

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5192313号
(P5192313)

(45) 発行日 平成25年5月8日(2013.5.8)

(24) 登録日 平成25年2月8日(2013.2.8)

(51) Int. Cl. F I
H O 1 L 21/66 (2006.01) H O 1 L 21/66 N

請求項の数 20 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2008-208827 (P2008-208827)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成20年8月14日 (2008. 8. 14)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2010-45236 (P2010-45236A)		東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号
(43) 公開日	平成22年2月25日 (2010. 2. 25)	(74) 代理人	100091096
審査請求日	平成22年5月25日 (2010. 5. 25)		弁理士 平木 祐輔
		(72) 発明者	森田 一弘
			茨城県ひたちなか市大字市毛8 8 2 番地
			株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内
		(72) 発明者	梅村 馨
			茨城県ひたちなか市大字市毛8 8 2 番地
			株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内
		審査官	大嶋 洋一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 接触検出装置および接触検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被接触物に接触するために移動可能な機械的プローブと、前記被接触物に照射する荷電粒子線を生成する荷電粒子線ビーム源と、前記被接触物からの二次粒子又は反射粒子を検出するための検出器と、前記検出器からの検出信号より前記被接触物に投影された前記機械的プローブの影の特徴量を演算する演算装置と、前記機械的プローブの操作を制御する制御装置と、を有する接触検出装置において、

前記演算装置は、前記機械的プローブの影の特徴量として、前記機械的プローブが存在しない時の観察画像の画素位置(x,y)における輝度 $I_0(x,y)$ に対する、前記機械的プローブが存在する場合の観察画像の画素位置(x,y)における輝度 $Iz(x,y)$ の偏差を表す、影の深さ $S(x,y)$ を演算し、該影の深さ $S(x,y)$ に基づいて、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離を示す評価値 $J(z)$ を求めることを特徴とする接触検出装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の接触検出装置において、前記評価値 $J(z)$ は、前記影の深さ $S(x,y)$ を、x、y方向に積分して求めることを特徴とする接触検出装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載の接触検出装置において、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離と前記評価値 $J(z)$ の関係を記憶したメモリを有し、前記演算装置は、前記メモリに記憶した前記関係から、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離を求めることを特徴とする接触検出装置。

【請求項 4】

請求項 1 記載の接触検出装置において、前記制御装置は、前記機械的プローブを所定の下降量にて繰り返し下降させ、前記演算装置は、前記機械的プローブの下降毎に前記評価値を演算し、前記評価値が前回の下降の時の評価値より増加しなくなったときに、又は、減少したとき、前記機械的プローブが前記被接触物に接触したと判定することを特徴とする接触検出装置。

【請求項 5】

請求項 1 記載の接触検出装置において、前記制御装置は、前記機械的プローブを所定の下降量にて繰り返し下降させ、前記演算装置は、前記機械的プローブの下降毎に前記評価値を演算し、前記評価値の増加量が前回の下降の時の評価値の増加量より増加したとき、前記機械的プローブが前記被接触物に近接したと判定することを特徴とする接触検出装置。

10

【請求項 6】

請求項 5 記載の接触検出装置において、前記演算装置が、前記機械的プローブが前記被接触物に近接したと判定したとき、前記制御装置は、前記機械的プローブの下降量を減少させることを特徴とする接触検出装置。

【請求項 7】

請求項 1 記載の接触検出装置において、前記演算装置は、前記影の深さ $S(x,y)$ の画像より、前記機械的プローブの先端付近の領域を切り出して得られた画像により前記評価値 $J(z)$ を求めることを特徴とする接触検出装置。

20

【請求項 8】

請求項 1 記載の接触検出装置において、前記演算装置は、前記影の深さ $S(x,y)$ の画像において、前記機械的プローブの先端付近の画像の特徴を明確化するために、フィルタ処理を行い、該フィルタ処理を行なった後に前記評価値 $J(z)$ を求めることを特徴とする接触検出装置。

【請求項 9】

請求項 1 記載の接触検出装置において、前記被接触物は試料又は試料を電子顕微鏡にて観察するために試料を保持する搬送用ホルダであることを特徴とする接触検出装置。

【請求項 10】

荷電粒子線を生成する荷電粒子線ビーム源と、試料を支持する試料テーブルと、試料から微小試料片を切り出す操作に用いる機械的プローブと、デポジション作業に用いるガスアシスト銃と、前記機械的プローブによって接触させる被接触物からの二次粒子又は反射粒子を検出するための検出器と、前記検出器からの検出信号より前記被接触物に投影される前記機械的プローブの影の特徴量を演算する演算装置と、前記機械的プローブの操作を制御する制御装置と、を有する荷電粒子線加工装置において、

30

前記演算装置は、前記機械的プローブの影の特徴量として、前記機械的プローブが存在しない時の観察画像の画素位置 (x,y) における輝度 $I_0(x,y)$ に対する、前記機械的プローブが存在する場合の観察画像の画素位置 (x,y) における輝度 $Iz(x,y)$ の偏差を表す、影の深さ $S(x,y)$ を演算し、該影の深さ $S(x,y)$ に基づいて、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離を示す評価値 $J(z)$ を求めることを特徴とする荷電粒子線加工装置。

40

【請求項 11】

請求項 10 記載の荷電粒子線加工装置において、前記評価値 $J(z)$ は、前記影の深さ $S(x,y)$ を、 x,y 方向に積分して求めることを特徴とする荷電粒子線加工装置。

【請求項 12】

請求項 10 記載の荷電粒子線加工装置において、前記制御装置は、前記機械的プローブを所定の下降量にて繰り返し下降させ、前記演算装置は、前記機械的プローブの下降毎に前記評価値を演算し、前記評価値が前回の下降の時の評価値より増加しなくなったときに、又は、減少したとき、前記機械的プローブが前記被接触物に接触したと判定することを特徴とする荷電粒子線加工装置。

【請求項 13】

50

請求項 10 記載の荷電粒子線加工装置において、前記制御装置は、前記機械的プローブを所定の下降量にて繰り返し下降させ、前記演算装置は、前記機械的プローブの下降毎に前記評価値を演算し、前記評価値の増加量が前回の下降の時の評価値の増加量より増加したとき、前記機械的プローブが前記被接触物に近接したと判定することを特徴とする荷電粒子線加工装置。

