

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6066192号
(P6066192)

(45) 発行日 平成29年1月25日(2017.1.25)

(24) 登録日 平成29年1月6日(2017.1.6)

(51) Int.Cl.	F I	
B 2 4 B 37/20 (2012.01)	B 2 4 B 37/20	
B 2 4 B 53/017 (2012.01)	B 2 4 B 53/017	Z
B 2 4 B 49/18 (2006.01)	B 2 4 B 49/18	
B 2 4 B 49/12 (2006.01)	B 2 4 B 49/12	
H O 1 L 21/304 (2006.01)	H O 1 L 21/304	6 2 2 M
請求項の数 4 (全 16 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2013-49685 (P2013-49685)
 (22) 出願日 平成25年3月12日(2013.3.12)
 (65) 公開番号 特開2014-172154 (P2014-172154A)
 (43) 公開日 平成26年9月22日(2014.9.22)
 審査請求日 平成27年11月6日(2015.11.6)

特許法第30条第2項適用 2012年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、(p.79-80)

(73) 特許権者 000000239
 株式会社荏原製作所
 東京都大田区羽田旭町11番1号
 (73) 特許権者 504174135
 国立大学法人九州工業大学
 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号
 (74) 代理人 100091498
 弁理士 渡邊 勇
 (74) 代理人 100118500
 弁理士 廣澤 哲也
 (72) 発明者 松尾 尚典
 東京都大田区羽田旭町11番1号 株式会社 荏原製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 研磨パッドの表面性状測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板に摺接して基板の被研磨面を研磨する研磨パッドの表面性状測定装置であって、
 レーザ光を出射するレーザ光源と、
 研磨パッドから反射散乱された散乱光を受光素子で受光することで光学的フーリエ変換により研磨パッドの表面形状に基いた空間波長スペクトルに相当する強度分布を得る受光素子を備え、

前記光源から出射された前記レーザ光は、前記研磨パッドの表面に直接入射され、かつ、前記研磨パッド表面に形成されたポア底部に到達しない入射角で照射されることを特徴とする研磨パッドの表面性状測定装置。

【請求項2】

前記入射角は、45°以上であることを特徴とする請求項1記載の研磨パッドの表面性状測定装置。

【請求項3】

前記入射角は、80°以上であることを特徴とする請求項2記載の研磨パッドの表面性状測定装置。

【請求項4】

研磨対象物である基板を保持し前記研磨パッドに押圧するキャリアと、
 前記研磨パッドを保持し、回転させる研磨テーブルと、
 前記研磨パッドのドレッシングを行うドレッサーと、

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状測定装置とを備えることを特徴とする研磨装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハ等の基板の研磨に用いられる研磨パッドの表面形状や表面状態などの表面性状を測定する研磨パッドの表面性状測定装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体デバイスの高集積化・高密度化に伴い、回路の配線がますます微細化し、多層配線の層数も増加している。回路の微細化を図りながら多層配線を実現しようとする
10
と、下側の層の表面凹凸を踏襲しながら段差がより大きくなるので、配線層数が増加するに従って、薄膜形成における段差形状に対する膜被覆性（ステップカバレッジ）が悪くなる。したがって、多層配線するためには、このステップカバレッジを改善し、然るべき過程で平坦化処理しなければならない。また光リソグラフィの微細化とともに焦点深度が浅くなるため、半導体デバイスの表面の凹凸段差が焦点深度以下に収まるように半導体デバイス表面を平坦化処理する必要がある。

【0003】

従って、半導体デバイスの製造工程においては、半導体デバイス表面の平坦化技術がますます重要になっている。この平坦化技術のうち、最も重要な技術は、化学的機械研磨（CMP（Chemical Mechanical Polishing））である。この化学的機械的研磨は、研磨装置を用いて、シリカ（ SiO_2 ）やセリア（ CeO_2 ）等の砥粒を含んだ研磨液を研磨
20
パッドに供給しつつ半導体ウエハなどの基板を研磨パッドに摺接させて研磨を行うものである。

