

(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

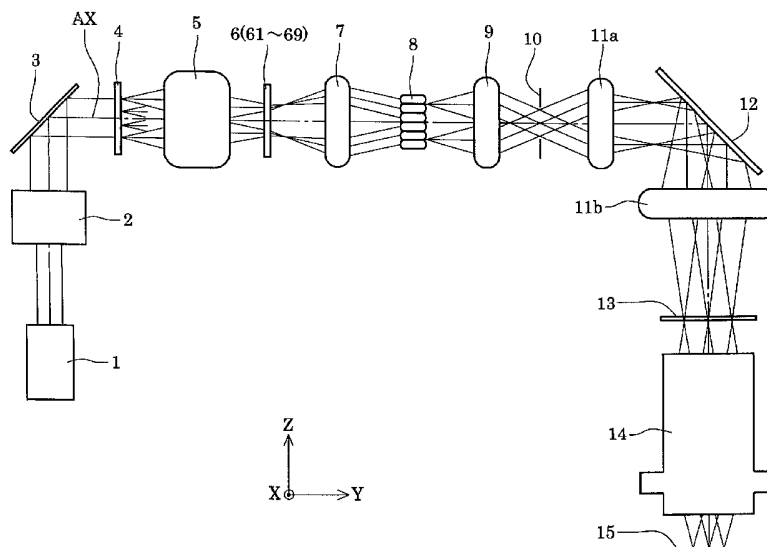
(10) 国際公開番号
WO 2004/011968 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 5/18, 3/00, 3/08, H01L 21/027, G03F 7/20
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/009353
- (22) 国際出願日: 2003 年 7 月 23 日 (23.07.2003)
- (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2002-218094 2002 年 7 月 26 日 (26.07.2002) JP
- (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).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 後藤 明弘 (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 (JP).
- (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).
- (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, 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,

/ 続葉有 /

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

(54) 発明の名称: 回折光学素子、屈折光学素子、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 various good multi-pole illuminations with a restricted loss in light quantity by using a diffractive optics for forming a substantially uniform multi-pole-form illumination distribution on an illumination pupil plane. An illumination optical system for illuminating surfaces to be illuminated (13, 15). Diffractive optics (6 (61-69)) are provided for converting an incident light flux into a light flux having a specified sectional shape in order to form a secondary light source having a multi-pole-form light intensity distribution on an illumination pupil plane. Diffractive optics (6) have patterns obtained by densely arranging patterns picked up from virtual, ring-like diffractive optic patterns in conformity with a specified azimuth angle range.

(57) 要約: 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。複数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、入射光束を所定

/ 続葉有 /



TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU,
ZA, ZM, ZW.

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

(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),

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。

の断面形状の光束に変換するための回折光学素子6(61~69)を備えている。回折光学素子6は、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方角範囲に対応して取り出され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。

- 1 -

明 細 書

回折光学素子、屈折光学素子、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、屈折光学素子、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

- 2 -

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 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 極状に制限して変形照明（輪帯照明や 4 極照明）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。

この不都合を解消するために、本出願人は、たとえば特開 2000-182933 号公報において、光量損失を実質的に発生させることなく輪帯状や 4 極状などの各種の照明分布を発生させる技術を提案している。しかしながら、この公報では、第 8 図および第 9 図を参照して輪帯状や 4 極状の光強度分布を発生させる回折光学素子について言及しているが、その具体的な構成についての詳細な説明が十分に開示されていない。

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各種の複数極状の照度分布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、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各種の複数極状の照度分布を形成することのできる屈折光学素子を提供することを目的とする。

さらに、本発明は、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または屈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、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲に対応して取り出され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、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲に対応して取り出され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と、実質的に偏向作用のない単純透過部とを有する基本回折光学素子を備えていることを特徴とする回折光学素子を提供する。

第1発明および第2発明の好ましい態様によれば、前記所定の方位角範囲の中心は、前記仮想的なリング状回折光学素子パターンの中心と一致している。また、前記仮想的なリング状回折光学素子パターンは、2値型の回折光学素子パターン、ブレイズ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が好ましい。さらに、前記回折光学素子は、前記基本回折光学素子を複数個備えていることが好ましい。

また、第1発明および第2発明の好ましい態様によれば、前記回折光学素子は、 n 種類（ n は1以上の整数）の補完回折光学素子を備え、第 i 補完回折光学素子（ $i = 1 \sim n$ ）は、前記基本回折光学素子が発生する光振幅に対して i 番目の位相差を持った光振幅を発生するパターンを有する。この場合、前記回折光学素子は、複数の補完回折光学素子を備え、前記 i 番目の位相差はほぼ等間隔で変化していることが好ましい。また、この場合、前記基本回折光学素子と前記第 i 補完回折光学素子との前記 i 番目の位相差は、ほぼ $i / (n + 1)$ 波長であることが好ましい。

さらに、第1発明および第2発明の好ましい態様によれば、前記回折光学素子

は、複数の前記基本回折光学素子と、複数の前記第 i 補完回折光学素子とを備えている。この場合、前記複数の基本回折光学素子と前記複数の第 i 補完回折光学素子とはすべての i についてほぼ同数であることが好ましい。また、前記複数の基本回折光学素子と前記複数の第 i 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が好ましい。あるいは、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第 i 補完回折光学素子とがランダム配列されていることが好ましい。この場合、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第 i 補完回折光学素子とはすべての i についてほぼ同数であることが好ましい。また、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が好ましい。

また、第 1 発明および第 2 発明の好ましい態様によれば、前記基本回折光学素子は、前記仮想的なリング状回折光学素子パターンから第 1 の方位角範囲に対応して取り出され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第 1 方位基本回折光学素子と、前記第 1 の方位角範囲とは異なる第 2 の方位角範囲に対応して前記仮想的なリング状回折光学素子パターンから取り出され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第 2 方位基本回折光学素子とを有する。この場合、前記第 1 方位基本回折光学素子が発生する光振幅に対して i 番目の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 方位第 i 補完回折光学素子と、前記第 2 方位基本回折光学素子が発生する光振幅に対して j 番目 ($j = 1 \sim m$) の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 方位第 j 補完回折光学素子とを有することが好ましい。また、前記回折光学素子および前記補完回折光学素子は矩形形状の外形を有することが好ましい。

本発明の第 3 発明では、仮想的な回転対称屈折面から所定の方位角範囲に対応して取り出された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てい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 4 発明では、仮想的な回転対称屈折面から所定の方位角範囲に対応

して取り出された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と、実質的に偏向作用のない単純透過部とを有する基本屈折素子を備えていることを特徴とする屈折光学素子を提供する。

第3発明および第4発明の好ましい態様によれば、前記所定の方位角範囲の中心は、前記仮想的な回転対称屈折面の中心と一致している。また、前記屈折光学素子は、前記基本屈折素子を複数個備えていることが好ましい。さらに、前記基本屈折素子は、前記仮想的な回転対称屈折面から第1の方位角範囲に対応して取り出された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第1方位基本屈折素子と、前記第1の方位角範囲とは異なる第2の方位角範囲に対応して前記仮想的な回転対称屈折面から取り出された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第2方位基本屈折素子とを有することが好ましい。また、前記基本屈折素子はともに矩形形状の外形を有することが好ましい。

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、

複数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、入射光束を所定の断面形状の光束に変換するための第1発明または第2発明の回折光学素子または第3発明または第4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。

第5発明の好ましい態様によれば、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前記回折光学素子または前記屈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前記被照射面へ導くための導光光学系とを備えている。この場合、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

学素子または前記屈折光学素子は、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または基本屈折素子が複数個含まれるように位置決めされていることが好ましい。

また、第5発明の好ましい態様によれば、前記回折光学素子または前記屈折光学素子は、第1の複数極状の二次光源を形成するための第1回折光学素子または第1屈折光学素子と、前記第1の複数極状の二次光源とは異なる第2の複数極状の二次光源を形成するための第2回折光学素子または第2屈折光学素子とを有する。さらに、前記複数極状の二次光源は、2極状の二次光源、4極状の二次光源、または8極状の二次光源であることが好ましい。

本発明の第6発明では、第5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7発明では、第5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3図は、第1実施形態において2極状の照野および2極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。

第4A図は、発散光束形成素子としての回折光学素子により第1変倍光学系の瞳面に形成される円形状の光束を示す図である。

第4B図は、発散光束形成素子としてのマイクロレンズアレイにより第1変倍光学系の瞳面に形成される正六角形状の光束を示す図である。

第5図は、第1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 6 図は、第 1 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の構成を概略的に示す図である。

第 7 図は、第 1 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補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。

第 8 図は、第 1 実施形態において基本回折光学素子を構成するために、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲を取り出す様子を示す図である。

第 9 図は、第 8 図の線 L 1 に沿った断面図である。

第 10 図は、第 8 図のリング状回折光学素子パターンから取り出された部分パターンを示す図である。

第 11 図は、第 10 図の部分パターンを稠密に配列して基本回折光学素子を構成する規則を示す図である。

第 12 図は、第 1 実施形態において補完回折光学素子を構成するために、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲を取り出す様子を示す図である。

第 13 図は、第 12 図の線 L 1 に沿った断面図である。

第 14 図は、基本回折光学素子と補完回折光学素子とのランダム配置を説明する図である。

第 15 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 2 極状の照野を示す図である。

第 16 図は、第 2 実施形態において X 方向に沿った 2 極状の照野および 2 極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。

第 17 図は、第 2 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 18 図は、第 2 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の構成を概略的に示す図である。

第 19 図は、第 2 実施形態において部分パターンを稠密に配列して基本回折光

学素子を構成する規則を示す図である。

第20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4極状の照野を示す図である。

第21図は、第3実施形態において十字型の4極状の照野および4極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。

第22図は、第3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23図は、第3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説明する図である。

第24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X型4極状の照野を示す図である。

第25図は、第4実施形態においてX型の4極状の照野および4極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。

第26図は、第4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27図は、第4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説明する図である。

第28図は、第4実施形態の基本回折光学素子を構成する2つの補助素子の構成を説明する図である。

第29図は、第4実施形態の第1変形例における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の構成を説明する図である。

第30図は、第4実施形態の第1変形例における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31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8極状の照野を示す図である。

第32図は、第5実施形態において8極状の照野および8極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。

第33図は、第5実施形態における8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 4 図は、第 1 実施形態の第 1 変形例において部分パターンを稠密に配列して基本回折光学素子を構成する規則を示す図である。

第 3 5 図は、第 1 実施形態の第 1 変形例における 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 3 6 図は、第 1 実施形態の第 2 変形例における 2 極照明用の回折光学素子に含まれる第 1 補完回折光学素子の構成を示す図である。

第 3 7 図は、第 1 実施形態の第 2 変形例における 2 極照明用の回折光学素子に含まれる第 3 補完回折光学素子の構成を示す図である。

第 3 8 図は、第 1 実施形態の第 2 変形例における 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 3 9 図は、第 1 実施形態の第 2 変形例における各素子のランダム配置を説明する図である。

第 4 0 図は、第 3 実施形態の第 1 変形例における 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 4 1 図は、第 4 実施形態の第 2 変形例における 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 4 2 図は、基本回折光学素子および補完回折光学素子において隣接する部分パターンとの間で位相変化が起るようなパターンの例を示す図である。

第 4 3 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 4 4 図は、第 4 3 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 4 5 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 4 6 A 図は、ブレード型の回折光学素子とその回転中心を含む断面で切断した断面図である。

第 4 6 B 図は、多値型の回折光学素子とその回転中心を含む断面で切断した断

面図である。

第46C図は、2値型の回折光学素子とその回転中心を含む断面で切断した断面図である。

第47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48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49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3極状の照野を示す図である。

第50図は、第6実施形態においてZ方向に沿った3極状の照野および3極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。

第51図は、第6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52図は、第6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53図は、第6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基本回折光学素子および補完回折光学素子の変形例を概略的に示す図である。

第54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5極状の照野を示す図である。

第55図は、第7実施形態において5極状の照野および5極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。

第56図は、第7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57図は、第7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58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5極状の照野を示す図である。

第59図は、第8実施形態において5極状の照野および5極状の二次光源が形

成される原理を説明する図である。

第 6 0 図は、第 8 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 6 1 図は、第 8 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 6 2 図は、本発明に利用可能な仮想的なリング状回折光学素子パターンの一例として、リング間隔が非等間隔でパワーを有する回折光学素子パターンを概略的に示す図である。

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、193 nm の波長の光を供給する ArF エキシマレーザー光源（または 248 nm 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

折してファーフ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（アフォーカルズームレンズ：結像型ズームレンズ）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、第 1 変倍光学系 5 から射出されて、複数極照明用の回折光学素子 6 に入射する。第 1 変倍光学系 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 とを光学的には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 と第 1 変倍光学系 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 を中心とした部分円弧状の光束をファーフ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（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、第 2 変倍光学系 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はほぼ共役に結んでいる。換言すると、第 2 変倍光学系 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、第 2 変倍光学系 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 自身による部分円弧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 と第 2 変倍光学系 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 $1/2$)は第1変倍光学系5の倍率に依存して変化し、その全体的な大きさは第2変倍光学系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。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 を重畳的に照明する。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 を重畳的に照明する。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 AX と直交する平面（XY 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 ~ 69 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、正六角形とリング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。また、第 3 図は、第 1 実施形態において 2 極状の照野および 2 極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第 4 A 図は発散光束形成素子としての回折光学素子により第 1 変倍光学系の瞳面に形成される円形状の光束を、第 4 B 図は発散光束形成素子としてのマイクロレンズアレイにより第 1 変倍光学系の瞳面に形成される正六角形状の光束を示す図である。

また、第 5 図は、第 1 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 6 図は、第 1 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の構成を概略的に示す図である。また、第 7 図は、第 1 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補完回折光学素子の構成を概略的に示す図である。

第 5 図に示すように、第 1 実施形態における 2 極照明用の回折光学素子 6 1 は、縦横に且つ稠密に配列された多数の基本回折光学素子 A 9 0 と補完回折光学素子 A 9 0 d とで構成されている。基本回折光学素子 A 9 0 および補完回折光学素子 A 9 0 d 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。また、基本回折光学素子 A 9 0 と補完回折光学素子 A 9 0 d とは同数であり、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。

なお、基本回折光学素子 A 9 0 および補完回折光学素子 A 9 0 d は、第 6 図および第 7 図に示すような 2 値型の回折光学素子パターンを有する。ここで、2 値型の回折光学素子パターンとは、例えば合成石英等の透明基板上にエッチング等

の加工技術によって凸面と凹面とを繰り返しパタニングすることにより構成される位相型回折光学素子パターン等であり、図中において斜線部が凸面を、非斜線部（空白部）が凹面をそれぞれ示している。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、第 18 図においても同様である。これに関連して、第 36 図、第 37 図および第 42 図では、黒色部が凸面を示し且つ空白部が凹面を示している。以下、基本回折光学素子 A90 の構成について説明する。

第 8 図は、第 1 実施形態において基本回折光学素子を構成するために、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲を取り出す様子を示す図である。また、第 9 図は、第 8 図の線 L1 に沿った断面図である。さらに、第 10 図は、第 8 図のリング状回折光学素子パターンから取り出された部分パターンを示す図である。また、第 11 図は、第 10 図の部分パターンを稠密に配列して基本回折光学素子を構成する規則を示す図である。

基本回折光学素子 A90 は、第 8 図に示すような仮想的な 2 値型のリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲を取り出して稠密に再配列することによって構成されている。まず、基本回折光学素子 A90 の具体的な構成の説明に先立って、第 8 図に示すリング状回折光学素子 A の構成および作用について説明する。リング状回折光学素子 A は、第 9 図に示すように、点 O を中心とする半径 r_1 の（円形）領域 1 と半径 r_i および r_{i-1} で囲まれる（輪帯）領域 i ($i = 2, 3 \dots$) とから構成される。

ここで、円形領域 1 の直径および輪帯領域 i の幅 $r_i - r_{i-1}$ は全て W に等しい。つまり、リング状回折光学素子 A の点 O を通る任意の直線に沿った断面図において、深さ d 、ピッチ P ($= 2W$)、線幅 W は均一である。リング状回折光学素子 A では、第 9 図に示すように、中心 O から順番につけた領域の指標 i ($i = 1, 2, 3 \dots$) が偶数の領域が凹面となるよう構成され、奇数の領域が凸面となるよう構成されている。

ところで、リング状回折光学素子 A 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。

- 17 -

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

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（61～69）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を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。

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2値型のリング状回折光学素子Aを設置し、このリング状回折光学素子Aに平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ8の入射面では、第3図において破線 c で示すような円周状の光強度分布が得られる。ここで、円周状の光強度分布 c の光軸O（光軸AXとリング状回折光学素子Aの中心とを一致させている）からの距離 r_c は、リング状回折光学素子Aの半径方向の回折角を θ とし、第2変倍光学系7の焦点距離を f_L とすると、次の式（2）で表される。なお、回折の理論より、式（2）中の $\sin \theta$ は、次の式（3）で表される。

$$r_c = f_L \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$\sin \theta = \lambda / P \quad (3)$$

以上のように、複数極照明用の回折光学素子6の位置に単純な2値型リング状回折光学素子Aを設置し且つ平行光束を入射させると、マイクロレンズアレイ8の入射面には円周状の照明分布が形成される。第1実施形態では、リング状回折光学素子Aから所定の方位角成分のみを抜き出して稠密に再配列することにより、円周状の照明分布から所定の方位角成分のみを抜き出して得られる第3図に示すような2円弧状の照明分布IL1__90を形成するための回折光学素子61を実現する。

第3図を参照すると、照明分布IL1__90は円弧 c_1c_2 と円弧 c_3c_4 とから構成され、この一対の円弧は光軸Oを通る直線 L_1 と L_2 とで囲まれた方位角範囲 $\Delta \phi$ で規定されている。ここで、直線 L_2 はX軸に対して回転角度 ϕ すなわち方位角 ϕ を有し、直線 L_1 はX軸に対して回転角度 $(\phi + \Delta \phi)$ すなわち方

位角 ($\phi + \Delta\phi$) を有する。そして、たとえば $\phi + \Delta\phi / 2 = 90$ 度に設定されている。なお、第3図における直線L1, L2、方位角範囲 $\Delta\phi$ および方位角 ϕ は、第2図および第8図における直線L1, L2、方位角範囲 $\Delta\phi$ および方位角 ϕ と対応している。

このように第3図と第8図とを対比すると、第3図における照明分布 $IL1_90$ は、第8図のリング状回折光学素子Aのうち、直線L1とL2とで囲まれた方位角範囲 $\Delta\phi$ の部分によって形成されることが理解される。したがって、リング状回折光学素子Aのうち、方位角範囲 $\Delta\phi$ の必要部分のみを抜き出して稠密に再配列することによって、光エネルギーの損失を良好に抑えつつ所定の照明分布 $IL1_90$ を得ることができる。

具体的には、第8図において、直線L1およびL2に加えて図中水平な直線L3およびL4を設定する。そして、第8図および第10図を参照して理解されるように、直線L1およびL2と直線L3との交点P1およびP2と、直線L1およびL2と直線L4との交点P3およびP4とで囲まれた範囲に対応する部分パターンF1を得る。また、第10図に示すように、パターンF1を光軸Oに関してZ方向に反転したパターンF2を得る。さらに、パターンF1を直線M1M2によって2等分したパターンF11とF12とをそれぞれ得る。

こうして、第6図に示す基本回折光学素子A90は、第10図に示す4つのパターンF1, F2, F11, F12を、第11図に示す配列規則にしたがって稠密に配列して得られる。そして、上述したように、回折光学素子6の位置に基本回折光学素子A90を設置し且つ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2円弧状の照明分布 $IL1_90$ が形成される。

なお、第8図において点P1、P2、P3、P4の設定により部分パターンF1を抜き出す操作では、部分パターンF1とその反転パターンF2とを稠密配列するときにリング状回折光学素子パターンの凸面と凹面とが同位相で接合されるように、直線L3およびL4の設定について配慮している。すなわち、第8図の直線L2上で半径が増大する方向に沿って説明すると、直線L4とL2との交点である点P3はリング状回折光学素子パターンにおいて凸面が開始する位置に設

定されている。また、直線L 3とL 2との交点である点P 2は、リング状回折光学素子パターンにおいて凸面が終了する位置に設定されている。対称性により、直線L 1とL 3との交点P 1は点P 2の設定と同様であり、直線L 1とL 4との交点P 4は点P 3の設定と同様である。

上述のように直線L 3およびL 4を設定することにより、切断された部分パターンF 1、F 2、F 1 1、F 1 2を滑らかに（凸面と凹面とを同位相に）接続することができ、第6図に示すように最終的に接合部分の目立たない基本回折光学素子A 90を構成することが可能になる。この部分パターンの滑らかな接続によって、製造時に発生する誤差を極力抑えることが可能になり、散乱ロスやフレアの少ない好適な照明を行うことが可能になる。

なお、上述した部分パターンの接合方法は一例であり、点P 3およびP 4は必ずしも凸面の開始位置でなくてもよいし、点P 1およびP 2は必ずしも凸面の終了位置でなくてもよい。また、部分パターンF 1、F 2等を滑らかに接合して最終的な基本回折光学素子A 90を得るような点P 1～P 4の設定方法は他にも可能である。さらに、それぞれ1個の部分パターンF 1、F 1 1およびF 1 2と、2個の部分パターンF 2とを用いて基本回折光学素子A 90を構成する例について説明したが、これよりも多い数の部分パターンF 1、F 2、F 1 1、F 1 2を用いた稠密配列により基本回折光学素子A 90を構成することも可能である。

また、部分パターンの抜出しの方法すなわち切断の方法は、上述した部分パターンF 1、F 2、F 1 1、F 1 2に限定されることなく、所定の方位角成分を有してさえいれば、他の切断方法にしたがってさらにコンパクトな基本回折光学素子A 90を構成することも可能である。ここで、2値型のリング状回折光学素子Aは回折光が原点Oに関して対称的に発生する特性を有するため、所定の方位角成分の部分パターンを抜き出す際には、光軸対称な一对の要素（F 1、F 2）のうち一方の要素（たとえばF 1）だけを用いてコンパクト化することも可能である。

第12図は、第1実施形態において補完回折光学素子を構成するために、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲を取り出す様子を示す

図である。また、第13図は、第12図の線L1に沿った断面図である。さらに、第14図は、基本回折光学素子と補完回折光学素子とのランダム配置を説明する図である。

次に、補完回折光学素子A90dの構成について説明する。第7図に示す補完回折光学素子A90dは、第6図に示す基本回折光学素子A90の凸面と凹面とを反転させることによって構成することが可能である。このパタニングは、第8図に示す2値型リング状回折光学素子Aに代えて、第12図に示す2値型リング状回折光学素子Adを用いることによって可能となる。第9図と第13図とを参照すると、第12図に示す2値型リング状回折光学素子Adは、第8図に示す2値型リング状回折光学素子Aの位相を反転して得られることが理解される。

こうして、第12図に示す2値型リング状回折光学素子Adについて、基本回折光学素子A90のパタニングの場合と同様に直線L1～L4を設定し、部分パターンF1、F2、F11、F12を設定する。そして、第11図に示す規則にしたがって部分パターンを稠密再配列することによって、第7図に示す補完回折光学素子A90dを得ることができる。

なお、基本回折光学素子A90や補完回折光学素子A90dは、予めパタニングされたレチクル原版を用いてレジストの塗布されたガラス基板に露光し、ガラスエッチングすることによって製造可能である。その際、レチクルとしては、2値位相の凸面を遮光部分とし且つ凹面を透過部分とする明暗レチクルを用いることができる。また、露光プロセスによっては、2値位相の凸面を透過部分とし且つ凹面を遮光部分とする明暗レチクルを用いることもできる。

レチクル原版のパタニングに際しては、その用途に供するレチクルパタニングCADシステムを利用することが望ましい。その際、当該CADシステムがパターンの遮光部と透過部とを反転する機能を有する場合には、第12図に示す2値型リング状回折光学素子Adを仮想設定する必要はなく、第6図の基本回折光学素子A90のパターンに対応するレチクルパターンの遮光部と透過部とを反転させることによって、補完回折光学素子A90dのレチクルパターンを得ることができる。

上述したように、こうして形成された基本回折光学素子A 9 0と補完回折光学素子A 9 0 dとを同数だけランダム配置することによって、第5図に示すような2極照明用の回折光学素子6 1を製造することができる。実際には、第14図に示すように、(1, 0)の乱数列の0を基本回折光学素子A 9 0に対応させ且つ1を補完回折光学素子A 9 0 d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および1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基本回折光学素子A 9 0のパターンと補完回折光学素子A 9 0 dのパターンとが配列されたレチクルを製造し、そのレチクルを用いて素子パターンをガラス基板に焼き付けて現像し、dの深さにエッチングすることによって回折光学素子6 1を製造することができる。なお、回折光学素子6 1の両面には、ARコート（反射防止コート）を施すことが望ましい。

なお、具体的な数値例では、2値型リング状回折光学素子AおよびA dにおいて、たとえば幅 $W = 1.5 \mu\text{m}$ 、ピッチ $P = 3 \mu\text{m}$ 、方位角 $\phi = 80^\circ$ 、方位角範囲 $\Delta\phi = 20^\circ$ に設定することができる。また、直線L 3およびL 4については、ひいては点P 1, P 2, P 3, P 4の設定については、基本回折光学素子A 9 0および補完回折光学素子A 9 0 dが正形状の外形を有するように行うことができる。

第1実施形態では、基本回折光学素子A 9 0と補完回折光学素子A 9 0 dとが同数だけランダム配置された回折光学素子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3図に示すような2円弧状の照明分布(c 1 c 2, c 3, c 4)が形成される。一方、発散光束形成素子としての回折光学素子4の作用により、第1変倍光学系5の瞳面には、第4A図に示すような円形状の光束I L 0が形成される。

したがって、実際には、回折光学素子6 1には平行光束ではなく角度成分を有する光束が入射するので、マイクロレンズアレイ8の入射面には、第2図に示すように、2円弧状の照明分布(c 1 c 2, c 3, c 4)と円形状の光束I L 0とのコンボリューションからなる2極状の照明分布I L 2__9 0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極状の照明

分布 $IL2_90$ 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 1 実施形態では、回折光学素子 61 の作用により、照明瞳面において実質的に均一な 2 極状の照度分布を形成することができる。

そして、第 1 変倍光学系 5 の倍率を変化させることにより、2 極状の照明分布 $IL2_90$ の光軸 O からの距離 r_c が変化することなく、2 極状の照明分布 $IL2_90$ の幅（2 極状の照明分布 $IL2_90$ に外接する円の半径－2 極状の照明分布 $IL2_90$ に内接する円の半径） W だけを変化させることができる。一方、第 2 変倍光学系 7 の焦点距離を変化させることにより、距離 r_c および幅 W の双方を変化させて、2 極状の照明分布 $IL2_90$ を相似的に拡大または縮小させることができる。

なお、発散光束形成素子としての回折光学素子 4 に代えて、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）を用いる場合、第 1 変倍光学系 5 の瞳面には、第 4 B 図に示すように正六角形状の光束 $IL0d$ が形成される。この場合、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には、2 円弧状の照明分布（ $c1c2$, $c3c4$ ）と正六角形状の光束 $IL0d$ とのコンボリューションからなる 2 極状の照明分布が形成される。

ところで、第 1 実施形態では、基本回折光学素子 $A90$ と補完回折光学素子 $A90d$ とを同数だけランダム配置することにより回折光学素子 61 を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、1 つまたは複数の基本回折光学素子 $A90$ により回折光学素子 61 を構成しても、照明瞳面において実質的に均一な 2 極状の照度分布を形成することができる。また、基本回折光学素子 $A90$ と補完回折光学素子 $A90d$ とが同数でなくても、あるいは基本回折光学素子 $A90$ と補完回折光学素子 $A90d$ とがランダム配置されていなくても、照明瞳面において実質的に均一な 2 極状の照度分布を形成することができる。

ただし、照明瞳面における照度分布の均一性のためには、複数の光学素子を用いて回折光学素子 61 を構成することが望ましい。また、ウェハ共役面における干渉ノイズの影響を低減するには、基本回折光学素子 $A90$ と補完回折光学素子

A 9 0 dとを用いて回折光学素子 6 1 を構成することが望ましく、基本回折光学素子 A 9 0 と補完回折光学素子 A 9 0 d とを同数だけランダム配置することがさらに望ましい。

(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、Z 方向に沿って 2 つの照明分布を有する 2 極状の照明分布 I L 2 __ 9 0 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、X 方向に沿って 2 つの照明分布を有する 2 極状の照明分布 I L 2 __ 0 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 1 5 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 2 極状の照野を示す図である。また、第 1 6 図は、第 2 実施形態において X 方向に沿った 2 極状の照野および 2 極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第 1 7 図は、第 2 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。また、第 1 8 図は、第 2 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の構成を概略的に示す図である。さらに、第 1 9 図は、第 2 実施形態において部分パターンを稠密に配列して基本回折光学素子を構成する規則を示す図である。

第 1 7 図に示すように、第 2 実施形態における 2 極照明用の回折光学素子 6 2 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 A 0 と補完回折光学素子 A 0 d とで構成されている。基本回折光学素子 A 0 および補完回折光学素子 A 0 d 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。また、基本回折光学素子 A 0 と補完回折光学素子 A 0 d とは同数であり、回折光学素子 6 2 の矩形状の有効領域（有効径）6 2 a の全体に亘ってランダム配置されている。

第 2 実施形態の回折光学素子 6 2 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 1 6 図に示すように、2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 0 が形成される。照明分布 I L 1 __ 0 は円弧 c 1 d c 2 d と円弧 c 3 d c 4 d とから構成され、この一対の円弧は光軸 O を通る直線 L 1 d

とL 2 dとで囲まれた方位角範囲 $\Delta\phi$ で規定されている。ここで、直線L 1 dはX軸に対して回転角度 ϕ すなわち方位角 ϕ を有し、直線L 2 dはX軸に対して回転角度 $(\phi - \Delta\phi)$ すなわち方位角 $(\phi - \Delta\phi)$ を有する。そして、たとえば $\phi - \Delta\phi / 2 = 0$ 度に設定されている。なお、第16図における直線L 1 d, L 2 d、方位角範囲 $\Delta\phi$ および方位角 ϕ は、第15図における直線L 1 d, L 2 d、方位角範囲 $\Delta\phi$ および方位角 ϕ と対応している。

したがって、第2実施形態では、マイクロレンズアレイ8の入射面において、第15図に示すように、2円弧状の照明分布(c 1 d c 2 d, c 3 d c 4 d)と円形状の光束IL 0 (または正六角形状の光束IL 0 d)とのコンボリューションからなる2極状の照明分布IL 2__0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極状の照明分布IL 2__0とほぼ同じ光強度分布を有するX方向に沿った2極状の二次光源が形成される。

また、第2実施形態では、第1実施形態と同様に、第1変倍光学系5の倍率および第2変倍光学系7の焦点距離を変化させることにより、2極状の照明分布IL 2__0の光軸Oからの距離r cおよび2極状の照明分布IL 2__0の幅Wをそれぞれ適宜変化させて、所望のパターンを露光するための最適照明条件を実現することが可能である。なお、基本回折光学素子A 0は、第18図に示すような2値型の回折光学素子パターンを有する。

具体的には、基本回折光学素子A 0は、方位角範囲 $\Delta\phi$ が第1実施形態と同じ場合には、第6図に示す基本回折光学素子A 9 0をXZ面内において90度回転させて得られるパターンを有する。同様に、補完回折光学素子A 0 dは、図示を省略したが、第7図に示す補完回折光学素子A 9 0 dをXZ面内において90度回転させて得られるパターンを有する。なお、方位角範囲 $\Delta\phi$ が第1実施形態と異なる場合には、対応する方位角範囲 $\Delta\phi$ について基本回折光学素子A 9 0および補完回折光学素子A 9 0 dを形成し、それらをXZ面内でそれぞれ90度回転することによって基本回折光学素子A 0および補完回折光学素子A 0 dを形成することができる。

あるいは、第1実施形態と同様の手順にしたがって、基本回折光学素子A 0お

よび補完回折光学素子A 0 dを形成することもできる。すなわち、第8図の直線L 1およびL 2に代えて第16図の直線L 1 dおよびL 2 dを設定し、第12図の直線L 1およびL 2に代えて第16図の直線L 1 dおよびL 2 dを設定し、必要な方位角成分に対応する部分パターンを限定して抜き出す。そして、抜き出した部分パターンF 1, F 2, F 1 1, F 1 2を、例えば第19図に示す配列規則にしたがって稠密配列することにより、基本回折光学素子A 0および補完回折光学素子A 0 dのパターンを求めることができる。

