \times 10^{-7}$$

$$n_{r_{26}} = -2.0880 \times 10^{-10}$$

$$n_{z_{11}} = 0.16587$$

$$n_{z_{12}} = -0.011007$$

$$n_{z_{13}} = 0.00013715$$

[0076] 実施例3においても、物体—開口絞り10間の距離は9000mm、開口絞り—第1レンズ11間の距離は0mmである。またこの場合、第1レンズ11—第2レンズ12間の距離は13.06mm、第2レンズ12—センサ窓13間の距離は10.38mm、センサ窓13—撮像面Simg間の距離は0.95mmである。

この場合もセンサ窓13は厚み1.0mmのSi製であり、波長10 μ mにおける屈折率は3.42である。

本実施例においても、光学系全体の焦点距離 f は 19 mm、開口絞りの直径は 18.1 mm であり、 F 値 = 1.06、水平画角 23.8 度を実現している。

[0077] この実施例 3 においても、第 1 レンズ 11 の屈折率分布 N_1 を半径方向位置 R に沿って二階微分した値は、単調増加となる。

すなわち、この場合も $n_{r_{14}}$ と $n_{r_{16}}$ の値が正のため、図 15 にグラフ化して示すように、屈折率分布 N_1 の半径方向に対する二階微分は R の増加に対して単調増加となる。

[0078] また実施例 3 において、第 2 レンズ 12 単体の焦点距離 f_2 は、 $n_{r_{22}} = -0.0013365$ と先の [式 7] とにより 19.64 と計算される。従って $f_2/f = 1.03$ である。

よって、この場合も「 $0.9 \leq f_2/f \leq 1.1$ 」を満たし、コマ収差とアス収差を抑制する構成となっている。

[0079] ここで、実施例 3 では、第 1 レンズ 11 と第 2 レンズ 12 の双方において、光軸方向への屈折率分布が与えられている。

第 1 レンズ 11 の屈折率分布 N_1 の光軸方向位置 Z に対する二階微分は、

[数 8]

$$\frac{\partial^2 N_1}{\partial Z^2} = 2 \cdot n_{z_{12}} + 6 \cdot n_{z_{13}} \cdot Z \quad \dots \text{ [式 8]}$$

である。

図 16 は、上記 [式 8] をグラフ化して示しているが、この図 16 に示されるように、[式 8] は第 1 レンズ 11 の厚さ $Z = 0 \sim 0.32$ mm の範囲で常に正となる。

[0080] 一方、第 2 レンズ 12 の屈折率分布 N_2 の光軸方向位置 Z に対する二階微分は、

[数9]

$$\frac{\partial^2 N_2}{\partial Z^2} = 2 \cdot nz_{22} + 6 \cdot nz_{23} \cdot Z \quad \dots [式9]$$

である。

図17に上記[式9]をグラフ化して示すが、この図17にあるように[式9]は第2レンズ12の厚さ $Z = 0 \sim 21.59 \text{ mm}$ の範囲で常に負となっている。

[0081] よって、 $z = t_1/2$ において上記[式8]は正となり、 $z = t_2/2$ において上記[式9]は負となる。

すなわち、実施例3は、前述した「第1レンズ11の屈折率分布 N_1 についての光軸方向に沿った二階微分と、第2レンズ12の屈折率分布 N_2 についての光軸方向に沿った二階微分とが正/負の関係となる」との条件を満たすものである。

[0082] 図18は、実施例3の撮像光学系についての各像高(0.0 mm、1.5 mm、3.5 mm)における分解能特性(MTF)を示している。

実施例3では、像高0.0 mmにおける20 line pairs/mmでのMTF値(タンジェンシャル及びサジタル)が0.718、像高1.5 mmにおける20 line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.655、サジタル値0.658、像高3.5 mmにおける10 line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.692、サジタル値0.707と、高い分解能が得られる。

[0083] この実施例3によっても、2枚のGRINレンズを使用することにより、レンズの枚数を抑えながら球面収差、コマ収差、アス収差という種々の収差を抑制して、高分解能な画像を得ることができる。また、この場合もGRINレンズとしてメタマテリアルレンズを用いることで、高次数の屈折率分布や、半径方向と光軸方向にともに屈折率分布をもつレンズが実現可能となり、F値が小さく、画角の広い、さらに入射光の偏光方向を考慮した光学系を

構成できる。

[0084] [2-4. 実施例4]

図19は、実施例4としての撮像光学系の構成を示している。

なお、図19においても各像高（0.0mm、1.5mm、3.5mm、5.0mm）に集光する赤外光の光線を併せて示している。この場合も像高0.0mm＝短破線、像高1.5mm＝丸破線、像高3.5mm＝実線、像高5.0mm＝長破線となる。

[0085] 実施例4としての撮像光学系も、第1レンズ11、第2レンズ12の双方にメタマテリアルレンズを用いるものとしている。

実施例4は、図示するように第2レンズ12を複数のメタマテリアルレンズ12aで構成するようにしたものである。

具体的に、この場合の第2レンズ12は、20枚のメタマテリアルレンズ12aの個々を所定間隔を空けて光軸方向に配列させて成る。本例において、各メタマテリアルレンズ12aの間隔は0.2mmとした。

[0086] この実施例4では、先の実施例2と同様に、第1レンズ11、第2レンズ12の双方が半径方向への屈折率分布を持つが、第2レンズ12側にのみ光軸方向への屈折率分布を付与するものとしている。

[0087] 実施例4における第1レンズ11、第2レンズ12の係数は以下の通りである。

第1レンズ11

$$t_1 = 1.0 \text{ mm}$$

$$N_{10} = 1.5$$

$$n_{r12} = -0.0030892$$

$$n_{r14} = 1.4311 \times 10^{-5}$$

$$n_{r16} = 1.7893 \times 10^{-8}$$

$$n_{z11} = 0.0$$

$$n_{z12} = 0.0$$

$$n_{z13} = 0.0$$

第2レンズ12を構成する個々のメタマテリアルレンズ12a

$$t_2: 1.0 \text{ mm}$$

$$N_{20} = 1.7$$

$$n_{r_{22}} = -0.0014303404$$

$$n_{r_{24}} = 6.8750 \times 10^{-8}$$

$$n_{r_{26}} = -9.9276 \times 10^{-11}$$

$$n_{z_{11}} = 21.915$$

$$n_{z_{12}} = -13.609$$

$$n_{z_{13}} = 4.3708$$

確認のため述べておくと、この場合、上記 t_2 は1枚のメタマテリアルレンズ12aの中心厚さを表すものとなる。

[0088] ここで、上記の設定値からも理解されるように、本例では、第2レンズ12を構成する各レンズ12aは同じ設計のレンズとしている。

このように各レンズを同じ設計とすれば、製造効率の向上を図ることができ、結果としてコストの削減に繋がる。

[0089] また本例では、第1レンズ11と、第2レンズ12を構成する各メタマテリアルレンズ12aとについて、それぞれの厚さを1.0mmに共通化している。これにより、前述のような単位セル構造を積層してメタマテリアルレンズを作製する手法を採る場合に、各レンズを効率的に作製できる。

[0090] 実施例4においても、物体－開口絞り10間の距離は9000mm、開口絞り10－第1レンズ11間の距離は0mmである。この場合、第1レンズ11－第2レンズ12間の距離は15.22mm、第2レンズ12－センサ窓13間の距離は11.85mm、センサ窓13－撮像面Simg間の距離は0.95mmとしている。

この場合もセンサ窓13は厚み1.0mmのSi製であり、波長10 μ mにおける屈折率は3.42である。

またこの場合、光学系全体の焦点距離fは18.64mmであり、開口絞りの直径は17.75mmである。

実施例4では、F値＝1.05、水平画角24.2度を実現している。

[0091] この実施例4において、第1レンズ11の屈折率分布 N_1 を半径方向位置Rに沿って二階微分した値は、この場合も n_{r14} と n_{r16} の値が正のため、図20にグラフ化して示すように、Rの増加に対して単調増加となる。

[0092] またこの場合、第2レンズ12の焦点距離 f_2 は18.60mmとしている。本例では光学系全体の焦点距離 f が18.64mmであるため、 $f_2/f = 0.998$ である。

よって、この場合も「 $0.9 \leq f_2/f \leq 1.1$ 」の条件を満たし、コマ収差とアス収差を抑制する構成となっている。

[0093] 図21は、実施例4の撮像光学系についての各像高（像高1.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示している。

実施例4の場合、像高0.0mmにおける20line pairs/mmでのMTF値（タンジェンシャル及びサジタル）が0.727、像高1.5mmにおける20line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.695、サジタル値0.719、像高3.5mmにおける10line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.811、サジタル値0.852と、高い分解能が得られる。

[0094] 実施例4によっても、GRINレンズを使用することにより、球面収差、コマ収差、アス収差という種々の収差を抑制して、高分解能な画像を得ることができる。また、この場合もGRINレンズとしてメタマテリアルレンズを用いることで、高次数の屈折率分布や、半径方向と光軸方向にともに屈折率分布をもつレンズが実現可能となり、F値が小さく、画角の広い、さらに入射光の偏光方向を考慮した光学系を構成できる。

[0095] ところで、実施例4の第2レンズ12については、これを構成する各メタマテリアルレンズ12aを、間隔を空けずに配置することもできる。

この際、例えば各レンズ12aの平面度のばらつき等に起因して、各レンズ12aを隙間無く密着させて配置することが困難な場合がある。各レンズ12aの間に不要な隙間が生じた場合、光干渉が生じる虞があり、この点を

考慮すれば、各レンズ 1 2 a は所定の間隔を空けて配置することが望ましいと言える。

[0096] ここで、第 2 レンズ 1 2 を構成する各レンズ 1 2 a を所定間隔を空けて配置した場合には、各レンズ 1 2 a の間において、空気との屈折率差により反射が生じることになる。このような反射による光量ロスを低減するために、各レンズ 1 2 a に反射防止加工を施すことが望ましい。

例えば各メタマテリアルレンズ 1 2 a の両面に反射防止膜を成膜するなどの手法を採ることができる。

[0097] 或いは、反射防止は、反射防止膜の成膜ではなく、メタマテリアルレンズ 1 2 a の構造を工夫することで実現することもできる。

ここで、メタマテリアルレンズ 1 2 a を構成する単位セル 1 5 は、その誘電率と透磁率の積を保ちつつ、誘電率と透磁率の比を調整することで、隣接する物質と同じインピーダンスを持ちながら異なる屈折率を持たせることが可能である。このような性質を利用すれば、メタマテリアルレンズ 1 2 a と空気との境界面での反射を抑制することができる。

具体的に、単位セル 1 5 内の構造を、誘電率 ϵ と透磁率 μ が等しくなるように構成すると、屈折率 $n = (\epsilon \mu)^{1/2}$ を調整しながら、インピーダンス $Z = (\mu / \epsilon)^{1/2} = 1$ とすることができ、空気との境界面におけるフレネル反射を抑えることができるものである。

[0098] なお、このようにメタマテリアルレンズの構造自体により反射防止効果を得る構成は、第 1 レンズ 1 1 側にも採用することができ、また、先の実施例 1 等のように第 2 レンズ 1 2 を 1 枚のメタマテリアルレンズで構成する場合における当該メタマテリアルレンズにも適用できるものである。

[0099] [2-5. 実施例 5]

図 2 2 は、実施例 5 としての撮像光学系の構成を示している。

なお、図 2 2 においても各像高 (0.0 mm、1.5 mm、3.5 mm、5.0 mm) に集光する赤外光の光線を併せて示している。この場合も像高 0.0 mm = 短破線、像高 1.5 mm = 丸破線、像高 3.5 mm = 実線、像

高5. 0 mm = 長破線となる。

[0100] 図22に示されるように、実施例5の撮像光学系は、先の実施例1~3と同様に、第1レンズ11及び第2レンズ12をそれぞれ1枚のレンズで構成するものとしている。

この場合も第1レンズ11、第2レンズ12の双方にメタマテリアルレンズを用いるものとしている。

また実施例5では、先の実施例1と同様に、第1レンズ11、第2レンズ12の双方に半径方向にのみ屈折率分布を持たせるものとしている。

[0101] 実施例5は、以下の設計により、特に色収差の抑制を図ったものとなる。実施例5で設定した第1レンズ11、第2レンズ12の係数を以下に示す。

第1レンズ11

$$t_1 = 0.4 \text{ mm}$$

$$N_{10} = 1.5$$

$$n_{r12} = -0.011$$

$$n_{r14} = 3.2962 \times 10^{-5}$$

$$n_{r16} = 4.3911 \times 10^{-8}$$

$$n_{z11} = 0$$

$$n_{z12} = 0$$

$$n_{z13} = 0$$

第2レンズ12

$$t_2 = 16.07 \text{ mm}$$

$$N_{20} = 1.7$$

$$n_{r22} = -0.0018027$$

$$n_{r24} = 2.5702 \times 10^{-7}$$

$$n_{r26} = -3.7334 \times 10^{-10}$$

$$n_{z11} = 0$$

$$n_{z12} = 0$$

$$n_{z_{13}} = 0$$

[0102] また、実施例5においても、物体—開口絞り10間の距離は9000mm、開口絞り10—第1レンズ11間の距離は0mmである。

この場合、第1レンズ10—第2レンズ12間の距離は14.2mm、第2レンズ12—センサ窓13間の距離は9.65mm、センサ窓13—撮像面Simg間の距離は0.95mmとしている。