【0004】

上述したCMPを行う研磨装置は、研磨パッドを有する研磨テーブルと、半導体ウエハ（基板）を保持するためのキャリア又はトップリング等と称される基板保持装置とを備えている。このような研磨装置を用いて基板保持装置により基板を保持しつつ、この基板を
30
研磨パッドに対して所定の圧力で押圧して、基板上の絶縁膜や金属膜を研磨することが行われている。

【0005】

基板の研磨を行なうと、研磨パッドの表面には砥粒や研磨屑が付着し、また、研磨パッドの表面形状や状態が変化して研磨性能が劣化してくる。このため、基板の研磨を繰り返すに従い、研磨速度が低下し、また、研磨むらが生じてしまう。そこで、劣化した研磨パッドの表面形状や状態を再生するために、ドレッサーを用いて研磨パッドのドレッシング（コンディショニング）を行っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開平 9 - 119822 号公報

【特許文献 2】特開 2003 - 151934 号公報

【特許文献 3】特開 2012 - 137484 号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献 1】榎田高志，木村景一，カチョーンルンルアン・パナート，鈴木恵友著「光学的フーリエ変換に基づくCMP用ポリシングパッドの表面形状評価に関する研究（第二報）測定装置の試作」2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，2012年3月14日頒布，p.823 - 824

【非特許文献 2】榎田高志，木村景一，カチョーンルンルアン・パナート，鈴木恵友著「光学的フーリエ変換に基づいたCMP用ポリシングパッドの表面形上評価に関する研究」
40

10

20

30

40

50

2011年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，2011年9月20日頒布，p.159-160

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

CMP（化学的機械研磨）においては、研磨パッドの表面形状や状態は研磨性能に与える影響が大きく、種々の測定方法により研磨パッドの表面形状、状態を測定して、ドレッシング条件や研磨条件に反映させることが提案されている。

上記非特許文献1及び2には、研磨パッドの表面にレーザ光を照射し、その散乱反射光を光学的FFT解析することにより研磨パッドの表面形状特性を測定可能であることが示唆されている。

研磨パッドの表面にレーザ光を照射し、その散乱反射光を用いて研磨パッドの表面形状や表面状態などの表面性状を測定するにあたって、種々の外乱等の影響があるため、散乱反射光を適切にセンシングすることが重要である。

【0009】

本発明は、上述の事情に鑑みなされたもので、種々の外乱等の影響を抑制して研磨パッドの表面性状を正確に測定することができる研磨パッドの表面性状測定装置および当該測定装置を備えた研磨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】

【0010】

上述の目的を達成するため、本発明の研磨パッドの表面性状測定装置の第1の態様は、基板に摺接して基板の被研磨面を研磨する研磨パッドの表面性状測定装置であって、レーザ光を出射するレーザ光源と、研磨パッドから反射散乱された散乱光を受光素子で受光することで光学的フーリエ変換により研磨パッドの表面形状に基いた空間波長スペクトルに相当する強度分布を得る受光素子を備え、前記光源から出射された前記レーザ光は、前記研磨パッドの表面に直接入射され、かつ、前記研磨パッド表面に形成されたポア底部に到達しない入射角で照射されることを特徴とする。

本発明の実施形態によれば、研磨パッドの表面性状測定装置は、基板に摺接して基板の被研磨面を研磨する研磨パッドの表面性状測定装置であって、レーザ光を出射するレーザ光源と、研磨パッドから反射散乱された散乱光を受光素子で受光することで光学的フーリエ変換により研磨パッドの表面形状に基いた空間波長スペクトルに相当する強度分布を得る受光素子を備え、前記レーザ光は、前記研磨パッド表面での反射率が50%以上となる入射角で照射される。

本発明の他の実施形態によれば、研磨パッドの表面性状測定装置は、基板に摺接して基板の被研磨面を研磨する研磨パッドの表面性状測定装置であって、レーザ光を出射するレーザ光源と、研磨パッドから反射散乱された散乱光を受光素子で受光することで光学的フーリエ変換により研磨パッドの表面形状に基いた空間波長スペクトルに相当する強度分布を得る受光素子を備え、前記レーザ光は、S偏光されて前記研磨パッド表面へ照射される。

