

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-14611

(P2010-14611A)

(43) 公開日 平成22年1月21日(2010.1.21)

(51) Int.Cl.  
G01B 11/02 (2006.01)

F I  
G01B 11/02

テーマコード(参考)  
2F065

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2008-176047 (P2008-176047)  
(22) 出願日 平成20年7月4日(2008.7.4)

(71) 出願人 000005049  
シャープ株式会社  
大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号  
(74) 代理人 100075502  
弁理士 倉内 義朗  
(72) 発明者 三好 隆一  
大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号  
シャープ株式会社内  
Fターム(参考) 2F065 AA03 AA17 AA23 AA58 BB01  
CC19 EE08 FF04 FF61 HH02  
JJ03 JJ08 JJ26 LL00 QQ31

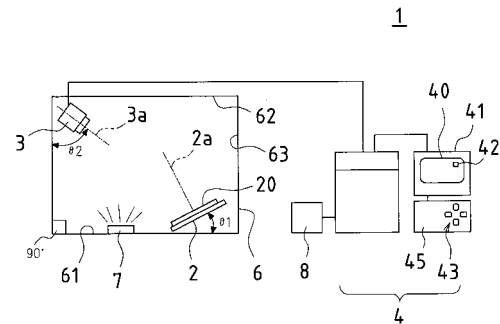
(54) 【発明の名称】 半導体寸法計測装置

(57) 【要約】

【課題】表面が鏡面状態である被測定物の寸法を正確に測定でき、被測定物の寸法計測の作業効率が高く、且つ、低コストである半導体寸法計測装置を提供する。

【解決手段】半導体寸法計測装置1は、ウェハ10から切り出されたウェハ分割片11の寸法を計測する装置であり、ウェハ分割片11を保持する保持台2と、保持台2に保持されたウェハ分割片11の表面に自己が投影されない位置に配置され、ウェハ分割片11を撮像する撮像装置3と、撮像装置3によりウェハ分割片11を撮像して得られた撮像画像25に基づいてウェハ分割片11の寸法を求める寸法計算装置4とを備える。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ウェハから切り出されたウェハ分割片の寸法を計測する半導体寸法計測装置において、  
前記ウェハ分割片を保持する保持台と、  
前記保持台に保持された前記ウェハ分割片の表面に自己が投影されない位置に配置され、  
前記ウェハ分割片を撮像する撮像装置と、  
前記撮像装置により前記ウェハ分割片を撮像して得られた撮像画像に基づいて前記ウェハ分割片の寸法を求める寸法計算装置とを備えたことを特徴とする半導体寸法計測装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体寸法計測装置において、  
前記保持台の傾斜角が調整可能とされたことを特徴とする半導体寸法計測装置。

10

## 【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の半導体寸法計測装置において、  
前記撮像装置の光軸方向が調整可能とされたことを特徴とする半導体寸法計測装置。

## 【請求項 4】

請求項 2 又は 3 に記載の半導体寸法計測装置において、  
前記保持台に保持された前記ウェハ分割片が前記撮像装置の光軸に垂直な面に対し斜めに配置されることで、前記ウェハ分割片の形状が手前側から奥側にかけて縮小するように変形して撮像される撮像画像に対し、前記寸法計算装置は、前記ウェハ分割片の撮像画像上での変形を補正して前記ウェハ分割片の実際の寸法を求めることを特徴とする半導体寸法計測装置。

20

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一つに記載の半導体寸法計測装置において、  
少なくとも前記保持台と前記撮像装置が、外乱光を遮断する筐体内に収納されたことを特徴とする半導体寸法計測装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一つに記載の半導体寸法計測装置において、  
前記ウェハ分割片を間接的に照明する照明器が設けられたことを特徴とする半導体寸法計測装置。

## 【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一つに記載の半導体寸法計測装置において、  
前記寸法計算装置により求められた前記ウェハ分割片の寸法に基づいて前記ウェハ分割片の半導体チップ数を求める半導体チップ数計測装置をさらに備えたことを特徴とする半導体寸法計測装置。

30

## 【請求項 8】

請求項 7 に記載の半導体寸法計測装置において、  
前記半導体チップ数計測装置は前記ウェハ分割片の欠損部を除外して前記半導体チップ数を求めることを特徴とする半導体寸法計測装置。

## 【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか一つに記載の半導体寸法計測装置において、  
半導体レーザチップ又は発光ダイオードチップを構成要素とするウェハ分割片を計測対象とすることを特徴とする半導体寸法計測装置。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ウェハから切り出されたウェハ分割片の寸法を計測する半導体寸法計測装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

半導体の生産工程では、各工程での歩留りを求める目的で、ウェハ上の有効な半導体チ

50

チップ数を計測する。ウェハを所定の寸法に分割して半導体を製造する場合は、ウェハ分割片ごとに半導体チップ数が計測される。

【0003】

ウェハ分割片ごとの半導体チップ数の計測では、まず、撮像装置によりウェハ分割片を撮像し、撮像装置により得られた撮像画像の処理してウェハ分割片の寸法が求められ、その寸法からウェハ分割片の面積が求められる。そして、この面積を半導体チップの面積で割ることにより、半導体チップ数が求められる。あるいは、より簡便な方法として、ウェハ分割片の長さを半導体チップの幅で割ることにより半導体チップ数が求められる。

【0004】

したがって、ウェハ分割片の半導体チップ数を正確に計測するためには、ウェハ分割片の寸法を正確に計測することが必要となる。

10

【0005】

以下、ウェハ分割片の寸法の計測方法について説明する。

【0006】

図12は、ウェハの平面図である。図13は、ウェハから切り出されたウェハ分割片の平面図である。図14は、ウェハ分割片を搭載するためのトレイの平面図である。図15は、ウェハ分割片の寸法の計測に用いられる従来の計測装置の側面図である。図16は、従来の計測装置で、ウェハ分割片が搭載されたトレイを撮像して得られた撮像画像を示す画像図である。

20

【0007】

ウェハ分割片111は、図12に示すウェハ110をダイシングで短冊状に分割することにより、形成される。そして、ウェハ分割片111は、外観検査作業やそのウェハ分割片111の半導体チップ数の計測作業を効率的に行うため、図14に示すようなトレイ120に搭載される。また、トレイ120を搬送するときにはウェハ分割片111の位置ズレが生じるので、トレイ120には凹部120aが設けられ、この凹部120aにウェハ分割片111が収容される。そして、図15に示すように、撮像装置103を備えた計測装置101を用いて、ウェハ分割片111内の半導体チップ数が求められる。

【0008】

計測装置101は、トレイ120を保持する保持台102と、CCD(Charge Coupled Devices)を撮像素子とする撮像装置103と、リング状照明器107から構成されている。この撮像装置103は保持台102の真上に配置され、リング状照明器107は、撮像装置103の鏡筒の周囲に設けられている。

30

【0009】

ウェハ分割片111は、保持台102に載せることで、撮像装置103の真下に配置される。そして、ウェハ分割片111は、撮像装置103により撮像される。さらに、撮像画像をラベリングで画像処理することによりウェハ分割片111の外縁が特定され、当該外縁からウェハ分割片111の寸法が求められ、この寸法に基づいてウェハ分割片111の面積が求められる。また、ウェハ分割片111の面積を半導体チップの面積で割る、あるいは、上記で求めたウェハ分割片の長さを半導体チップの幅で割ることで、半導体チップ数が求められる。