この場合もセンサ窓13は厚み1.0mmのSi製であり、波長10 μ mにおける屈折率は3.42である。

本例の場合、光学系全体の焦点距離fは19mmであり、開口絞りの直径は18.1mmで、F値=1.06、水平画角23.8度を実現している。

[0103] 実施例5の光学系においても、第1レンズ11の屈折率分布 N_1 を半径方向位置Rで二階微分した値は、単調増加となる。すなわち、実施例5においても、 $n_{r_{14}}$ と $n_{r_{16}}$ の値が正のため、図23にグラフ化して示すように、第1レンズ11の屈折率分布 N_1 の半径方向に対する二階微分はRの増加に対して単調増加となる。

[0104] また実施例5において、第2レンズ12単体の焦点距離 f_2 は、この場合に設定された $n_{r_{22}} = -0.0018027$ と先の[式7]とにより18.94と計算される。従ってこの場合、 $f_2/f = 1.003$ であり、「 $0.9 \leq f_2/f \leq 1.1$ 」の条件を満たし、コマ収差及びアス収差を抑制する構成となっている。

[0105] 図24は、実施例5の撮像光学系についての各像高（像高1.0mm、1.5mm、3.5mm）における分解能特性（MTF）を示している。

実施例5の場合、像高0.0mmにおける20line pairs/mmでのMTF値（タンジェンシャル及びサジタル）が0.676、像高1.5mmにおける20line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.583、サジタル値0.667、像高3.5mmにおける10line pairs/mmでのMTFのタンジェンシャル値0.588、サジタル値0.475と、高い分解能が得られている。

[0106] 実施例5によっても、2枚のGRINレンズを使用することにより、レンズの枚数を抑えながら球面収差、コマ収差、アス収差という種々の収差を抑制して高分解能な画像を得ることができる。

また、この場合もGRINレンズとしてメタマテリアルレンズを用いることで、高次数の屈折率分布や、半径方向と光軸方向にともに屈折率分布をもつレンズが実現可能となり、F値が小さく、画角の広い、さらに入射光の偏光方向を考慮した光学系を構成できる。

[0107] ここで、これまでで説明した各実施例においては、上述のように第2レンズ12の焦点距離 f_2 について「 $0.9 \leq f_2 / f \leq 1.1$ 」の条件を満たすため、第1レンズ11の集光パワーを決定する係数 n_{r12} は、ほぼ0に等しい値となる。

[0108] しかしながら、この係数 n_{r12} を0に対してより小さな値とすることで、色収差を軽減することができる。

[0109] 色収差を抑制するには色分散の小さい材料を使用すれば良いことは自明であるが、例えば各実施例にて用いるメタマテリアルレンズのように、先の図7に示したような屈折率変化特性をもつメタマテリアル材料を使用した場合を考える。

図7において、このメタマテリアル材料では、波長 $10 \mu\text{m}$ に対して屈折率1.5を持つ構造部分は、波長 $12 \mu\text{m}$ に対しては1.4701の屈折率を持つ。また波長 $10 \mu\text{m}$ で屈折率1.7となる構造部分は、波長 $12 \mu\text{m}$ で1.6599の屈折率を持つ。

このとき、 n_{r12} の値が -0.0045619 である実施例1では色収差が 0.88 mm であるのに対し、 n_{r12} の値が -0.011 である実施例5では、色収差が 0.82 mm となり、色収差が改善されるものとなる。

[0110] よって、より色分散の小さい材料又はメタマテリアル材料を用い、 n_{r12} の値を0に対してより小さくすることで、より色収差を抑制した設計が可能であることが分かる。

なお、 n_{r12} の値のみについてみれば、色収差の抑制効果を得るにあたって

は、少なくとも「 $n r_{12} < 0$ 」とすればよいものである。

[0111] <3. 変形例>

以上、本技術の撮像光学系及び撮像装置に係る実施形態について説明したが、本技術としてはこれまでで説明した具体例に限定されるべきものではない。

例えば、各実施例においては、本技術が赤外線画像（波長 $8 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$ 程度）の撮像に適用される場合を例示したが、本技術は、テラヘルツ波の撮像にも好適に適用できる。

テラヘルツ波の撮像光学系としては、例えば被写体に対しレーザ光を照射してテラヘルツ波を発生させ、該発生させたテラヘルツ波を開口絞り 10 を介して入射するように構成すればよい。開口絞り 10 以降の構成は、これまでで説明したものと同様でよい。またイメージセンサ 3 については、テラヘルツ波に対する感度を有するものを用いる。

[0112] また、これまでの説明では、開口絞り 10 と第 1 レンズ 11 との間の距離を 0 とする場合を例示したが、球面収差補正効果の向上を図る上では、第 1 レンズ 11 は開口絞り 10 にできるだけ近接して配置されればよい。

[0113] また、第 2 レンズ 12 を複数枚のメタマテリアルレンズ 12 a で構成する場合において、先の実施例 4 では、各レンズ 12 a を同じ設計とする場合のみを例示したが、それぞれ別の設計のレンズを用いる、或いは同じ設計と別の設計のレンズとを組み合わせることも勿論可能である。

[0114] また、本技術は以下に示す構成を採ることもできる。

(1)

開口絞り付近に設けられ収差補正を担う第 1 のレンズと、
上記第 1 のレンズと撮像素子との間に配置されて集光を担う第 2 のレンズと

を備えると共に、

上記第 1 のレンズが屈折率分布型レンズとされる

撮像光学系。

(2)

上記第2レンズの焦点距離が当該撮像光学系の全体焦点距離と略一致している上記(1)に記載の撮像光学系。

(3)

上記第1のレンズは、

その屈折率分布についての半径方向に沿った二階微分が単調増加となるように設計されている

上記(2)に記載の撮像光学系。

(4)

上記第2のレンズが屈折率分布型レンズとされる上記(3)に記載の撮像光学系。

(5)

上記第1のレンズ又は上記第2のレンズの何れかが光軸方向への屈折率分布をもつ上記(4)に記載の撮像光学系。

(6)

上記第1のレンズと上記第2のレンズの双方が、光軸方向への屈折率分布をもち、

上記第1のレンズの屈折率分布についての光軸方向に沿った二階微分と、上記第2のレンズの屈折率分布についての光軸方向に沿った二階微分とが、正／負の関係となるように設計されている

上記(4)に記載の撮像光学系。

(7)

上記第1のレンズ又は上記第2のレンズのうちの何れか一方がメタマテリアルレンズを有して構成される

上記(4)乃至(6)何れかに記載の撮像光学系。

(8)

上記メタマテリアルレンズは、その内部の任意の一点において、光軸に垂直な任意の偏光方向に対する屈折率が等しくなるように構成されている

上記（7）に記載の撮像光学系。

（9）

上記メタマテリアルレンズは、その内部の任意の一点において、任意の偏光方向に対する屈折率が等しくなるように構成されている

上記（7）に記載の撮像光学系。

（10）

上記第2のレンズが複数枚のメタマテリアルレンズで構成されている上記（7）乃至（9）何れかに記載の撮像光学系。

（11）

上記第2のレンズを構成する各上記メタマテリアルレンズが所定間隔を空けて配列されている

上記（10）に記載の撮像光学系。

（12）

上記第1のレンズの屈折率分布が

[数10]

$$N_1 = N_{10} + \sum_j nr_{1j} \cdot r^j + \sum_{k=1} nz_{1k} \cdot z^k \quad \dots [式10]$$

（ただし、 r は半径方向位置、 z は光軸方向位置を表し、 N_{10} は上記第1のレンズの基準屈折率、 nr_{1j} は屈折率分布式内の r^j の項の係数、 nz_{1k} は屈折率分布式内の z^k の項の係数である。 j は偶数、 k は整数とする。）

で表されるとき、

[数11]

$$nr_{12} < 0 \quad \dots [式11]$$

である上記（1）乃至（11）何れかに記載の撮像光学系。

（13）

赤外線のを結像する上記（1）乃至（12）何れかに記載の撮像光学系

。

(14)

テラヘルツ波の像を結像する上記(1)乃至(12)何れかに記載の撮像光学系。

符号の説明

[0115] 1 撮像装置、2 光学ブロック、3 イメージセンサ、4 画像信号取得部、5 画像信号処理部、10 開口絞り、11 第1レンズ、12 第2レンズ、13 センサ窓、15 単位セル、16 導電体、Simg 撮像面

請求の範囲

- [請求項1] 開口絞り付近に設けられ収差補正を担う第1のレンズと、
上記第1のレンズと撮像素子との間に配置されて集光を担う第2の
レンズと
を備えると共に、
上記第1のレンズが屈折率分布型レンズとされる
撮像光学系。
- [請求項2] 上記第2レンズの焦点距離が当該撮像光学系の全体焦点距離と略一
致している請求項1に記載の撮像光学系。
- [請求項3] 上記第1のレンズは、
その屈折率分布についての半径方向に沿った二階微分が単調増加と
なるように設計されている
請求項2に記載の撮像光学系。
- [請求項4] 上記第2のレンズが屈折率分布型レンズとされる請求項3に記載の
撮像光学系。
- [請求項5] 上記第1のレンズ又は上記第2のレンズの何れかが光軸方向への屈
折率分布をもつ請求項4に記載の撮像光学系。
- [請求項6] 上記第1のレンズと上記第2のレンズの双方が、光軸方向への屈折
率分布をもち、
上記第1のレンズの屈折率分布についての光軸方向に沿った二階微
分と、上記第2のレンズの屈折率分布についての光軸方向に沿った二
階微分とが、正／負の関係となるように設計されている
請求項4に記載の撮像光学系。
- [請求項7] 上記第1のレンズ又は上記第2のレンズのうちの何れか一方がメタ
マテリアルレンズとされる
請求項4に記載の撮像光学系。
- [請求項8] 上記メタマテリアルレンズは、その内部の任意の一点において、光
軸に垂直な任意の偏光方向に対する屈折率が等しくなるように構成さ

れている

請求項 7 に記載の撮像光学系。

[請求項9] 上記メタマテリアルレンズは、その内部の任意の一点において、任意の偏光方向に対する屈折率が等しくなるように構成されている

請求項 7 に記載の撮像光学系。

[請求項10] 上記第 2 のレンズが複数枚のメタマテリアルレンズで構成されている請求項 7 に記載の撮像光学系。

[請求項11] 上記第 2 のレンズを構成する各上記メタマテリアルレンズが所定間隔を空けて配列されている

請求項 10 に記載の撮像光学系。

[請求項12] 上記第 1 のレンズの屈折率分布が

[数1]

$$0.9 \leq \frac{f_2}{f} \leq 1.1 \quad \dots \text{[式 1]}$$

(ただし、 r は半径方向位置、 z は光軸方向位置を表し、 N_{10} は上記第 1 のレンズの基準屈折率、 $n r_{1j}$ は屈折率分布式内の r^j の項の係数、 $n z_{1k}$ は屈折率分布式内の z^k の項の係数である。 j は偶数、 k は整数とする。)

で表されるとき、

[数2]

$$N = N_0 + n r_{12} \cdot R^2 + n r_{14} \cdot R^4 + n r_{16} \cdot R^6 + n z_{11} \cdot Z + n z_{12} \cdot Z^2 + n z_{13} \cdot Z^3 \quad \dots \text{[式 2]}$$

