

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 2 月 5 日 (05.02.2004)

PCT

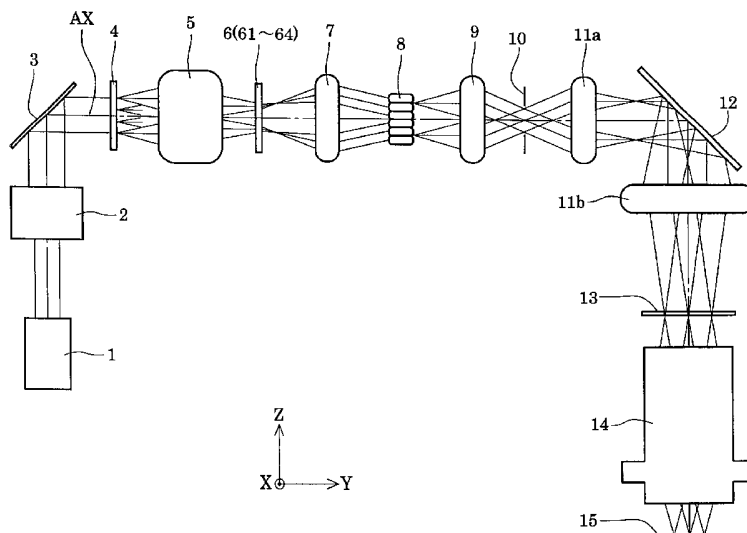
(10) 国際公開番号
WO 2004/011967 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 5/18, H01L 21/027, G03F 7/20 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/009352 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 後藤 明弘
(22) 国際出願日: 2003 年 7 月 23 日 (23.07.2003) (GOTO, Akihiro) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号株式会社ニコン内 Tokyo
(25) 国際出願の言語: 日本語 (JP). 北 尚憲 (KITA, Naonori) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
(26) 国際公開の言語: 日本語 (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒101-0048 東京都千代田区神田司町二丁目10番地 第一ビル Tokyo (JP).
(30) 優先権データ: 特願2002-218093 2002 年 7 月 26 日 (26.07.2002) JP (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

/ 続葉有 /

(54) Title: DIFFRACTIVE OPTICS, ILLUMINATING OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE SYSTEM AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: 回折光学素子、照明光学装置、露光装置および露光方法



(57) Abstract: An illuminating optical system capable of a good four-pole illumination with a restricted loss in light quantity by using a diffractive optics for forming a substantially uniform four-pole-form illumination distribution on an illumination pupil plane. An illumination optical system for illuminating surfaces to be illuminated (13, 15). A diffractive optics (61) is provided for converting an incident light flux into four light fluxes in order to form a secondary light source having a four-pole-form light intensity distribution on an illumination pupil plane. The diffractive optics comprises a first basic diffractive optics, a second basic diffractive optics, a first complementary diffractive optics, and a second complementary diffractive optics that are densely arranged, all in equal numbers.

(57) 要約: 照明瞳面において実質的に均一な4極状の照度分布を形成する回折光学素子を用いて、光量損失を抑えつつ良好な4極照明を行うことのできる照明光学装置。被照射面(13,15)を照明する照明光学装置。4極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を4つの光束に変換するための回折光学素子(61)を備えている。

/ 続葉有 /



LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO,
NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU,
ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 *PCT* ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

- 1 -

明 細 書

回折光学素子、照明光学装置、露光装置および露光方法

技術分野

本発明は、回折光学素子、照明光学装置、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

背景技術

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束がフライアイレンズに入射し、その後側焦点面に多数の光源像からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。開口絞りは、所望の照明条件（露光条件）に応じて、二次光源の形状または大きさを所望の形状または大きさに制限する。

コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

近年においては、フライアイレンズの射出側に配置された開口絞りの開口部（光透過部）の大きさを変化させることにより、フライアイレンズにより形成される二次光源の大きさを変化させて、照明のコヒーレンシ σ （ σ 値＝開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは σ 値＝照明光学系の射出側開口数／投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンズの射出側に配置された開口絞りの開口部の形状を輪帯状や四つ穴状（すなわち4

- 2 -

極状) に設定することにより、フライアイレンズにより形成される二次光源の形状を輪帯状や4極状に制限して、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

上述のように、従来技術では、二次光源の形状を輪帯状や4極状等に制限して変形照明(輪帯照明や4極照明等)を行うために、フライアイレンズにより形成された比較的大きな二次光源からの光束を輪帯状や4極状の開口部を有する開口絞りによって制限している。換言すると、従来技術における輪帯照明や4極照明等では、二次光源からの光束の相当部分が開口絞りで遮蔽され、照明(露光)に寄与することがない。その結果、開口絞りにおける光量損失により、マスクおよびウェハ上での照度が低下し、露光装置としてのスループットも低下するという不都合があった。

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、例えば照明光学装置に用いられて、照明瞳面において実質的に均一な4極状の照度分布等を形成することのできる回折光学素子を提供することを目的とする。また、本発明は、照明瞳面において実質的に均一な4極状の照度分布等を形成する回折光学素子を用いて、光量損失を抑えつつ良好な4極照明等の多極照明を行うことのできる照明光学装置を提供することを目的とする。さらに、本発明は、光量損失を抑えつつ良好な4極照明等の多極照明等を行うことのできる照明光学装置を用いて、マスクに最適な照明条件の下で、感光性基板上にマスクパターンを忠実に転写することのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

発明の開示

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、第1の方向に沿った直線格子パターンを有する第1基本回折光学素子と、

前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿った直線格子パターンを有する第2基本回折光学素子と、

前記第1基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第1位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第1補完回折光学素子と、

- 3 -

前記第 2 基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第 2 位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第 2 補完回折光学素子とを備え、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 基本回折光学素子と前記第 1 補完回折光学素子と前記第 2 補完回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする回折光学素子を提供する。

本発明の第 2 発明では、第 1 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 1 基本回折光学素子と、

前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 2 基本回折光学素子と、

実質的に偏向作用のない単純透過部とを備え、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 基本回折光学素子と前記単純透過部とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする回折光学素子を提供する。

本発明の第 3 発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、

4 極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を 4 つの光束に変換するための第 1 発明の回折光学素子を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第 4 発明では、光束を供給するための光源手段と、

前記光源手段からの光束を、光軸に対して様々な角度成分を有する光束に変換して、第 1 の所定面へ入射させるための角度光束形成手段と、

前記第 1 の所定面に入射した前記様々な角度成分を有する光束に基づいて、4 極状の照野を第 2 の所定面上に形成するために回折光学素子を含む照野形成手段と、

前記第 2 の所定面上に形成された前記 4 極状の照野からの光束に基づいて、前記 4 極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する 4 極状の二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、

前記オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備え、

前記回折光学素子は、第 1 の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の第

- 4 -

1 基本回折光学素子と、前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の第 2 基本回折光学素子とを備え、前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第 5 発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、

2 極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を 2 つの光束に変換するための回折光学素子を備え、

前記回折光学素子は、一定の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の基本回折光学素子と、該基本回折光学素子が発生する光振幅に対して所定の位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する複数の補完回折光学素子とを備え、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の補完回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第 6 発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、

2 極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を 2 つの光束に変換するための回折光学素子を備え、

前記回折光学素子は、一定の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の基本回折光学素子と、実質的に偏向作用のない複数の単純透過部とを備え、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の単純透過部とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第 7 発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、

8 極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を 8 つの光束に変換するための回折光学素子を備え、

前記回折光学素子は、第 1 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 1 基本回折光学素子と、前記第 1 の方向とほぼ直交する第 2 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 2 基本回折光学素子と、前記第 1 の方向とほぼ 45 度をなす第 3 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 3 基本回折光学素子と、前記第 1 の方向とほぼ 45 度をなし且つ前記第 3 の方向とほぼ直交する第 4 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 4 基本回折光学素子とを備え、

- 5 -

前記第 1 乃至前記第 4 基本回折光学素子はほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第 8 発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、

光束を供給するための光源手段と、前記光源手段からの光束を、光軸に対して様々な角度成分を有する光束に変換して、第 1 の所定面へ入射させるための角度光束形成手段と、前記第 1 の所定面に入射した前記様々な角度成分を有する光束に基づいて、複数極状の照野を第 2 の所定面上に形成するために回折光学素子を含む照野形成手段とを備え、

前記回折光学素子は、所定の回折光学素子パターンを有する複数の基本回折光学素子をほぼ稠密に配列することにより構成され、

前記角度光束形成手段は、複数の光学要素からなる光学部材を有し、

前記回折光学素子は、前記光学部材の各光学要素に対応する要素光束の中に基本回折光学素子または補完回折光学素子が合計 4 つ以上含まれるように位置決めされていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第 9 発明では、光束を供給するための光源手段と、

前記光源手段からの光束を、光軸に対して様々な角度成分を有する光束に変換して、第 1 の所定面へ入射させるための角度光束形成手段と、

前記第 1 の所定面に入射した前記様々な角度成分を有する光束に基づいて、複数極状の照野を第 2 の所定面上に形成するために回折光学素子を含む照野形成手段と、

前記第 2 の所定面上に形成された前記複数極状の照野からの光束に基づいて、前記複数極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する複数極状の二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、

前記オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備え、

前記回折光学素子は、ほぼ正形状の外形を有し且つ所定の回折光学素子パターンを有する複数の基本回折光学素子をほぼ稠密に配列することにより構成され、

前記照野形成手段は、前記回折光学素子と前記オプティカルインテグレータと

の間の光路中に配置された光学系を有し、

前記複数極状の二次光源を構成する各面光源の大きさを ϕ とし、前記基本回折光学素子の一辺の長さを L とし、光束の中心波長を λ とし、前記光学系の焦点距離を f としたとき、

$$L > 2.5 \times f \times \lambda / \phi$$

の条件を満足することを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第10発明では、第1発明または第2発明の回折光学素子または第5発明または第6発明の照明光学装置における回折光学素子とほぼ同じ光振幅を発生することを特徴とする屈折光学素子を提供する。

本発明の第11発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、

所定の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を所定の断面形状の光束に変換するための第10発明の屈折光学素子を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

本発明の第12発明では、第3発明～第9発明または第11発明の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

本発明の第13発明では、第3発明～第9発明または第11発明の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の各実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第2図は、第1実施形態における4極照明用の回折光学素子に含まれる基本回折光学素子および補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。

第3図は、第2図における各光学素子の断面図である。

第4図は、第1実施形態における4極照明用の回折光学素子に含まれる4種類のブロックの構成を概略的に示す図である。

第 5 図は、第 1 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。

第 6 図は、第 1 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第 7 図は、第 1 実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に 4 極状の照野が形成される原理を説明する図である。

第 8 図は、第 1 実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される 4 極状の照野を示す図である。

第 9 図は、第 1 実施形態において発散光束形成素子としてマイクロレンズアレイを用いた場合に、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイの入射面に形成される 4 極状の照野を示す図である。

第 10 図は、第 2 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子に含まれる基本回折光学素子および補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。

第 11 図は、第 2 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子に含まれる 4 種類のブロックの構成を概略的に示す図である。

第 12 図は、第 2 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。

第 13 図は、第 1 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第 14 図は、第 2 実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される 4 極状の照野を示す図である。

第 15 図は、第 2 実施形態において発散光束形成素子としてマイクロレンズアレイを用いた場合に、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイの入射面に形成される 4 極状の照野を示す図である。

第 16 図は、第 3 実施形態における基本回折光学素子および補完回折光学素子 (D 1'、D 2'、E 1'、E 2') の構成を概念的に示す図である。

第 17 図は、光学素子 (D 1'、D 2'、E 1'、E 2') によって構成されるブロック F 1' から F 4' の構成を概念的に示す図である。

第18図は、ブロックC1～C4とブロックF1‘～F4’とを組み合わせることによって合成ブロックDQ1からDQ4を構成する概念図である。

第19図は、多数の合成ブロックDQ1からDQ4を縦横に稠密に配列することによって構成された第3実施形態の回折光学素子63の構成を概念的に示す図である。

第20図は、第3実施形態における8極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第21図は、第3実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される8極状の照野を示す図である。

第22図は、第3実施形態において発散光束形成素子としてマイクロレンズアレイを用いた場合に、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイの入射面に形成される8極状の照野を示す図である。

第23図は、第4実施形態における2極照明用の回折光学素子に含まれる基本回折光学素子および補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。

第24図は、第4実施形態における2極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。

第25図は、第4実施形態における各光学素子のランダム配置を説明する図である。

第26図は、第4実施形態における2極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第27図は、第4実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される2極状の照野を示す図である。

第28図は、第4実施形態において発散光束形成素子としてマイクロレンズアレイを用いた場合に、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイの入射面に形成される2極状の照野を示す図である。

第29図は、複数極状の二次光源を構成する各面光源の光強度プロファイルを模式的に示す図である。

第30図は、第1図の露光装置においてマイクロレンズアレイに代えてロッ

ド・インテグレータを用いた場合の要部構成を概略的に示す図である。

第 3 1 A 図は、ブレード型の回折光学素子とその周期方向の断面で切断した断面図である。

第 3 1 B 図は、多値型の回折光学素子とその周期方向の断面で切断した断面図である。

第 3 1 C 図は、2 値型の回折光学素子とその周期方向の断面で切断した断面図である。

第 3 2 図は、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

第 3 3 図は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

第 3 4 図は、回折光学素子をリソグラフィにより製造するために用いられるマスクの構成を概略的に示す図である。

第 3 5 図は、第 3 4 図のマスクを用いてガラス基板上に生成された回折光学素子を示す図である。

第 3 6 図は、第 5 実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される 5 極状の照野を示す図である。

第 3 7 図は、第 5 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第 3 8 図は、第 5 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。

第 3 9 図は、第 5 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の構成を概略的に示す図である。

第 4 0 図は、第 5 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の変形例を概略的に示す図である。

第 4 1 図は、第 6 実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される 5 極状の照野を示す図である。

第 4 2 図は、第 6 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子の基本的な作用

を説明する図である。

第43図は、第6実施形態における5極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。

第44図は、第6実施形態における5極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の構成を概略的に示す図である。

第45図は、第6実施形態における5極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の変形例を概略的に示す図である。

第46図は、第7実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される3極状の照野を示す図である。

第47図は、第7実施形態における3極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第48図は、第7実施形態における3極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。

第49図は、第7実施形態における3極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の構成を概略的に示す図である。

第50図は、第8実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される9極状の照野を示す図である。

第51図は、第8実施形態における9極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。第1図は、本発明の各実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第1図において、感光性基板であるウェハ15の法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ15の面内において第1図の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ15の面内において第1図の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

第1図の露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザー光源（または248nmの

波長の光を供給するKrFエキシマレーザー光源）を備えている。光源1からZ方向に沿って射出された平行光束は、X方向に沿って細長く延びた矩形状の断面を有し、整形光学系2に入射する。整形光学系2は、たとえば第1図の紙面内（YZ平面内）において負屈折力を有するレンズと正屈折力を有するレンズとから構成されている。

整形光学系2を介して所定の矩形状の断面を有する光束に整形された平行光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、回折光学素子4に入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、回折光学素子4は、入射した矩形状の平行光束を回折してファースフィールドに円形状の光束を形成する機能を有する発散光束形成素子である。

したがって、回折光学素子4を介して回折された光束は、第1変倍光学系としてのアフォーカルズームレンズ5に入射し、その瞳面に円形状の光束を形成する。この円形状の光束からの光は、アフォーカルズームレンズ5から射出されて、複数極照明（2極照明、4極照明、8極照明）用の回折光学素子6に入射する。アフォーカルズームレンズ5は、発散光束形成素子としての回折光学素子4と複数極照明用の回折光学素子6とを光学的にほぼ共役な関係に維持しながら、所定の範囲で倍率を連続的に変化させることができるように構成されている。ただし、第1図に示すように、回折光学素子6は、回折光学素子4と光学的に共役な面から光源側にわずかに位置ずれている。

こうして、回折光学素子6には、光軸AXに対してほぼ対称に斜め方向から光束が入射する。すなわち、回折光学素子4とアフォーカルズームレンズ5とは、光源1からの光束を光軸AXに対して様々な角度成分を有する光束に変換して、回折光学素子6の入射面（第1の所定面）へ入射させるための角度光束形成手段を構成している。回折光学素子6は、平行光束を入射させた場合にこの光束を回折して光軸AXを中心とした多極状の光束をファースフィールドに形成する機能を有する。回折光学素子6の詳細な構成および作用については後述する。

回折光学素子 6 を介した光束は、第 2 変倍光学系としてのズームレンズ 7 を介して、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイ（またはフライアイレンズ） 8 を照明する。なお、ズームレンズ 7 は、回折光学素子 6 とマイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面とを光学的にほぼ共役に結んでいる。換言すると、ズームレンズ 7 は、回折光学素子 6 とマイクロレンズアレイ 8 の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に結んでいる。

したがって、回折光学素子 6 を介した光束は、ズームレンズ 7 の後側焦点面（ひいてはマイクロレンズアレイ 8 の入射面）に、回折光学素子 4 による円形状分布と回折光学素子 6 自身による多極ドット状分布とのコンボリューションに基づく光強度分布、すなわち光軸 AX を中心とした複数極状の照野を形成する。このように、回折光学素子 6 とズームレンズ 7 とは、回折光学素子 6 の入射面（第 1 の所定面）に入射した様々な角度成分を有する光束に基づいて、光軸 AX を中心とした複数極状の照野をマイクロレンズアレイ 8 の入射面（第 2 の所定面）上に形成するための照野形成手段を構成している。この複数極状の照野の幅（外径と内径との差の $1/2$ ）はアフォーカルズームレンズ 5 の倍率に依存して変化し、その全体的な大きさはズームレンズ 7 の焦点距離に依存して変化する。

マイクロレンズアレイ 8 は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。マイクロレンズアレイ 8 を構成する各微小レンズは、マスク 13 上において形成すべき照野の形状（ひいてはウェハ 15 上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形状の断面を有する。一般に、マイクロレンズアレイは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

ここで、マイクロレンズアレイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロレンズアレイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズが互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロレンズアレイはフライアイレンズと同じである。なお、第 1 図では、図面の明瞭化の

ために、マイクロレンズアレイ 8 を構成する微小レンズの数を実際よりも非常に少なく表している。

したがって、マイクロレンズアレイ 8 に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面にはマイクロレンズアレイ 8 への入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸 A X を中心とした複数の実質的な面光源からなる複数極状の二次光源が形成される。このように、マイクロレンズアレイ 8 は、その入射面（第 2 の所定面）上に形成された複数極状の照野からの光束に基づいて、複数極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する複数極状の二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータを構成している。

マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面に形成された複数極状の二次光源からの光束は、必要に応じて複数極状の光透過部を有する開口絞りを介して制限され、コンデンサー光学系 9 の集光作用を受けた後、照明視野絞りとしてのマスクブラインド 10 を重疊的に照明する。マスクブラインド 10 の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、結像光学系（11a, 11b）の集光作用を受けた後、マスク 13 を重疊的に照明する。ここで、結像光学系（11a, 11b）はマスクブラインド 10 とマスク 13 とを光学的にほぼ共役に結んでおり、マスク 13 上には結像光学系（11a, 11b）を介してマスクブラインド 10 の矩形状の開口部の像が形成される。

マスク 13 は、二次元的に移動可能なマスクステージ（不図示）上に支持されている。マスク 13 のパターンを透過した光束は、投影光学系 14 を介して、感光性基板であるウェハ 15 上にマスクパターンの像を形成する。ウェハ 15 は、二次元的に移動可能なウェハステージ（不図示）上に支持されている。こうして、投影光学系 14 の光軸 A X と直交する平面（X Y 平面）内においてウェハ 15 を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハ 15 の各露光領域にはマスク 13 のパターンが逐次露光される。

なお、一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウェハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マ

スク 13 上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、マイクロレンズアレイ 8 の各微小レンズの断面形状も正方形に近い矩形状となる。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウェハを投影光学系に対して相対移動させながらウェハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスク 13 上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば 1 : 3 の矩形状であり、マイクロレンズアレイ 8 の各微小レンズの断面形状もこれと相似な矩形状となる。

各実施形態において、回折光学素子 6 は、照明光路に対して交換可能に構成された各種の複数極照明用の回折光学素子 61 ~ 64 を備えている。また、発散光束形成素子としての回折光学素子 4 に代えて、たとえば縦横に且つ稠密に配列された多数の正六角形状の微小レンズ（またはレンズエレメント）から構成されたマイクロレンズアレイ（またはフライアイレンズ）を用いることもできる。この場合、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には、正六角形と多極ドットとのコンボリューションに基づく光強度分布、すなわち光軸 AX を中心とした複数極状の照野が形成され、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面には光軸 AX を中心とした複数の実質的な面光源からなる複数極状の二次光源が形成される。

（第 1 実施形態）

第 2 図は、第 1 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子に含まれる基本回折光学素子および補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。また、第 3 図は、第 2 図における各光学素子の断面図である。さらに、第 4 図は、第 1 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子に含まれる 4 種類のブロックの構成を概略的に示す図である。また、第 5 図は、第 1 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。さらに、第 6 図は、第 1 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第 2 図を参照すると、第 1 実施形態の回折光学素子 61 は、X 方向に沿った直線格子パターンを有する第 1 基本回折光学素子 A1 と、Z 方向に沿った直線格子パターンを有する第 2 基本回折光学素子 B1 と、第 1 基本回折光学素子 A1 における凸面と凹面とを反転して得られる第 1 補完回折光学素子 A2 と、第 2 基本回

折光学素子B 1における凸面と凹面とを反転して得られる第2補完回折光学素子B 2とを備えている。つまり、第2基本回折光学素子B 1は、第1基本回折光学素子A 1のパターンをXZ平面において図中反時計廻りに90度回転させて得られるパターンを有する。また、第2補完回折光学素子B 2は、第1補完回折光学素子A 2のパターンをXZ平面において図中反時計廻りに90度回転させて得られるパターンを有する。

第2図中において、斜線部は凸面を、非斜線部（空白部）は凹面をそれぞれ示している。すなわち、各光学素子A 1、A 2、B 1およびB 2は、第3図に示すように、凸面と凹面との繰り返しからなる2値型の回折光学素子パターンを有し、その凸面および凹面の幅W（ひいては凸面および凹面のピッチP（=2W））は各光学素子の全体に亘って一定であり、全体として一辺が長さL（L=mP：mは整数）の正形状の外形を有する。なお、斜線部が凸面を示し且つ非斜線部（空白部）が凹面を示す表記は、他の関連する第10図および第23図においても同様である。

したがって、第1補完回折光学素子A 2は、第1基本回折光学素子A 1が発生する光振幅に対して1/2波長（180度）の位相差を持った光振幅が発生するパターンを有する。また、第2補完回折光学素子B 2は、第2基本回折光学素子B 1が発生する光振幅に対して1/2波長（180度）の位相差を持った光振幅が発生するパターンを有する。さらに、各光学素子A 1、A 2、B 1およびB 2における凸面と凹面との段差（凸部と凹部との間の高さ寸法）dは、回折効率が最も良くなるように、すなわち位相差が $\lambda/2$ になるように、次の式（1）にしたがって設定されている。

$$d = \lambda / \{ 2 (n_1 - n_2) \} \quad (1)$$

ここで、 λ は照明光（露光光）の波長すなわち使用波長であり、 n_1 は回折光学素子6（61～64）のガラス基板の使用波長における屈折率であり、 n_2 は照明光路の雰囲気形成する媒体の使用波長における屈折率である。具体的に、使用波長 λ を193nmとし、ガラス基板の屈折率を1.5とし、媒体としての空気または不活性ガスの屈折率を1.0とすると、段差dは193nm程度に設

定されることになる。

また、各光学素子A 1、A 2、B 1およびB 2における凸面および凹面のピッチPは、回折光学素子6（6 1～6 4）に対して設定すべき所望の回折角 θ に応じて、次の式（2）にしたがって設定されている。

$$P = \lambda / \sin \theta \quad (2)$$

第4図を参照すると、第1実施形態の回折光学素子6 1は、4種類のブロックC 1～C 4を備えている。なお、第1ブロックC 1では、8個の第1基本回折光学素子A 1と8個の第2基本回折光学素子B 1とがX方向およびZ方向の双方向に沿って交互に配列されている。また、第2ブロックC 2では、8個の第1基本回折光学素子A 1と8個の第2補完回折光学素子B 2とがX方向およびZ方向の双方向に沿って交互に配列されている。

さらに、第3ブロックC 3では、8個の第1補完回折光学素子A 2と8個の第2基本回折光学素子B 1とがX方向およびZ方向の双方向に沿って交互に配列されている。また、第4ブロックC 4では、8個の第1補完回折光学素子A 2と8個の第2補完回折光学素子B 2とがX方向およびZ方向の双方向に沿って交互に配列されている。こうして、各ブロックC 1～C 4は、ともに正形状（4 L × 4 L）の外形を有し、互いに同じ大きさを有する。

第5図を参照すると、第1実施形態の回折光学素子6 1は、縦横に且つ稠密に配列された多数のブロックC 1～C 4により構成されている。ここで、各ブロックC 1～C 4は互いにほぼ同数であり、回折光学素子6 1の矩形状の有効領域（有効径）6 1 aの全体に亘ってランダム配置されている。

第1図の露光装置において複数極照明用の回折光学素子6の位置に第1実施形態の回折光学素子6 1を設置し、この回折光学素子6 1に平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ8の入射面には第6図に示すような4点状の光強度分布が得られる。ここで、光軸AXを挟んでX方向に沿った2点状の光強度分布は、第1基本回折光学素子A 1および第1補完回折光学素子A 2の作用により形成される。また、光軸AXを挟んでZ方向に沿った2点状の光強度分布は、第2基本回折光学素子B 1および第2補完回折光学素子B 2の作用により形成される。

第7図は、第1実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に4極状の照野が形成される原理を説明する図である。また、第8図は、第1実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される4極状の照野を示す図である。さらに、第9図は、第1実施形態において発散光束形成素子としてマイクロレンズアレイを用いた場合に、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイの入射面に形成される4極状の照野を示す図である。なお、第7図では、発散光束形成素子としての回折光学素子4に代えてマイクロレンズアレイ4aを用いた状態を示している。

第7図では、発散光束形成素子として正六角形状の微小レンズから構成されたマイクロレンズアレイ4aを用いているので、その後側焦点面には多数の光源が形成される。そして、多数の光源からの光は、アフォーカルズームレンズ5の瞳面には正六角形状の光束（正六角形状の光強度分布）が形成される。なお、発散光束形成素子として回折光学素子4が用いられている場合、前述したように、アフォーカルズームレンズ5の瞳面には円形状の光束（円形状の光強度分布）が形成される。

アフォーカルズームレンズ5の瞳面に形成された正六角形状または円形状の光強度分布からの光束は、アフォーカルズームレンズ5から射出され、様々な角度成分を有する光束となって回折光学素子61に入射する。回折光学素子61に対して様々な角度成分を有する集光光束が入射すると、例えば光軸AXに平行な光線a1は、回折光学素子61を通過した後、光軸AXに対して角度 $\pm\theta$ （ $-\theta$ 側は不図示）だけ回折した方向に進む。また、例えば、光軸AXに対して $\pm t$ だけ角度を持った光線a2、a3は、回折光学素子61を通過した後、光軸AXに対して $\pm(\theta \pm t)$ （ $-(\theta \pm t)$ 側は不図示）だけ回折した方向に進む。

その後、光線a1、a2、a3は、焦点距離fを有するズームレンズ7を介して、マイクロレンズアレイ8の入射面に達する。一方、マイクロレンズアレイ4aにおいて光線a1、a2、a3とは異なる微小レンズ要素を通過した光線b1、b2、b3も、回折光学素子61およびズームレンズ7を介して、マイクロレンズアレイ8の入射面において光線a1、a2、a3と同じ領域に達する。換言す

れば、マイクロレンズアレイ 8 の入射面では、同じ領域が光線 a 1 ～ a 3 と光線 b 1 ～ b 3 とで重疊的に照明される。

上述したように、回折光学素子 6 1 に平行光束が入射すると、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には第 6 図に示すような 4 点状の光強度分布が形成される。しかしながら、実際には、回折光学素子 6 1 には平行光束ではなく、錐体状（マイクロレンズアレイ 4 a の場合には正六角錐体状、回折光学素子 4 の場合には円錐体状）の光束範囲によって規定される角度成分を有する光束が入射する。こうして、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には、第 8 図または第 9 図に示すように、4 点状の光強度分布と円形状または正六角形状の光束とのコンボリューションからなる 4 極状の照明分布（照野）が形成される。

その結果、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面（照明瞳面）には、4 極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する 4 極状の二次光源が形成される。ここで、4 極状の二次光源は 4 つの円形状または正六角形状の実質的な面光源、すなわち光軸 A X を挟んで X 方向に対称的に配置された 2 つの面光源と光軸 A X を挟んで Z 方向に対称的に配置された 2 つの面光源とにより構成されている。こうして、第 1 実施形態では、回折光学素子 6 1 の作用により、照明瞳面において実質的に均一な 4 極状の二次光源が形成される。

第 1 実施形態では、アフォーカルズームレンズ 5 の倍率を変化させることにより、4 極状の二次光源を構成する各面光源の中心と光軸 A X との距離が変化することなく、各面光源の大きさ（4 極状の二次光源に外接する円の半径－4 極状の二次光源に内接する円の半径）だけを変化させることができる。一方、ズームレンズ 7 の焦点距離を変化させることにより、上述の距離および大きさの双方を変化させて、4 極状の二次光源の全体を相似的に拡大または縮小させることができる。

