



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光源(2)と、ビーム成形光学系(3)と、コンデンサ(11)とを備え、前記ビーム成形光学系(3)と、前記コンデンサ(11)との間に順に、  
 a) コンデンサの瞳(9)を満たすような発散性の光線束(7)を夫々生成する各マイクロレンズ(I、II、III)からなる第1のマイクロレンズアレイ配列(5)、  
 b) 正の屈折力を持つ第1の補助的な光学素子(6)であって、その焦点面に該コンデンサの瞳(9)が配置されるもの、  
 c) 正の屈折力を持つ第2の補助的な光学素子(16)、  
 d) 第2のマイクロレンズアレイ配列(17)、  
 を配置することを特徴とする微小寸法測定装置。

10

## 【請求項 2】

前記光源(2)がレーザであって前記ビーム成形光学系がビーム拡散光学システムであるか、または前記光源(2)がガス放電ランプであって前記ビーム成形光学系(3)が集光器(3)であることを特徴とする請求項1記載の微小寸法測定装置。

## 【請求項 3】

特定の計測のために必要な光源のスペクトルの特定成分を通過させるためスペクトルフィルタシステム(4)が付加されることを特徴とする請求項2記載の微小寸法測定装置。

## 【請求項 4】

前記スペクトルフィルタシステム(4)が前記集光器(3)の出力側に配置されることを特徴とする請求項3記載の微小寸法測定装置。

20

## 【請求項 5】

前記第1のマイクロレンズアレイ配列(5)が複数の同一の六角形の蜂の巣形状あるいは複数の同一の正方形のマイクロレンズ(I、II、III)を含むことを特徴とする請求項1記載の微小寸法測定装置。

## 【請求項 6】

前記第2のマイクロレンズアレイ配列(17)が複数の同一の六角形の蜂の巣形状あるいは複数の同一の正方形のマイクロレンズ(I、II、III)を含むことを特徴とする請求項1記載の微小寸法測定装置。

30

## 【請求項 7】

前記第1のマイクロレンズアレイ配列(5)が、円柱形の複数のマイクロレンズを備える2つのマイクロレンズアレイを含み、前記マイクロレンズアレイの夫々が複数の同一の円柱形マイクロレンズから構成され、前記2つのマイクロレンズアレイは、円柱形のマイクロレンズの円柱軸方向に関し交差するように配置されることを特徴とする請求項1記載の微小寸法測定装置。

## 【請求項 8】

前記第2のマイクロレンズアレイ配列(17)が、円柱形の複数のマイクロレンズを備える2つのマイクロレンズアレイを含み、前記マイクロレンズアレイの夫々が複数の同一の円柱形マイクロレンズから構成され、前記2つのマイクロレンズアレイは、円柱形のマイクロレンズの円柱軸方向に関し交差するように配置されることを特徴とする請求項1記載の微小寸法測定装置。

40

## 【請求項 9】

前記第1のマイクロレンズアレイ配列(5)が微小な蜂の巣状のコンデンサとして構成されることを特徴とする請求項1記載の微小寸法測定装置。

## 【請求項 10】

前記第2のマイクロレンズアレイ配列(17)が微小な蜂の巣状のコンデンサとして構成されることを特徴とする請求項1記載の微小寸法測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

50

本発明は、微小寸法測定装置に関し、特に光源と、ビーム成形光学系と、コンデンサを備えたクリティカルな微小寸法を測定する装置に関する。

#### 【背景技術】

##### 【0002】

微小寸法測定装置は、個々の生産工程後の半導体チップにおける特徴部 (features) の寸法の一貫性をチェックし、生産工程の品質を制御するために、クリティカルな微小寸法 (c d, critical dimension) を測定するように半導体の生産において使われる。半導体の集積密度は絶え間無く増加するので、測定される特徴部のクリティカルな微小寸法は一斉にさらに小さくなる。測定および検査システムの仕様、例えば測定精度および測定結果の再現性の面からの要求は、対応してより厳しいものとなってきている。