(第3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6 1および6 2の作用により、Z方向2極状の照明分布I L 2__9 0およびX方向2極状の照明分布I L 2__0をそれぞれ形成している。これに対し、第3実施形態では、回折光学素子6 3の作用により、十字型4極状の照明分布(I L 2__9 0, I L 2__0)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20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4極状の照野を示す図である。また、第21図は、第3実施形態において十字型の4極状の照野および4極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第22図は、第3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。また、第23図は、第3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説明する図である。

第20図に示すように、第3実施形態における4極照明用の回折光学素子6 3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A 0__9 0と補完回折光学素子A 0__9 0 dとで構成されている。基本回折光学素子A 0__9 0および補完回折光学素子A 0__9 0 dは、ともに矩形状の外形(境界)を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、基本回折光学素子A 0__9 0と補完回折光学素子A 0__9 0 dとは同数であり、回折光学素子6 3の矩形状の有効領域(有効径)6 3 aの全体に亘ってランダム配置されている。

第3実施形態の回折光学素子63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21図に示すように、Z方向に沿った2円弧状の照明分布 $IL1_90$ とX方向に沿った2円弧状の照明分布 $IL1_0$ とが形成される。照明分布 $IL1_90$ は円弧 $c1c2$ と円弧 $c3c4$ とから構成され、この一対の円弧は光軸Oを通る直線 $L1$ と $L2$ とで囲まれた方位角範囲 $\Delta\phi$ で規定されている。一方、照明分布 $IL1_0$ は円弧 $c1dc2d$ と円弧 $c3dc4d$ とから構成され、この一対の円弧は光軸Oを通る直線 $L1d$ と $L2d$ とで囲まれた方位角範囲 $\Delta\phi$ で規定されている。

ここで、直線 $L2$ はX軸に対して回転角度 $\phi1$ すなわち方位角 $\phi1$ を有し、直線 $L1$ はX軸に対して回転角度 $(\phi1 + \Delta\phi)$ すなわち方位角 $(\phi1 + \Delta\phi)$ を有する。そして、たとえば $\phi1 + \Delta\phi / 2 = 90$ 度に設定されている。また、直線 $L1d$ はX軸に対して回転角度 $\phi2$ すなわち方位角 $\phi2$ を有し、直線 $L2d$ はX軸に対して回転角度 $(\phi2 - \Delta\phi)$ すなわち方位角 $(\phi2 - \Delta\phi)$ を有する。そして、たとえば $\phi2 - \Delta\phi / 2 = 0$ 度に設定されている。なお、第21図における直線 $L1$, $L2$, $L1d$, $L2d$ 、方位角範囲 $\Delta\phi$ 、および方位角 $\phi1$ 、 $\phi2$ は、第20図における直線 $L1$, $L2$, $L1d$, $L2d$ 、方位角範囲 $\Delta\phi$ 、および方位角 $\phi1$ 、 $\phi2$ と対応している。

したがって、第3実施形態では、マイクロレンズアレイ8の入射面において、第20図に示すように、2円弧状の照明分布($c1c2$, $c3c4$)と円形状の光束 $IL0$ (または正六角形状の光束 $IL0d$) とのコンボリューションに基づく2極状の照明分布 $IL2_90$ と、2円弧状の照明分布($c1dc2d$, $c3dc4d$)と円形状の光束 $IL0$ (または正六角形状の光束 $IL0d$) とのコンボリューションに基づく2極状の照明分布 $IL2_0$ とからなる十字型4極状の照明分布($IL2_90$, $IL2_0$) 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極状の照明分布($IL2_90$, $IL2_0$) とほぼ同じ光強度分布を有する十字型4極状の二次光源が形成される。

また、第3実施形態では、第1実施形態および第2実施形態と同様に、第1変

倍光学系 5 の倍率および第 2 変倍光学系 7 の焦点距離を変化させることにより、各照明分布の光軸 O からの距離 r_c および幅 W をそれぞれ適宜変化させて、所望のパターンを露光するための最適照明条件を実現することが可能である。

なお、第 3 実施形態の基本回折光学素子 A_{0-90} は、第 23 図に示すように、第 1 実施形態の基本回折光学素子 A_{90} と第 2 実施形態の基本回折光学素子 A_0 とを X 方向に沿って隣接配置することにより構成されている。ここで、基本回折光学素子 A_{90} の部分が Z 方向 2 極状の照明分布 IL_{2-90} を形成し、基本回折光学素子 A_0 の部分が X 方向 2 極状の照明分布 IL_{2-0} を形成する。その結果、基本回折光学素子 A_{0-90} により、2 極状の照明分布 IL_{2-90} と IL_{2-0} とが合成され、所望の十字型 4 極照明を行うことができる。

このとき、基本回折光学素子 A_{90} と基本回折光学素子 A_0 とを互いに同じ大きさを有する正形状に設定することが望ましい。同じ面積に設定することにより、X 方向と Z 方向とで光強度の均一性を確保することができる。また、正形状に設定することにより、基本回折光学素子 A_{90} を XZ 面内において 90 度回転させることにより基本回折光学素子 A_0 を得ることができる。基本回折光学素子 A_{90} と基本回折光学素子 A_0 とを互いに同じ大きさを有する正形状に設定することは、2 値型のリング状回折光学素子 A から所定の方角成分を抜き出す際の切断線 L_3 および L_4 の位置と、基本回折光学素子に含まれる部分パターン F_1 、 F_2 の数とを適切に設定することによって可能である。通常、基本回折光学素子 A_{90} と基本回折光学素子 A_0 とを同じ大きさを有する正形状に設定することは可能であるが、設計の簡易性のために、照明ムラが許容される範囲内で両者の面積が異なる設計を行うこともできる。

同様に、第 3 実施形態の補完回折光学素子 A_{0-90d} は、第 23 図に示すように、第 1 実施形態の補完回折光学素子 A_{90d} と第 2 実施形態の補完回折光学素子 A_{0d} とを X 方向に沿って隣接配置することにより構成されている。ここで、補完回折光学素子 A_{90d} の部分が Z 方向 2 極状の照明分布 IL_{2-90} を形成し、補完回折光学素子 A_{0d} の部分が X 方向 2 極状の照明分布 IL_{2-0} を形成する。その結果、補完回折光学素子 A_{0-90d} により、2 極状の照明分布 IL

2__90とIL2__0とが合成され、所望の十字型4極照明を行うことができる。また、補完回折光学素子A90dと補完回折光学素子A0dとを互いに同じ大きさを有する正形状に設定することが望ましいことは、基本回折光学素子の場合と同様である。

なお、第3実施形態では、基本回折光学素子A90とA0とをX方向に沿って隣接配置することにより基本回折光学素子A0__90を構成し、補完回折光学素子A90dとA0dとをX方向に沿って隣接配置することにより補完回折光学素子A0__90dを構成している。しかしながら、これに限定されることなく、Z方向に沿って隣接配置することにより基本回折光学素子A0__90および補完回折光学素子A0__90dを構成することもできる。また、上述の配列方法に限定する必要はなく、所定の方位角成分を有してさえいれば、他の配列方法によって4極照明の変形例を構成することも可能である。

(第4実施形態)

第3実施形態では、回折光学素子63の作用により、Z方向2極状の照明分布IL2__90とX方向2極状の照明分布IL2__0とからなる十字型4極状の照明分布(IL2__90, IL2__0)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、X軸およびZ軸に対してたとえば45度の方向に位置する4つの照明分布からなるX型4極状の照明分布を形成している。以下、第3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24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X型4極状の照野を示す図である。また、第25図は、第4実施形態においてX型の4極状の照野および4極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第26図は、第4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。また、第27図は、第4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説明する図である。さらに、第28図は、第4実施形態の基本回折光学素子を構成する2つの補助素子の構成を説明する図である。

第26図に示すように、第4実施形態における4極照明用の回折光学素子64

は、二次元的に稠密配列された多数の基本回折光学素子A Xと補完回折光学素子A X dとで構成されている。基本回折光学素子A Xおよび補完回折光学素子A X dは、ともに菱形が2つ並んだ形状の外形（境界）を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、基本回折光学素子A Xと補完回折光学素子A X dとは同数であり、回折光学素子6 4の矩形状の有効領域（有効径）6 4 a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6 4 aにおいて隙間が発生しないように、基本回折光学素子A Xおよび補完回折光学素子A X dは所定のマージンをもって配置されている。

第4実施形態の回折光学素子6 4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25図に示すように、X軸およびZ軸に対してたとえば45度の方向に位置する4つの円弧状の照明分布I L 1__Xが形成される。照明分布I L 1__Xは光軸Oを通る2つの直線で囲まれた方位角範囲 $\Delta\phi$ で規定されている。そして、たとえば $\phi 1 + \Delta\phi / 2 = 45$ 度、 $\phi 2 + \Delta\phi / 2 = 135$ 度に設定されている。

したがって、第4実施形態では、マイクロレンズアレイ8の入射面において、第24図に示すように、4つの円弧状の照明分布I L 1__Xと円形状の光束I L 0（または正六角形状の光束I L 0 d）とのコンボリューションに基づくX型で4極状の照明分布I L 2__X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極状の照明分布I L 2__X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。

また、第4実施形態では、第1実施形態～第3実施形態と同様に、第1変倍光学系5の倍率および第2変倍光学系7の焦点距離を変化させることにより、各照明分布の光軸Oからの距離r cおよび幅Wをそれぞれ適宜変化させて、所望のパターンを露光するための最適照明条件を実現することが可能である。

なお、第27図に示すように、第4実施形態の基本回折光学素子A Xは、補助素子A + 45とA - 45とから構成されている。また、補完回折光学素子A X dは、補助素子A + 45 dとA - 45 dとから構成されている。第28図を参照すると、補助素子A + 45は、第1実施形態の基本回折光学素子A 90をXZ面内

において ϕ 方向に -45 度回転させて得られる素子である。また、補助素子 $A-45$ は、基本回折光学素子 $A90$ を XZ 面内において ϕ 方向に $+45$ 度回転させて得られる素子である。

このような補助素子 $A+45$ と $A-45$ とを第27図に示すように X 方向に沿って隣接配置することによって、基本回折光学素子 AX が構成されている。ここで、補助素子 $A+45$ の部分が方位角 $\phi=45$ 度および 225 度に対応する2極状の照明分布 ILX を形成し、補助素子 $A-45$ の部分が方位角 $\phi=135$ 度および 315 度に対応する2極状の照明分布 ILX を形成する。その結果、基本回折光学素子 AX により、2つの2極状の照明分布 ILX が合成され、所望の X 型4極照明を行うことができる。

このとき、補助素子 $A+45$ および $A-45$ の元になる基本回折光学素子 $A90$ をほぼ正形状に設定することが望ましい。これは、2値型のリング状回折光学素子 A から所定の方位角成分を抜き出す際の切断線 $L3$ および $L4$ の位置と、基本回折光学素子 $A90$ に含まれる部分パターン $F1$ 、 $F2$ の数とを適切に設定することによって可能である。通常、基本回折光学素子 $A90$ を完全な正形状に設定することは可能であるが、設計の簡易性のために、照明ムラが許容される範囲内で多少長形状になる設計を行うこともできる。

同様に、補助素子 $A+45d$ は、第1実施形態の補完回折光学素子 $A90d$ を XZ 面内において ϕ 方向に -45 度回転させて得られる素子である。また、補助素子 $A-45d$ は、補完回折光学素子 $A90d$ を XZ 面内において ϕ 方向に $+45$ 度回転させて得られる素子である。そして、補助素子 $A+45d$ の部分が方位角 $\phi=45$ 度および 225 度に対応する2極状の照明分布 ILX を形成し、補助素子 $A-45d$ の部分が方位角 $\phi=135$ 度および 315 度に対応する2極状の照明分布 ILX を形成する。その結果、補完回折光学素子 AXd により、2つの2極状の照明分布 ILX が合成され、所望の X 型4極照明を行うことができる。また、補助素子 $A+45d$ および $A-45d$ の元になる補完回折光学素子 AXd をほぼ正形状に設定することが望ましいことは、基本回折光学素子 AX の場合と同様である。

なお、第4実施形態では、補助素子 $A+45$ と $A-45$ とをX方向に沿って隣接配置することにより基本回折光学素子 AX を構成し、補助素子 $A+45d$ と $A-45d$ をX方向に沿って隣接配置することにより補完回折光学素子 AXd を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、Z方向に沿って隣接配置することにより基本回折光学素子 AX および補完回折光学素子 AXd を構成することもできる。また、上述の配列方法に限定する必要はなく、所定の方位角成分を有してさえいれば、他の配列方法によって4極照明の変形例を構成することも可能である。

(第4実施形態の第1変形例)

第4実施形態では、2つの補助素子を単純に隣接配置することにより基本回折光学素子 AX および補完回折光学素子 AXd を構成している。これに対し、第4実施形態の第1変形例では、同じ2つの補助素子を他の配列方法にしたがって配列することにより、基本回折光学素子 AX および補完回折光学素子 AXd と光学的に等価な基本回折光学素子 $AA X$ および補完回折光学素子 $AA Xd$ を構成している。以下、第4実施形態との相違点に着目して、その第1変形例を説明する。

第29図は、第4実施形態の第1変形例における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の構成を説明する図である。また、第30図は、第4実施形態の第1変形例における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30図に示すように、第4実施形態の第1変形例における4極照明用の回折光学素子65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 $AA X$ と補完回折光学素子 $AA Xd$ とで構成されている。基本回折光学素子 $AA X$ および補完回折光学素子 $AA Xd$ は、ともにほぼ正形状の外形（境界）を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、基本回折光学素子 $AA X$ と補完回折光学素子 $AA Xd$ とは同数であり、回折光学素子65の矩形状の有効領域（有効径）65aの全体に亘ってランダム配置されている。

第29図に示す配列方法では、X方向に沿った線およびZ方向に沿った線により補助素子 $A+45$ を4等分して4つの三角形の部分素子 $P1 \sim P4$ を得る。同様に、X方向に沿った線およびZ方向に沿った線により補助素子 $A-45$ を4

等分して4つの三角形状の部分素子P 5～P 8を得る。そして、4つの三角形状の部分素子P 1～P 4を再配列することにより長方形形状の中間素子A M + 4 5を得るとともに、4つの三角形状の部分素子P 5～P 8を再配列することにより長方形形状の中間素子A M - 4 5を得る。最後に、この2つの中間素子A M + 4 5とA M - 4 5とをZ方向に沿って隣接配置することにより、基本回折光学素子A A Xが構成される。

基本回折光学素子A A Xは、補助素子A + 4 5のパターンおよびA - 4 5のパターンを過不足なく保有している。したがって、基本回折光学素子A A Xにおいても、基本回折光学素子A Xの場合と同様に、補助素子A + 4 5に対応する部分が方位角 $\phi = 45$ 度および 225 度に対応する2極状の照明分布I L Xを形成し、補助素子A - 4 5に対応する部分が方位角 $\phi = 135$ 度および 315 度に対応する2極状の照明分布I L Xを形成する。その結果、基本回折光学素子A A Xにより、2つの2極状の照明分布I L Xが合成され、所望のX型4極照明を行うことができる。

同様に、補完回折光学素子A 9 0 dから生成した補助素子A + 4 5 dおよびA - 4 5 dに対して第29図に示す配列方法と同じ配列方法を適用することにより、補完回折光学素子A A X dを構成することができる。補完回折光学素子A 9 0 dは、補助素子A + 4 5 dのパターンおよびA - 4 5 dのパターンを過不足なく保有しているので、補完回折光学素子A X dの場合と同様に、2つの2極状の照明分布I L Xを合成して所望のX型4極照明を行うことができる。

なお、第4実施形態の第1変形例においても第4実施形態と同様に、補助素子A + 4 5およびA - 4 5の元になる基本回折光学素子A 9 0や、補助素子A + 4 5 dおよびA - 4 5 dの元になる補完回折光学素子A 9 0 dをほぼ正形状に設定することが望ましい。これは、2値型のリング状回折光学素子AやA dから所定の方位角成分を抜き出す際の切断線L 3およびL 4の位置と、回折光学素子A 9 0やA 9 0 dに含まれる部分パターンF 1、F 2の数とを適切に設定することによって可能である。通常、回折光学素子A 9 0やA 9 0 dを完全な正形状に設定することは可能であるが、設計の簡易性のために、照明ムラが許容される範

囲内で多少長方形状になる設計を行うこともできる。

(第5実施形態)

第3実施形態および第4実施形態の第1変形例では、回折光学素子63および65の作用により、十字型4極状の照明分布およびX型4極状の照明分布をそれぞれ形成している。これに対し、第5実施形態では、回折光学素子66の作用により、8極状の照明分布を形成している。以下、第3実施形態および第4実施形態の第1変形例との相違点に着目して、第5実施形態を説明する。

第31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8極状の照野を示す図である。また、第32図は、第5実施形態において8極状の照野および8極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第33図は、第5実施形態における8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33図に示すように、第5実施形態における8極照明用の回折光学素子66では、第3実施形態における多数の基本回折光学素子A0__90および補完回折光学素子A0__90d、並びに第4実施形態の第1変形例における多数の基本回折光学素子AAXおよび補完回折光学素子AAXdが、縦横に且つ稠密に配列されている。ここで、基本回折光学素子A0__90および補完回折光学素子A0__90dは、ともに短辺がaで長辺が2aの長方形状の外形(境界)を有し、互いに同じ大きさを有する。

また、基本回折光学素子AAXおよび補完回折光学素子AAXdは、ともに一辺が $(\sqrt{2} \times a)$ の正形状の外形(境界)を有し、互いに同じ大きさを有する。換言すれば、基本回折光学素子A0__90と補完回折光学素子A0__90dと基本回折光学素子AAXと補完回折光学素子AAXdとは互いに同じ面積(大きさ)を有する。さらに、基本回折光学素子A0__90と補完回折光学素子A0__90dとは同数であり、基本回折光学素子AAXと補完回折光学素子AAXdとは同数であり、回折光学素子66の矩形状の有効領域(有効径)66aの全体に亘ってランダム配置されている。

以上のように、基本回折光学素子A0__90および補完回折光学素子A0__9

0 d の第 1 組と、基本回折光学素子 A A X および補完回折光学素子 A A X d の第 2 組とでは、Z 方向に沿った配列ピッチが異なる。このため、第 3 3 図に示すように、組毎に列を作り、第 1 組と第 2 組とを X 方向に沿って交互に配置している。なお、有効領域 6 6 a において隙間が発生しないように、基本回折光学素子 A 0 __ 9 0 および補完回折光学素子 A 0 __ 9 0 d の第 1 組は所定のマージンをもって配置されている。

第 5 実施形態の回折光学素子 6 6 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 2 図に示すように、Z 方向に沿った 2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0、と X 方向に沿った 2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 0 と、X 軸および Z 軸に対してたとえば 4 5 度の方向に位置する 4 つの円弧状の照明分布 I L 1 __ X とが形成される。ここで、2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0 および I L 1 __ 0 は第 3 実施形態で形成される 4 極状の照明分布に対応し、4 つの円弧状の照明分布 I L 1 __ X は第 4 実施形態およびその第 1 変形例で形成される 4 極状の照明分布に対応している。

したがって、第 5 実施形態では、マイクロレンズアレイ 8 の入射面において、第 3 1 図に示すように、8 つの円弧状の照明分布 (I L 1 __ 9 0, I L 1 __ 0, I L 1 __ X) と円形状の光束 I L 0 (または正六角形状の光束 I L 0 d) とのコンボリューションに基づく 8 極状の照明分布が形成される。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 極状の照明分布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。

また、第 5 実施形態では、第 1 実施形態～第 4 実施形態と同様に、第 1 変倍光学系 5 の倍率および第 2 変倍光学系 7 の焦点距離を変化させることにより、各照明分布の光軸 O からの距離 r c および幅 W をそれぞれ適宜変化させて、所望のパターンを露光するための最適照明条件を実現することが可能である。また、上述の配列方法に限定する必要はなく、所定の方位角成分を有してさえいれば、他の配列方法によって 8 極照明の変形例を構成することも可能である。

(第 1 実施形態の第 1 変形例)

第 3 4 図は、第 1 実施形態の第 1 変形例において部分パターンを稠密に配列し

て基本回折光学素子を構成する規則を示す図である。また、第 3 5 図は、第 1 実施形態の第 1 変形例における 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 1 実施形態では、第 1 1 図に示すように、4 種類の部分パターン F 1 と F 2 と F 1 1 と F 1 2 とを用いて基本回折光学素子 A 9 0 を構成している。これに対し、第 1 実施形態の第 1 変形例では、2 種類の部分パターン F 1 と F 2 とを用いて基本回折光学素子 A A 9 0 を構成している。以下、第 1 実施形態との相違点に着目して、第 1 実施形態の第 1 変形例を説明する。

第 1 実施形態の第 1 変形例では、2 つの部分パターン F 1 と 2 つの部分パターン F 2 とを第 3 4 図に示す配列規則にしたがって稠密配列することにより、全体的に平行四辺形の外形を有する基本回折光学素子 A A 9 0 が形成されている。同様に、第 1 実施形態の第 1 変形例における補完回折光学素子 A A 9 0 d も、第 3 4 図に示す配列規則にしたがって稠密配列され、全体的に平行四辺形の外形を有することになる。この変形例では、2 種類の部分パターンだけを用いて基本回折光学素子 A A 9 0 および補完回折光学素子 A A 9 0 d が構成されるので、パタニング手順において素子の配列工数が減るという特徴がある。

第 3 5 図に示すように、第 1 実施形態の第 1 変形例における 2 極照明用の回折光学素子 6 7 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 A A 9 0 と補完回折光学素子 A A 9 0 d とにより構成されている。基本回折光学素子 A A 9 0 および補完回折光学素子 A A 9 0 d は、ともに平行四辺形状の外形（境界）を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、基本回折光学素子 A A 9 0 と補完回折光学素子 A A 9 0 d とは同数であり、回折光学素子 6 7 の矩形状の有効領域（有効径）6 7 a の全体に亘ってランダム配置されている。

さらに、有効領域 6 7 a において隙間が発生しないように、基本回折光学素子 A A 9 0 および補完回折光学素子 A A 9 0 d は所定のマージンをもって配置されている。なお、第 2 実施形態についても、第 1 実施形態の第 1 変形例に対応する変形例が可能である。

（第 1 実施形態の第 2 変形例）

第 1 実施形態では、1 種類の基本回折光学素子 A 9 0 と 1 種類の補完回折光学

素子A 9 0 dとを稠密配列することにより2極照明用の回折光学素子6 1を構成している。これに対し、第1実施形態の第2変形例では、照明均一性をさらに高めるために、1種類の基本回折光学素子A 9 0と3種類の補完回折光学素子A 9 0 d 1～A 9 0 d 3とを稠密配列することにより2極照明用の回折光学素子6 8を構成している。以下、第1実施形態との相違点に着目して、第1実施形態の第2変形例を説明する。

第36図は、第1実施形態の第2変形例における2極照明用の回折光学素子に含まれる第1補完回折光学素子の構成を示す図である。また、第37図は、第1実施形態の第2変形例における2極照明用の回折光学素子に含まれる第3補完回折光学素子の構成を示す図である。さらに、第38図は、第1実施形態の第2変形例における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。また、第39図は、第1実施形態の第2変形例における各素子のランダム配置を説明する図である。

第1実施形態では、基本回折光学素子A 9 0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A 9 0 d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A 9 0 dは、基本回折光学素子A 9 0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2変形例では、基本回折光学素子A 9 0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A 9 0 d 1～A 9 0 d 3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、当然に、基本回折光学素子A 9 0は第6図に示すパターンを有し、第2補完回折光学素子A 9 0 d 2は第7図に示すパターンを有する。一方、位相差が $\pi/2$ である第1補完回折光学素子A 9 0 d 1を得るには、第9図に示す断面図と第13図に示す断面図との中間の位相関係を有する仮想的なリング状回折光学素子パターンを設定する。そして、第8図や第12図と同じ位置関係にある切断線L 1, L 2, L 3, L 4を設定し、所定の方位角成分のパターンを抜き出す。こうして、第36図に示すようなパターンを有する第1補完回折光学素子A

9 0 d 1 を得ることができる。

さらに具体的には、第 3 6 図に示すパターンを作成するには、第 9 図の断面パターンを両側から原点 O の側（両外側から中心側）に向かって $W/2$ 分だけ凹凸の周期をずらしたリング状回折光学素子 $RP-$ と、原点 O から外側（中心から外側）に向かって $W/2$ 分だけ凹凸の周期をずらしたリング状回折光学素子 $RP+$ とを使用している。すなわち、第 1 補完回折光学素子 A 9 0 d 1 をパタニングする配列規則は第 1 1 図に示す規則と同じであるが、同図の部分パターン F 1, F 1 1, F 1 2 についてはリング状回折光学素子 $RP-$ に関して切断線 L 1, L 2, L 3, L 4 を設定して所定の方位角成分のパターンを抜き出すが、第 1 1 図の部分パターン F 2 についてはリング状回折光学素子 $RP+$ について同じ切断線によって抜き出したパターンを Z 方向に反転したパターンとして設定している。

このような設定によって部分パターン F 1 と F 1 1 と F 1 2 と F 2 とが不連続性なく滑らかに接続され、第 3 6 図に示すような最終結果が得られる。また、仮想的なリング状回折光学素子の半径方向に対応する辺 Q 1 Q 4 において、第 3 6 図のパターンと第 6 図のパターンとを比較すると $P/4$ の位相差を読み取ることができ、光振幅として $\pi/2$ の位相差が得られていることがわかる。

一方、位相差が $3\pi/2$ である第 3 補完回折光学素子 A 9 0 d 3 を得るには、第 1 補完回折光学素子 A 9 0 d 1 の場合と同様に、リング状回折光学素子 $RP-$ とリング状回折光学素子 $RP+$ とを用いる。ただし、第 1 補完回折光学素子 A 9 0 d 1 の場合とは異なり、部分パターン F 1, F 1 1, F 1 2 についてはリング状回折光学素子 $RP+$ を用い、部分パターン F 2 についてはリング状回折光学素子 $RP-$ を用いる。

その結果、部分パターン F 1 と F 1 1 と F 1 2 と F 2 とが不連続性なく滑らかに接続され、第 3 7 図に示すような最終結果が得られる。また、仮想的なリング状回折光学素子の半径方向に対応する辺 Q 1 Q 4 において、第 3 7 図のパターンと第 6 図のパターンとを比較すると $3P/4$ の位相差を読み取ることができ、光振幅として $3\pi/2$ の位相差が得られていることがわかる。

第 1 実施形態の第 2 変形例では、基本回折光学素子 A 9 0 および第 1 ～ 第 3 補

完回折光学素子A 9 0 d 1～A 9 0 d 3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38図に示すように、第1実施形態の第2変形例における2極照明用の回折光学素子68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A 9 0と第1補完回折光学素子A 9 0 d 1と第2補完回折光学素子A 9 0 d 2と第3補完回折光学素子A 9 0 d 3とにより構成されている。各素子A 9 0およびA 9 0 d 1～A 9 0 d 3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。また、各素子A 9 0およびA 9 0 d 1～A 9 0 d 3は互いにほぼ同数であり、回折光学素子68の矩形状の有効領域（有効径）68aの全体に亘ってランダム配置されている。

各素子A 9 0およびA 9 0 d 1～A 9 0 d 3をランダム配置するには、第39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A 9 0に対応させ、1を第1補完回折光学素子A 9 0 d 1に対応させ、2を第2補完回折光学素子A 9 0 d 2に対応させ、3を第3補完回折光学素子A 9 0 d 3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A 9 0およびA 9 0 d 1～A 9 0 d 3のパターンを配列することにより、第38図に示すような回折光学素子68の構成が得られる。

以上のように、第1実施形態の第2変形例では、回折光学素子68の作用により、規則的な干渉ノイズを格段に低減した良好なZ方向2極照明を行うことが可能である。なお、各素子の配列方法としては、回折光学素子68の有効径68aの全体に亘ってランダムである必要はなく、照明むらの許容される範囲内において規則性を一部導入した部分ランダム配置を行ってもよい。

（第2実施形態の第1変形例）

第2実施形態では、1種類の基本回折光学素子A 0と1種類の補完回折光学素

子A 0 dとを稠密配列することにより2極照明用の回折光学素子6 2を構成している。これに対し、第2実施形態の第1変形例では、第1実施形態の第2変形例と同様に、照明均一性をさらに高めるために、1種類の基本回折光学素子A 0と3種類の補完回折光学素子A 0 d 1～A 0 d 3とを稠密配列することにより2極照明用の回折光学素子を構成している。以下、第2実施形態および第1実施形態の第2変形例との相違点に着目して、第2実施形態の第1変形例を説明する。

第2実施形態の第1変形例では、第1実施形態の第2変形例における手法にしたがって、基本回折光学素子A 0に対して相対的に $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ だけ位相シフトした3つの補完回折光学素子A 0 d 1、A 0 d 2、A 0 d 3を設定することができる。この場合、いずれの素子でも発生する強度分布は同じであるが、位相のみが互いに異なる。この4種類の素子A 0およびA 0 d 1～A 0 d 3を有効径内においてほぼ同数だけランダム配置することによって構成された回折光学素子を用いることにより、規則的な干渉ノイズを格段に低減した良好なX方向2極照明を行うことが可能である。

また、第2実施形態の第1変形例においても第1実施形態の第2変形例と同様に、(3, 2, 1, 0)の乱数列の0を基本回折光学素子A 0に対応させ、1を第1補完回折光学素子A 0 d 1に対応させ、2を第2補完回折光学素子A 0 d 2に対応させ、3を第3補完回折光学素子A 0 d 3に対応させて乱数表を作成する。そして、作成した乱数表にしたがって各素子A 0およびA 0 d 1～A 0 d 3のパターンを配列することにより、所望の回折光学素子を得られる。なお、第2実施形態の第1変形例においても、回折光学素子の有効径の全体に亘ってランダム配置をする必要はなく、照明むらの許容される範囲内において規則性を一部導入した部分ランダム配置を行ってもよい。

(第3実施形態の第1変形例)

第40図は、第3実施形態の第1変形例における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3実施形態では、第1実施形態および第2実施形態で得られる各素子を利用して、素子A 0とA 9 0とで基本回折光学素子A 0__9 0を構成し、素子A 9 0 dとA 0 dとで基本回折光学素子A 0__9 0 d

を構成している。

これに対し、第3実施形態の第1変形例では、第40図に示すように、第1実施形態の第2変形例および第2実施形態の第1変形例で得られる各素子を利用して、素子A0とA90とで基本回折光学素子A0__90を構成し、素子A90d1とA0d1とで第1補完回折光学素子A0__90d1を構成し、素子A0d2とA90d2とで第2補完回折光学素子A0__90d2を構成し、素子A90d3とA0d3とで第3補完回折光学素子A0__90d3を構成している。

第3実施形態とその第1変形例との違いは、素子の位相が2種類から4種類になったことである。いずれのブロック素子A0__90およびA0__90d1～A0__90d3も発生する強度分布は同じであるが、位相のみ互いに異なる。この4種類のブロック素子A0__90およびA0__90d1～A0__90d3を有効径内においてほぼ同数だけランダム配置することによって構成された回折光学素子を用いることにより、規則的な干渉ノイズを格段に低減した良好な十字型4極照明を行うことが可能である。

各ブロック素子をランダム配置するには、(3, 2, 1, 0)の乱数列の0を基本回折光学素子A0__90に対応させ、1～3を第1～第3補完回折光学素子A0__90d1～A0__90d3にそれぞれ対応させて乱数表を作成し、作成した乱数表にしたがって各ブロック素子を配列することにより所望の回折光学素子が得られる。なお、各ブロック素子の配列方法としては、回折光学素子の有効径の全体に亘ってランダムである必要はなく、照明むらの許容される範囲内において規則性を一部導入した部分ランダム配置を行ってもよい。

また、2つの素子のブロック化については、第40図に示す手法に制限されることなく、多様なブロック化が可能である。具体的には、素子A0と、素子A90d1、素子A90d2または素子A90d3を組み合わせたブロック化が可能である。同様に、素子A90と、素子A0d1、素子A0d2または素子A0d3を組み合わせたブロック化が可能である。

(第4実施形態の第2変形例)