である請求項 1 に記載の撮像光学系。

[請求項13] 赤外線像を結像する請求項 1 に記載の撮像光学系。

[請求項14] テラヘルツ波の像を結像する請求項 1 に記載の撮像光学系。

[請求項15] 開口絞り付近に設けられ収差補正を担う第 1 のレンズと、上記第 1 のレンズと撮像素子との間に配置されて集光を担う第 2 のレンズとを

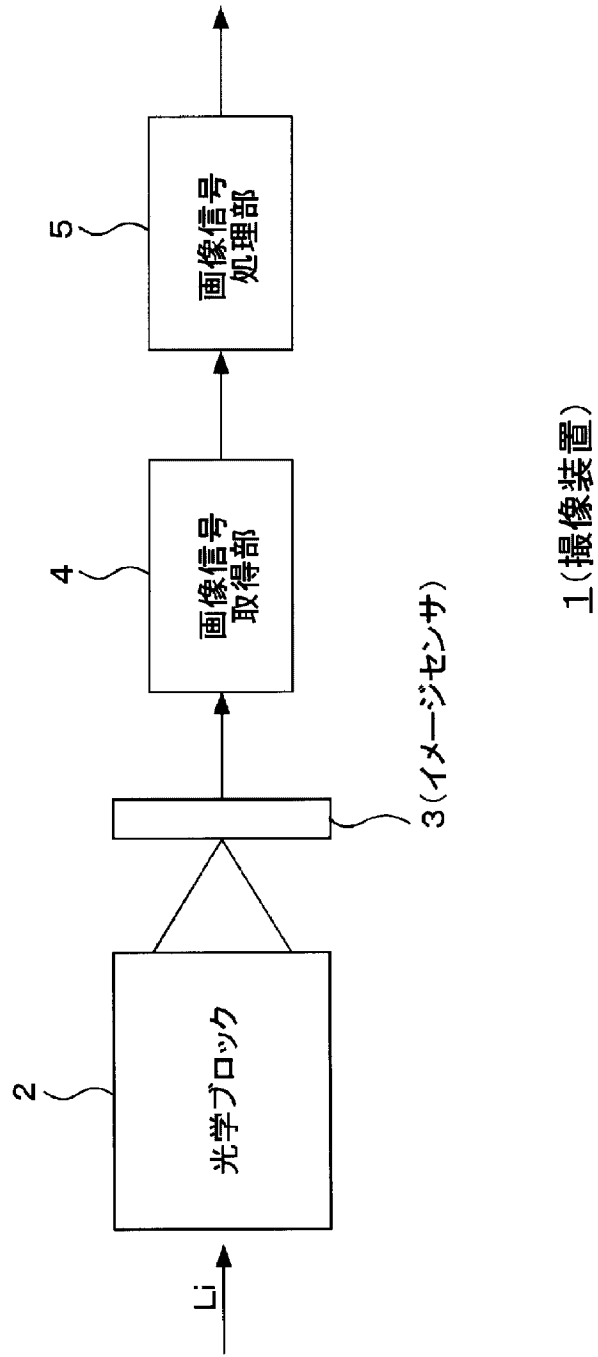
備えると共に、上記第1のレンズが屈折率分布型レンズとされる撮像光学系と、

上記撮像光学系により結像された像を検出する像検出部と、

上記像検出部による検出信号に基づいて撮像画像信号を得る画像信号取得部と

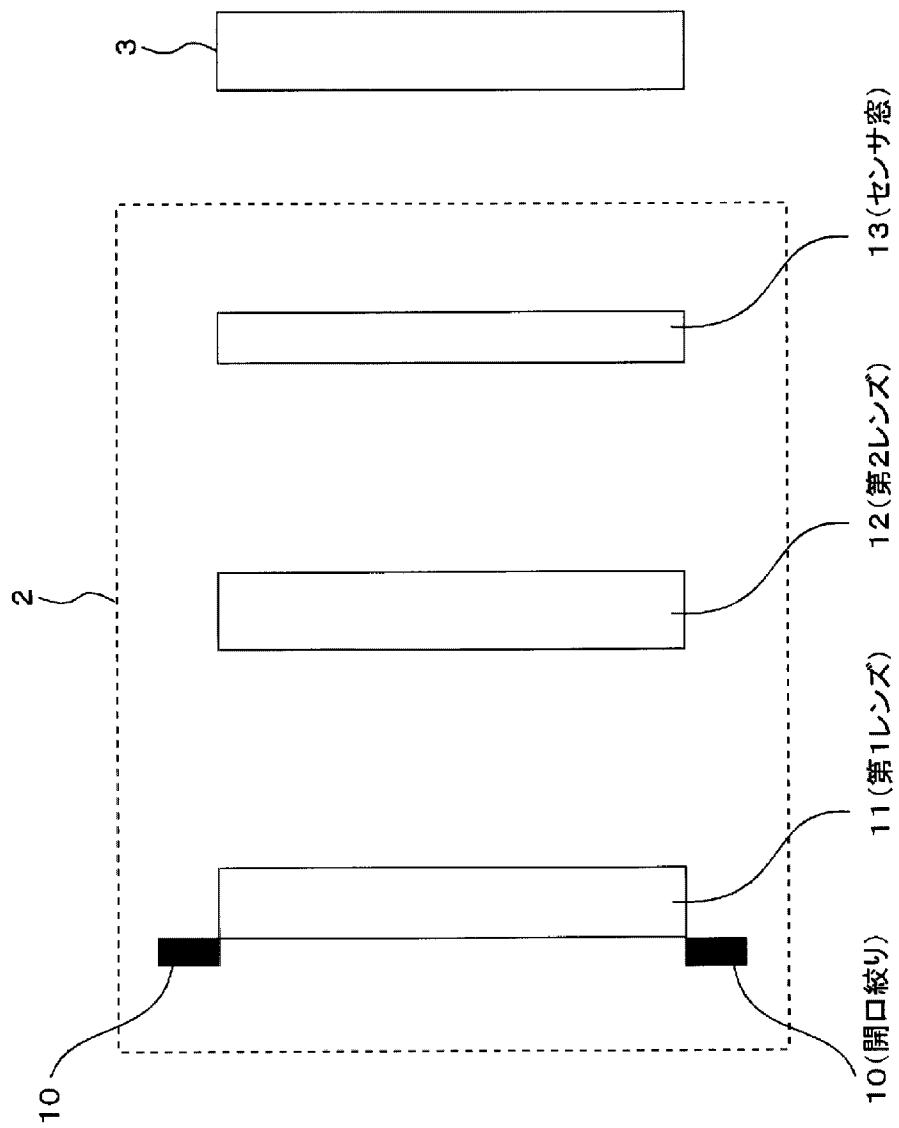
を備える撮像装置。

[図1]

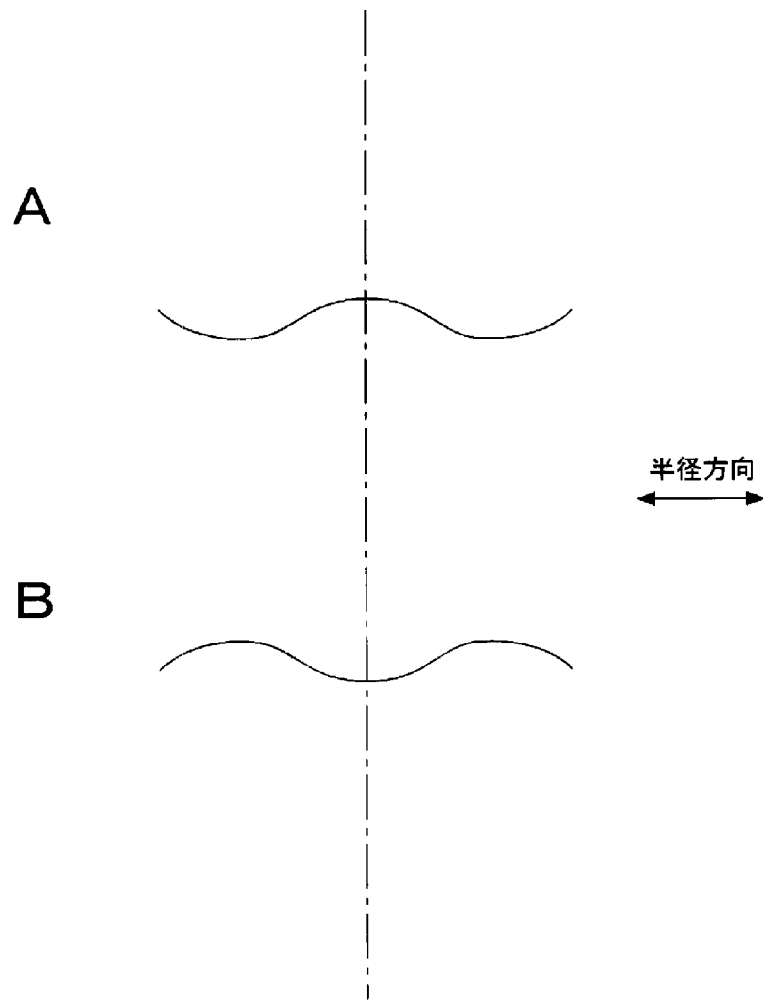


1 (撮像装置)

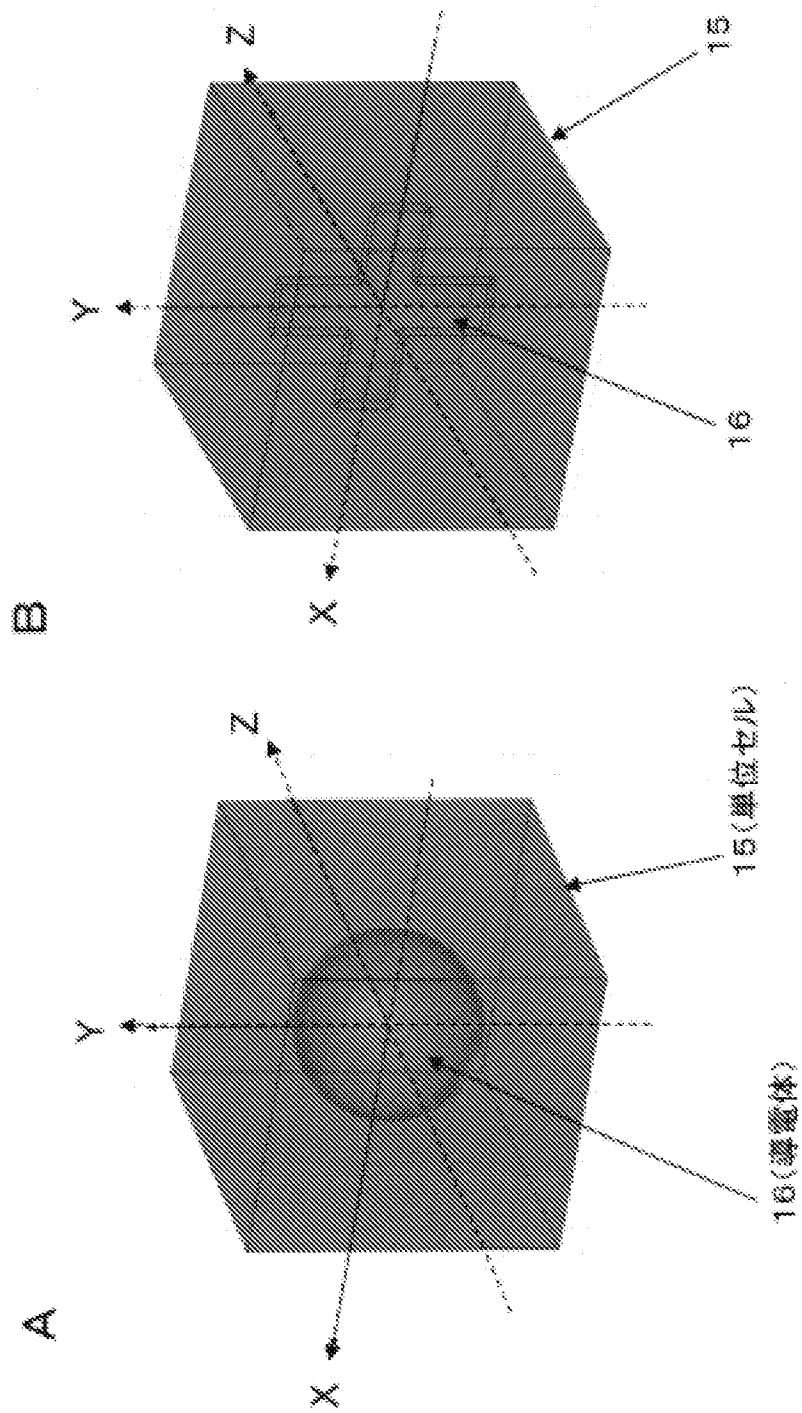
[図2]