なお、上述の第 1 実施形態では、各ブロック C 1 ～ C 4 において、横方向および縦方向にそれぞれ 4 個の光学素子を配列しているが、これに限定されることなく、一般的に横方向および縦方向にそれぞれ n 個（ $n \geq 2$ ）の光学素子を配列することにより各ブロック C 1 ～ C 4 を構成することもできる。第 1 実施形態のよ

うに4種類の光学素子(A 1, A 2, B 1, B 2)をブロック化してランダム配列することは、各光学素子(A 1, A 2, B 1, B 2)を規則配列する場合に比べて、干渉ノイズに起因する照度むらの低減に有利であることが実験的によっても計算シミュレーションによっても確認されている。

(第2実施形態)

第1実施形態では、回折光学素子6 1の作用により、光軸AXを挟んでX方向に対称的に配置された2つの面光源と光軸AXを挟んでZ方向に対称的に配置された2つの面光源とからなる十字型4極状の二次光源を形成している。これに対し、第2実施形態では、回折光学素子6 2の作用により、光軸AXを挟んでX軸に対して45度をなす方向に対称的に配置された4つの面光源からなるX型4極状の二次光源を形成している。以下、第1実施形態との相違点に着目して、第2実施形態を説明する。

第10図は、第2実施形態における4極照明用の回折光学素子に含まれる基本回折光学素子および補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。また、第11図は、第2実施形態における4極照明用の回折光学素子に含まれる4種類のブロックの構成を概略的に示す図である。また、第12図は、第2実施形態における4極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。さらに、第13図は、第1実施形態における4極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。

第10図を参照すると、第2実施形態の回折光学素子6 2は、+X方向に対して+Y軸廻り（図中時計廻りを正の角度として）に+45度をなす方向に沿った直線格子パターンを有する第1基本回折光学素子D 1と、+Z方向に対して+Y軸廻りに-45度をなす方向に沿った直線格子パターンを有する第2基本回折光学素子E 1と、第1基本回折光学素子D 1における凸面と凹面とを反転して得られる第1補完回折光学素子D 2と、第2基本回折光学素子E 1における凸面と凹面とを反転して得られる第2補完回折光学素子E 2とを備えている。

つまり、第2基本回折光学素子E 1は、第1基本回折光学素子D 1のパターンをXZ平面において図中反時計廻りに90度回転させて得られるパターンを有す

る。また、第2補完回折光学素子E₂は、第1補完回折光学素子D₂のパターンをXZ平面において図中反時計廻りに90度回転させて得られるパターンを有する。第2実施形態においても第1実施形態と同様に、各光学素子D₁、D₂、E₁およびE₂は、凸面と凹面との繰り返しからなる2値型の回折光学素子パターンを有し、その凸面および凹面の幅Wは各光学素子の全体に亘って一定であり、全体として一辺が長さL（ $L = mP$ ：mは整数）の正形状の外形を有する。

第11図を参照すると、第1実施形態の回折光学素子62は、4種類のブロックF₁～F₄を備えている。なお、第1ブロックF₁では、9個の第1基本回折光学素子D₁と9個の第2基本回折光学素子E₁とがX方向と45度をなす2つの方向に沿って交互に配列されている。また、第2ブロックF₂では、9個の第1基本回折光学素子D₁と9個の第2補完回折光学素子E₂とがX方向と45度をなす2つの方向に沿って交互に配列されている。

さらに、第3ブロックF₃では、9個の第1補完回折光学素子D₂と9個の第2基本回折光学素子E₁とがX方向と45度をなす2つの方向に沿って交互に配列されている。また、第4ブロックF₄では、9個の第1補完回折光学素子D₂と9個の第2補完回折光学素子E₂とがX方向と45度をなす2つの方向に沿って交互に配列されている。こうして、各ブロックF₁～F₄は、互いに同じ大きさを有する。

第12図を参照すると、第2実施形態の回折光学素子62は、縦横に且つ稠密に配列された多数のブロックF₁～F₄により構成されている。ここで、各ブロックF₁～F₄は互いにはほぼ同数であり、回折光学素子62の矩形状の有効領域（有効径）62aの全体に亘ってランダム配置されている。このとき、有効領域62aにおいて隙間が発生しないように、多数のブロックF₁～F₄は所定のマージンをもって配置されている。

第1図の露光装置において複数極照明用の回折光学素子6の位置に第2実施形態の回折光学素子62を設置し、この回折光学素子62に平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ8の入射面には第13図に示すようなX型4点状の光強度分布が得られる。ここで、光軸AXを挟んで+X方向に対して+Y軸廻り

(図中時計廻りを正の角度として) に $+45$ 度をなす方向に沿った2点状の光強度分布は、第1基本回折光学素子D1および第1補完回折光学素子D2の作用により形成される。また、光軸AXを挟んで $+Z$ 方向に対して $+Y$ 軸廻りに -45 度をなす方向に沿った2点状の光強度分布は、第2基本回折光学素子E1および第2補完回折光学素子E2の作用により形成される。

したがって、第2実施形態において、マイクロレンズアレイ8の入射面には、第14図または第15図に示すように、X型4点状の光強度分布と円形状または正六角形状の光束とのコンボリューションからなる4極状の照明分布(照野)が形成される。その結果、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面(照明瞳面)には、4極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有するX型4極状の二次光源が形成される。こうして、第2実施形態においても第1実施形態と同様に、回折光学素子62の作用により、照明瞳面において実質的に均一な4極状の二次光源が形成される。

また、第2実施形態においても第1実施形態と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、4極状の二次光源を構成する各面光源の中心と光軸AXとの距離が変化することなく、各面光源の大きさだけを変化させることができる。一方、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、上述の距離および大きさの双方を変化させて、4極状の二次光源の全体を相似的に拡大または縮小させることができる。さらに、各ブロックF1～F4における光学素子の配列方法についても、第1実施形態と同様に様々な変形例が可能である。

(第3実施形態)

第1実施形態では回折光学素子61の作用により十字型4極状の二次光源を形成し、第2実施形態では回折光学素子62の作用によりX型4極状の二次光源を形成している。これに対し、第3実施形態では、回折光学素子61の作用と回折光学素子62の作用との合成により、8極状の二次光源を形成している。以下、第1実施形態および第2実施形態との相違点に着目して、第3実施形態を説明する。

第3実施形態において8極照明用の回折光学素子63は、第1実施形態における4極照明用の回折光学素子61に含まれる4種類の光学素子(A1, A2, B

1, B 2) と、第 2 実施形態における 4 極照明用の回折光学素子 6 2 に含まれる 4 種類の光学素子 (D 1, D 2, E 1, E 2) に類似の (D 1', D 2', E 1', E 2') とを備えている。また、第 3 実施形態の回折光学素子 6 3 は、ブロック C 1 ~ C 4 と F 1' ~ F 4' とを含む 4 種類のブロック D Q 1 ~ D Q 4 を備えている。

第 16 図は、第 3 実施形態における基本回折光学素子および補完回折光学素子 (D 1', D 2', E 1', E 2') の構成を概念的に示す図である。下記で述べるようにブロック C 1 ~ C 4 と合成するために、正方形境界と直線回折格子のパターンは 45 度の傾きをもってパタニングされている。第 17 図は、光学素子 (D 1', D 2', E 1', E 2') によって構成されるブロック F 1' から F 4' の構成を概念的に示す図である。第 18 図は、ブロック C 1 ~ C 4 とブロック F 1' ~ F 4' とを組み合わせることによって合成ブロック D Q 1 から D Q 4 を構成する概念図である。第 19 図は、多数の合成ブロック D Q 1 から D Q 4 を縦横に稠密に配列することによって構成された第 3 実施形態の回折光学素子 6 3 の構成を概念的に示す図である。ここで、各合成ブロック D Q 1 ~ D Q 4 は互いにほぼ同数であり、回折光学素子 6 3 の矩形状の有効領域の全体に亘ってランダムに配置されている。

第 1 図の露光装置において複数極照明用の回折光学素子 6 の位置に第 3 実施形態の回折光学素子 6 3 を設置し、この回折光学素子 6 3 に平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には第 20 図に示すような 8 点状の光強度分布が得られる。ここで、光軸 A X を挟んで X 方向に沿った 2 点状の光強度分布は、第 1 基本回折光学素子 A 1 および第 1 補完回折光学素子 A 2 の作用により形成される。また、光軸 A X を挟んで Z 方向に沿った 2 点状の光強度分布は、第 2 基本回折光学素子 B 1 および第 2 補完回折光学素子 B 2 の作用により形成される。

さらに、光軸 A X を挟んで + X 方向に対して + Y 軸廻り (図中時計廻りを正の角度として) に + 45 度をなす方向に沿った 2 点状の光強度分布は、第 1 基本回折光学素子 D 1' および第 1 補完回折光学素子 D 2' の作用により形成される。また、光軸 A X を挟んで + Z 方向に対して + Y 軸廻りに - 45 度をなす方向に沿

った2点状の光強度分布は、第2基本回折光学素子E1'および第2補完回折光学素子E2'の作用により形成される。

したがって、第3実施形態において、マイクロレンズアレイ8の入射面には、第21図または第22図に示すように、8点状の光強度分布と円形状または正六角形状の光束とのコンボリューションからなる8極状の照明分布（照野）が形成される。その結果、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面（照明瞳面）には、8極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する8極状の二次光源が形成される。こうして、第3実施形態では、回折光学素子63の作用により、照明瞳面において実質的に均一な8極状の二次光源が形成される。

第3実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、8極状の二次光源を構成する各面光源の中心と光軸AXとの距離が変化することなく、各面光源の大きさだけを変化させることができる。一方、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、上述の距離および大きさの双方を変化させて、8極状の二次光源の全体を相似的に拡大または縮小させることができる。

（第4実施形態）

第1実施形態および第2実施形態では、回折光学素子61または62の作用により、4極状の二次光源を形成している。これに対し、第4実施形態では、回折光学素子64の作用により、2極状の二次光源を形成している。以下、第1実施形態および第2実施形態との相違点に着目して、第4実施形態を説明する。

第23図は、第4実施形態における2極照明用の回折光学素子に含まれる基本回折光学素子および補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。また、第24図は、第4実施形態における2極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。さらに、第25図は、第4実施形態における各光学素子のランダム配置を説明する図である。

第1実施形態および第2実施形態では、基本回折光学素子（A1, B1, D1, E1）が発生する光束の位相を0位相とすると、補完回折光学素子（A2, B2, D2, E2）が発生する光束の位相が π 位相になるように設定している。換言すれば、補完回折光学素子（A2, B2, D2, E2）は、基本回折光学素子（A

1, B 1, D 1, E 1) が発生する光振幅に対して π の位相差を持った光振幅を発生するように設定されている。これに対し、第 4 実施形態では、基本回折光学素子 G 1 が発生する光束の位相を 0 位相とすると、第 1 ～ 第 3 補完回折光学素子 G 2 ～ G 4 が発生する光束の位相が、それぞれ $\pi/2$ 位相、 π 位相、 $3\pi/2$ 位相になるように設定している。

この場合、基本回折光学素子 G 1 は、たとえば第 1 実施形態の基本回折光学素子 A 1 と同じパターンを有する。また、第 2 補完回折光学素子 G 3 は、第 1 実施形態の補完回折光学素子 A 2 と同じパターン（基本回折光学素子 A 1 を反転させたパターン）を有する。なお、簡単のために、第 2 3 図では、基本回折光学素子および補完回折光学素子中に含まれる凹凸部分の本数を減らして表記してある。実際には、凹凸のペアを 1 ピッチ分として、5 ピッチ以上の凹凸パターンが含まれるように光学素子の外形（大きさ）を設定することが望ましい。

一方、位相差が $\pi/2$ である第 1 補完回折光学素子 G 2 は、基本回折光学素子 G 1 のパターンを、凹凸パターンのピッチ P の $1/4$ だけシフトすることにより得られる。また、位相差が $3\pi/2$ である第 3 補完回折光学素子 G 4 は、基本回折光学素子 G 1 のパターンを、 $3P/4$ だけシフトすることにより得られる。すなわち、第 3 補完回折光学素子 G 4 は、第 1 補完回折光学素子 G 2 を位相的に反転させたパターンを有する。また、各光学素子 G 1 ～ G 4 は、ともに正形状の外形（境界）を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。

第 4 実施形態では、基本回折光学素子 G 1 および第 1 ～ 第 3 補完回折光学素子 G 2 ～ G 4 がそれぞれ発生する光束の強度分布（光の発散方向や強さ）は同じであるが、その強度分布を規定する光振幅の位相部分のみが異なっている。このように、強度分布が同じで且つ位相が互いに異なる 4 種類の光束をランダムに混合することによって、規則的な干渉ノイズを格段に低減することが可能になる。

第 2 4 図を参照すると、第 4 実施形態の 2 極照明用の回折光学素子 6 4 は、縦横に且つ稠密に配列された多数の基本回折光学素子 G 1 と第 1 補完回折光学素子 G 2 と第 2 補完回折光学素子 G 3 と第 3 補完回折光学素子 G 4 とにより構成されている。また、各素子 G 1 ～ G 4 は互いにほぼ同数であり、回折光学素子 6 4 の

矩形状の有効領域（有効径）64aの全体に亘ってランダム配置されている。

各素子G1～G4をランダム配置するには、第25図に示すように、(3, 2, 1, 0)の乱数列の0を基本回折光学素子G1に対応させ、1を第1補完回折光学素子G2に対応させ、2を第2補完回折光学素子G3に対応させ、3を第3補完回折光学素子G4に対応させて乱数表を作成する。ここで乱数列としては、0～3の数字をそれぞれほぼ同数含むものを選択して使用する。そして、作成した乱数表にしたがって各素子G1～G4のパターンを配列することにより、第24図に示すような回折光学素子64の構成が得られる。

第1図の露光装置において複数極照明用の回折光学素子6の位置に第4実施形態の回折光学素子64を設置し、この回折光学素子64に平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ8の入射面には第26図に示すような2点状の光強度分布が得られる。したがって、第4実施形態において、マイクロレンズアレイ8の入射面には、第27図または第28図に示すように、2点状の光強度分布と円形状または正六角形状の光束とのコンボリューションからなる2極状の照明分布（照野）が形成される。

その結果、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面（照明瞳面）には、2極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する2極状の二次光源が形成される。こうして、第4実施形態では、回折光学素子64の作用により、照明瞳面において実質的に均一な2極状の二次光源が形成される。

第4実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、2極状の二次光源を構成する各面光源の中心と光軸AXとの距離が変化することなく、各面光源の大きさだけを変化させることができる。一方、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、上述の距離および大きさの双方を変化させて、2極状の二次光源の全体を相似的に拡大または縮小させることができる。

なお、第4実施形態では、基本回折光学素子G1が第1実施形態の基本回折光学素子A1と同じパターンを有するので、光軸AXを挟んでX方向に対称な2極状の二次光源が形成されている。しかしながら、基本回折光学素子G1が第1実施形態の基本回折光学素子B1と同じパターンを有する場合、光軸AXを挟んで

Z方向に対称な2極状の二次光源を形成することができる。また、基本回折光学素子G 1が第2実施形態の基本回折光学素子D 1またはE 1と同じパターンを有する場合、光軸AXを挟んでX方向に対して45度をなす方向に対称な2極状の二次光源を形成することができる。

また、第4実施形態では、基本回折光学素子と補完回折光学素子とで合計4種類の位相をランダム配置する場合について説明したが、これに限定されることなく、さらに位相の種類を増加して（さらに補完回折光学素子の種類数を増加して）、さらに均一な照明を行うことができる。一般に、1つの基本回折光学素子に対して位相の異なる複数の補完回折光学素子を設定する場合、干渉ノイズの低減効果を向上させるために、位相差はほぼ等間隔で変化することが好ましい。

第1実施形態～第3実施形態のように補完回折光学素子が1種類の場合には、基本回折光学素子に対して補完回折光学素子の位相が π だけずれているのが望ましく、基本回折光学素子と補完回折光学素子とをランダム配列することによって最低限のランダム位相効果を達成することができる。この場合、補完回折光学素子の種類が少なく、パターンニングが楽になるという利点がある。なお、複数種類の補完回折光学素子を設定する手法は、上述の第1実施形態～第3実施形態に対しても適用可能である。

上述のように照明瞳面に複数極状の二次光源を形成する場合、二次光源を構成する各面光源の光強度分布はトップハット状であることが理想的である。しかしながら、実際には、回折により周辺（エッジ）において光強度が緩慢に低下する現象（いわゆる周辺ダレ）が起こる。特に、ライン・アンド・スペースパターンにおける回折の影響よりも、光学素子それ自体の周期性に依存する1次光による周辺ダレを極力低減する必要がある。

すなわち、例えば第1実施形態における回折素子（ブロック）C 1では、第4図に示すようにA 1とB 1とが周期的に配置されている。A 1はX方向に関する照明成分、B 1はZ方向に関する照明成分を担う回折素子要素である。すなわち、例えばX方向に関してみる限りB 1要素は全く寄与せず、またZ方向についてみればA 1要素は全く寄与しない。換言すると、例えばX方向に関して考慮する限

りにおいては、C 1 素子は、B 1 部分が完全に遮光されたパターンとして考えることができる。よって、例えばX方向に関して考える場合、C 1 素子はLの大きさを持つA 1 パターンとLの大きさを持つ遮光部分とのワンセットが2Lの周期で配置された白黒タイプの回折素子として作用し、これによる付加回折成分を本質的に発生してしまう。これはZ方向についても全く同じである。

このような付加回折成分は周辺だれの要因となるので、一定値以下に抑えておく必要がある。ここで、第29図は、複数極状の二次光源を構成する各面光源の光強度プロファイルを模式的に示す図である。同図において付加的回折成分が仮に無いとした場合にはMで示した主成分のみが最終的な面光源の分布となるのであるが、実際にはSで示した付加回折成分が、回折の分だけシフトして主成分Mに重畳し、周辺ダレの要因となる。なお、同図では、Sは付加回折成分の+1次成分だけを例示しており、実際には-1次成分や高次成分も発生している。しかし、高次成分については寄与が小さいので、ここでは1次成分のみを考慮すれば十分である。また、回折光は対称的に発生するので、ここでは絶対値のみ（例えば+1次成分のみ）を考慮すればよい。

付加的回折成分S（+1次成分）の回折角 θ_1 は、上述した原理の2Lをピッチとする白黒回折素子を仮想的に考えて、次の基本式（3a）で見積ることができる。

$$2L \sin \theta_1 = \lambda \quad (3a)$$

ここで、 λ は照明光波長である。さらに、ズームレンズ7の焦点距離をfとすると、付加的回折成分によるずれ量 Δx は、次式（3b）に示すように算出される。

$$\Delta x = f \sin \theta_1 = f \lambda / (2L) \quad (3b)$$

なお、上式（3b）において、 $\sin \theta_1$ は式（3a）で見積られる数式を代入して計算している。

このずれ量 Δx が小さいほど、付加的回折成分の影響は小さくなる。 Δx の許容量としては、元々の主成分であるMの面光源としての大きさ ϕ （直径）の1/5以下であれば良好な照明が行える。この条件は、次式（3c）で与えられる。

$$f \lambda / (2L) < \phi / 5 \quad (3c)$$

すなわち、各実施形態では、式(3c)を変形して得られる条件式(4)を満足することが好ましい。

$$L > 2.5 \times f \times \lambda / \phi \quad (4)$$

また、各実施形態では、複数極状の二次光源における照度コントラストを良好にするために、発散光束形成素子としての回折光学素子4を構成する各光学要素に対応する要素光束の中に少なくとも4つの光学素子が含まれるように、回折光学素子6(61～64)を位置決めすることが好ましい。なお、発散光束形成素子としてマイクロレンズアレイ4aを用いる場合にも、各光学要素(各微小レンズ要素)に対応する要素光束の中に少なくとも4つの光学素子が含まれるように、回折光学素子6(61～64)を位置決めすることが好ましい。

なお、上述の第1実施形態～第3実施形態では、回折光学素子の全体に亘ってランダム配列された複数のブロックを備え、各ブロックにおいて2種類の光学素子が同数だけ交互に配列されている。この配列方法では、部分的な規則性が導入されているので、指向性を強めつつ且つ干渉ノイズが実質的に発生しない程度にランダム位相効果による照度むらの平均化を実現することができる。

ただし、上述の配列方法に限定されることなく、第1実施形態～第3実施形態においても第4実施形態と同様に、各光学素子を回折光学素子の全体に亘ってランダム配列することもできる。また、回折光学素子が複数のブロックを備え、各ブロックにおいて多数の光学素子をランダム配列することもできる。この場合、各種の光学素子が互いにほぼ同数であることが好ましい。また、回折光学素子が複数種類のブロックを備え、各種のブロック毎にランダム配列の形態が異なることが好ましい。

次に、第1実施形態を参照して、部分ランダム配置について具体的に説明する。第34図は、回折光学素子をリソグラフィにより製造するために用いられるマスクの構成を概略的に示す図である。また、第35図は、第34図のマスクを用いてガラス基板上に生成された回折光学素子を示す図である。第34図を参照すると、マスクの中央には、2つのブロックパターンAAP1およびAAP2が、た

例えばEB描画によって形成されている。

ブロックパターンAAP1内には、第1から第4のブロック素子C1, C2, C3, C4がそれぞれ100個ずつ、ブロックの全体に亘ってランダム配列されている。ブロックパターンAAP1におけるランダム配列の規則については、例えば第25図と同様の乱数列が用いられている。同様に、ブロックパターンAAP2内にも、第1から第4のブロック素子C1, C2, C3, C4がそれぞれ100個ずつランダム配列されている。ただし、ブロックパターンAAP2におけるランダム配列の規則は、ブロックパターンAAP1におけるランダム配列の規則とは異なる。すなわち、ブロックパターンAAP2では、ブロックパターンAAP1に使用した乱数列とは異なる配列の乱数列を用いてランダム配列が行われている。

また、マスクの周辺には、3つのアライメントマークamが描画されている。アライメントマークamは、レジストの塗布されたガラス基板上に縮小投影露光によってブロックパターンAAP1およびAAP2を露光する際の位置基準となる。さらに、マスクには、一对の切断用ガイドパターン（ガイド窓）GPが描画されている。切断用ガイドパターンGPは、回折光学素子を所定の形状に切断するための切断線をマークするために使用される。

また、マスクには、線幅およびエッチング深さを制御するための制御用規則パターンとして、たとえばライン・アンド・スペースパターンLSが形成されている。すなわち、パターンLSは、その内部に線幅2 μ m程度の直線状のライン・アンド・スペースパターンを含んだテストパターンであり、ブロックパターンAAP1およびAAP2の露光の前後に、このパターンLSを回折光学素子の有効径の外側に焼き付け、線幅制御とエッチング深さ制御のために用いられる。

第35図に示す回折光学素子は、第34図のマスクを用いてブロックパターンAAP1とAAP2とを互い違いに4 $\times$ 12回露光し、現像およびエッチングして得られたものである。こうして生成された回折光学素子では、その有効径の全体に亘って素子がランダム配置されておらず、いわゆる部分ランダム配置されている。このような部分ランダム配置では、互い違い配列された各ブロック内にお

いて素子がランダム配置されていること、およびエキシマレーザの干渉性が有限であることから、所定の光学性能を発揮することができる。また、一枚のレチクル原版（マスク）で回折光学素子を簡易に且つ安価に製造することができる。

なお、干渉ノイズについてより高い低減効果を達成するためには、2つのブロックパターンA A P 1 およびA A P 2 に加えて、さらにA A P 3, A A P 4, ... のように内部ランダム配列の異なる別のブロックパターンを適宜用意することが好ましい。そして、全てのブロックを順次回折光学素子上に露光し、現像およびエッチングすることによって、第5図に示すように有効径の全体に亘って素子C 1, C 2, C 3, C 4がランダム配列された回折光学素子を製造することが可能である。

ところで、全てのブロックパターンを第3 4図のマスク上に配置しきれない場合には、他の1つまたは複数のマスク上に残りのブロックパターンを描画し、マスクを順次交換しながら全てのブロックパターンをガラス基板上に露光することにより回折光学素子を製造することが可能である。なお、以上において第3 4図、第3 5図を一例として説明した部分的ランダム配置による回折光学素子のパタニング方法は、第1実施形態のみならず、本発明の全ての実施形態に適用することが可能である。すなわち各実施形態において、第3 4図と同様の回折光学素子のマスクを製造し、該マスクを用いて第3 5図と同様の部分ランダムパタニングによる回折光学素子を製造することが可能である。また、本発明の全ての実施形態において、回折光学素子をパタニングする基板の材料としては、たとえば合成石英、水晶、螢石等を使用することが可能である。

なお、上述の各実施形態および各変形例において、直線格子パターンの周期（ピッチ）Pを $0.1\mu\text{m}\sim 250\mu\text{m}$ 程度に、基本回折光学素子および補完回折光学素子の有効径の面積を $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}\times 1000\mu\text{m}$ 程度に、回折光学素子の有効径内における基本回折光学素子および補完回折光学素子の数を約10個以上に設定することができる。

ところで、第1図に示す露光装置では、複数極状の二次光源を形成するために波面分割型のオプティカルインテグレータであるマイクロレンズアレイ8を用い

ているが、このマイクロレンズアレイ 8 に代えて内面反射型のオプティカルインテグレータであるロッド・インテグレータ（ロッド型インテグレータ）を用いることもできる。第 30 図は、第 1 図の露光装置においてマイクロレンズアレイに代えてロッド・インテグレータを用いた場合の要部構成を概略的に示す図である。

第 30 図を参照すると、マイクロレンズアレイ 8 に代えてロッド・インテグレータ 81 を配置することに対応して、ズームレンズ 7 とロッド・インテグレータ 81 との間の光路中にインプットレンズ 82 を配置し、ロッド・インテグレータ 81 とコンデンサー光学系 9 との間の光路中にリレーレンズ 83 を配置している。ここで、第 30 図に示す A 面が第 1 図のマイクロレンズアレイ 8 の入射面に対応し、第 30 図に示す B 面が第 1 図のマイクロレンズアレイ 8 の射出面に対応している。

ロッド・インテグレータ 81 は、石英ガラスや蛍石のような硝子材料からなる内面反射型のガラスロッドであり、内部と外部との境界面すなわち内面での全反射を利用して集光点を通りロッド入射面に平行な面に沿って内面反射数に応じた数の光源を形成する。ここで、形成される光源のほとんどは虚像であるが、中心（集光点）の光源のみが実像となる。すなわち、ロッド・インテグレータ 81 に入射した光束は内面反射により角度方向に分割され、集光点を通りその入射面に平行な面に沿って多数の光源からなる二次光源が形成される。

したがって、回折光学素子 6（61～64）を通過した光束は A 面に複数極状の照野を形成した後に、インプットレンズ 82 を介して、ロッド・インテグレータ 81 の入射面 81a の近傍に集光する。こうして、ロッド・インテグレータ 81 によりその入射側に形成された複数極状の二次光源からの光束は、その射出面 81b において重畳された後、リレーレンズ 83 およびコンデンサー光学系 9 を介して、所定のパターンが形成されたレチクル（マスク）13 を重畳的に照明する。

なお、リレーレンズ 83 およびコンデンサー光学系 9 を取り外し、ロッド・インテグレータ 81 の射出面 81b をレチクル 13 の近傍に設置することもできる。あるいは、ズームレンズ 7 およびインプットレンズ 82 を取り外し、ロッド・イ

ンテグレータ 8 1 の入射面 8 1 a を回折光学素子 6 (6 1 ~ 6 4) の射出面の近傍に設置することもできる。あるいは、ズームレンズ 7、インプットレンズ 8 2、リレーレンズ 8 3 およびコンデンサー光学系 9 を取り外し、ロッド・インテグレータ 8 1 の入射面 8 1 a を回折光学素子 6 (6 1 ~ 6 4) の射出面の近傍に設置するとともに、ロッド・インテグレータ 8 1 の射出面 8 1 b をレチクル 1 3 の近傍に設置することもできる。

また、第 1 図に示す露光装置において、光源 1 と発散光束形成素子としての回折光学素子 4 との間の光路中に、たとえば特開平 9 - 2 0 5 0 6 0 号公報、特開平 1 0 - 1 2 5 5 8 5 号公報、特開 2 0 0 0 - 2 7 7 4 2 1 号公報などに開示された光遅延系を付設することもできる。以下、折り曲げミラー 3 と回折光学素子 4 との間の光路中に光遅延系を付設した場合について簡単に説明する。

この場合、整形光学系 2 および折り曲げミラー 3 を介して所望の断面形状に変換された光束は、全反射ミラーと部分反射ミラーとから構成された光遅延系に入射する。光遅延系では、部分反射ミラーを透過した一部の光束が回折光学素子 4 に入射し、部分反射ミラーで反射された残部の光束が全反射ミラーに入射する。全反射ミラーで反射された光束は、部分反射ミラーに入射し、部分反射ミラーを透過した一部の光束が回折光学素子 4 に入射し、部分反射ミラーで反射された残部の光束が全反射ミラーに入射する。

こうして、光遅延系では、全反射ミラーと部分反射ミラーとの間で繰り返される多重反射により、入射ビームを順次光遅延された多数のビーム群に変換する。その結果、光遅延系の作用により、ウェハ共役面における干渉ノイズを低減することができる。なお、光遅延系のさらに詳細な構成および作用については、たとえば特開平 9 - 2 0 5 0 6 0 号公報、特開平 1 0 - 1 2 5 5 8 5 号公報、特開 2 0 0 0 - 2 7 7 4 2 1 号公報を参照することができる。

また、上述の各実施形態では、2 値型の回折光学素子パターンを用いているが、これに限定されることなく、ブレード型の回折光学素子パターンまたは多値型の回折光学素子パターンを用いることもできる。以下、第 3 1 A 図 ~ 第 3 1 C 図を参照して、ブレード型の回折光学素子パターン、多値型の回折光学素子パターン、

