

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4500641号  
(P4500641)

(45) 発行日 平成22年7月14日(2010.7.14)

(24) 登録日 平成22年4月23日(2010.4.23)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 21/956 (2006.01)

GO 1 N 21/956

A

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2004-283014 (P2004-283014)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成16年9月29日 (2004.9.29)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2006-98154 (P2006-98154A)		東京都港区西新橋一丁目24番14号
(43) 公開日	平成18年4月13日 (2006.4.13)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成18年9月11日 (2006.9.11)		弁理士 井上 学
		(72) 発明者	大島 良正
			神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
			株式会社日立製作所生産技術研究所内
		(72) 発明者	野口 稔
			神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
			株式会社日立製作所生産技術研究所内
		(72) 発明者	中野 博之
			神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
			株式会社日立製作所生産技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 欠陥検査方法およびその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

SOIウエハの表面検査方法であって、  
BOX層、SOI層、バルクSiの順で並んでいる該SOIウエハの表面に対して3°から30°の第一の方向から、210から390nmの範囲の波長を有するS偏光であり、反射率が70%以上で前記SOI層への深度が10nm以下の第一のレーザビームを照射する第一の照明工程と、

該SOIウエハの表面に対して前記第一の方向とは異なる第二の方向から、210から390nmの範囲の波長を有する第二のレーザビームを照射する第二の照明工程と、

該SOIウエハの表面から第三の方向に散乱する散乱光を検出する第一の検出工程と、

該SOIウエハの表面から前記第三の方向とは異なる第四の方向に散乱する散乱光を検出する第二の検出工程と、

前記第一の検出光学系により検出された第一の散乱光に基づく第一の信号と前記第二の検出光学系により検出された第二の散乱光に基づく第二の信号とを比較して、該SOIウエハ表面の欠陥と異物との弁別、または、該SOIウエハ表面の欠陥の凹凸の弁別の少なくとも一方を行う信号処理工程と、

を有することを特徴とする表面検査方法。

【請求項2】

SOIウエハの表面検査装置であって、

BOX層、SOI層、バルクSiの順で並んでいる該SOIウエハの表面に対して3°

10

20

から30°の第一の方向から、210から390nmの範囲の波長を有するS偏光であり、反射率が70%以上で前記SOI層への深度が10nm以下の第一のレーザービームを照射する第一の照明光学系と、

該SOIウエハの表面に対して前記第一の方向とは異なる第二の方向から、210から390nmの範囲の波長を有する第二のレーザービームを照射する第二の照明光学系と、

該SOIウエハの表面から第三の方向に散乱する散乱光を検出する第一の検出光学系と、該SOIウエハの表面から前記第三の方向とは異なる第四の方向に散乱する散乱光を検出する第二の検出光学系と、

前記第一の検出光学系により検出された第一の散乱光に基づく第一の信号と前記第二の検出光学系により検出された第二の散乱光に基づく第二の信号とを比較して、該SOIウエハ表面の欠陥と異物との弁別、または、該SOIウエハ表面の欠陥の凹凸の弁別の少なくとも一方を行う信号処理系と、

を有することを特徴とする表面検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体基板等に存在する微小な異物・欠陥を高感度かつ高速に検査する異物欠陥検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体基板や薄膜基板等の製造ラインにおいて、製造装置の発塵状況を監視するために、

半導体基板や薄膜基板等の表面に付着した異物の検査が行われている。例えば、回路パターン形成前の半導体基板では、表面の0.1μm以下の微小な異物や欠陥の検出が必要である。従来、半導体基板等の試料上の微小な欠陥を検出する技術として、米国特許4、601、576号公報や米国特許5、798、829号公報に記載されているように、試料表面上に数十μmに集光したレーザービームを照射して、半導体基板上に付着している異物や欠陥からの散乱光を検出し、試料の回転と直進送りで試料全面の異物や欠陥を検査するものがある。