40

【0010】

しかしながら、ウェハ分割片111は、金などの電極材料の蒸着によりその表面が鏡面状態になっているため、撮像装置103やリング照明器107が、ウェハ分割片111の表面に投影されることがあった。このため、撮像装置103やリング状照明器107が映った状態でウェハ分割片111が撮像されることとなる。したがって、撮像画像125の画像処理においては、ウェハ分割片111の表面に映された撮像装置103やリング状照明器107の輪郭111bが認識されるため、当該輪郭111bとウェハ分割片111の外縁111aとが混在することとなり、ウェハ分割片111の外縁111aが正確に認識されず、この結果、ウェハ分割片111の寸法が正確に計測できないといった問題が生じていた。

50

## 【 0 0 1 1 】

そこで、ウェ八分割片 1 1 1 の寸法を正確に計測する方法として、撮像装置 1 0 3 やリング状照明器 1 0 7 のウェ八分割片 1 1 1 への投影を防止する擬似同軸落斜照明器を用いた方法が提案されている。

## 【 0 0 1 2 】

図 1 7 は、擬似同軸落斜照明器を備えた計測装置の側面図である。図 1 8 は、擬似同軸落斜照明器を備えた計測装置の照明範囲とトレイとを示す平面図である。

## 【 0 0 1 3 】

擬似同軸落斜照明器 1 1 7 を備えた計測装置 1 0 1 a の構成は、照明器の構造以外は、上記に示した計測装置 1 0 1 と同様である。擬似同軸落斜照明器 1 1 7 は、図 1 7 に示すように、撮像装置 1 0 3 の光軸 1 0 3 a に対し、垂直方向から照射する照明器 1 1 7 a を有しており、その照明器 1 1 7 a からの光を、光軸 1 0 3 a に垂直な面に対して斜めに配置されたハーフミラー 1 1 7 b で反射させることで、保持台 1 0 2 に配置された被測定物を照明する構造とされている。この構造により、被測定物を照明するために光軸 1 0 3 a 上に配置されていた照明器 1 1 7 a を光軸 1 0 3 a 上から外すことができ、且つ、撮像装置 1 0 3 側から被測定物側へ進行する光を遮断することができるので、撮像装置 1 0 3 や擬似同軸落斜照明器 1 1 7 が被測定物に投影されることを防止することができる。

10

## 【 0 0 1 4 】

したがって、擬似同軸落斜照明器 1 1 7 を備えた計測装置 1 0 1 a によれば、被測定物であるウェ八分割片 1 1 1 に撮像装置 1 0 3 や照明器 1 1 7 a が投影されることが防止されるので、正確にその寸法を計測することができる（特許文献 1 参照：以下、これを従来技術 1 という）。

20

## 【 0 0 1 5 】

また、ウェ八分割片 1 1 1 の寸法を計測する他の方法として、作業者が目測でウェ八分割片 1 1 1 を計測する方法もある。

## 【 0 0 1 6 】

図 1 9 は、ウェ八分割片を計測目盛のついたシート上に載せた状態を示す説明図である。

## 【 0 0 1 7 】

この場合は、トレイ 1 2 0 上に配置されたウェ八分割片 1 1 1 を作業者がピンセットで摘み、方眼紙などの計測目盛のついたシート 1 3 0 にウェ八分割片 1 1 1 を載せて、顕微鏡でウェ八分割片 1 1 1 を観察しながらシート 1 3 0 上の計測目盛を読み取ってウェ八分割片 1 1 1 の寸法を計測する（以下、これを従来技術 2 という）。

30

【特許文献 1】特開平 0 5 - 3 4 3 4 4 7 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 1 8 】

しかしながら、従来技術 1 では、擬似同軸落斜照明器 1 1 7 の照明範囲 1 1 7 c が限定される。したがって、図 1 8 に示すように、被測定物であるウェ八分割片 1 1 1 を搭載するトレイ 1 2 0 の大きさがその照明範囲 1 1 7 c よりも大きい場合は、その一部分にしか照明が当たらず、鮮明に撮像することができる範囲は制限され、これにより、トレイ 1 2 0 上にある全部のウェ八分割片 1 1 1 を一画面で撮像することができず、また、トレイ 1 2 0 上にある全部のウェ八分割片 1 1 1 を一括して画像処理をすることができなかつた。そのため、トレイ 1 2 0 が照明範囲 1 1 7 c より大きい場合は、トレイ 1 2 0 を順に送り、トレイ 1 2 0 上にあるウェ八分割片 1 1 1 の寸法計測を複数回に分けて行う必要があり、作業効率が低かつた。その上、トレイ 1 2 0 の送り作業を手動で行う場合は、送りの誤操作によって計測されないウェ八分割片 1 1 1 が発生するといった問題もあつた。トレイ 1 2 0 を自動送りとする場合であっても、自動化される分作業効率が向上するものの、自動送り機構が必要となるため、計測装置 1 0 1 a 自体が大型化、高コスト化するという問題があつた。

40

50

## 【0019】

ここで、従来技術1における、寸法計測の過程で画像処理の一括処理が行えないという問題を解決する一手段として、市販の擬似同軸落斜照明器117を用いるのではなく、大型の照明器とハーフミラーを組み合わせてトレイ120全体を照明可能とする大型の擬似同軸落斜照明器117を自作し、この大型の擬似同軸落斜照明器117を用いることも考えられる。しかしながら、擬似同軸落斜照明器117自体が大型化するため、計測装置101a自体が大型化、高コスト化するという問題がある。

## 【0020】

また、他の手段として、市販の擬似同軸落斜照明器117と、低倍率レンズを備えた高分解能撮像装置と、画像処理システムとを用い、当該擬似同軸落斜照明器117の照明範囲117c内にトレイ120全体が入るように構成するという事も考えられる。この手段によれば、低倍率レンズの撮像によりトレイ120全体を撮像することができ、且つ、高分解能撮像装置の採用により分解能を低下させずに被測定物を計測することができることから、一括画像処理を行うことも可能となる。しかしながら、このような高分解能撮像装置及び画像処理システムを用いて計測装置101aを構成すれば、計測装置101aが非常に高価になってしまうという問題がある。

10

## 【0021】

一方、従来技術2では、作業者がトレイ120上のウェ八分割片111を1個ずつピンセットなどで取り出し、顕微鏡を介して目視で寸法を計測するため、作業効率や測定精度が非常に低いといった問題があり、その上、ウェ八分割片111は脆い材質であるためピンセットでウェ八分割片111に傷や欠けを生じさせるといった問題があった。

20

## 【0022】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、表面が鏡面状態である被測定物の寸法を正確に測定することができ、寸法計測の作業効率が高く、且つ、低コストである半導体寸法計測装置を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0023】

本発明に係る半導体寸法計測装置は、ウェ八から切り出されたウェ八分割片の寸法を計測する装置であり、前記ウェ八分割片を保持する保持台と、前記保持台に保持された前記ウェ八分割片の表面に自己が投影されない位置に配置され、前記ウェ八分割片を撮像する撮像装置と、前記撮像装置により前記ウェ八分割片を撮像して得られた撮像画像に基づいて前記ウェ八分割片の寸法を求める寸法計算装置とを備えたことを特徴とする。

30

## 【0024】

本発明によれば、ウェ八分割片を撮像する撮像装置は、ウェ八分割片の表面に自己が投影されない位置に配置されることから、ウェ八分割片に撮像装置が投影されてしまうことが防止され、撮像装置の輪郭がウェ八分割片の表面に現れることもないので、撮像装置によりウェ八分割片を撮像して得られた撮像画像に基づいてウェ八分割片の寸法を正確に求めることができる。