【請求項 14】

請求項 13 記載の荷電粒子線加工装置において、前記演算装置が、前記機械的プローブが前記被接触物に近接したと判定したとき、前記制御装置は、前記機械的プローブの下降量を減少させることを特徴とする荷電粒子線加工装置。

【請求項 15】

請求項 10 記載の荷電粒子線加工装置において、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離と前記評価値 $J(z)$ の関係を記憶したメモリを有し、前記演算装置は、前記メモリに記憶した前記関係から、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離を求めることを特徴とする荷電粒子線加工装置。

【請求項 16】

請求項 10 記載の荷電粒子線加工装置において、前記被接触物は試料又は試料を電子顕微鏡にて観察するために試料を保持する搬送用ホルダであることを特徴とする荷電粒子線加工装置。

【請求項 17】

被接触物と機械的プローブの間の接触を検出する接触検出方法において、
被接触物に向けて機械的プローブを移動させることと、
前記被接触物に荷電粒子線を照射することと、
前記被接触物からの二次粒子又は反射粒子を検出することと、
前記二次粒子又は反射粒子の検出信号より、前記機械的プローブが存在しない時の観察画像の画素位置 (x, y) における輝度 $I_0(x, y)$ に対する、前記機械的プローブが存在する場合の観察画像の画素位置 (x, y) における輝度 $I_z(x, y)$ の偏差を表す、影の深さ $S(x, y)$ を演算することと、

該影の深さ $S(x, y)$ に基づいて、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離を示す評価値 $J(z)$ を求めることと、

前記評価値 $J(z)$ によって、前記被接触物に対する前記機械的プローブの接触を検出することと、
を含む接触検出方法。

【請求項 18】

請求項 17 記載の接触検出方法において、前記評価値 $J(z)$ は、前記影の深さ $S(x, y)$ を、 x, y 方向に積分して求めることを特徴とする接触検出方法。

【請求項 19】

請求項 17 記載の接触検出方法において、前記機械的プローブを所定の下降量にて繰り返し下降させ、前記機械的プローブの下降毎に前記評価値を演算し、前記評価値が前回の下降の時の評価値より増加しなくなったときに、又は、減少したとき、前記機械的プローブが前記被接触物に接触したと判定することを特徴とする接触検出方法。

【請求項 20】

請求項 17 記載の接触検出方法において、前記機械的プローブを所定の下降量にて繰り返し下降させ、前記機械的プローブの下降毎に前記評価値を演算し、前記評価値の増加量が前回の下降の時の評価値の増加量より増加したとき、前記機械的プローブが前記被接触物に近接したと判定することを特徴とする接触検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体デバイスの加工装置および検査装置に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【0002】

近年、半導体デバイスの微細化や高機能化に伴い、半導体デバイスの表面パターンの検査ばかりでなく、その断面構造の観察及び検査が必要となっている。半導体デバイスの構造の検査では、半導体デバイスから微細試料片を切り出し、それを電子顕微鏡によって観察する。半導体デバイスから微細試料片を切り出すために、機械的プローブとデポジション銃を備えた荷電粒子線加工装置、又は、集束イオンビーム加工装置が用いられる。

【0003】

このような加工装置では、微細試料を切り出すとき、機械的プローブを試料の表面に接触させる必要がある。従って、加工装置には、機械的プローブの接触を検出する装置が設けられる。こうして、接触検出装置によって、機械的プローブの接触を検出することによって、機械的プローブの破損を防止する。

10

【0004】

特許文献1には、被加工試料から機械的プローブに向かって流れる電流を計測することによって機械的プローブの接触を検出する技術が示されている。

【0005】

しかしながら、半導体デバイスには被加工試料の表面を絶縁膜によって保護しているものがある。この場合、機械的プローブと被加工試料との間に電流が流れない。この場合には、文献1に記載されているような電気的方法を用いることはできない。

【0006】

特許文献2には、異なる方向からの画像によって被加工試料と機械的プローブとの距離を測定しながら、機械的プローブを移動させる方法が記載されている。しかしながら、この方法は、装置が複雑になるという問題がある。さらに、この方法では、機械的プローブの先端とその影の先端が一致するまで同一方向に機械的プローブを移動させる必要がある。そのため、機械的プローブと被加工試料の距離が数 μm になるまで使えないという欠点がある。また、集束イオンビームの入射角及び機械的プローブの取り付け角度を正確に求める必要がある。

20

【0007】

特許文献3には、機械的プローブに交流電圧を印加することによってプローブ画像が変化すること、あるいは機械的プローブの機械的振動によって接触前と接触後では画像が変化することを利用して接触を検知する技術が記載されている。この方法では、交流電圧源を要するため、装置が複雑、大型となる課題がある。

30

【0008】

特許文献4には、2台以上の顕微鏡から得られる画像によって被加工試料と機械的プローブ間の距離を正確に求める方法が記載されている。この方法では、2台以上の顕微鏡が必要なことから装置が大型化するという課題がある。

【0009】

特許文献5には、機械的プローブ近傍の影を利用して機械的プローブの駆動速度を遅くすることにより機械的プローブを安全に接触させるという方法が記載されている。この方法では、機械的プローブ周辺の輝度が低下することを利用してはいるだけであり、接触の検出の信頼性が低いという課題がある。

40

【0010】

特許文献6には、機械的プローブの先端と機械的プローブにより生じる影が一致するまで機械的プローブを駆動するという方法が記載されている。しかしながら、観察対象が絶縁材料の場合などのように、被加工試料の状態によって画像の輝度が低くなる。このような場合には、機械的プローブに電圧を印加してコントラストを上げる必要がある。従って、装置構成が複雑になるという課題がある。

【0011】

上述のように、機械的プローブの画像を利用して、機械的プローブの接触を検出する方法では、一般に、得られる画像の輝度が低い場合や試料表面に形成されているパターンによって信頼性が著しく低くなるという共通の課題がある。

50

【 0 0 1 2 】

特許文献 5 には、1 ステップ前に得られた画像との変化分を求めることによって輝度が低い場合にも対処できるという方法が記載されている。しかしながら、輝度が低い画像において 1 ステップ前の画像との変化分を演算すると雑音が強調されるために検出信頼性が低下するという課題もある。