【0003】

これらの方式を採用した場合、SOI(Silicon-on-Insulator)ウエハでは、バルクSiの上にBOX層(酸化膜)、SOI層(Si)がそれぞれ数10nmから数100nmの厚さで積層されているため、薄膜干渉の影響を受けて、BOX層、SOI層の膜厚が変化すると、異物や欠陥からの散乱光の強度が変化する。この薄膜干渉の影響による検出感度変化を回避するため、特開平6-102189号公報では正反射光が最大となる照明角度を用いているが、同一面内での膜厚変化には対応できない。また、特開2001-281162号公報、特開2003-166947号公報には複数の波長で照明することにより薄膜干渉の影響を低減することが開示されている。

【0004】

【特許文献1】米国特許4、601、576号公報

【特許文献2】米国特許5、798、829号公報

【特許文献3】特開平6-102189号公報

【特許文献4】特開2001-281162号公報

【特許文献5】特開2003-166947号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

SOIウエハ表面にレーザービームを集光・照明し、発生する散乱光から表面の異物・欠陥を検出する検査装置において、SOIウエハのBOX層、SOI層の膜厚変化の影響を受けず、またBOX層に存在する異物・欠陥を検出せずに、最表面に存在する異物・欠陥のみの検出を

10

20

30

40

50

可能とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

Siの光学特性（ $n$ ：屈折率， $k$ ：吸収係数）は照明するレーザの波長によって異なり，この屈折率と吸収係数から算出されるSiへの浸透深度（強度が $1/e$ に減衰する距離）が浅くなる波長範囲が存在することを見出した。この範囲の波長を持つレーザで照明することにより，SOIウェハのBOX層，SOI層の膜厚変化の影響を受けずに最表面の異物・欠陥のみが検出可能となる。

【発明の効果】

【0007】

本発明は以上説明したように，薄膜干渉の影響を受けずに検査可能となるので，SOIウェハの最表面のみの異物・欠陥を安定した感度で検査できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明の一実施例を以下に説明する。

【0009】

図1に半導体ウェハ上の異物を検出する装置の一例を示す。図1は概略，照明光学系102，検出光学系103およびウェハステージ101よりなる。該照明光学系102はArレーザや半導体レーザ等のレーザ光源104，波長板105，ビームエキスパンダ106，集光レンズ107から構成されレーザ光源104から射出したレーザビームはその偏光方向を波長板105で任意の方向に調整する。さらにビームエキスパンダ106でビーム径を拡大してから集光レンズ107でウェハ100上の検出エリア110を集光照明する。108，109はミラーで，照明光路を変えるためのものであり，必要に応じて使用する。

【0010】

該検出光学系103は，散乱光検出レンズ112aおよび光電変換素子113aを備えて構成される高角度検出系と，散乱光検出レンズ112bおよび光電変換素子113bを備えて構成される低角度検出系とを備え，検出エリアに存在する異物・欠陥からの散乱光111をそれぞれの検出系で検出する。散乱光111に対する光学処理，例えば，偏光板や空間フィルタによる光学特性の変更・調整等もそれぞれの検出系の中に含まれる。光電変換素子113は散乱光量に比例した大きさの電気信号を発生し信号処理回路（表示せず）で信号処理することにより異物・欠陥の検出および大きさを測定する。光電変換素子113は検出光学系103によって集光された該散乱光を受光し光電変換するために用いるものであり，例えば，TVカメラやCCDリニアセンサやTDIセンサや光電子増倍管である。

【0011】

また検出角度の異なる検出光学系（上記した高角度検出系と低角度検出系）で散乱光を検出し，それぞれの検出信号を演算・比較することによって異物と欠陥とを分離して検出することができる。すなわち，異物はウェハ表面に対して凸状であるために高角度検出系と低角度検出系とで検出される散乱光量がほぼ同じであり，それぞれの検出系からの検出信号のレベルがほぼ同じになるが，欠陥は，ウェハ表面に対して凹状であるために，照明光の入射方向の応じて高角度検出系と低角度検出系とで検出される散乱光量が異なり，それぞれの検出系からの検出信号のレベルに差が生じる。このような異物からと欠陥からの散乱光分布の違いを利用して，それぞれの検出信号を演算・比較することによって異物と欠陥とを分離して検出することができる。