10

##### 【0003】

測定あるいは検査のために使われる光の波長よりも測定される特徴部のクリティカルな微小寸法が既により小さいにもかかわらず、光学的走査方法および対応の光学測定装置が生産において好まれている。この理由は、光学測定装置が非光学の測定装置より実質的に使いやすいことによる。しかし同時に光学測定装置への要求が特に分解能および近接した特徴部の分離（識別）に関して増大している。そこでは検査される特徴部の照明品質が規定期的な役割を演じる。クリティカルな微小寸法、エッジプロフィル（形状、輪郭）、および同様のクリティカルに微小な変数が光学的な手段を用いて再現性のあるように測定されるように、フーリエ光学によれば、測定域（フィールド）、すなわち測定の間に捕捉される特徴部とその周囲の照明が極めて均質であることが要求される。

20

#### 【発明の開示】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0004】

従来の微小寸法測定装置では、これは各種の照明素子を用いて試みられている。照明素子の一つは、例えばガス放電ランプが光源として用いられ、検査される試料 (specimen) は、典型的なケーラー照明によって照明される。従来のガス放電ランプでは、至る所で光の強度分布がクリティカルな微小寸法測定に対し好ましくない（すなわち、非対称である）ことを示している。ケーラー照明に関連して、このようなフィールド分布は、光学的測定フィールドおよび瞳の不均質な照明に帰着する。この「瞳」は、入射光照明システムにおいては目標となる瞳 (objective pupil) として定義され、透過光照明システムにおいてはコンデンサの瞳として定義される。不均質で特に斜め方向の照明の結果、測定されるクリティカル微小寸法は、光学的測定フィールド内の、測定される特徴部の位置と方向に依存することになる。このことは、再現性と測定結果が特徴部の測定位置と方向に依存しないことに関し、ユーザの厳しい要求に適合しないという不都合を生じる。

30

##### 【0005】

他のクリティカルな微小寸法測定装置では、レーザが光源として用いられている。これはレーザにより発さられる放射がほとんど完全にコヒーレントであるという欠点をもつ。この高いレベルのコヒーレンシにより放射フィールドにおける内部干渉を引き起す。これは、例えば測定フィールドにおけるレーザ光の粒状性 (granulation) としては知覚し得るもので、クリティカルな微小寸法測定に否定的な結果を与え、特徴部の測定位置や方向に依存しない高い再現性と測定結果を達成することが不可能になる。

40

##### 【0006】

したがって、本発明の目的は、再現性のあるクリティカルな微小寸法測定を可能とし、特徴部の測定位置や方向の影響を受けないようなクリティカルな微小寸法測定装置を創出することにある。

##### 【課題を解決するための手段】

##### 【0007】

この目的は、光源と、ビーム成形光学系 (beam-shaping optical system) と、コンデンサとを備えるクリティカルな微小寸法測定装置により達成される。本発明によればクリティカルな微小寸法測定装置は、次の構成により特徴付けられる。

50

a ) コンデンサの瞳を満たすように発散性の光線束 ( ray bundle ) を夫々生成する各マイクロレンズからなる第 1 のマイクロレンズアレイ配列 ( microlens array arrangement ) と、

b ) その後に、正の屈折力を持つ第 1 の補助的な光学素子であって、その焦点面にコンデンサの瞳が配置されるものと、

c ) その後に、正の屈折力を持つ第 2 の補助的な光学素子と、

d ) その後に、第 2 のマイクロレンズアレイ配列とが、

ビーム成形光学系とコンデンサとの間に順に配置される。

#### 【 0 0 0 8 】

レーザを、光源として配置可能であり、ビーム拡散光学系 ( beam-spreading optical system ) を、ビーム成形光学系として配置可能である。それに代わり、光源は、ガス放電ランプとしてもよいし、ビーム成形光学系は、集光器としてもよい。この場合、特定の測定のために必要な光源のスペクトル ( 周波数 ) 成分のみを通過させるスペクトル性フィルタシステム ( spectrally effective filter system ) を備えると効果的である。この場合、スペクトル性フィルタシステムは集光器の出力側に配置される。

#### 【 0 0 0 9 】

マイクロレンズアレイ配列は、例えは多数の同一の六角系の蜂の巣形状あるいは正方形のマイクロレンズを含んで構成されてもよい。或いはまた、マイクロレンズアレイ配列は、円柱状のマイクロレンズを備える 2 組のマイクロレンズアレイを含むことができ、各々のマイクロレンズアレイは、複数の同一の円柱状のマイクロレンズから構成できる。この 2 組のマイクロレンズアレイは、円柱状のマイクロレンズの円柱軸方向に関して互いに交差するように配置される。マイクロレンズアレイ配列は、微小な蜂の巣状のコンデンサとしてもよい。