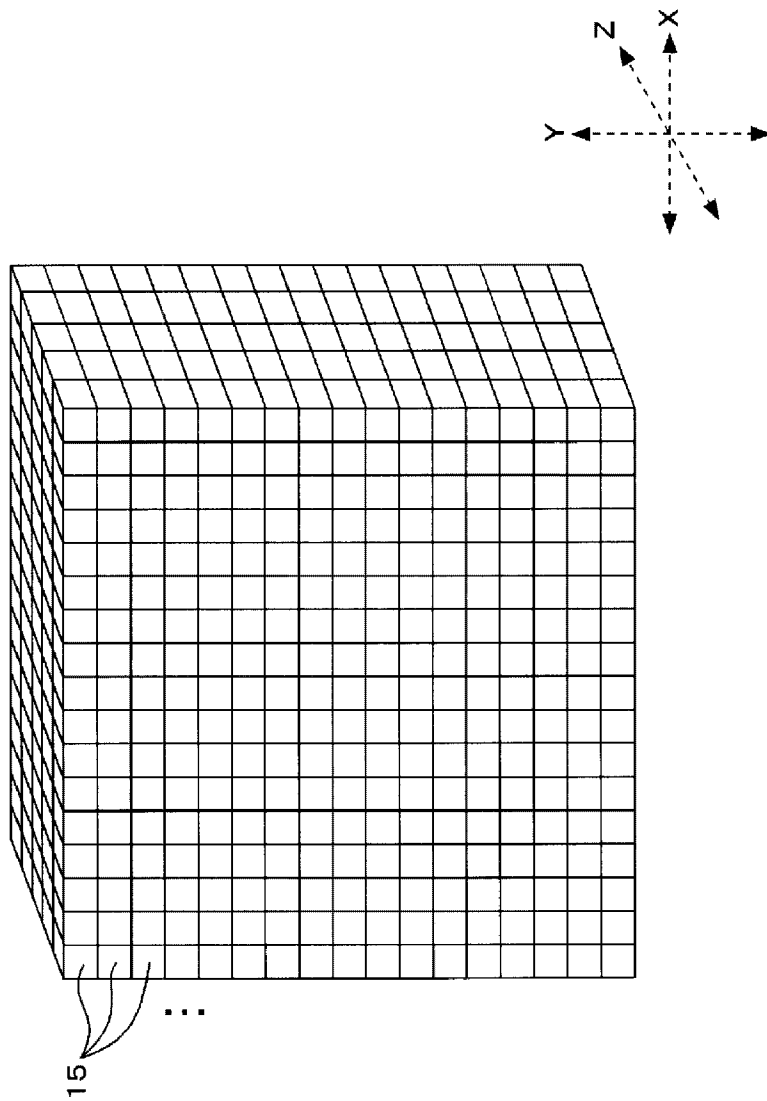
[圖3]



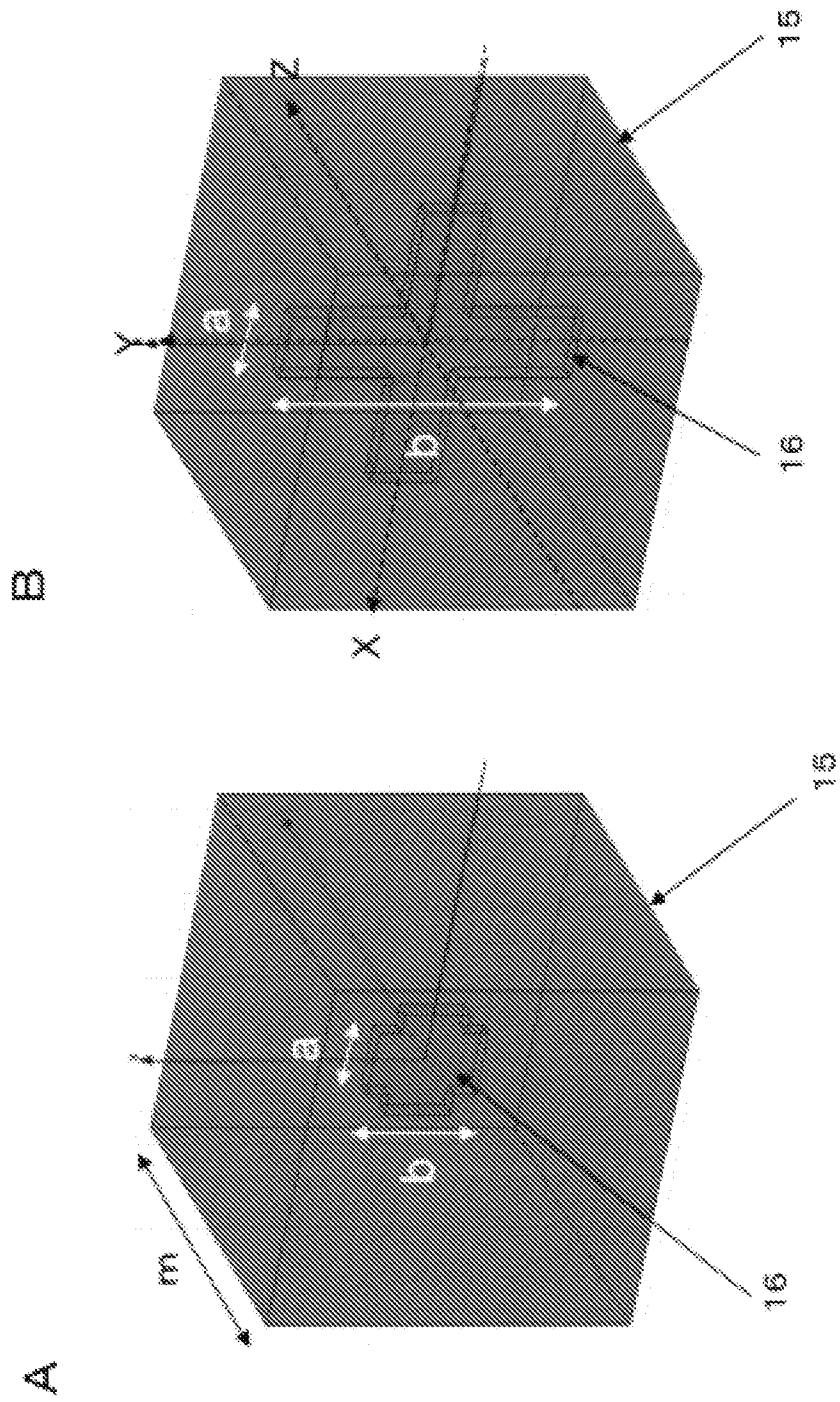
[図4]



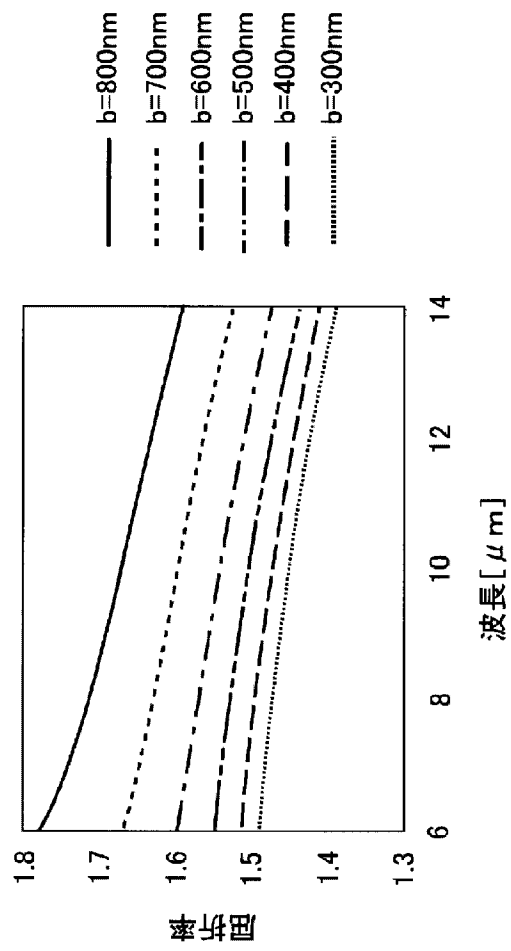
[図5]



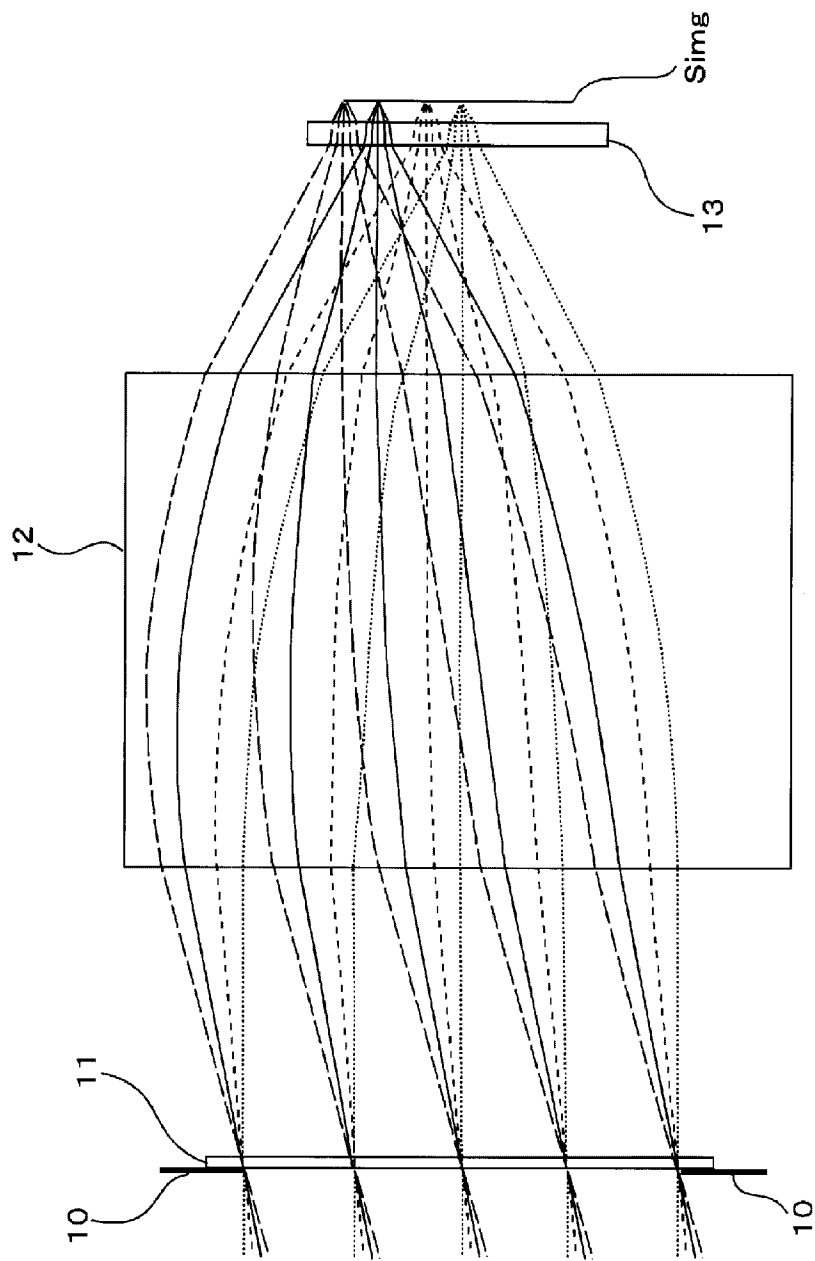
[図6]



[図7]

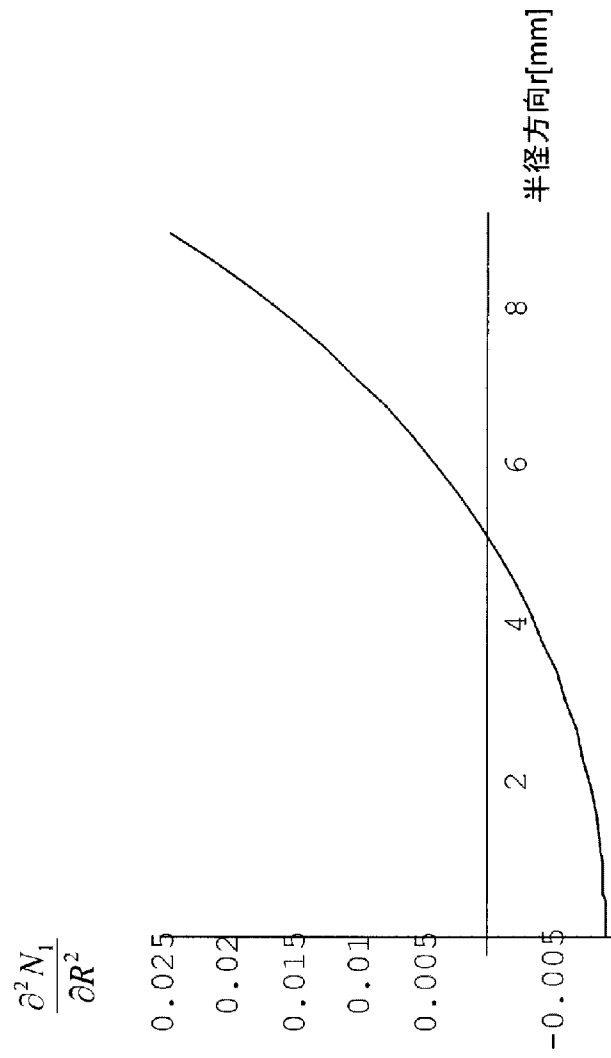


[圖8]