【 0 0 1 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 2 3 5 3 2 1 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 6 - 9 3 1 0 2 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 7 - 1 8 9 1 1 3 号公報

【特許文献 4】特開 2 0 0 5 - 1 6 7 1 4 6 号公報

【特許文献 5】特開 2 0 0 2 - 4 0 1 0 7 号公報

【特許文献 6】特開 2 0 0 6 - 9 3 1 0 2 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 4 】

上述のように、従来の機械的プローブの画像を用いた接触検出方法では、輝度が低い画像の場合に、接触の検出を正確に行うことは困難である。例えば、半導体デバイスから微細試料片を切り出す場合には、切り出した微細試料片を、搬送用ホルダに搭載する。このとき、機械的プローブが搬送用ホルダに接触したことを検出する必要がある。

【 0 0 1 5 】

従来の方法では、機械的プローブが搬送用ホルダに接触したことを正確に検出することは困難である。

【 0 0 1 6 】

本発明は、機械的プローブと被接触物との接触を正確に検出する方法および装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 7 】

本発明によると、接触検出装置は、被接触物に接触するために移動可能な機械的プローブと、前記被接触物に照射する荷電粒子線を生成する荷電粒子線ビーム源と、前記被接触物からの二次粒子又は反射粒子を検出するための検出器と、前記検出器からの検出信号より前記被接触物に投影された前記機械的プローブの影の特徴量を演算する演算装置と、前記機械的プローブの操作を制御する制御装置と、を有する。

【 0 0 1 8 】

演算装置は、機械的プローブの影の特徴量として、影の深さ $S(x,y)$ を演算し、該影の深さ $S(x,y)$ に基づいて、前記被接触物と前記機械的プローブの間の距離を示す評価値 $J(z)$ を求める。

【発明の効果】

【 0 0 1 9 】

本発明によると、機械的プローブと被接触物との接触を正確に検出する方法および装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 0 】

図 1 を参照して本発明による集束イオンビーム加工装置又は荷電粒子線加工装置の概略を説明する。本例の集束イオンビーム加工装置は、集束イオンビームを生成する集束イオンビーム源 2 と、試料 5 を支持する試料テーブル 8 と、試料 5 から微小試料片を切り出す操作に用いる機械的プローブ 3 と、試料 5 から切り出した微小試料片を保持する搬送用ホルダ 4 と、デポジション作業に用いるガスアシスト銃（デポジション銃又はデポ・エッチング銃）6 と、を有し、これらは、試料室 1 内に設けられている。

【 0 0 2 1 】

本例の集束イオンビーム加工装置によって、試料 5 から微小試料片を切り出す処理の概

10

20

30

40

50

要を説明する。まず、試料 5 及び搬送用ホルダ 4 を、試料テーブル 8 上に配置する。ここでは、試料 5 は半導体ウエハであるとして説明するが、試料 5 は、どのようなものであってもよい。次に、集束イオンビーム源 2 から集束イオンビームによって、試料 5 より微小試料片を切り出す。このとき、微小試料片を完全に切り出さずに、微小試料片の周囲を削り取る。ガスアシスト銃 6 によって、機械的プローブ 3 の先端を微小試料片に付着させる。そこで、集束イオンビームによって微小試料片を試料 5 から切り離す。即ち、微小試料片を、機械的プローブ 3 の先端に付着した状態で、微小試料片を試料 5 から切り離す。機械的プローブ 3 を搬送用ホルダ 4 まで移動させる。機械的プローブ 3 の先端に付着した微小試料片は、機械的プローブ 3 と共に移動する。集束イオンビームによって微小試料片を機械的プローブ 3 から切り離す。微小試料片は、搬送用ホルダ 4 上に保持される。こうして、微小試料片を保持した搬送用ホルダ 4 は、試料室 1 の外へ搬出され、電子顕微鏡によって観察される。

10

【 0 0 2 2 】

集束イオンビーム加工装置を用いて試料から微小試料片を切り出す処理では、機械的プローブ 3 を試料 5 に接触させる。しかしながら、機械的プローブ 3 の先端が、試料 5 の表面に強い力で押し付けられると、機械的プローブ 3 は破損する。そこで、機械的プローブ 3 の先端が試料 5 に接触したことを正確に検出する必要がある。

【 0 0 2 3 】

集束イオンビーム加工装置において生産性向上を図るためには、これらの加工手順を自動化する必要がある。加工手順の自動化は、半導体プロセス工程における生産性の向上の観点からも求められている。集束イオンビーム加工装置の自動化を図るうえで重要なのは機械的プローブ 3 の操作の自動化である。ここで、問題になるのが、機械的プローブ 3 と試料 5 との接触を正確に検出することと、機械的プローブ 3 と搬送用ホルダ 4 との接触を正確に検出することである。これは、試料 5 や機械的プローブ 3 の保護や装置安全性の観点からも強く求められている。以下に、試料 5 と搬送用ホルダ 4 を被接触物と称するが、被接触物は、機械的プローブ 3 を接触させる対象であり、試料 5 と搬送用ホルダ 4 に限定されるものではない。

20

【 0 0 2 4 】

図 2 A を参照して、従来の機械的プローブの接触検出方法について説明する。図示のように、試料テーブル 8 の上に試料 5 が配置されている。機械的プローブ 3 と試料テーブル 8 の間に電源 10 からの電圧が印加される。また、試料テーブル 8 と電源 10 の間には、電流計 9 が接続されている。機械的プローブ 3 が試料 5 に接触すると、両者間は電氣的に導通状態となり、電流が流れる。この電流を電流計 9 によって測定することで被加工試料 5 と機械的プローブ 3 との接触を検出することができる。

30

【 0 0 2 5 】

図 2 B を参照して説明する。半導体デバイスには、その表面を絶縁膜によって保護しているものがある。本例では、図示のように試料 5 の表面に絶縁膜 7 が形成されている。この場合には、図 2 A に示したような電氣的方法によって、機械的プローブの接触を検出することはできない。