#### 【 0 0 1 0 】

本発明は、検査される試料上の均質なフィールド照明と、コンデンサの瞳に少なくとも回転対称の強度分布とが存在する場合にのみ、信頼度の高いクリティカル微小寸法測定が可能になるという考察に基づいている。この 2 つの条件が高い精度の光学的クリティカル微小寸法測定のための必要条件である。斜めからの照明は特徴部の左エッジと右エッジで異なる測定結果を生じさせ、差分の計算、すなわち実際のクリティカルな微小寸法の決定、には常に誤差の影響がある。この必要条件、すなわち均質なフィールド照明と、瞳における少なくとも回転対称となる強度分布と、に基づき、検査される特徴部の測定フィールド内の位置および配向とはほとんど無関係に微細構造 ( micro structures ) および超微細構造 ( sub-microstructures ) における幅の再現性のある測定が可能となる。かくて、従来の技術で知られるような照明の不均質による不都合を排除するためには、クリティカルな微小寸法の測定において好ましくないガス放電ランプの近フィールド分布そして遠フィールド分布、あるいは同様に、レーザを用いた照明の場合には測定フィールドにおけるレーザ光の粒状性から生じる強度における差が、均質化されねばならない。

#### 【 発明の効果 】

#### 【 0 0 1 1 】

この目的のため、本発明によるクリティカルな微小寸法測定装置は、瞳で回転対称の強度分布を持つと同時に均質なフィールド照明を提供するケーラーの原理による照明が存在するように、照明の 2 段階の均質化を備える。クリティカルな微小寸法測定のために被検特徴部の特定のエッジが測定フィールドに位置しているので、コンデンサの瞳における回転対称の強度分布により、立上がりと立下りの両エッジ、すなわち例えば特徴部の左と右のエッジについて、同じ強度と照明の条件の下に測定が行われることを保証している。本発明のクリティカルな微小寸法測定装置は、被検特徴部の測定フィールド内における位置とは無関係に、そして被検特徴部の測定フィールドにおける配向とは無関係にクリティカルな微小寸法の測定が実行されることを初めて可能とする。

#### 【 発明を実施するための最良の形態 】

#### 【 0 0 1 2 】

図を参照し、以下に発明を詳細に説明する。

【0013】

図1は、クリティカルな微小寸法測定装置1の光学系の構成を示す。クリティカルな微小寸法測定装置1は、ケーラー照明に基づく本発明によるフィールドと瞳の均質化システムを備えている。本実施形態では、ガス放電ランプが光源2として用意されている。ガス放電ランプにより放射される光は、集光器3により集められる。光源2は、集光器3の焦点に位置し、無限遠に発光プラズマ(luminous plasma)の像を結ぶ。照明のためのガス放電ランプのスペクトルのスペクトル成分を通過させるスペクトル性フィルタシステム4が集光器3の後のビームの進路に配置される。フィルタシステム4の後には第1のマイクロレンズアレイ配列5が配置され、その後には正の屈折力を持つ第1の補助的な光学素子6が配置される。図2は、第1の照明の均質化部を含む、図1の詳細部Aの拡大したもの10を示す。これについては、以下でより詳細に述べる。

【0014】

第1のマイクロレンズアレイ配列5は、屈折あるいは回折のマイクロレンズアレイ、または2以上のアレイの組合せであったもよい。個々のマイクロレンズは、例えば六角形あるいは正方形の輪郭を持つものであってもよい。マイクロレンズは、収束レンズあるいは発散レンズとしてもよい。また、2つのマイクロレンズアレイを配置し、各マイクロレンズアレイは互いに交差する方向(crossed orientation)に配置された円柱状のマイクロレンズから構成することが考えられる。図示の便宜上第1のマイクロレンズアレイ配列5の3つのマイクロレンズI、II、IIIのみが描かれている。ここでは3つのマイクロレンズに減少させて描かれているが、実際には多数のマイクロレンズからマイクロレンズアレイは構成される。マイクロレンズアレイとして第1のマイクロレンズアレイ配列5が使われ、個々のマイクロレンズは全く同一のものである。