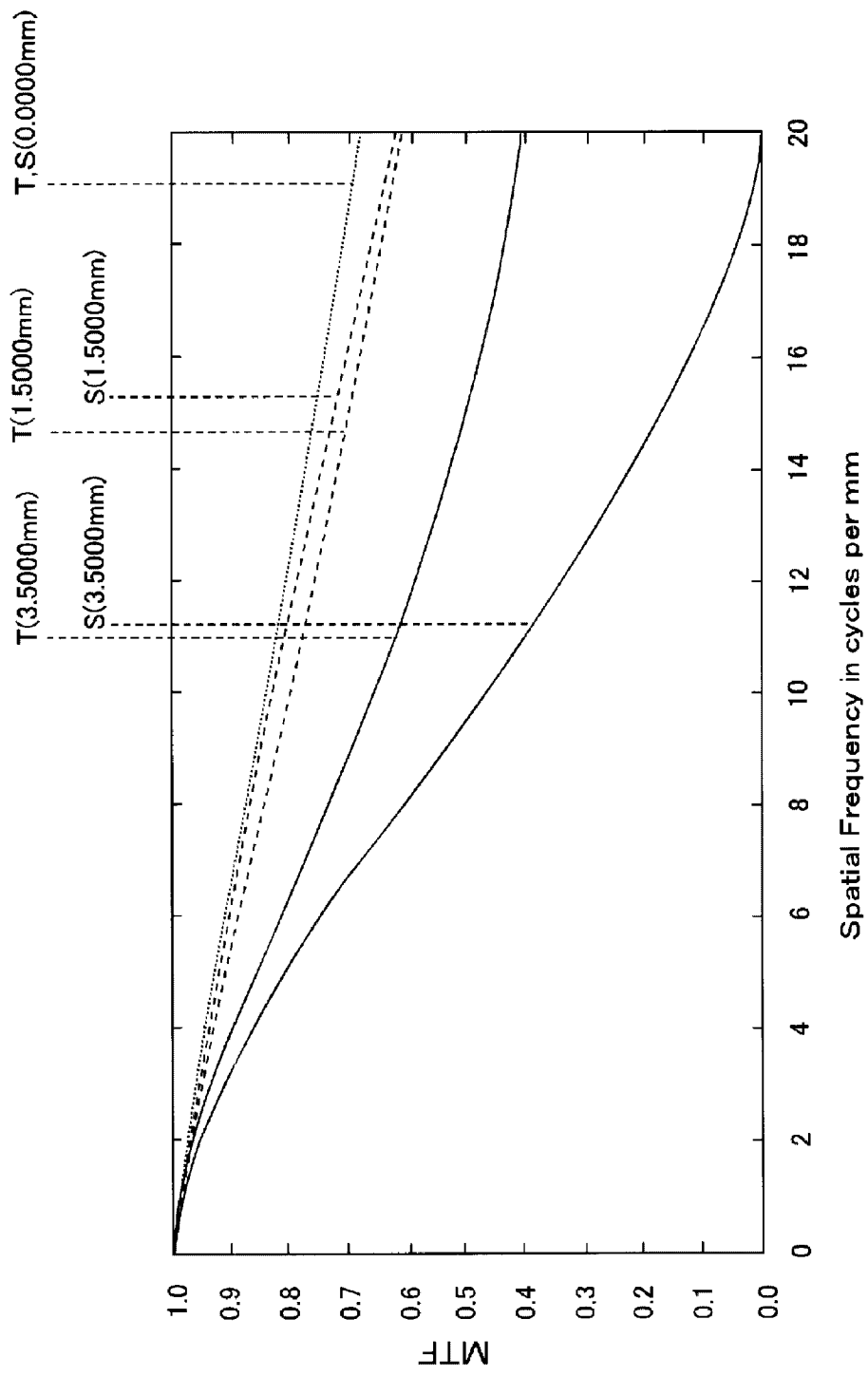
实施例1

[図9]



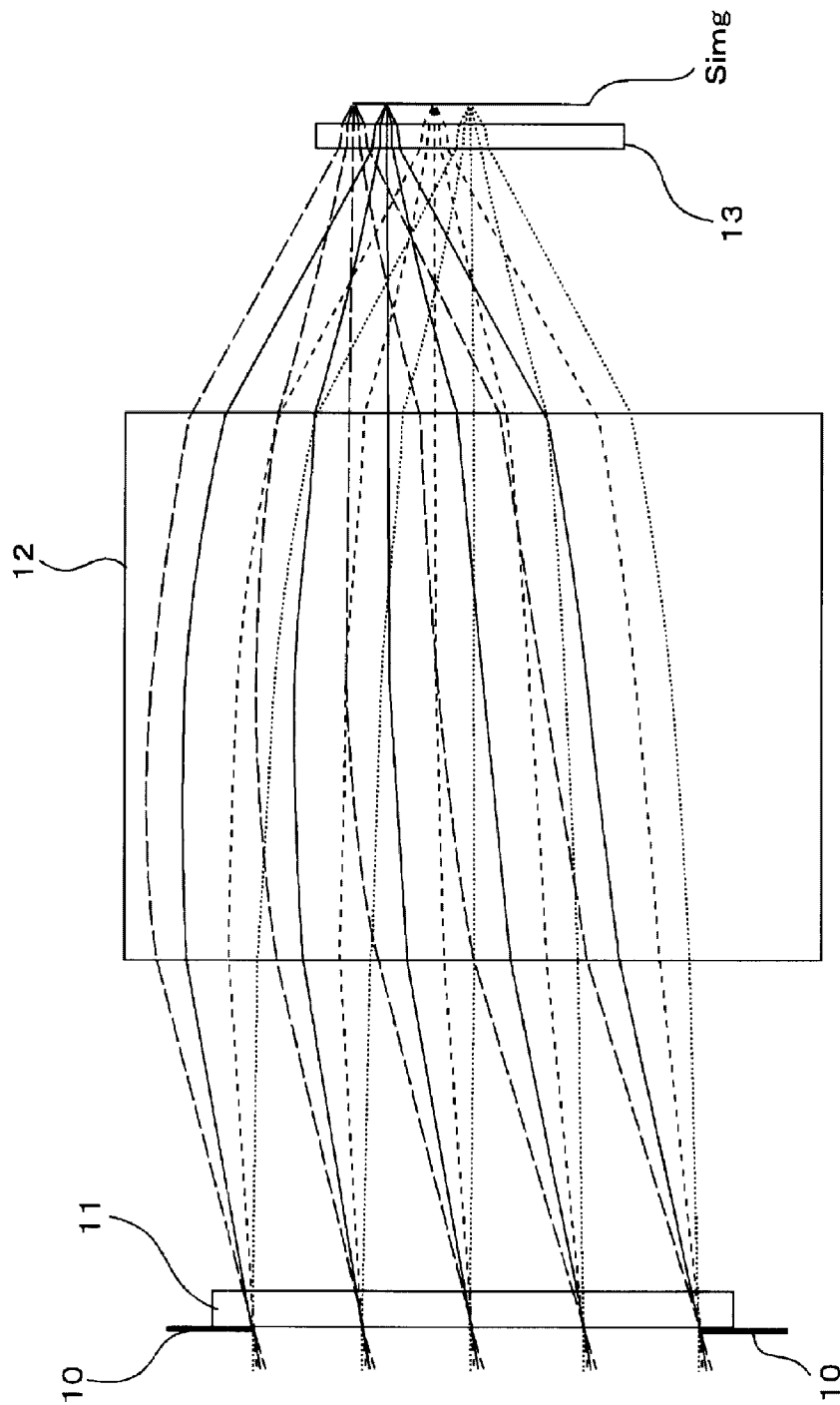
実施例1における第1レンズの屈折率分布 N_1 の半径方向に対する二階微分

[図10]



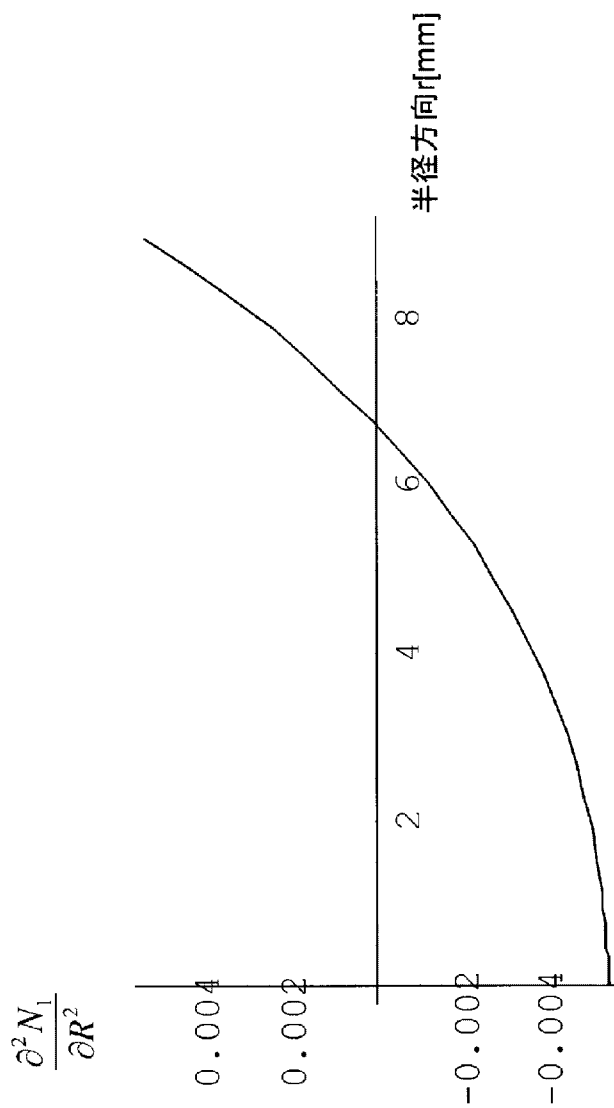
実施例1

[図11]



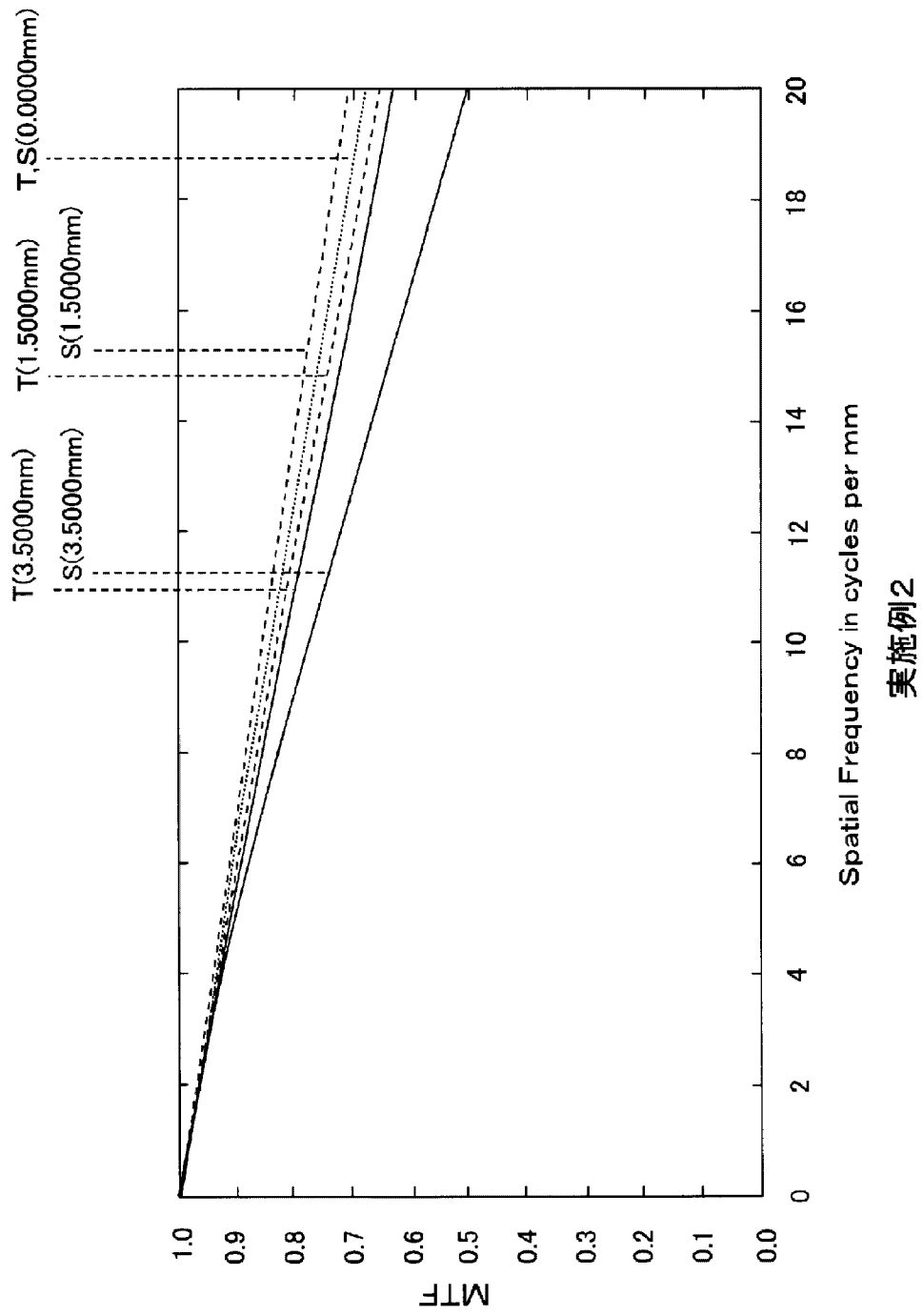
実施例 2

[図12]