## 【0025】

また、上記の半導体寸法計測装置において、前記保持台の傾斜角が調整可能とされたことを特徴としてもよい。

40

## 【0026】

この構成によれば、ウェ八分割片を保持する保持台の傾斜角が調整可能とされているので、撮像装置の焦点が合う範囲内に、ウェ八分割片を最も適当な傾斜角で配置することができる。これにより、撮像装置の焦点ずれによるぼやけを抑制して、ウェ八分割片を撮像することができるので、正確にウェ八分割片の寸法を計測することができる。

## 【0027】

また、ウェ八分割片を、撮像装置の光軸に垂直な面に対して斜めに配置することもできることから、仮に、撮像装置の光軸に垂直な面にウェ八分割片を配置したとしたならば撮像装置の撮像範囲よりも広い範囲にわたってウェ八分割片が配置されてしまう場合であっ

50

ても、保持台を傾斜させて、撮像装置の光軸に垂直な面に対してウェ八分割片を斜めに配置することで、ウェ八分割片全部を撮像装置の撮像範囲内に入れることができるので、広い範囲にわたって配置される複数のウェ八分割片全部を一回で撮像することができ、これにより、ウェ八分割片全部の撮像画像を寸法計算装置で一括処理することができる。

【0028】

また、撮像装置の撮像範囲よりも広い範囲に配置されたウェ八分割片を、撮像画像の解像度を維持しつつ撮像するには、従来の方法では、ウェ八分割片全体を撮像範囲に入れるために、撮像装置を低倍率レンズ付き高分解能撮像装置に交換する必要があったが、上記のように、ウェ八分割片を斜めにするだけで撮像装置の撮像範囲よりも広い範囲を撮像することが可能となるので、従来の方法では必要とされた高価な高分解能撮像装置の導入を行わなくて済み、その分、設備投資を抑制することができる。

10

【0029】

また、上記の半導体寸法計測装置において、前記撮像装置の光軸方向が調整可能とされたことを特徴としてもよい。

【0030】

この構成によれば、撮像装置の光軸方向が調整可能とされていることから、ウェ八分割片の表面に対して光軸の角度を変えることができるので、撮像装置の焦点があうように、撮像装置を最も適当な位置に配置することができる。これにより、撮像装置の焦点ずれによるぼやけを抑制して、ウェ八分割片を撮像することができるので、正確にウェ八分割片の寸法を計測することができる。

20

【0031】

また、撮像装置の光軸方向の調整により、ウェ八分割片を、撮像装置の光軸に垂直な面に対して斜めに配置することもできることから、仮に、撮像装置の光軸に垂直な面にウェ八分割片を配置したとしたならば撮像装置の撮像範囲よりも広い範囲にわたってウェ八分割片が配置される場合であっても、撮像装置の光軸を調整することにより、当該光軸に垂直な面に対し斜めの面にウェ八分割片を配置させて、ウェ八分割片全部を撮像装置の撮像範囲内に入れることができるので、広い範囲にわたって配置される複数のウェ八分割片全部を一回で撮像することができ、これにより、ウェ八分割片全部の撮像画像を寸法計算装置で一括処理することができる。

【0032】

また、撮像装置の撮像範囲よりも広い範囲に配置されたウェ八分割片を、撮像画像の解像度を維持しつつ撮像するには、従来の方法では、ウェ八分割片全体を撮像範囲に入れるために、撮像装置を低倍率レンズ付き高分解能撮像装置に交換する必要があったが、上記のように、撮像装置の光軸方向の調整により、光軸に垂直な面に対し斜めの面にウェ八分割片を配置させることで、撮像装置の撮像範囲よりも広い範囲を撮像することが可能となるので、従来の方法では必要とされた高価な高分解能撮像装置の導入を行わなくて済み、その分、設備投資を抑制することができる。

30

【0033】

また、上記の半導体寸法計測装置において、前記保持台に保持された前記ウェ八分割片が前記撮像装置の光軸に垂直な面に対し斜めに配置されることで、前記ウェ八分割片の形状が手前側から奥側にかけて縮小するように変形して撮像される撮像画像に対し、前記寸法計算装置は、前記ウェ八分割片の撮像画像（以下、ウェ八分割片撮像画像ともいう。）上での変形を補正して前記ウェ八分割片の実際の寸法を求めることを特徴としてもよい。

40

【0034】

この構成によれば、ウェ八分割片が撮像装置の光軸に垂直な面に対して斜めに配置されることにより、ウェ八分割片の形状が手前側から奥側にかけて縮小するように変形して撮像される場合であっても、寸法計算装置はウェ八分割片撮像画像上での変形を補正してウェ八分割片の実際の寸法を求めるので、ウェ八分割片の寸法を正確に求めることができる。

【0035】

50

また、上記に記載の半導体寸法計測装置において、少なくとも前記保持台と前記撮像装置が、外乱光を遮断する筐体内に収納されたことを特徴としてもよい。

【0036】

この構成によれば、保持台及び撮像装置が筐体内に配置され、外乱光が遮断されることから、保持台に配置されるウェハ分割片に筐体外部の背景の投影や外乱光による撮像画像の乱れが防止されるので、ウェハ分割片の寸法を正確に計測することができる。

【0037】

また、上記に記載の半導体寸法計測装置において、前記ウェハ分割片を間接的に照明する照明器が設けられたことを特徴としてもよい。

【0038】

この構成によれば、ウェハ分割片に光が直接照射されないことから、ウェハ分割片上で強い光が反射することはないので、撮像装置のハレーションの発生が防止される。したがって、ハレーションによる撮像画像の乱れが防止されるので、常時、ウェハ分割片の寸法を正確に計測することができる。

【0039】

また、照明器が、ウェハ分割片を間接的に照明する位置に配置されているので、照明器自体がウェハ分割片に投影されることもない。

【0040】

また、ウェハ分割片の照明は間接的でありさえすればよく、擬似同軸落斜照明器のように平行光を出す装置で照明する必要はないので、照明範囲が限定されることもない。

【0041】

また、上記の半導体寸法計測装置において、前記寸法計算装置により求められた前記ウェハ分割片の寸法に基づいて前記ウェハ分割片の半導体チップ数を求める半導体チップ数計測装置をさらに備えたことを特徴としてもよい。

【0042】

この構成によれば、ウェハ分割片内にある半導体チップ数を計測する半導体チップ数計測装置が備えられているので、ウェハ分割片内にある半導体チップ数を求めることができる。

【0043】

また、上記の半導体寸法計測装置において、前記半導体チップ数計測装置は前記ウェハ分割片の欠損部を除外して前記半導体チップ数を求めることを特徴としてもよい。

【0044】

この構成によれば、ウェハ分割片から欠損部を除外して半導体チップ数を求めるので、ウェハ分割片に存在する有効な半導体チップ数をより正確に求めることができる。

【0045】

また、上記の半導体寸法計測装置において、半導体レーザチップ又は発光ダイオードチップを構成要素とするウェハ分割片を計測対象とすることを特徴としてもよい。

【0046】

この構成によれば、半導体レーザチップ又は発光ダイオードチップを構成要素とするウェハ分割片の寸法を正確に計測することができる。

【発明の効果】

【0047】

本発明によれば、半導体寸法計測装置において、ウェハ分割片を撮像する撮像装置は、ウェハ分割片の表面に自己が投影されない位置に配置されることから、ウェハ分割片には撮像装置の投影が防止され、撮像装置の輪郭がウェハ分割片の表面に表れることもないので、撮像装置によりウェハ分割片を撮像して得られた撮像画像に基づいてウェハ分割片の寸法を正確に求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 9 】