【0015】

各マイクロレンズI、II、IIIは、ビーム角8を有する円錐形の光線束7を生成する。以下でビーム角8は、広がり角ないし発散角(divergence angle)あるいは単に発散度(divergence)と称される。この発散度は、各マイクロレンズI、II、IIIから発せられる光線束7がコンデンサ11のコンデンサ瞳面10内のコンデンサ瞳9を完全に照明するように選ばれる。コンデンサ瞳9を持つコンデンサ瞳面10の位置は、図1の詳細部Bの拡大である図3に示される。これから明らかなようにここで用いられるコンデンサ11の実施形態では、コンデンサ瞳面10は第1のコンデンサレンズ12と第2のコンデンサレンズ13との間に置かれる。図2と図3の説明の目的では、第1のマイクロレンズアレイ配列5のマイクロレンズI、II、IIIから進行する例として描かれる光線には、同様にI、II、IIIの符号が付けられている。

【0016】

光線束7の発散度は、個々のマイクロレンズI、II、IIIの屈折力(refractive power)により決定される。第1のマイクロレンズアレイ配列5のコンデンサ側の焦点面14からコンデンサ瞳9までの距離に広がり角8の半分の正接を掛けたものがコンデンサ瞳9の半径15以上になるように、個々のマイクロレンズの屈折力、すなわち発散度が選ばれる。

【0017】

第1の補助的な光学素子6が無いと、個々のマイクロレンズI、II、IIIから進行する個々の収束あるいは発散する光線束(複数)7が同じビーム角8(すなわち同一の発散度)を示すが、異なる横方向のずれ(lateral offsets)を持ってコンデンサ瞳面10に到達するだろう。このずれのために光線束(複数)7の成分(複数)がコンデンサ瞳9の外側に入射してしまうだろう。この結果、光の強度の損失と、コンデンサ瞳9のエッジでの明るさの低下を生じてしまうだろう。

【0018】

これを防止するためにマイクロレンズI、II、IIIから進行する全ての光線束(複数)7が、第1の補助的な光学素子6によってコンデンサ瞳9に向けられる。この目的のために正の屈折力を持つ第1の補助的な光学素子6が使われる。第1の補助的な光学素子6の焦

10

20

30

40

50

点距離は、第1の補助的な光学素子6とコンデンサ瞳9との間の距離に実質上等しい。その結果、個々のマイクロレンズI、II、IIIから進行する光線束(複数)7の中心光線(ce nter rays)は、第1の補助的な光学素子6の前では平行に走るが、第1の補助的な光学素子6の後ではコンデンサ瞳9の中心に収束して向かうようになる。言い換えれば、コンデンサ瞳面10内で照明される領域は、コンデンサ瞳それ自身よりいくらか大きくなる。しかし図示の明瞭さのために図3ではコンデンサ瞳9が溢れ出るようにせずに単に一杯になるように示してある。溢れ出るようにするには十分に大きな数の光線を描く必要があるからである。

#### 【0019】

多数のマイクロレンズによって強度が平均化され、コンデンサ瞳9における強度分布の均質化がなされる。ガス放電ランプ(すなわち光源2)の発光プラズマの中間像(intermediate images)が第1のマイクロレンズアレイ配列5の個々のマイクロレンズのコンデンサ側の焦点面14(すなわち焦点面)付近に作られる。この中間像の数はマイクロレンズI、II、IIIの数に対応する。

#### 【0020】

これらの中間像は、正の屈折力を持つ第2の補助的な光学素子16と第2のマイクロレンズアレイ配列17とによって、コンデンサ瞳9すなわちコンデンサ瞳面10内に多数そして互いにずれたように結像される。実際には多くのマイクロレンズが存在するが、簡略化のために第2のマイクロレンズアレイ配列17の3つのマイクロレンズのみが図1および図3では概略的に描かれている。

#### 【0021】

第2の補助的な光学素子16の効果は、中間像(焦点面14に位置する)から進行して発散する光線束(複数)の中心光線を整列(align the center rays)することにある。第2の補助的な光学素子16の前では、これら個々の光線束の中心光線は、発散的に広がり、第2の補助的な光学素子16によって全体のシステムの光軸18(図2および図3に示す)に対して平行にされる。中間像から進行する各光線束が第2のマイクロレンズアレイ配列17の各マイクロレンズに当るように、第2のマイクロレンズアレイ配列17が配置される。