第4実施形態では、第26図に示すように、1種類の基本回折光学素子AXと

1 種類の補完回折光学素子 A X d とにより回折光学素子を構成している。これに対し、第 4 実施形態の第 2 変形例では、1 種類の基本回折光学素子（ブロック素子）A X と 3 種類の補完回折光学素子（ブロック素子）A X d 1 ～ A X d 3 とにより回折光学素子を構成している。

第 4 実施形態の第 2 変形例では、第 1 実施形態の第 2 変形例における手法にしたがって、基本回折光学素子 A X に対して相対的に $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ だけ位相シフトした 3 つの補完回折光学素子 A X d 1、A X d 2、A X d 3 を設定することができる。この場合、いずれのブロック素子でも発生する強度分布は同じであるが、位相のみが互いに異なる。この 4 種類のブロック素子 A X および A X d 1 ～ A X d 3 を有効径内においてほぼ同数だけランダム配置することによって構成された回折光学素子を用いることにより、規則的な干渉ノイズを格段に低減した良好な X 型 4 極照明を行うことが可能である。

各ブロック素子をランダム配置するには、(3, 2, 1, 0) の乱数列の 0 を基本回折光学素子 A X に対応させ、1 ～ 3 を第 1 ～ 第 3 補完回折光学素子 A X d 1 ～ A X d 3 にそれぞれ対応させて乱数表を作成し、作成した乱数表にしたがって各ブロック素子を配列することにより所望の回折光学素子を得られる。なお、各ブロック素子の配列方法としては、回折光学素子の有効径の全体に亘ってランダムである必要はなく、照明むらの許容される範囲内において規則性を一部導入した部分ランダム配置を行ってもよい。また、2 つの素子のブロック化については、第 27 図および第 28 図に示すブロック化に制限されることなく多様なブロック化が可能である。

（第 4 実施形態の第 3 変形例）

第 4 実施形態の第 1 変形例では、第 30 図に示すように、1 種類の基本回折光学素子 A A X と 1 種類の補完回折光学素子 A A X d とにより回折光学素子を構成している。これに対し、第 4 実施形態の第 3 変形例では、1 種類の基本回折光学素子（ブロック素子）A A X と 3 種類の補完回折光学素子（ブロック素子）A A X d 1 ～ A A X d 3 とにより回折光学素子を構成している。

第 4 実施形態の第 3 変形例では、第 1 実施形態の第 2 変形例における手法にし

たがって、基本回折光学素子 $AA X$ に対して相対的に $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ だけ位相シフトした 3 つの補完回折光学素子 $AA X d 1$ 、 $AA X d 2$ 、 $AA X d 3$ を設定することができる。この場合、いずれのブロック素子でも発生する強度分布は同じであるが、位相のみが互いに異なる。この 4 種類のブロック素子 $AA X$ および $AA X d 1 \sim AA X d 3$ を有効径内においてほぼ同数だけランダム配置することによって構成された回折光学素子を用いることにより、規則的な干渉ノイズを格段に低減した良好な X 型 4 極照明を行うことが可能である。

各ブロック素子をランダム配置するには、 $(3, 2, 1, 0)$ の乱数列の 0 を基本回折光学素子 $AA X$ に対応させ、 $1 \sim 3$ を第 1 ～第 3 補完回折光学素子 $AA X d 1 \sim AA X d 3$ にそれぞれ対応させて乱数表を作成し、作成した乱数表にしたがって各ブロック素子を配列することにより所望の回折光学素子が得られる。なお、各ブロック素子の配列方法としては、回折光学素子の有効径の全体に亘ってランダムである必要はなく、照明むらの許容される範囲内において規則性を一部導入した部分ランダム配置を行ってもよい。また、2 つの素子のブロック化については、第 29 図に示すブロック化に制限されることなく多様なブロック化が可能である。

(第 5 実施形態の第 1 変形例)

第 41 図は、第 5 実施形態の第 1 変形例における 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 5 実施形態では、第 33 図に示すように、2 種類の基本回折光学素子 $AA X$ および $A 0_9 0$ と 2 種類の補完回折光学素子 $AA X d$ および $A 0_9 0 d$ とにより回折光学素子を構成している。

これに対し、第 5 実施形態の第 1 変形例では、第 41 図に示すように、2 種類の基本回折光学素子 $AA X$ および $A 0_9 0$ と 6 種類の補完回折光学素子 $AA X d 1 \sim AA X d 3$ および $A 0_9 0 d 1 \sim A 0_9 0 d 3$ とにより回折光学素子 69 を構成している。ここで、3 つの補完回折光学素子 $AA X d 1 \sim AA X d 3$ は第 4 実施形態の第 3 変形例で得られる補完回折光学素子と同じであり、3 つの補完回折光学素子 $A 0_9 0 d 1 \sim A 0_9 0 d 3$ は第 3 実施形態の第 1 変形例で得られる補完回折光学素子と同じである。

第5実施形態の第1変形例では、第41図に示すように、4種類のブロック素子 $A0_90$ および $A0_90d1 \sim A0_90d3$ を有効径 $69a$ 内においてほぼ同数だけランダム配置するとともに、4種類のブロック素子 AAx および $AAxd1 \sim AAxd3$ を有効径 $69a$ 内においてほぼ同数だけランダム配置することによって構成された回折光学素子69を用いることにより、規則的な干渉ノイズを格段に低減した良好な8極照明を行うことが可能である。

具体的には、ブロック素子 $A0_90$ および $A0_90d1 \sim A0_90d3$ の第1組と、ブロック素子 AAx および $AAxd1 \sim AAxd3$ の第2組とでは、Z方向に沿った配列ピッチが異なる。このため、第41図に示すように、組毎に列を作り、第1組と第2組とをX方向に沿って交互に配置している。なお、有効領域 $69a$ において隙間が発生しないように、ブロック素子 $A0_90$ および $A0_90d1 \sim A0_90d3$ の第1組は所定のマージンをもって配置されている。

また、素子配列の方法としては、列方向または行方向について完全にランダムである必要はなく、照明むらの許容される範囲内において規則性を一部導入した部分ランダム配置を行ってもよい。

なお、上述の各変形例では、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。

また、上述の各実施形態や各変形例では、基本回折光学素子および補完回折光学素子の内部パターンが隣接する部分パターンとの間で滑らかに接合（位相接合）された場合について説明した。しかしながら、干渉ノイズを最大限低減することを目的とした回折光学素子を実現したい場合には、第42図に示すように、部分パターン $F1$ 、 $F11$ 、 $F12$ 、 $F2$ 等の間で位相接合を行うことなく、隣接する部分パターンとの間で位相変化が起るようなパターンを複数種類だけ形成

し、これらの素子を回折光学素子の有効径内においてランダム配置することも可能である。この場合、各部分パターンF 1、F 1 1、F 1 2、F 2 への位相の付与についてもランダムに設定することが望ましい。

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43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44図は、第43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43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AAP 1およびAAP 2が、たとえばEB描画によって形成されている。

ブロックパターンAAP 1内には、基本回折光学素子A 9 0および補完回折光学素子A 9 0 dがそれぞれ250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AAP 1におけるランダム配列の規則については、第14図に示す全乱数列のうちの一部が用いられている。同様に、ブロックパターンAAP 2内にも、基本回折光学素子A 9 0および補完回折光学素子A 9 0 dがそれぞれ250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AAP 2におけるランダム配列の規則は、ブロックパターンAAP 1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AAP 2では、第14図の全乱数列のうちブロックパターンAAP 1に使用した部分とは異なる部分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a mが描画されている。アライメントマークa m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AAP 1およびAAP 2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A A P 1 およびA A P 2 の露光の前後に、このパターンL S 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44図に示す回折光学素子は、第43図のマスクを用いてブロックパターンA A P 1 とA A P 2 とを互い違いに4×12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。この場合、第14図の全乱数列を全て網羅するようにブロックを設定し、その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A 9 0 およびA 9 0 d 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43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43図、第44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43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44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、仮想的なリング状回折光学素子の半径方向断面の周期（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。

また、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45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45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、第2変倍光学系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45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45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、石英ガラスや螢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（61～69）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 8 1 の入射面 8 1 a の近傍に集光する。こうして、ロッド・インテグレータ 8 1 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 8 1 b において重畳された後、リレーレンズ 8 3 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） 1 3 を重畳的に照明する。

なお、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。あるいは、第 2 変倍光学系 7 およびインプットレンズ 8 2 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 9）の射出面の近傍に設置することもできる。あるいは、第 2 変倍光学系 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 9）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 9-205060 号公報、特開平 10-125585 号公報、特開 2000-277421 号公報を参照することができる。

また、上述の各実施形態および各変形例では、仮想的なリング状回折光学素子パターンとして、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 46A 図～第 46C 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 46A 図はブレード型の回折光学素子とその回転中心を含む断面で切断した断面図であり、第 46B 図は多値型の回折光学素子とその回転中心を含む断面で切断した断面図であり、第 46C 図は 2 値型の回折光学素子とその回転中心を含む断面で切断した断面図である。第 46A 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同心円上の位置を規定するリングの半径 r_m は、次式 (4) で与えられる。

$$r_m = \{(m \cdot \lambda)^2 + 2 \cdot m \cdot f \cdot \lambda\}^{1/2} \quad (4)$$

ここで、 λ は光の波長であり、 f は焦点距離であり、 m は任意の整数である。この半径 r_m で規定される同心円のゾーンプレートパターンの断面が第 46A 図に示されている。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仮想的なリング状回折光学素子パターンとして、基本回折光学素子および補完回折光学素子を決定す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46B図を参照すると、多値型の回折光学素子の切断面は、第46A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、各階段の境界を示すリング半径 r_k は、式(4)で示される r_m と r_{m+1} との範囲を各階段のステップ領域にしたがって分割することによって容易に規定することができる。第46B図は、 $L=8$ の8値位相型フレネルゾーンプレート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として、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仮想的なリング状回折光学素子パターンとして、基本回折光学素子および補完回折光学素子を決定す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46C図を参照すると、2値型の回折光学素子の切断面は、第46B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46C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を示すリング半径 r_m は、すでに説明した次の式(7)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(8)で与えられる。

$$r_m = \{ (m \cdot \lambda)^2 / 4 + m \cdot f \cdot \lambda \}^{1/2} \quad (7)$$

$$d_2 = \lambda / \{ 2 \cdot (n - 1) \} \quad (8)$$

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を仮想的なリング状回折光学素子パターンとして、基本回折光学素子および補完回折光学素子を決定している。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。

また、上述の各実施形態および各変形例では、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲に対応して取り出され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、仮想的な回転対称屈折面から所定の方位角範囲に対応して取り出された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（コーンプリズム等）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から部分パターンF 1，F 2等に対応する所定の方位角成分を切り出して、第11図の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タ（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、仮想的なリング状回折光学素子のゾーンプレート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範囲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、仮想的なリング状回折光学素子から所定の方位角範囲を抜き出し、抜

き出した部分パターンを稠密配列（このとき必要に応じて部分パターンを分割する）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。

（第6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、Z方向に沿って2つの照明分布を有する2極状の照明分布IL2__90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61に含まれる基本回折光学素子A90および補完回折光学素子A90dに対して新たな単純透過部を付加した基本回折光学素子および補完回折光学素子を採用することによって、Z方向に沿って3つの照明分布を有する3極状の照明分布IL2__90__Cを形成している。すなわち、第6実施形態は、光軸上にも強度分布を有する3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6実施形態を説明する。

第49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3極状の照野を示す図である。また、第50図は、第6実施形態においてZ方向に沿った3極状の照野および3極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第51図は、第6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52図は、第6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 5 1 図に示すように、第 6 実施形態における 3 極照明用の回折光学素子 1 0 0 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 A 9 0 __ C と補完回折光学素子 A 9 0 __ C d とで構成されている。基本回折光学素子 A 9 0 __ C および補完回折光学素子 A 9 0 __ C 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、基本回折光学素子 A 9 0 __ C と補完回折光学素子 A 9 0 __ C d とは同数であり、回折光学素子 1 0 0 の矩形状の有効領域（有効径）1 0 0 a の全体に亘ってランダム配置されるか、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。

基本回折光学素子 A 9 0 __ C は、第 5 2 図に示すような 2 値型の回折光学素子パターンを有する。具体的には、円弧部分の方位角範囲 $\Delta \phi$ が第 1 実施形態と同じ場合、基本回折光学素子 A 9 0 __ C は、第 6 図に示す第 1 実施形態の基本回折光学素子 A 9 0 と単純透過部 C とを X 方向に沿って互いに隣接させて配置したパターンを有する。同様に、補完回折光学素子 A 9 0 __ C d は、第 7 図に示す第 1 実施形態の補完回折光学素子 A 9 0 d と補完単純透過部 C d とを X 方向に沿って互いに隣接させて配置したパターンを有する。

ここで、単純透過部 C および補完単純透過部 C 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 C および C 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 C 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って、この平面部分は素子 A 9 0 の斜線部で示した凸部分と同じ X Z 面高さにある。また、補完単純透過部 C 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 C d の有効径内においてエッチングした平面部分であって、この平面部分は素子 A 9 0 の空白部で示した凹部分と同じ X Z 面高さにある。すなわち、素子 C の面と素子 C d の面とは、式（1）で示した段差 d を有する関係にある。

素子 C および C d の表面は単純平面状であるため、素子 C または C 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 C を透過

した光束と補完単純透過部 C 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 C 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 C d は単純透過部 C 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、方位角範囲 $\Delta\phi$ が第 1 実施形態と異なる場合には、対応する方位角範囲 $\Delta\phi$ について素子 A 9 0 および A 9 0 d を形成し、これらの素子 A 9 0 および A 9 0 d に素子 C および C d をそれぞれ組み合わせることによって、所望の基本回折光学素子 A 9 0 __ C および補完回折光学素子 A 9 0 __ C d 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 6 実施形態では、素子 A 9 0 および A 9 0 d を透過した光によって所定の方位角成分を有する円弧状の 2 極成分が生成され、同時に素子 C および C 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 4 9 図に示すような 3 極照明を得ることができる。

すなわち、第 6 実施形態の回折光学素子 1 0 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 5 0 図に示すように、2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0 と光軸近傍の点状の照明分布 I L 1 __ C とが形成される。2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0 は素子 A 9 0 および A 9 0 d に対応して生成される円弧状の 2 極成分であり、点状の照明分布 I L 1 __ C は素子 C および C d に対応して生成される 1 極成分である。以下、2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0 と点状の照明分布 I L 1 __ C とを合わせて、2 円弧及び点状の照明分布 I L 1 __ 9 0 __ C と呼ぶことにする。

こうして、第 1 図の光学系において回折光学素子 6 に代えて回折光学素子 1 0 0 を用いる第 6 実施形態では、第 1 実施形態と同様に、マイクロレンズアレイ 8 の入射面において、第 4 9 図に示すように、2 円弧及び点状の照明分布 I L 1 __ 9 0 __ C と、円形状の光束 I L 0 (または正六角形状の光束 I L 0 d) とのコンボリューションからなる 3 極状の照明分布 I L 2 __ 9 0 __ C が形成される。ここで、3 極状の照明分布 I L 2 __ 9 0 __ C は、2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0 と

円形状の光束 $IL0$ とのコンボリューションによる 2 極状の照明分布 $IL2_90$ と、光軸近傍の点状の照明分布 $IL1_C$ と円形状の光束 $IL0$ とのコンボリューションによる 1 極状の照明分布 $IL2_C$ との合成分布である。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 極状の照明分布 $IL2_90_C$ とほぼ同じ光強度分布を有する Z 方向に沿った 3 極状の二次光源が形成される。

また、第 6 実施形態では、第 1 実施形態と同様に、第 1 変倍光学系 5 の倍率および第 2 変倍光学系 7 の焦点距離を変化させることにより、3 極状の照明分布 $IL2_90_C$ のうちの 2 極状の照明分布 $IL2_90$ の光軸 O からの距離 r_c 並びに 2 極状の照明分布 $IL2_90$ の幅 W および 1 極状の照明分布 $IL2_C$ の幅 W をそれぞれ適宜変化させて、所望のパターンを露光するための最適照明条件を実現することが可能である。

なお、基本回折光学素子 $A90_C$ および補完回折光学素子 $A90_Cd$ の変形例として、第 5 3 図に示すような基本回折光学素子 $A90_Cs$ および補完回折光学素子 $A90_Cds$ を用いることも可能である。第 5 3 図に示す変形例では、基本回折光学素子 $A90_Cs$ は、素子 $A90_C$ の $A90$ および C を X 軸に平行な直線によりほぼ半分に切断し、第 5 3 図に示すように互い違いに入れ替えた素子である。同様に、補完回折光学素子 $A90_Cds$ は、素子 $A90_Cd$ の $A90d$ および Cd を X 軸に平行な直線によりほぼ半分に切断し、第 5 3 図に示すように互い違いに入れ替えた素子である。このような配置を有する基本回折光学素子 $A90_Cs$ および補完回折光学素子 $A90_Cds$ を含む回折光学素子を用いることによって、2 極状の照明分布 $IL2_90$ と光軸近傍の 1 極状の照明分布 $IL2_C$ との照明バランスが向上する。同様に、基本回折光学素子 $A90_C$ および補完回折光学素子 $A90_Cd$ の内部パターンをさらに細分化し、2 極成分に対応する $A90$ 、 $A90d$ 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 C 、 Cd 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によって、2 極状の照明分布 $IL2_90$ と

光軸近傍の1極状の照明分布 I L 2 __ C との照明バランスをさらに向上させることができる。

なお、第6実施形態では、基本回折光学素子 A 9 0 と単純透過部 C とが同じ面積を有し、補完回折光学素子 A 9 0 d と補完単純透過部 C 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。この場合、光軸上の1極状の照明分布 I L 2 __ C に含まれる実質的な光エネルギーは、2極状の照明分布 I L 2 __ 9 0 に含まれる実質的な光エネルギーの総和とほぼ等しくなる。

(第7実施形態)

第3実施形態では、回折光学素子 6 3 の作用により、十字型4極状の照明分布 (I L 2 __ 9 0 , I L 2 __ 0) 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 3 に含まれる基本回折光学素子 A 9 0 , A 0 および補完回折光学素子 A 9 0 d , A 0 d に対して新たな単純透過部を付加した基本回折光学素子および補完回折光学素子を採用することによって、5つの照明分布を有する5極状の照明分布 (I L 2 __ 9 0 , I L 2 __ 0 , I L 2 __ C) を形成している。すなわち、第7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3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54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5極状の照野を示す図である。また、第55図は、第7実施形態において5極状の照野および5極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第56図は、第7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57図は、第7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56図に示すように、第7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基本回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C と補完回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C d とで構成されている。基本回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C および補完回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C d は、ともにほぼ正方形形状の外形(境界)を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、基本回折光学素子

A 0 __ 9 0 __ C と補完回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C d とは同数であり、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。

円弧部分の方位角範囲 $\Delta \phi$ が第 3 実施形態と同じ場合、基本回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C は、第 5 7 図に示すように、第 3 実施形態の基本回折光学素子（A 9 0, A 0）と単純透過部 C とを互い違いに配置したパターンを有する。同様に、補完回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C d は、第 5 7 図に示すように、第 3 実施形態の補完回折光学素子（A 9 0 d, A 0 d）と補完単純透過部 C d とを互い違いに配置したパターンを有する。ここで、第 7 実施形態にかかる単純透過部 C および補完単純透過部 C d は、第 6 実施形態における単純透過部 C および補完単純透過部 C d と同じ構成および作用を有する。

なお、方位角範囲 $\Delta \phi$ が第 3 実施形態と異なる場合には、対応する方位角範囲 $\Delta \phi$ について素子（A 9 0, A 0）および（A 9 0 d, A 0 d）を形成し、これらの素子（A 9 0, A 0）および（A 9 0 d, A 0 d）に素子 C および C d をそれぞれ組み合わせることによって、所望の基本回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C および補完回折光学素子 A 0 __ 9 0 __ C d 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 7 実施形態では、素子（A 9 0, A 0）および（A 9 0 d, A 0 d）を透過した光によって所定の方位角成分を有する円弧状の 4 極成分（2 つの 2 極成分）が生成され、同時に素子 C および C 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 5 4 図に示すような 5 極照明を得ることができる。

すなわち、第 7 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 5 5 図に示すように、Z 方向に沿った 2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0 と X 方向に沿った 2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 0 と光軸近傍の点状の照明分布 I L 1 __ C とが形成される。Z 方向に沿った 2 円弧状の照明分布 I L 1 __ 9 0 は素子 A 9 0 および A 9 0 d に

対応して生成される円弧状の 2 極成分であり、X 方向に沿った 2 円弧状の照明分布 $IL1_0$ は素子 $A0$ および $A0d$ に対応して生成される円弧状の 2 極成分であり、点状の照明分布 $IL1_C$ は素子 C および Cd に対応して生成される 1 極成分である。以下、2 円弧状の照明分布 $IL1_90$ と 2 円弧状の照明分布 $IL1_0$ と点状の照明分布 $IL1_C$ とを合わせて、4 円弧及び点状の照明分布 $IL1_0_90_C$ と呼ぶことにする。

こうして、第 1 図の光学系において回折光学素子 6 に代えて回折光学素子 101 を用いる第 7 実施形態では、第 3 実施形態と同様に、マイクロレンズアレイ 8 の入射面において、第 54 図に示すように、4 円弧及び点状の照明分布 $IL1_0_90_C$ と、円形状の光束 $IL0$ (または正六角形状の光束 $IL0d$) とのコンボリューションからなる 5 極状の照明分布 $IL2_0_90_C$ が形成される。ここで、5 極状の照明分布 $IL2_0_90_C$ は、2 円弧状の照明分布 $IL1_90$ と円形状の光束 $IL0$ とのコンボリューションによる 2 極状の照明分布 $IL2_90$ と、2 円弧状の照明分布 $IL1_0$ と円形状の光束 $IL0$ とのコンボリューションによる 2 極状の照明分布 $IL2_0$ と、光軸近傍の点状の照明分布 $IL1_C$ と円形状の光束 $IL0$ とのコンボリューションによる 1 極状の照明分布 $IL2_C$ との合成分布である。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 極状の照明分布 $IL2_0_90_C$ 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。

また、第 7 実施形態では、第 3 実施形態と同様に、第 1 変倍光学系 5 の倍率および第 2 変倍光学系 7 の焦点距離を変化させることにより、5 極状の照明分布 $IL2_0_90_C$ のうちの 2 極状の照明分布 $IL2_90$, $IL2_0$ の光軸 O からの距離 r_c 並びに 2 極状の照明分布 $IL2_90$, $IL2_0$ の幅 W および 1 極状の照明分布 $IL2_C$ の幅 W をそれぞれ適宜変化させて、所望のパターンを露光するための最適照明条件を実現することが可能である。

なお、第 7 実施形態においても第 6 実施形態と同様に、基本回折光学素子 $A0_90_C$ および補完回折光学素子 $A0_90_Cd$ の内部パターンをさらに細分化し、2 極成分に対応する $A90$, $A90d$, $A0$, $A0d$ 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C, C dの領域を細分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によって、2極状の照明分布 I L 2 __ 9 0 と2極状の照明分布 I L 2 __ 0 と光軸近傍の1極状の照明分布 I L 2 __ C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、基本回折光学素子A 9 0, A 0 と単純透過部Cとが同じ面積を有し、補完回折光学素子A 9 0 d, A 0 dと補完単純透過部C 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。この場合、光軸上の1極状の照明分布 I L 2 __ Cに含まれる実質的な光エネルギーは、2極状の照明分布 I L 2 __ 9 0 と I L 2 __ 0 とに含まれる実質的な光エネルギーの総和とほぼ等しくなる。

(第8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、X字型4極状の照明分布 I L 2 __ Xを形成している。これに対し、第8実施形態では、回折光学素子6 4に含まれる基本回折光学素子A + 4 5, A - 4 5および補完回折光学素子A + 4 5 d, A - 4 5 dに対して新たな単純透過部を付加した基本回折光学素子および補完回折光学素子を採用することによって、5つの照明分布を有する5極状の照明分布 (I L 2 __ X, I L 2 __ C)を形成している。すなわち、第8実施形態も第7実施形態と同様に、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4実施形態との相違点に着目して、第8実施形態を説明する。

第5 8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5極状の照野を示す図である。また、第5 9図は、第8実施形態において5極状の照野および5極状の二次光源が形成される原理を説明する図である。さらに、第6 0図は、第8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6 1図は、第8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6 0図に示すように、第8実施形態における5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基本回折光学素子A X __ Cと補完回折

光学素子 AX_Cd とで構成されている。基本回折光学素子 AX_C および補完回折光学素子 AX_Cd は、ともにほぼ正方形形状の外形（境界）を有し、互いにほぼ同じ大きさを有する。また、基本回折光学素子 AX_C と補完回折光学素子 AX_Cd とは同数であり、回折光学素子 102 の矩形状の有効領域（有効径）102a の全体に亘ってランダム配置されるか、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。

円弧部分の方位角範囲 $\Delta\phi$ が第4実施形態と同じ場合、基本回折光学素子 AX_C は、第61図に示すように、第4実施形態の基本回折光学素子（ $A+45$ ， $A-45$ ）と単純透過部 C とを互い違いに配置したパターンを有する。同様に、補完回折光学素子 AX_Cd は、第61図に示すように、第4実施形態の補完回折光学素子（ $A+45d$ ， $A-45d$ ）と補完単純透過部 Cd とを互い違いに配置したパターンを有する。ここで、第8実施形態にかかる単純透過部 C および補完単純透過部 Cd は、第6実施形態における単純透過部 C および補完単純透過部 Cd と同じ構成および作用を有する。

なお、方位角範囲 $\Delta\phi$ が第4実施形態と異なる場合には、対応する方位角範囲 $\Delta\phi$ について素子（ $A+45$ ， $A-45$ ）および（ $A+45d$ ， $A-45d$ ）を形成し、これらの素子（ $A+45$ ， $A-45$ ）および（ $A+45d$ ， $A-45d$ ）に素子 C および Cd をそれぞれ組み合わせることによって、所望の基本回折光学素子 AX_C および補完回折光学素子 AX_Cd 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8実施形態では、素子（ $A+45$ ， $A-45$ ）および（ $A+45d$ ， $A-45d$ ）を透過した光によって所定の方位角成分を有する円弧状の4極成分が生成され、同時に素子 C および Cd 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58図に示すような5極照明を得ることができる。

すなわち、第8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59図に示すように、4円弧状の照明分布 $IL1_X$ と光軸近傍の点状の照明分布 $IL1_C$ と

が形成される。4円弧状の照明分布 $IL1_X$ は素子 ($A+45$, $A-45$, $A+45d$, $A-45d$) に対応して生成される円弧状の4極成分であり、点状の照明分布 $IL1_C$ は素子CおよびCdに対応して生成される1極成分である。以下、4円弧状の照明分布 $IL1_X$ と点状の照明分布 $IL1_C$ とを合わせて、4円弧及び点状の照明分布 $IL1_X_C$ と呼ぶことにする。

こうして、第1図の光学系において回折光学素子6に代えて回折光学素子102を用いる第8実施形態では、第4実施形態と同様に、マイクロレンズアレイ8の入射面において、第59図に示すように、4円弧及び点状の照明分布 $IL1_X_C$ と、円形状の光束 $IL0$ (または正六角形状の光束 $IL0d$) とのコンボリューションからなる5極状の照明分布 $IL2_X_C$ が形成される。ここで、5極状の照明分布 $IL2_X_C$ は、4円弧状の照明分布 $IL1_X$ と円形状の光束 $IL0$ とのコンボリューションによる4極状の照明分布 $IL2_X$ と、光軸近傍の点状の照明分布 $IL1_C$ と円形状の光束 $IL0$ とのコンボリューションによる1極状の照明分布 $IL2_C$ との合成分布である。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極状の照明分布 $IL2_X_C$ 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。

また、第8実施形態では、第4実施形態と同様に、第1変倍光学系5の倍率および第2変倍光学系7の焦点距離を変化させることにより、5極状の照明分布 $IL2_X_C$ のうちの4極状の照明分布 $IL2_X$ の光軸Oからの距離 r_c 並びに4極状の照明分布 $IL2_X$ の幅Wおよび1極状の照明分布 $IL2_C$ の幅Wをそれぞれ適宜変化させて、所望のパターンを露光するための最適照明条件を実現することが可能である。

なお、第8実施形態においても第6実施形態および第7実施形態と同様に、基本回折光学素子 AX_C および補完回折光学素子 AX_Cd の内部パターンをさらに細分化し、4極成分に対応する AX (すなわち $A+45$, $A-45$) および AXd (すなわち $A+45d$, $A-45d$) 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C, Cd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によって、4極状の照明分布 $IL2_X$ と光軸近傍の1極状の照明分布 $IL2_C$ との照明バランスを向上させることができる。また、第8実施形態では、基本回折光学素子 $A+45$ 、 $A-45$ と単純透過部 C とが同じ面積を有し、補完回折光学素子 $A+45d$ 、 $A-45d$ と補完単純透過部 Cd とが同じ面積を有するように設定することが望ましい。この場合、光軸上の1極状の照明分布 $IL2_C$ に含まれる実質的な光エネルギーは、4極状の照明分布 $IL2_X$ に含まれる実質的な光エネルギーの総和とほぼ等しくなる。

また、第5実施形態では回折光学素子66の作用により8極状の照明分布を形成しているが、この第5実施形態に対して第6実施形態～第8実施形態と同様の手法を適用することにより、9極状の照明分布を形成することができることは明らかである。

また、上述の第6実施形態～第8実施形態では、仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲に対応して取り出され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と、実質的に偏向作用のない単純透過部と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、第1から第5実施形態に関する変形例と同様に仮想的な回転対称屈折面から所定の方位角範囲に対応して取り出された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と、実質的に偏向作用のない単純透過部と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。

また、第1から第8実施形態および変形例で説明した回折光学素子の表面パターン形状から該回折光学素子の透過光複素振幅を算出することが可能であるが、その算出結果に基づいて、回折光学素子とほぼ同様の光複素振幅を発生するように表面形状を設定した屈折光学素子を実現し、該回折光学素子の代わりに使用することも可能である。

また、上述の各実施形態および変形例では、第8図に示すようなリング間隔が等間隔のリング状回折光学素子パターンに基づいて基本回折光学素子を構成して

いるが、これに限定されることなく、たとえば第62図に示すようなリング間隔が非等間隔でパワーを有するリング状回折光学素子パターン（フレネルゾーンプレート：第46C図を参照）に基づいて基本回折光学素子を構成することもできる。この場合には、例えば第3図の2円弧状の照明分布IL1__90として、円弧線状の光強度分布ではなく、半径方向に所定の幅を有する円弧帯状の光強度分布を発生させることができる。

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、仮想的なリング状回折光学素子パターンとして、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5実施形態に関する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5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6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47図のフローチャートを参照して説明する。

まず、第47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48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48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形成工程402へ移行する。

次に、カラーフィルタ形成工程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の組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルタを形成する。そして、カラーフィルタ形成工程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形成工程402にて得られたカラーフィルタ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形成工程402にて得られたカラーフィルタ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(または屈折光学素子)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各種の複数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(または屈折光学素子)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. 仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲に対応して取り出され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ていることを特徴とする回折光学素子。
2. 仮想的なリング状回折光学素子パターンから所定の方位角範囲に対応して取り出され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と、実質的に偏向作用のない単純透過部とを有する基本回折光学素子を備えていることを特徴とする回折光学素子。
3. 請求の範囲第1項または第2項に記載の回折光学素子において、
前記所定の方位角範囲の中心は、前記仮想的なリング状回折光学素子パターンの中心と一致していることを特徴とする回折光学素子。
4. 請求の範囲第1項乃至第3項のいずれか1項に記載の回折光学素子において、
前記仮想的なリング状回折光学素子パターンは、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、
前記回折光学素子は、前記基本回折光学素子を複数個備えてい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、 n 種類（ n は1以上の整数）の補完回折光学素子を備え、
第 i 補完回折光学素子（ $i = 1 \sim n$ ）は、前記基本回折光学素子が発生する光
振幅に対して i 番目の位相差を持った光振幅を発生するパターンを有することを
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、

前記回折光学素子は、複数の補完回折光学素子を備え、

前記 i 番目の位相差はほぼ等間隔で変化していることを特徴とする回折光学素子。

8. 請求の範囲第7項に記載の回折光学素子において、

前記基本回折光学素子と前記第 i 補完回折光学素子との前記 i 番目の位相差は、
ほぼ $i / (n + 1)$ 波長であることを特徴とする回折光学素子。

9. 請求の範囲第6項乃至第8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、複数の前記基本回折光学素子と、複数の前記第 i 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。