【0012】

該ウェハステージ101はウェハ100を保持するチャック（図示せず），ウェハ100を回転させるための回転機構（図示せず）およびウェハ100を半径方向に直進送りさせるための直進送り機構（図示せず）からなる。該ウェハステージ101でウェハ100を水平方向に回転走査及び直進移動させることによって，ウェハ100の全領域における異物・欠陥の検出および大きさの測定が可能となる。

【0013】

10

20

30

40

50

ここで照明に使用するレーザの波長について考察する。Siの光学特性（ $n$ ：屈折率， $k$ ：吸収係数）は、図2のように照明するレーザの波長によって異なる（出典：E.D.Palik (Naval Research Laboratory) : Handbook of Optical Constants of Solids: Silicon, pp552(1985)）。この屈折率と吸収係数から算出されるSiへの浸透深度 $d$ （強度が $1/e$ に減衰する距離）は数1で計算できる（窪田：波動光学（岩波書店）：電磁波動，pp.15(1971)）。

【0014】

【数1】

$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot k} \quad \dots \quad (\text{数1})$$

10

【0015】

ここで、 $\lambda$ は波長、 $n$ は屈折率、 $k$ は吸収係数である。数1による計算結果を図3に示す。

【0016】

図3により、浸透深度が10nm（図3では、 $1e1$ と表示）より浅くなる波長範囲301（図3でハッチングした領域：210nm～390nm）が存在することを見出した。この範囲の波長を持つレーザで照明することにより、照明光はBOX層まで到達せず、そのため薄膜干渉が生じない。

【0017】

20

次に照明角度（図1， $\theta$ ）について考察する。屈折率と吸収係数から照明角度における反射率が計算できる。S偏光における計算結果を図4に示す。浸透深度が10nm以下となる波長範囲で、反射率が70%以上となるのは、照明角度が30度以下である。装置構成を考慮すると、照明角度は3度から30度の範囲が望ましい。

【0018】

該波長範囲と該照明角度の効果をシミュレーションで確認する。シミュレータとしては例えば米国Weidlinger Associates社のEMFilexがある。図5にシミュレーション結果を示す。BOX層の膜厚は100nmとし、SOI層の膜厚を20nmから200nmの範囲とした。

【0019】

図5(a)に示したように、SOI層の上にPSL(Polystyrene Latex, 標準粒子)を置き、照明角度10度、S偏光で照明した。波長は浸透深度が10nm以下となる波長範囲内の355nm、波長範囲外の400nmおよび532nmでシミュレーションを行った。その結果、図5(b)に示したように、波長範囲外の400nm及び532nmでは、薄膜干渉の影響を受けて、SOI層の膜厚変化に対して散乱光の検出信号レベル（散乱光検出電圧）が変動する。これに対し、浸透深度が10nm以下となる波長範囲内の355nmでは薄膜干渉の影響を受けずに、SOI層の膜厚変化に対して散乱光検出電圧が安定している。また、波長範囲内の355nmでは他の波長に対して検出信号レベル（散乱光検出電圧）が高くなり、高感度な検査が可能となる。波長範囲内の355nmでは浸透深度が浅いため、ペアSiウエハでも同様な検査結果が得られるため、他の波長よりも高感度な検査を達成できる。

30

【0020】

40

以上に説明したように、本発明の構成による照明光学系を採用することにより、ウエハ表面に形成された光学的に透明な薄い膜の表面と下面とからの反射光による干渉光の発生を防止でき、ウエハ表面の欠陥を高精度で安定に検出することができる。

【0021】

照明用レーザが連続発振の場合には対策不要であるが、パルス発振の場合には発振周波数とウエハ上レーザビームスポット径およびウエハ回転に伴う異物・欠陥の移動速度の関係を考慮する必要がある。図6はその関係を示すものである。図6(a)に示したように、ウエハ上でのレーザビームスポット径( $1/e^2$ )を $d$  [  $\mu\text{m}$  ]，周速（ウエハ回転に伴う異物・欠陥の移動速度）を $v$  [  $\text{m/s}$  ]，レーザ発振周波数を $F$  [  $\text{MHz}$  ] とすると、異物・欠陥（サイズ無限小）がレーザビームスポット $d$  [  $\mu\text{m}$  ] を通過する時間つまり散乱光が発生し