上記他の実施形態において、前記レーザ光は、前記S偏光の前記研磨パッド表面での反射率が50%以上となる照射角度で照射される。

【0011】

本発明によれば、レーザ光源から出射されたレーザ光は、研磨パッド表面に形成されたポア底部に到達しない入射角で照射される。これにより、ポアの存在による影響を抑制することができるので、外乱等の影響を抑制して研磨パッドの表面性状を正確に測定できる。

本発明の好ましい態様は、前記入射角は、45°以上であることを特徴とする。

さらに、本発明の好ましい態様は、前記入射角は、80°以上であることを特徴とする。

上記実施形態によれば、レーザ光源から出射されたレーザ光は、研磨パッド表面での反射率が50%以上となる入射角で照射され、または、S偏光されて前記研磨パッド表面へ

10

20

30

40

50

照射される。これにより、レーザ光の研磨パッド内部への透過光による影響を抑制することができ、外乱等の影響を抑制して研磨パッドの表面性状を正確に測定できる。

【0012】

本発明の研磨装置は、研磨対象物である基板を保持し前記研磨パッドに押圧するキャリアと、前記研磨パッドを保持し、回転させる研磨テーブルと、前記研磨パッドのドレッシングを行うドレッサーと、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状測定装置とを備えることを特徴とする。

【0013】

また、本発明は、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状測定装置で得られる研磨パッドの表面性状を現す数値を用いて以下のような態様をとることができる。

1) 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状測定装置で得られる研磨パッドの表面性状を現す数値に基づいて、ドレッシング条件を設定してドレッシングするドレッシング方法。

2) 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状測定装置で得られる研磨パッドの表面性状を現す数値に基づいて、ドレッサーの寿命を検知するドレッサーの寿命検知方法。

3) 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状測定装置で得られる研磨パッドの表面性状を現す数値に基づいて、パッドの寿命を検知するパッドの寿命検知方法。

4) 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の研磨パッドの表面性状測定装置で得られる研磨パッドの表面性状を現す数値に基づいて、パッドの表面性状に異常があることを検知するドレッシングの異常検知方法。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、種々の外乱等の影響を抑制して研磨パッドの表面性状を正確に測定することができる。そして、測定値を用いて以下のCMPの安定運用が可能となる。

(1) 研磨パッドやドレッサーを無駄なく寿命の最後まで使い切ることでできるために消耗材コストを抑制できる。

(2) 何らかのドレッシング異常による研磨パッドの表面性状の非定常状態を即座に検知して発報することができるために、CMP性能不良による半導体デバイスの製造不良を最低限に抑えることができる。

(3) 研磨パッドの表面性状の変化に応じてドレッシング条件を変更することで、常に研磨パッドの表面性状をCMP性能の確保に必要な状態に維持できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、本発明に係る研磨パッドの表面性状測定装置を備えた研磨装置の全体構成を示す模式図である。

【図2】図2は、図1のII部の拡大図である。

【図3】図3は、図1および図2に示す表面性状測定装置において実行される撮像(受光)からフーリエ変換して数値を演算するプロセスを模式的に示す図である。

【図4】図4は、レーザ光を研磨パッドに照射した時に発生するパッド表面形状によって散乱した光の強度分布を示す模式図である。

【図5】図5は、受光素子とパッドとの距離およびレーザスポット径の関係を示す模式図である。

【図6】図6は、レーザ波長(λ [nm])と測定可能な空間波長(p [μ m])との関係を示すグラフである。

【図7】図7は、レーザ光を研磨パッドに照射した時のパッドの表面で反射散乱した散乱光の強度分布を示す模式図である。

【図8】図8(a), (b)は、本手法で得られた光強度分布に基づき、各々の空間波長

10

20

30

40

50

(横軸)範囲の光強度の積分値と観察領域全体の光強度の積分値(30 μmまで)の比(波長構成比)と研磨レート(MRR)の相関値(縦軸)を示すグラフである。

【図9】図9(a), (b)は、本手法で得られた光強度分布に基づき、各々の空間波長(横軸)範囲の光強度の積分値と観察領域全体の光強度の積分値(30 μmまで)の比(波長構成比)と研磨レート(MRR)の相関値(縦軸)を示すグラフである。