および 2 値型の回折光学素子パターンについて一般的に説明する。

第 3 1 A 図はブレード型の回折光学素子とその周期方向の断面で切断した断面図であり、第 3 1 B 図は多値型の回折光学素子とその周期方向の断面で切断した断面図であり、第 3 1 C 図は 2 値型の回折光学素子とその周期方向の断面で切断した断面図である。第 3 1 A 図を参照すると、ブレード型の回折光学素子の切断面は鋸歯状となっており、鋸歯状にステップが発生するピッチ P は式 (2) で与えられる。

また、断面における深さ d_0 は、基板の屈折率を n とし、基板が配置されている気体の屈折率を 1 とし、次式 (5) で与えられる。

$$d_0 = \lambda / (n - 1) \quad (5)$$

このようなブレード型の回折光学素子パターンを有する基本回折光学素子および補完回折光学素子を用いることが可能である。この場合には、基本回折光学素子および補完回折光学素子のパターンは凸面と凹面との 2 値型ではなく、断面形状が高さ方向に変化するパターンとなる。このような高さ方向の異なるパターンの生成に際して、透過率が徐々に変化するグレイスケールマスクを使用することが可能である。

第 3 1 B 図を参照すると、多値型の回折光学素子の切断面は、第 3 1 A 図の鋸歯状形状を L 段 ($L \geq 3$) の階段型形状に近似した形状となっている。そして、各階段の境界は、ピッチ P の範囲を各階段のステップ領域にしたがって L 分割することによって容易に規定することができる。第 3 1 B 図は、 $L = 8$ の 8 値位相型回折光学素子の場合を示している。断面における深さ d_L は、基板の屈折率を n とし、基板が配置されている気体の屈折率を 1 とし、次式 (6) で与えられる。

$$d_L = \lambda \cdot (L - 1) / \{ L \cdot (n - 1) \} \quad (6)$$

このような多値型の回折光学素子パターンを有する基本回折光学素子および補完回折光学素子を用いることが可能である。この場合には、基本回折光学素子および補完回折光学素子のパターンは凸面と凹面との 2 値型ではなく、断面形状が階段形状となり、高さ方向に変化するパターンとなる。このような高さ方向の異

なるパターンの生成に際して、透過率がステップ的かつ多段階に変化するグレイスケールマスクを使用することが可能である。

第31C図を参照すると、2値型の回折光学素子の切断面は、第31B図の階段型近似において $L=2$ とした場合の形状となっている。すなわち、2値型の回折光学素子の切断面は、第31C図に示すように、厚さ d_2 の方向について凸領域部分と凹領域部分との2種類の段差で示される矩形状のパターンとなる。各矩形状領域の境界は、 $P/2$ によって与えることができる。また、断面における深さ d_2 は、基板の屈折率を n とし、基板が配置されている気体の屈折率を1として、次式(7)で与えられる。

$$d_2 = \lambda / \{ 2 \cdot (n - 1) \} \quad (7)$$

また、上述の各実施形態および各変形例では、直線格子状回折光学素子パターンを所定の方位角に基づいて設定したパターンをほぼ稠密に配列することにより得られたパターンを有する基本回折光学素子を備えた回折光学素子を実現している。しかしながら、この回折光学素子と同様の光学的性能を有する光学部材として、所定の方位角に基づいて設定したプリズム状の屈折面をほぼ稠密に配列することにより得られた屈折面パターンを有する基本屈折素子を備えた屈折光学素子を実現することもできる。

具体的には、ブレード型の回折光学素子の回折角をマイクロ屈折素子（マイクロプリズム等）の屈折素子の屈折角に置き換えた設計も可能である。このような屈折素子を所定の方位角成分を含むように稠密配列することが可能である。ただし、完全な屈折素子として稠密配列すると、ガラスエッチング時のサグ量が大きくなりすぎるため、適当なサグ量の位置において、波長分の位相差は等価とみなした段差構造を取り入れてパタニングすることが望ましい。

上述の屈折光学素子の製造に際しては、基本屈折素子のパタニングを行った後、そのパターンをマイクロ屈折素子製造用のマスク（グレイスケールマスク等）パターンに変換し、そのマスクパターンをレジストの塗布されたガラス基板に露光し、現像およびエッチングすることになる。

次に、各実施形態における回折光学素子の典型的な製造工程について簡単に説

明する。まず、所定の光源から最終段（最もマスク側）のオプティカルインテグレート（各実施形態ではマイクロレンズアレイ 8）までに含まれるリレーレンズの焦点距離と光束の有効径と光源の波長と発散光束形成素子の発散角との関係から、直線格子状回折光学素子のピッチを設定する。そして、所望の照明方式にしたがって所定の方位角を設定するとともに、基本回折光学素子の有効径を設定する。このとき、発散光束形成素子を構成する各光学要素に対応する要素光束の中に基本回折光学素子または補完回折光学素子が複数個含まれるように基本回折光学素子の有効径を設定する。

次いで、直線格子状回折光学素子を所定の方位角に設定して、基本回折光学素子のパターンを設定する。さらに、発生する強度分布が基本回折光学素子と同じで且つ位相が基本回折光学素子とは異なる 1 つまたは複数の補完回折光学素子のパターンを設定する。こうして得られた基本回折光学素子と 1 種類または複数種類の補完回折光学素子とをそれぞれほぼ同数だけ有効径内にインテグレートした回折光学素子のパターンを設定する。

このとき、基本回折光学素子および補完回折光学素子の配列位置をランダム化（全体ランダムまたは部分ランダム）する。こうしてパタニングした回折光学素子について波動光学的シミュレーションを行い、基本回折光学素子のピッチおよび補完回折光学素子の位相および該位相の種類などを最適化する。次いで、最適化された回折光学素子のパターンにしたがってレチクル（マスク）を製造し、このレチクルを用いてレジストの塗布されたガラス基板にパターンを焼き付けする。その後、現像工程、エッチング工程、AR（反射防止）コートを形成する工程などが行われる。

上述の各実施形態では、このような 2 値型の回折光学素子パターンを有する基本回折光学素子および補完回折光学素子を用いている。この場合、いわゆる白黒型（透過部と遮光部のみの）マスクを使用することが可能である。なお、回折光学素子をパタニングする基板の材料としては、たとえば合成石英、水晶、螢石等を使用することが可能である。

（第 5 実施形態）

第1実施形態では、回折光学素子61の作用により、光軸AXを挟んでX方向に対称的に配置された2つの面光源と光軸AXを挟んでZ方向に対称的に配置された2つの面光源とからなる十字型4極状の照明分布（二次光源）を形成している。これに対し、第5実施形態では、回折光学素子61に含まれるブロック素子C1～C4に対して新たな単純透過部を付加したブロック素子C1d～C4dを採用することによって、第1実施形態の4極に光軸上の1極を加えた5極状の照明分布を形成している。すなわち、第5実施形態は光軸上にも強度分布を有する5極照明の実施形態である。以下、第1実施形態との相違点に着目して、第5実施形態を説明する。

第36図は、第5実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される5極状の照野を示す図である。また、第37図は、第5実施形態における5極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。さらに、第38図は、第5実施形態における5極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。また、第39図は、第5実施形態における5極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の構成を概略的に示す図である。

第38図に示すように、第5実施形態における5極照明用の回折光学素子100は、縦横に且つ稠密に配列された多数のブロック素子C1d～C4dで構成されている。ブロック素子C1d～C4dは、ともに長方形形状の外形（境界）を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、ブロック素子C1d～C4dは各種類についてはほぼ同数含まれており、回折光学素子100の矩形状の有効領域（有効径）100aの全体に亘ってランダム配置されているか、あるいは全体を幾つかのブロックに分割したそのブロック内においてランダム配置されている。

第39図に示すように、ブロック素子C1d～C4dは、第1実施形態で説明したブロックC1～C4をそれぞれ含んでいる。例えば、ブロック素子C1dは、第1実施形態のブロックC1にX方向に隣接して単純透過部Hを配置した素子である。同様に、ブロック素子C2dは、ブロックC2にX方向に隣接して単純透過部Hを配置した素子である。ブロック素子C3d、C4dは、それぞれブロックC3、C4にX方向に隣接して補完単純透過部Hdを配置した素子である。

ここで、単純透過部Hおよび補完単純透過部H dは入射光束を単純に透過させて直進させることを目的としており、通常は素子HおよびH dの内部に特別な微細パタニングを行わない。すなわち、単純透過部Hは回折光学素子を形成するガラス基板の表面をそのまま残した単純な平面部分である。また、補完単純透過部H dは回折光学素子を形成するガラス基板を式（1）で示したdの深さまで素子H dの有効径内においてエッチングした平面部分である。

素子HおよびH dの表面は単純平面状であるため、素子HまたはH dに入射した光は若干の回折を除き単純に透過して直進する。ただし、単純透過部Hを透過した光束と補完単純透過部H dを透過した光束とは、段差dに対応して $\lambda/2$ の光路差を有する。すなわち、単純透過部Hはガラス面に対し特別な加工をしない部分であり、補完単純透過部H dは単純透過部Hに対して所定の光路差分だけガラスを単純に且つほぼ均一にエッチングしただけの素子である。

なお、4極成分の発散角（回折角） θ が第1実施形態と異なる場合には、対応する発散角 θ についてブロックC 1～C 4内に含まれる素子A 1, A 2, B 1, B 2のピッチを式（2）に基づいて設定し、それらに素子HおよびH dを組み合わせることによって所望のブロック素子C 1 d～C 4 dを設定し、対応する回折光学素子を形成することができる。

以上のように、回折光学素子1 0 0を用いる第5実施形態では、ブロックC 1～C 4を透過した光によって所定の発散角を有する4極成分が生成され、同時に素子HおよびH dを透過した光によって光軸近傍に強度を有する1極成分が生成され、これらの4極成分と1極成分との合成によって第3 6図に示すような5極照明を行うことができる。

すなわち、第5実施形態の回折光学素子1 0 0を照明光路に位置決めして平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ8の入射面には、第3 7図に示すように、十字型4点状の光強度分布と光軸近傍の1点状の光強度分布とからなる合計5点状の光強度分布が形成される。しかしながら、第1実施形態と同様に実際には、回折光学素子1 0 0には平行光束ではなく、錐体状（マイクロレンズアレイ4 aの場合には正六角錐体状、回折光学素子4の場合には円錐体状）の光束範

囲によって規定される角度成分を有する光束が入射する。こうして、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には、第 36 図に示すように、5 点状の光強度分布と円形状（または正六角形状）の光束とのコンボリューションからなる 5 極状の照明分布（照野）が形成される。

その結果、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面（照明瞳面）には、5 極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する 5 極状の二次光源が形成される。ここで、5 極状の二次光源は、5 つの円形状（または正六角形状）の実質的な面光源、すなわち光軸 AX を挟んで X 方向に対称的に配置された 2 つの面光源と、光軸 AX を挟んで Z 方向に対称的に配置された 2 つの面光源と、光軸 AX 近傍に配置された 1 つの面光源とにより構成されている。こうして、第 5 実施形態では、回折光学素子 100 の作用により、照明瞳面において実質的に均一な 5 極状の二次光源が形成される。

また、第 5 実施形態では第 1 実施形態と同様に、アフォーカルズームレンズ 5 の倍率を変化させることにより、5 極状の二次光源を構成する各面光源の中心と光軸 AX との距離が変化することなく、各面光源の大きさ（4 極状の二次光源に外接する円の半径－4 極状の二次光源に内接する円の半径、および光軸上の 1 極状の二次光源の直径）だけを変化させることができる。一方、ズームレンズ 7 の焦点距離を変化させることにより、上述の距離および大きさの双方を変化させて、5 極状の二次光源の全体を相似的に拡大または縮小させることができる。

なお、第 5 実施形態では、ブロック素子 C1d～C4d の変形例として、第 40 図に示すようなブロック素子 C1d～C4d を用いることも可能である。ブロック素子 C1d は、ブロック C1 および単純透過部 H を X 軸に平行な直線によりほぼ半分に切断し、第 40 図に示すように互い違いに入れ替えて構成されている。ブロック素子 C2d もブロック素子 C1d と同様である。ブロック素子 C3d は、ブロック C3 および補完単純透過部 Hd を X 軸に平行な直線によりほぼ半分に切断し、第 40 図に示すように互い違いに入れ替えて構成されている。ブロック素子 C4d もブロック素子 C3d と同様である。このような配置を有するブロック素子 C1d～C4d を含む回折光学素子を用いることによって、4 極照明成分と光軸近

傍の 1 極照成分との照明バランスが向上する。同様に、ブロック素子 C 1 d ~ C 4 d の内部パターンをさらに細分化し、4 極成分に対応する C 1 ~ C 4 の素子パターンを細分化した細分化要素と、光軸近傍の 1 極成分に対応する H, H d の領域を細部化した細分化要素とを互い違い配列またはランダム配置することにより得られた新たなブロック素子を用いることによって、4 極照明成分と光軸近傍の 1 極照成分との照明バランスをさらに向上させることができる。

また、第 5 実施形態では、ブロック C 1, C 2 と単純透過部 H とが同じ面積を有し、ブロック C 3, C 4 と補完単純透過部 H d とが同じ面積を有するように設定することが望ましい。

(第 6 実施形態)

第 2 実施形態では、回折光学素子 6 2 の作用により、光軸 A X を挟んで + X 方向に対して + Y 軸廻りに + 45 度をなす方向に沿った 2 つの面光源と光軸 A X を挟んで + Z 方向に対して + Y 軸廻りに - 45 度をなす方向に沿った 2 つの面光源とからなる X 型 4 極状の照明分布（二次光源）を形成している。これに対し、第 6 実施形態では、回折光学素子 6 2 に含まれるブロック素子 F 1 ~ F 4 に対して新たな単純透過部を付加したブロック素子 F 1 d ~ F 4 d を採用することによって、第 2 実施形態の 4 極に光軸上の 1 極を加えた 5 極状の照明分布を形成している。以下、第 2 実施形態との相違点に着目して、第 6 実施形態を説明する。

第 4 1 図は、第 6 実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される 5 極状の照野を示す図である。また、第 4 2 図は、第 6 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。さらに、第 4 3 図は、第 6 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。また、第 4 4 図は、第 6 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の構成を概略的に示す図である。

第 4 3 図に示すように、第 6 実施形態における 5 極照明用の回折光学素子 1 0 1 は、縦横に且つ稠密に配列された多数のブロック素子 F 1 d ~ F 4 d で構成されている。ブロック素子 F 1 d ~ F 4 d は、それぞれ第 4 3 図または第 4 4 図に示した外形（境界）形状を有し、互いにほぼ同じ大きさ（面積）を有する。また、

ブロック素子F 1 d～F 4 dは各種類についてはほぼ同数含まれており、回折光学素子1 0 1の矩形状の有効領域（有効径）1 0 1 aの全体に亘ってランダム配置されているか、あるいは全体を幾つかのブロックに分割したそのブロック内においてランダム配置されている。

第4 4図に示すように、ブロック素子F 1 d～F 4 dは、第2実施形態で説明したブロックF 1～F 4をそれぞれ含んでいる。例えば、ブロック素子F 1 dは、第2実施形態のブロックF 1にX方向に隣接して単純透過部Hを配置した素子である。同様に、ブロック素子F 2 dは、ブロックF 2にX方向に隣接して単純透過部Hを配置した素子である。ブロック素子F 3 d，F 4 dは、それぞれブロックF 3，F 4にX方向に隣接して補完単純透過部H dを配置した素子である。ここで、第6実施形態にかかる単純透過部Hおよび補完単純透過部H dは、第5実施形態における単純透過部Hおよび補完単純透過部H dと比較して境界線の形状は異なるが、エッチング深さdの設定や素子としての作用効果は同様である。

なお、4極成分の発散角（回折角） θ が第2実施形態と異なる場合には、対応する発散角 θ についてブロックF 1～F 4内に含まれる素子D 1，D 2，E 1，E 2のピッチを式（2）に基づいて設定し、それらに素子HおよびH dを組み合わせることによって所望のブロック素子F 1 d～F 4 dを設定し、対応する回折光学素子を形成することができる。

以上のように、回折光学素子1 0 1を用いる第6実施形態では、ブロックF 1～F 4を透過した光によって所定の発散角を有する4極成分が生成され、同時に素子HおよびH dを透過した光によって光軸近傍に強度を有する1極成分が生成され、これらの4極成分と1極成分との合成によって第4 1図に示すような5極照明を行うことができる。

すなわち、第6実施形態の回折光学素子1 0 1を照明光路に位置決めして平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ8の入射面には、第4 2図に示すように、X型4点状の光強度分布と光軸近傍の1点状の光強度分布とからなる合計5点状の光強度分布が形成される。しかしながら、第2実施形態と同様に実際には、回折光学素子1 0 1には平行光束ではなく、錐体状（マイクロレンズアレイ

4 a の場合には正六角錐体状、回折光学素子 4 の場合には円錐体状) の光束範囲によって規定される角度成分を有する光束が入射する。こうして、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には、第 4 1 図に示すように、5 点状の光強度分布と円形状 (または正六角形状) の光束とのコンボリューションからなる 5 極状の照明分布 (照野) が形成される。

その結果、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面 (照明瞳面) には、5 極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する 5 極状の二次光源が形成される。ここで、5 極状の二次光源は、5 つの円形状 (または正六角形状) の実質的な面光源、すなわち光軸 A X を挟んで + X 方向に対して + Y 軸廻りに + 45 度をなす方向に沿った 2 つの面光源と、光軸 A X を挟んで + Z 方向に対して + Y 軸廻りに - 45 度をなす方向に沿った 2 つの面光源と、光軸 A X 近傍に配置された 1 つの面光源とにより構成されている。こうして、第 6 実施形態では、回折光学素子 101 の作用により、照明瞳面において実質的に均一な 5 極状の二次光源が形成される。

また、第 6 実施形態では第 2 実施形態と同様に、アフォーカルズームレンズ 5 の倍率を変化させることにより、5 極状の二次光源を構成する各面光源の中心と光軸 A X との距離が変化することなく、各面光源の大きさ (4 極状の二次光源に外接する円の半径 - 4 極状の二次光源に内接する円の半径、および光軸上の 1 極状の二次光源の直径) だけを変化させることができる。一方、ズームレンズ 7 の焦点距離を変化させることにより、上述の距離および大きさの双方を変化させて、5 極状の二次光源の全体を相似的に拡大または縮小させることができる。

なお、第 6 実施形態では、ブロック素子 F 1 d ~ F 4 d の変形例として、第 4 4 図の F 1 d ~ F 4 d に含まれる 4 極成分に対応する F 1 ~ F 4 の素子パターンを D 1, D 2, E 1, E 2 で示した区分化された要素に細分化し、また光軸近傍の 1 極成分に対応する H および H d の領域も同様の区分化された要素に細部化し、それぞれの要素を第 4 5 図に示した互い違い配列に配列した新たなブロック素子を用いることによって、4 極照明成分と光軸近傍の 1 極照成分との照明バランスを向上させることができる。同様に、ブロック素子 F 1 d ~ F 4 d の内部パターンをさらに細分化し、4 極成分に対応する F 1 ~ F 4 の素子パターンを細分化し

た細分化要素と、光軸近傍の 1 極成分に対応する H および H d の領域を細部化した細分化要素とを互い違い配列またはランダム配置することにより得られた新たなブロック素子を用いることによって、4 極照明成分と光軸近傍の 1 極照成分との照明バランスをさらに向上させることができる。また、第 6 実施形態では、ブロック F 1, F 2 と単純透過部 H とが同じ面積を有し、ブロック F 3, F 4 と補完単純透過部 H d とが同じ面積を有するように設定することが望ましい。

(第 7 実施形態)

第 4 実施形態では、回折光学素子 6 4 の作用により、光軸 A X を挟んで X 方向に対称に配置された 2 極状の照明分布（二次光源）を形成している。これに対し、第 7 実施形態では、回折光学素子 6 4 に含まれる素子 G 1 ~ G 4 に対して新たな単純透過部を付加した素子 G 1 d ~ G 4 d を採用することによって、第 4 実施形態の 2 極に光軸上の 1 極を加えた 3 極状の照明分布を形成している。以下、第 4 実施形態との相違点に着目して、第 7 実施形態を説明する。

第 4 6 図は、第 7 実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される 3 極状の照野を示す図である。また、第 4 7 図は、第 7 実施形態における 3 極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。さらに、第 4 8 図は、第 7 実施形態における 3 極照明用の回折光学素子の全体構成を概略的に示す図である。また、第 4 9 図は、第 7 実施形態における 3 極照明用の回折光学素子に含まれるブロック素子の構成を概略的に示す図である。

第 4 8 図に示すように、第 7 実施形態における 3 極照明用の回折光学素子 1 0 2 は、縦横に且つ稠密に配列された多数の素子 G 1 d ~ G 4 d で構成されている。素子 G 1 d ~ G 4 d は、ともに長方形形状の外形（境界）を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、素子 G 1 d ~ G 4 d は各種類についてはほぼ同数含まれており、回折光学素子 1 0 2 の矩形状の有効領域（有効径）1 0 2 a の全体に亘ってランダム配置されているか、あるいは全体を幾つかのブロックに分割したそのブロック内においてランダム配置されている。

第 4 9 図に示すように、素子 G 1 d ~ G 4 d は、第 4 実施形態で説明した素子 G 1 ~ G 4 をそれぞれ含んでいる。例えば、素子 G 1 d は、第 4 実施形態の素子

G 1 に X 方向に隣接して単純透過部 H を配置した素子である。同様に、素子 G 2 d は、素子 G 2 に X 方向に隣接して単純透過部 H を配置した素子である。素子 G 3 d, G 4 d は、それぞれ素子 G 3, G 4 に X 方向に隣接して補完単純透過部 H d を配置した素子である。ここで、第 7 実施形態にかかる単純透過部 H および補完単純透過部 H d は、第 5 実施形態における単純透過部 H および補完単純透過部 H d と同じ構成および作用を有する。

なお、2 極成分の発散角（回折角） θ が第 4 実施形態と異なる場合には、対応する発散角 θ について素子 G 1 ~ G 4 のピッチを式（2）に基づいて設定し、それらに素子 H および H d を組み合わせることによって所望の素子 G 1 d ~ G 4 d を設定し、対応する回折光学素子を形成することができる。

以上のように、回折光学素子 102 を用いる第 7 実施形態では、素子 G 1 ~ G 4 を透過した光によって所定の発散角を有する 2 極成分が生成され、同時に素子 H および H d を透過した光によって光軸近傍に強度を有する 1 極成分が生成され、これらの 2 極成分と 1 極成分との合成によって第 46 図に示すような X 方向に沿った 3 極照明を行うことができる。

すなわち、第 7 実施形態の回折光学素子 102 を照明光路に位置決めして平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には、第 47 図に示すように、光軸 A X を挟んで X 方向に対称に配置された 2 点状の光強度分布と光軸近傍の 1 点状の光強度分布とからなる合計 5 点状の光強度分布が形成される。しかしながら、第 4 実施形態と同様に実際には、回折光学素子 102 には平行光束ではなく、錐体状（マイクロレンズアレイ 4 a の場合には正六角錐体状、回折光学素子 4 の場合には円錐体状）の光束範囲によって規定される角度成分を有する光束が入射する。こうして、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には、第 46 図に示すように、3 点状の光強度分布と円形状（または正六角形状）の光束とのコンボリューションからなる 3 極状の照明分布（照野）が形成される。

その結果、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面（照明瞳面）には、3 極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する 3 極状の二次光源が形成される。ここで、3 極状の二次光源は、3 つの円形状（または正六角形状）の実質的な面光源、すな

わち光軸AXを挟んでX方向に対称に配置された2つの面光源と、光軸AX近傍に配置された1つの面光源とにより構成されている。こうして、第7実施形態では、回折光学素子102の作用により、照明瞳面において実質的に均一な3極状の二次光源が形成される。

また、第7実施形態では第4実施形態と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、3極状の二次光源を構成する各面光源の中心と光軸AXとの距離が変化することなく、各面光源の大きさ（2極状の二次光源に外接する円の半径－2極状の二次光源に内接する円の半径、および光軸上の1極状の二次光源の直径）だけを変化させることができる。一方、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、上述の距離および大きさの双方を変化させて、3極状の二次光源の全体を相似的に拡大または縮小させることができる。

なお、第7実施形態においても、第5および第6実施形態と同様に、素子G1d～G4dの内部パターンを細分化し、2極成分に対応するG1～G4の素子パターンを細分化した細分化要素と、光軸近傍の1極成分に対応するHおよびHdの領域を細部化した細分化要素とを互い違い配列またはランダム配置することにより得られた新たな素子を素子G1d～G4dの変形例として用いることによって、2極照明成分と光軸近傍の1極照明成分との照明バランスを向上させることができる。また、第7実施形態では、素子G1、G2と単純透過部Hとが同じ面積を有し、素子G3、G4と補完単純透過部Hdとが同じ面積を有するように設定することが望ましい。

（第8実施形態）

第50図は、第8実施形態においてマイクロレンズアレイの入射面に形成される9極状の照野を示す図である。また、第51図は、第8実施形態における9極照明用の回折光学素子の基本的な作用を説明する図である。前述したように、第3実施形態では、第1実施形態にかかる回折光学素子61の作用と第2実施形態にかかる回折光学素子62の作用との合成により、8極状の照明分布（二次光源）を形成している。同様に、第8実施形態では、第5実施形態にかかる回折光学素子100の作用と第6実施形態にかかる回折光学素子101の作用との合成

により、第51図に示すような9点状の光強度分布と円形状（または正六角形状）の光束とのコンボリューションからなる9極状の照明分布（照野）、すなわち第50図に示すような9極状の照明分布を形成することができる。

なお、上述の各実施形態および変形例では、直線格子パターンを含む回折光学素子を用いているが、この種の回折光学素子と同様の光学的性能を有する光学部材として、回折光学素子とほぼ同じ光振幅を発生する屈折光学素子を用いることもできる。

また、上述の回折光学素子に関する各実施形態および各変形例では、2値型の回折光学素子パターンを用いているが、これに限定されることなく、第1から第4実施形態の変形例と同様にブレード型の回折光学素子パターンまたは多値型の回折光学素子パターンを用いることが可能である。

その他にも、第1から第4実施形態およびその変形例に関して説明した技術内容を第5から第8実施形態およびその変形例に適用することが可能である。

上述の各実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上述の各実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき第32図のフローチャートを参照して説明する。

まず、第32図のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、上述の各実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンを

マスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

また、上述の各実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、第33図のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。第33図において、パターン形成工程401では、上述の各実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液

晶セル)の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

なお、上述の実施形態においては、光源1として、193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザー光源(または248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザー光源)を用いているが、これに限定されることなく、157nmの波長の光を供給するF₂レーザー光源や、g線(436nm)やi線(365nm)の光を供給する水銀ランプなどを用いることができる。水銀ランプを用いる場合、光源1は、水銀ランプと楕円鏡とコリメータレンズとを有する構成となる。

また、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

産業上の利用の可能性

以上説明したように、本発明の回折光学素子では、例えば照明光学装置に用いられて、照明瞳面において実質的に均一な複数極状(4極状、8極状、2極状)の照度分布を形成することができる。また、本発明の照明光学装置では、照明瞳面において実質的に均一な複数極状の照度分布を形成する回折光学素子を用いて、光量損失を抑えつつ良好な各種の複数極照明を行うことができる。

また、本発明の照明光学装置が組み込まれた露光装置および本発明の照明光学装置を用いた露光方法では、光量損失を抑えつつ良好な各種の複数極照明を行うことのできる照明光学装置を用いて、マスクに最適な照明条件の下で、感光性基板上にマスクパターンを忠実に転写することができる。さらに、本発明では、感光性基板上にマスクパターンを忠実に転写することのできる本発明の露光装置および露光方法を用いて、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

請 求 の 範 囲

1. 第1の方向に沿った直線格子パターンを有する第1基本回折光学素子と、
前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿った直線格子パターンを有する第2基本回折光学素子と、

前記第1基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第1位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第1補完回折光学素子と、

前記第2基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第2位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第2補完回折光学素子とを備え、

前記第1基本回折光学素子と前記第2基本回折光学素子と前記第1補完回折光学素子と前記第2補完回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする回折光学素子。

2. 第1の方向に沿った直線格子パターンを有する第1基本回折光学素子と、
前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿った直線格子パターンを有する第2基本回折光学素子と、

実質的に偏向作用のない単純透過部とを備え、

前記第1基本回折光学素子と前記第2基本回折光学素子と前記単純透過部とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする回折光学素子。

3. 請求の範囲第2項に記載の回折光学素子において、

前記第1基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第1位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第1補完回折光学素子と、

前記第2基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第2位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第2補完回折光学素子と、

前記単純透過部が発生する光振幅に対して第5位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する補完単純透過部とをさらに備えていることを特徴とする回折光学素子。

4. 請求の範囲第3項に記載の回折光学素子において、
前記第5位相差はほぼ $1/2$ 波長であることを特徴とする回折光学素子。
5. 請求の範囲第1項乃至第4項のいずれか1項に記載の回折光学素子において、
前記第1位相差および前記第2位相差はほぼ $1/2$ 波長であることを特徴とする回折光学素子。
6. 請求の範囲第1項乃至第5項のいずれか1項に記載の回折光学素子において、
前記回折光学素子は、複数の前記第1基本回折光学素子と複数の前記第2基本回折光学素子と複数の前記第1補完回折光学素子と複数の前記第2補完回折光学素子とを備えていることを特徴とする回折光学素子。
7. 請求の範囲第6項に記載の回折光学素子において、
前記複数の第1基本回折光学素子と前記複数の第2基本回折光学素子と前記複数の第1補完回折光学素子と前記複数の第2補完回折光学素子とは、互いにほぼ同数であることを特徴とする回折光学素子。
8. 請求の範囲第6項または第7項に記載の回折光学素子において、
前記複数の第1基本回折光学素子と前記複数の第2基本回折光学素子と前記複数の第1補完回折光学素子と前記複数の第2補完回折光学素子とは、前記回折光学素子の全体に亘ってランダム配列されていることを特徴とする回折光学素子。
9. 請求の範囲第6項または第7項に記載の回折光学素子において、
前記回折光学素子は複数のブロックを備え、各ブロックにおいて前記複数の第1基本回折光学素子と前記複数の第2基本回折光学素子と前記複数の第1補完回