10. 請求の範囲第9項に記載の回折光学素子において、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の第 i 補完回折光学素子とはすべての
 i について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、

前記複数の基本回折光学素子と前記複数の第 i 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。

1 2. 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第 i 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。

1 3. 請求の範囲第 12 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基本回折光学素子と前記複数の第 i 補完回折光学素子とはすべての i についてほぼ同数であることを特徴とする回折光学素子。

1 4. 請求の範囲第 12 項または第 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。

1 5. 請求の範囲第 1 項乃至第 14 項のいずれか 1 項に記載の回折光学素子において、

前記基本回折光学素子は、前記仮想的なリング状回折光学素子パターンから第 1 の方位角範囲に対応して取り出され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第 1 方位基本回折光学素子と、前記第 1 の方位角範囲とは異なる第 2 の方位角範囲に対応して前記仮想的なリング状回折光学素子パターンから取り出され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第 2 方位基本回折光学素子とを有することを特徴とする回折光学素子。

1 6. 請求の範囲第 15 項に記載の回折光学素子において、

前記第 1 方位基本回折光学素子が発生する光振幅に対して i 番目の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 方位第 i 補完回折光学素子と、前記第 2 方位基本回折光学素子が発生する光振幅に対して j 番目 ($j = 1 \sim m$) の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 方位第 j 補完回折光学素子

と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1項乃至第16項のいずれか1項に記載の回折光学素子において、

前記基本回折光学素子および前記補完回折光学素子は矩形形状の外形を有することを特徴とする回折光学素子。

18. 仮想的な回転対称屈折面から所定の方位角範囲に対応して取り出された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ていることを特徴とする屈折光学素子。

19. 仮想的な回転対称屈折面から所定の方位角範囲に対応して取り出された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と、実質的に偏向作用のない単純透過部とを有する基本屈折素子を備えていることを特徴とする屈折光学素子。

20. 請求の範囲第18項または第19項に記載の屈折光学素子において、

前記所定の方位角範囲の中心は、前記仮想的な回転対称屈折面の中心と一致していることを特徴とする屈折光学素子。

21. 請求の範囲第18項乃至第20項のいずれか1項に記載の屈折光学素子において、

前記屈折光学素子は、前記基本屈折素子を複数個備えていることを特徴とする屈折光学素子。

22. 請求の範囲第18項乃至第21項のいずれか1項に記載の屈折光学素子において、

前記基本屈折素子は、前記仮想的な回転対称屈折面から第1の方位角範囲に対

応して取り出された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第 1 方位基本屈折素子と、前記第 1 の方位角範囲とは異なる第 2 の方位角範囲に対応して前記仮想的な回転対称屈折面から取り出された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第 2 方位基本屈折素子とを有することを特徴とする屈折光学素子。

23. 請求の範囲第 18 項乃至第 22 項のいずれか 1 項に記載の屈折光学素子において、

前記基本屈折素子はともに矩形形状の外形を有することを特徴とする屈折光学素子。

24. 被照射面を照明する照明光学装置において、

複数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、入射光束を所定の断面形状の光束に変換するための請求の範囲第 1 項乃至第 17 項のいずれか 1 項に記載の回折光学素子または請求の範囲第 18 項乃至第 23 項のいずれか 1 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。

25. 請求の範囲第 24 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、複数極状の照野を第 2 の所定面上に形成するために前記回折光学素子または前記屈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前記被照射面へ導くための導光

光学系とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

26. 請求の範囲第25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、

前記回折光学素子または前記屈折光学素子は、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または基本屈折素子が複数個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。

27. 請求の範囲第24項乃至第26項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

前記回折光学素子または前記屈折光学素子は、第1の複数極状の二次光源を形成するための第1回折光学素子または第1屈折光学素子と、前記第1の複数極状の二次光源とは異なる第2の複数極状の二次光源を形成するための第2回折光学素子または第2屈折光学素子とを有することを特徴とする照明光学装置。

28. 請求の範囲第24項乃至第27項のいずれか1項に記載の照明光学装置において、

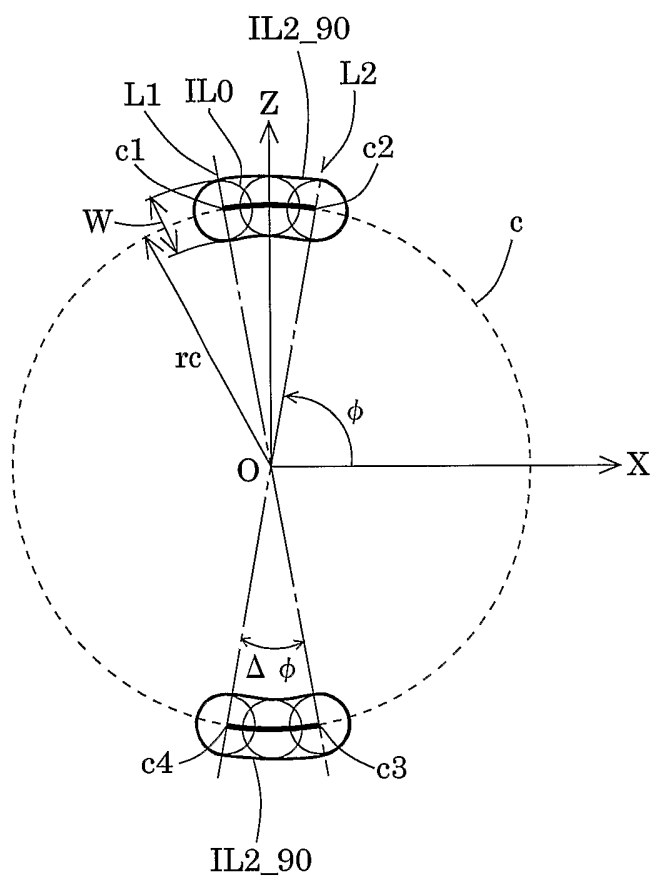
前記複数極状の二次光源は、2極状の二次光源、3極状の二次光源、4極状の二次光源、5極状の二次光源、8極状の二次光源、または9極状の二次光源であることを特徴とする照明光学装置。