【 0 0 2 6 】

図 3 を参照して、本発明による機械的プローブの接触検出装置の例を説明する。本発明によると、機械的プローブの接触検出装置は、集束イオンビーム源 2、機械的プローブ 3、二次粒子検出器 12、スイッチ 16、第 1 及び第 2 の画像メモリ 14、15、第 1 及び第 2 の演算器 17、18、制御器 19 及び画像表示器 13 を有する。

40

【 0 0 2 7 】

集束イオンビーム源 2 から照射された集束イオンビーム 20 は試料 5 に照射される。試料 5 からは、二次粒子 11 が放射される。二次粒子 11 は二次粒子検出器 12 に捕捉される。二次粒子検出器 12 からの検出信号はスイッチ 16 を経由して、2 つの画像メモリ 14、15 のいずれかに格納される。画像メモリ 14、15 に格納された画像データは、順次、第 1 の演算器 17 によって読み出され、画像表示器 13 にて表示される。画像表示器

50

13によって、試料から微小試料片を切り出す作業を観察することもできる。

【0028】

第1の演算器17は画像メモリ14と画像メモリ15に保存された画像データを用いて影の特徴量を演算する。本発明によると、影の特徴量として、影の深さ $S(x,y)$ を演算する。影の深さは、第2の演算器18に送られる。第2の演算器18は、影の深さから、被加工試料5と機械的プローブ3の距離を表す関数を演算する。本発明によると、被加工試料5と機械的プローブ3の距離を表す関数として、評価値 $J(z)$ を演算する。

【0029】

評価値 $J(z)$ は、制御器19に送られる。制御器19は、評価値 $J(z)$ に基づいて、機械的プローブ3を移動又は停止させる。影の深さ $S(x,y)$ 及び評価値 $J(z)$ については後に詳細に説明する。尚、制御器19は、第2の演算器18の演算結果によらず自由に機械的プローブ3を駆動することもできる。

10

【0030】

図3の例では、2つの画像メモリ14、15を設けるが、1つの画像メモリを2分割して使用してもよい。また、本例では2つの演算器17、18を設けるが、1つの演算器を用いてもよい。更に、本例では、第1の演算器17に画像表示機能が設けられている。そのため、画像メモリ14、15に格納された画像データは、第1の演算器17を経由して画像表示器13へ送られる。しかしながら、第2の演算器18に画像表示機能を設けてもよい。この場合には、画像メモリ14、15に格納された画像データは、第2の演算器18を経由して画像表示器13へ送られる。2つの演算器17、18の代わりに1つの演算器を用いる場合も同様である。更に、本例では、二次粒子11を検出するが、二次粒子の代わりに、反射粒子を検出してもよい。

20

【0031】

図3の例では、集束イオンビーム源2からの集束イオンビーム20を用いる。しかしながら、集束電子ビーム、プロジェクションイオンビームあるいはプロジェクション電子ビーム等の集束イオンビーム以外の荷電粒子線を用いてもよい。また、単一の集束イオンビーム源2を用いてもよいが、複数の集束イオンビーム源2、又は、複数の荷電粒子線鏡筒を用いてもよい。また、機械的プローブ3および被加工試料5を観察するための手段として、光学顕微鏡を用いてもよい。

【0032】

図3を参照して機械的プローブ3による影について説明する。集束イオンビーム源2からの集束イオンビーム20を被加工試料5に照射すると、イオンビームの衝突により、二次粒子11が放射される。二次粒子11は、二次粒子検出器12によって捕捉され映像化される。機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が比較的大きいとき、二次粒子11の多くは二次粒子検出器12に到達し、捕捉される。従って、試料の画像において、機械的プローブ3の影響は少ない。しかし、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が比較的小さい場合には、二次粒子11の多くは機械的プローブ3に遮られて二次粒子検出器12に到達しない。そのため、二次粒子検出器12の信号を映像化すると機械的プローブ3の影が現れる。機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が小さくなるほど、機械的プローブ3の影は濃くなり、試料の画像が見にくくなる。

30

40

【0033】

図4は、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が変化することによって、機械的プローブの影が変化することを示す。図4の左端の画像は、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が比較的大きい場合を示し、図4の右端の画像は、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が比較的小さい場合を示す。図4の画像に示すように、機械的プローブ3の影の変化を検出することにより、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離を間接的に知ることができる。以下に、詳細に説明するが、本発明によると、機械的プローブ3の影の変化を定量的に演算することにより、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離、即ち、機械的プローブ3が被加工試料5に接触したことを検出する。以下では、機械的プローブ3が被加工試料5に接触する場合を説明するが、図1に示したように、機械

50

的プローブ3が、搬送用ホルダ4に接触する場合も、同様である。

【0034】

先ず、影の特徴量として、影の深さ $S(x,y)$ を説明する。本発明によると、機械的プローブ3によって生じる影が薄い、濃いという特徴を定量的に表すために「影の深さ」 $S(x,y)$ という特徴量を導入する。「影の深さ」 $S(x,y)$ とは、機械的プローブ3が存在することにより機械的プローブ3が無い場合に対して輝度がどの程度低下したかを示す量である。影の深さは、次の数1によって求める。

【0035】

【数1】

$$S(x,y) = \frac{I_0(x,y) - I_z(x,y)}{I_0(x,y)}$$

10

【0036】

ここで、 $S(x,y)$ は画素位置 (x,y) における影の深さ、 $I_0(x,y)$ は機械的プローブ3が存在しない時の観察画像の画素位置 (x,y) における輝度、 $I_z(x,y)$ は機械的プローブ3が存在する場合の観察画像の画素位置 (x,y) における輝度を示す。以下に、 $I_0(x,y)$ を参照画像の輝度、又は、単に参照画像と称する。 $I_z(x,y)$ をプローブ画像の輝度、又は、単に、プローブ画像と称する。機械的プローブ3と被加工試料5の距離が小さいほど、画像の輝度の低下量が大きくなり、数1による影の深さ $S(x,y)$ は大きな値を示す。影の深さは、数1の代わりに次の数2によって求めてもよい。

20

【0037】

【数2】

$$S(x,y) = \frac{\alpha \times I_0(x,y) - \beta \times I_z(x,y)}{\alpha \times I_0(x,y)}$$