折光学素子と前記複数の第 2 補完回折光学素子とがランダム配列されていることを特徴とする回折光学素子。

10. 請求の範囲第 9 項に記載の回折光学素子において、

各ブロックにおいて前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子と前記複数の第 1 補完回折光学素子と前記複数の第 2 補完回折光学素子とは互いにほぼ同数であることを特徴とする回折光学素子。

11. 請求の範囲第 9 項または第 10 項に記載の回折光学素子において、

前記回折光学素子は複数種類のブロックを備え、各種類のブロック毎にランダム配列の形態が異なることを特徴とする回折光学素子。

12. 請求の範囲第 6 項または第 7 項に記載の回折光学素子において、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 1 ブロックと、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 2 ブロックと、

前記第 1 補完回折光学素子と前記第 2 基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 3 ブロックと、

前記第 1 補完回折光学素子と前記第 2 補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 4 ブロックとを備えていることを特徴とする回折光学素子。

13. 請求の範囲第 12 項に記載の回折光学素子において、

前記回折光学素子は複数の中ブロックを備え、各中ブロックにおいて前記複数の第 1 ブロックと前記複数の第 2 ブロックと前記複数の第 3 ブロックと前記複数の第 4 ブロックとがほぼ同数だけランダム配列されていることを特徴とする回折光学素子。

14. 請求の範囲第13項に記載の回折光学素子において、

前記回折光学素子は複数種類の中ブロックを備え、各種類の中ブロック毎にランダム配列の形態が異なることを特徴とする回折光学素子。

15. 請求の範囲第12項に記載の回折光学素子において、

前記回折光学素子は前記複数の第1乃至第4ブロックをほぼ同数だけ含み、かつ各ブロックは前記回折光学素子の全体に亘ってランダム配列されていることを特徴とする回折光学素子。

16. 請求の範囲第1項乃至第15項のいずれか1項に記載の回折光学素子において、

前記第1基本回折光学素子、前記第2基本回折光学素子、前記第1補完回折光学素子、および前記第2補完回折光学素子は、ほぼ正方形状の外形を有することを特徴とする回折光学素子。

17. 請求の範囲第16項に記載の回折光学素子において、

前記第1方向は前記ほぼ正方形状の外形を有する回折光学素子の一方の辺にほぼ平行であり、前記第2方向は前記ほぼ正方形状の外形を有する回折光学素子の他方の辺にほぼ平行であることを特徴とする回折光学素子。

18. 請求の範囲第1項乃至第17項のいずれか1項に記載の回折光学素子において、

前記直線格子パターンは、2値型の回折光学素子パターン、ブレース型の回折光学素子パターン、および多値型の回折光学素子パターンのうちのいずれか1つのパターンを有することを特徴とする回折光学素子。

19. 被照射面を照明する照明光学装置において、

4極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束

を4つの光束に変換するための請求の範囲第1項乃至第18項のいずれか1項に記載の回折光学素子を備えていることを特徴とする照明光学装置。

20. 請求の範囲第19項に記載の照明光学装置において、

光束を供給するための光源手段と、前記光源手段からの光束を、光軸に対して様々な角度成分を有する光束に変換して、第1の所定面へ入射させるための角度光束形成手段と、前記第1の所定面に入射した前記様々な角度成分を有する光束に基づいて、4極状の照野を第2の所定面上に形成するために回折光学素子を含む照野形成手段とをさらに備え、

前記角度光束形成手段は、複数の光学要素からなる光学部材を有し、

前記回折光学素子は、前記光学部材の各光学要素に対応する要素光束の中に基本回折光学素子または補完回折光学素子が合計4つ以上含まれるように位置決めされていることを特徴とする照明光学装置。

21. 光束を供給するための光源手段と、

前記光源手段からの光束を、光軸に対して様々な角度成分を有する光束に変換して、第1の所定面へ入射させるための角度光束形成手段と、

前記第1の所定面に入射した前記様々な角度成分を有する光束に基づいて、4極状の照野を第2の所定面上に形成するために回折光学素子を含む照野形成手段と、

前記第2の所定面上に形成された前記4極状の照野からの光束に基づいて、前記4極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する4極状の二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、

前記オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備え、

前記回折光学素子は、第1の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の第1基本回折光学素子と、前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の第2基本回折光学素子とを備え、前記複数の第1基本回

折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置。

2 2. 請求の範囲第 2 1 項に記載の照明光学装置において、

前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子とは、ほぼ同数だけ交互に配列されていることを特徴とする照明光学装置。

2 3. 請求の範囲第 2 1 項または第 2 2 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は、前記第 1 基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第 1 位相差を持った光振幅が発生するパターンを有する複数の第 1 補完回折光学素子と、

前記第 2 基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第 2 位相差を持った光振幅が発生するパターンを有する複数の第 2 補完回折光学素子とをさらに備え、

前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子と前記複数の第 1 補完回折光学素子と前記複数の第 2 補完回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置。

2 4. 請求の範囲第 2 3 項に記載の照明光学装置において、

前記第 1 位相差および前記第 2 位相差はほぼ $1/2$ 波長であることを特徴とする照明光学装置。

2 5. 請求の範囲第 2 3 項または第 2 4 項に記載の照明光学装置において、

前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子と前記複数の第 1 補完回折光学素子と前記複数の第 2 補完回折光学素子とは、互いにほぼ同数であることを特徴とする照明光学装置。

2 6. 請求の範囲第 2 3 項乃至第 2 5 項のいずれか 1 項に記載の照明光学装置において、

前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子と前記複数の第 1 補完回折光学素子と前記複数の第 2 補完回折光学素子とは、前記回折光学素子の全体に亘ってランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

27. 請求の範囲第 23 項乃至第 25 項のいずれか 1 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数のブロックを備え、各ブロックにおいて前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子と前記複数の第 1 補完回折光学素子と前記複数の第 2 補完回折光学素子とがランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

28. 請求の範囲第 27 項に記載の照明光学装置において、

各ブロックにおいて前記複数の第 1 基本回折光学素子と前記複数の第 2 基本回折光学素子と前記複数の第 1 補完回折光学素子と前記複数の第 2 補完回折光学素子とは互いにほぼ同数であることを特徴とする照明光学装置。

29. 請求の範囲第 27 項または第 28 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数種類のブロックを備え、各種類のブロック毎にランダム配列の形態が異なることを特徴とする照明光学装置。

30. 請求の範囲第 23 項乃至第 25 項のいずれか 1 項に記載の照明光学装置において、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 1 ブロックと、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 2 ブロックと、

前記第 1 補完回折光学素子と前記第 2 基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 3 ブロックと、

前記第 1 補完回折光学素子と前記第 2 補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 4 ブロックとを備えていることを特徴とする照明光学装置。

3 1. 請求の範囲第 3 0 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数の中ブロックを備え、各中ブロックにおいて前記複数の第 1 ブロックと前記複数の第 2 ブロックと前記複数の第 3 ブロックと前記複数の第 4 ブロックとがほぼ同数だけランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

3 2. 請求の範囲第 3 1 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数種類の中ブロックを備え、各種類の中ブロック毎にランダム配列の形態が異なることを特徴とする照明光学装置。

3 3. 請求の範囲第 3 0 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は前記複数の第 1 乃至第 4 ブロックをほぼ同数だけ含み、かつ各ブロックは前記回折光学素子の全体に亘ってランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

3 4. 請求の範囲第 2 1 項乃至第 3 3 項のいずれか 1 項に記載の照明光学装置において、

前記第 1 基本回折光学素子、前記第 2 基本回折光学素子、前記第 1 補完回折光学素子、および前記第 2 補完回折光学素子は、ほぼ正方形形状の外形を有することを特徴とする照明光学装置。

3 5. 請求の範囲第 3 4 項に記載の照明光学装置において、

前記第 1 方向は前記ほぼ正方形形状の外形を有する回折光学素子の一方の辺にはほぼ平行であり、前記第 2 方向は前記ほぼ正方形形状の外形を有する回折光学素子の他方の辺にはほぼ平行であることを特徴とする照明光学装置。

36. 請求の範囲第21項乃至第35項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記角度光束形成手段は、複数の光学要素からなる光学部材を有し、

前記回折光学素子は、前記光学部材の各光学要素に対応する要素光束の中に基本回折光学素子または補完回折光学素子が合計4つ以上含まれるように位置決めされていることを特徴とする照明光学装置。

37. 請求の範囲第35項または第36項に記載の照明光学装置において、

前記照野形成手段は、前記回折光学素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された光学系を有し、

前記4極状の二次光源を構成する各面光源の大きさを ϕ とし、前記ほぼ正方形状の外形を有する前記基本回折光学素子の一辺の長さを L とし、光束の中心波長を λ とし、前記光学系の焦点距離を f としたとき、

$$L > 2.5 \times f \times \lambda / \phi$$

の条件を満足することを特徴とする照明光学装置。

38. 被照射面を照明する照明光学装置において、

2極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を2つの光束に変換するための回折光学素子を備え、

前記回折光学素子は、一定の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の基本回折光学素子と、該基本回折光学素子が発生する光振幅に対して所定の位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する複数の補完回折光学素子とを備え、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の補完回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置。

39. 被照射面を照明する照明光学装置において、

3極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束

を3つの光束に変換するための回折光学素子を備え、

前記回折光学素子は、一定の方向に沿った直線格子パターンを有する複数の基本回折光学素子と、実質的に偏向作用のない複数の単純透過部とを備え、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の単純透過部とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置。

40. 請求の範囲第39項に記載の照明光学装置において、

前記基本回折光学素子が発生する光振幅に対して所定の位相差を持った光振幅が発生するパターンを有する複数の補完回折光学素子と、

前記単純透過部が発生する光振幅に対して第5位相差を持った光振幅が発生するパターンを有する複数の補完単純透過部とをさらに備えていることを特徴とする照明光学装置。

41. 請求の範囲第40項に記載の照明光学装置において、

前記第5位相差はほぼ $1/2$ 波長であることを特徴とする照明光学装置。

42. 請求の範囲第38項乃至第41項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記所定の位相差はほぼ $1/2$ 波長であることを特徴とする照明光学装置。

43. 請求の範囲第38項乃至第42項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の補完回折光学素子とは、互いにほぼ同数であることを特徴とする照明光学装置。

44. 請求の範囲第38項乃至第43項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の補完回折光学素子とは、前記回折光

学素子の全体に亘ってランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

45. 請求の範囲第38項乃至第44項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数のブロックを備え、各ブロックにおいて前記複数の基本回折光学素子と前記複数の補完回折光学素子とがほぼ同数だけランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

46. 請求の範囲第45項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数種類のブロックを備え、各種類のブロック毎に前記複数の基本回折光学素子と前記複数の補完回折光学素子とのランダム配列形態が異なることを特徴とする照明光学装置。

47. 請求の範囲第38項乃至第46項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記基本回折光学素子および前記補完回折光学素子は、ほぼ正形状の外形を有することを特徴とする照明光学装置。

48. 請求の範囲第38項乃至第47項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記直線格子パターンは、2値型の回折光学素子パターン、ブレード型の回折光学素子パターン、および多値型の回折光学素子パターンのうちのいずれか1つのパターンを有することを特徴とする照明光学装置。

49. 被照射面を照明する照明光学装置において、

8極状の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を8つの光束に変換するための回折光学素子を備え、

前記回折光学素子は、第1の方向に沿った直線格子パターンを有する第1基本

回折光学素子と、前記第 1 の方向とほぼ直交する第 2 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 2 基本回折光学素子と、前記第 1 の方向とほぼ 45 度をなす第 3 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 3 基本回折光学素子と、前記第 1 の方向とほぼ 45 度をなし且つ前記第 3 の方向とほぼ直交する第 4 の方向に沿った直線格子パターンを有する第 4 基本回折光学素子とを備え、

前記第 1 乃至前記第 4 基本回折光学素子はほぼ稠密に配列されていることを特徴とする照明光学装置。

50. 請求の範囲第 49 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は、前記第 1 基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第 1 位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第 1 補完回折光学素子と、前記第 2 基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第 2 位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第 2 補完回折光学素子と、前記第 3 基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第 3 位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第 3 補完回折光学素子と、前記第 4 基本回折光学素子が発生する光振幅に対して第 4 位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する第 4 補完回折光学素子とをさらに備え、前記第 1 乃至前記第 4 基本回折光学素子と前記第 1 乃至前記第 4 補完回折光学素子とはほぼ稠密に配列されていることを特徴とする請求の範囲 49 に記載の照明光学装置。

51. 請求の範囲第 50 項に記載の照明光学装置において、

前記第 1 位相差、前記第 2 位相差、前記第 3 位相差および前記第 4 位相差は、ほぼ $1/2$ 波長であることを特徴とする照明光学装置。

52. 請求の範囲第 50 項または第 51 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は、複数の前記第 1 乃至前記第 4 基本回折光学素子と複数の前記第 1 乃至前記第 4 補完回折光学素子とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

5 3. 請求の範囲第 5 2 項に記載の照明光学装置において、

前記複数の第 1 乃至第 4 基本回折光学素子と前記複数の第 1 乃至第 4 補完回折光学素子とは、互いにほぼ同数であることを特徴とする照明光学装置。

5 4. 請求の範囲第 5 2 項または第 5 3 項に記載の照明光学装置において、

前記複数の第 1 乃至第 4 基本回折光学素子と前記複数の第 1 乃至第 4 補完回折光学素子とは、前記回折光学素子の全体に亘ってランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

5 5. 請求の範囲第 5 2 項または第 5 3 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数のブロックを備え、各ブロックにおいて前記複数の第 1 乃至第 4 基本回折光学素子と前記複数の第 1 乃至第 4 補完回折光学素子とがランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

5 6. 請求の範囲第 5 5 項に記載の照明光学装置において、

各ブロックにおいて前記複数の第 1 乃至第 4 基本回折光学素子と前記複数の第 1 乃至第 4 補完回折光学素子とは互いにほぼ同数であることを特徴とする照明光学装置。

5 7. 請求の範囲第 5 5 項または第 5 6 項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数種類のブロックを備え、各種類のブロック毎にランダム配列の形態が異なることを特徴とする照明光学装置。

5 8. 請求の範囲第 5 2 項または第 5 3 項に記載の照明光学装置において、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第 1 ブロックと、

前記第 1 基本回折光学素子と前記第 2 補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互

に配列された複数の第2ブロックと、

前記第1補完回折光学素子と前記第2基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第3ブロックと、

前記第1補完回折光学素子と前記第2補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第4ブロックと、

前記第3基本回折光学素子と前記第4基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第5ブロックと、

前記第3基本回折光学素子と前記第4補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第6ブロックと、

前記第3補完回折光学素子と前記第4基本回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第7ブロックと、

前記第3補完回折光学素子と前記第4補完回折光学素子とがほぼ同数だけ交互に配列された複数の第8ブロックとを備えていることを特徴とする照明光学装置。

59. 請求の範囲第58項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数の中ブロックを備え、各中ブロックにおいて前記複数の第1乃至第8ブロックがそれぞれほぼ同数だけランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

60. 請求の範囲第59項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は複数種類の中ブロックを備え、各種類の中ブロック毎にランダム配列の形態が異なることを特徴とする照明光学装置。

61. 請求の範囲第58項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子は前記複数の第1乃至第8ブロックをほぼ同数だけ含み、かつ各ブロックは前記回折光学素子の全体に亘ってランダム配列されていることを特徴とする照明光学装置。

6 2. 被照射面を照明する照明光学装置において、

光束を供給するための光源手段と、前記光源手段からの光束を、光軸に対して様々な角度成分を有する光束に変換して、第1の所定面へ入射させるための角度光束形成手段と、前記第1の所定面に入射した前記様々な角度成分を有する光束に基づいて、複数極状の照野を第2の所定面上に形成するために回折光学素子を含む照野形成手段とを備え、

前記回折光学素子は、所定の回折光学素子パターンを有する複数の基本回折光学素子をほぼ稠密に配列することにより構成され、

前記角度光束形成手段は、複数の光学要素からなる光学部材を有し、

前記回折光学素子は、前記光学部材の各光学要素に対応する要素光束の中に基本回折光学素子または補完回折光学素子が合計4つ以上含まれるように位置決めされていることを特徴とする照明光学装置。

6 3. 光束を供給するための光源手段と、

前記光源手段からの光束を、光軸に対して様々な角度成分を有する光束に変換して、第1の所定面へ入射させるための角度光束形成手段と、

前記第1の所定面に入射した前記様々な角度成分を有する光束に基づいて、複数極状の照野を第2の所定面上に形成するために回折光学素子を含む照野形成手段と、

前記第2の所定面上に形成された前記複数極状の照野からの光束に基づいて、前記複数極状の照野とほぼ同じ光強度分布を有する複数極状の二次光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、

前記オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備え、

前記回折光学素子は、ほぼ正形状の外形を有し且つ所定の回折光学素子パターンを有する複数の基本回折光学素子をほぼ稠密に配列することにより構成され、

前記照野形成手段は、前記回折光学素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された光学系を有し、

前記複数極状の二次光源を構成する各面光源の大きさを ϕ とし、前記基本回折光学素子の一辺の長さを L とし、光束の中心波長を λ とし、前記光学系の焦点距離を f としたとき、

$$L > 2.5 \times f \times \lambda / \phi$$

の条件を満足することを特徴とする照明光学装置。

64. 請求の範囲第1項乃至第18項のいずれか1項に記載の回折光学素子または請求の範囲第38項乃至第48項のいずれか1項に記載の照明光学装置における回折光学素子とほぼ同じ光振幅を発生することを特徴とする屈折光学素子。

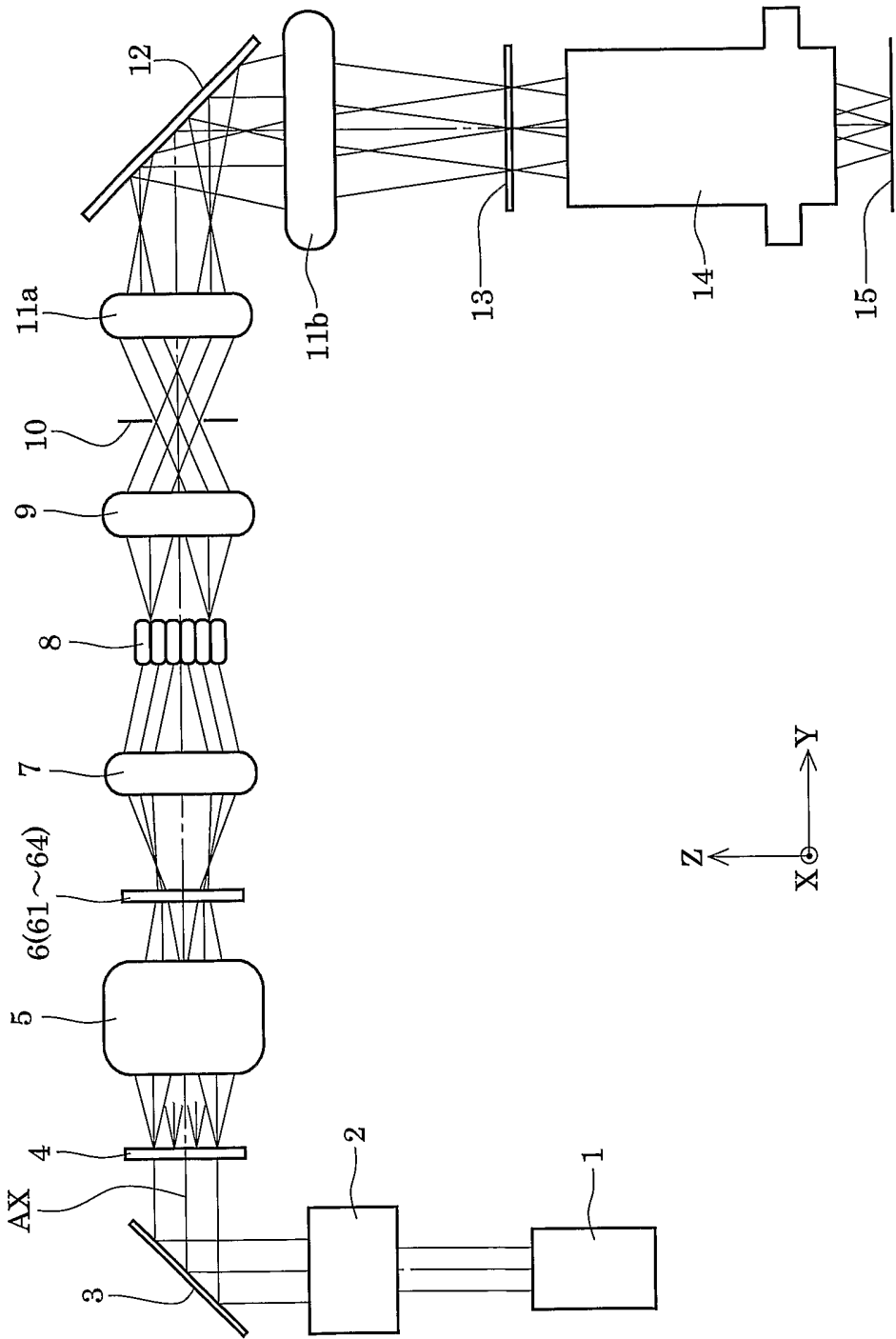
65. 被照射面を照明する照明光学装置において、

所定の光強度分布を有する二次光源を照明瞳面に形成するために、入射光束を所定の断面形状の光束に変換するための請求の範囲第64項に記載の屈折光学素子を備えていることを特徴とする照明光学装置。

66. 請求の範囲第19項乃至第63項のいずれか1項または第65項に記載の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

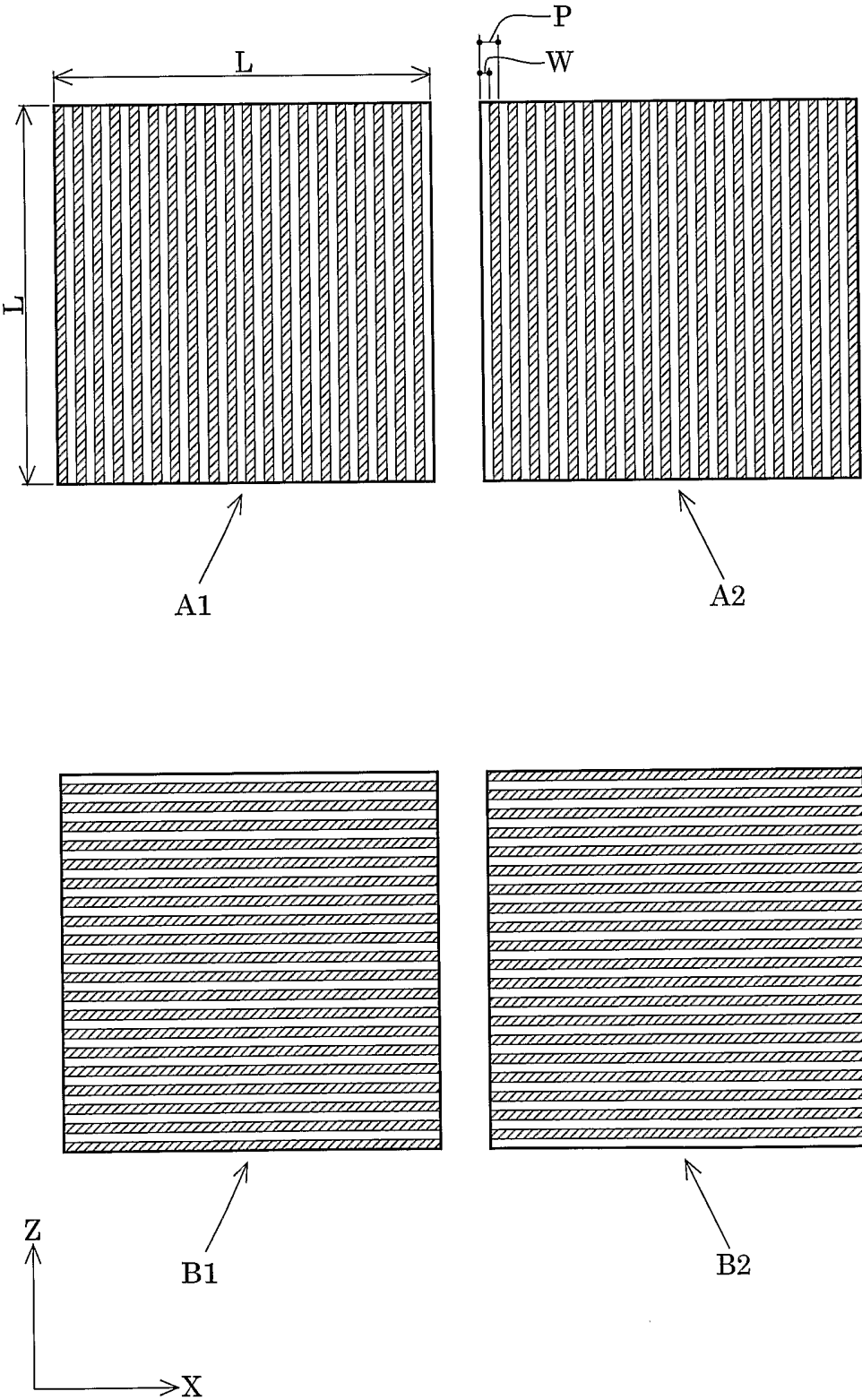
67. 請求の範囲第19項乃至第63項のいずれか1項または第65項に記載の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

第 1 図



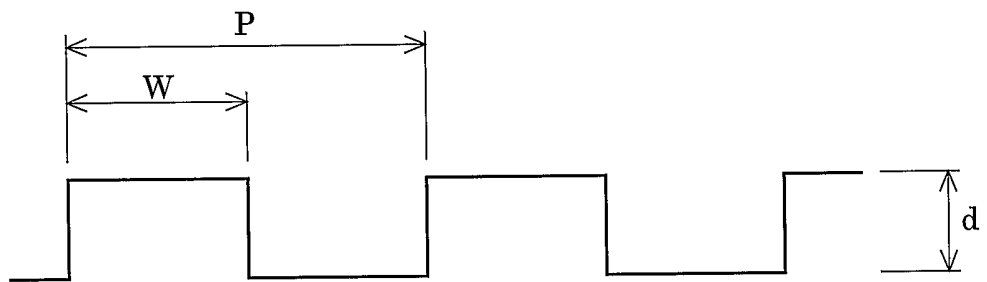
2 / 5 1

第 2 図



3 / 5 1

第 3 図



第 4 図

A1	B1	A1	B1
B1	A1	B1	A1
A1	B1	A1	B1
B1	A1	B1	A1

C1

A1	B2	A1	B2
B2	A1	B2	A1
A1	B2	A1	B2
B2	A1	B2	A1

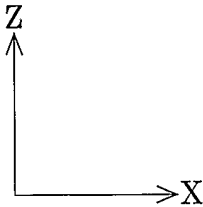
C2

A2	B1	A2	B1
B1	A2	B1	A2
A2	B1	A2	B1
B1	A2	B1	A2

C3

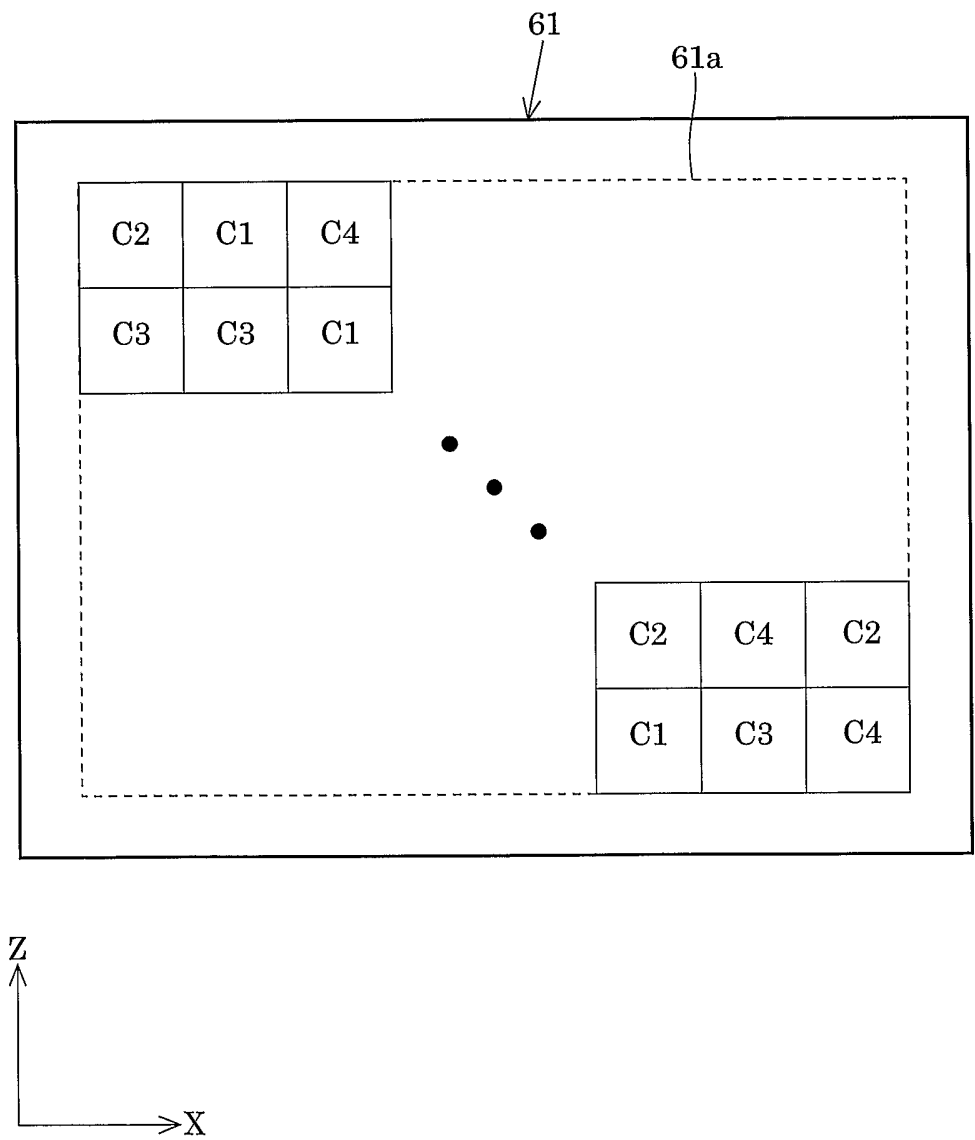
A2	B2	A2	B2
B2	A2	B2	A2
A2	B2	A2	B2
B2	A2	B2	A2