29. 請求の範囲第24項乃至第28項のいずれか1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。

30. 請求の範囲第24項乃至第28項のいずれか1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。

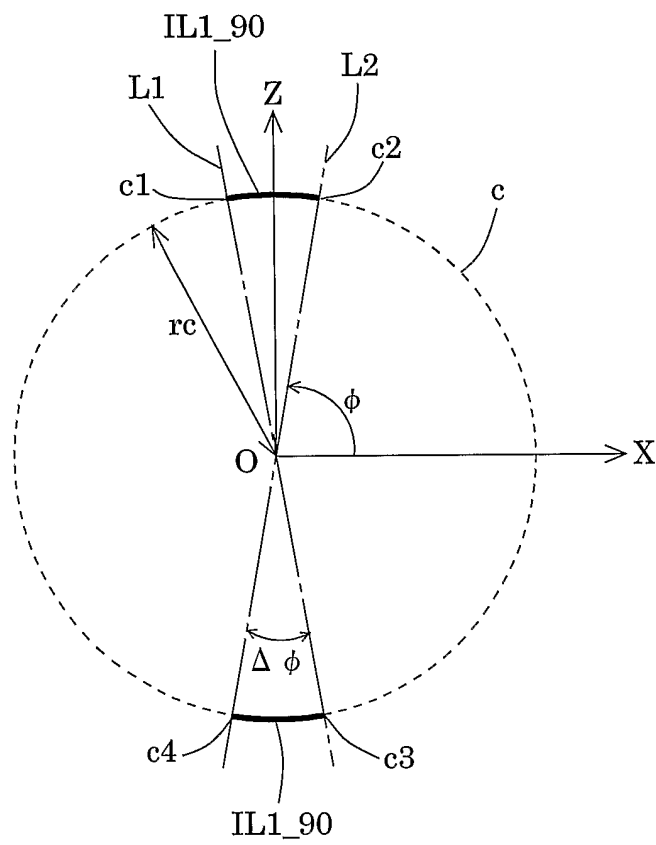
2 / 6 2

第 2 図

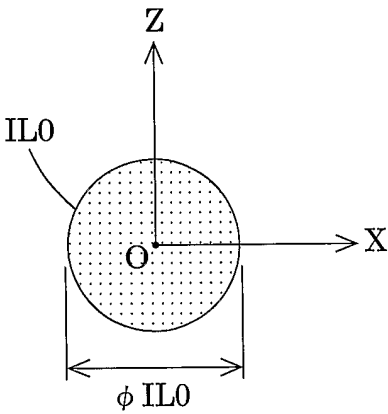


3 / 6 2

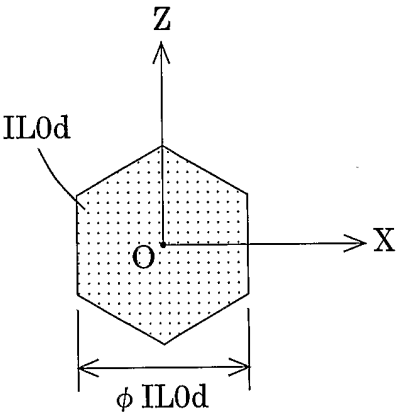
第 3 図



第 4 A 図

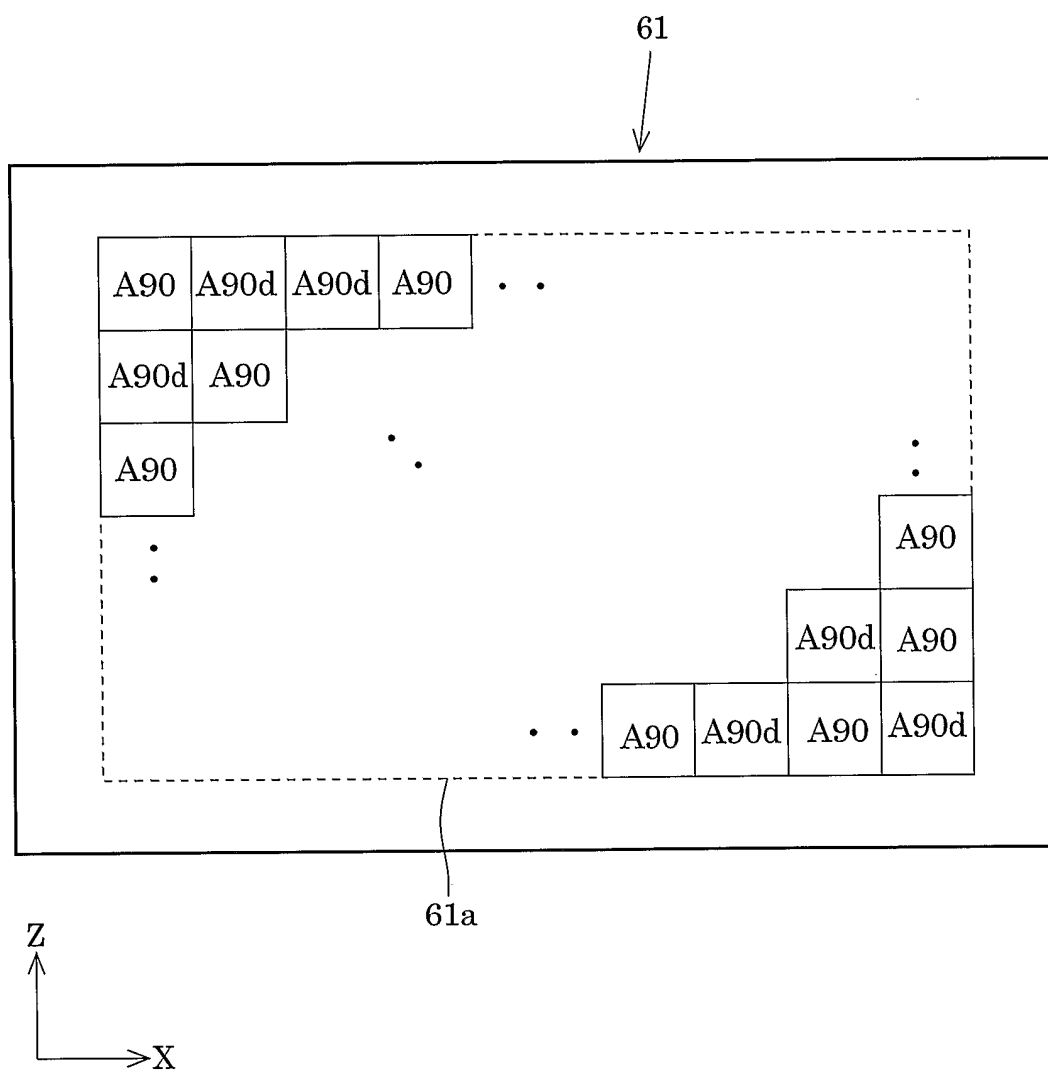


第 4 B 図

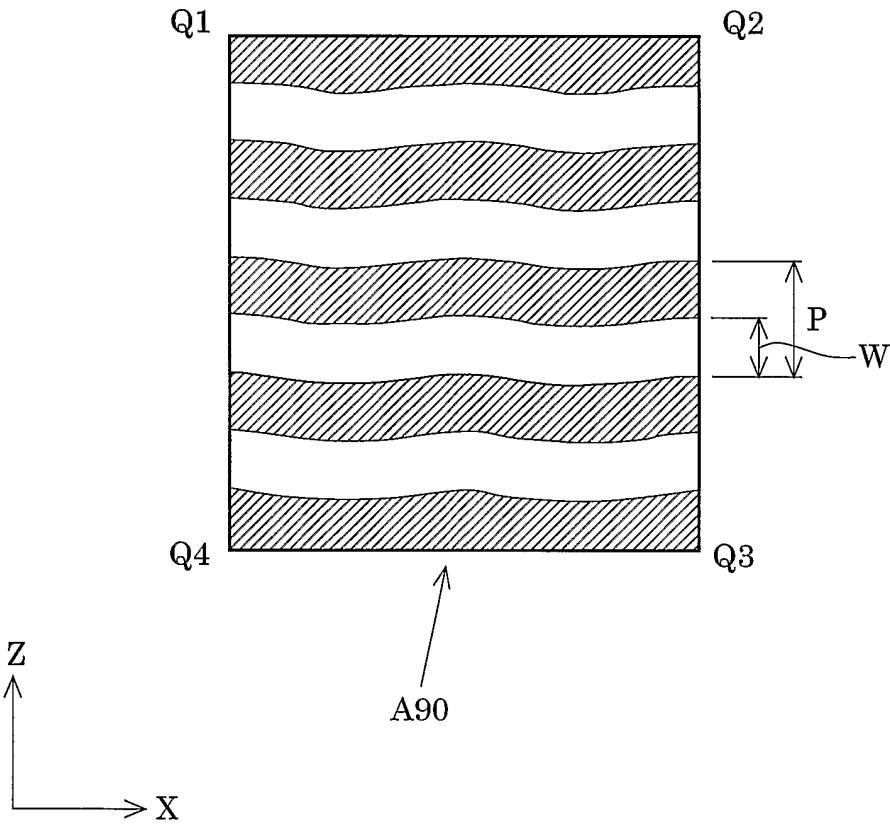


$5 / 6 \ 2$

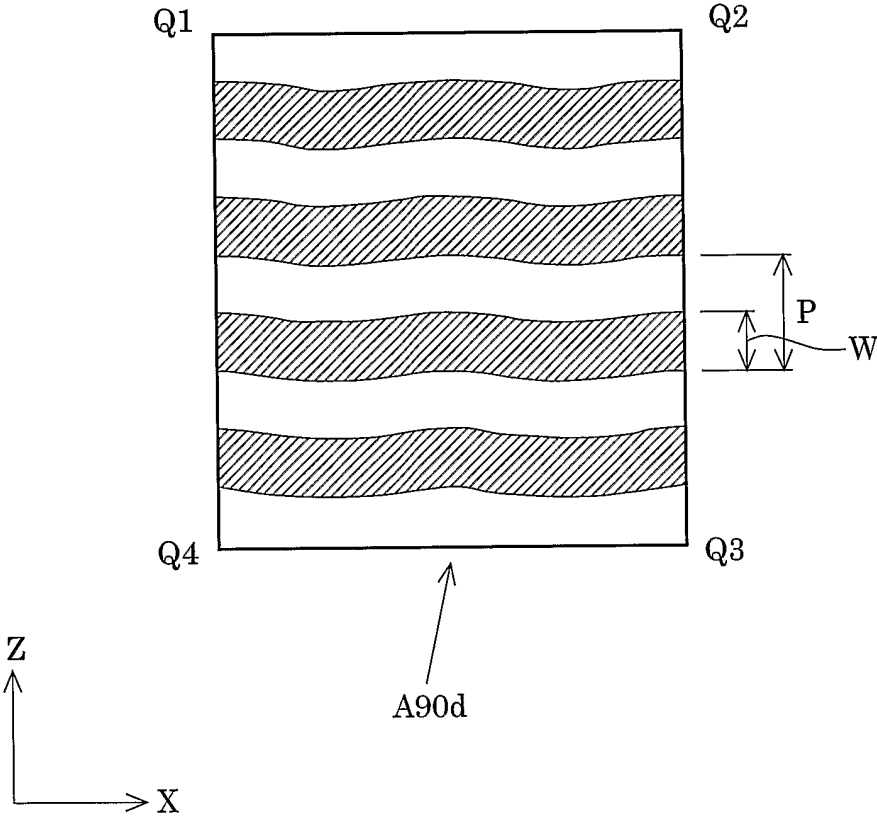
第 5 図



6 / 6 2
第 6 図

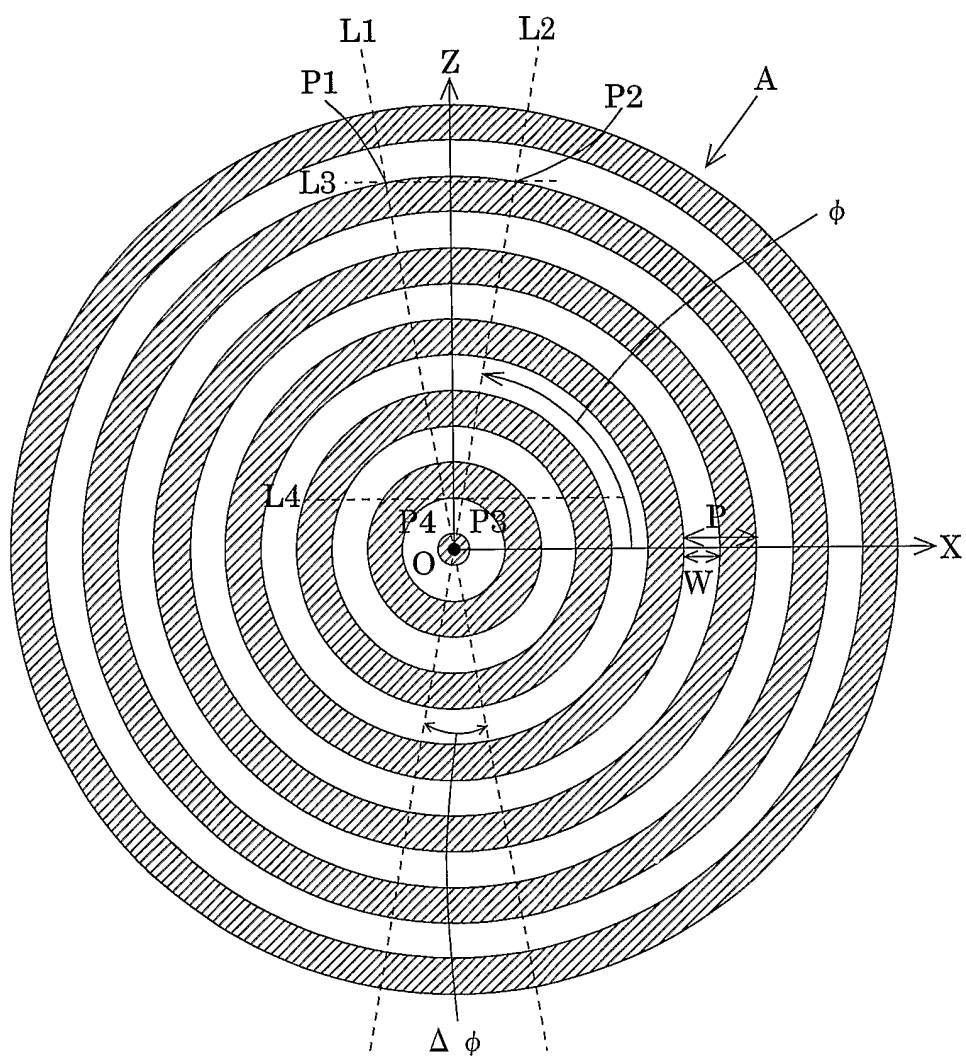


7 / 6 2
第 7 図



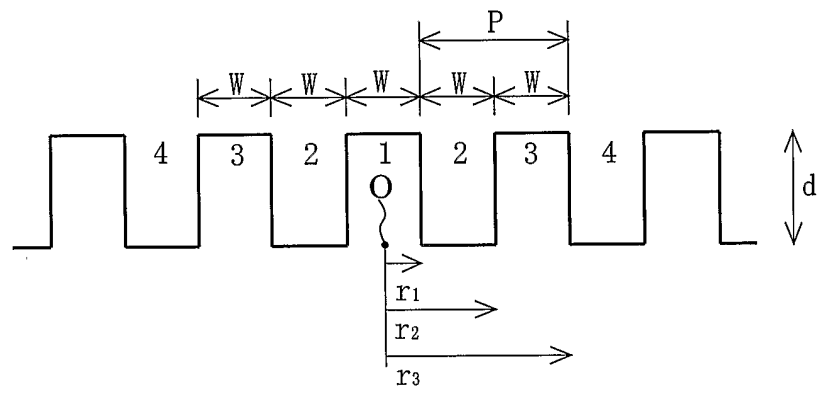
8 / 6 2

第 8 図



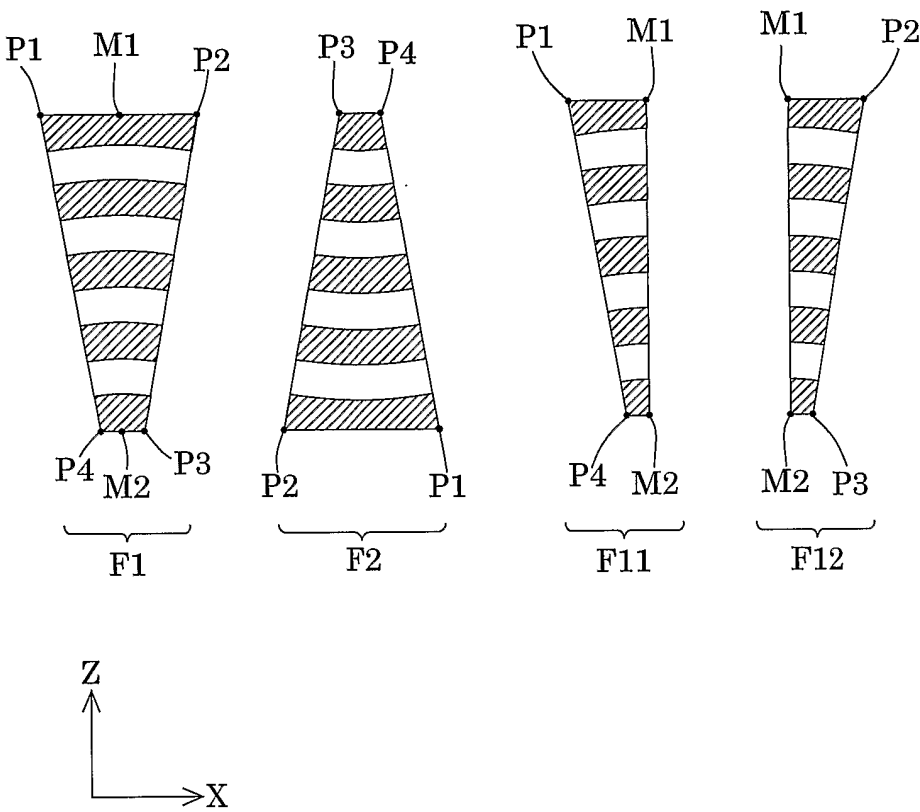
9 / 6 2

第 9 図



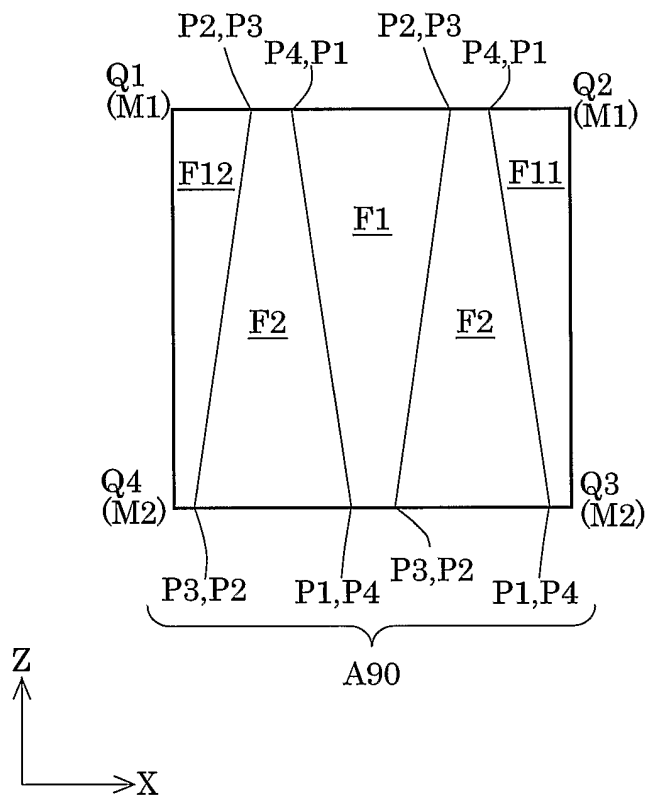
1 0 / 6 2

第 1 0 図



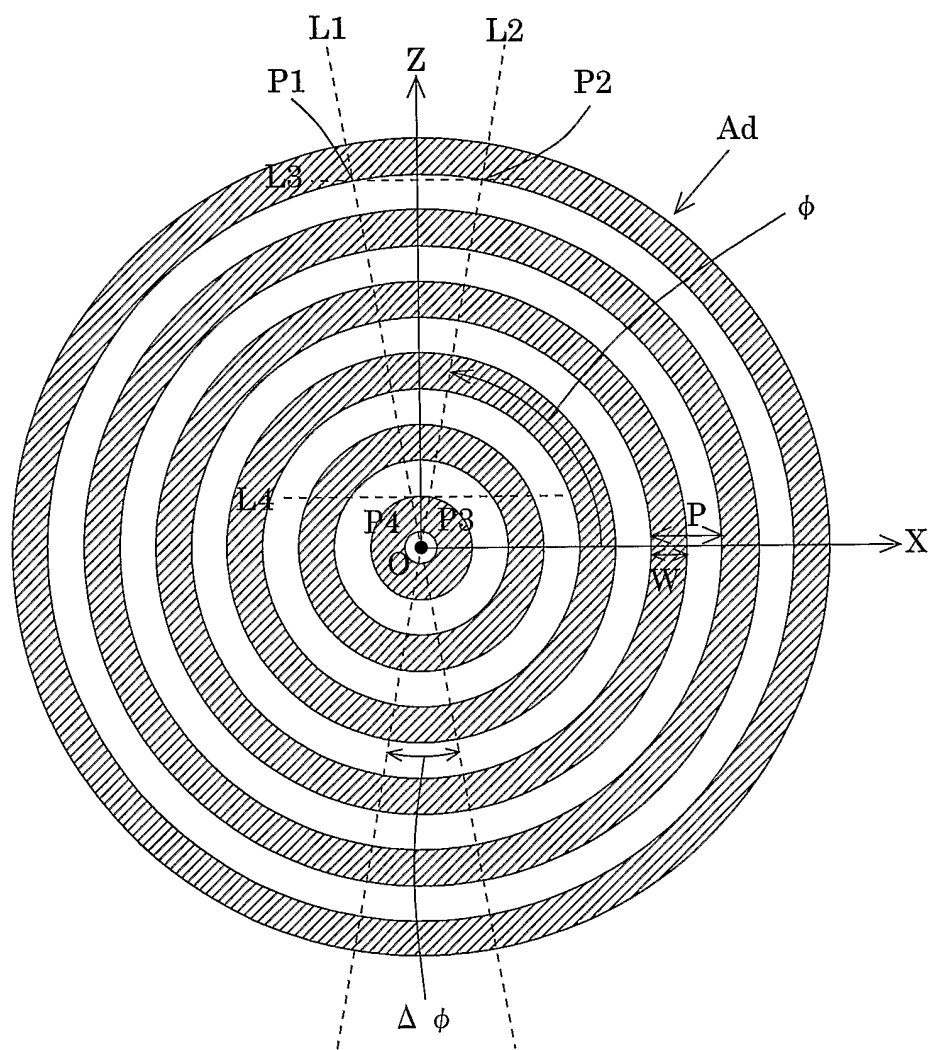
1 1 / 6 2

第 1 1 図



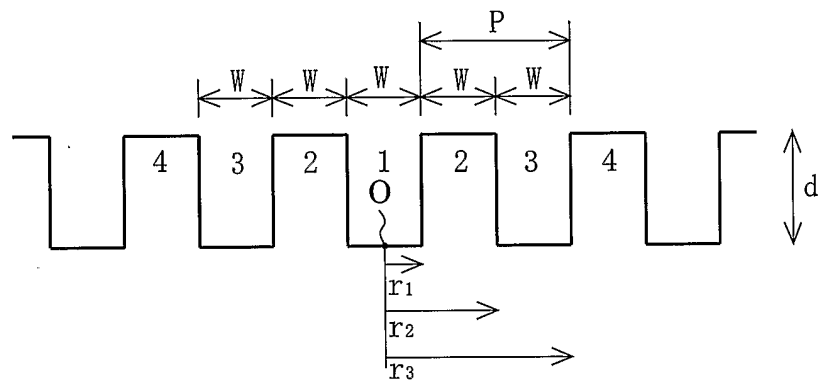
1 2 / 6 2

第 1 2 図

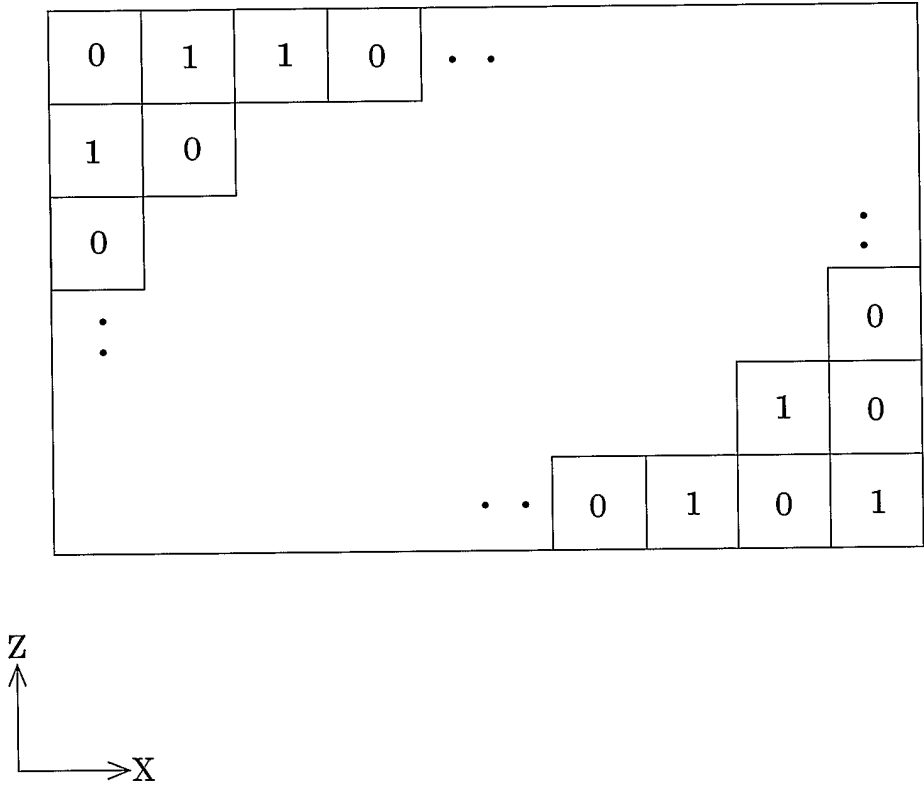


1 3 / 6 2

第 1 3 図

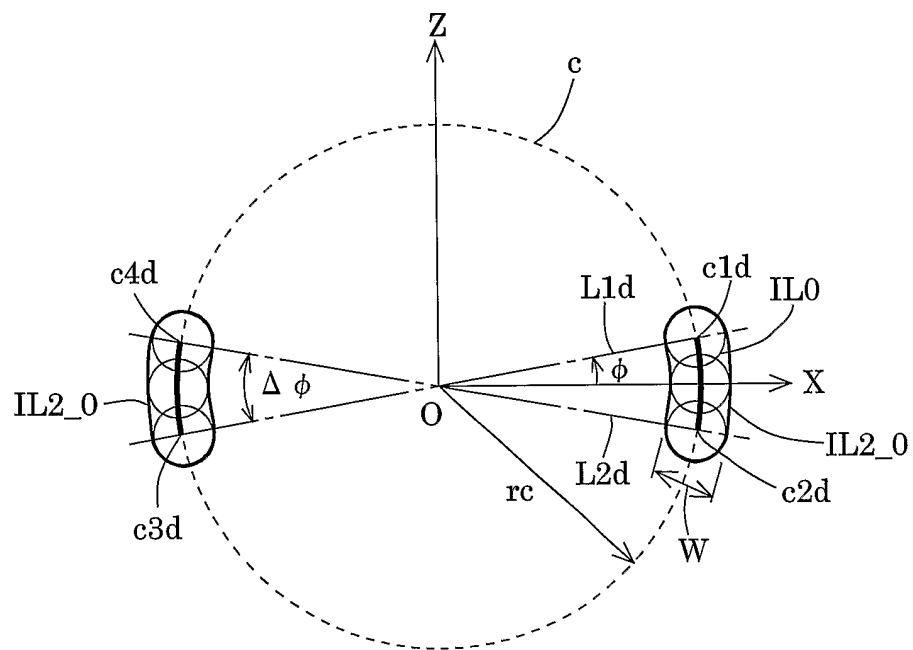


1 4 / 6 2
第 1 4 図



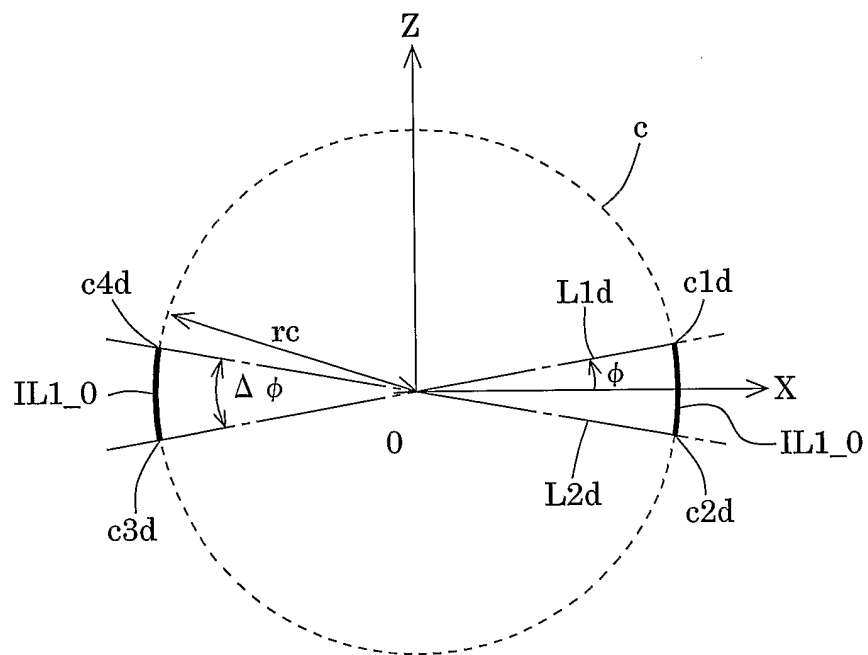
1 5 / 6 2

第 1 5 図



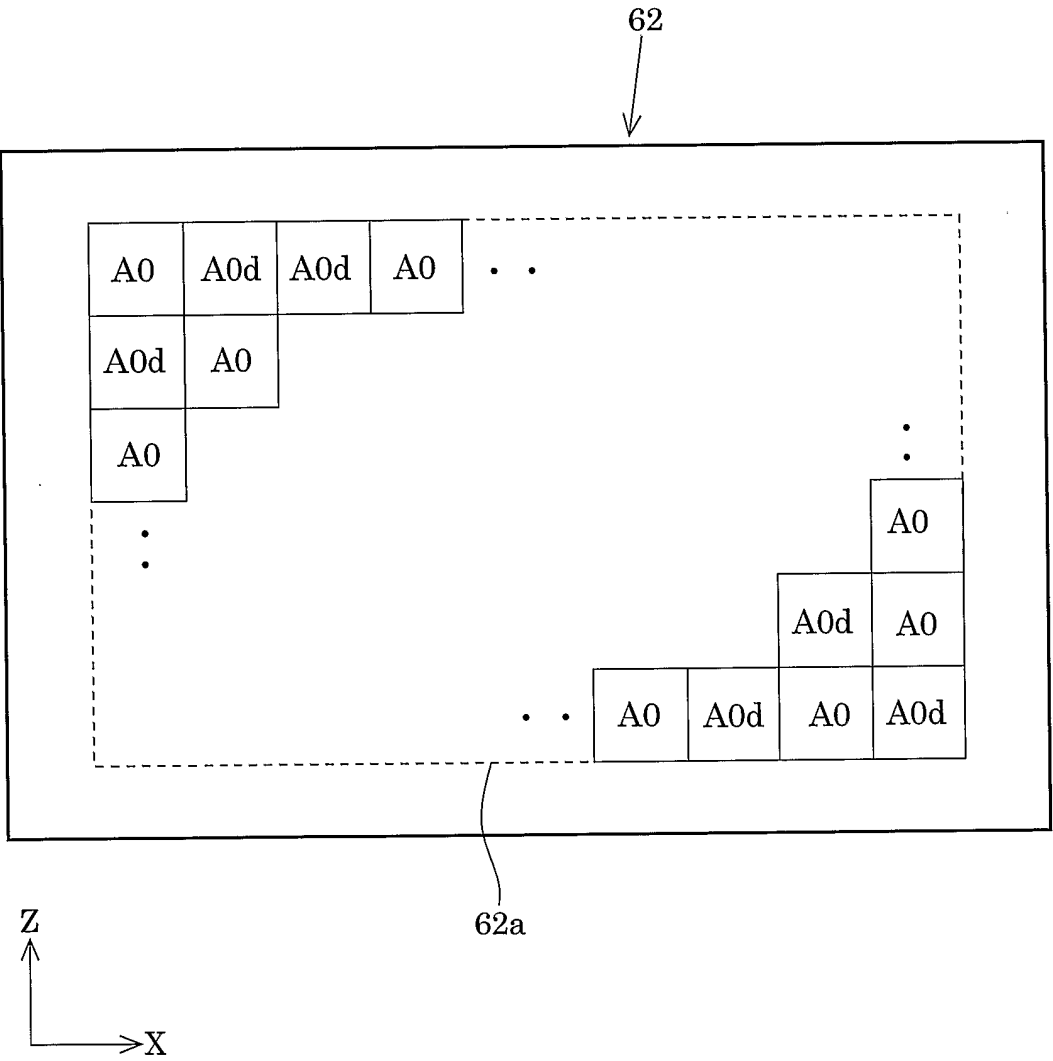
1 6 / 6 2

第 1 6 図



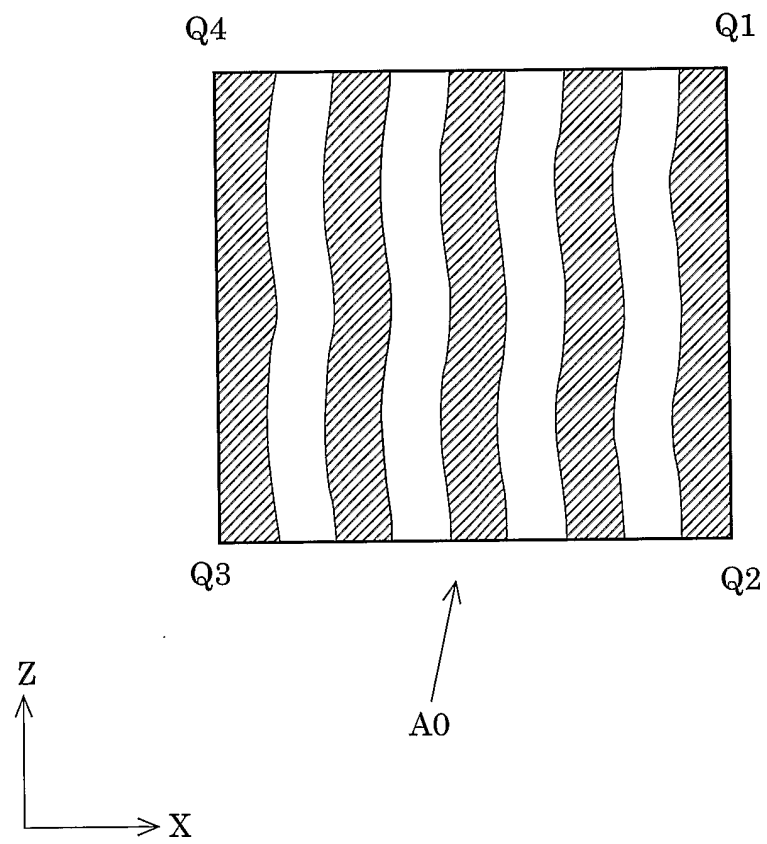
1 7 / 6 2

第 1 7 図

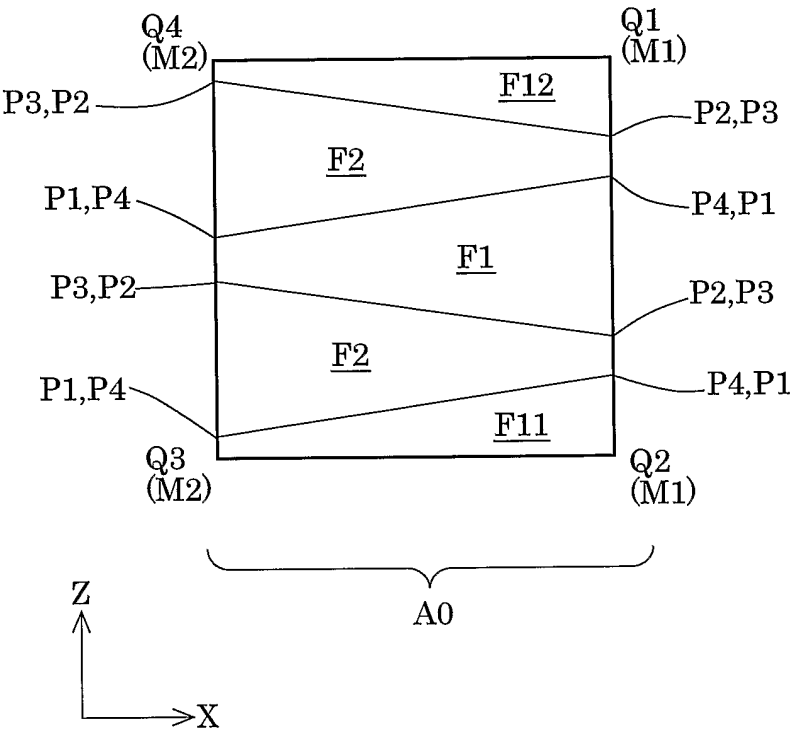


1 8 / 6 2

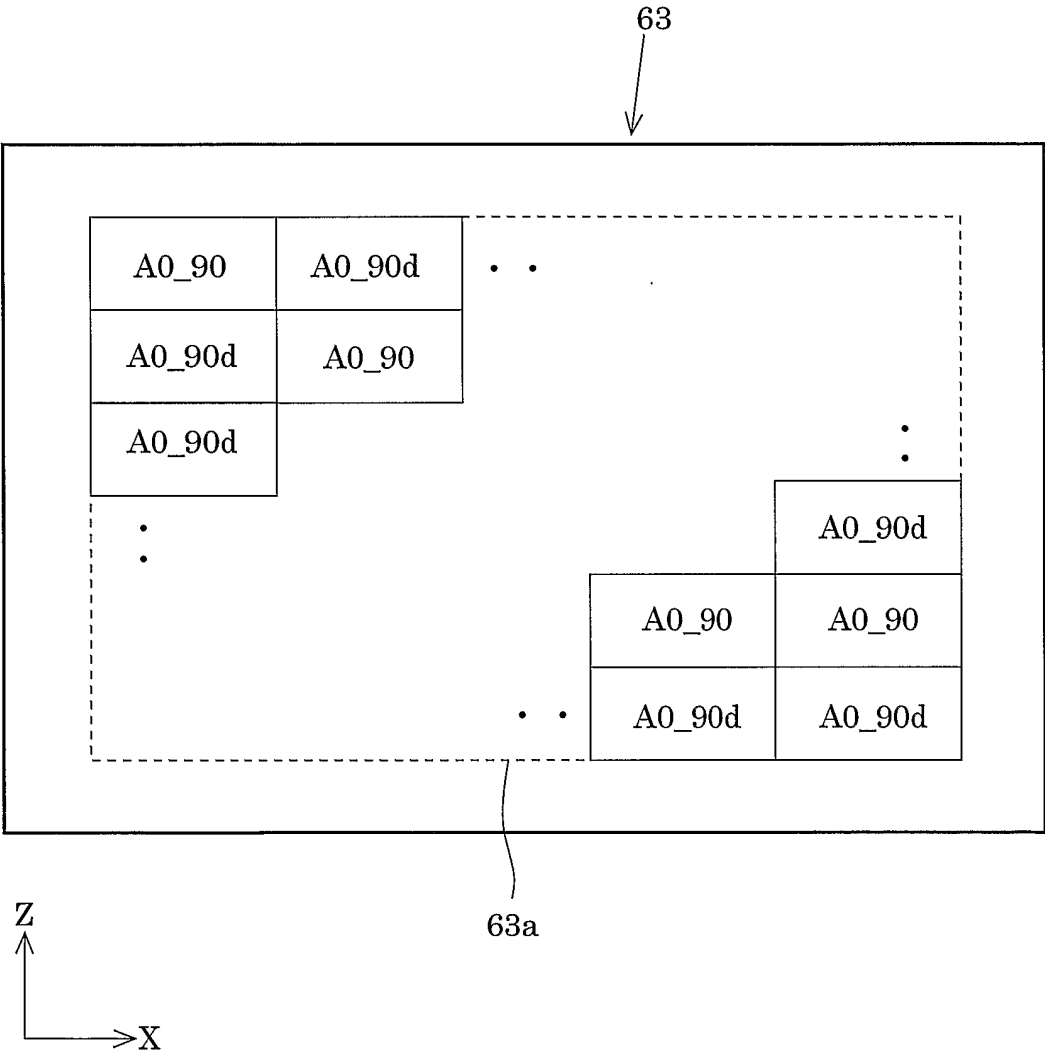
第 1 8 図



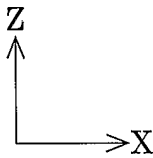
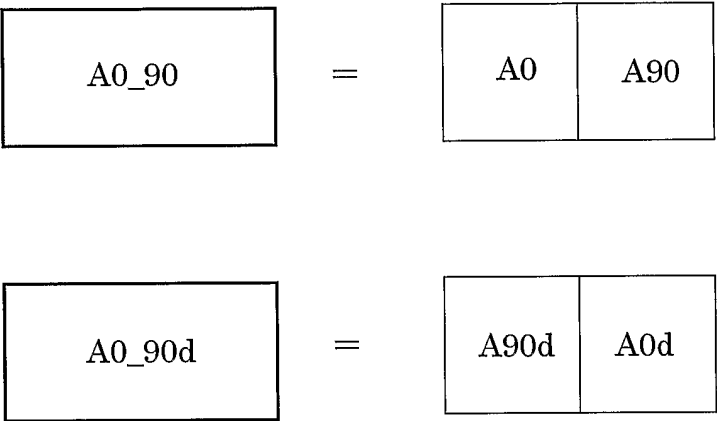
1 9 / 6 2
第 1 9 図



2 2 / 6 2
第 2 2 図

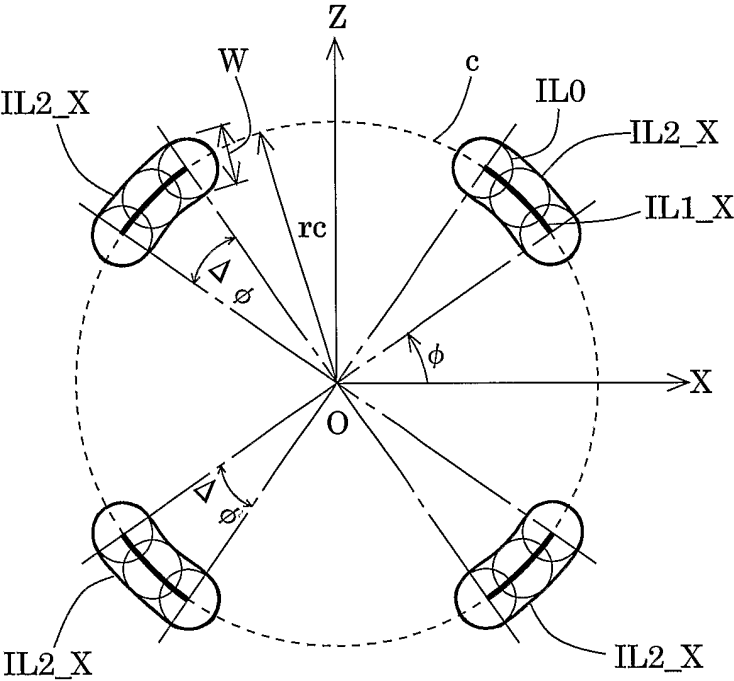


2 3 / 6 2
第 2 3 図



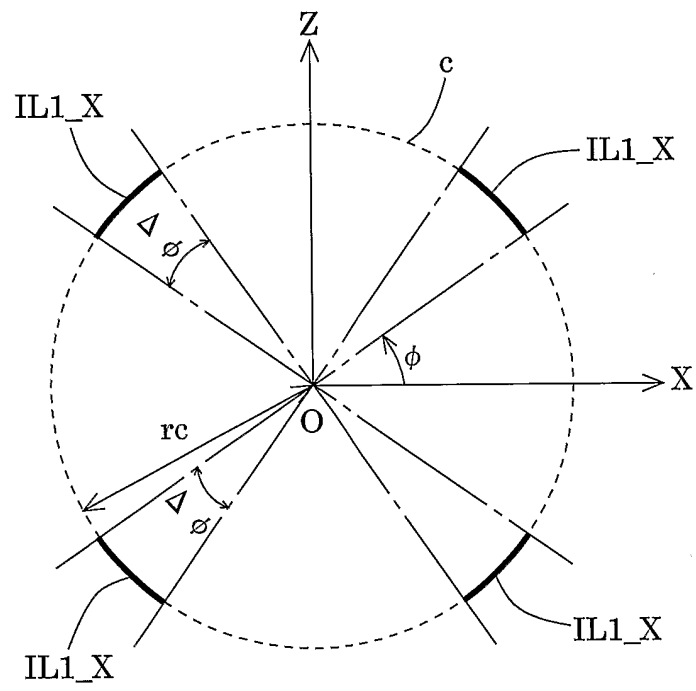
2 4 / 6 2

第 2 4 図



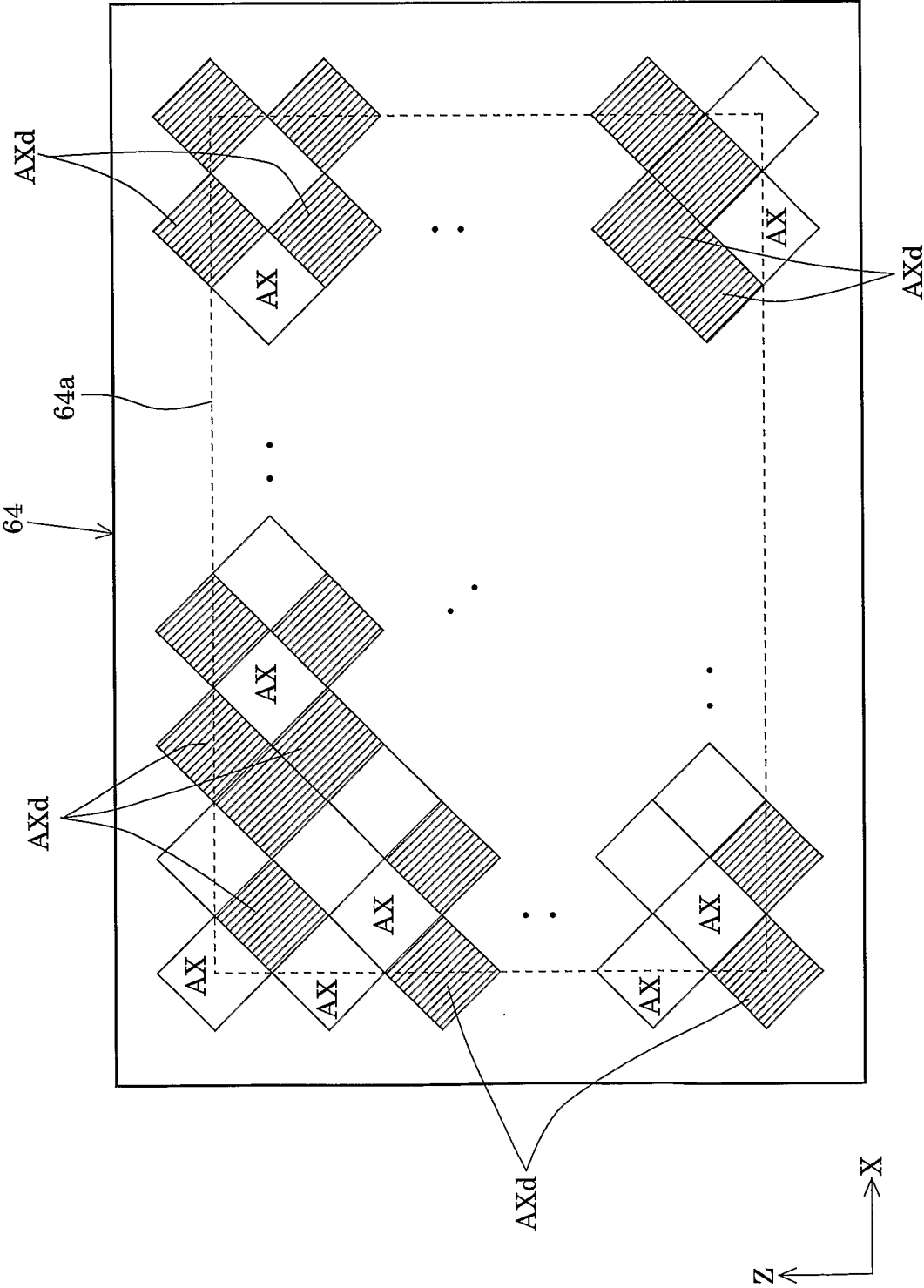
25 / 62

第 25 図

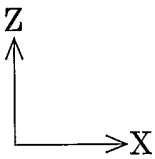
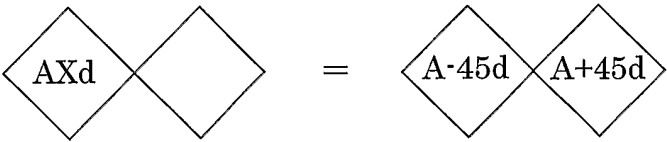
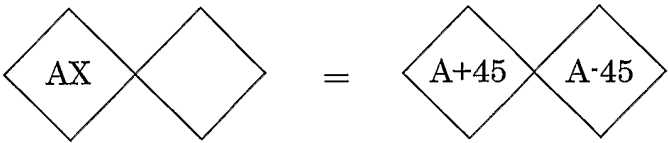