50

ている時間 $T1[\mu S]$ は

$$T1 = d/v \quad \dots (数2)$$

となる。一方レーザのパルス発振間隔 $T2[\mu S]$ は、図6(b)に示したように、

$$T2 = 1/F \quad \dots (数3)$$

である。サンプリング定理から

$$T1 > 2 \cdot T2 \quad \dots (数4)$$

が必要であり、式2, 3, 4より

$$F > 2 \cdot v/d \quad \dots (数5)$$

となる。レーザ発振周波数 $F$ およびレーザビームスポット $d$ は通常固定であるため、式5を満たすように周速 $v$ を決定する。これにより、半径 $R[m]$ におけるウェハの回転数 $N[rps]$ は式6となる。

【0022】

$$N < d \cdot F / (4 \cdot \pi \cdot R) \quad \dots (数6)$$

図7に示すように、2つの照明角度で照明し、個別に散乱光を検出して検出電圧を比較することにより、欠陥の凹凸弁別が可能である。レーザ光源104、波長板105、ビームエキスパンダ106、ミラー108,109および集光レンズ107で構成される第1の照明系は、図1と同様であり、照明角度 $\theta_1$ 、波長 $\lambda_1$ である。レーザ光源801、波長板802、ビームエキスパンダ803、ミラー805,806および集光レンズ804で構成される第2の照明系は、第1の照明系と同一の構成からなり、照明角度 $\theta_2$ 、波長 $\lambda_2$ である。検出光学系は図1と同様であるが、それぞれに波長フィルタ806,807を挿入する。波長フィルタ807は波長 $\lambda_1$ を通過し、波長 $\lambda_2$ はカットする。波長フィルタ806は波長 $\lambda_2$ を通過し、波長 $\lambda_1$ はカットする。これにより2つの波長の散乱光を散乱光検出レンズ112a,112bを介して光電変換素子113a,113bで個別に検出できる。また照明の波長により検出欠陥の種類が異なる場合、2つの検出器113a,113bによる検査結果の論理和をとることもできる。ここで、波長は共に浸透深度が10nm以下となる波長を用いる。

【0023】

図8は図7に示した2波長が含まれる散乱光を個別に検出する別の実施例である。波長 $\lambda_1$ は通過し、波長 $\lambda_2$ を反射するダイクロイックミラー901を挿入し、通過散乱光と反射散乱光を個別に検出することにより、図7の効果と同一の効果を実現できる。

【0024】

図9に検査フローを示す。検査を開始すると(S901)、まず検査に必要なパラメータ(レーザパワー等)を設定し(S902)、ウェハを検査開始位置に移動する(S903)。次にウェハスキャン(回転と半径方向送り)を開始し(S904)、異物・欠陥が存在したときにはその信号を取り込む(S905)。ウェハ全面の検査が終了すると、ウェハスキャンを停止し(S906)、取り込んだ異物・欠陥の情報をマップ等で出力する(S907)。これにより、一連の検査が終了する(S908)。

【0025】

異物・欠陥の情報をマップで出力する一例を図10,11,12に示す。図10は検査で得られる結果をすべて論理和をとって表示するものであり、図11は図8,9による検査で得られる結果を波長毎に分けて表示するものであり、図12は欠陥分類後に欠陥毎に分けて表示するものである。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明を用いた検査方法を示した図である。

【図2】Siの光学特性を説明する図である。

【図3】Siへの浸透深度を説明する図である。

【図4】Si表面の反射率を説明する図である。

【図5】SOIウェハにおける検出感度変動の一例を示した図である。

【図6】パルス発振レーザの一例を示した図である。

【図7】異物・欠陥分類方法の一例を示した図である。

10

20

30

40

50

【図8】異物・欠陥分類方法の別例を示した図である。  
 【図9】検査フローの一例を示した図である。  
 【図10】検査結果表示方法の一例を示した図である。  
 【図11】検査結果表示方法の別例を示した図である。  
 【図12】検査結果表示方法の別例を示した図である。