【図10】図10は、各々の空間波長範囲(横軸)における波長構成比率と研磨レート(MRR)の相関係数値(縦軸)を示すグラフである。

【図11】図11は、レーザー光の入射角を80°とした場合の、機器構成を示す模式図である。

【図12】図12(a), (b)は、図3に示すプロセスで得られた数値を利用してドレッシング条件を変更する場合および警報を表示する場合の手順を示すフローチャートである。

【図13】図13は、図1および図2に示すように構成された研磨装置を用いて、基板の研磨、研磨パッドのドレッシングおよび研磨パッドの表面のモニタリングの手順の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明に係る研磨パッドの表面性状測定装置の実施形態について図1乃至図13を参照して詳細に説明する。なお、図1から図13において、同一または相当する構成要素には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0017】

図1は、本発明に係る研磨パッドの表面性状測定装置を備えた研磨装置の全体構成を示す模式図である。図1に示すように、研磨装置は、研磨テーブル1と、研磨対象物である半導体ウエハ等の基板Wを保持して研磨テーブル上の研磨パッドに押圧するキャリア10とを備えている。研磨テーブル1は、テーブル軸1aを介してその下方に配置される研磨テーブル回転モータ(図示せず)に連結されており、テーブル軸1aの回りに回転可能になっている。研磨テーブル1の上面には研磨パッド2が貼付されており、研磨パッド2の表面が基板Wを研磨する研磨面2aを構成している。研磨パッド2には、ダウケミカル社(Dow Chemical Company)製のSUBA800、IC1000、IC1000/SUBA400(二層クロス)等が用いられている。SUBA800は繊維をウレタン樹脂で固めた不織布である。IC1000は硬質の発泡ポリウレタンであり、その表面に多数の微細な孔(ポア)を有したパッドであり、パーフォレートパッドとも呼ばれている。研磨テーブル1の上方には研磨液供給ノズル3が設置されており、この研磨液供給ノズル3によって研磨テーブル1上の研磨パッド2に研磨液(スラリー)が供給されるようになっている。

【0018】

キャリア10は、シャフト11に接続されており、シャフト11は、キャリアアーム12に対して上下動するようになっている。シャフト11の上下動により、キャリアアーム12に対してキャリア10の全体を上下動させ位置決めするようになっている。シャフト11は、モータ(図示せず)の駆動により回転するようになっており、キャリア10がシャフト11の軸心の回りに回転するようになっている。

【0019】

図1に示すように、キャリア10は、その下面に半導体ウエハなどの基板Wを保持できるようになっている。キャリアアーム12は旋回可能に構成されており、下面に基板Wを保持したキャリア10は、キャリアアーム12の旋回により基板の受取位置から研磨テーブル1の上方に移動可能になっている。キャリア10は、下面に基板Wを保持して基板Wを研磨パッド2の表面(研磨面)に押圧する。このとき、研磨テーブル1およびキャリア10をそれぞれ回転させ、研磨テーブル1の上方に設けられた研磨液供給ノズル3から研磨パッド2上に研磨液(スラリー)を供給する。研磨液には砥粒としてシリカ(SiO₂)やセリア(CeO₂)を含んだ研磨液が用いられる。このように、研磨液を研磨パッド

10

20

30

40

50

2上に供給しつつ、基板Wを研磨パッド2に押圧して基板Wと研磨パッド2とを相対移動させて基板上の絶縁膜や金属膜等を研磨する。絶縁膜としてはSiO₂が挙げられる。金属膜としてはCu膜、W膜、Ta膜、Ti膜が挙げられる。

【0020】

図1に示すように、研磨装置は、研磨パッド2をドレッシングするドレッシング装置20を備えている。ドレッシング装置20は、ドレッサーアーム21と、ドレッサーアーム21に回転自在に取り付けられたドレッサー22とを備えている。ドレッサー22の下部はドレッシング部材22aにより構成され、ドレッシング部材22aは円形のドレッシング面を有しており、ドレッシング面には硬質な粒子が電着等により固定されている。この硬質な粒子としては、ダイヤモンド粒子やセラミック粒子などが挙げられる。ドレッサーアーム21内には、図示しないモータが内蔵されており、このモータによってドレッサー22が回転するようになっている。ドレッサーアーム21は図示しない昇降機構に連結されており、この昇降機構によりドレッサーアーム21が下降することでドレッシング部材22aが研磨パッド2の研磨面2aを押圧するようになっている。研磨テーブル1、キャリア10、ドレッシング装置20等の各装置類は、制御装置(図示せず)に接続されており、制御装置により研磨テーブル1の回転速度、キャリア10の回転速度および研磨圧力、ドレッシング装置20のドレッサー22の荷重や揺動速度等が制御されるようになっている。