26 / 62

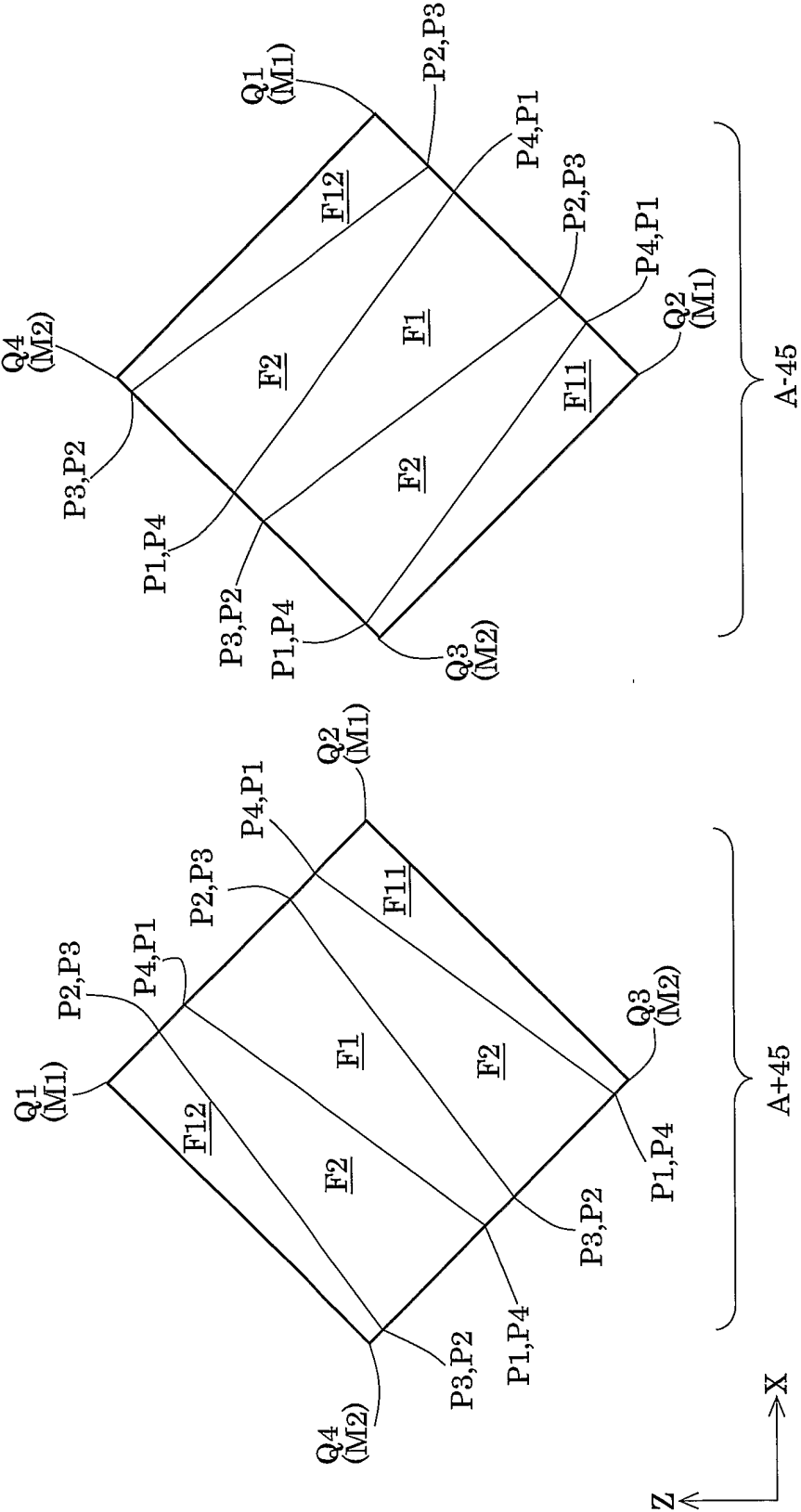
第 26 図



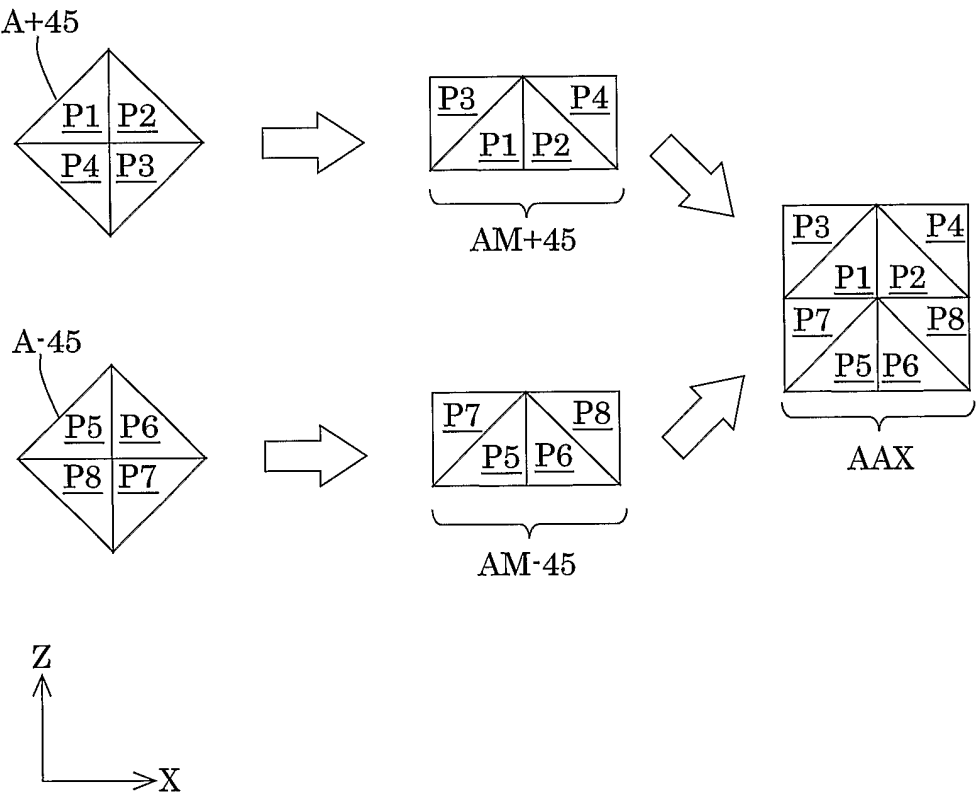
2 7 / 6 2
第 2 7 図



第 2 8 図

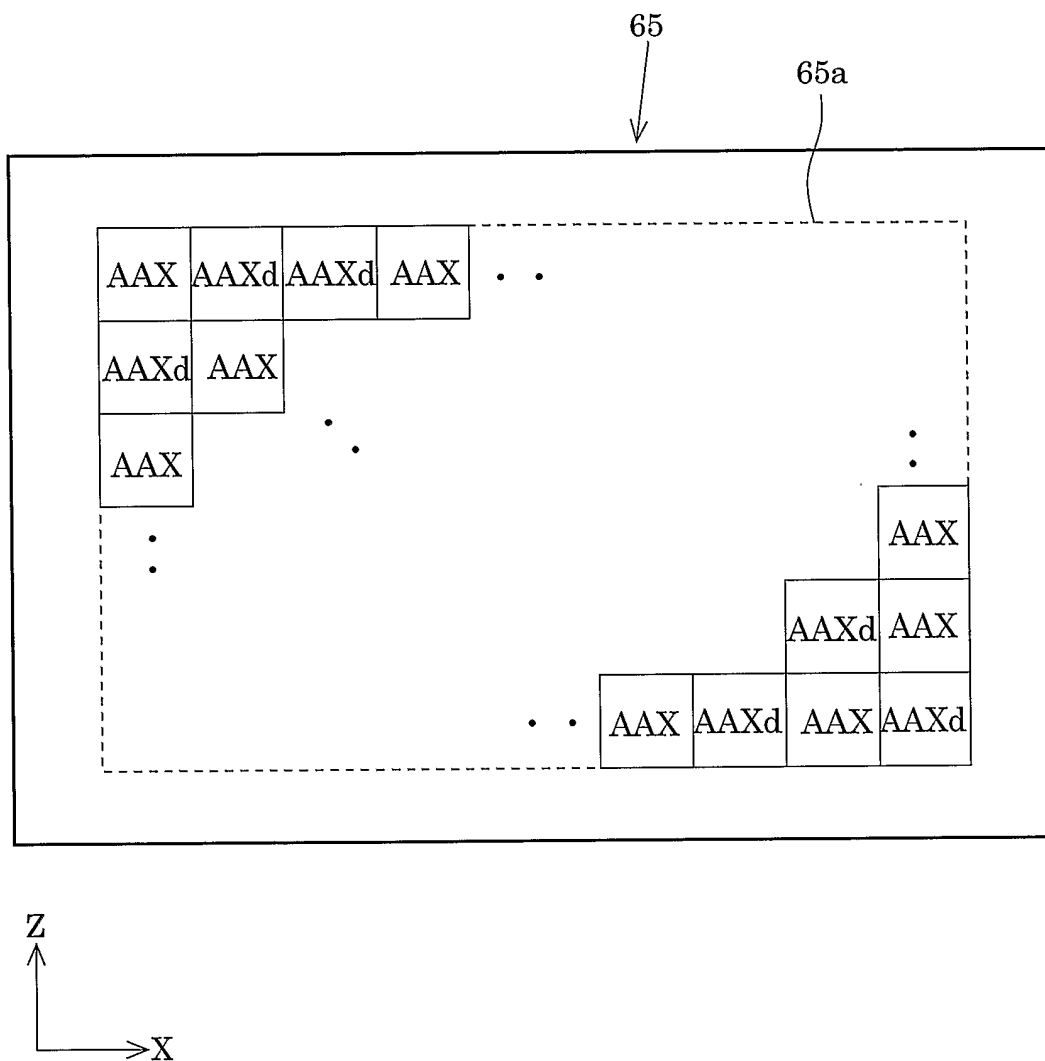


2 9 / 6 2
第 2 9 図



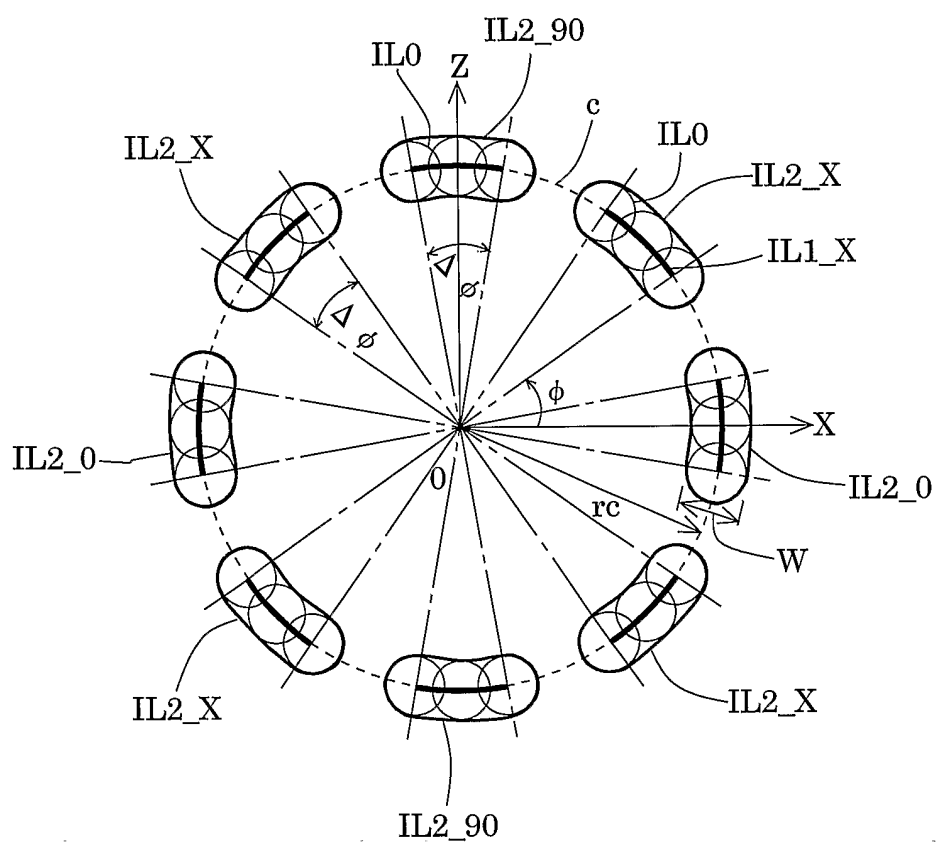
$30 \div 62$

第 30 図



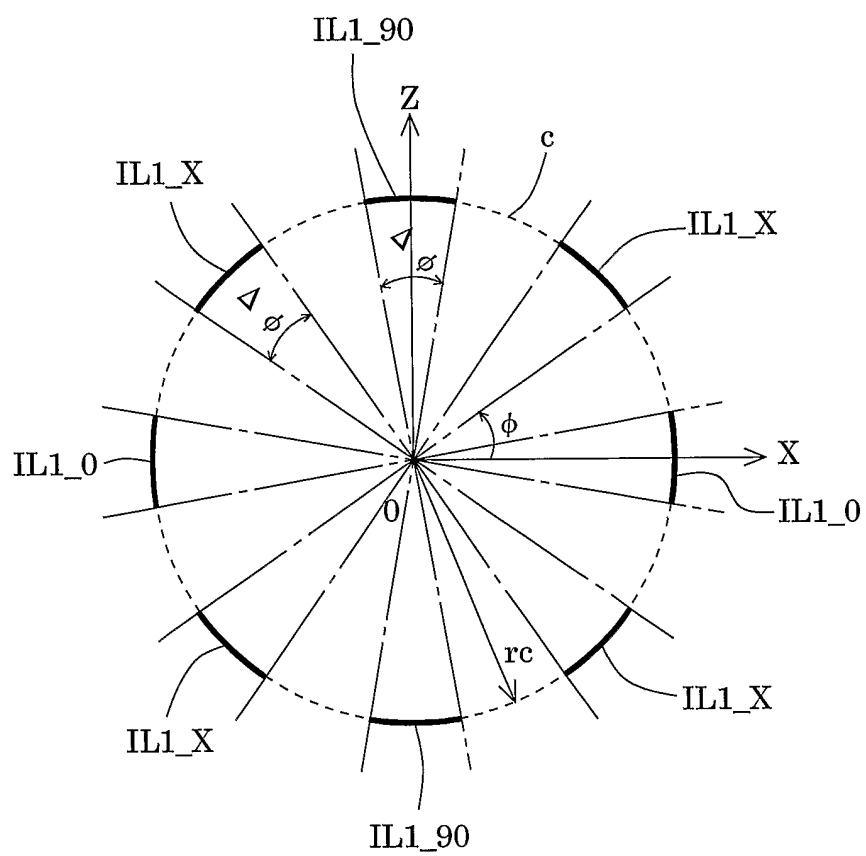
3 1 / 6 2

第 3 1 図

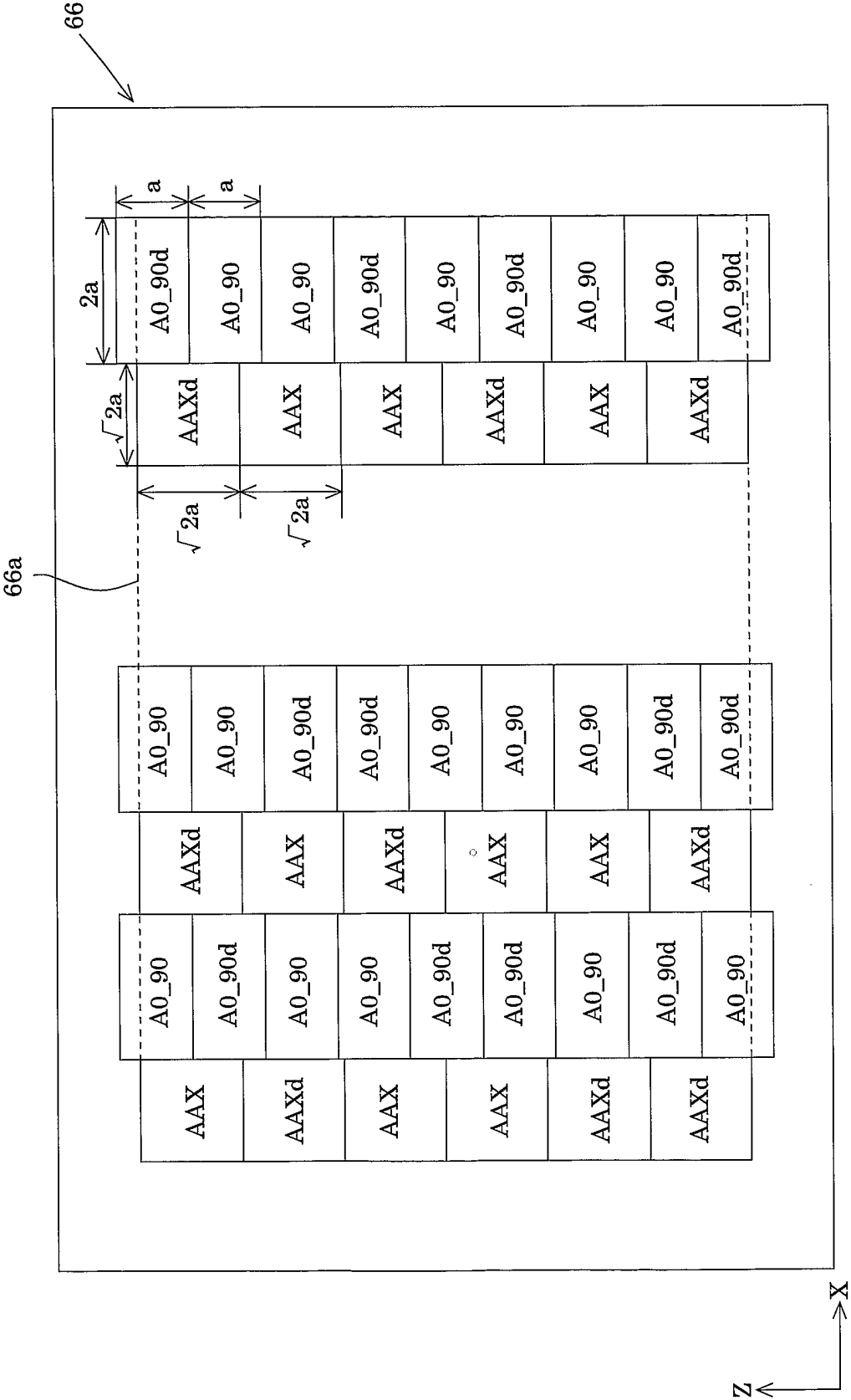


3 2 / 6 2

第 3 2 図

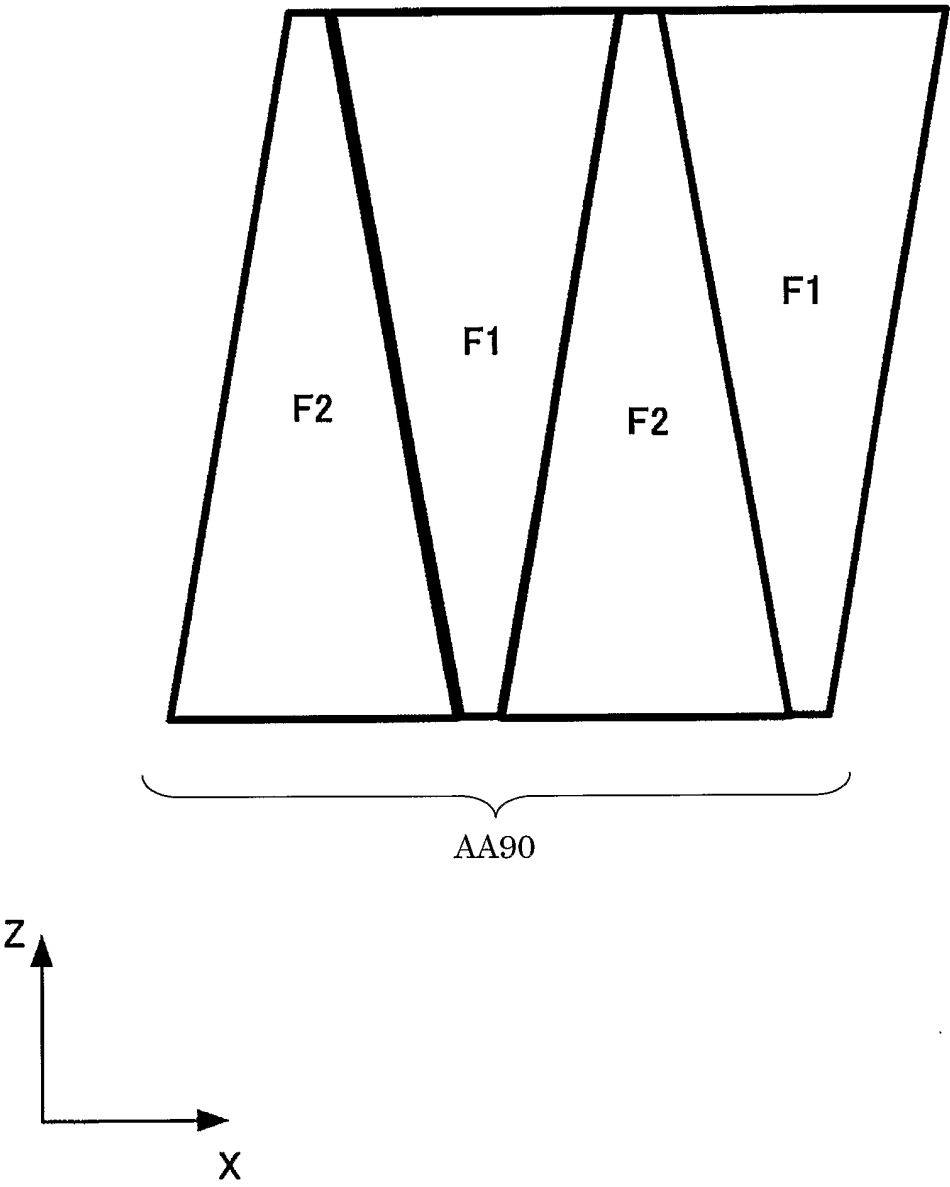


第 3 3 図



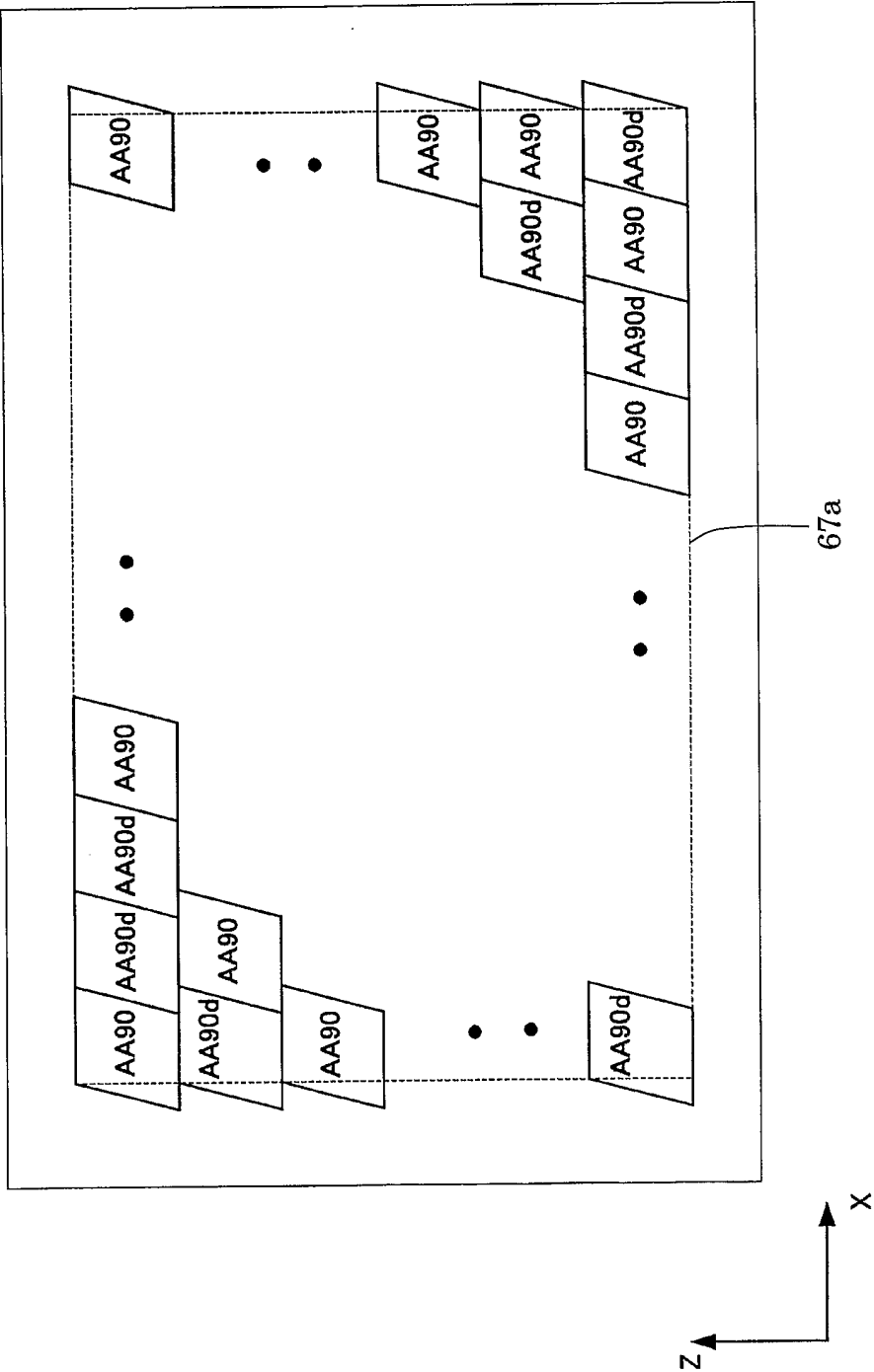
3 4 / 6 2

第 3 4 図



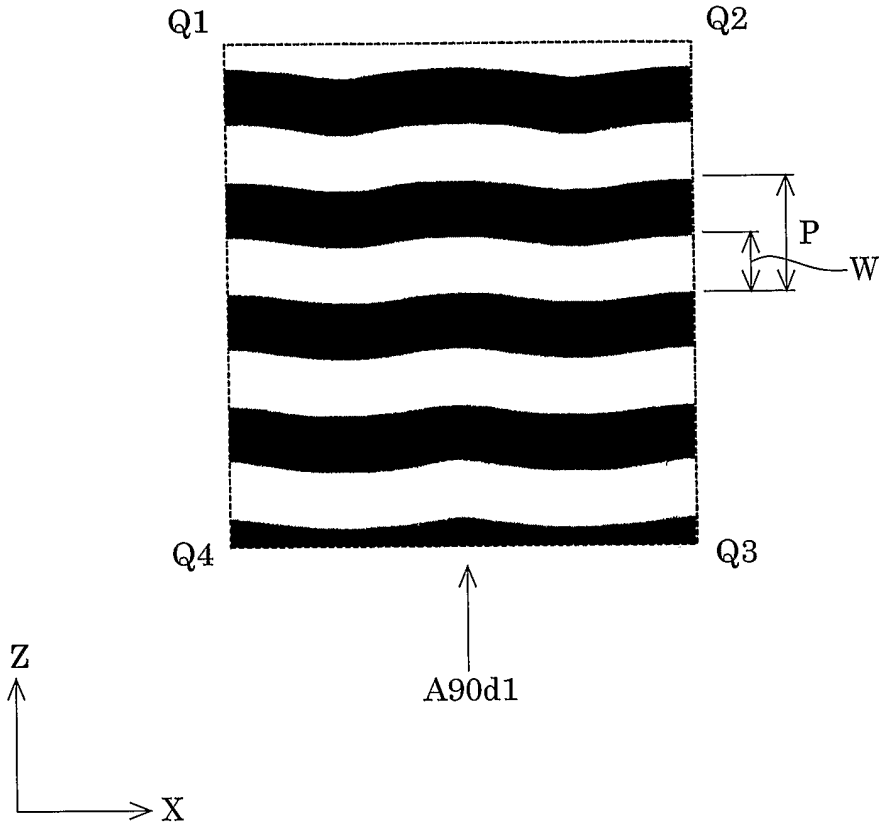
第 3 5 図

67

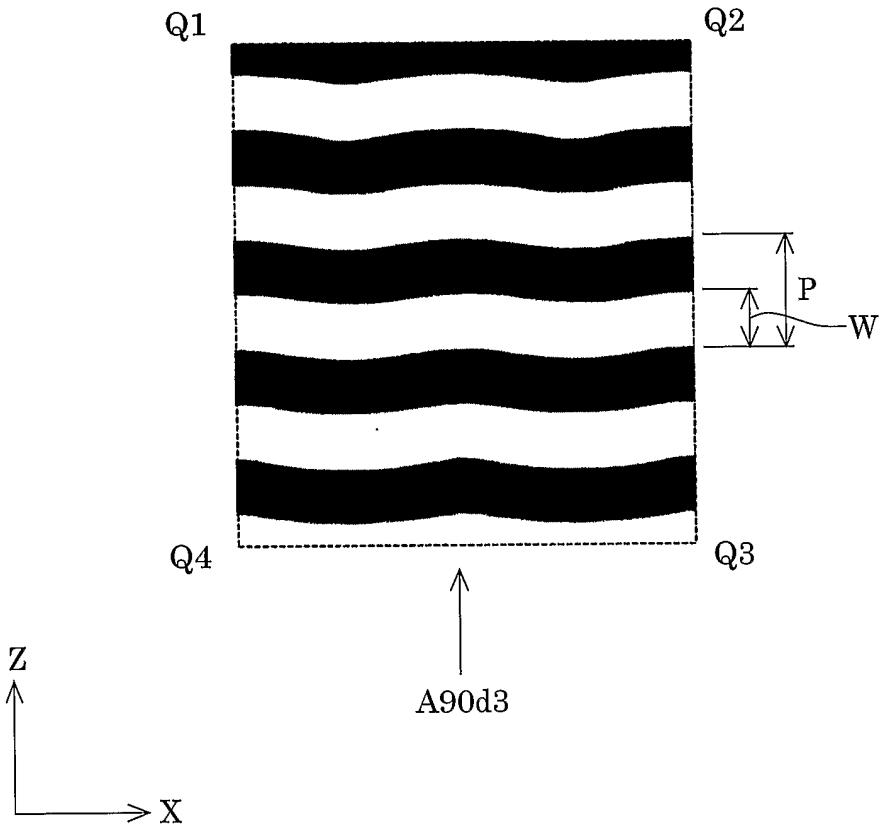


67a

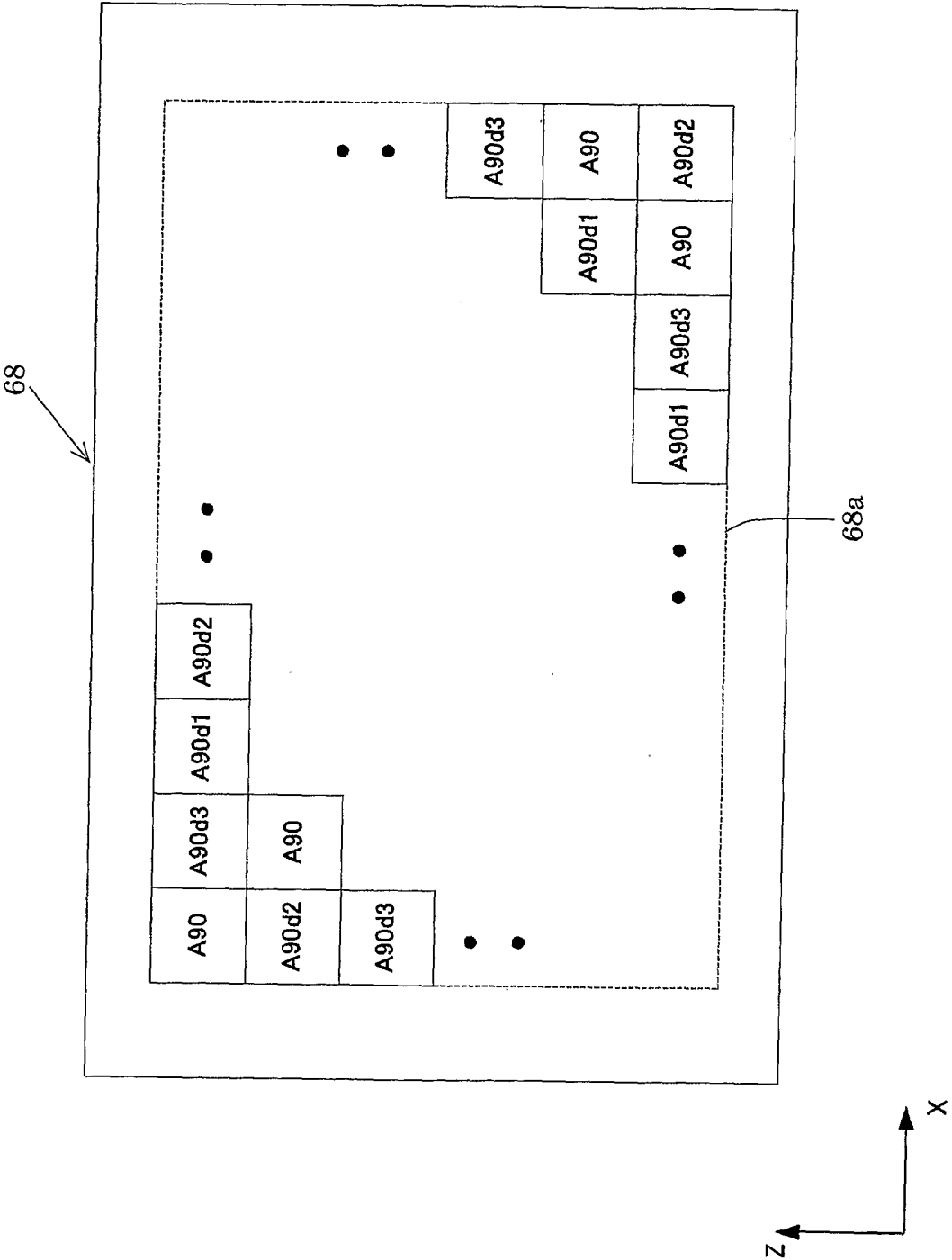
3 6 / 6 2
第 3 6 図



3 7 / 6 2
第 3 7 図

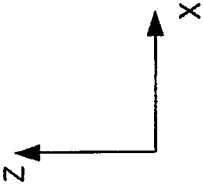
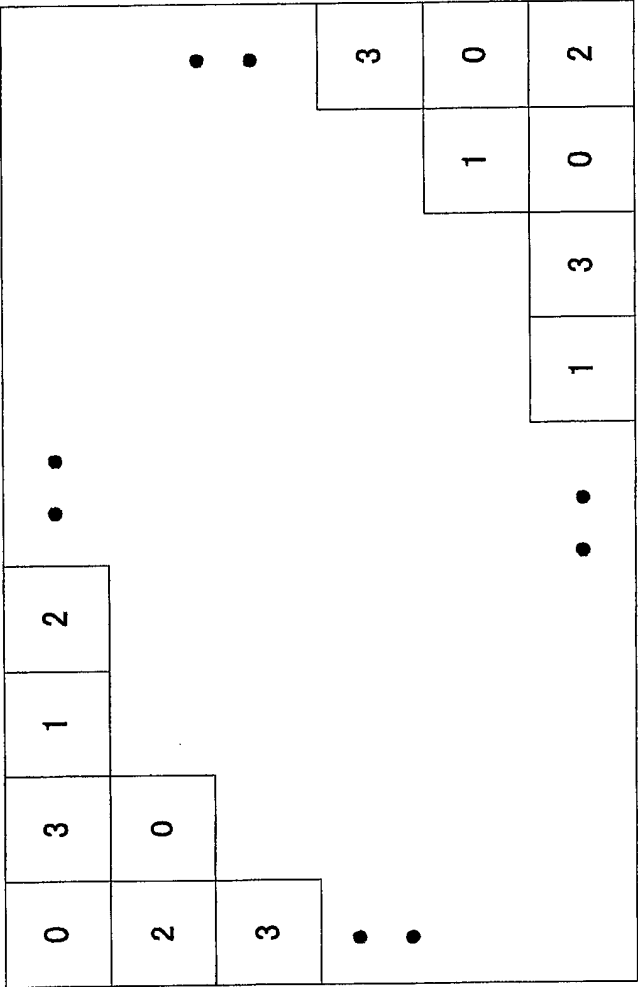