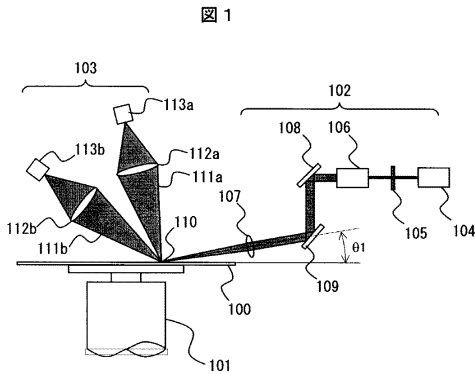
【符号の説明】

【0027】

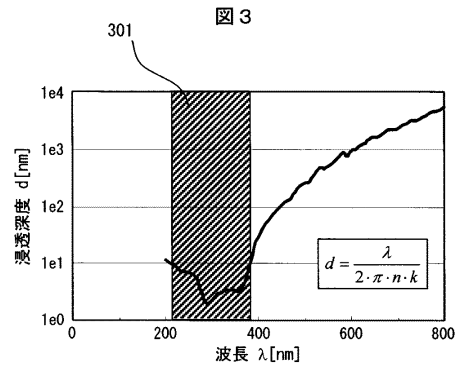
100・・・ウェハ      101・・・ウェハステージ      102・・・照明光学系      103・・・検出光学系  
 104, 801・・・レーザ光源      105, 802・・・波長板      106, 803・・・ビームエキスパンダ  
 107, 804・・・集光レンズ      108, 109, 805, 806・・・ミラー  
 110・・・検出エリア      111・・・散乱光      112・・・散乱光検出レンズ      113・・・光電変換素子  
 301・・・波長範囲      806, 807・・・波長フィルタ      901・・・ダイクロイックミラー