10

【0021】

図1に示すように、研磨装置は、研磨パッド2の表面形状や表面状態などの表面性状を測定する研磨パッドの表面性状測定装置30を備えている。研磨パッドの表面性状測定装置30は、レーザ光を出射するレーザ光源31と、研磨パッド2の表面と略平行にレーザ光が進行するようにレーザ光を導くための導光空間32と、研磨パッド2の表面と略平行に進行するレーザ光を研磨パッド2の表面に略垂直方向に進行方向を変更するミラー34と、研磨パッド2の表面で反射散乱した散乱光を受光する受光素子35とを備えている。レーザ光源31は408nmの波長のレーザ光を出射するように構成されている。図1に示す実施形態では、レーザ光源31はキャリアアーム12に固定されており、レーザ光源31から出射されたレーザ光は、ミラー33によって導光空間32に導かれるようになっている。すなわち、レーザ光源31から略垂直方向に出射されたレーザ光は、ミラー33で光路が変更されて導光空間32に導かれ、導光空間32においてレーザ光は研磨パッド2の表面と略平行に進行し、その後レーザ光はミラー34で光路が変更されて略垂直方向から研磨パッド2に入射するようになっている。研磨パッド2の表面で反射散乱した散乱光を受光する受光素子35は、エリアセンサからなり、CMP性能に及ぼす影響が大きい低波長領域まで検出できるように、研磨パッド2の表面の上方に配置されている。受光素子35は、CMOS、フォトダイオードアレイ、フォトマルアレイでもよい。

20

30

【0022】

研磨パッドの表面性状測定装置30は、受光素子35で受光した散乱光の強度分布を特定の演算方法によりCMP性能と相関ある数値に換算する演算機能を有した演算処理装置36を備えている。演算処理装置36は受光素子35に接続されている。演算処理装置36は、散乱光強度分布(スペクトル)を特定の演算方法によりCMP性能と相関ある数値に換算する演算機能も備えている。また、演算処理装置36は、散乱光強度分布やCMP性能と相関ある数値を表示する表示機能を備えている。演算処理装置36はCMPの制御装置に組み込んでよい。演算処理装置36からの信号はCMPの制御装置へ入力される。

40

【0023】

図2は、図1のII部の拡大図である。レーザ光源31から出射されたレーザ光である入射光は、ミラー33(図1参照)で光路が変更されて導光空間32に導かれる。図2に示すように、導光空間32においてレーザ光は研磨パッド2の表面と略平行に進行し、その後、レーザ光はミラー34で光路が変更されて、略垂直方向から研磨パッド2に入射する。そして、研磨パッド2の表面で反射散乱した散乱光は受光素子35により受光される。

50

【 0 0 2 4 】

図3は、図1および図2に示す研磨パッドの表面性状測定装置30において実行される撮像(受光)して数値を演算するプロセスを模式的に示す図である。なお、図3においては、受光素子35の形状・配置などは模式化して示しており、またレーザ光源31,ミラー34,演算処理装置36は図示を省略している。

図3に示すように、表面性状測定装置30において以下のステップが実行される。

(1) 表面形状 $u(x, y)$ を持つ研磨パッド2にレーザ光を照射する。

(2) 研磨パッド表面で反射散乱した散乱光を受光素子35で受光し、散乱光強度分布を得る。散乱光強度分布は、研磨パッドの表面形状をその空間波長でフーリエ変換した分布に相当する。