図 1 は、半導体寸法計測装置の構成図である。図 2 は、照明器の光拡散の状態を示す、半導体寸法計測装置の筐体部分の側面図である。図 3 は、ウェハ分割片が搭載されたトレイの平面図である。図 4 は、撮像装置と保持台との位置関係を示す配置図である。図 5 は、傾けたトレイを撮像装置で撮像したときの撮像装置とトレイとの配置と、そのときの撮像画像を示す図である。

## 【 0 0 5 0 】

半導体寸法計測装置 1 は、ウェハ 1 0 ( 図 9 参照 ) から切り出されたウェハ分割片 1 1 の寸法を計測する計測装置であり、保持台 2 と、撮像装置 3 と、寸法計算装置 4 とを備えており、保持台 2 に配置されたウェハ分割片 1 1 を撮像装置 3 により撮像し、撮像装置 3 により取得された撮像画像 2 5 に基づいて当該ウェハ分割片 1 1 の寸法を計測するものである。

10

## 【 0 0 5 1 】

半導体寸法計測装置 1 には、本実施の形態のように、ウェハ分割片 1 1 内の半導体チップ数を計測するための半導体チップ数計測装置 8 を備えることが好ましい。

## 【 0 0 5 2 】

上記半導体チップ数計測装置は、寸法計算装置 4 と同一装置で兼ねることも可能である。

## 【 0 0 5 3 】

なお、ウェハ分割片 1 1 とは、ウェハ 1 0 から所定寸法に切り出された短冊状のものであり、短冊状のものには、矩形のもののみならず、正方形、台形のものが含まれる。また、本実施形態の半導体寸法計測装置 1 の計測対象は、例えば、半導体レーザチップ又は発光ダイオードチップを構成要素とするウェハ分割片 1 1 を挙げることができるが、計測対象は、この種のチップのウェハ分割片 1 1 に限定されるものではない。

20

## 【 0 0 5 4 】

半導体寸法計測装置 1 は、開放された空間に、保持台 2、撮像装置 3 及び寸法計算装置 4 を夫々配置して組み立ててもよいが、図 1 のように、外乱光を遮断する筐体 6 内に、保持台 2 及び撮像装置 3 を収納することが好ましい。このような構成により、外乱光が遮断され、ウェハ分割片 1 1 に筐体 6 外部の背景が投影されることや、外乱光による撮像画像 2 5 の乱れが防止されるので、ウェハ分割片 1 1 の寸法を正確に計測することができる。

30

## 【 0 0 5 5 】

なお、筐体 6 には、ウェハ分割片 1 1 の搭載されたトレイ 2 0 の出し入れを可能とするために、開閉自在な扉( 図示省略 ) が設けられている。

## 【 0 0 5 6 】

保持台 2 は、ウェハ分割片 1 1 を保持するものである。具体的には、保持台 2 は、直接ウェハ分割片 1 1 を保持するものではなく、ウェハ分割片 1 1 を搭載するためのトレイ 2 0 を保持する構成とされ、間接的に、ウェハ分割片 1 1 を保持するものである。また、保持台 2 は、水平面( 例えば、筐体 6 の底面 6 1 ) に対する角度  $\theta_1$  が調整可能なように、設置されている。

## 【 0 0 5 7 】

撮像装置 3 は、ウェハ分割片 1 1 を撮像する装置であり、CCD などのイメージセンサ素子と光学レンズ系により構成されている。

40

## 【 0 0 5 8 】

また、図 1 に示すように、撮像装置 3 は、その装置自体がウェハ分割片 1 1 に投影されないように、保持台 2 の法線 2 a 方向に対して、撮像装置 3 の光軸 3 a の方向が所定角度ずれるように、配置されている。また、撮像装置 3 は、その光軸 3 a の方向が調整可能に、筐体 6 の天井又は側面に取り付けられている。または、底部からスタンドによって保持されている。

寸法計算装置 4 は、撮像装置 3 による撮像画像 2 5 に基づいて、ウェハ分割片 1 1 の寸法を求める装置である。具体的には、撮像画像 2 5 ( 図 5 参照 ) をラベリング処理し、各ウ

50



エ八分割片 1 1 の外縁を特定し、各エ八分割片 1 1 の寸法を算出するように構成されている。また、寸法計算装置 4 には、撮像画像 2 5 を表示させるモニタ 4 1 が備えられている。

【 0 0 5 9 】

また、寸法計算装置 4 には、モニタ画面 4 0 上で、手動によりエ八分割片 1 1 の寸法の計測が可能ないように、手動寸法計測装置 4 5 が装備されている。手動寸法計測装置 4 5 は、モニタ画面 4 0 上のカーソル 4 2 を操作する操作キー 4 3 を備えており、操作者が、モニタ画面 4 0 を確認しながら、カーソル 4 2 を、撮像画像 2 5 上でのエ八分割片 1 1 の角部にあわせることで、エ八分割片 1 1 の寸法が計測されるように、構成されている。

10

【 0 0 6 0 】

半導体チップ数計測装置 8 は、寸法計算装置 4 により求められたエ八分割片 1 1 の寸法に基づいて、エ八分割片 1 1 内にある半導体チップ数を計測する装置である。具体的には、半導体チップ数計測装置 8 は、寸法計算装置 4 により求められたエ八分割片 1 1 の寸法に基づいてエ八分割片 1 1 の面積を求め、当該面積を半導体チップ 1 2 ( 図 9 乃至図 1 1 参照 ) の面積で除算する、あるいは、エ八分割片 1 1 の長さを半導体チップ 1 2 の幅で除算することにより求められる。この構成により、エ八分割片 1 1 の半導体チップ数が迅速に求められる。

【 0 0 6 1 】

また、エ八分割片 1 1 を照明するための照明器 7 は、エ八分割片 1 1 を間接的に照明する位置に設置される。例えば、図 2 に示すように、照明器 7 は、天井 6 2 や側面 6 3 からの反射光でエ八分割片 1 1 を間接的に照明するように、筐体 6 の底面 6 1 に設置されている。

20

【 0 0 6 2 】

このような構成によれば、エ八分割片 1 1 に光が直接照射されないことから、エ八分割片 1 1 上で強い光が反射することはないので、撮像装置 3 のハレーションの発生が防止される。したがって、ハレーションによる撮像画像 2 5 の乱れが防止されるので、常時、エ八分割片 1 1 の寸法を正確に計測することができる。

【 0 0 6 3 】

また、照明器 7 が、エ八分割片 1 1 を間接的に照明する位置に配置されているので、照明器 7 自体がエ八分割片 1 1 に投影されることもない。

30

【 0 0 6 4 】

また、エ八分割片 1 1 の照明は間接的でありさえすればよく、前記従来技術 1 の擬似同軸落斜照明器のような平行光を出す装置でエ八分割片 1 1 を照明する必要はないので、照明範囲が限定されることもない。