10

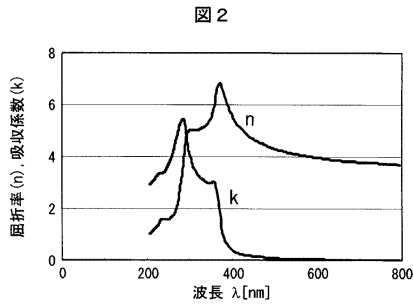
【図1】



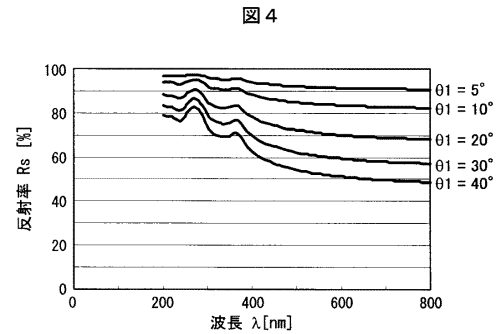
【図3】



【図2】

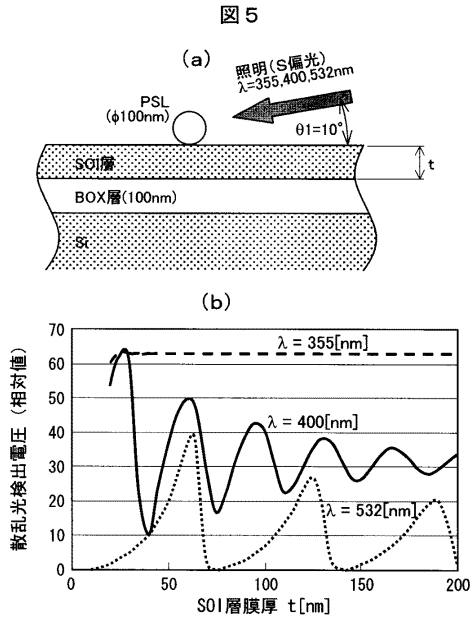


【図4】

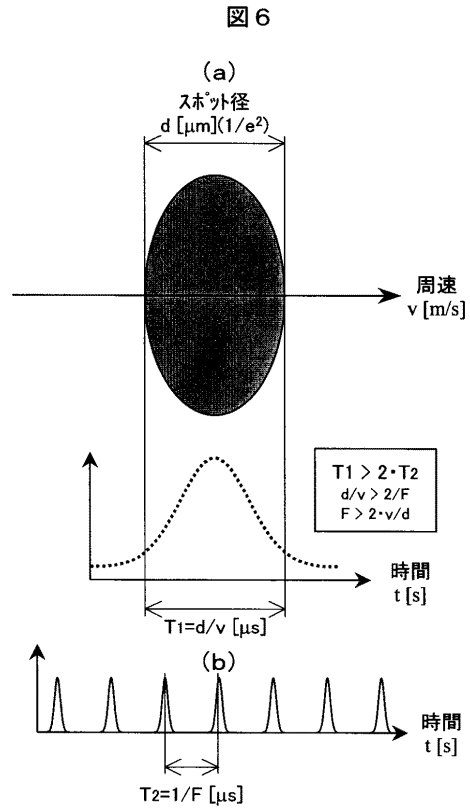


Si表面反射率

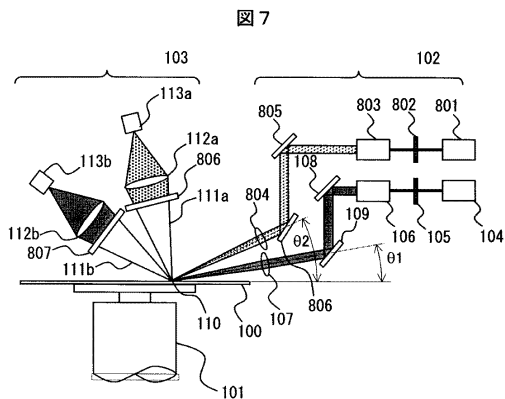
【図5】



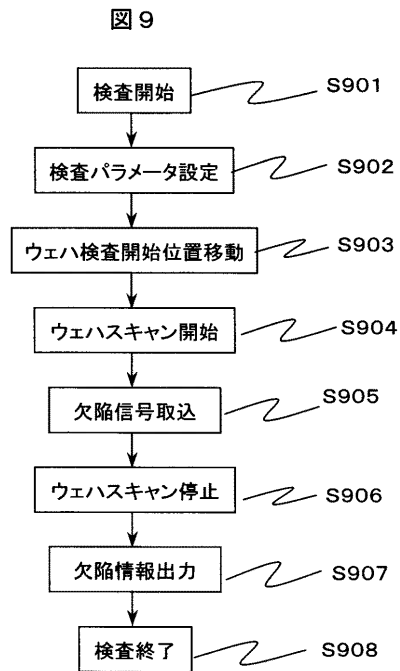
【図6】



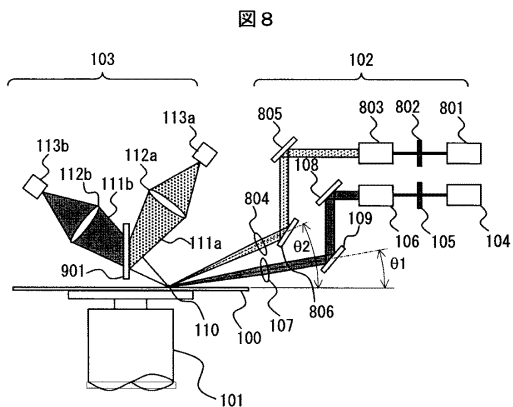
【図7】



【図9】

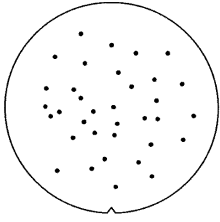


【図8】



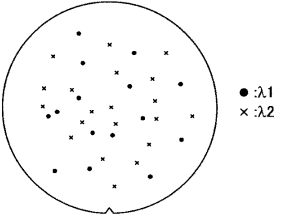
【図 10】

図 10



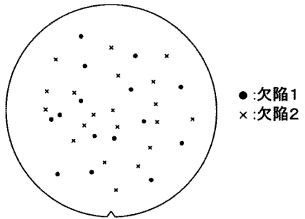
【図 11】

図 11



【図 12】

図 12





---

フロントページの続き

審査官 横井 亜矢子

(56)参考文献 国際公開第03/001186(WO, A1)

特開平09-304289(JP, A)

特開平03-009246(JP, A)

特開平06-331559(JP, A)

特開2003-247940(JP, A)

特開2004-264299(JP, A)

特開平8-264605(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/84 - 21/958