C4



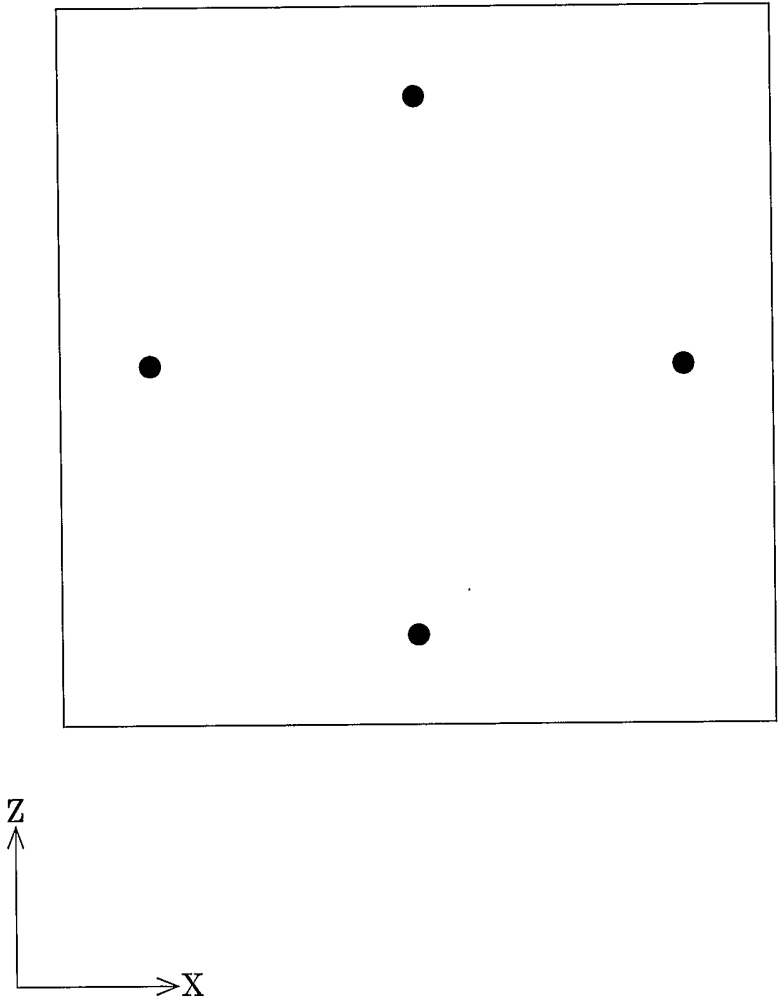
5 / 5 1

第 5 図



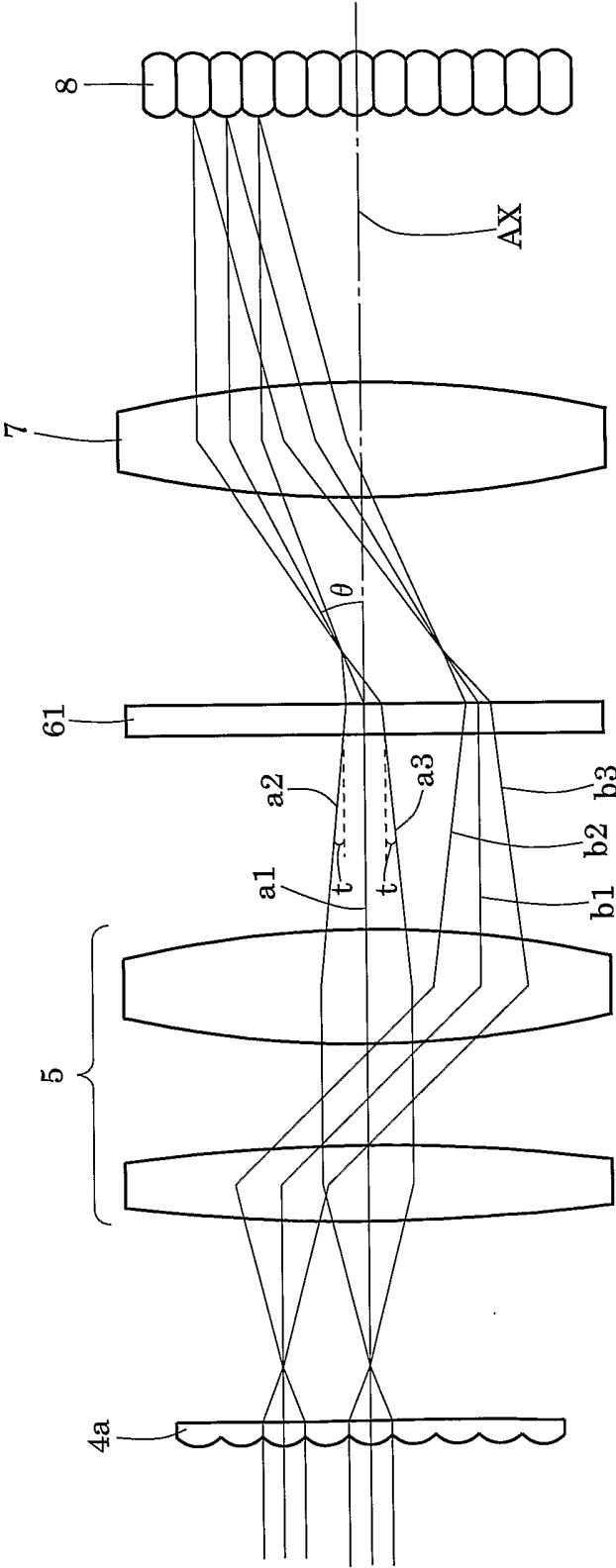
6 / 5 1

第 6 図



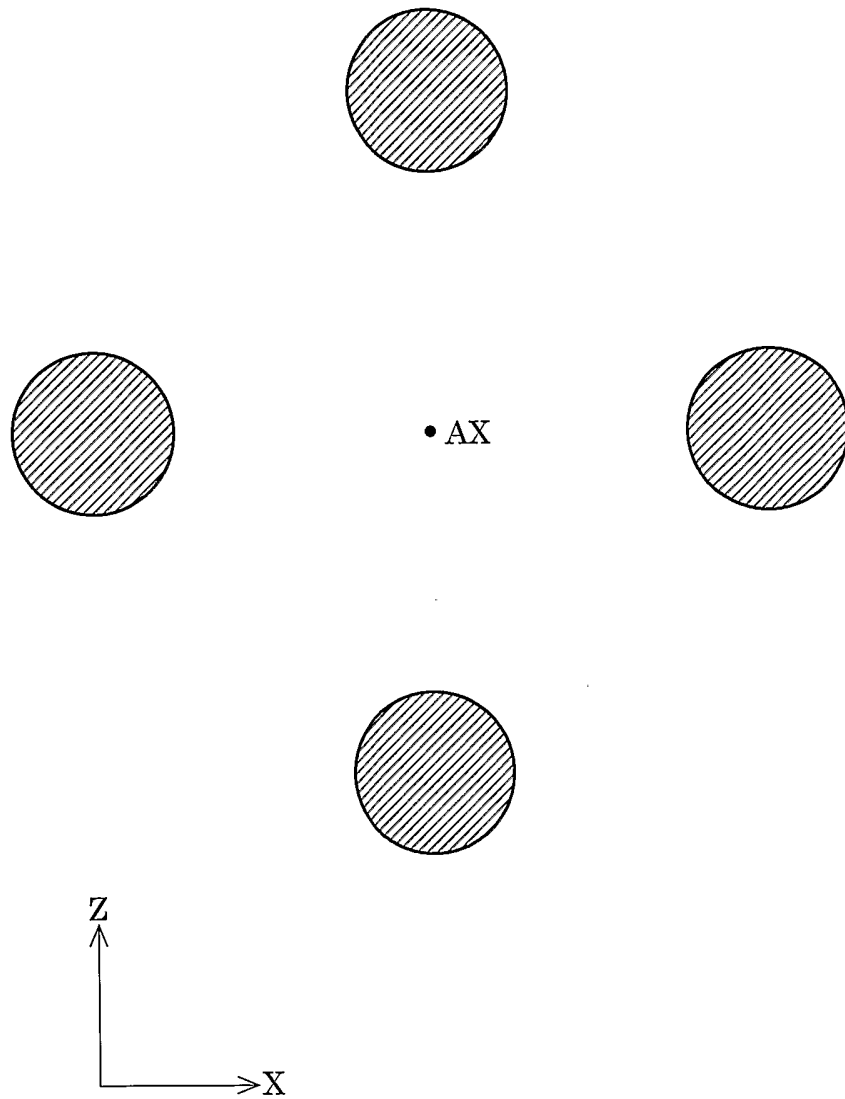
7 / 5 1

第 7 図

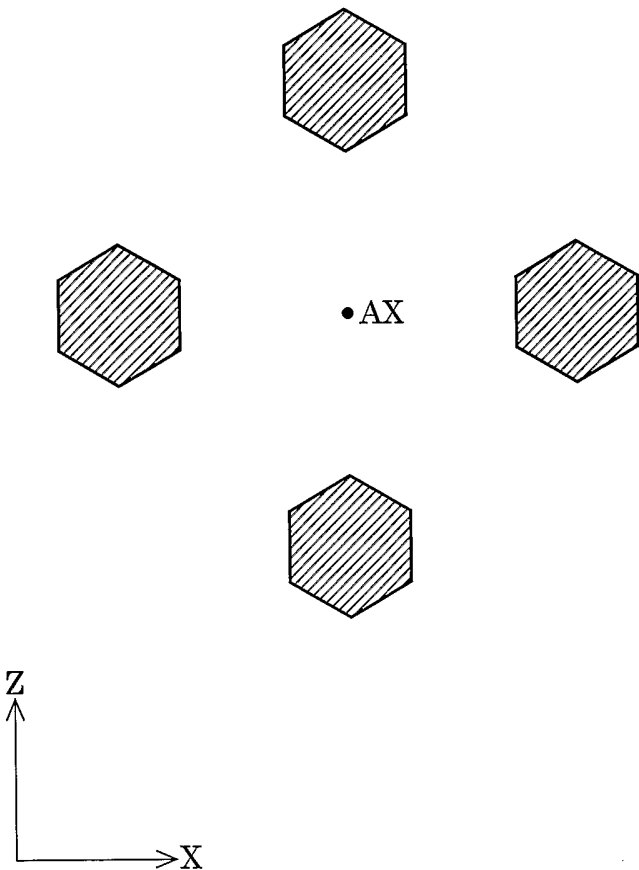


8 / 5 1

第 8 図

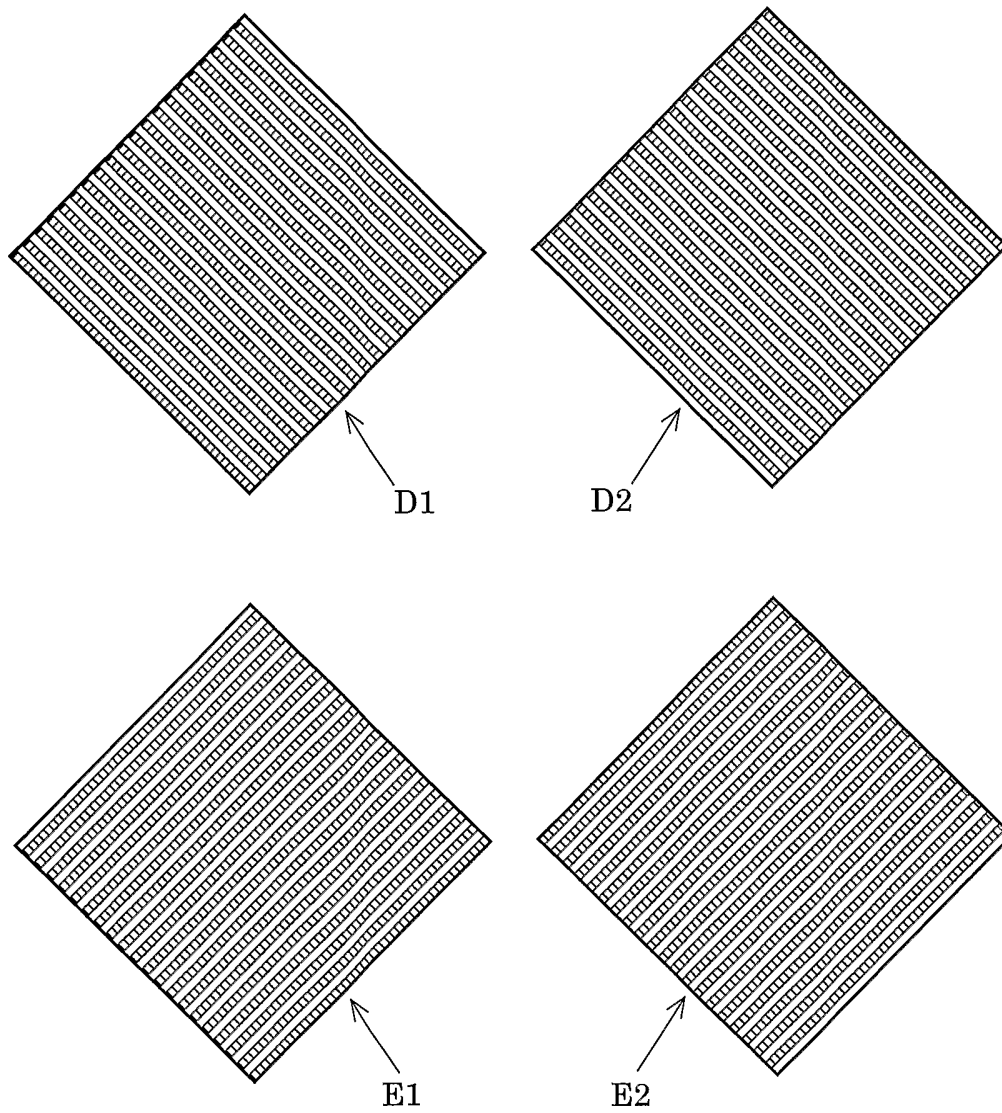


9 / 5 1
第 9 図



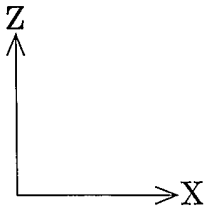
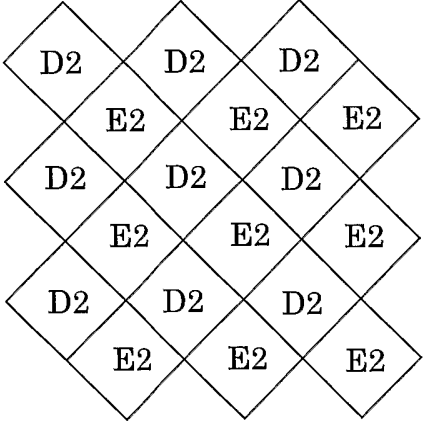
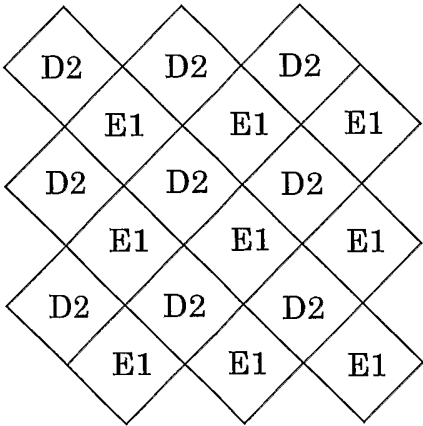
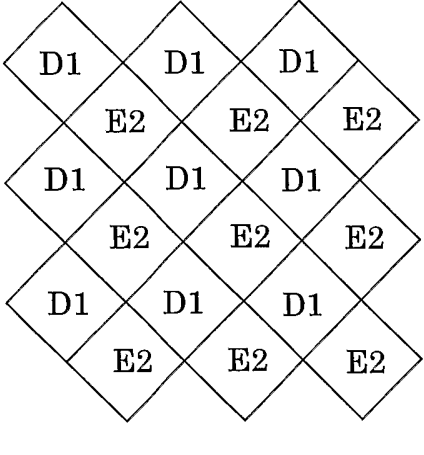
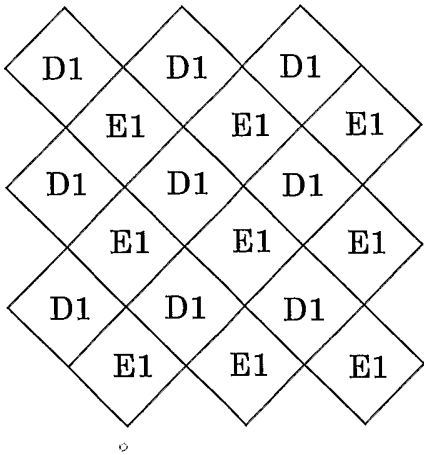
1 0 / 5 1

第 1 0 図

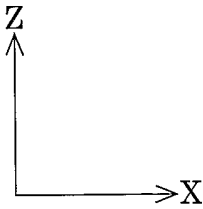
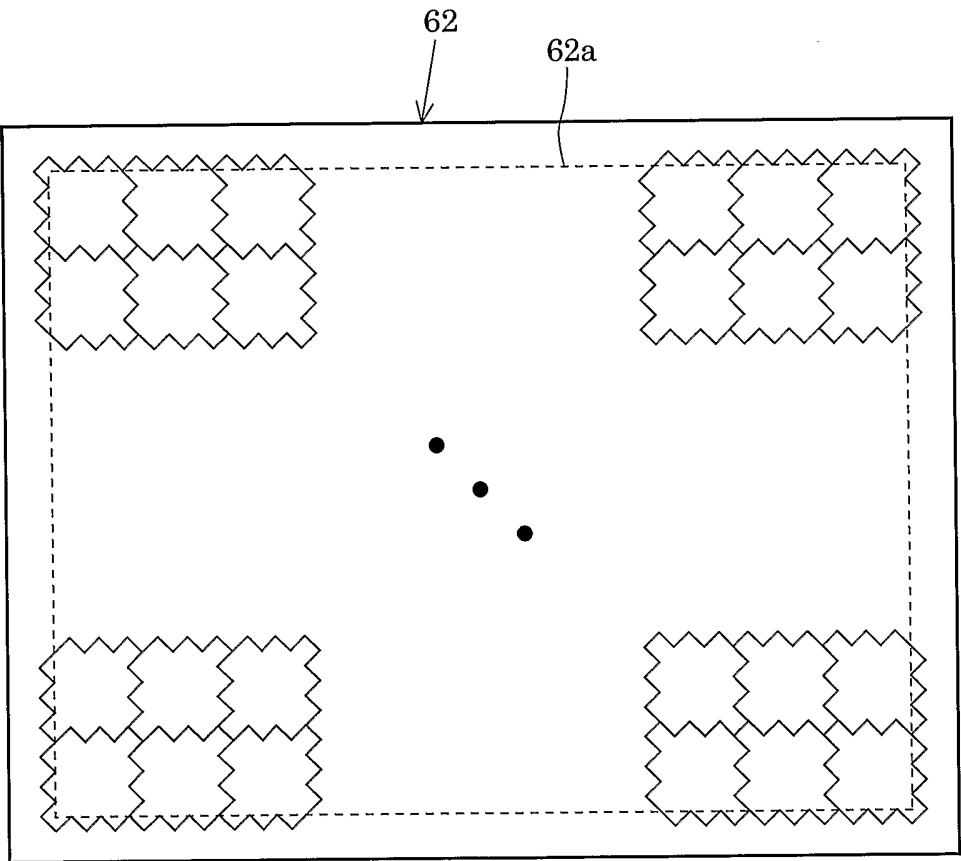


1 1 / 5 1

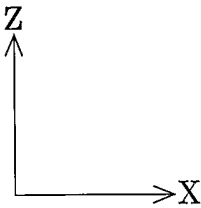
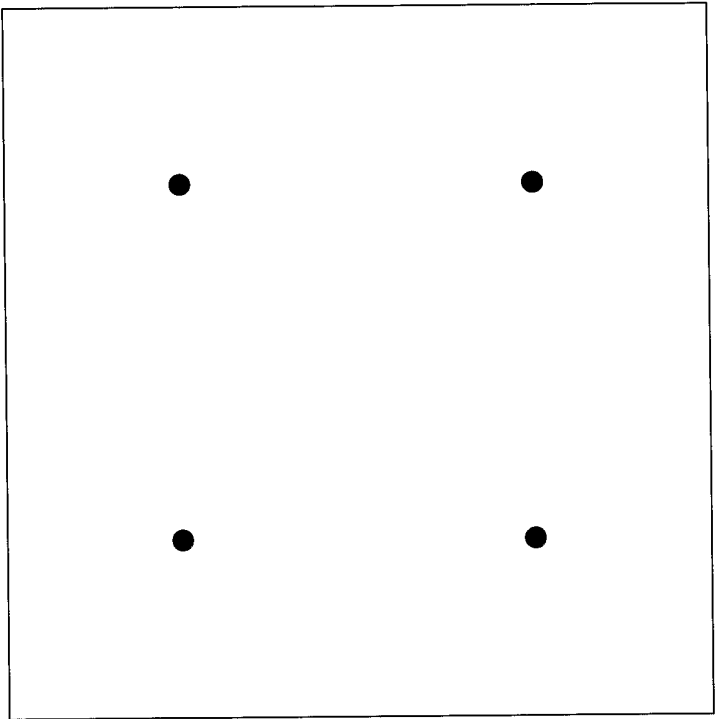
第 1 1 図



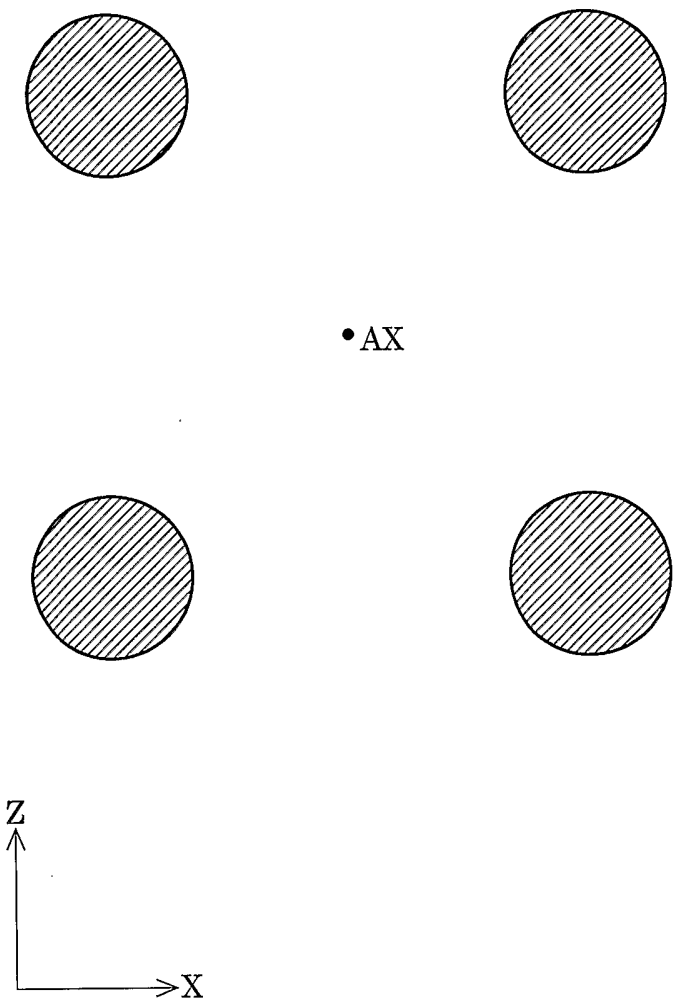
1 2 / 5 1
第 1 2 図



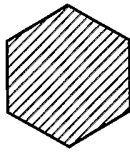
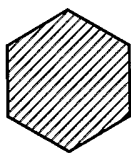
1 3 / 5 1
第 1 3 図



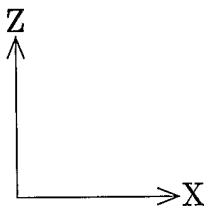
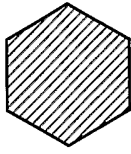
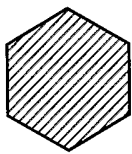
1 4 / 5 1
第 1 4 図



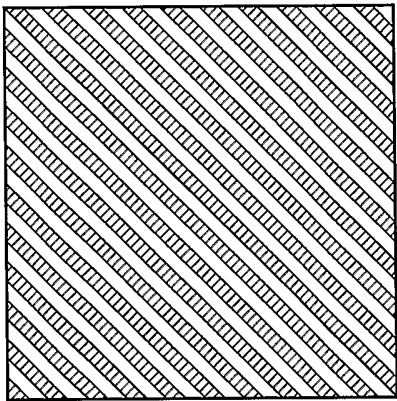
1 5 / 5 1
第 1 5 図



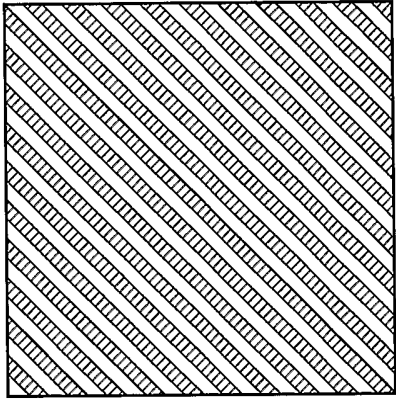
•AX



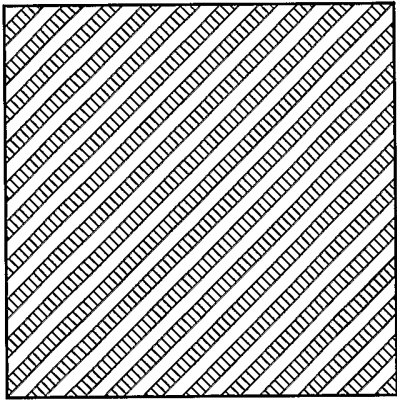
1 6 / 5 1
第 1 6 図



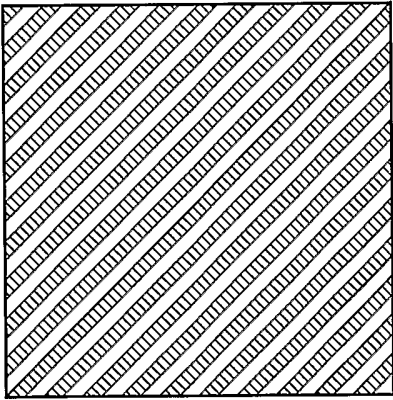
D1'



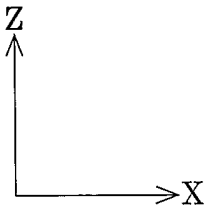
D2'



E1'



E2'



1 7 / 5 1
第 1 7 図

D1'	E1'	D1'	E1'
E1'	D1'	E1'	D1'
D1'	E1'	D1'	E1'
E1'	D1'	E1'	D1'

F1'

D1'	E2'	D1'	E2'
E2'	D1'	E2'	D1'
D1'	E2'	D1'	E2'
E2'	D1'	E2'	D1'

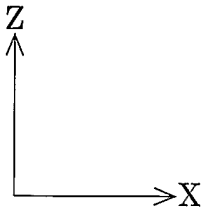
F2'

D2'	E1'	D2'	E1'
E1'	D2'	E1'	D2'
D2'	E1'	D2'	E1'
E1'	D2'	E1'	D2'