【 0 0 6 5 】

次に、撮像装置 3 により撮像されるエ八分割片 1 1 の配置について説明する。

【 0 0 6 6 】

トレイ 2 0 には、エ八分割片 1 1 を収容するための凹部 2 0 a が並設されており、エ八分割片 1 1 は、図 3 に示すように、凹部 2 0 a に収容され、トレイ 2 0 に並べられる。なお、エ八分割片 1 1 の並び順は特に定められず、各エ八分割片 1 1 は、任意の凹部 2 0 a に配置される。また、凹部 2 0 a の深さは、エ八分割片 1 1 の厚みと同等程度であるか、又はそれより浅くされ、エ八分割片 1 1 の外縁が撮像装置 3 により明確に撮像される程度に、設定されている。

40

【 0 0 6 7 】

そして、図 4 又は図 5 に示すように、トレイ 2 0 は、その全体が、撮像装置 3 の撮像範囲 3 b に入るように、保持台 2 に配置される。

【 0 0 6 8 】

例えば、トレイ 2 0 が撮像範囲よりも大きい場合は、図 4 に示すように、撮像装置 3 の光軸 3 a が水平面に対して斜めになるように、撮像装置 3 の角度を調整するとともに、保

50

持台 2 を水平 ( $\theta_1 = 0^\circ$ ) に配置され、トレイ 20 全体が撮像装置 3 の撮像範囲 3 b に入るようにされる。

【0069】

ところが、撮像装置 3 とトレイ 20 との間の最近接距離 3 c と最離遠距離 3 d との距離差が撮像装置 3 の焦点深度の許容値を超える程大きい場合は、焦点ずれが発生し撮像画像 25 がぼやけてしまうので、各ウェ八分割片 11 の寸法を正確に求めることができない。

【0070】

一方、撮像画像 25 において焦点ずれを完全になくすためには、撮像装置 3 の光軸 3 a を保持台 2 に対して直交させること、すなわち、撮像装置 3 の光軸 3 a の角度  $\theta_2$  (光軸 3 a と鉛直線とのなす角) と、保持台 2 の水平面からの角度  $\theta_1$  とを一致させればよい ( $\theta_1 = \theta_2$ ) が、このような設定では、撮像装置 3 がウェ八分割片 11 に投影されてしまうため、各ウェ八分割片 11 の寸法を正確に求めることができない。

10

【0071】

そこで、撮像装置 3 からトレイ 20 までの最近接距離 3 c と最離遠距離 3 d に対応するトレイ 20 上の各点において、撮像装置 3 の焦点ずれが生じないように、すなわち、撮像装置 3 の焦点深度の許容値を超えない範囲内で、撮像装置 3 と保持台 2 の角度がそれぞれ調整される。例えば、図 5 に示すように、撮像装置 3 の光軸 3 a が保持台 2 の法線 2 a に対して傾くように撮像装置 3 と保持台 2 の角度が調整される。

【0072】

このような場合、撮像装置 3 に対して奥側が手前側よりも視野が広がるため、撮像装置 3 によりトレイ 20 を撮像した場合、その撮像画像 25 は、図 5 に示すように、上部が下部よりも小さい台形となる。つまり、トレイ 20 に搭載されたウェ八分割片 11 同士で寸法が同一であっても、奥側に配置されたものは、手前側に配置されたものよりも、小さく撮像されることとなる。このため、ウェ八分割片 11 のウェ八分割片撮像画像 26 に対応する画素数について奥側のも手前側のもを比較すると、奥側に配置されたものの画素数は、手前側に配置されたものの画素数よりも少なくなり、奥側と手前側との間で画素分解能が異なることとなる。したがって、撮像画像 25 に基づいて、トレイ 20 上の各ウェ八分割片 11 の寸法を求める場合において、撮像画像 25 上の各画素に同一の単位距離を割り当てると、同一寸法のウェ八分割片 11 であっても異なった寸法として計測されることとなる。

20

30

【0073】

そこで、このような事態を回避するため、撮像装置 3 により斜めに傾けたトレイ 20 を撮像する場合においては、撮像画像 25 に基づいてウェ八分割片 11 の寸法を求めるときに、撮像画像 25 上における各点での画素分解能、および、撮像画像 25 におけるウェ八分割片撮像画像 26 の重心座標に基づいて、撮像画像 25 の変形が補正され、ウェ八分割片 11 の寸法が求められる。

【0074】

ここで、画素分解能とは、撮像画像 25 上における隣接する 2 画素間距離に対応する実際の距離である。

【0075】

次に、撮像画像 25 の変形を補正して、撮像画像 25 からウェ八分割片 11 の寸法を求める方法について説明する。

40

【0076】

図 6 は、校正用プレートの平面図である。図 7 は、校正用プレートを撮像装置で撮像した校正用プレートの画像図である。図 8 は、ウェ八分割片を撮像装置で撮像したときに得られるウェ八分割片撮像画像を示す画像図である。

【0077】

まず、撮像装置 3 と保持台 2 の配置が決定される。具体的には、撮像装置 3 と保持台 2 との距離、及び、撮像装置 3 の光軸 3 a と保持台 2 の法線 2 a とのなす角度が決定される。これは、これらのパラメータにより、画素分解能が異なるためである。つまり、下記に

50

示す補正式は、これらのパラメータごとに求められるものである。

【0078】

次に、撮像装置3と保持台2を所定の配置としてウェ八分割片11を撮像したときの撮像画像25上における各点での補正值を求めるために、図6に示すような、校正用プレート21が用意される。

【0079】

校正用プレート21には、上下方向に既定の間隔を隔てた相互に平行な2本の区切り線21a, 21aと、左右方向に既定の間隔を隔てた相互に平行な2本の区切り線21b, 21bが描画されている。また、これらの区切り線21a, 21a, 21b, 21bは、相互に交差する4つの交点P1~P4が、それぞれ校正用プレート21の各隅部に位置するように、配置されている。なお、図6においては、左上の交点を第1点P1、右上の交点を第2点P2、左下の交点を第3点P3、右下の交点を第4点P4、とする。

【0080】

次に、校正用プレート21を保持台2上に配置し、校正用プレート21を撮像装置3で撮像する。このとき、校正用プレート21の撮像画像25aは、図7に示すように、上部が下部よりも小さくなる。

【0081】

次に、校正用プレート21の撮像画像25aが表示されるモニタ画面40上で、校正用プレート21の第1点P1~第4点P4の座標を計測する。

【0082】

例えば、校正用プレート21の第1点P1~第4点P4の座標は、寸法計算装置4の手動寸法計測器45により計測される。具体的には、校正用プレート21の撮像画像25aを寸法計算装置4のモニタ画面40に表示させ、このモニタ画面40上で、校正用プレート21の第1点P1にカーソル42を合わせ、当該第1点P1の座標を読み取る。同様にして、第2点P2~第4点P4の座標を読み取る。

【0083】

そして、モニタ画面40上で取得された第1点P1~第4点P4のXY座標、並びに、校正用プレート21上の第1点P1と第2点P2の実際の間隔、及び第2点P2と第4点P4の実際の間隔から、次の式により、撮像画像25上の任意の座標での画素分解能が算出される。

【0084】

すなわち、第1点P1、第2点P2、第3点P3、第4点P4の撮像画像25上でのXY座標は、それぞれ(X1, Y1)、(X2, Y2)、(X3, Y3)、(X4, Y4)とし、また、校正用プレート21の左右に平行な2本の区切り線21b, 21bの実際の間隔をLXとし、上下に平行な区切り線21a, 21aの実際の間隔をLYとすると、

$$\text{座標 } Y_1 \text{ における } X \text{ 方向画素分解能 } X_{\text{res}}(Y_1) = LX / (X_2 - X_1)$$

$$\text{座標 } Y_3 \text{ における } X \text{ 方向画素分解能 } X_{\text{res}}(Y_3) = LX / (X_4 - X_3)$$

$$\text{座標 } Y_i \text{ における } X \text{ 方向画素分解能 } X_{\text{res}}(Y_i)$$

$$= X_{\text{res}}(Y_3) + (Y_i - Y_3) \times (X_{\text{res}}(Y_3) - X_{\text{res}}(Y_1)) / (Y_3 - Y_1)$$

$$\text{座標 } X_i \text{ における } Y \text{ 方向画素分解能 } Y_{\text{res}} = LY / (Y_3 - Y_1)$$