【0038】

数2では、参照画像の輝度 $I_0(x,y)$ とプローブ画像の輝度 $I_z(x,y)$ にそれぞれ係数 α 、係数 β を乗じている。それによって、機械的プローブ3による影の深さをより効果的に求めることもできる。影の深さは、数1の代わりに次の数3及び数4によって求めてもよい。

【0039】

【数3】

$$S(X,Y) = \frac{I_0(X,Y) - I_z(X,Y)}{I_0(X,Y)}$$

30

【0040】

【数4】

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

40

【0041】

数3は、数1と同一であるが、画素位置 (x,y) の代わりに、それをアフィン変換した位置 (X,Y) を用いる。数4は、画素位置 (x,y) に対するアフィン変換を示す式である。こうして、画素位置 (x,y) に対してアフィン変換を施すことにより、ビームの傾斜に対する影響を除去することができる。影の深さは、数1の代わりに次の数5及び数6によって求めてもよい。

【0042】

【数5】

$$S(x,y) = \frac{I_{0c}(x,y) - I_{zc}(x,y)}{I_{0c}(x,y)}$$

【0043】

【数6】

$$I_{0c}(x,y) = \sum_{l=-q}^q \sum_{k=-p}^p h(k,l) I_0(x,y)$$

$$I_{zc}(x,y) = \sum_{l=-q}^q \sum_{k=-p}^p g(k,l) I_z(x,y)$$

10

【0044】

数5は、数1と同一であるが、参照画像の輝度 $I_0(x,y)$ 及びプローブ画像の輝度 $I_z(x,y)$ の代わりに、それをコンボリューション演算による画像変換した輝度 $I_{0c}(x,y)$ 及び輝度 $I_{zc}(x,y)$ を用いる。数6は、輝度 $I_0(x,y)$ 及び輝度 $I_z(x,y)$ に対するコンボリューション変換を示す式である。 $h(k,l)$ および $g(k,l)$ は $(2p+1) \times (2q+1)$ 個のコンボリューション係数である。 $h(k,l)$ と $g(k,l)$ は同じ係数であってもかまわない。こうして、輝度 $I_0(x,y)$ 及び $I_z(x,y)$ に対してコンボリューション変換を施すことにより、輝度のコントラストを効果的に大きくすることができる。影の深さは、数1の代わりに次の数7によって求めてもよい。

20

【0045】

【数7】

$$S_c(x,y) = \sum_{l=-q}^q \sum_{k=-p}^p h(k,l) S(x,y)$$

【0046】

数7は、数1の影の深さ $S(x,y)$ をコンボリューション変換したものである。影の深さは、数1の代わりに次の数8及び数9によって求めてもよい。

【0047】

【数8】

$$S(x,y) = I_0(x,y) - I_z(x,y)$$

30

【0048】

【数9】

$$S(x,y) = \alpha \times I_0(x,y) - \beta \times I_z(x,y)$$

【0049】

数1によって表される影の深さ $S(x,y)$ は、参照画像の輝度 $I_0(x,y)$ に対するプローブ画像の輝度 $I_z(x,y)$ の変化量の相対値を示す。数8によって表される影の深さ $S(x,y)$ は、参照画像の輝度 $I_0(x,y)$ に対するプローブ画像の輝度 $I_z(x,y)$ の変化量の絶対値を示す。数9では、参照画像の輝度 $I_0(x,y)$ とプローブ画像の輝度 $I_z(x,y)$ にそれぞれ係数、係数を乗じている。それによって、機械的プローブ3による影の深さをより効果的に求めることもできる。

40

【0050】

次に、評価値 $J(z)$ を説明する。本発明によると、被加工試料5と機械的プローブ3の距離を表すパラメータとして、評価値 $J(z)$ を用いる。評価値 $J(z)$ は、次の数10により求める。

【0051】

【数 1 0】

$$J(z) = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m f(x, y) S(x, y)$$

【0 0 5 2】

【数 1 1】

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho_{xy}^2}} e^{-\frac{1}{2\sqrt{1-\rho_{xy}^2}} \left\{ \left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y} \right)^2 - 2\rho_{xy} \left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x} \right) \left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y} \right) \right\}}$$

10

評価値 $J(z)$ は、画素位置 (x, y) における影の深さ $S(x, y)$ にガウシアンフィルタ関数 $f(x, y)$ を乗じ、 x, y 方向に積分したものである。数 1 1 は、ガウシアンフィルタ関数を示す。数 1 1 において、 σ_x^2 、 σ_y^2 はそれぞれ影の深さの x 、 y 方向の分散を示し、 μ_x 、 μ_y はそれぞれ x 、 y 方向の影の深さの平均値を表し、 ρ_{xy} は x 、 y 間の相関係数を表す。評価値 $J(z)$ は、数 1 0 の代わりに次の数 1 2 によって求めてもよい。数 1 2 は、影の深さ $S(x, y)$ を単に、 x, y 方向に積分したものである。

【0 0 5 3】

【数 1 2】

$$J(z) = \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^m S(x, y)$$

20

【0 0 5 4】

図 5 を参照して、機械的プローブ 3 と被加工試料 5 の間の距離と、評価値 $J(z)$ の関係を説明する。図 5 の横軸は、評価値 $J(z)$ 、縦軸は、機械的プローブ 3 と被加工試料 5 の間の距離、即ち、被加工試料 5 に対する機械的プローブ 3 の高さである。図示のように、機械的プローブ 3 を下降させ、被加工試料 5 に近づけると、評価値 $J(z)$ は増加する。機械的プローブ 3 が被加工試料 5 に接触すると、評価値 $J(z)$ は最大値となり、それ以上は増加しない。機械的プローブ 3 を更に降下させると、評価値 $J(z)$ は減少する。機械的プローブ 3 を上昇させ、被加工試料より遠ざけると、評価値 $J(z)$ は減少する。

【0 0 5 5】

30

本発明によると、評価値 $J(z)$ が最大値となったことを検出することによって、又は、評価値 $J(z)$ が減少したことを検出することによって、機械的プローブ 3 が被加工試料 5 に接触したと判定する。