(3) 演算処理装置36において、所定の演算を経て、パッド表面指数を求める。

ここで所定の演算とは、

- ・ 特定空間波長領域の散乱光強度の積分値
- ・ 第一の空間波長領域の積分値に対する、第二の空間波長領域の積分値の比

などである。

【 0 0 2 5 】

次に、上記(1)~(3)のステップを実行する具体的な方法及び装置構成について説明する。

1) 研磨パッドからの散乱光強度分布

図4は、レーザ光を研磨パッドに照射した時に発生するパッド表面形状によって散乱した光の強度分布を示す模式図である。

図4に示すように、レーザ光(波長 λ) を研磨パッドに照射した時に発生するパッド表面形状によって散乱した光の強度分布 $I(p)$ を受光素子で観察するとする。その時、受光素子上の各位置 $1/p$ は、各々の表面凹凸である空間波長 p のスペクトルを示す。いわば、光強度分布は研磨パッドの表面形状の空間的フーリエ変換のスペクトルを示すことになる。例えば、比較的長い空間波長 p_1 の場合は、受光素子の $1/p_1$ の位置(空間周波数領域)にそのスペクトルが現れる。一方、比較的短い空間波長 p_2 の場合も、同様である。

図4において、各記号を以下のように定義する。

θ : 入射角

d : レーザビーム径

φ : 回折角(回折した光が正反射光から偏角した角度)

L : 受光素子 - パッドの距離

p : 研磨パッド表面形状の空間波長

偏角回折角(φ) を決定する式は、式(1)に示され、適用する波長 λ 、設定入射角 θ、凹凸の空間波長 p で決定される。ただし、式(1)の条件は、Far-field 回折の状態である必要がある。Far-field 回折は、式(2)で示すように観察する受光素子が研磨パッドから十分な距離 L 離れていることが必要である。また、式(1)から、式(3)で示すように空間波長 p がレーザ波長 λ より小さくなると、回折角が 90° より大きくなり、研磨パッド表面から反射しなくなり、いわゆる吸収される現象になる。

$$p \cos \theta \sin \phi + p \sin \theta (1 - \cos \phi) = \dots (1)$$

$$\text{Far-field 回折の条件: } L \gg (p \cos \theta)^2 / 2 \dots (2)$$

$$\text{空間波長とレーザ光波長の条件; } p / \lambda > 1 \dots (3)$$

【 0 0 2 6 】

2) 受光素子とパッド距離およびレーザスポット径の検討

図5は、受光素子とパッドとの距離およびレーザスポット径の関係を示す模式図である。図5中の各記号は図4で定義したとおりである。

式(2)において、例えば、φ = 45° とし、L が $p^2 / 4$ の 100 倍より大きいとすると、受光素子とパッドとの距離 L は式(2.1)に示される条件を満たす必要がある。

10

20

30

40

50

$$L > 100 \left(p^2 / 4 \right) \dots (2.1)$$

次に、レーザビーム径 d_0 の領域内では、回折角 $\theta < \theta_0$ の領域が正反射光（幅 d_0 ）と重なるため評価不能となる。そのため、回折角 θ_0 （受光素子上では、相当するパッド表面凹凸の空間波数 $1/p_0$ ）より大きい回折角 θ （空間波長波数 $1/p$ ）が評価可能領域（ $\theta > \theta_0$ または $1/p > 1/p_0$ ）になる。

$$\text{ここで、正反射光の境目では、} AB/OA = \tan \theta_0 = d_0 / 2L$$

ただし、 $L \gg d_0$ のため、 $(d_0^2 + 4L^2)^{1/2} \approx 2L$ とすると、

$$\sin \theta_0 = d_0 / 2L, \cos \theta_0 = 2L / (d_0^2 + 4L^2)^{1/2} \approx 2L / (4L^2)^{1/2} = 1$$

と近似される。そして、式(1)より、評価可能な空間波数 $1/p$ の範囲は、

$$1/p_0 = (\cos \theta_0 \sin \theta_0 + \sin \theta_0 (1 - \cos \theta_0)) / \sin \theta_0 < 1/p \text{ のため}$$