となる。

【0085】

なお、図7に示す校正用プレート21の撮像画像25aでは、Y1 = Y2、Y3 = Y4となっている。

【0086】

次に、寸法測定するウェ八分割片11を搭載したトレイ20を保持台2上に配置し、トレイ20を撮像装置3で撮像する。そして、撮像画像25は、寸法計算装置4により、図8に示すように、ラベリング処理され、各ウェ八分割片11の外縁が特定される。続いて、各ウェ八分割片撮像画像26のX, Y方向の寸法Sx, Syが求められるとともに、各

10

20

30

40

50

ウェ八分割片撮像画像 2 6 における重心座標  $G_x$  ,  $G_y$  が求められる。その後、各ウェ八分割片撮像画像 2 6 について、寸法  $S_x$  ,  $S_y$ 、重心座標  $G_x$  ,  $G_y$ 、当該重心座標での X 方向画素分解能、及び Y 方向画素分解能に基づいて、下記の式により、各ウェ八分割片 1 1 の実際の寸法  $L_{enX}$  ,  $L_{enY}$  が求められる。

【 0 0 8 7 】

$$L_{enX} = S_x \times X_{res} (G_y)$$

$$L_{enY} = S_y \times Y_{res}$$

以上の方法より、撮像装置 3 に対して保持台 2 が斜めに配置した状態でトレイ 2 0 を撮像した場合でも、上記の式により、撮像画像 2 5 の変形が補正されるので、ウェ八分割片 1 1 の正確な寸法を求めることができる。

10

【 0 0 8 8 】

次に、ウェ八分割片 1 1 の寸法が求められた後に行われる、半導体チップ数の計測について説明する。

【 0 0 8 9 】

半導体チップ数の計測は、半導体チップ数計測装置 8 により行われる。ところが、当該ウェ八分割片 1 1 内に、有効な半導体チップ数として計測すべきでない部分が含まれる場合がある。

【 0 0 9 0 】

このような場合は、次のような処理をして、有効な半導体チップ数の計測が行われる。

【 0 0 9 1 】

20

図 9 は、保持部を示すウェ八の平面図である。図 1 0 は、ウェ八の周縁部に対応する部分を示すウェ八分割片の平面図である。図 1 1 は、ウェ八の金属未蒸着部を示すウェ八分割片の平面図である。

【 0 0 9 2 】

なお、図 1 0 において、斜線部は、半導体チップの欠け部分を示し、図 1 1 において、斜線部は、半導体チップ上の金属未蒸着部 1 2 b を示している。

【 0 0 9 3 】

ウェ八 1 0 は円形であるため、矩形の半導体チップ 1 2 を形成する場合、ウェ八 1 0 の周縁部には、矩形とならない半導体チップ（以下、欠けチップという。） 1 2 a が形成されることとなる。このような、矩形とならない欠けチップ 1 2 a は、最終的には除去される。

30

【 0 0 9 4 】

また、ウェ八 1 0 の製造プロセスにおいては、金などの電極材料の蒸着が行われるが、蒸着処理が行われるときウェ八 1 0 は保持具 5 0 により保持されるため、図 1 1 に示すように、ウェ八 1 0 の一部に蒸着膜が形成されない金属未蒸着部 1 2 b が生じる。そのため、金属未蒸着部 1 2 b も、最終的に除去される。

【 0 0 9 5 】

したがって、ウェ八分割片 1 1 において、有効な半導体チップ 1 2 の数を計測するには、これら除去されるべき欠損部（欠けチップ 1 2 a や金属未蒸着部 1 2 b ）を除外して計測する必要がある。

40

【 0 0 9 6 】

そこで、この欠損部を除外する方法について説明する。

【 0 0 9 7 】

ウェ八分割片 1 1 においては、上記の欠けチップ 1 2 a 又は金属未蒸着部 1 2 b は、両端部又は一端部に現れる。

【 0 0 9 8 】

そのため、ウェ八分割片 1 1 の寸法  $S_y$ （ウェ八分割片 1 1 の上下方向の幅）は、欠けチップ 1 2 a や金属未蒸着部 1 2 b が存在するウェ八分割片 1 1 の端部から求めるのではなく、中央部分から求める。

【 0 0 9 9 】

50

また、上記寸法  $S_y$  を求める際に、ウェ八分割片 11 の端縁 11 a (側縁 11 c に対し垂直に延びる部分) の寸法  $S_t$  (図 10 参照) を求める。そして、寸法  $S_t$  が、寸法  $S_y$  に所定倍率 (1 未満の数値。例えば、0.8。) を掛けて得られた値よりも小さい値となる場合は、ウェ八分割片 11 の有効面積を求めるにあたって、その端縁 11 a から所定距離内の部分 (除外部分) 11 b を、欠けチップ 12 a 又は金属未蒸着部 12 b に対応するものとして、ウェ八分割片 11 の面積から除外する。

【0100】

なお、ウェ八分割片 11 の面積から除外すべき除外部分 (端縁から所定距離内にある領域の面積) 11 b は、ウェ八サイズ (周縁の曲率)、チップサイズ、保持具 50 の面積等によって変化するため、ウェ八分割片 11 の面積から除外部分 11 b を除外するかを定めるための、寸法  $S_y$  に掛けられる上記所定倍率、及び、ウェ八分割片 11 の面積からどの程度の面積を除外するかを定めるための所定距離  $S_r$  は、適宜変更可能とされている。

10

【0101】

そして、ウェ八分割片 11 の半導体チップ数を求めるときは、ウェ八分割片 11 の面積から除外部分 11 b の面積を除去して有効面積を求め、その有効面積を半導体チップ 12 の面積で除算することにより求める。

【0102】

以上の方法によれば、ウェ八分割片 11 に欠損部 (欠けチップ 12 a や金属未蒸着部 12 b) があっても、ウェ八分割片 11 から欠損部を除外してウェ八分割片 11 の有効面積を求め、その有効面積に基づいて半導体チップ数を算出するので、ウェ八分割片 11 に存在する有効な半導体チップ数を正確に求めることができる。

20

【0103】

以上の構成の半導体寸法計測装置 1 によれば、ウェ八分割片 11 を撮像する撮像装置 3 は、ウェ八分割片 11 の表面に自己が投影されない位置に配置されることから、ウェ八分割片 11 に撮像装置 3 が投影されてしまうことが防止され、撮像装置 3 の輪郭がウェ八分割片 11 の表面に現れることもないので、撮像装置 3 によりウェ八分割片 11 を撮像して得られた撮像画像 25 に基づいてウェ八分割片 11 の寸法を正確に求めることができる。

【0104】

また、ウェ八分割片 11 を保持する保持台 2 の傾斜角が調整可能とされているので、撮像装置 3 の焦点が合う範囲内に、ウェ八分割片 11 を最も適当な傾斜角で配置することができる。