【0 0 5 6】

ここで、機械的プローブ 3 を所定のストロークだけ、繰り返し、下降させる場合を想定する。機械的プローブ 3 を下降させた毎に評価値 $J(z)$ を演算し、前回の評価値 $J(z)$ と比較する。機械的プローブ 3 を下降させると、評価値 $J(z)$ は前回の評価値 $J(z)$ より増加する。評価値 $J(z)$ の増加量は、機械的プローブ 3 の位置によって変化する。機械的プローブ 3 と被加工試料 5 の間の距離が比較的大きいとき、評価値 $J(z)$ の増加量は比較的小さい。機械的プローブ 3 と被加工試料 5 の間の距離が比較的小さくなると、評価値 $J(z)$ の増加量は大きくなる。そこで、機械的プローブ 3 の下降量を変化させるとよい。評価値 $J(z)$ の増加量が比較的小さいとき、機械的プローブ 3 と被加工試料 5 の間の距離は比較的大きいから、機械的プローブ 3 の下降量を比較的大きくし、評価値 $J(z)$ の増加量が比較的大きいとき、機械的プローブ 3 と被加工試料 5 の間の距離は比較的小さいから、機械的プローブ 3 の下降量を比較的小さくする。

40

【0 0 5 7】

ここでは、図 5 に示す関係を用いて、機械的プローブ 3 の下降量を制御する場合を説明した。しかしながら、本発明によると、図 5 に示す関係を用いて、機械的プローブ 3 と被加工試料 5 の間の距離を測定することができる。図 5 に示す関係が予め求められているものとする。評価値 $J(z)$ を演算すると、図 5 に示す曲線から、その評価値 $J(z)$ に対応する機

50

械的プローブ3と被加工試料5の間の距離を読み取ることができる。

【0058】

こうして本発明によると、図5に示す関係を予めメモリに格納することにより、プローブと試料間距離測定装置を構成することができる。これにより、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離を測定する測定器が不要となり、安価な装置が提供可能となる。

【0059】

図6は、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が変化することによって、機械的プローブの周囲の画像、特に、輝度が変化することを示す。図6の左端の画像は、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が比較的大きい場合を示し、図6の右端の画像は、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が比較的小さい場合を示す。図示のように、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離が比較的小さいと、機械的プローブの周囲の輝度が大きく変化していることが判る。従って、機械的プローブ3の影の変化を検出することにより、即ち、機械的プローブの周囲の輝度の変化を検出することにより、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離を間接的に知ることができる。以下に、詳細に説明するが、本発明によると、機械的プローブ3の影の変化、即ち、輝度の変化を定量的に演算することにより、機械的プローブ3と被加工試料5の間の距離、即ち、機械的プローブ3が被加工試料5に接触したことを検出する。以下では、機械的プローブ3が被加工試料5に接触する場合を説明するが、図1に示したように、機械的プローブ3が、搬送用ホルダ4に接触する場合も、同様である。

【0060】

図7、図8及び図9を参照して、本発明による接触検査装置によって、機械的プローブの接触を検出する方法の例を説明する。最初、機械的プローブは待機位置にある。ステップS101にて、背景画像の輝度 $I_0(x,y)$ を取得する。即ち、機械的プローブを含まない、試料の表面の像を取得する。図8Aは、背景画像 $I_0(x,y)$ の例を示す。

【0061】

ステップS102にて、機械的プローブ3を含む画像を取得する。即ち、機械的プローブ3の先端の像を取得する。図8Bは、プローブ画像 $I_z(x,y)$ の例を示す。図示のように、機械的プローブの周囲にて、輝度が低下している。背景画像 $I_0(x,y)$ 及びプローブ画像 $I_z(x,y)$ は、それぞれ画素位置 (x,y) における輝度を示す。背景画像 $I_0(x,y)$ を図3に示す機械的プローブの接触検出装置の第1の画像メモリ14に格納し、プローブ画像 $I_z(x,y)$ を図3に示す機械的プローブの接触検出装置の第2の画像メモリ15に格納してよい。

【0062】

ステップS103にて、影の特徴量として、影の深さを演算する。影の深さは、数1の式によって求める。尚、上述のように数1の式以外の式を用いてもよい。図8Cは、影の深さ $S(x,y)$ を画像化したものである。図示のように、影が深い又は濃い部分、即ち、輝度低下が大きい領域は白色、影が浅い、又は、薄い部分、即ち、輝度低下が小さい領域は黒色によって表示されている。本例では、影が最も濃い部分の数値1.0、影が最も薄い部分の数値0.0として影の深さを正規化する。影の深さは、図3に示す機械的プローブの接触検出装置の第1の演算器17が演算してよい。

【0063】

ステップS104にて、図8Cに示す影の深さの画像より、機械的プローブ3の先端付近の領域を切り出す。機械的プローブ3が被加工試料5に接触したことを検出するためには、機械的プローブ3の先端付近における影の深さのみを注目すればよい。尚、観察倍率が高く、影の深さの画像において、機械的プローブ3の先端付近の領域が占める割合が高い場合には、ステップS104の切り出し処理は省略してもよい。更に、機械的プローブ3の先端付近の領域以外の任意の画素位置 $(x1,y1)$ に注目してもよい。

【0064】

図8Dは、図8Cに示す影の深さの画像より、機械的プローブ3の先端付近の領域を切り出して得られた画像を示す。図8Dに示す画像では、影が濃い領域、即ち、機械的プローブ3の先端付近では、影の深さ $S(x,y)$ の値が大きく(数値1.0に近い)、先端から遠ざ

10

20

30

40

50

かるほど影の深さ $S(x,y)$ の値は小さい(数値0.0に近い)、という特徴がある。

【0065】

ステップS105にて、図8Dの画像に対して、フィルタ処理を施す。図8Dに示す切り取り画像において、機械的プローブ3の先端付近の画像の特徴を明確化するために、フィルタ処理を行なう。ここでは、数11に示すガウシアンフィルタを用いるが、他のフィルタを用いてもよく、又は、ステップS105のフィルタ処理を省略してもよい。