#### 【0022】

第2のマイクロレンズアレイ配列17の個々のマイクロレンズの発散度は、試料19上の均質照明フィールドの大きさを決定する。図によれば、コンデンサ瞳面10に到達する個々の光線束に対する小さなビーム角度の場合は、特徴部20が測定される試料19上の小さな均質照明フィールドとなることを意味する。同じようにコンデンサ瞳面10に到達する個々の光線束に対する大きなビーム角度(すなわち大きな発散度)の場合は、測定される試料19上の大きな均質照明フィールドとなるが、小さなフィールドの場合より強度は低くなる。照明される目標のフィールドの大きさは、第2のマイクロレンズアレイ配列17のマイクロレンズの焦点距離の適切な選択により決定される。第2の補助的な光学素子16と第2のマイクロレンズアレイ配列17とにより達せられる第2の多数の結像の動作によって光の強度のフィールドにおける均質化がなされる。これにより図4に示すコンデンサ瞳9における強度分布が得られる。先に述べたようにコンデンサ瞳9はわずかに溢れ出ている。

#### 【0023】

第2のマイクロレンズアレイ配列17の発散度とコンデンサ11の焦点距離とが、このように試料19の照明フィールドの大きさを決定する。第2のマイクロレンズアレイ配列17の発散度、すなわち第2のマイクロレンズアレイ配列17のマイクロレンズの発散度は、目的の照明フィールドが若干オーバ(溢れて)照明されるように選ばれるのが望ましい。

#### 【0024】

図1に描くように、試料19は、透明な支持層ないし基体(substrate)であって、その表面の右側に示すように検査される特徴部20が配されている。この試料は、例えば半

10

20

30

40

50

導体製造のマスクである。光学的な検査が透過光により実行される。検査される特徴部 (features) 20 は焦点に位置する。画像光学システム 21 は、例えばカメラのような画像取得 (撮像) 装置 22 に試料 19 の特徴部を結像する。画像取得 (撮像) 装置 22 により取得された画像は、画像評価装置 23 に送られ、画像評価装置 23 は、画像から特徴部 20 のクリティカル微小寸法を決定する。画像評価装置 23 は、例えば関連のソフトウェアを備えた計算機を含むものである。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】光源としてガス放電ランプを備える微小寸法測定装置の一実施例の概要を示す。