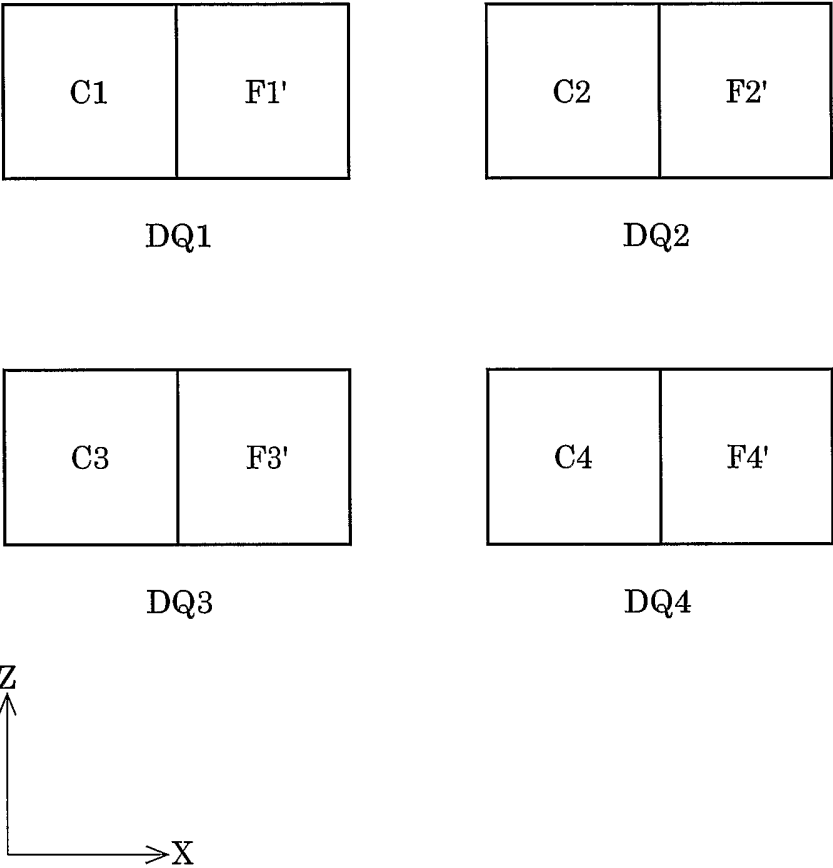
F3'

D2'	E2'	D2'	E2'
E2'	D2'	E2'	D2'
D2'	E2'	D2'	E2'
E2'	D2'	E2'	D2'

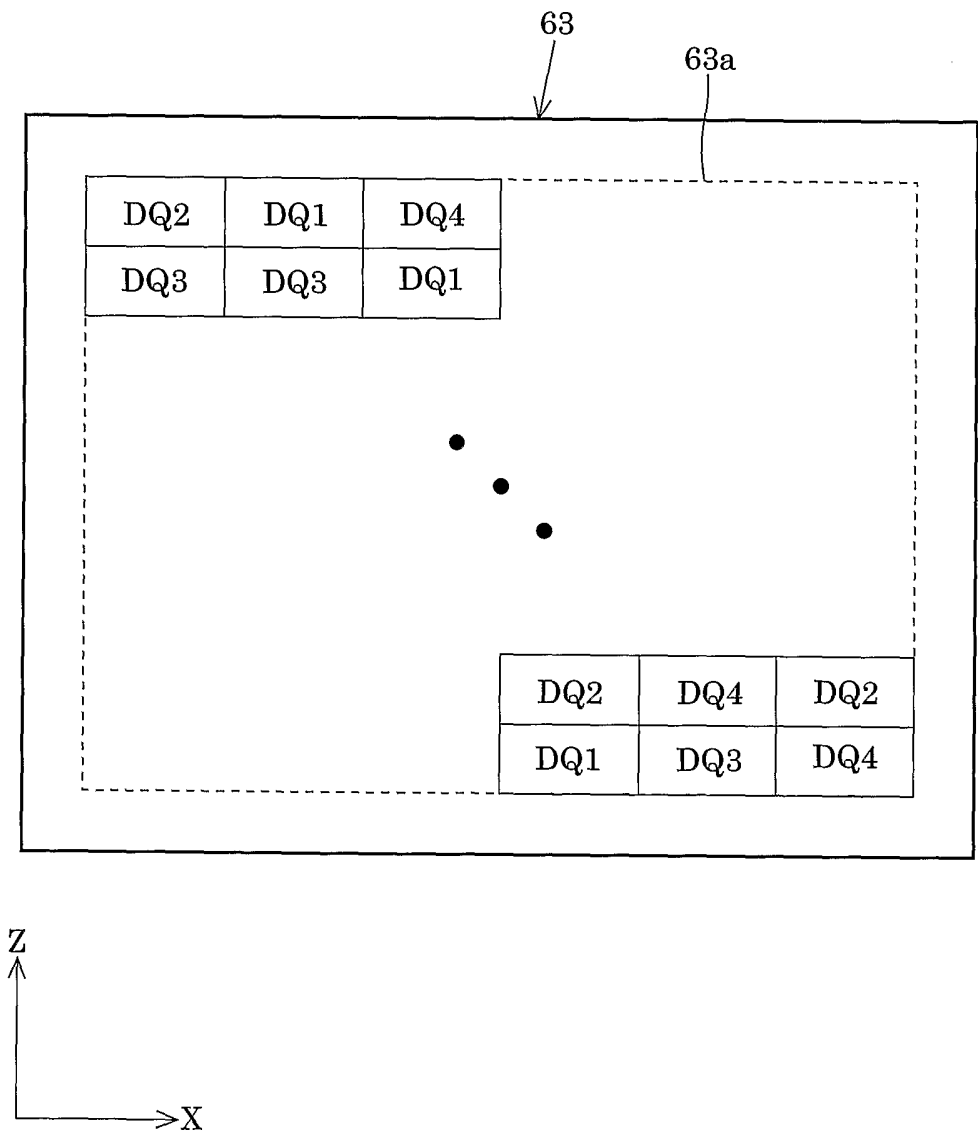
F4'



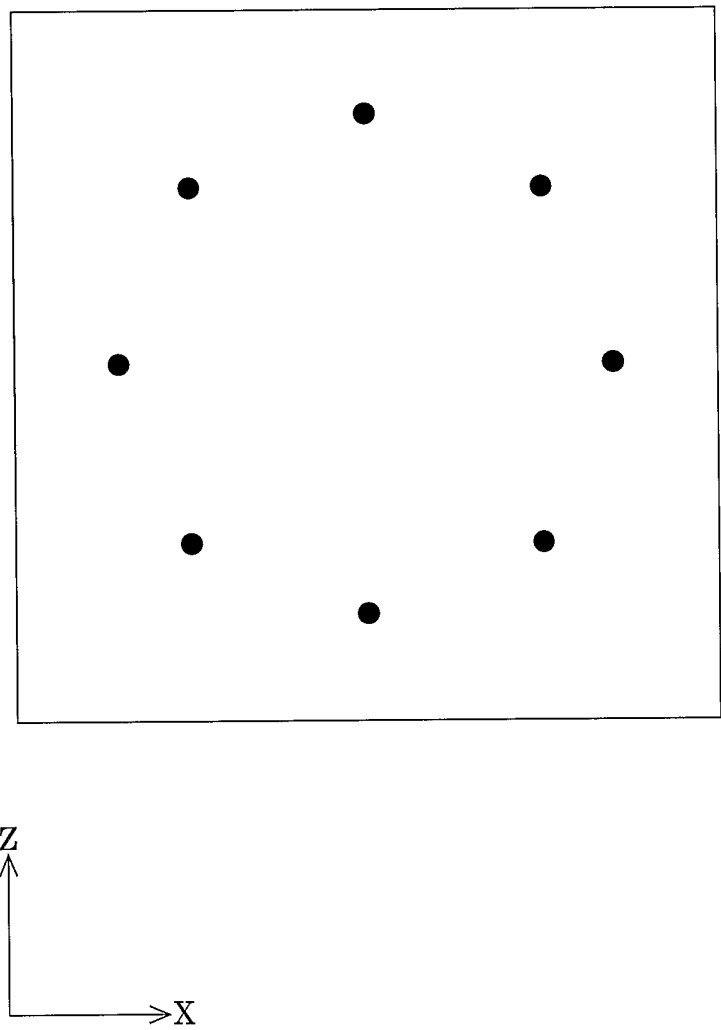
1 8 / 5 1
第 1 8 図



1 9 / 5 1
第 1 9 図

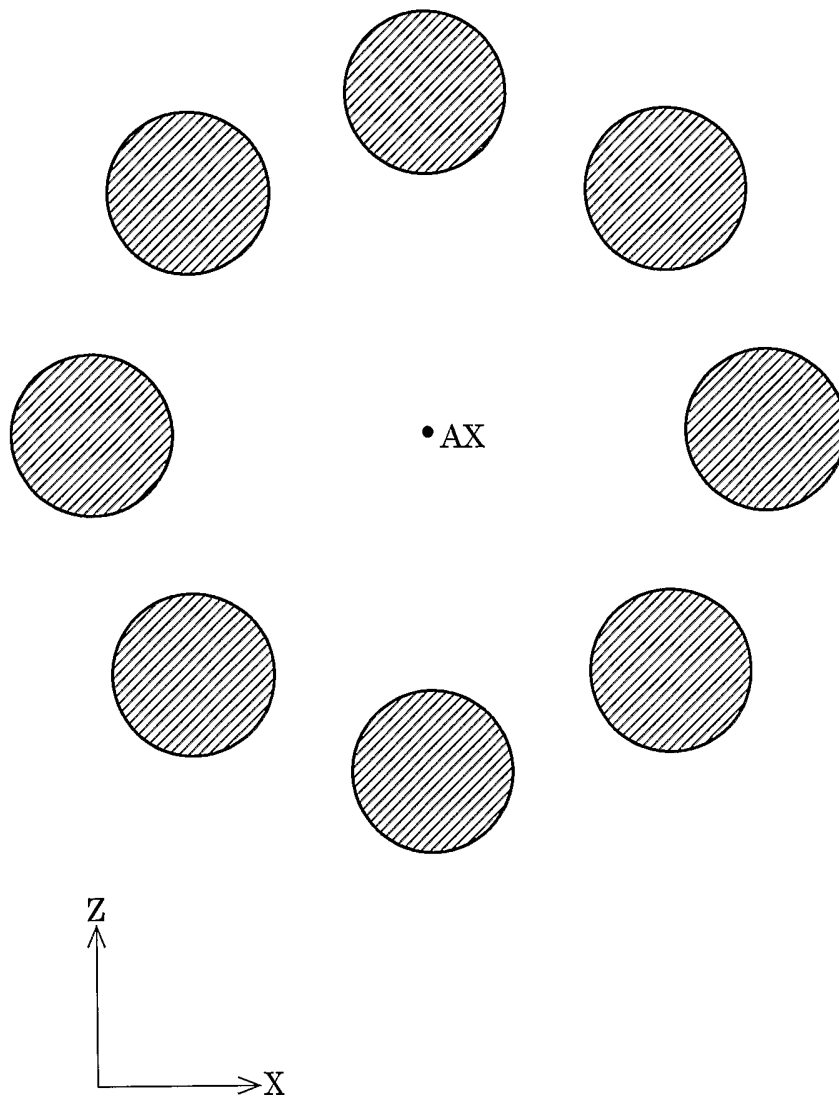


2 0 / 5 1
第 2 0 図



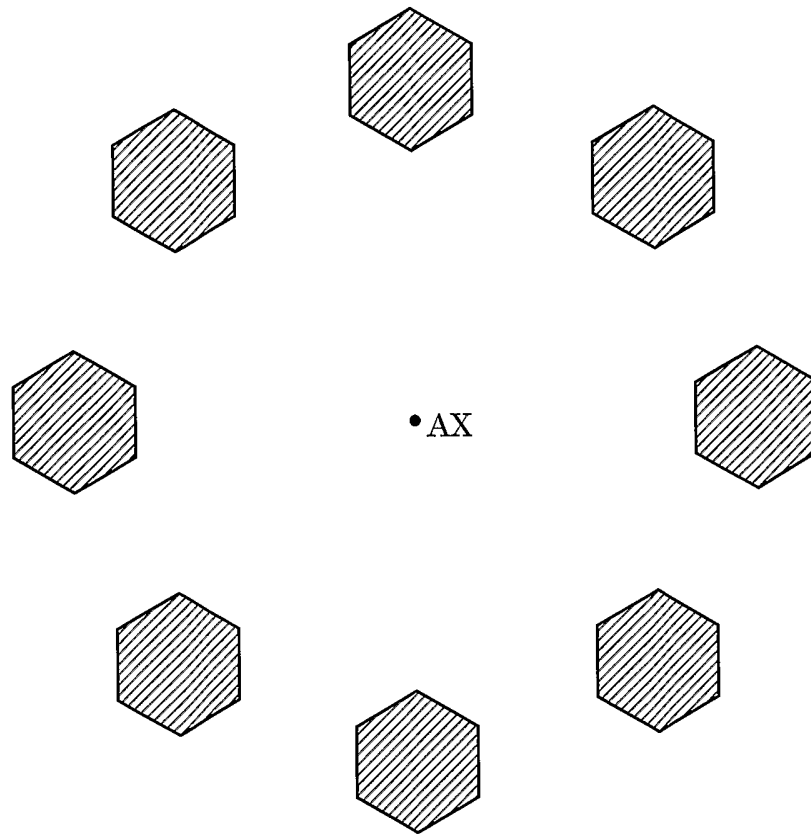
2 1 / 5 1

第 2 1 図

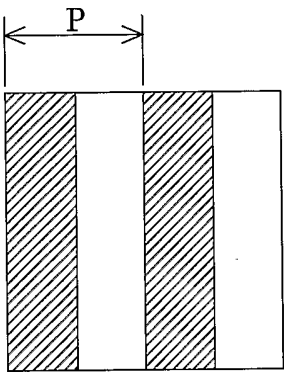


2 2 / 5 1

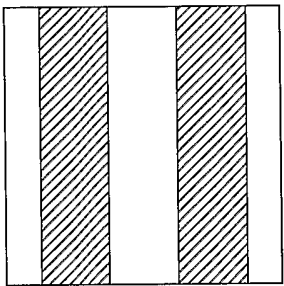
第 2 2 図



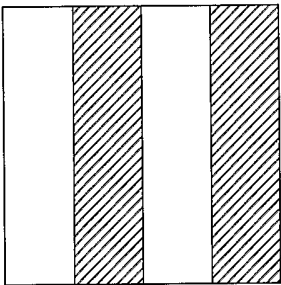
2 3 / 5 1
第 2 3 図



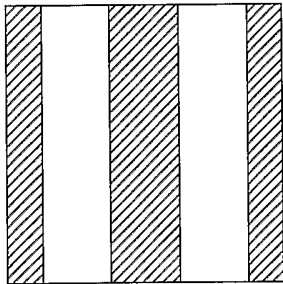
G1



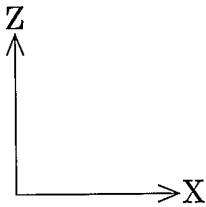
G2



G3

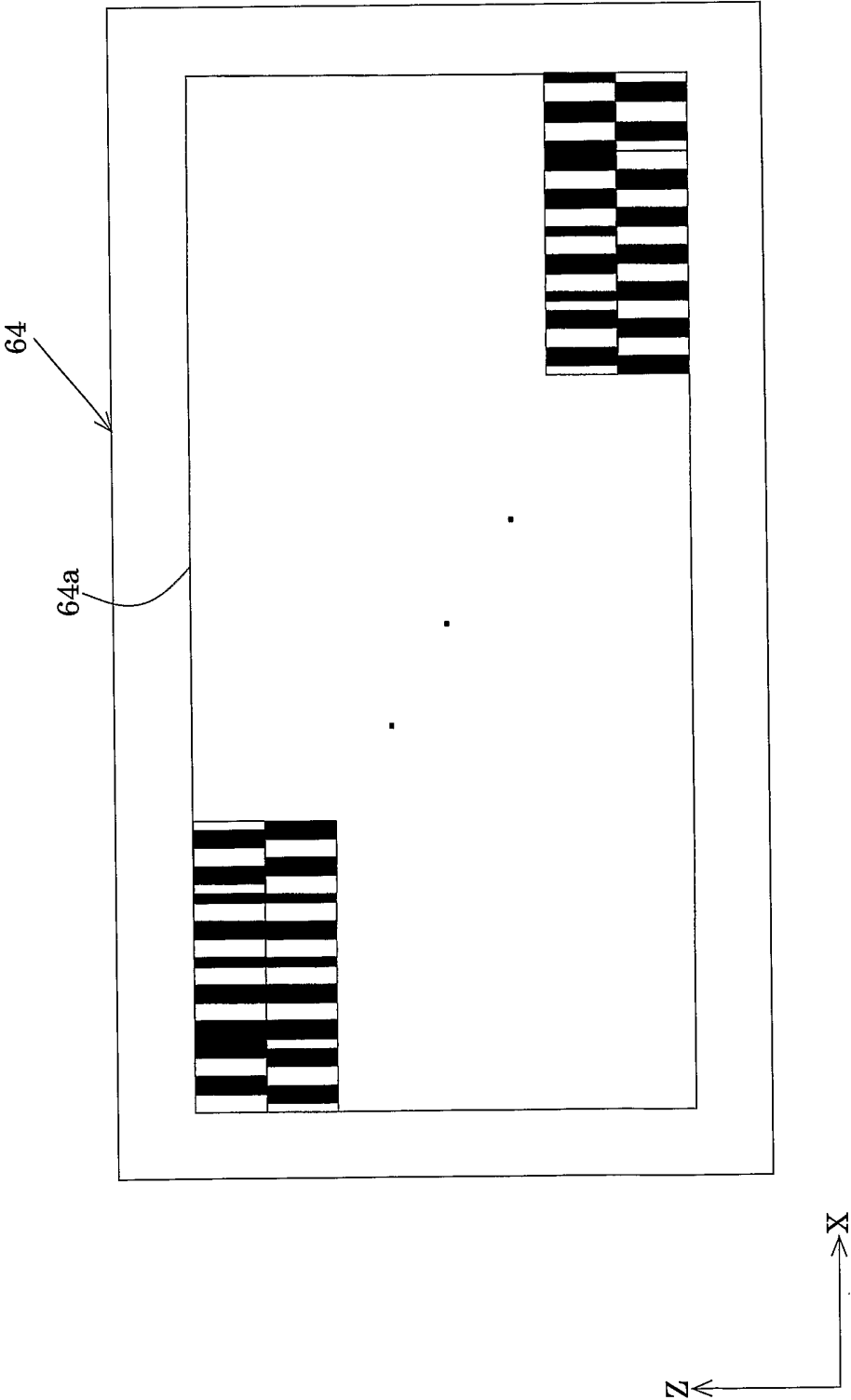


G4



2 4 / 5 1

第 2 4 図

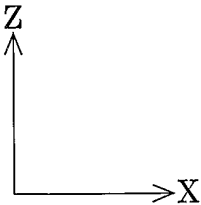
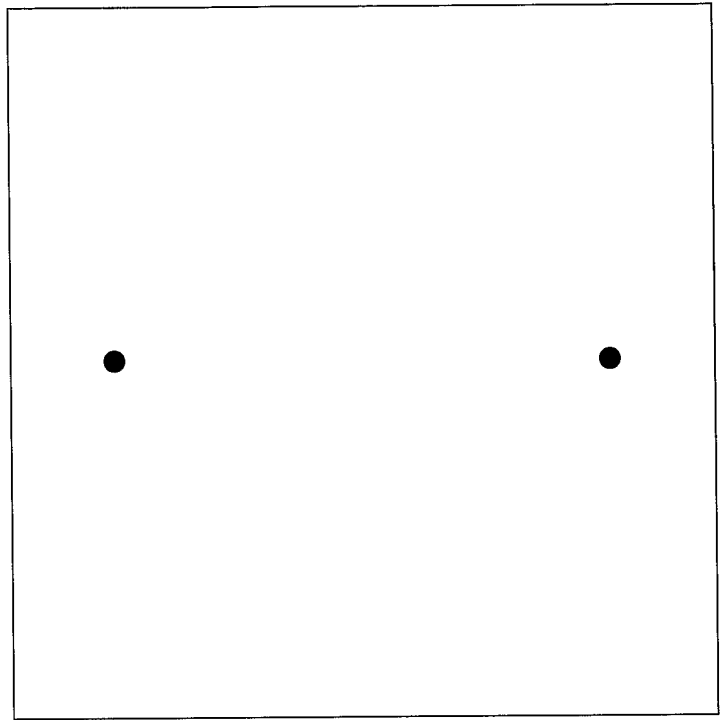


2 5 / 5 1

第 2 5 図

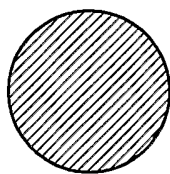
2	0	3	1	2	0	0	0	1	1	2	0	3	1
1	1	3	2	1	2	3	2	1	0	2	2	3	1
1	1	2	1	2	1	2	0	0	1	0	3	2	0
2	0	3	1	3	3	3	1	2	2	1	0	1	2
1	0	3	3	2	1	0	0	0	1	3	1	0	1
0	2	0	2	0	2	3	2	3	0	1	3	2	3
3	2	2	1	1	2	2	0	1	2	0	0	0	1

2 6 / 5 1
第 2 6 図

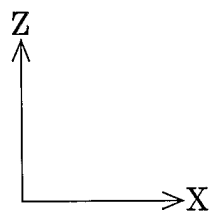
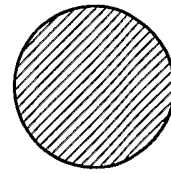


2 7 / 5 1

第 2 7 図

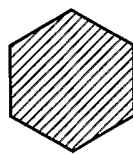


• AX

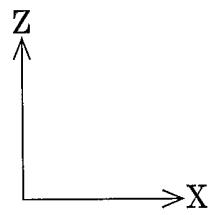
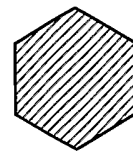