【0066】

図9Aは数11のガウシアンフィルタの特性を示す鳥瞰図であり、図9Bは数11のガウシアンフィルタの特性を示す等高線図である。機械的プローブ3による影の形状は、被加工試料5に対する集束イオンビームの入射角と機械的プローブ3の取り付け角度によって決まる楕円形状を示す。従って、本例では、フィルタ特性が楕円形状を示すよう x_0 、 y_0 を選ぶとよい。もちろん、 $x_0 = y_0$ としてフィルタ特性が円形状になるようにしてもよい。更に、 μ_x 、 μ_y をゼロ以外に選ぶと機械的プローブ3の先端部から μ_x 、 μ_y だけ離れた座標を中心にしたフィルタ特性とすることもできる。

【0067】

図10は、図8Dに示した影の深さ $S(x,y)$ の画像に対して、数11のフィルタ処理を施した結果を示す。図10の画像では、機械的プローブ3の先端部に近くの楕円領域にて、白色が表示され、機械的プローブ3の先端部から遠く楕円領域の外側にて、黒色が表示されている。

【0068】

ステップS106にて、図10に示すフィルタ処理を施した影の深さの画像より、評価値 $J(z)$ を求める。評価値 $J(z)$ は数10により求める。上述のように、評価値 $J(z)$ は被加工試料5と機械的プローブ3の距離を示す。数10の式に示すように、評価値 $J(z)$ は、画素位置 (x,y) における影の深さ $S(x,y)$ にガウシアンフィルタ関数 $f(x,y)$ を乗じ、 x,y 方向に積分することにより求める。尚、数10の式の代わりに、数12の式を用いて評価値 $J(z)$ を求めてもよい。数12の式は、ガウシアンフィルタ関数 $f(x,y)$ を乗算しないで、影の深さ $S(x,y)$ を x,y 方向に積分するだけである。評価値 $J(z)$ は、図3に示す機械的プローブの接触検出装置の第2の演算器18が演算してよい。

【0069】

次に、ステップS107にて、機械的プローブ3を下降させる。即ち、機械的プローブ3を初期の位置から、所定のストロークだけ下降させる。次に、ステップS108にて、ステップS102～ステップS106を実行する。こうして、機械的プローブ3を下降させた後の評価値 $J(z)$ が得られる。ステップS109にて、ステップS106にて求めた評価値 $J(z)$ と、ステップS108にて求めた評価値 $J(z)$ を比較し、評価値 $J(z)$ が増加したか否かを判定する。評価値 $J(z)$ が増加した場合には、機械的プローブ3は未だ試料5に接触していないと判断し、ステップS110に進む。評価値 $J(z)$ が増加していないなら、機械的プローブ3は試料に接触したと判断し、この処理を終了する。ここで、評価値 $J(z)$ が増加も減少もしない場合、即ち、評価値 $J(z)$ が変化しない場合を説明していない。この場合には、ステップS110に進むようにしてもよいが、評価値 $J(z)$ が減少したと仮定して、終了してもよい。

【0070】

ステップS110にて、評価値 $J(z)$ の増加量が所定の閾値より大きいか否かを判定する。評価値 $J(z)$ の増加量が所定の閾値より大きくなった場合には、図5を参照して説明したように、機械的プローブ3が被加工試料5に近接したと判定する。この場合には、ステップS111に進み、機械的プローブ3の下降量を減少させる。評価値 $J(z)$ の増加量が所定の閾値より大きくない場合には、図5を参照して説明したように、機械的プローブ3が被加工試料5に未だ近接していないと判定する。この場合には、ステップS112に進み、機械的プローブ3の下降量を変化させない。こうして、機械的プローブ3の下降量が決まったら、次に、ステップS107に戻り、機械的プローブ3を下降させる。再度、ステップS108にて、評価値 $J(z)$ を演算する。こうして、機械的プローブ3の下降と、評価値

10

20

30

40

50

J(z)の演算を繰り返す。ステップS 109にて、評価値J(z)が増加しなくなったら、終了する。機械的プローブ3を下降させる処理は、図3に示す機械的プローブの接触検出装置の制御器19によってなされる。

【0071】

以上本発明の例を説明したが本発明は上述の例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲にて様々な変更が可能であることは、当業者によって容易に理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】本発明による集束イオンビーム加工装置の概略を説明する図である。 10

【図2】従来の機械的プローブの接触検出方法の例を説明する図である。

【図3】本発明による機械的プローブの接触検出装置の例を説明する図である。

【図4】機械的プローブと被加工試料の間の距離が変化することによって、機械的プローブの影が変化することを示す図である。

【図5】機械的プローブと被加工試料の間の距離と、評価値J(z)の関係を説明する図である。

【図6】機械的プローブと被加工試料の間の距離が変化することによって、機械的プローブの周囲の輝度が変化することを示す図である。

【図7】本発明による接触検査装置によって、機械的プローブの接触を検出する方法の例を説明する図である。背景画像とプローブ画像から影の深さを求めた実施例を示す図である。 20

【図8】本発明による接触検査装置によって得られた参照画像、プローブ画像、影の深さ画像、影の深さ画像からの切り取り画像の例を示す図である。

【図9】ガウシアンフィルタの特性を示す図である。

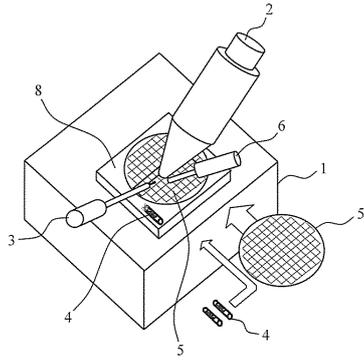
【図10】影の深さ画像に対して、ガウシアンフィルタを施した画像の例を示す図である。

【符号の説明】

【0073】

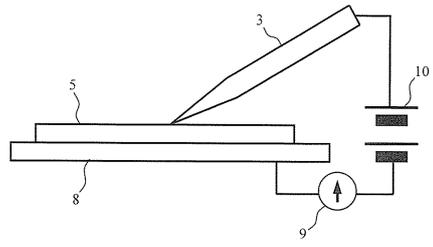
1... 試料室、2... 集束イオンビーム源、3... 機械的プローブ、4... 搬送用ホルダ、5... 試料（被加工試料）、6... ガスアシスト銃、7... 絶縁膜、8... 試料テーブル、9... 電流計、10... 電源、11... 二次粒子、12... 二次粒子検出器、13... 画像表示器、14、15... 画像メモリ、16... スイッチ、17、18... 演算器、19... 制御器、20... 集束イオンビーム 30