次の条件が得られる。

$$p \cos \theta_0 \times (d_0 / 2L) < 1/p \dots (4)$$

i) 受光素子とパッドとの距離 L の選定

例えば、研磨パッドが IC1000 の場合は、パッドのポア径は、 $40 \sim 60 \mu\text{m}$ のため、 $p < p_0 = 30 \mu\text{m}$ として空間波長を評価する。また、レーザ波長 $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$ とすると、

$$L > 100 \times (30 \mu\text{m})^2 / 4 (0.532 \mu\text{m}) = 43 \text{ mm のため}$$

例えば、受光素子とパッドとの距離 $L > 50 \text{ mm}$ とすればよい。

ii) レーザスポット径 d_0 の選定

評価不能領域の境界条件では、スポット径

$$d_0 < 4 (50 \text{ mm}) (0.532 \mu\text{m}) / 2^{1/2} (30 \mu\text{m}) = 2.5 \text{ mm}$$

例えば、スポット径 $d < 2 \text{ mm}$ とすればよい。

【0027】

3) 照射レーザ光の波長選定

図6は、レーザ波長 λ (nm) と測定可能な空間波長 p (μm) との関係を示すグラフである。

受光素子とパッドとの距離 L とレーザスポット径 d_0 を決定するには、レーザ波長を選定する必要がある。図6に示すように、基本的にレーザの波長 λ が短いほど測定可能な研磨パッド形状の空間波長の限界 p (式(1)の $\theta = 0$, $\theta = 90^\circ$ の時で $p = p_0$) は小さくなる。

しかし、レーザ波長が短くなると、大気による光の散乱 (レイリー散乱強度 $y \propto \lambda^{-4}$) のため、光強度の減光率が大きくなり、被測定表面からの散乱光に対しての外乱になる恐れがある。

そこで、図に矢印で示すように、光強度の減少率を 13.5% 以下にしようとする、測定に用いるレーザ波長を 450 nm ($0.45 \mu\text{m}$) 以上にする必要があり、その際に測定可能な空間波長は、 $\theta = 0$ とすると約 $0.45 \mu\text{m}$ 以上となる。また、同様に光強度の減少率を 25% 以下にするには、測定に用いるレーザ波長を 400 nm ($0.4 \mu\text{m}$) 以上にすればよい。

例えば、小型半導体レーザを用いれば、波長が 450 nm より大きく、最も近い波長で、一般的によく使われる 532 nm のレーザ光を使用できる。

【0028】

4) 波長構成比

図7は、レーザ光を研磨パッドに照射した時のパッドの表面で反射散乱した散乱光の強度分布を示す模式図である。図7中の各記号は図4で定義したとおりである。

図7に示す空間波長 p_3 から空間波長 p_4 までの第一の空間波長領域の散乱光強度の積分値に対する、空間波長 p_1 から空間波長 p_2 までの第二の空間波長領域の散乱光強度の積分値の比を次式で求める。

10

20

30

40

【数 1】

$$\frac{\int_{p1}^{p2} I(p) dp}{\int_{p3}^{p4} I(p) dp} [\%]$$

上記の比を波長構成比と定義する。

10

【0029】

5) 波長構成比と研磨レート(MRR)との相関結果

図8(a), (b)は、本手法で得られた光強度分布に基づき、各々の空間波長(横軸)範囲の光強度の積分値と観察領域全体の光強度の積分値(30 μmまで)の比(波長構成比)と研磨レート(MRR)の相関値(縦軸)を示すグラフである。

図8(a), (b)は、異なったドレスサ(#325と#100)でドレスングされた研磨パッドを用いて、最も測定範囲の広い30~1.8 μm、次に測定範囲の広い30~2.8 μm、測定範囲を狭くした30~4 μmの観察領域の場合の相関値の特性をまとめたものである。

図8(a), (b)に示すように、30~1.8 μmの広い空間波長範囲で演算した方が30~2.8 μmや30~4 μmの空間波長範囲で演算したものより、相関値が高くなる傾向が見られた。したがって、30~1.8 μmの空間波長範囲でのスペクトルの積分値をとった方が良い結果が得られることが分かる。

20

【0030】

6) 表面指数演算のための空間波長範囲の特定

図9(a), (b)は、本手法で得られた光強度分布に基づき、各々の空間波長(横軸)範囲の光強度の積分値と観察領域全体の光強度の積分値(30 μmまで)の比(波長構成比)と研磨レート(MRR)の相関値(縦軸)を示すグラフである。