30

【0105】

また、撮像装置 3 の光軸 3 a の方向が調整可能とされていることから、ウェ八分割片 11 の表面に対して光軸 3 a の角度を変えることができるので、撮像装置 3 の焦点が合うように、撮像装置 3 を最も適当な位置に配置することができる。

【0106】

これにより、撮像装置 3 の焦点ずれによるぼやけを抑制して、ウェ八分割片 11 を撮像することができるので、正確にウェ八分割片 11 の寸法を計測することができる。

【0107】

ところで、撮像装置 3 の撮像範囲 3 b よりも広い範囲にわたってウェ八分割片 11 が配置される場合もある。

40

【0108】

これに対しては、半導体寸法計測装置 1 は、保持台 2 の傾斜角の調整により、ウェ八分割片 11 を撮像装置 3 の光軸 3 a に垂直な面に対して斜めに配置させること、又は、撮像装置 3 の光軸方向を調整することにより、ウェ八分割片 11 を撮像装置 3 の光軸 3 a に垂直な面に対し斜めの面に配置させることができ、これにより、ウェ八分割片 11 全部を撮像装置 3 の撮像範囲 3 b 内に入れることができるので、広い範囲にわたって配置されるウェ八分割片 11 の全部を一回で撮像することができ、ウェ八分割片撮像画像 26 全部を寸法計算装置 4 で一括処理することができる。

【0109】

50

また、撮像装置 3 の撮像範囲 3 b よりも広い範囲に配置されたウェ八分割片 1 1 を、撮像画像 2 5 の解像度を維持しつつ撮像するには、従来の方法では、ウェ八分割片 1 1 全体を撮像範囲 3 b に入れるために、撮像装置 3 を低倍率レンズ付き高分解能撮像装置に交換する必要があったが、本発明においては、保持台 2 の傾斜角の調整によりウェ八分割片 1 1 が撮像装置 3 の光軸 3 a に垂直な面に対して斜めに配置されうる構成、又は、撮像装置 3 の光軸方向の調整によりウェ八分割片 1 1 が撮像装置 3 の光軸 3 a に垂直な面に対して斜めに配置されうる構成とされていることから、撮像装置 3 の撮像範囲 3 b よりも広い範囲を撮像することができるので、従来の方法では必要とされた高価な高分解能撮像装置の導入を行わなくて済み、その分、設備投資を抑制することができる。

【0110】

また、半導体寸法計測装置 1 において、保持台 2 にトレイ 2 0 を介して保持されたウェ八分割片 1 1 が撮像装置 3 の光軸 3 a に垂直な面に対し斜めに配置されることで、ウェ八分割片 1 1 の形状が手前側から奥側にかけて縮小するように変形して撮像される撮像画像 2 5 に対し、寸法計算装置 4 は、ウェ八分割片撮像画像 2 6 での変形を補正してウェ八分割片 1 1 の実際の寸法を求めるので、ウェ八分割片 1 1 の寸法を正確に求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0111】

【図 1】本発明に係る半導体寸法計測装置の一実施形態を示す構成図である。

【図 2】照明器の光拡散の状態を示す、半導体寸法計測装置の筐体部分の側面図である。

【図 3】ウェ八分割片が搭載されたトレイの平面図である。

【図 4】撮像装置と保持台との位置関係を示す配置図である。

【図 5】傾けたトレイを撮像装置で撮像したときの撮像装置とトレイとの配置と、そのときの撮像画像を示す図である。

【図 6】校正用プレートの平面図である。

【図 7】校正用プレートを撮像装置で撮像した校正用プレートの画像図である。

【図 8】ウェ八分割片を撮像装置で撮像したときに得られるウェ八分割片撮像画像を示す画像図である。

【図 9】保持部を示すウェ八の平面図である。

【図 10】ウェ八の周縁部に対応する部分を示すウェ八分割片の平面図である。

【図 11】ウェ八の金属未蒸着部を示すウェ八分割片の平面図である。

【図 12】ウェ八の平面図である。

【図 13】ウェ八から切り出されたウェ八分割片の平面図である。

【図 14】ウェ八分割片を搭載するためのトレイの平面図である。

【図 15】ウェ八分割片の寸法の計測に用いられる従来計測装置の側面図である。

【図 16】従来計測装置で、ウェ八分割片が搭載されたトレイを撮像して得られた撮像画像を示す画像図である。

【図 17】擬似同軸落斜照明器を備えた計測装置の側面図である。

【図 18】擬似同軸落斜照明器を備えた計測装置の照明範囲とトレイとを示す平面図である。

【図 19】ウェ八分割片を計測目盛のついたシート上に載せた状態を示す説明図である。

【符号の説明】

【0112】

- |   |             |
|---|-------------|
| 1 | 半導体寸法計測装置   |
| 2 | 保持台         |
| 3 | 撮像装置        |
| 4 | 寸法計算装置      |
| 6 | 筐体          |
| 7 | 照明器         |
| 8 | 半導体チップ数計測装置 |