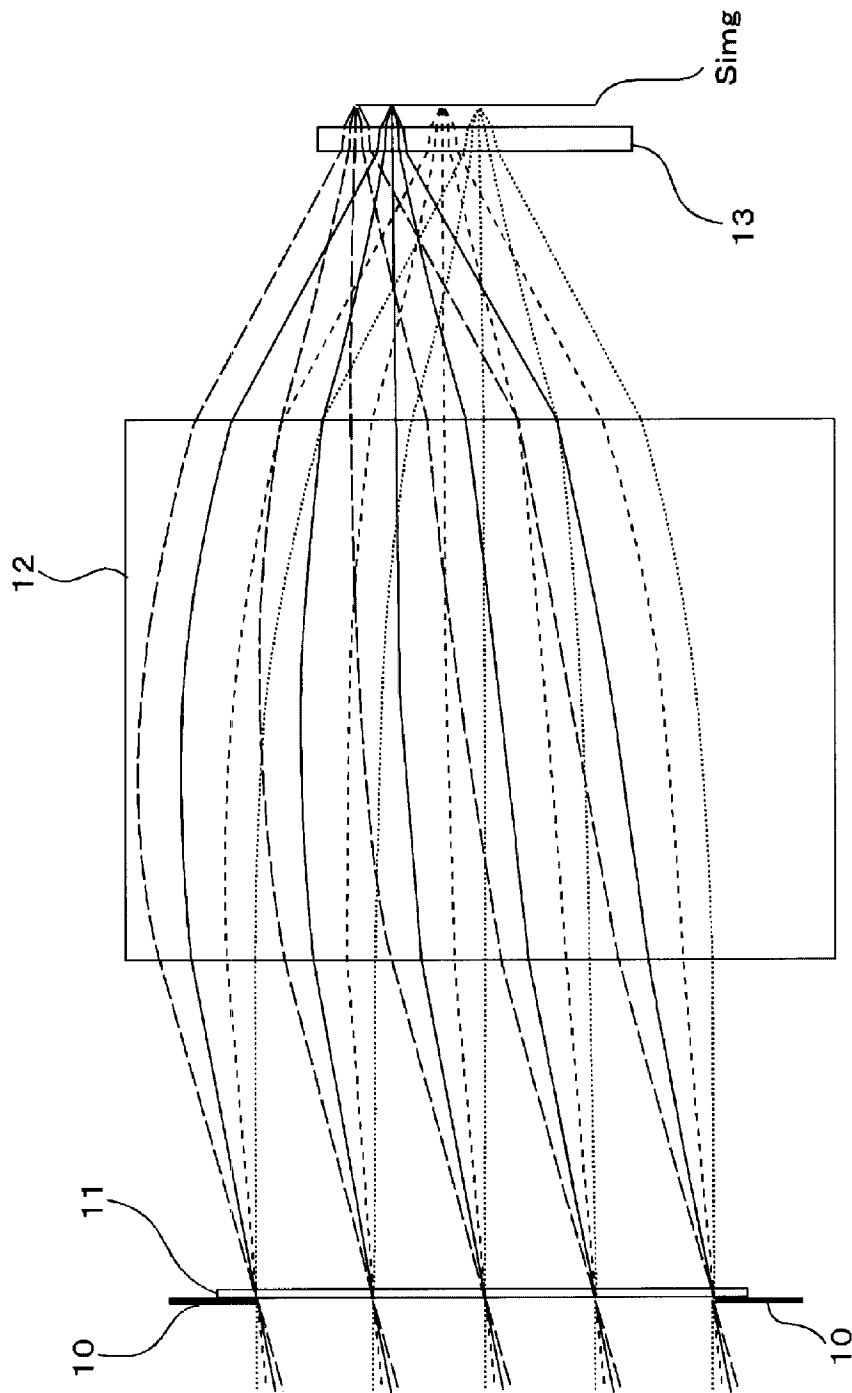
実施例2における第1レンズの屈折率分布
 N_1 の半径方向に対する二階微分

[図13]



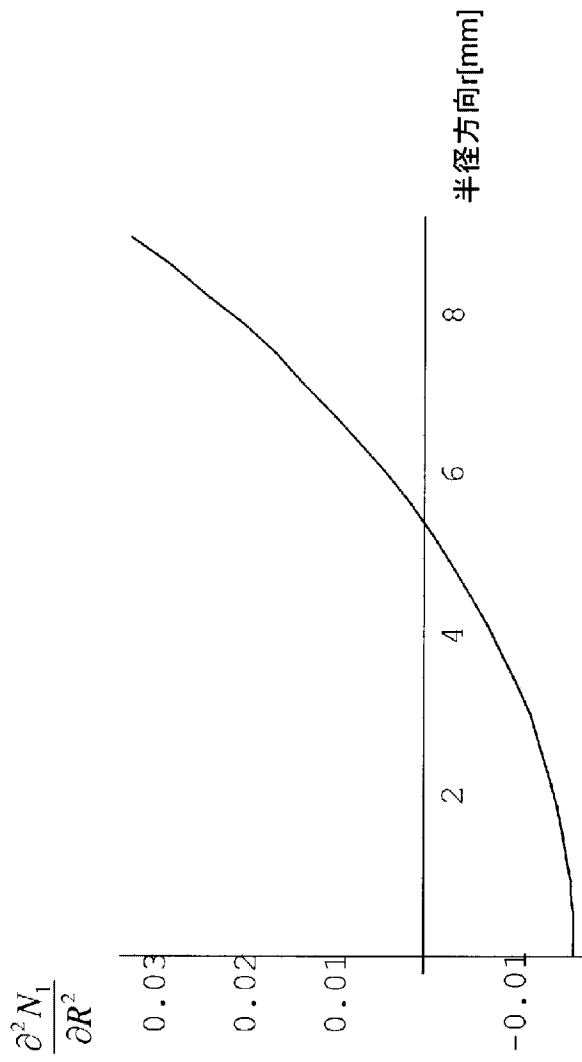
実施例2

[図14]



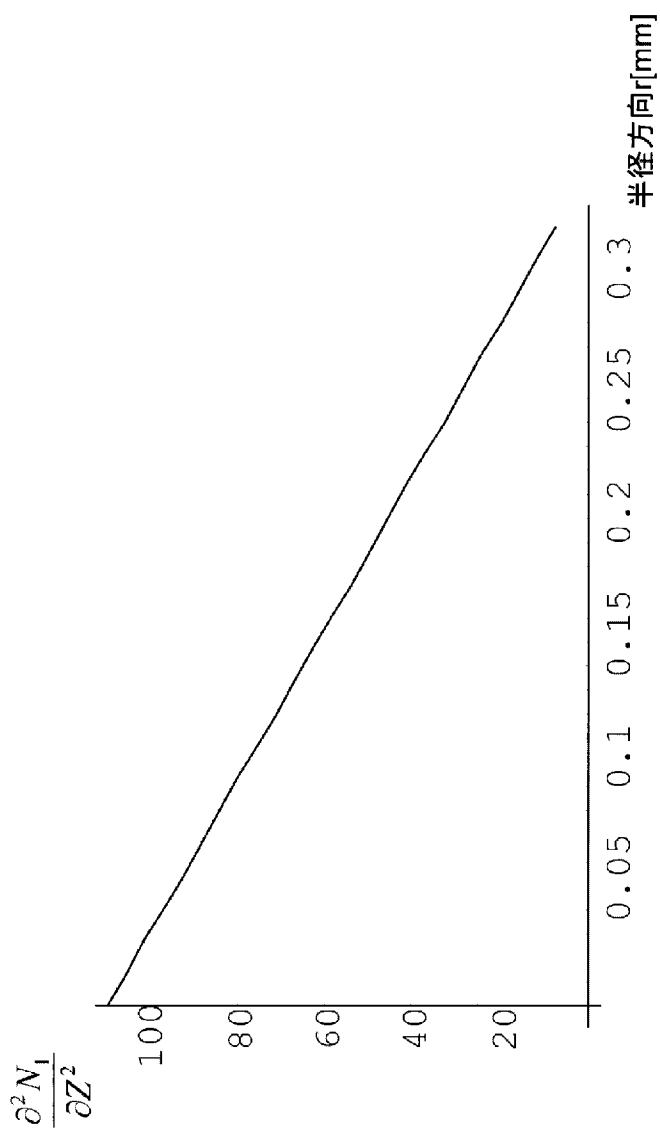
実施例3

[図15]



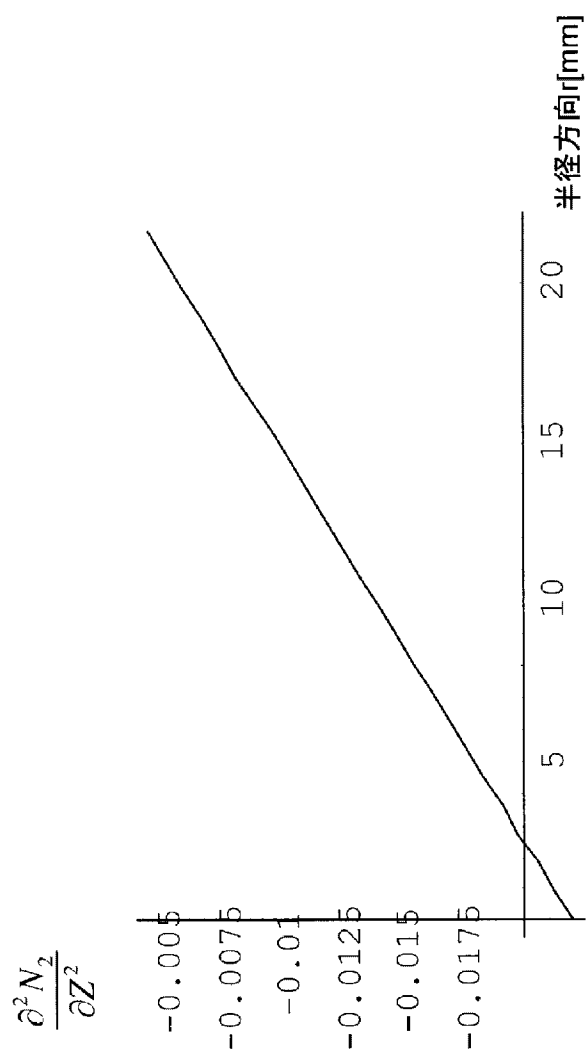
実施例3における第1レンズの屈折率分布 N_1 の
半径方向に対する二階微分

[図16]