2 8 / 5 1

第 2 8 図

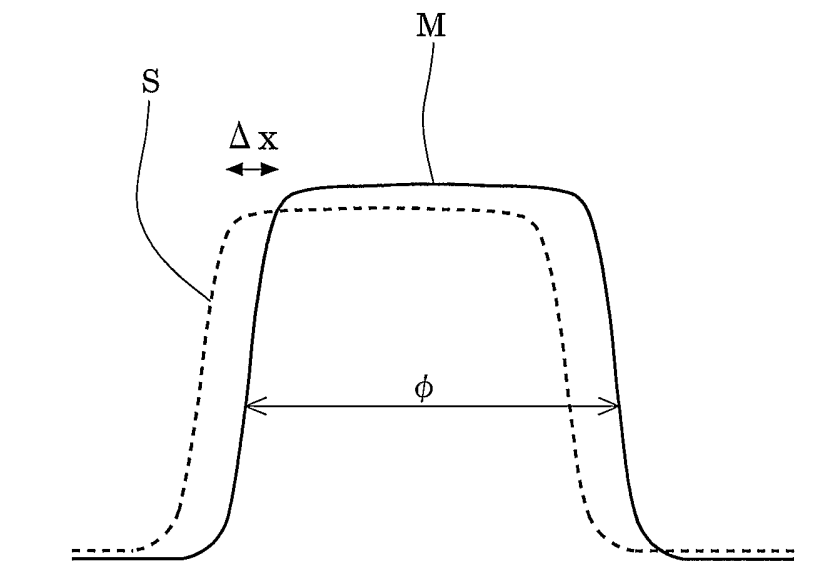


•AX



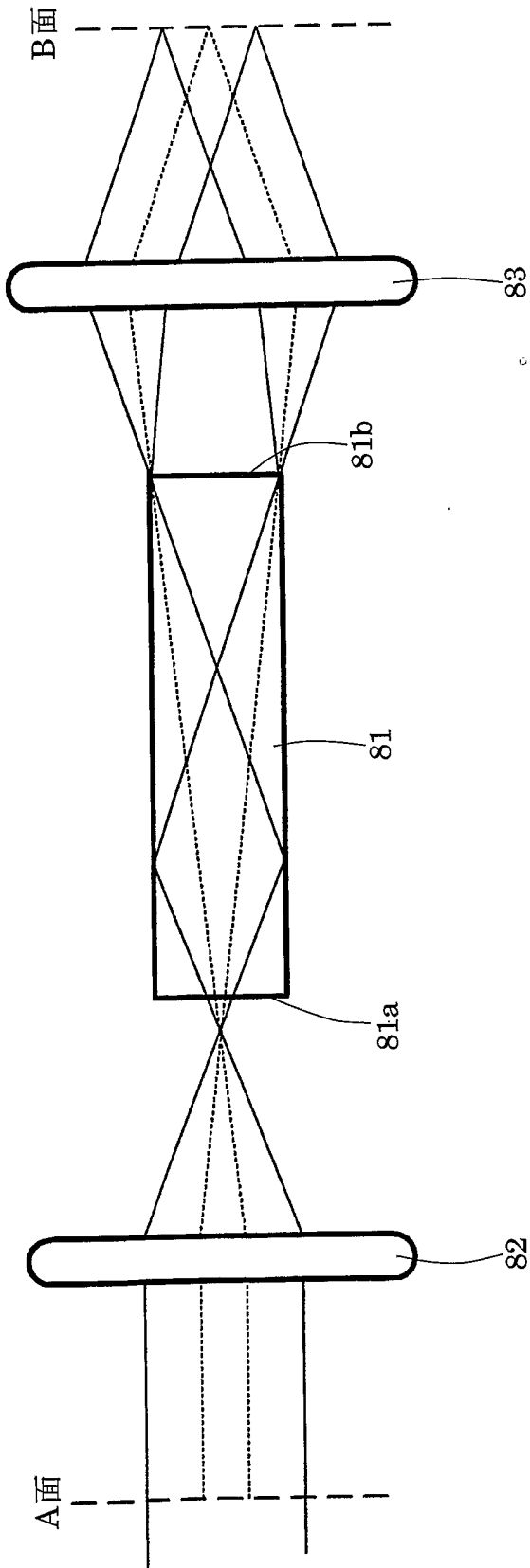
2 9 / 5 1

第 2 9 図



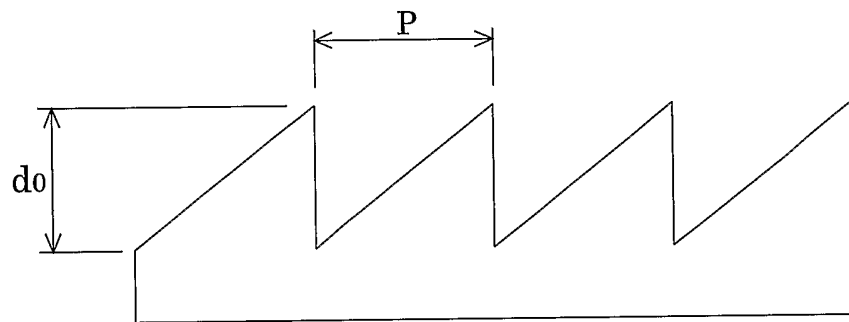
3 0 / 5 1

第 3 0 図

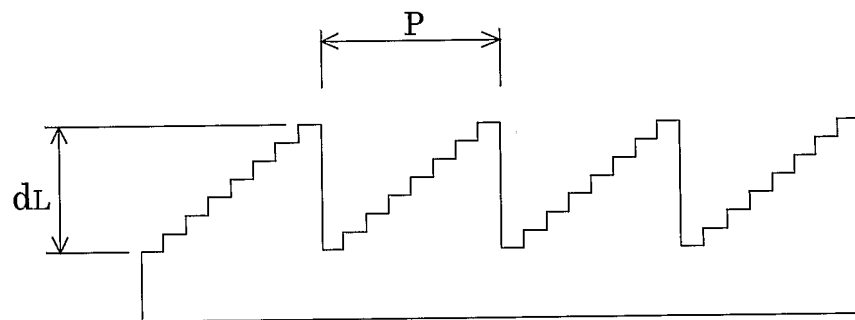


3 1 / 5 1

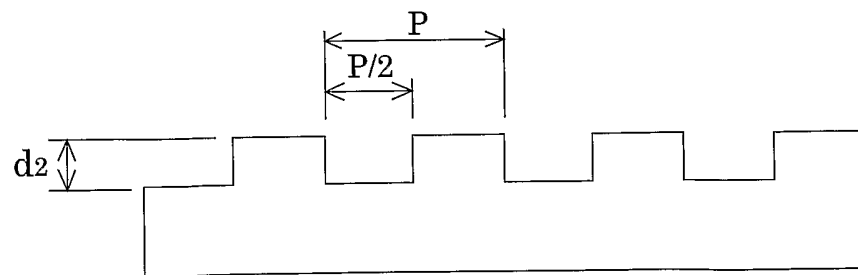
第 3 1 A 図



第 3 1 B 図

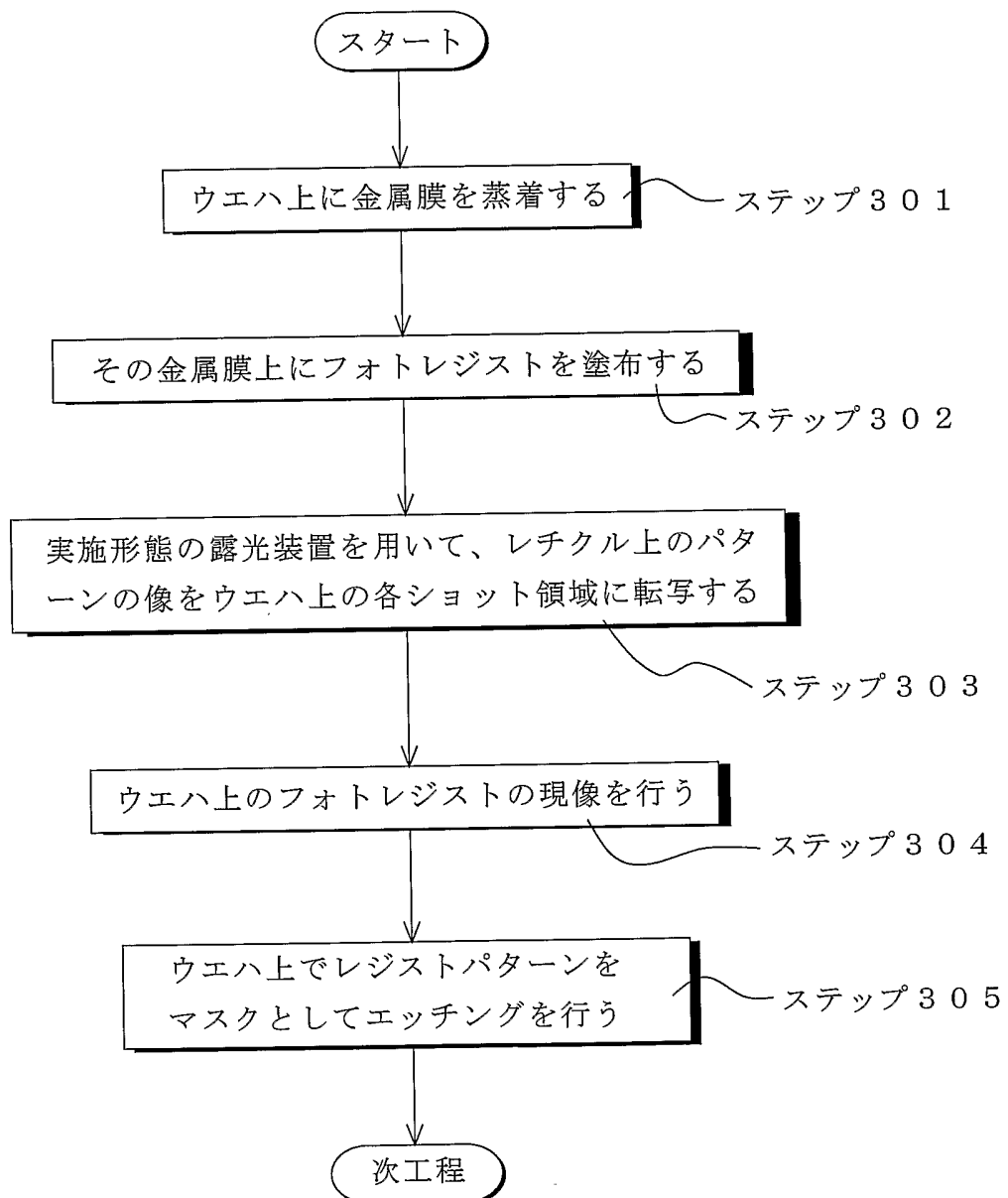


第 3 1 C 図



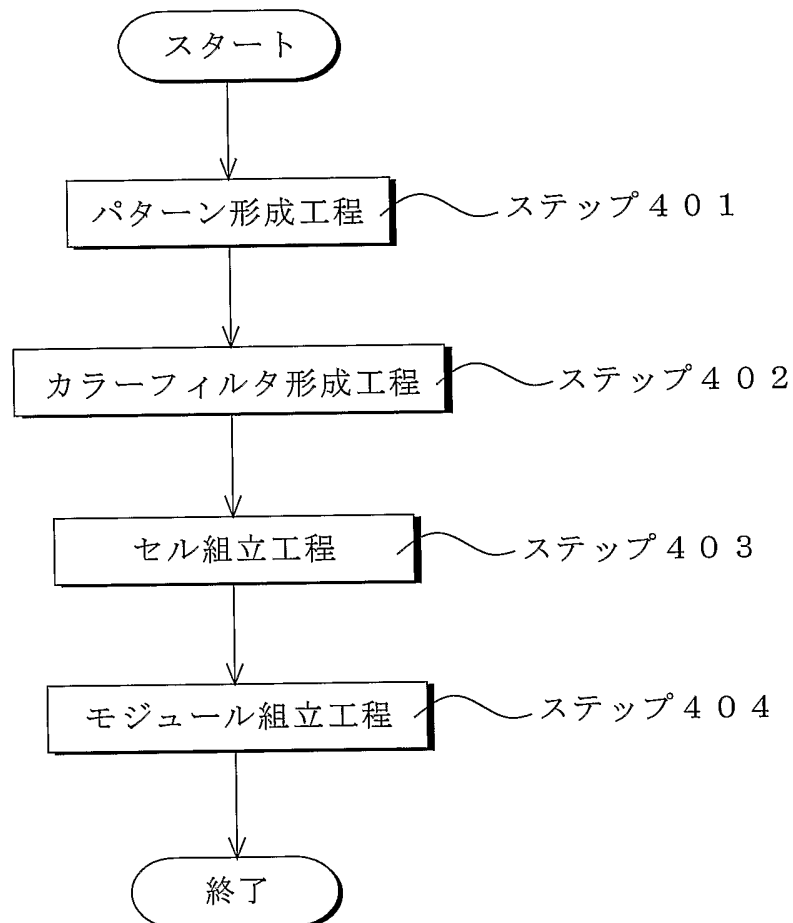
32 / 51

第32図



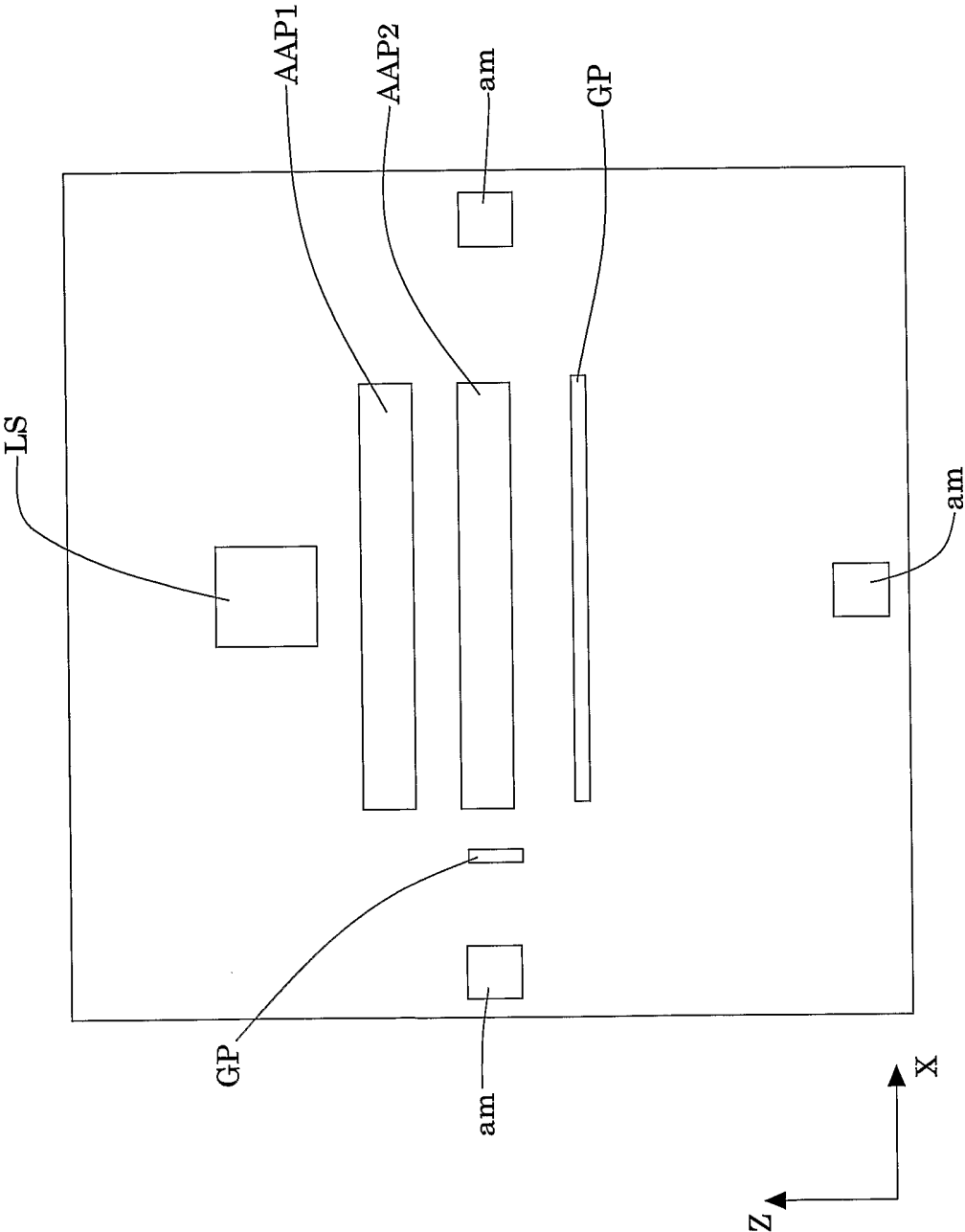
33 / 51

第33図



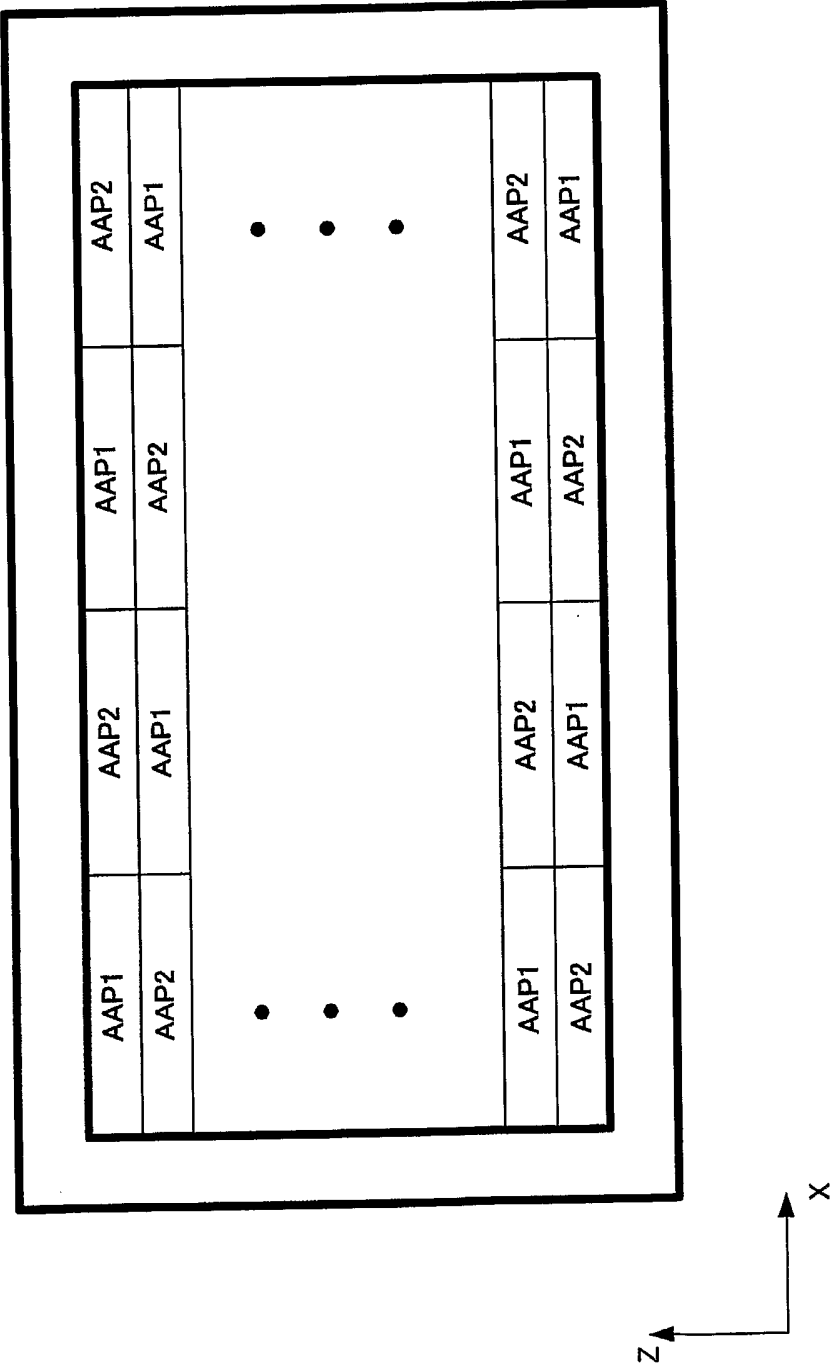
3 4 / 5 1

第 3 4 図

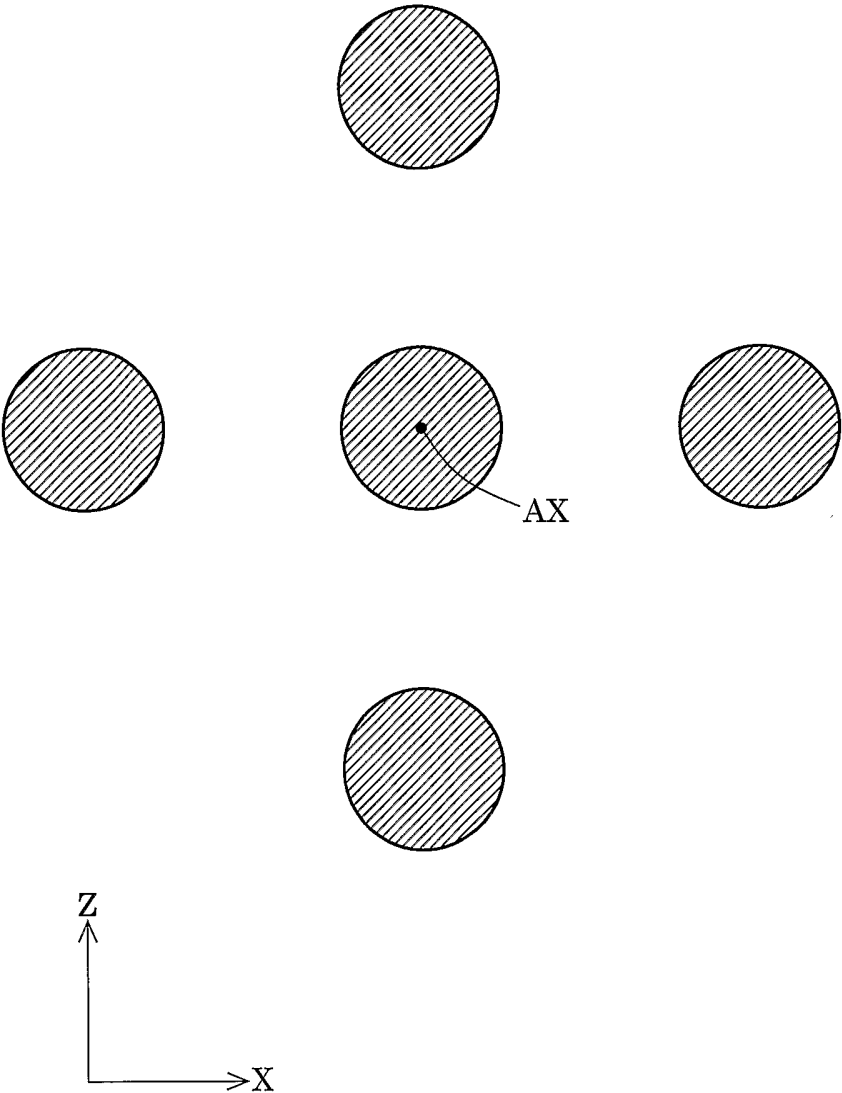


3 5 / 5 1

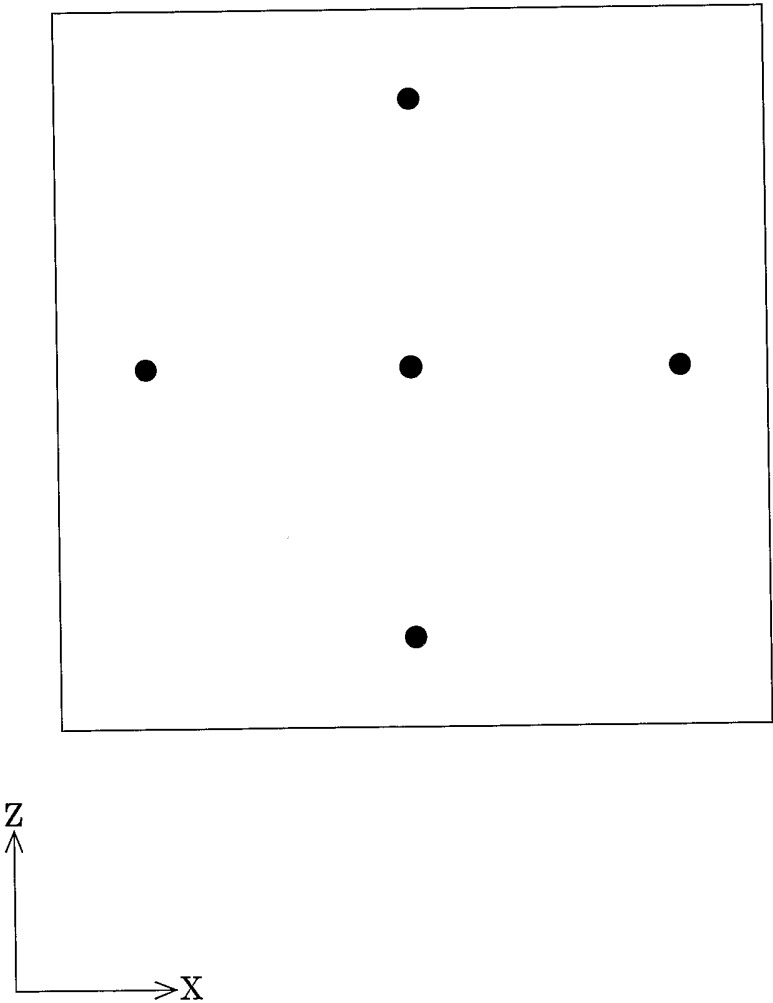
第 3 5 図



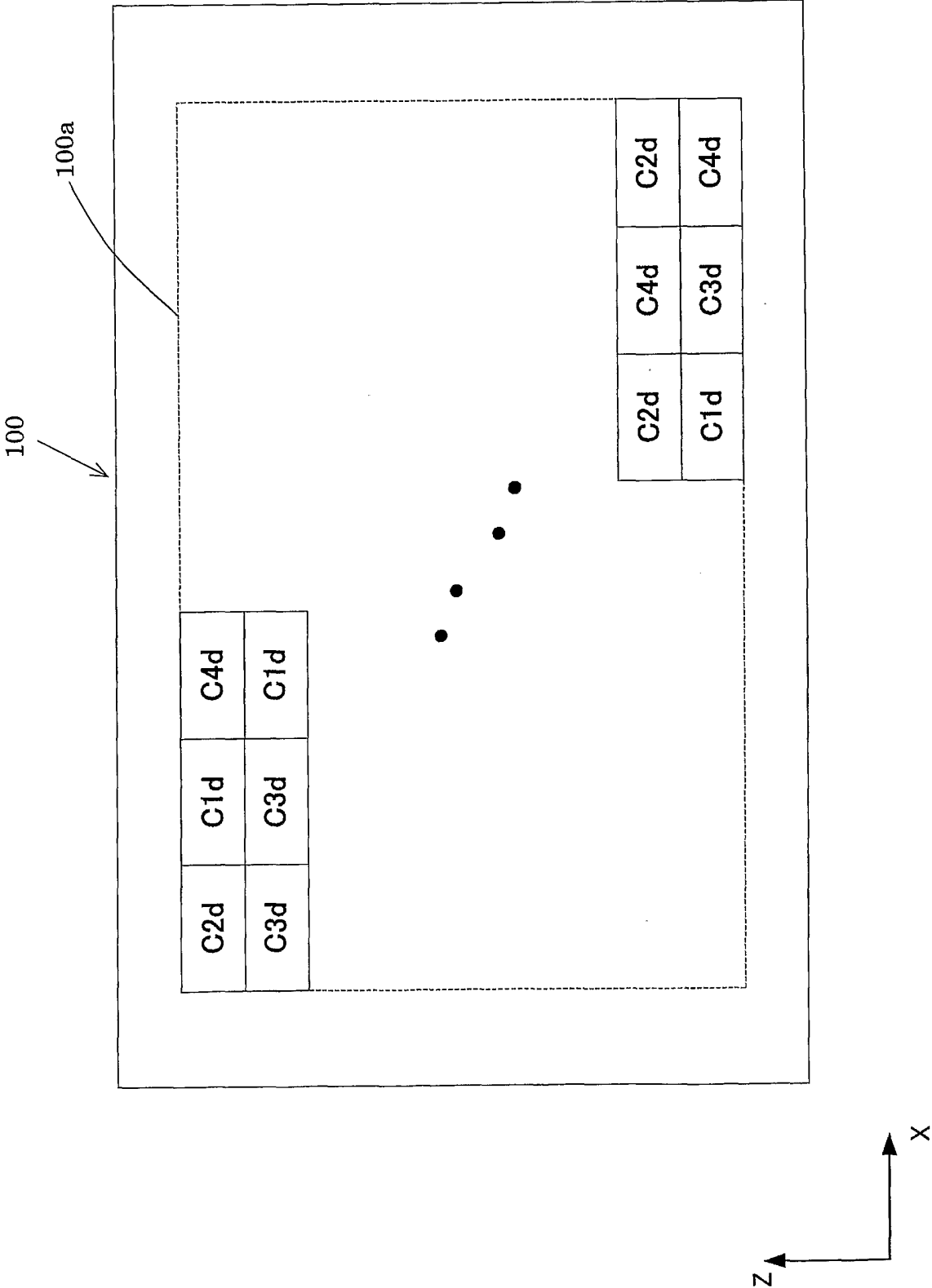
3 6 / 5 1
第 3 6 図



3 7 / 5 1
第 3 7 図

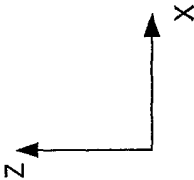
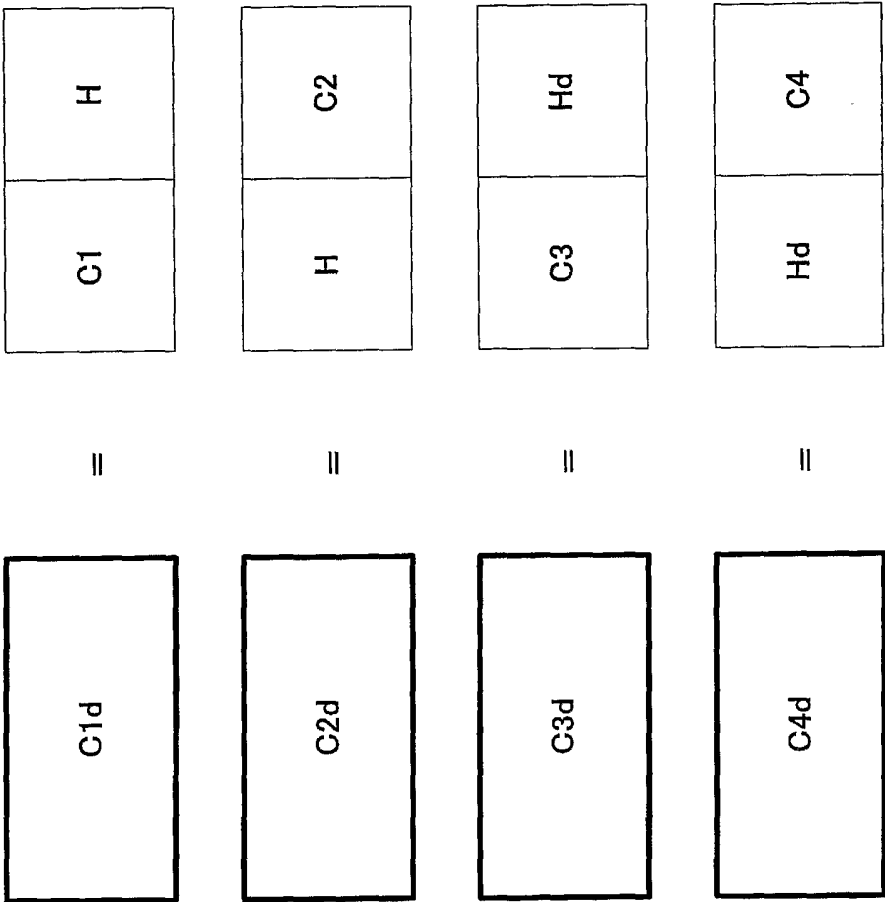


第 3 8 図

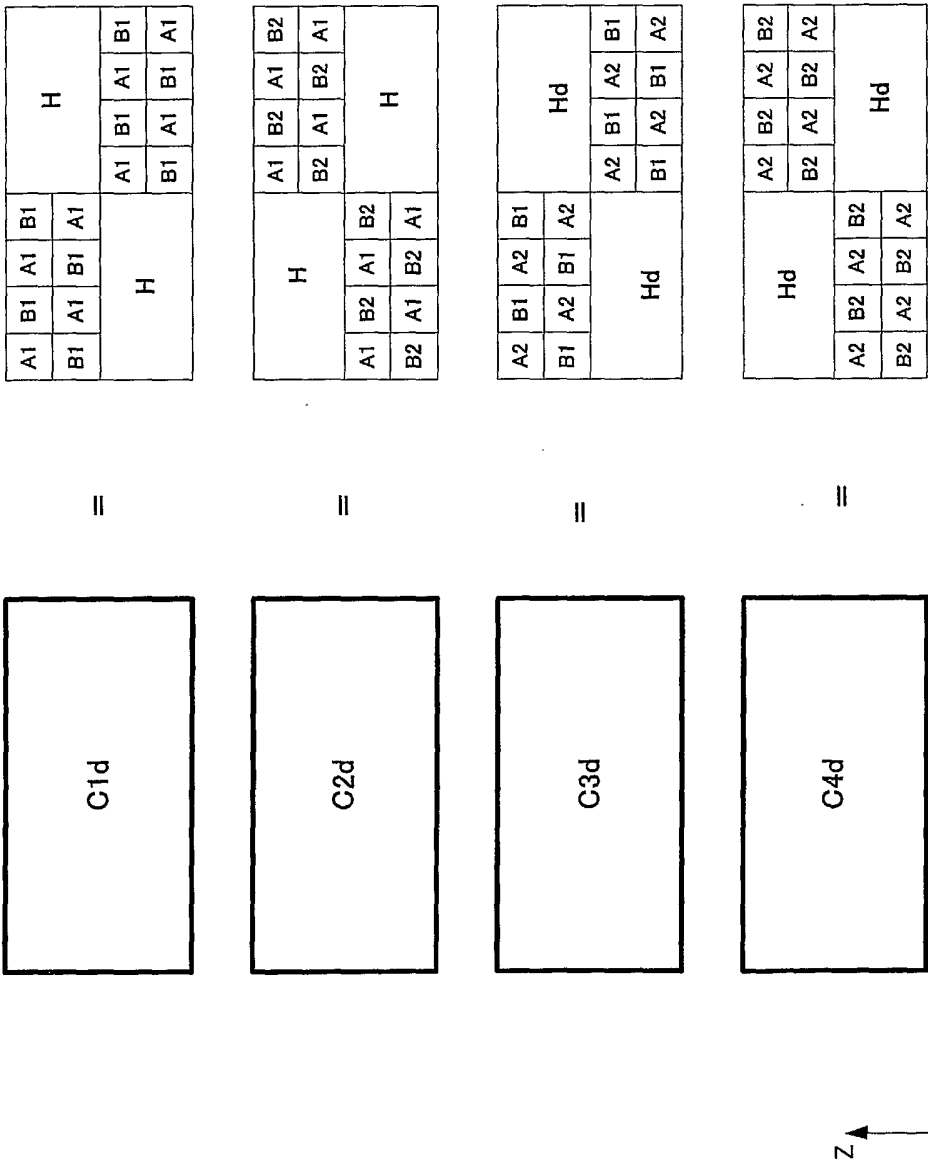


3 9 / 5 1

第 3 9 図

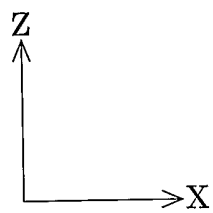
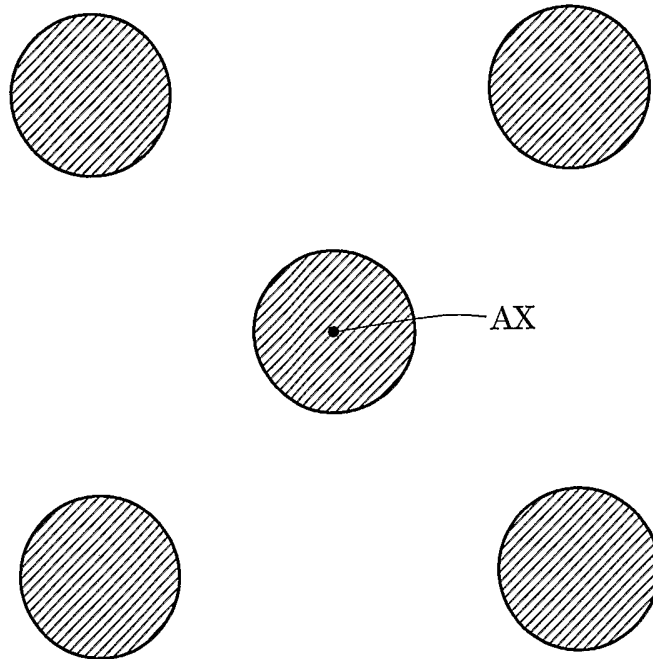