【図1】

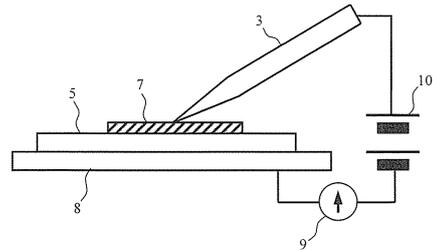


【図2】

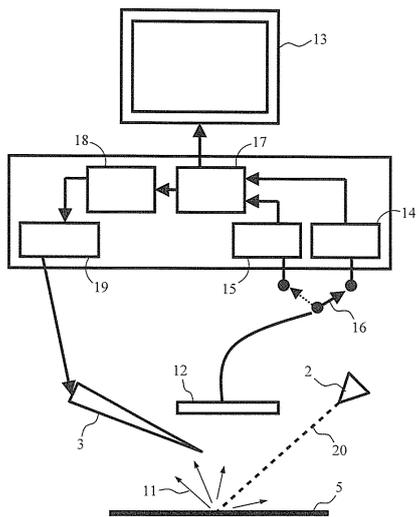
A



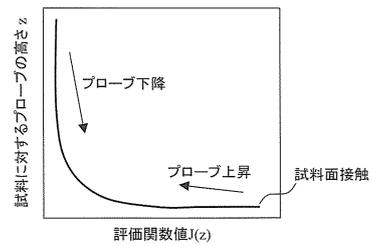
B



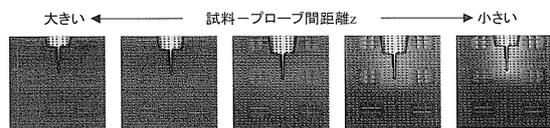
【図3】



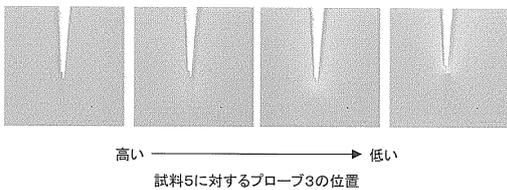
【図5】



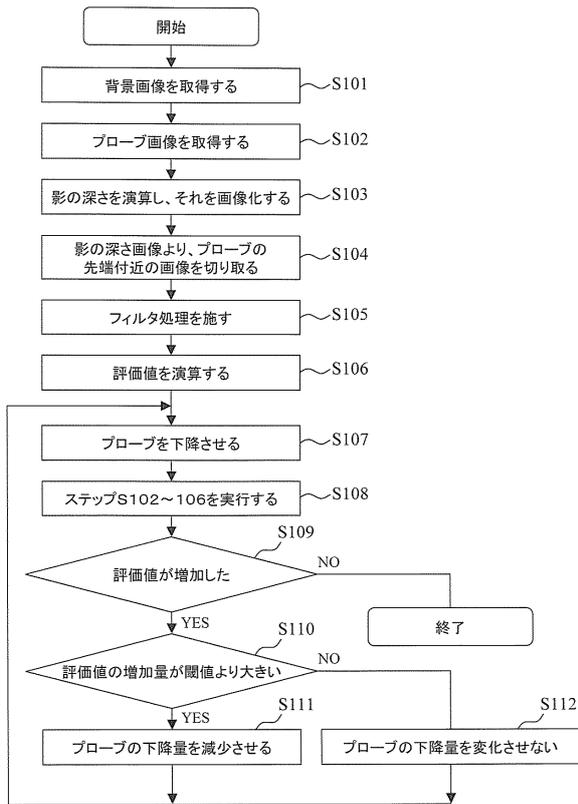
【図6】



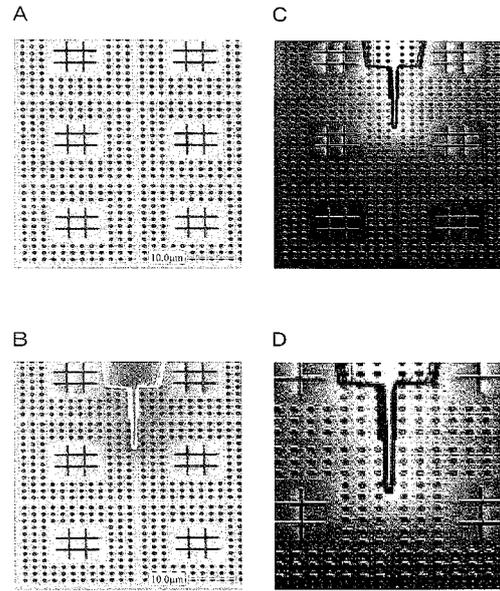
【図4】



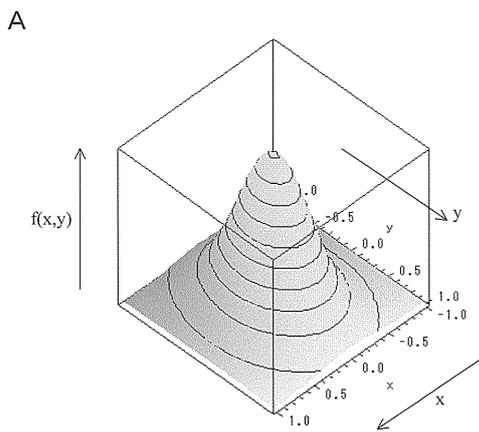
【図7】



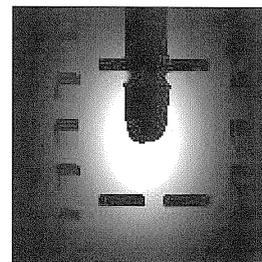
【図8】



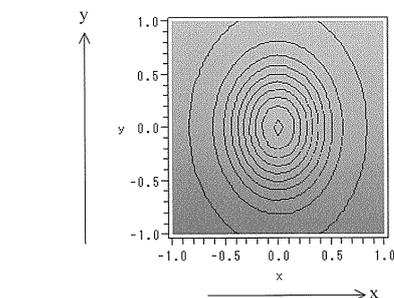
【図9】



【図10】



B



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-066478(JP,A)
特開2003-157787(JP,A)
特開2002-040107(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/66