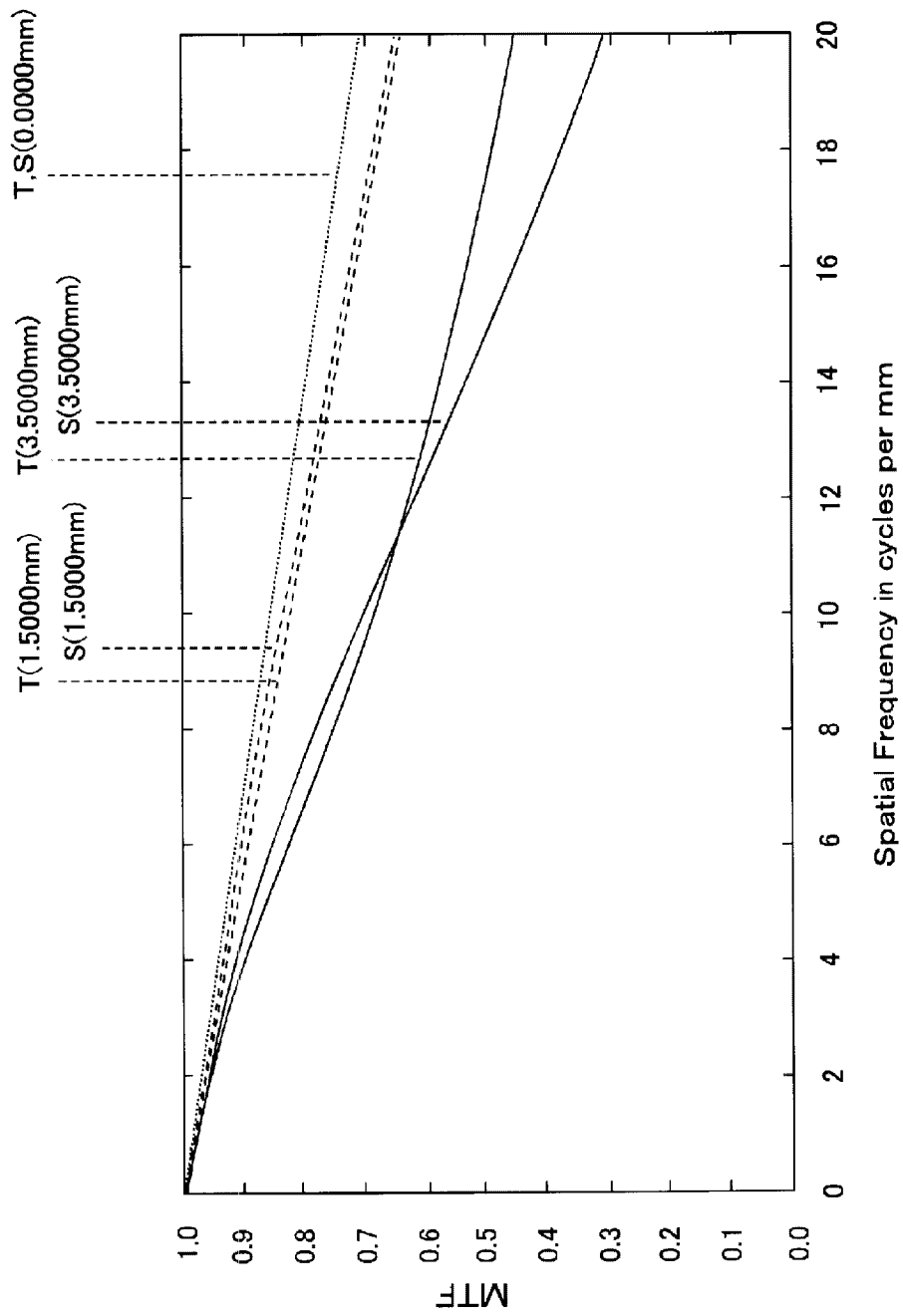
実施例3における第1レンズの屈折率分布 N_1 の
光軸方向に対する二階微分

[図17]



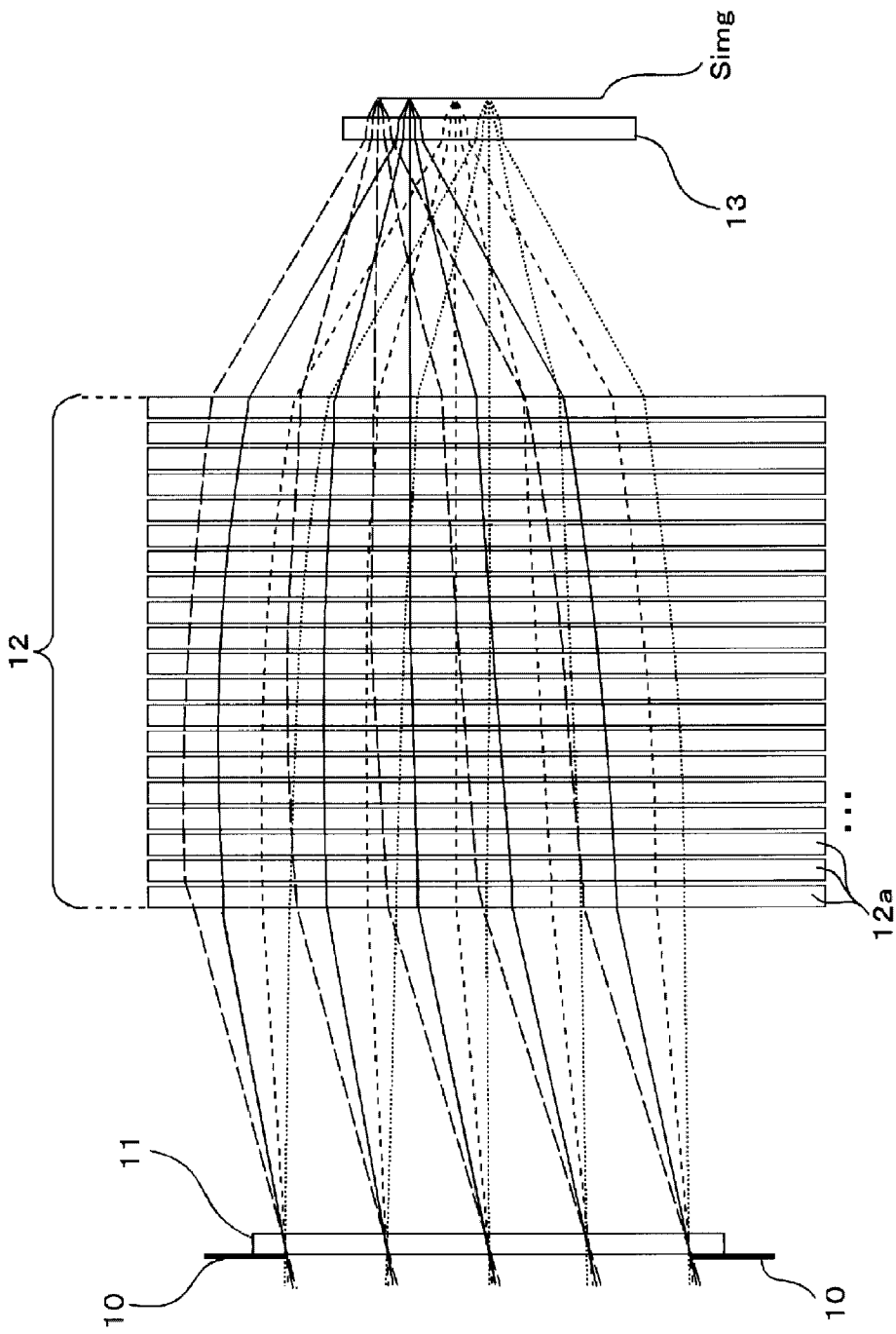
実施例3における第2レンズの屈折率分布 N_2 の
光軸方向に対する二階微分

[圖18]



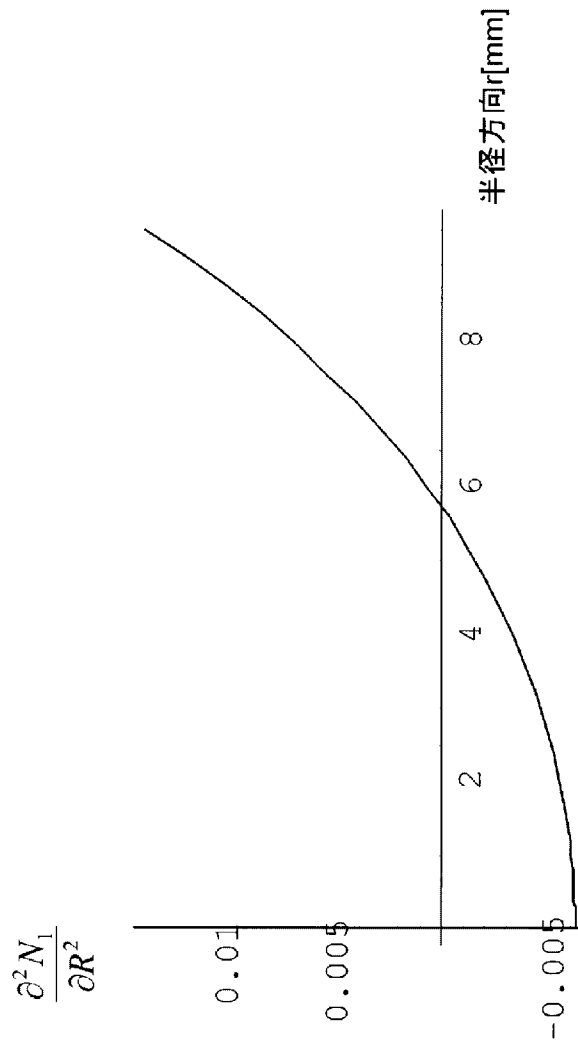
実施例3

[図19]



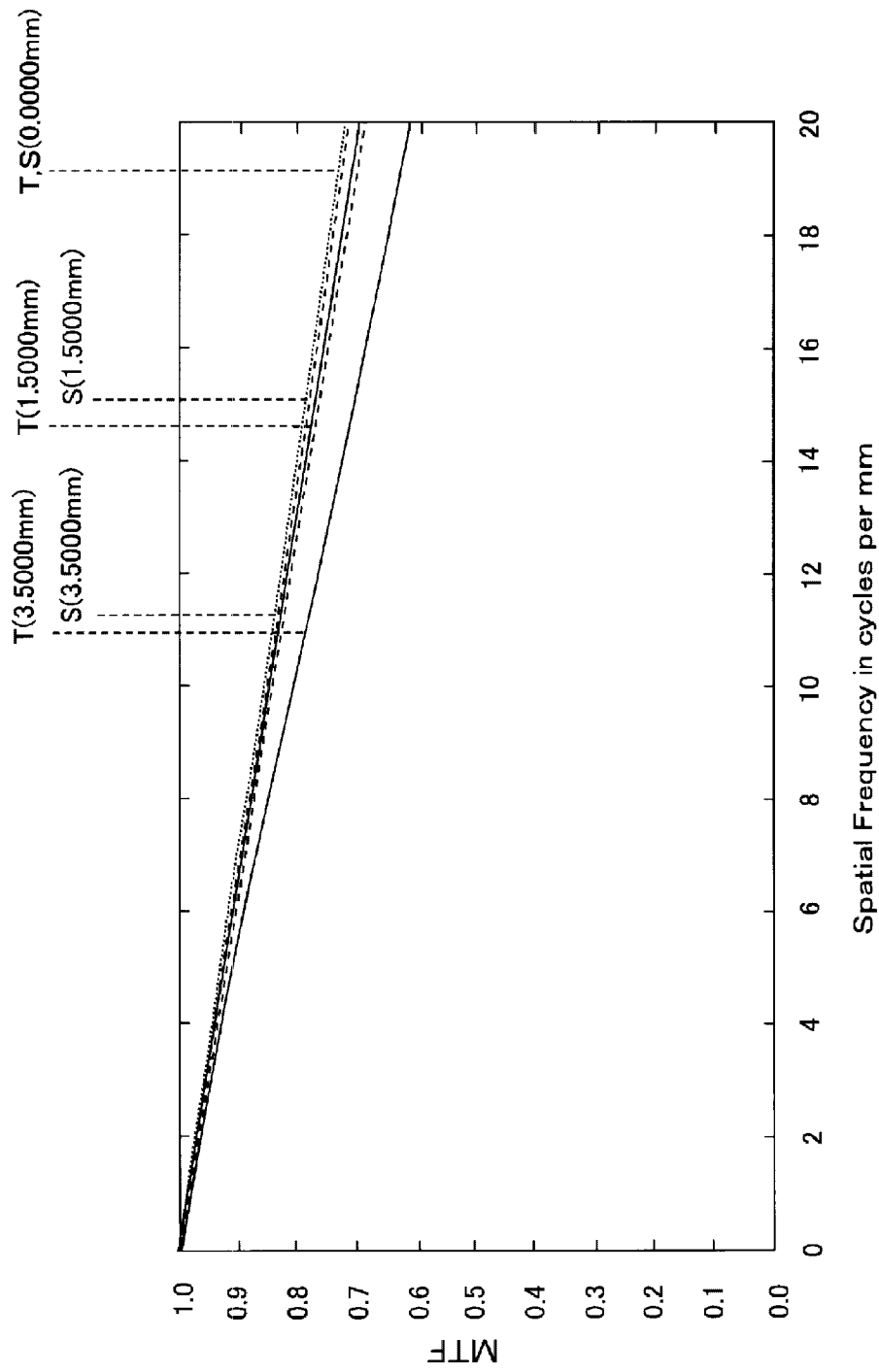
実施例4

[図20]