第 3 8 図

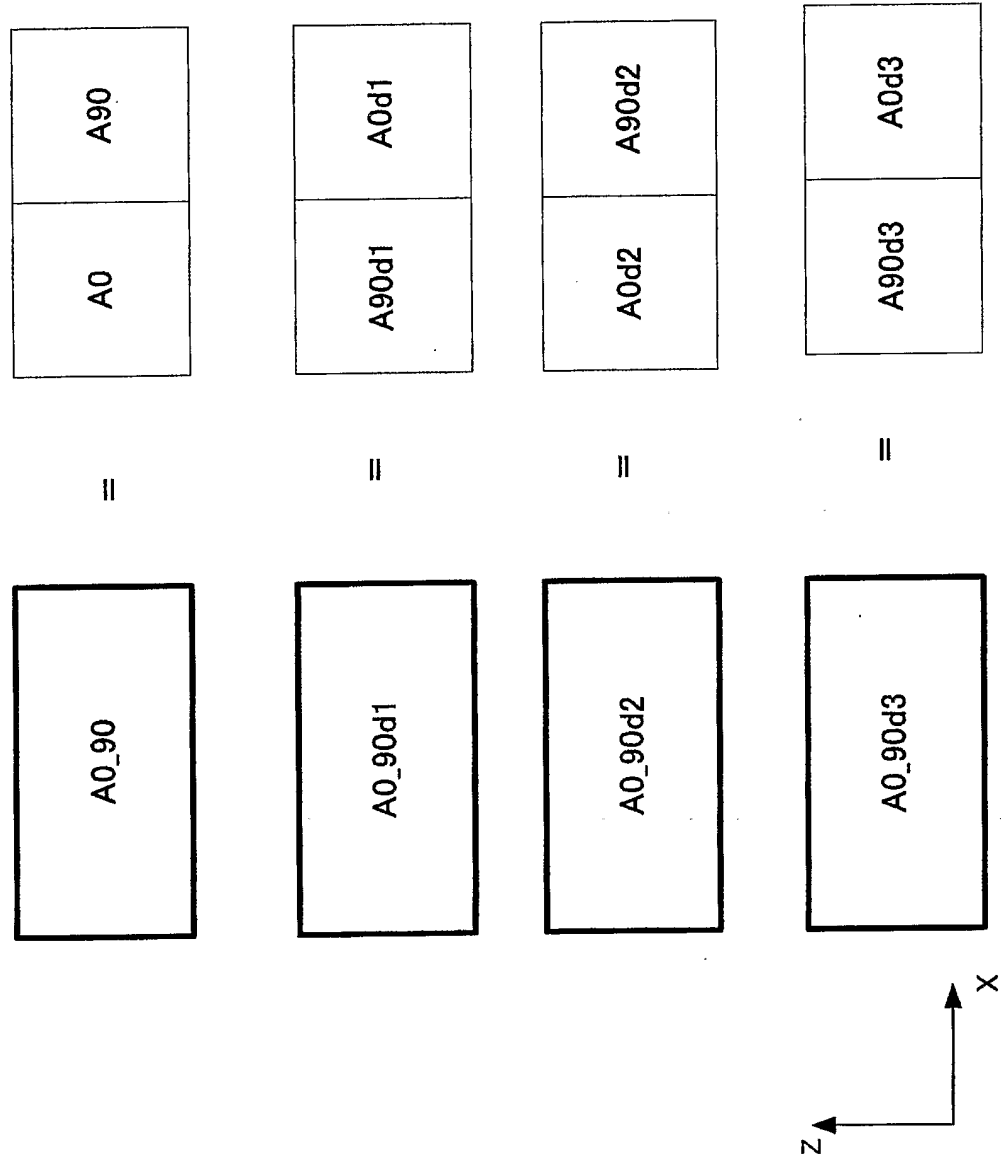


3 9 / 6 2

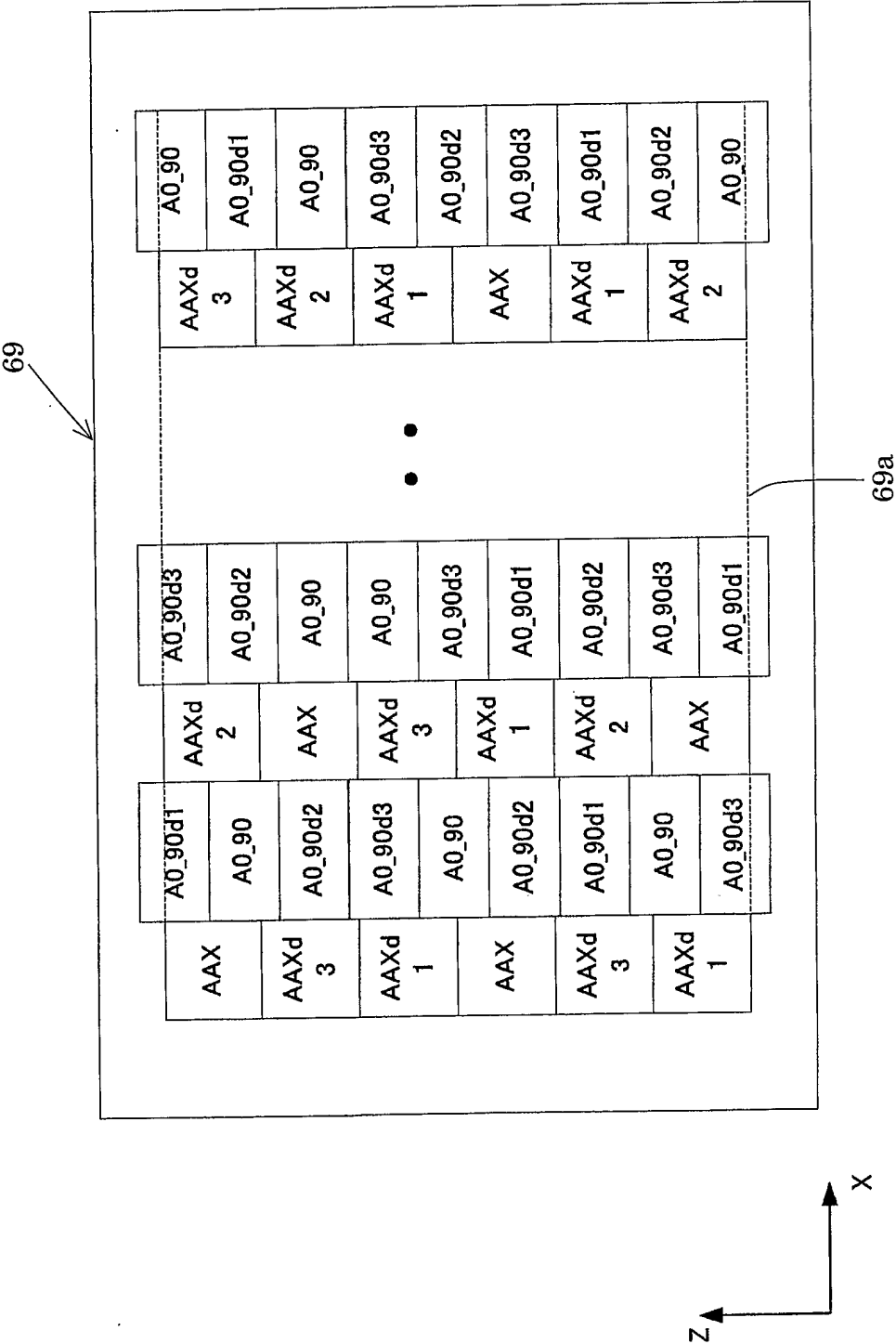
第 3 9 図



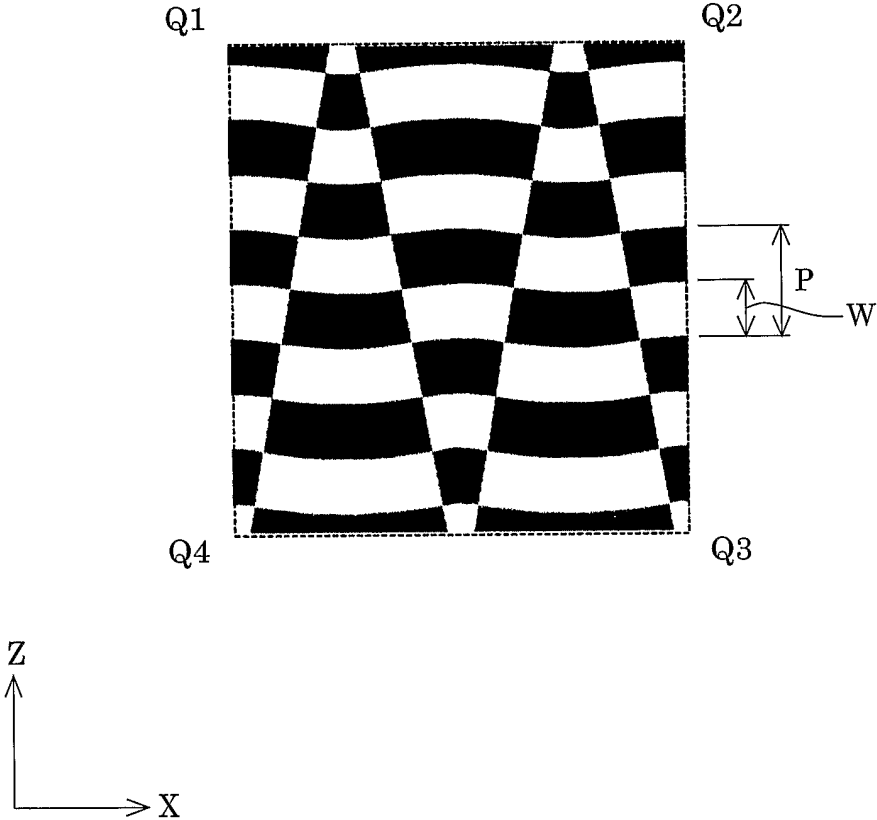
第 4 0 図



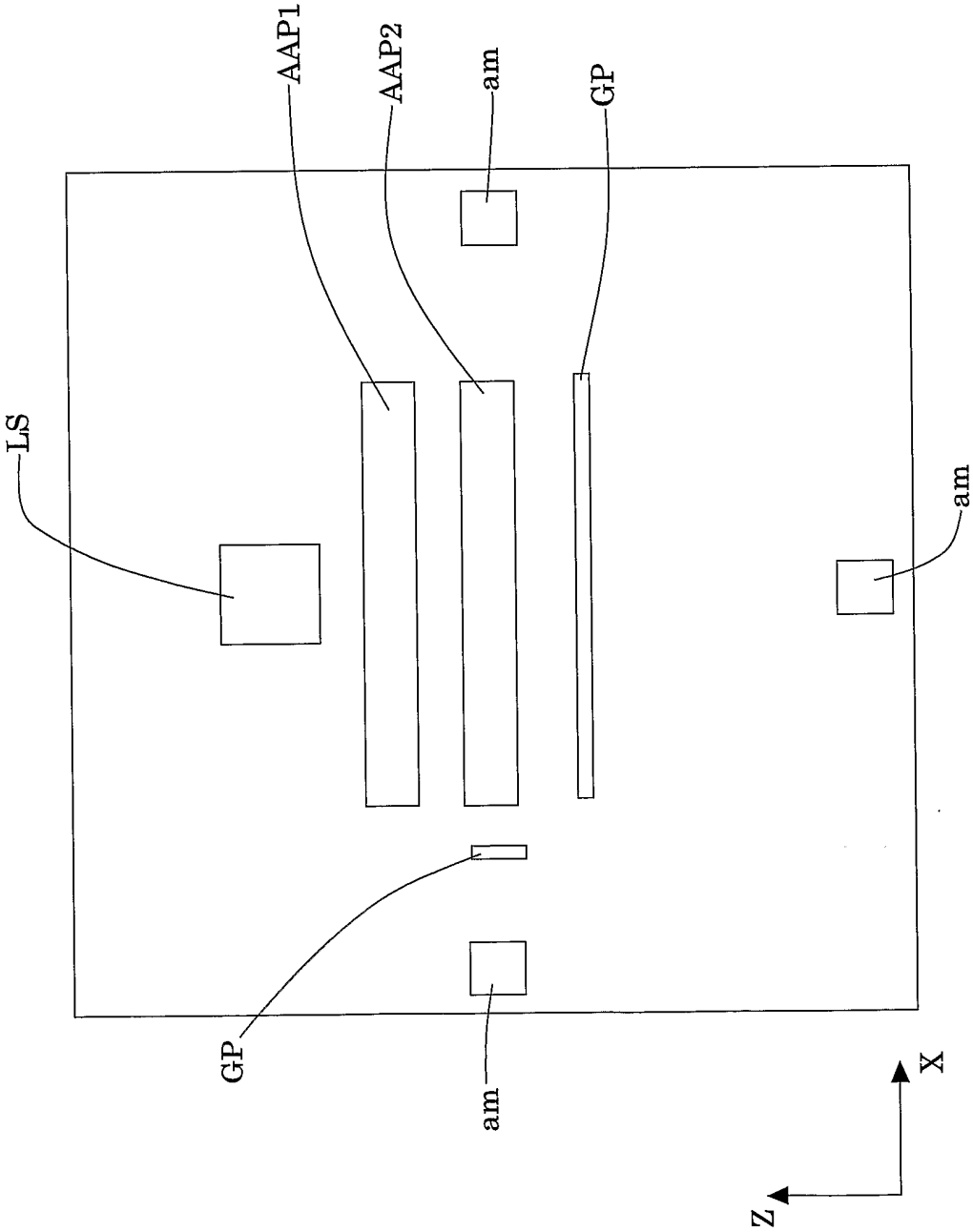
第 4 1 図



4 2 / 6 2
第 4 2 図

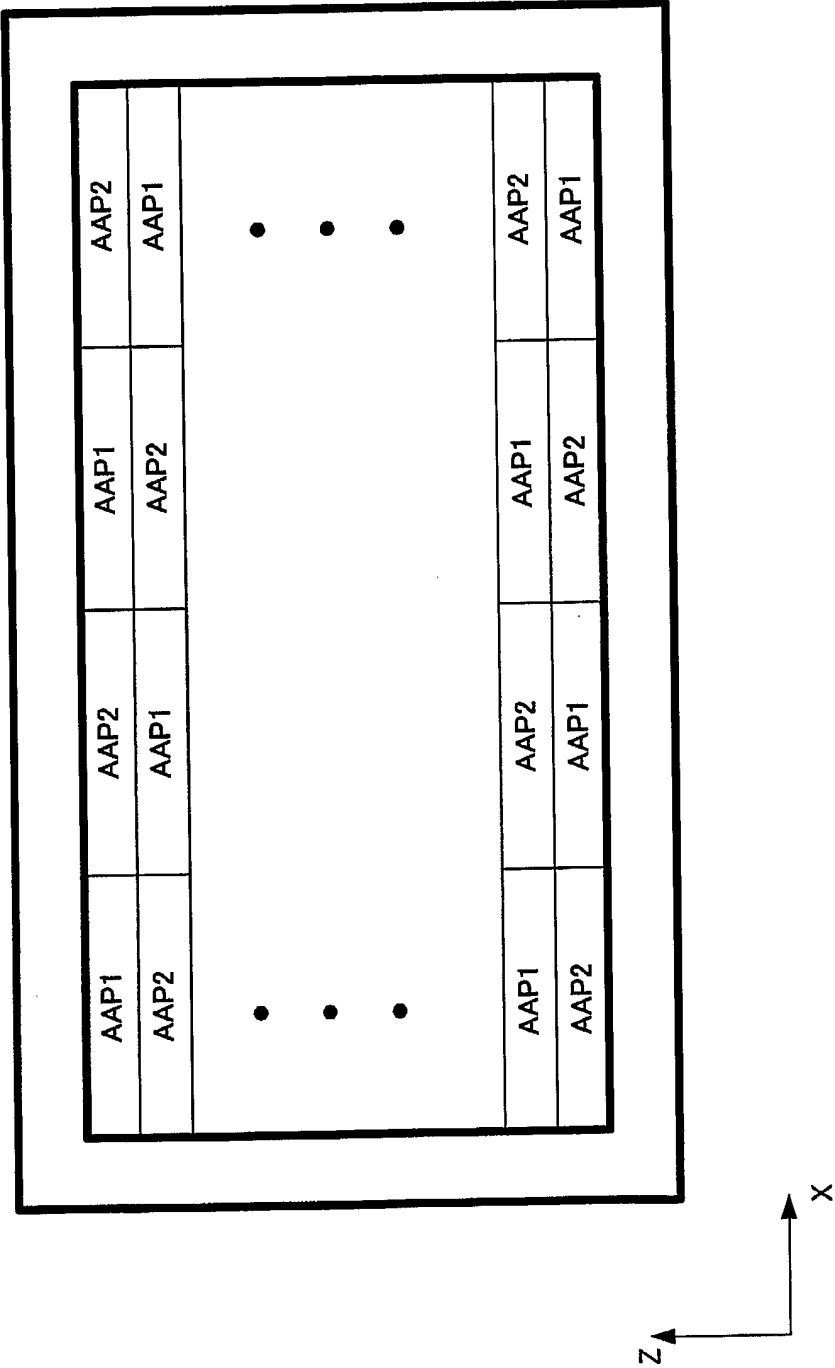


第 4 3 図



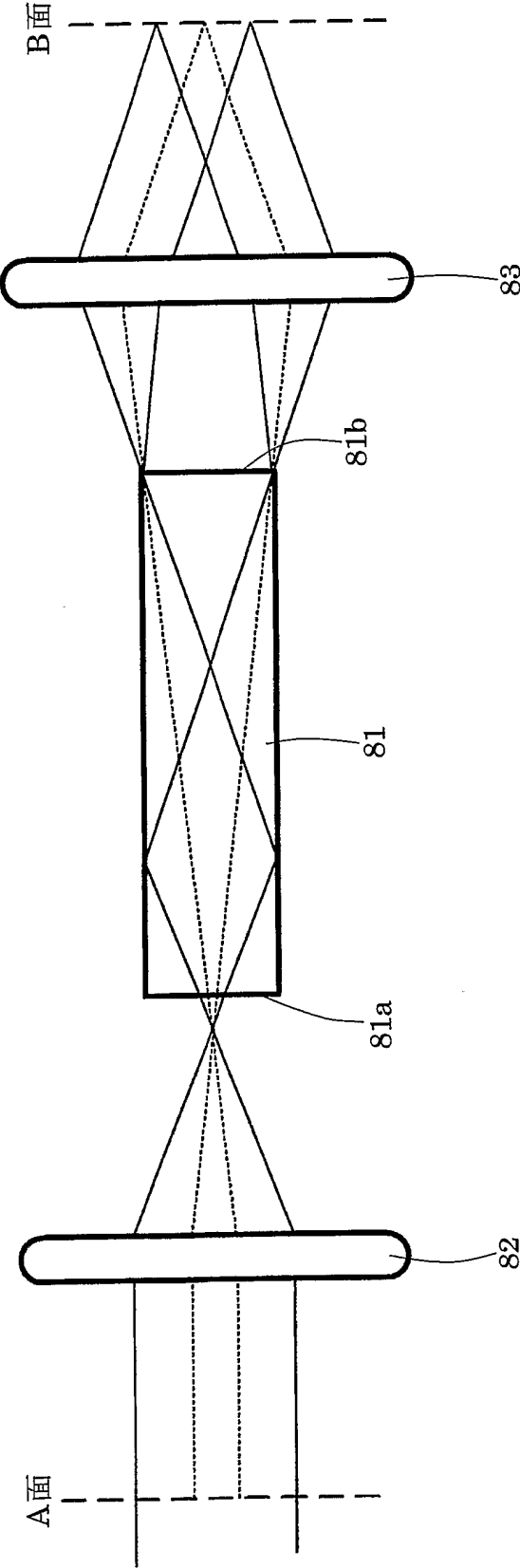
4 4 / 6 2

第 4 4 図

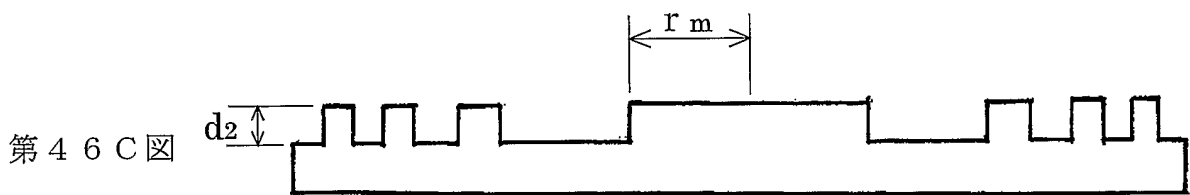
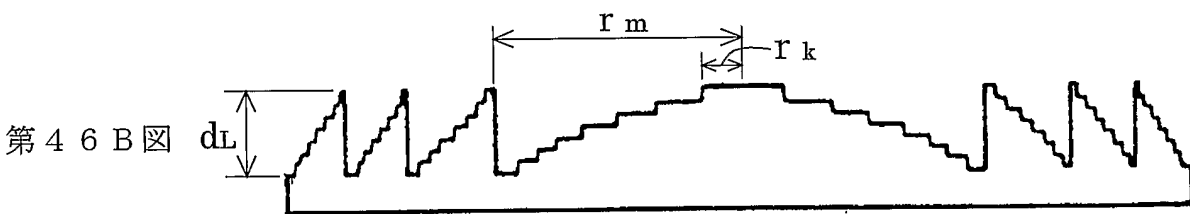
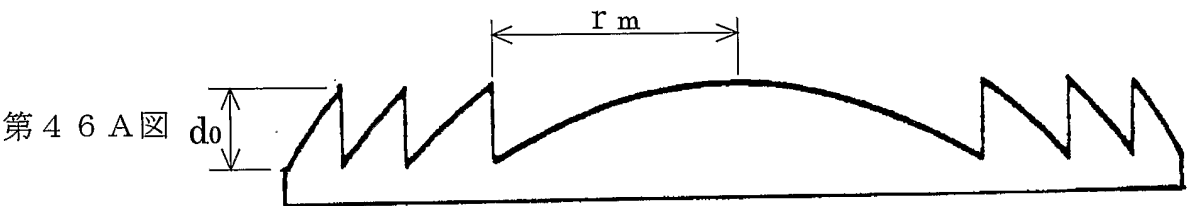


4 5 / 6 2

第 4 5 図

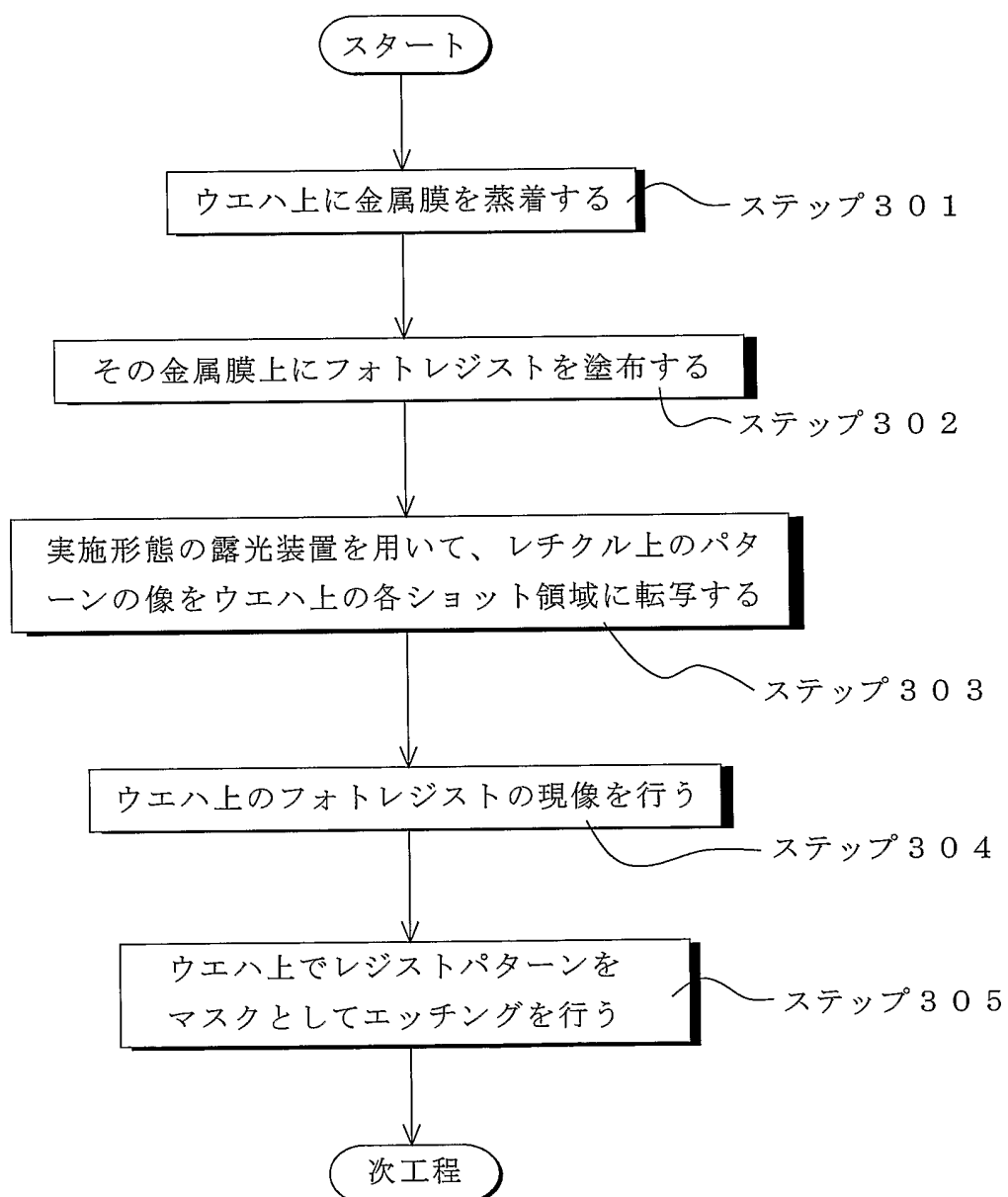


4 6 / 6 2



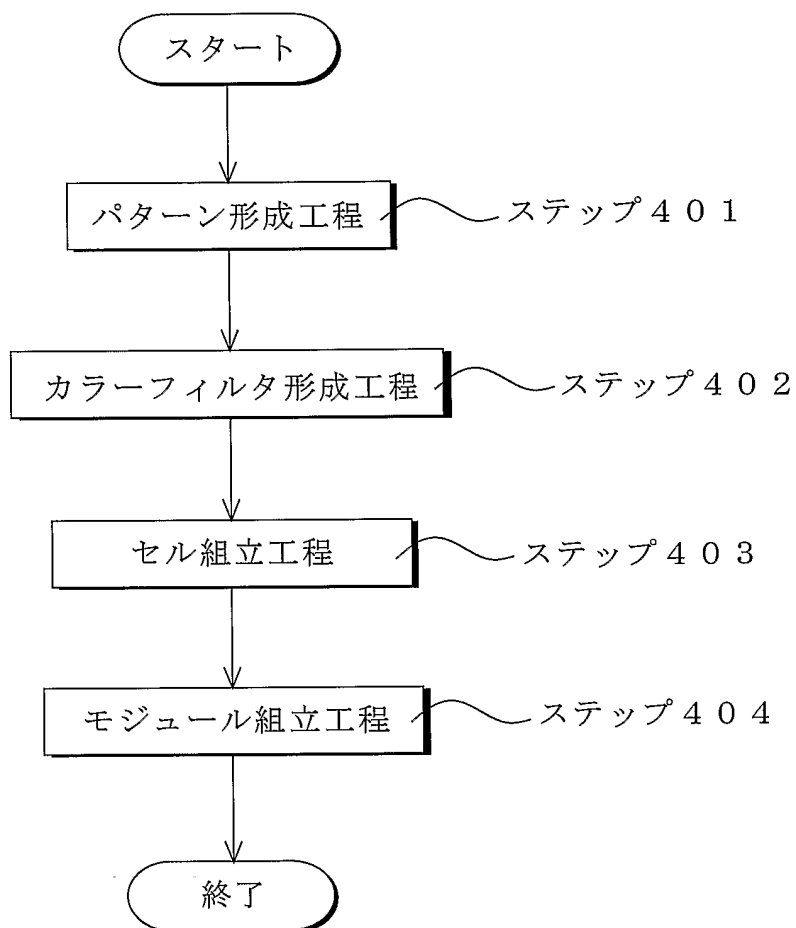
47 / 62

第47図



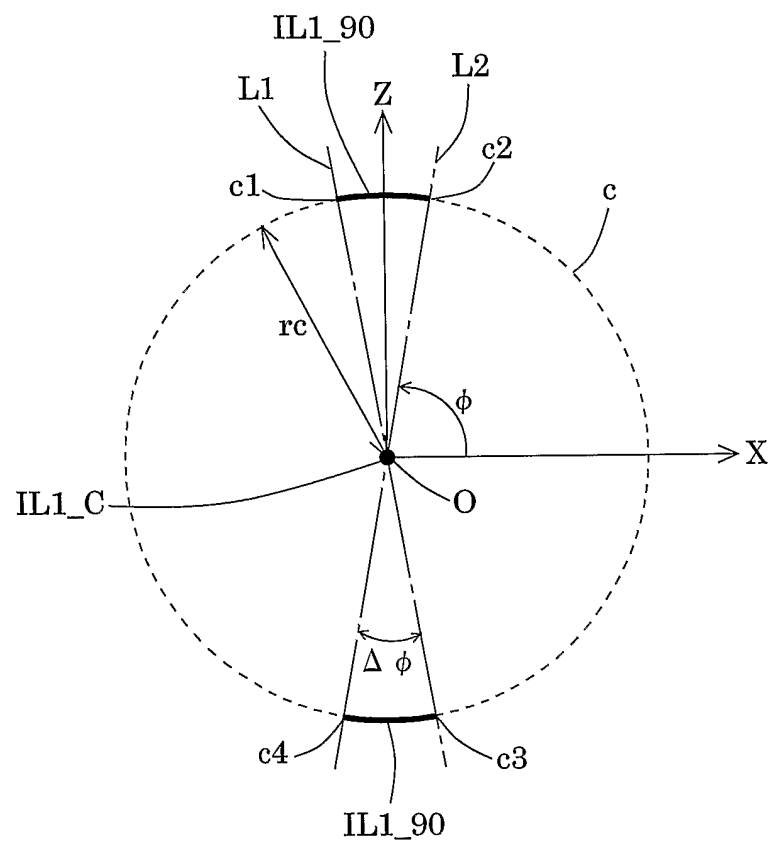
48 / 62

第48図

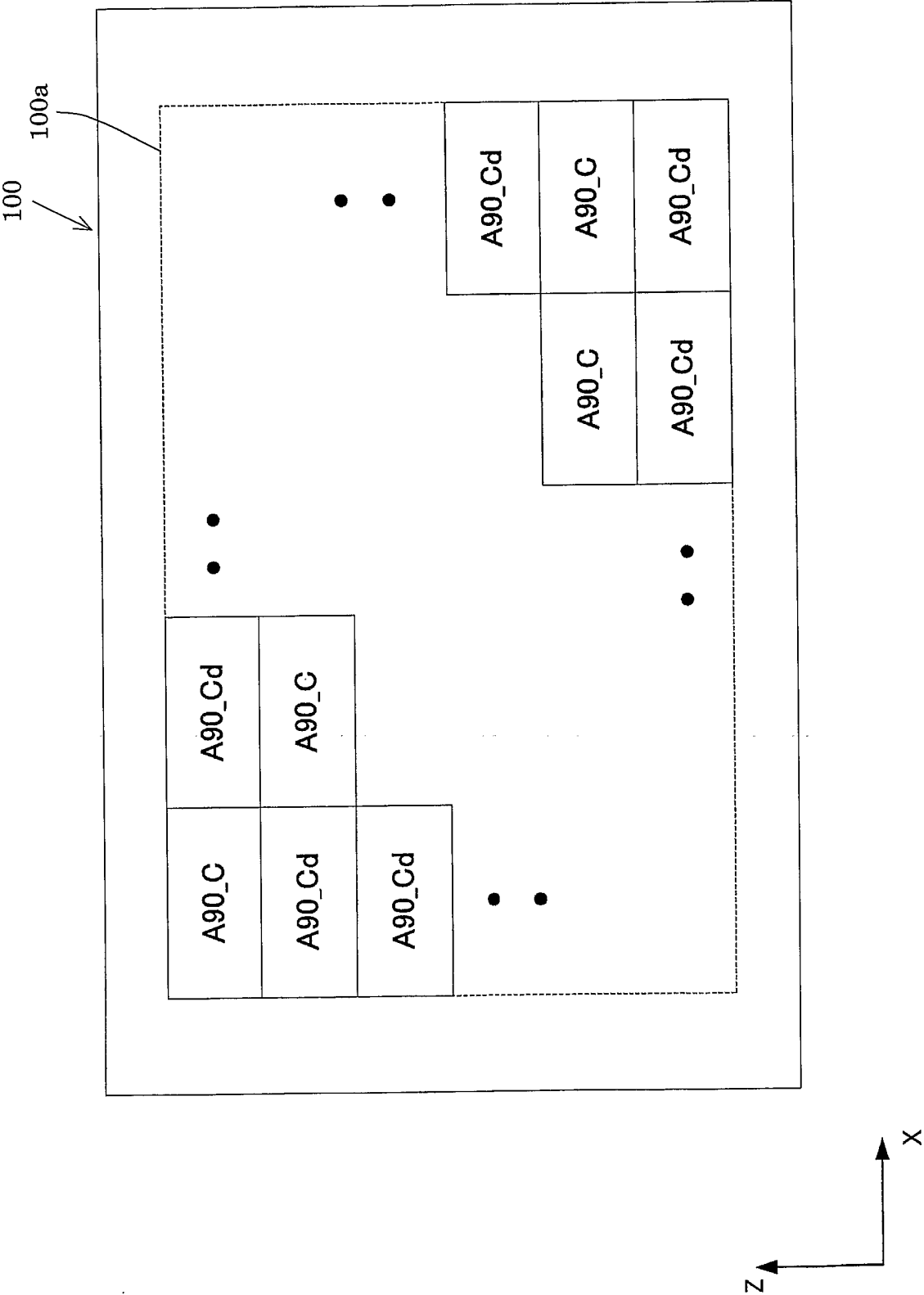


50 / 62

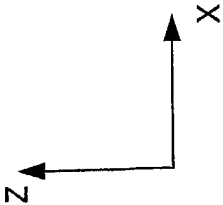
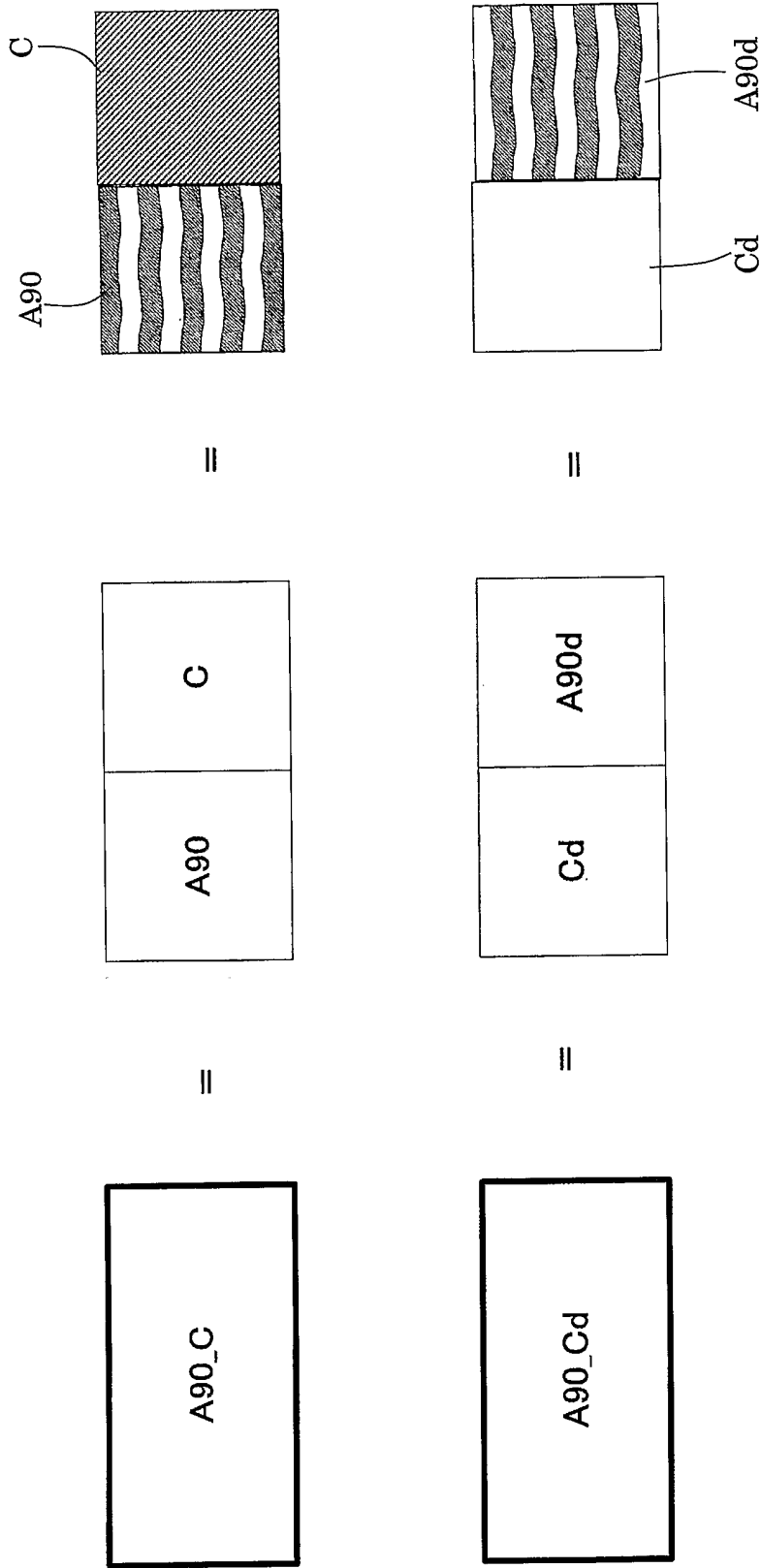
第50図