10

【図2】照明が均質な第1の部分を表す、図1のAの詳細を拡大したものである。

【図3】照明が均質な第2の部分を表す、図1のBの詳細を拡大したものである。

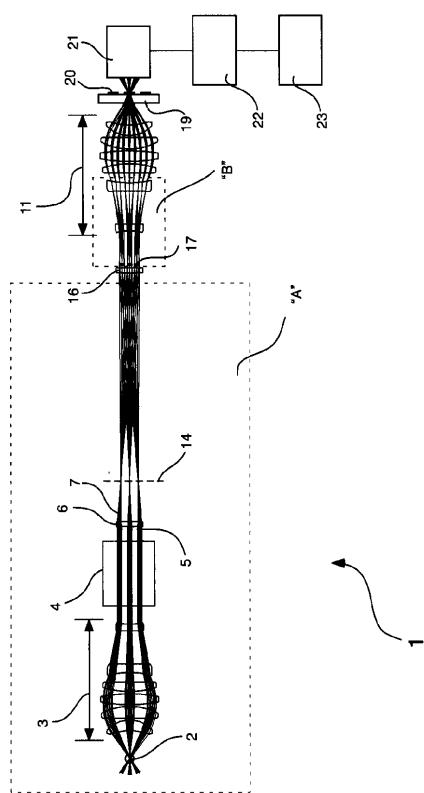
【図4】瞳の強度分布を示す。

【符号の説明】

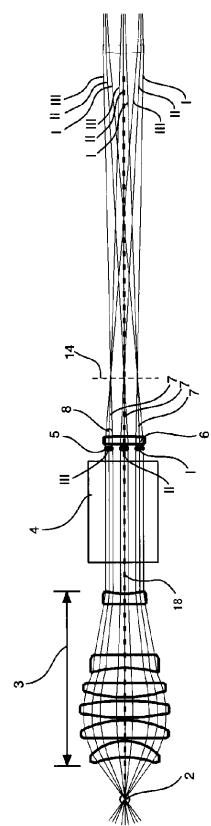
【0026】

- |            |                       |    |
|------------|-----------------------|----|
| 1          | 微小寸法測定装置              |    |
| 2          | 光源                    |    |
| 3          | 集光器                   |    |
| 4          | フィルタシステム              |    |
| 5          | 第1のマイクロレンズアレイ配列 (MLA) |    |
| 6          | 第1の補助的な光学素子           | 20 |
| 7          | 光線束                   |    |
| 8          | ビーム角 = 広がり角           |    |
| 9          | コンデンサ瞳                |    |
| 10         | コンデンサ瞳面               |    |
| 11         | コンデンサ                 |    |
| 12         | 第1のコンデンサレンズ           |    |
| 13         | 第2のコンデンサレンズ           |    |
| 14         | 第1のMLAのコンデンサ側の焦点面     |    |
| 15         | コンデンサ瞳の半径             |    |
| 16         | 第2の補助的な光学素子           | 30 |
| 17         | 第2のマイクロレンズアレイ配列 (MLA) |    |
| 18         | 光軸                    |    |
| 19         | 試料                    |    |
| 20         | 特徴部                   |    |
| 21         | 画像光学システム              |    |
| 22         | 画像取得 (撮像) 装置          |    |
| 23         | 画像評価装置                |    |
| I, II, III | マイクロレンズと関連の光線         |    |

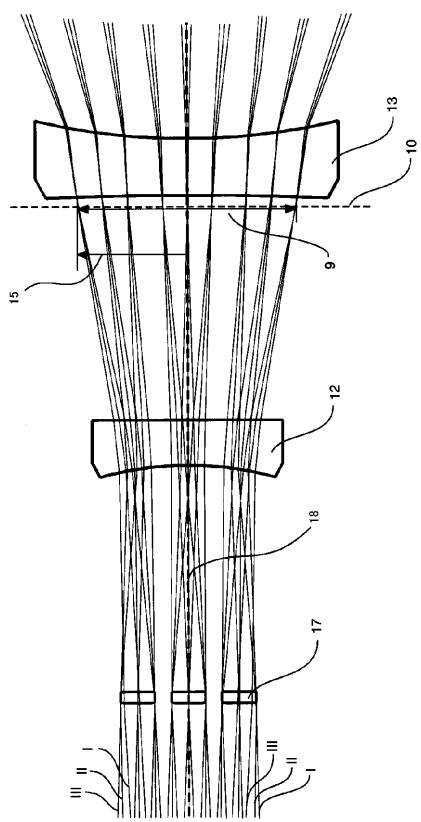
【 四 1 】



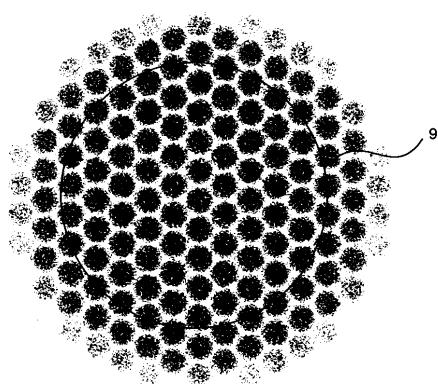
【 図 2 】



【図3】



【図4】



---

フロントページの続き

(72)発明者 フランツ チェーミック

  ドイツ連邦共和国 D - 3 5 7 8 9 ヴァイルミュンスター アム ドレッシュプラツツ 3

(72)発明者 ランベルト ダンナー

  ドイツ連邦共和国 D - 3 5 5 8 4 ヴェツラー - ナウンハイム ヴァインガルテンシュトラーセ  
  3 7

F ターム(参考) 2F065 AA03 AA07 AA21 AA37 BB02 BB22 BB28 DD03 GG03 GG04

  GG12 HH04 HH13 JJ03 JJ09 LL04 LL10 LL21 LL30 UU01

  2H052 BA02 BA07 BA11

【要約の続き】

図 1