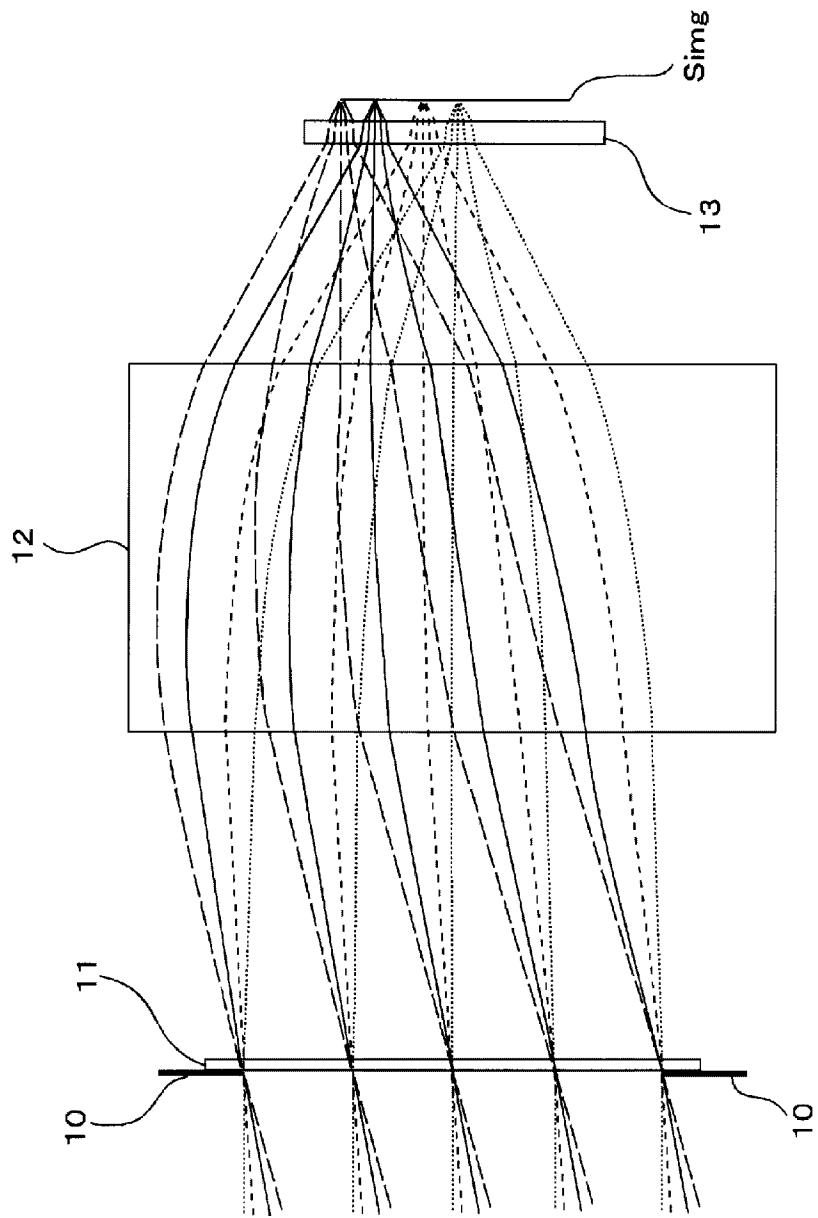
実施例4における第1レンズの屈折率分布 N_1 の
半径方向に対する二階微分

[図21]



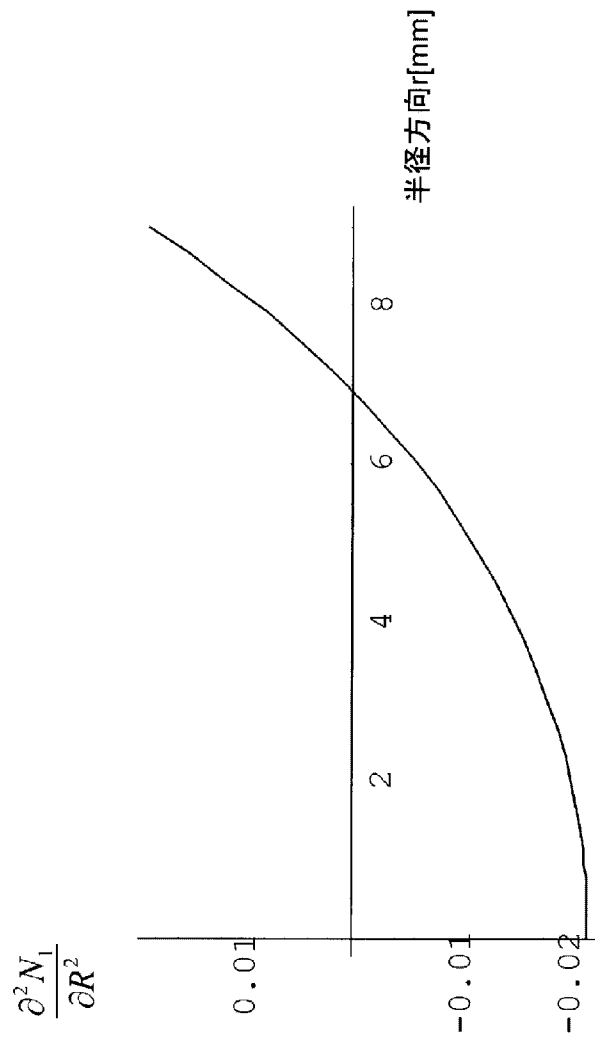
実施例4

[図22]



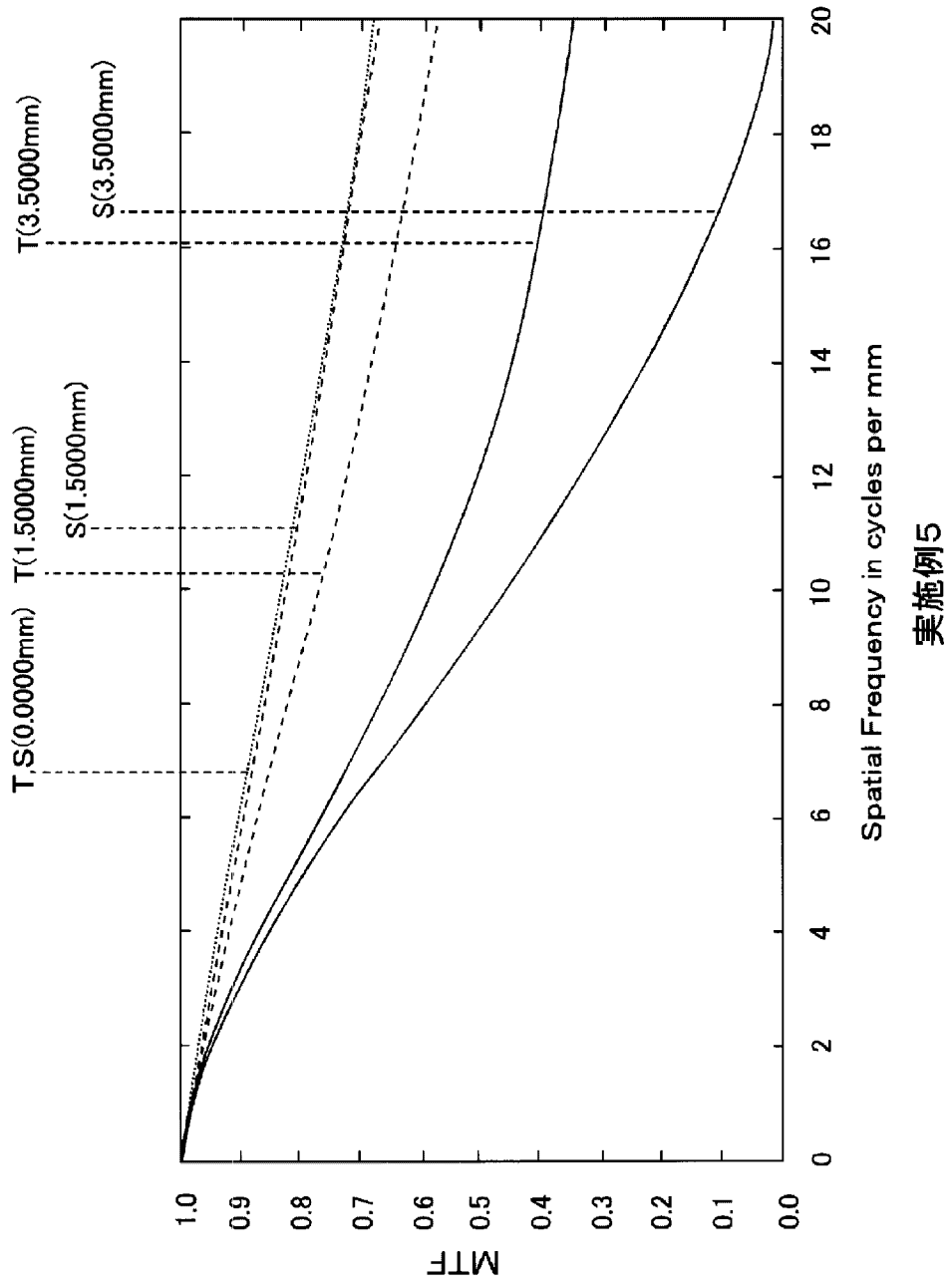
実施例5

[図23]



実施例5における第1レンズの屈折率分布 N_1 の
半径方向に対する二階微分

[圖24]



実施例5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/002515

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-258310 A (Nikon Corp.), 16 September 2004 (16.09.2004), entire text; all drawings; particularly, claim 1; paragraphs [0015] to [0018]; fig. 7B (Family: none)	4-5, 7-11
Y	JP 2011-158665 A (Sony Corp.), 18 August 2011 (18.08.2011), entire text; all drawings; particularly, paragraphs [0009] to [0012], [0016]; modified example 3-1 (paragraphs [0118] to [0129]); paragraph [0137] (Family: none)	7-11, 14
Y	JP 2010-526318 A (Toyota Motor Engineering & Manufacturing North America, Inc. et al.), 29 July 2010 (29.07.2010), entire text; all drawings; particularly, paragraphs [0027], [0050]; fig. 2B & US 2008/0272955 A1 & US 7724180 B2 & WO 2008/137509 A1 & DE 112008001232 T5	7-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/002515

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.: 12
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:
It is not obvious what the statement in claim 12 technically mean and said statement is very unclear, and therefore, it is impossible to clearly understand the invention of claim 12.

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:

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.:

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.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G02B13/00(2006.01)i, G02B3/00(2006.01)i, G02B13/14(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G02B13/00, G02B3/00, G02B13/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2013年
 日本国実用新案登録公報 1996-2013年
 日本国登録実用新案公報 1994-2013年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	WO 00/52511 A1 (三菱電機株式会社) 2000.09.08, 全文、全図、特に、請求項 1、実施の形態 1 (第 3 ページ第 22 行から第 5 ページ第 21 行、図 1)、第 9 ページ第 13 行から第 10 ページ第 2 行 & US 6535332 B1 & EP 1077386 A1	1-5, 7-11, 13-15 6
Y A	JP 8-286133 A (旭光学工業株式会社) 1996.11.01, 全文、全図、特に、請求項 1、8、10 及び 11、実施例 4 (ファミリーなし)	1-5, 7-11, 13-15 6

C 欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

<p>* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>	<p>の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献</p>
---	---

国際調査を完了した日 05.07.2013	国際調査報告の発送日 16.07.2013
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号	特許庁審査官 (権限のある職員) 森内 正明 電話番号 03-3581-1101 内線 3271

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2004-258310 A (株式会社ニコン) 2004.09.16, 全文、全図、特に、請求項1、段落[0015]-[0018]、図7B (ファミリーなし)	4-5, 7-11
Y	JP 2011-158665 A (ソニー株式会社) 2011.08.18, 全文、全図、特に、段落[0009]-[0012]、[0016]、変形例3-1(段落[0118]-[0129])、段落[0137] (ファミリーなし)	7-11, 14
Y	JP 2010-526318 A (トヨタ モーター エンジニアリング アンド マニュファクチャリング ノースアメリカ, インコーポレイティド 外1名) 2010.07.29, 全文、全図、特に、段落[0027]、[0050]、図2B & US 2008/0272955 A1 & US 7724180 B2 & WO 2008/137509 A1 & DE 112008001232 T5	7-11

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、

2. 請求項 12 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
請求項 1 2 の記載は、技術的に何を特定しているのか不明であって、非常に不明りょうであり、請求項 1 2 に係る発明を明確に把握することができない。

3. 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。