第 4 0 図



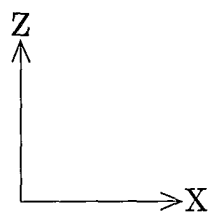
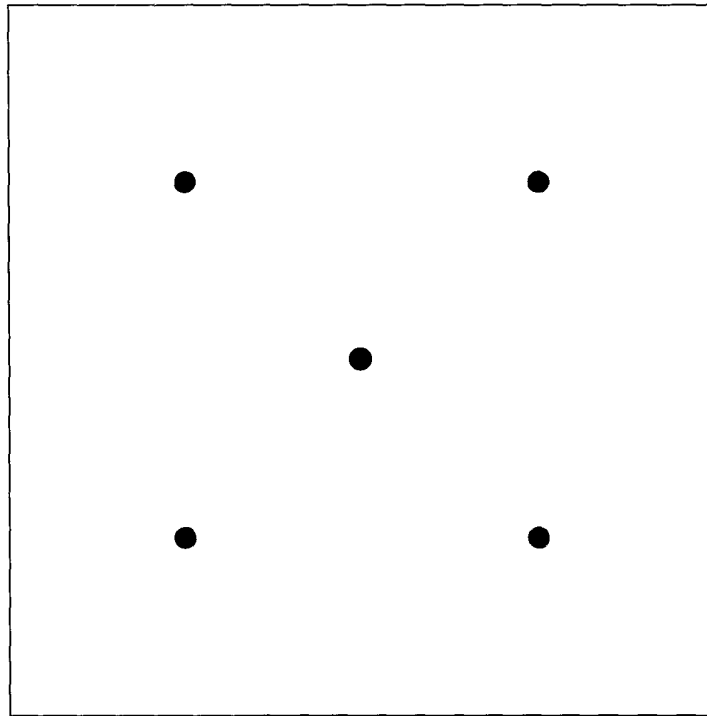
4 1 / 5 1

第 4 1 図



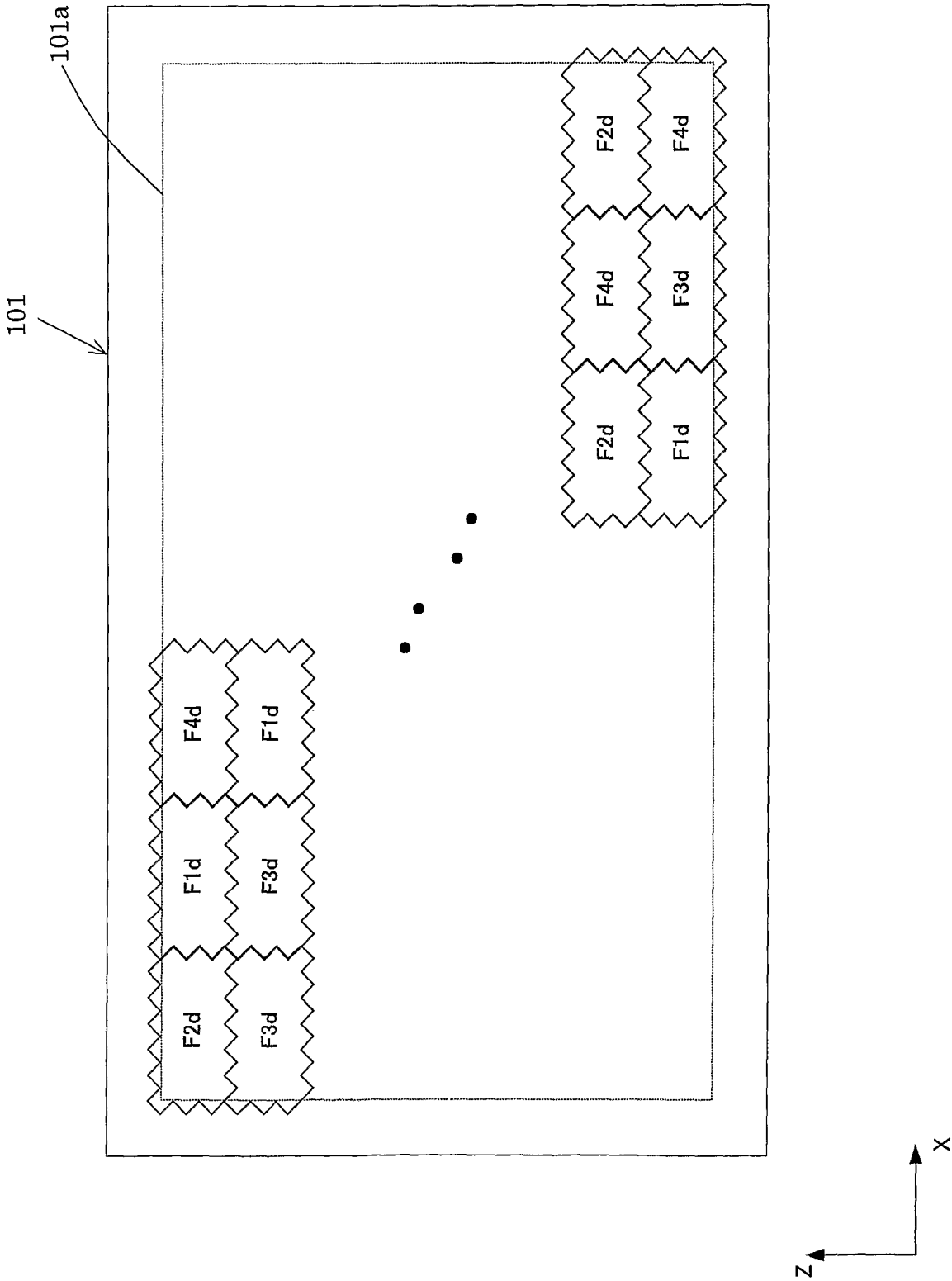
4 2 / 5 1

第 4 2 図



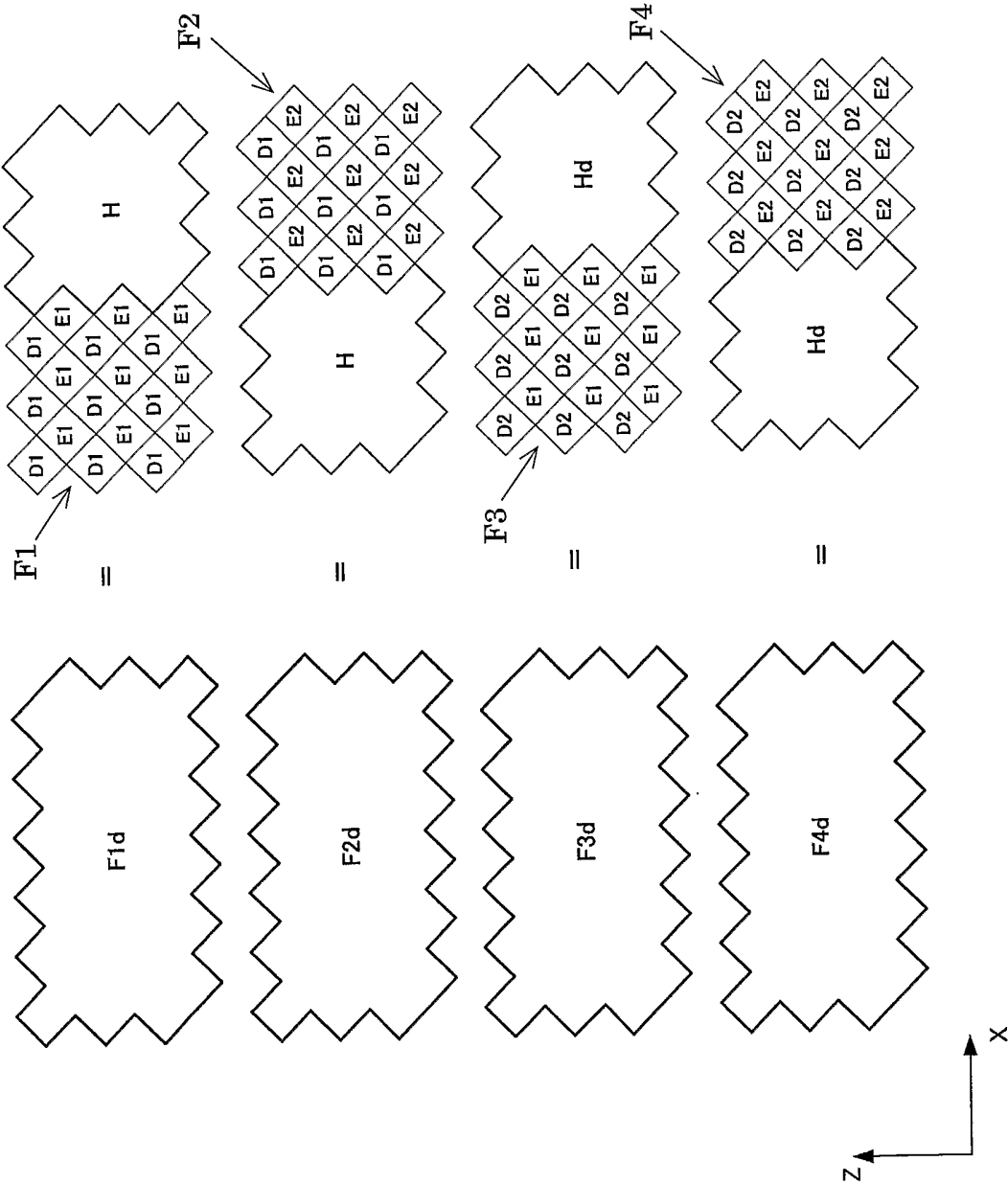
4 3 / 5 1

第 4 3 図



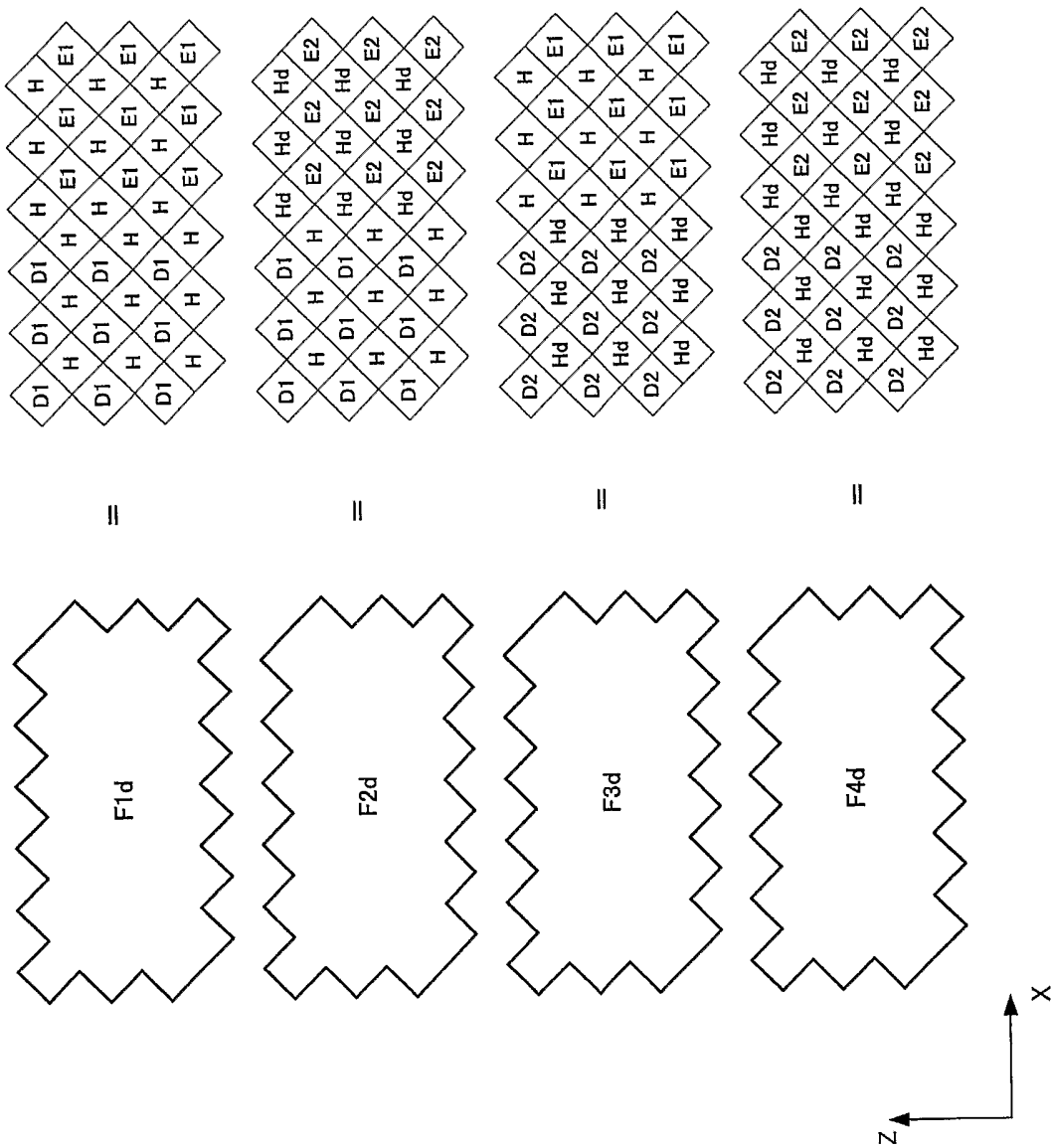
4 4 / 5 1

第 4 4 図



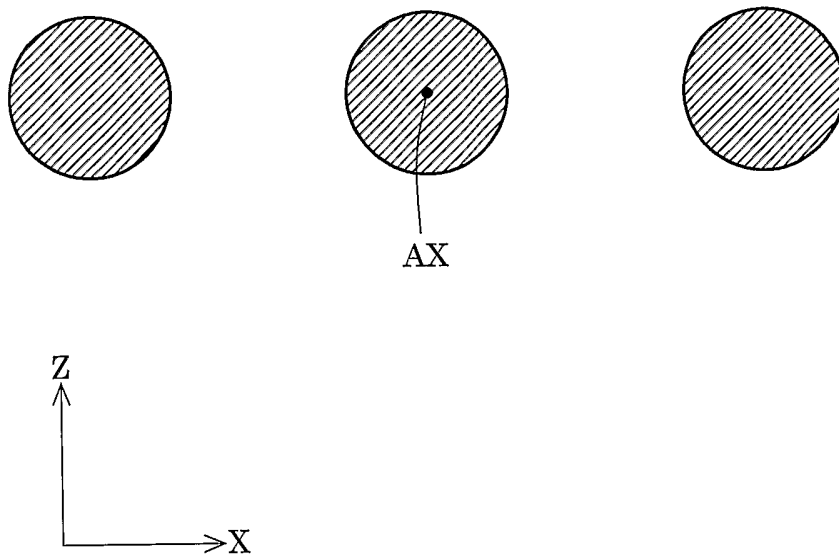
4 5 / 5 1

第 4 5 図



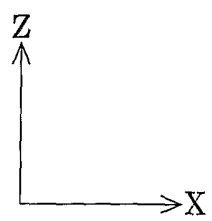
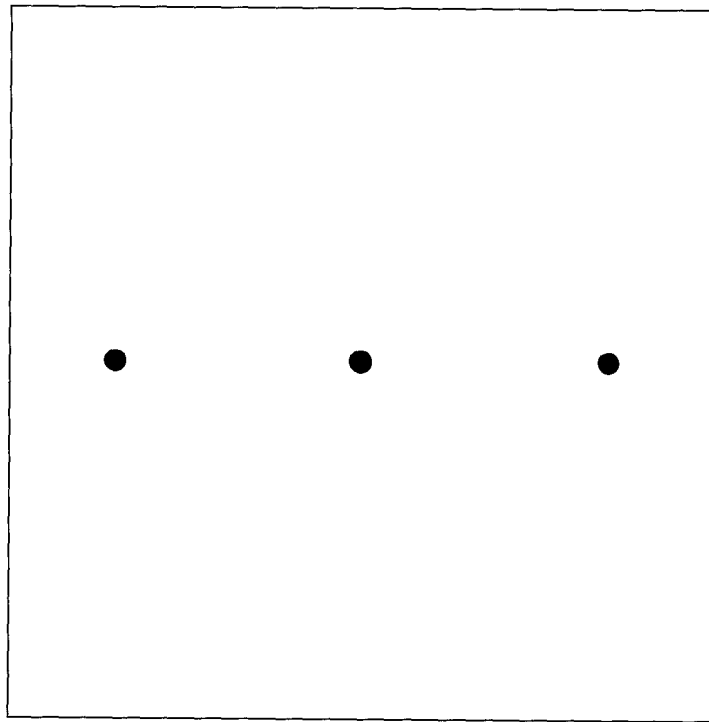
4 6 / 5 1

第 4 6 図

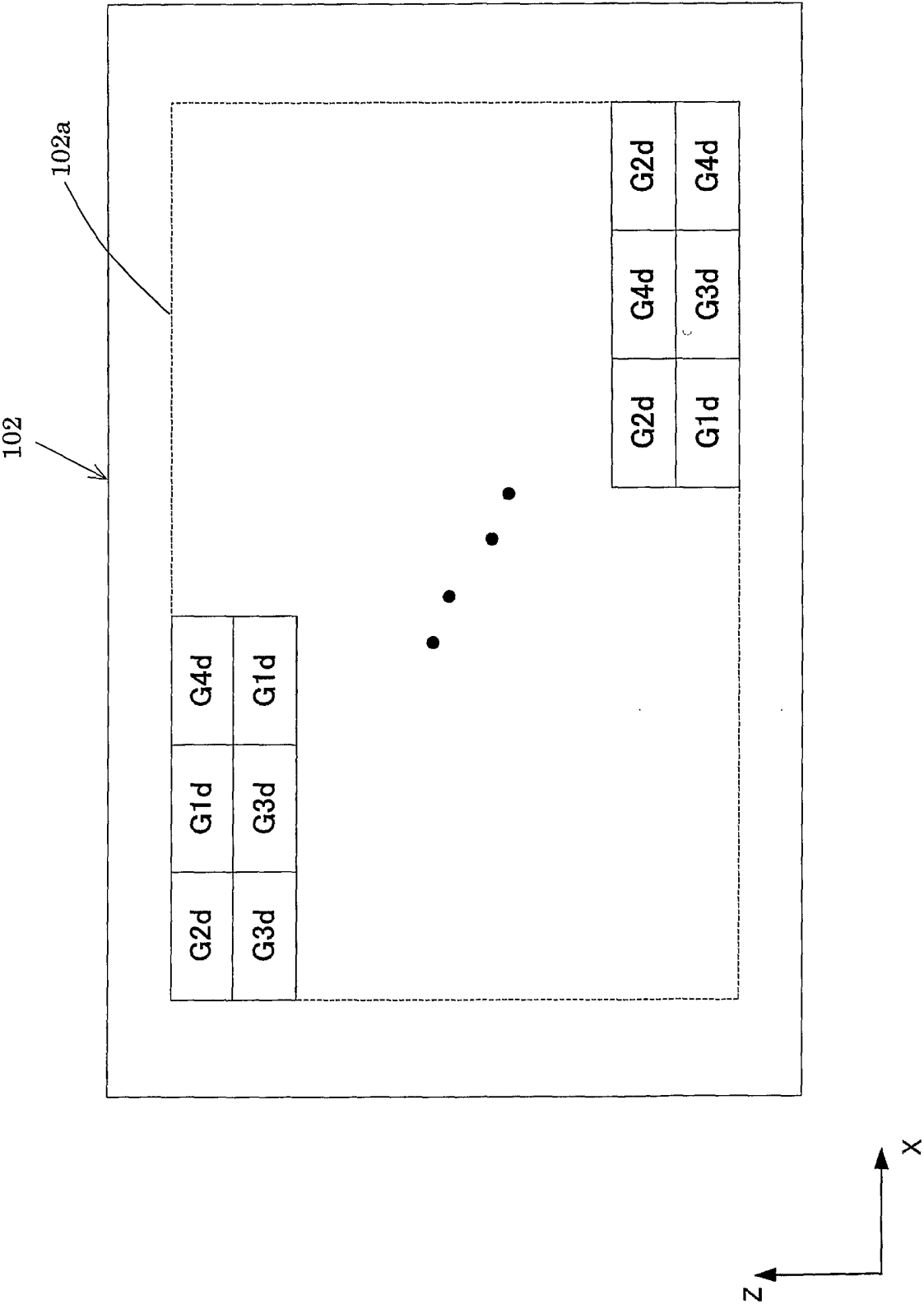


4 7 / 5 1

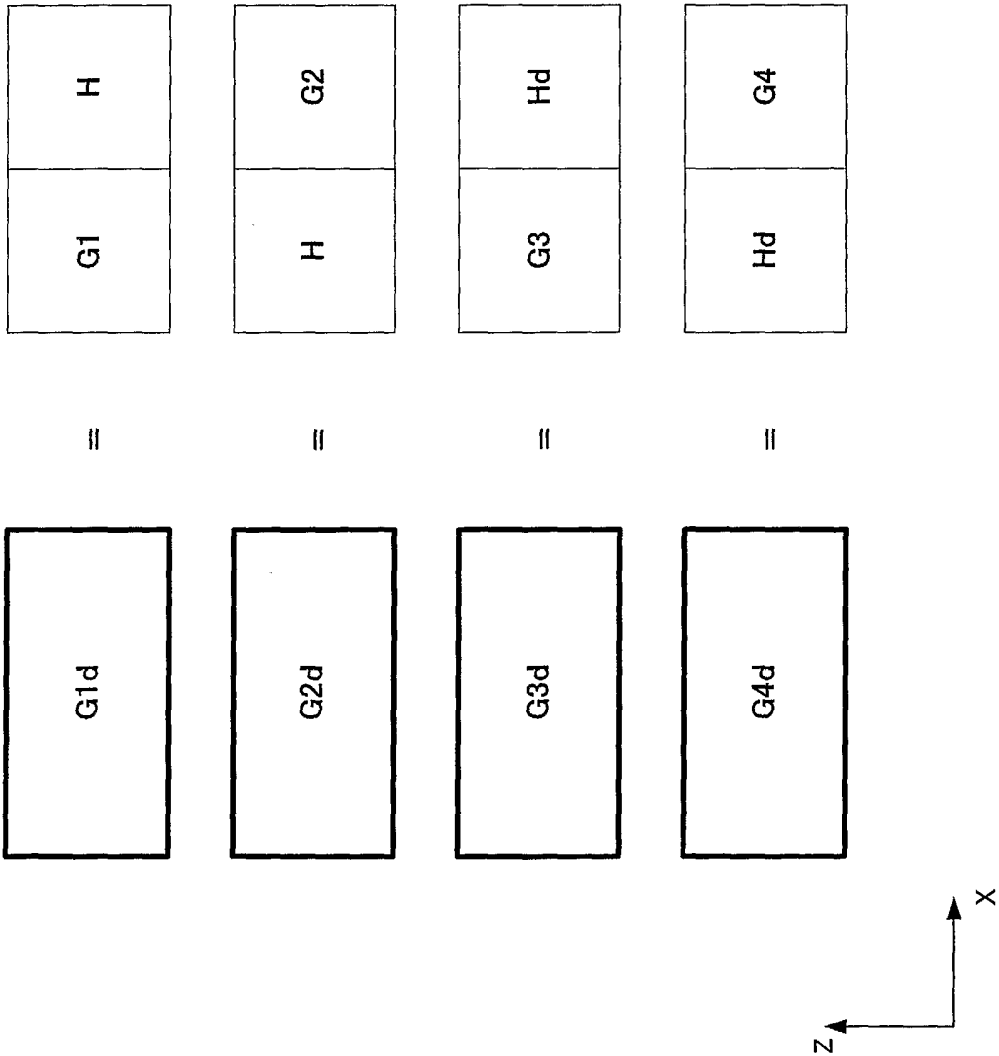
第 4 7 図



第 4 8 図

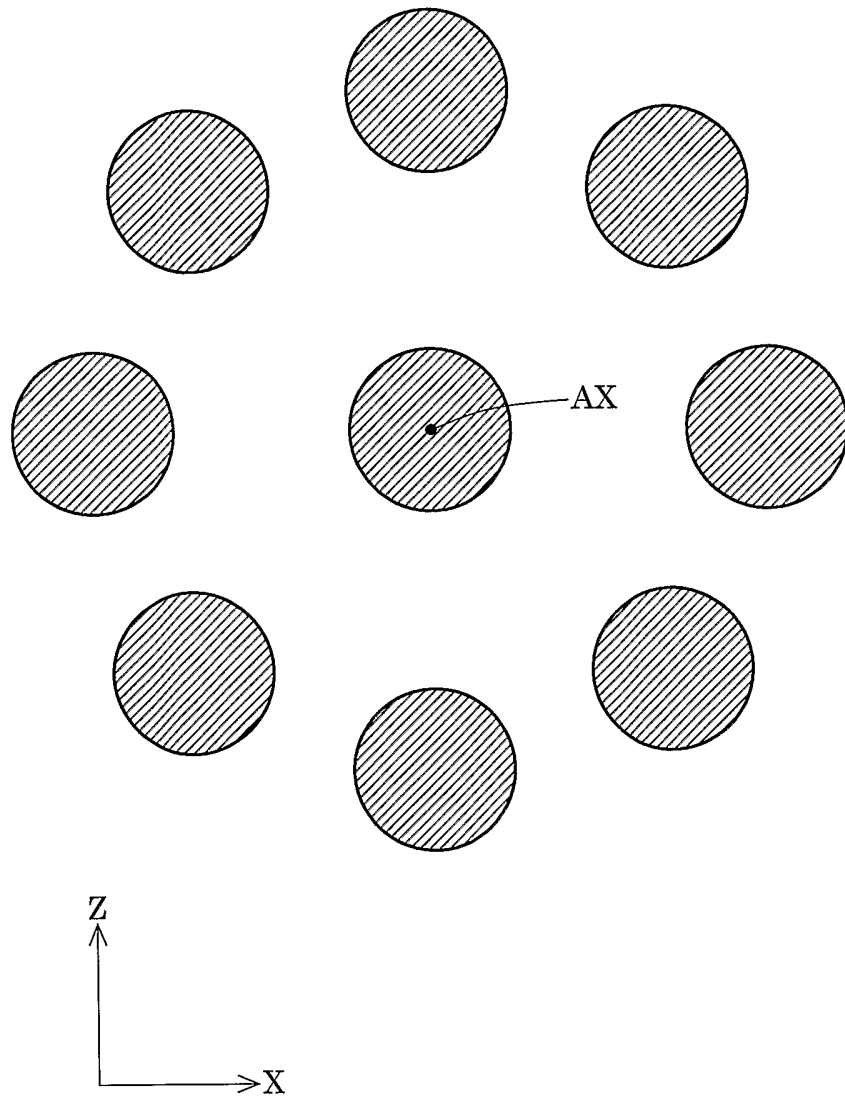


第 4 9 図



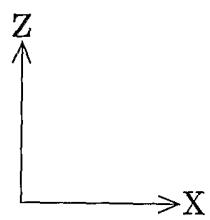
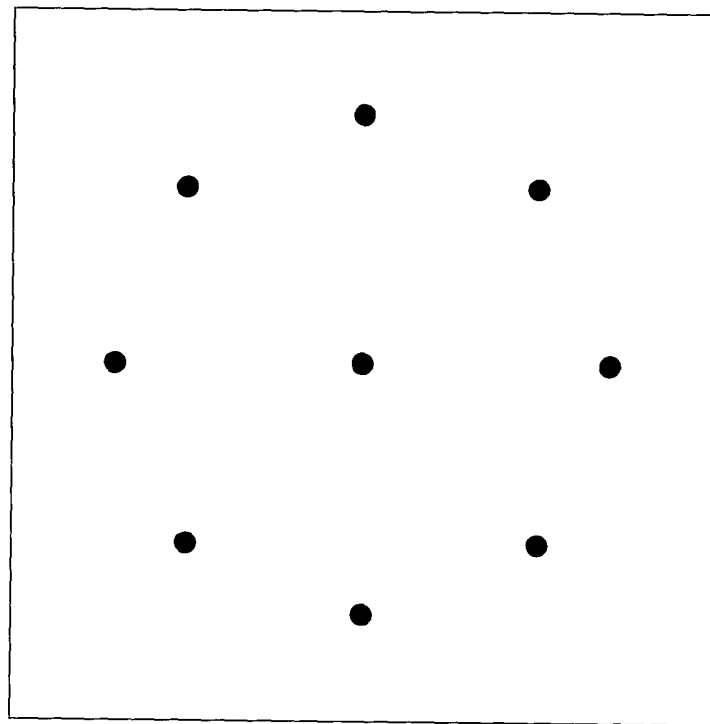
50 / 51

第50図



5 1 / 5 1

第 5 1 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09352

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G02B5/18, H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G02B5/18, H01L21/027, G03F7/20

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 10-70070 A (Canon Inc.),	1-3
Y	10 March, 1998 (10.03.98), Full text (Family: none)	6-20, 21-23, 25-40, 43-50, 52-67
Y	US 2002/0080491 A1 (Akihiro GOTO), 27 June, 2002 (27.06.02), Full text & JP 2001-174615 A	6-23, 25-40, 43-50, 52-67
A	EP 1014196 A2 (NIKON CORP.), 28 June, 2000 (28.06.00), Full text & JP 2000-182933 A	1-67

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11 September, 2003 (11.09.03)

Date of mailing of the international search report
14 October, 2003 (14.10.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B5/18, H01L21/027, G03F7/20

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. Cl⁷ G02B5/18, H01L21/027, G03F7/20

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 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003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 請求の範囲の番号
X Y	JP 10-70070 A (キャノン株式会社) 1998. 03. 10, 全文 (ファミリーなし)	1-3 6-20, 21-23, 25-40, 43-50, 52-67
Y	US 2002/008049.1 A1 (AKIHIRO GOTO) 2002. 06. 27, 全文 & JP 2001-174615 A	6-23, 25-40, 43-50, 52-67

☒ 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。

* 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

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

国際調査を完了した日

11. 09. 03

国際調査報告の発送日

14.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 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)

山村 浩

2V

9219

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 請求の範囲の番号
A	EP 1014196 A2 (NIKON CORPORATION) 2000.06.28, 全文 & JP 2000-182933 A	1-67