10

20

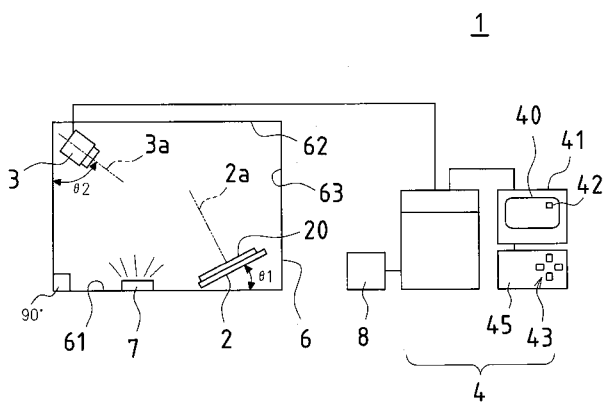
30

40

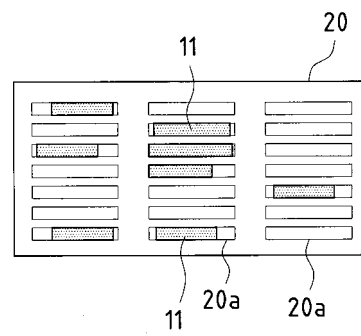
50

- 1 0 ウェハ
- 1 1 ウェハ分割片
- 1 2 半導体チップ
- 2 0 トレイ
- 2 1 校正用プレート

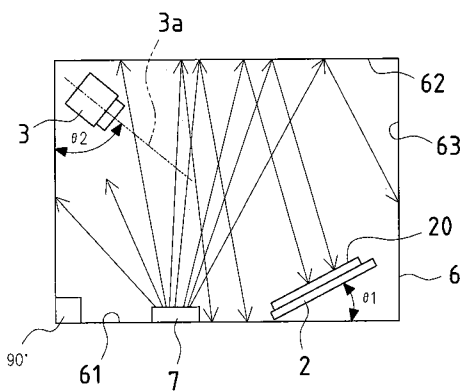
【 図 1 】



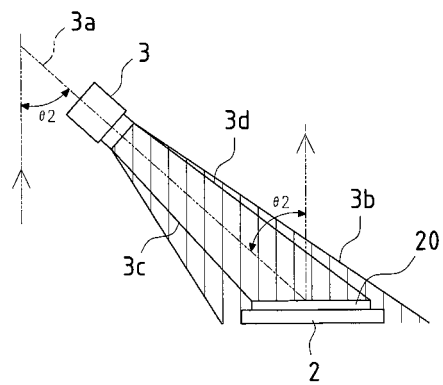
【 図 3 】



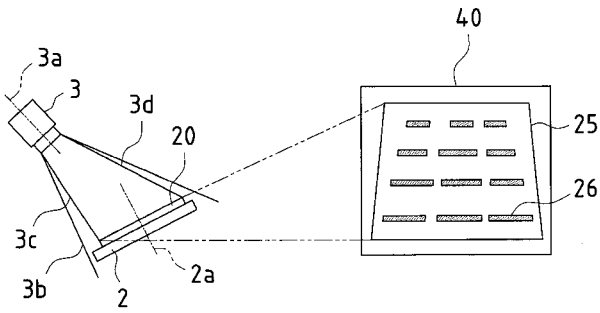
【 図 2 】



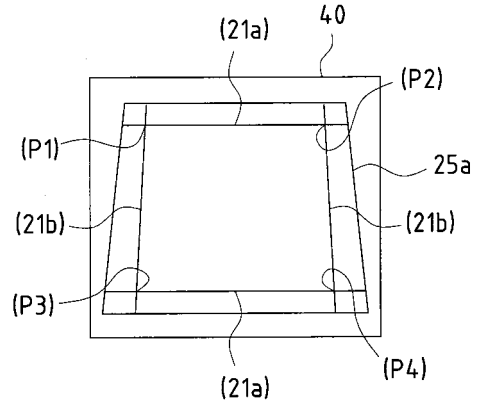
【 図 4 】



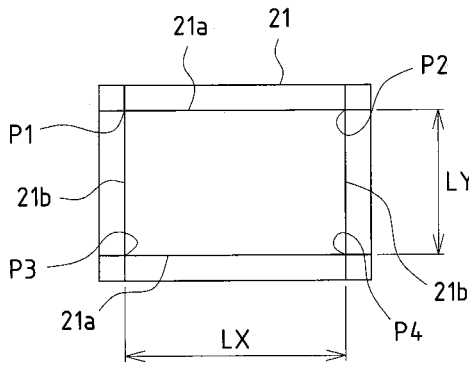
【 図 5 】



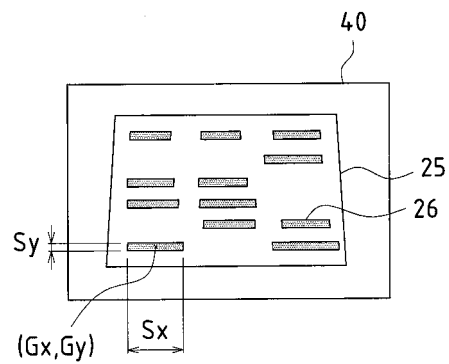
【 図 7 】



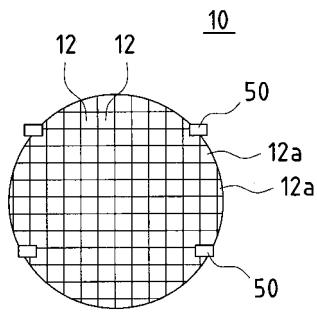
【 図 6 】



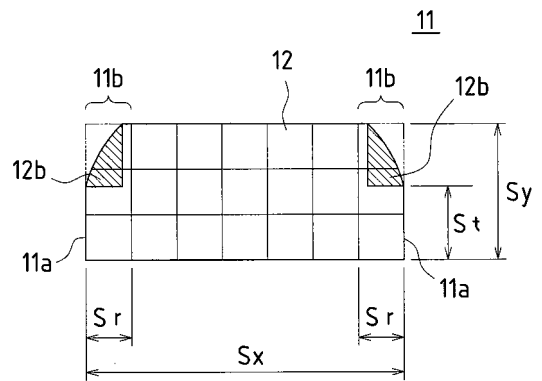
【 図 8 】



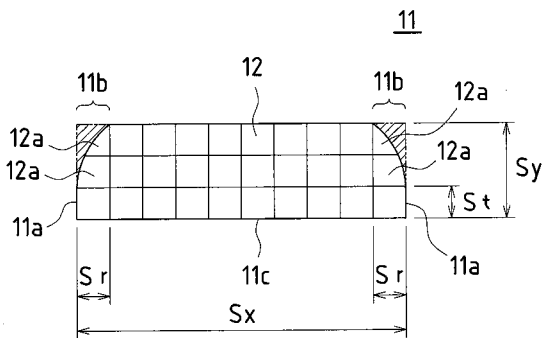
【 図 9 】



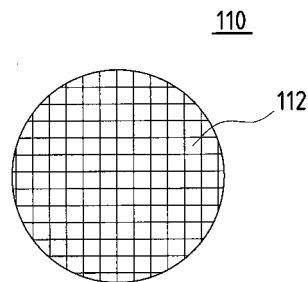
【 図 1 1 】



【 図 1 0 】

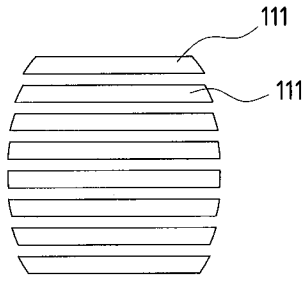


【 図 1 2 】

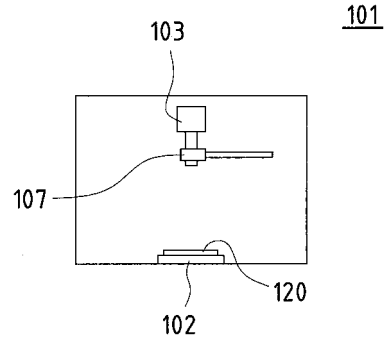




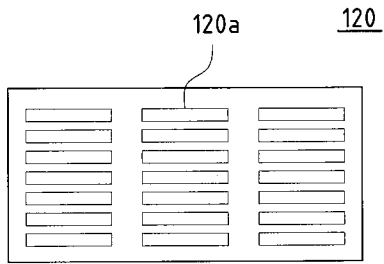
【 図 1 3 】



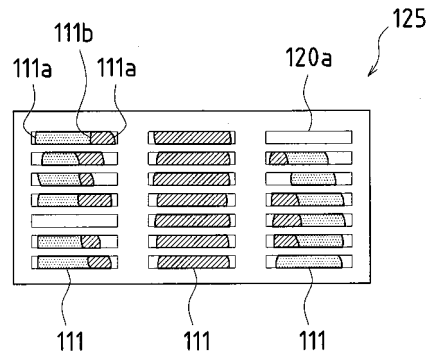
【 図 1 5 】



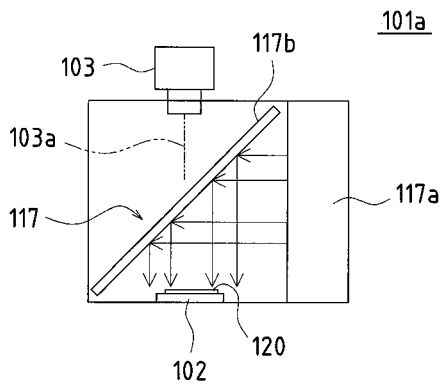
【 図 1 4 】



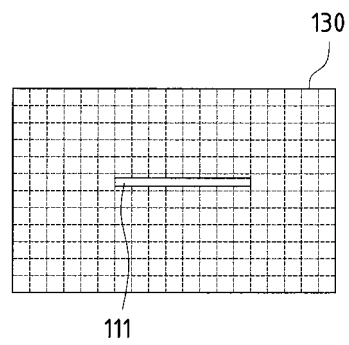
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 9 】



【 図 1 8 】