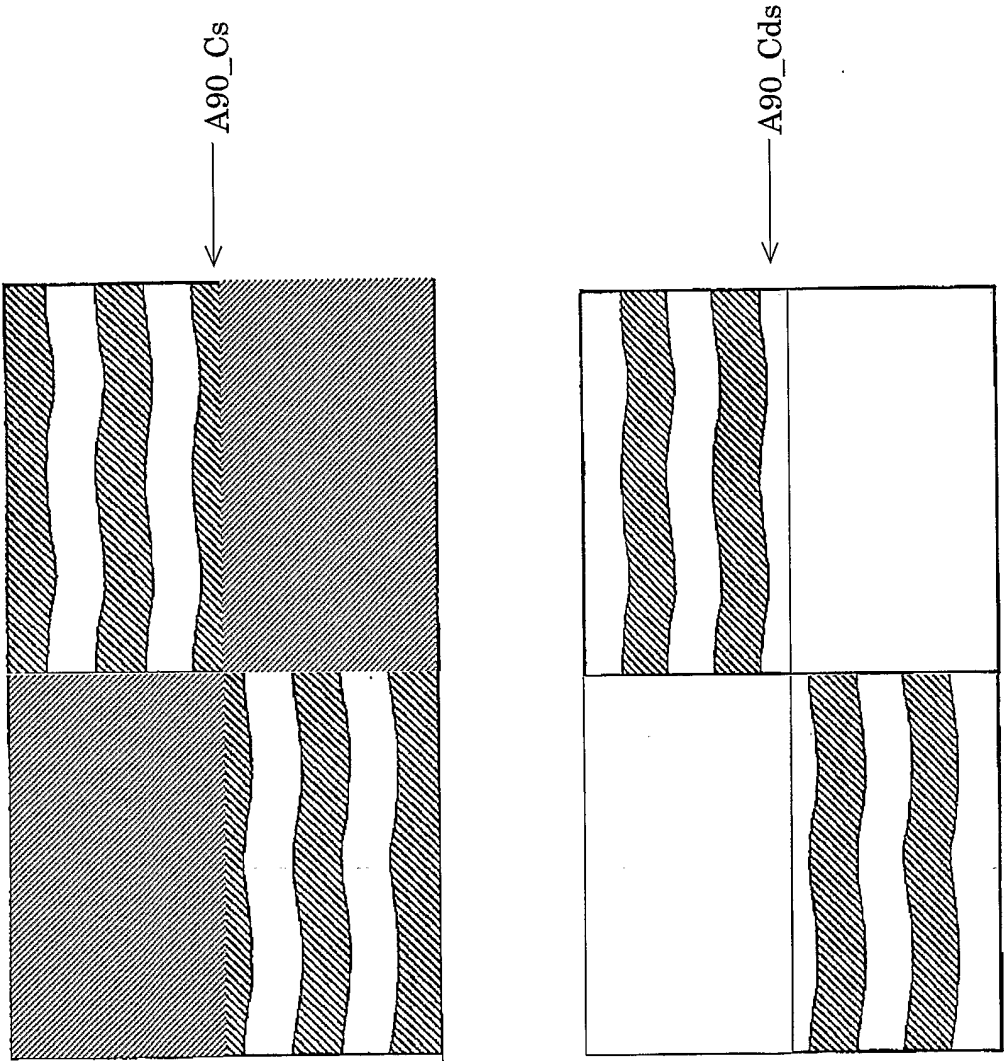
第 5 1 図



第 5 2 図

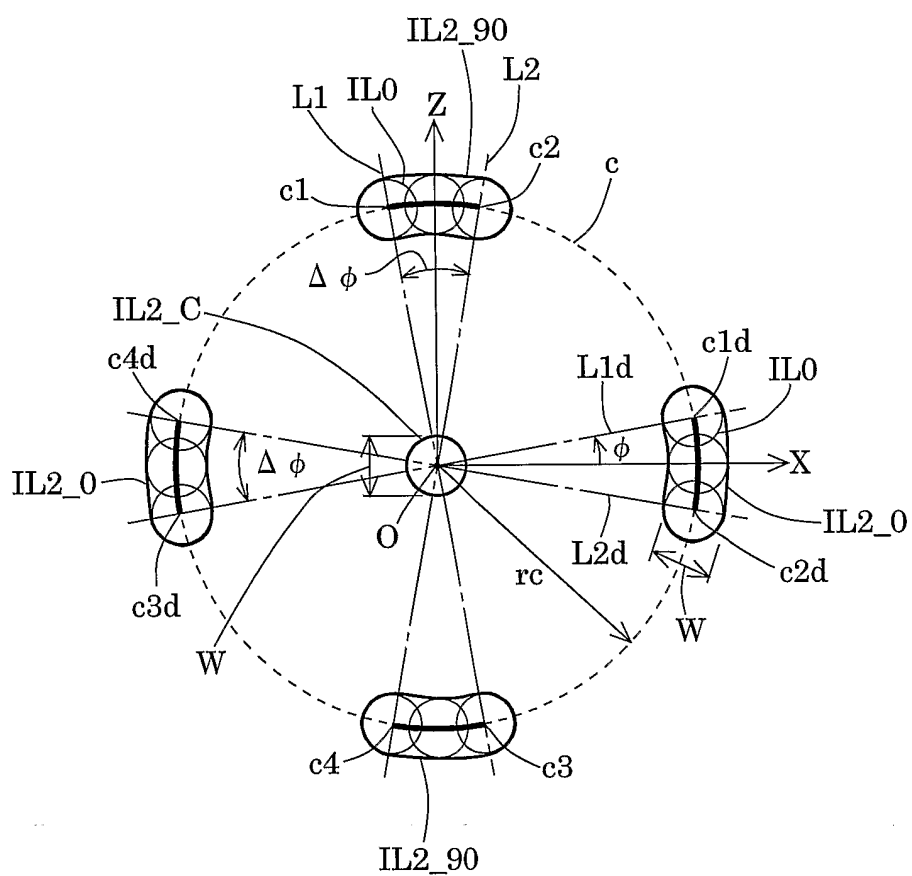


第 5 3 図



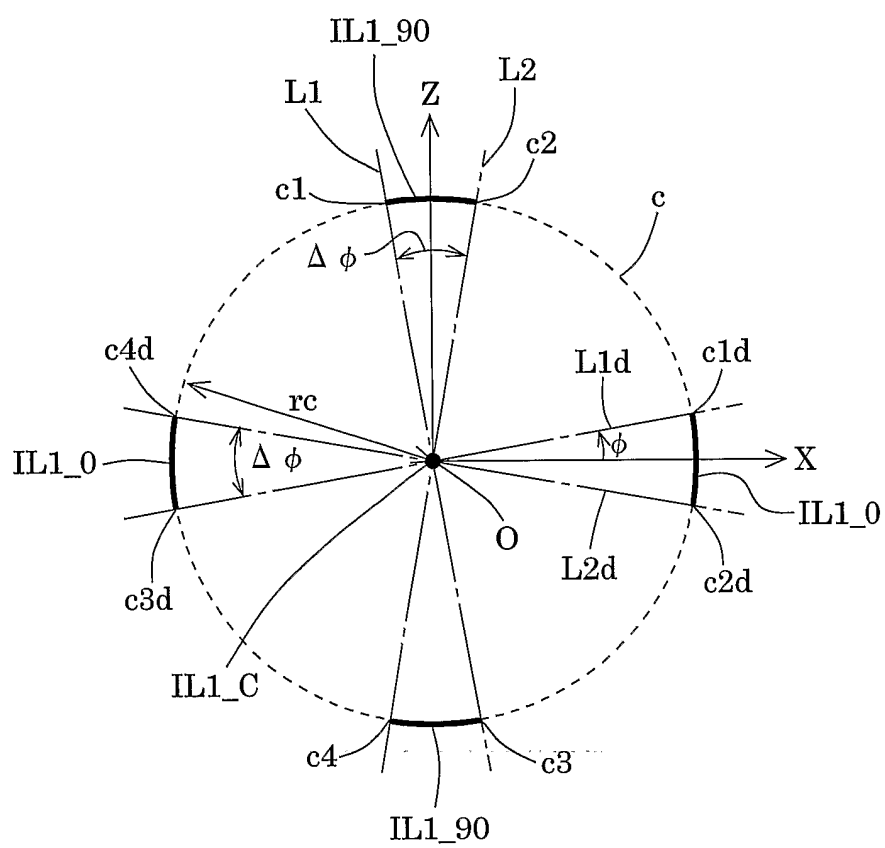
5 4 / 6 2

第 5 4 図



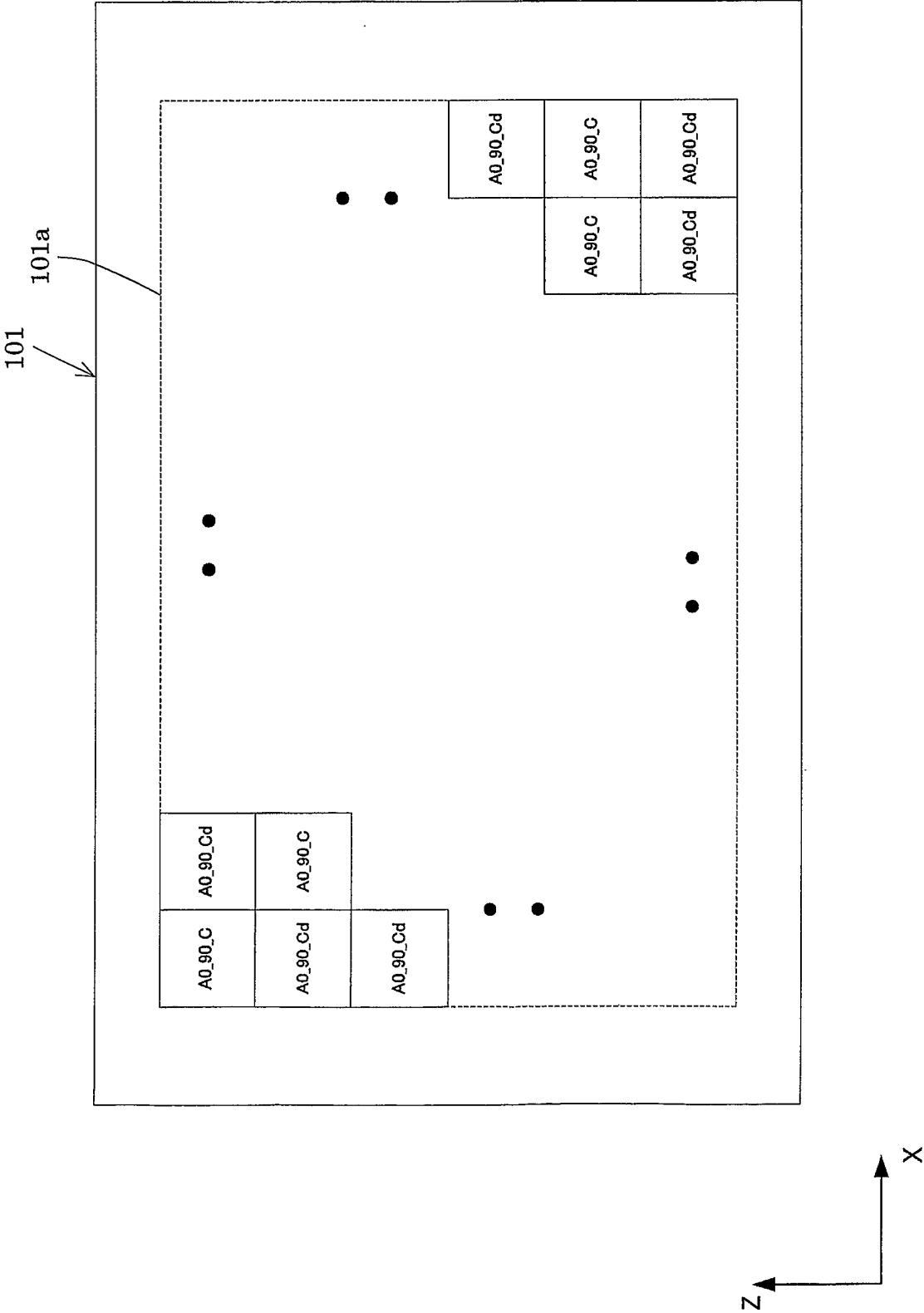
55 / 62

第55図



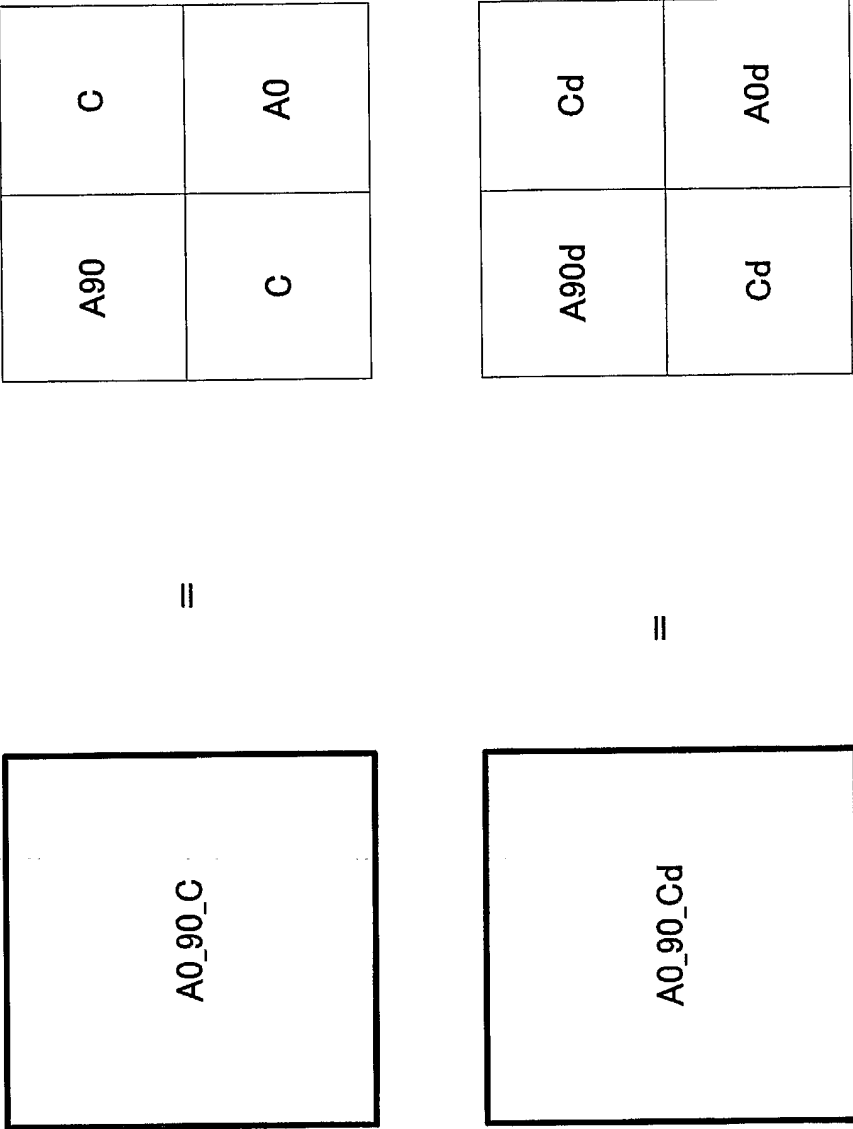
5 6 / 6 2

第 5 6 図



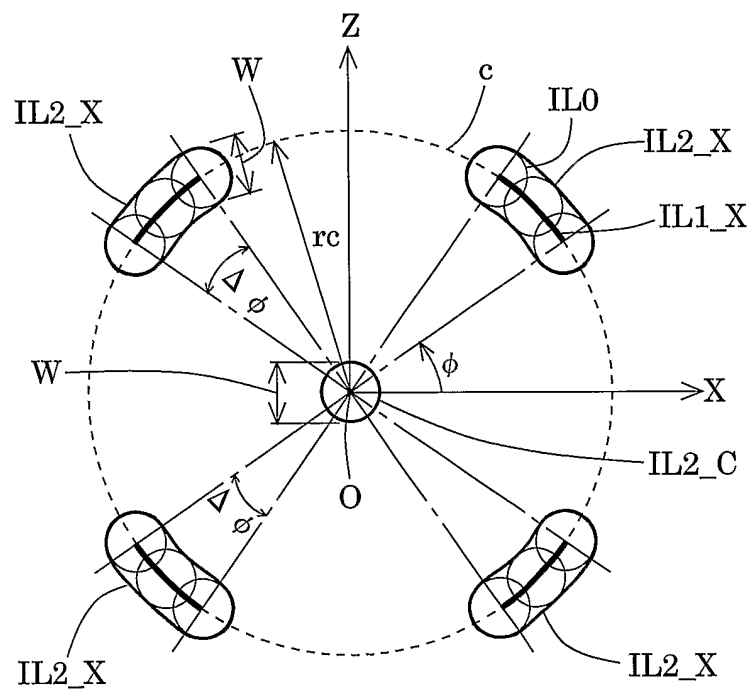
5 7 / 6 2

第 5 7 図



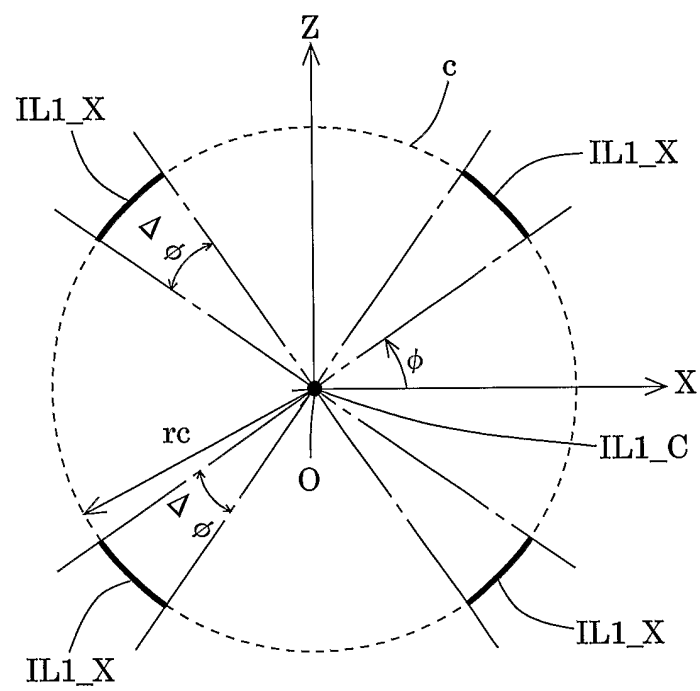
58 / 62

第 58 図

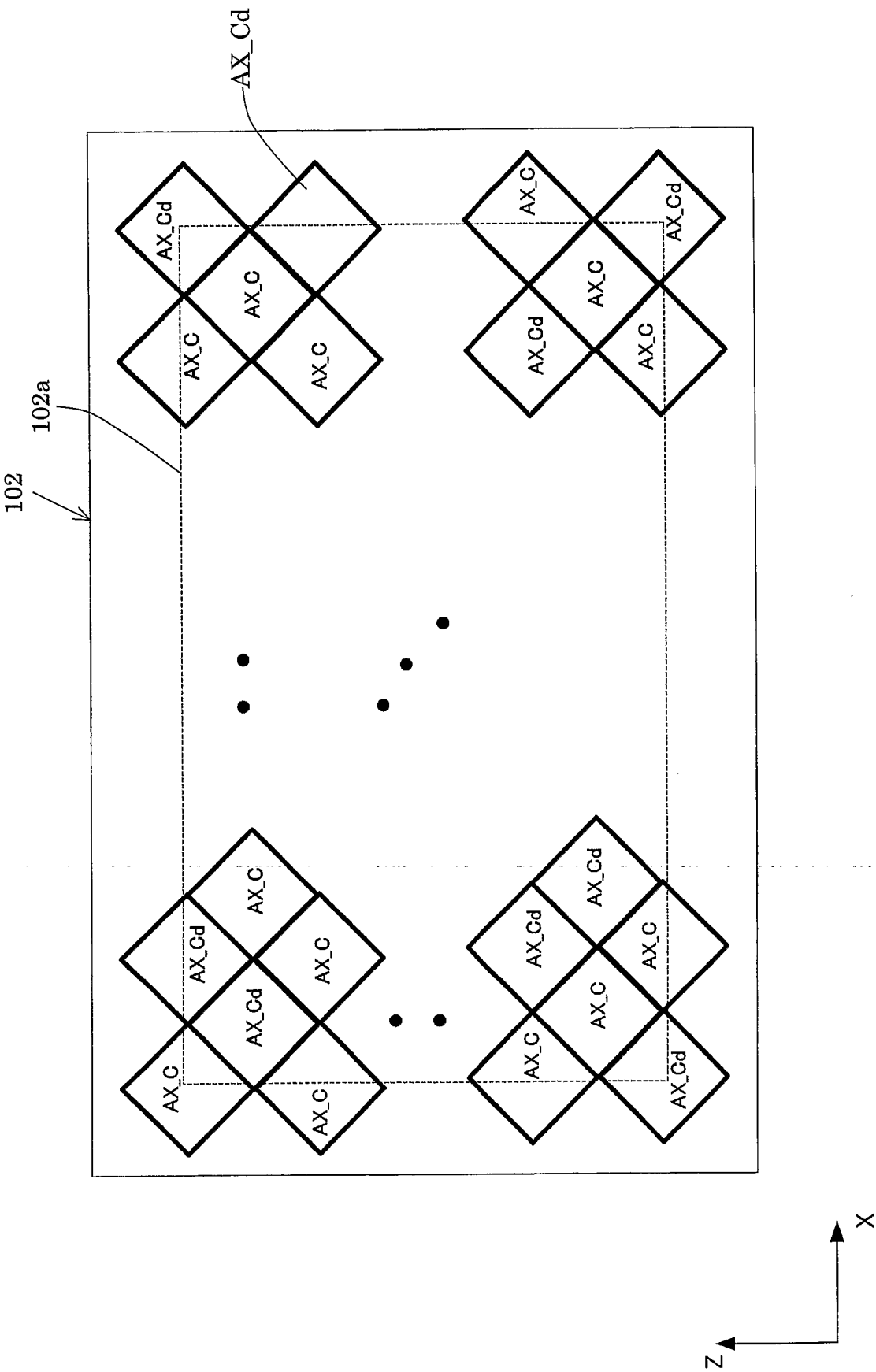


5 9 / 6 2

第 5 9 図

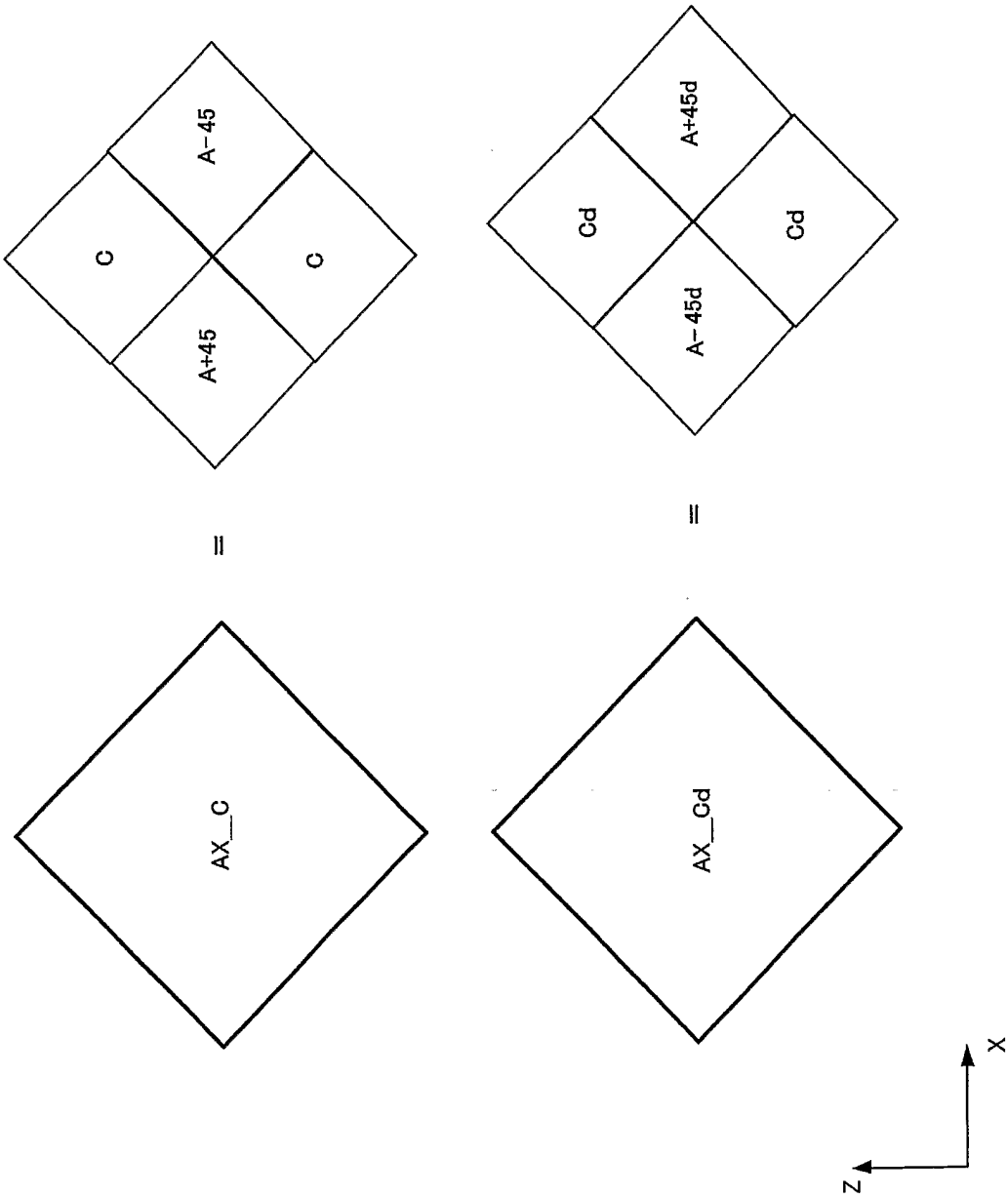


第 6 0 図



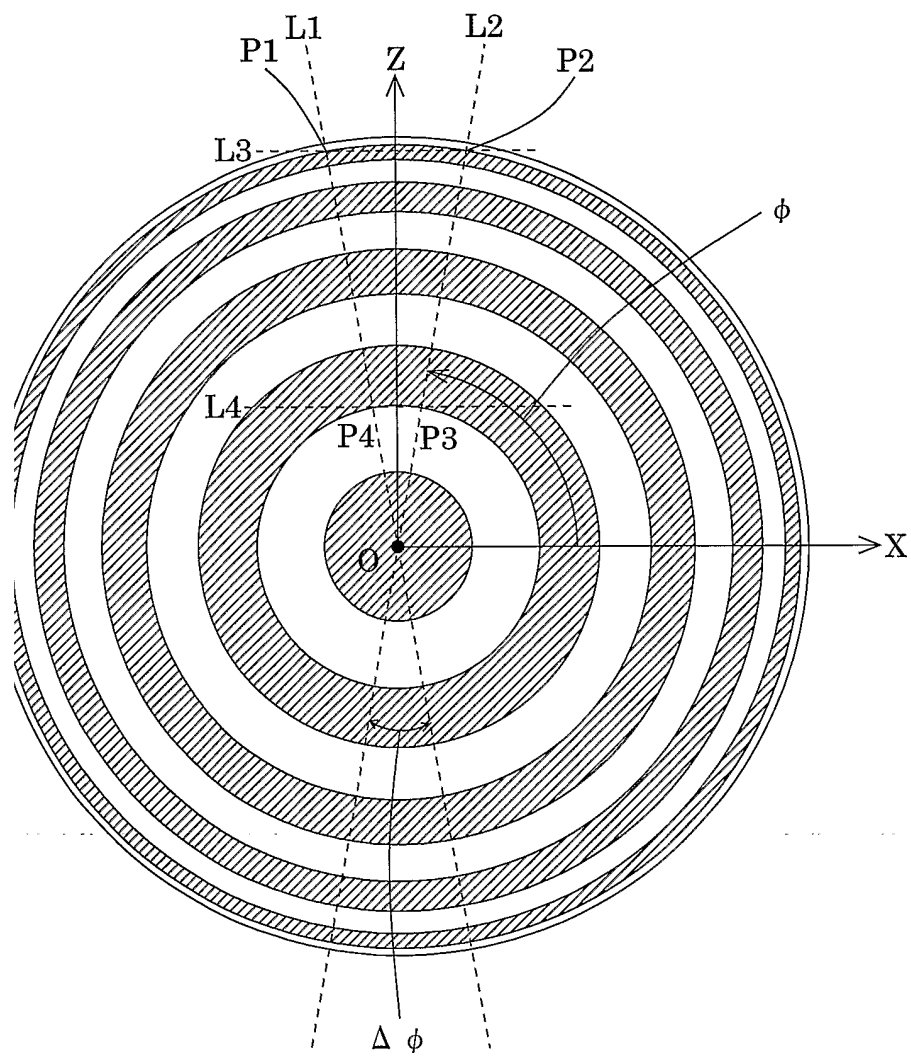
6 1 / 6 2

第 6 1 図



6 2 / 6 2

第 6 2 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09353

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B5/18, G02B3/00, G02B3/08, 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.Cl⁷ G02B5/18, G02B3/00, G02B3/08, 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.
Y	JP 10-70070 A (Canon Inc.), 10 March, 1998 (10.03.98), Full text (Family: none)	1-6, 9-30
Y	US 2002/0080491 A1 (Akihiro GOTO), 27 June, 2002 (27.06.02), Full text & JP 2001-174615 A	1-6, 9-30
A	EP 1014196 A2 (NIKON CORP.), 28 June, 2000 (28.06.00), Full text & JP 2000-182933 A	1-30

☐ 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. Cl ⁷ G02B5/18, G02B3/00, G02B3/08, 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. Cl ⁷ G02B5/18, G02B3/00, G02B3/08, 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
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)	1-6, 9-30
Y	US 2002/0080491 A1 (AKIHIRO GOTO) 2002. 06. 27, 全文 & JP 2001-174615 A	1-6, 9-30
A	EP 1014196 A2 (NIKON CORPORATION) 2000. 06. 28, 全文 & JP 2000-182933 A	1-30
☐ 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	国際調査報告の発送日	
11. 09. 03	14.10.03	
国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	
日本国特許庁 (ISA/JP)	山村 浩	
郵便番号100-8915	2V 9219	
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	電話番号 03-3581-1101 内線 3271	