パッド性状を把握するには相関係数値が0.7以上が望ましい。図9(a), (b)において高い相関係数である0.7以上で考慮すると、より広範囲での測定(1.8 μm)のほうが、比較的幅広い波長領域、およびより小さい空間波長pの相関係数が高い傾向にある。

30

したがって、図9(a), (b)に示す例では、空間波長範囲を以下の通りとする。

1. 全体の空間波長領域は4~30 μmを含み、好ましくは、2~30 μmを含む。
2. #325でドレスングされたパッドの場合の空間波長領域: 2(1.8)~5 μm
3. #100でドレスングされたパッドの場合の空間波長領域: 9~13 μm

【0031】

次に、本手法で得られた散乱光強度分布で、一例として、図7に示す空間波長領域(p₁~p₂ μm)における、波長構成比と研磨レート(MRR)との相関を求めた。この場合、#100と#325でドレスングされたパッドにおいて、同一の空間波長領域で評価を行った。

40

図10は、上記評価結果を示し、各々の空間波長範囲(横軸)における波長構成比率と研磨レート(MRR)の相関係数値(縦軸)を示すグラフである。

図10に示す例においては、高い相関係数である相関係数値0.7以上で考慮した場合、研磨に寄与する微細凹凸の空間波長範囲を10~15 μmに限定するとよいことが分かる。

なお、図8乃至図10で示す実験結果は、図1および図2に示す装置構成で求めたものである。

【0032】

7) ポアとレーザ光入射角 の検討

50

以上のように、光学的 F F T によるパッド表面形状の空間波長に対応した反射光強度スペクトルに基いて、研磨レート (M R R) と強い相関のある数値を演算することができる。ところで、研磨パッド表面にはドレッシングにより生じる微細形状のほか、元々の研磨パッド表面に形成された形状、ポアが存在し、本手法により得られる散乱光強度分布は、このポアの形状も反映したものとなる。

ポアの底部は研磨される基板と直接接触するわけではなく、研磨レート (M R R) や、ドレッシングの状況を把握するには、このポアの形状による影響をできるだけ排除したほうが良い場合がある。

【 0 0 3 3 】

ポアの形状の影響をできるだけ排除するには、レーザー光の研磨パッドに対する入射角を寝かせて、レーザー光がポア底部に到達しないようにすればよい。ポア底部に到達しないようにするには入射角を 45° 以上とすることが必要で、更には、 80° 以上とすることが望ましい。ここでいう、レーザー光を到達させないポア底部とは、研磨中の基板と摺接することのない深さをもったポアの底部であり、ごく浅いポアは含まない。

【 0 0 3 4 】

8) レーザ光の反射率と偏光の検討

レーザー光は研磨パッド表面で全て反射されるわけではなく、一部はパッド内部に透過する。内部に透過したレーザー光は、研磨パッド内部の構造 (ポアなど) によって散乱反射し、その研磨パッド内部での散乱反射光の一部は、研磨パッド表面で反射された散乱反射光と一緒にになってしまう。研磨パッドの表面性状を測定するためには、内部に透過したレーザー光の影響を小さくした方が望ましい。レーザー光の物質表面での反射率は、レーザー光の入射角によって変わり、入射角が大きくなるほど反射率が高くなる傾向がある。したがって、研磨パッド表面でのレーザー光の反射率が 50% 以上となる入射角にすることが望ましい。

【 0 0 3 5 】

また、研磨パッド表面でのレーザー光の反射率について、S 偏光は入射角の増加に伴って反射率が単調増加するのに対して、P 偏光は入射角がブリュースター角に近づくに従って反射率が低下し、ブリュースター角を越えると増加する。したがって、研磨パッドに照射するレーザー光は、偏光板等により S 偏光させることで、研磨パッド表面での反射率を高めることができる。

【 0 0 3 6 】

図 1 1 は、レーザー光の入射角を 80° とした場合の機器構成の一例を示す。図 1 と同様に、光源 3 1 から出射されたレーザー光は、2 つのミラー 3 3 , 3 4 を介して研磨パッド 2 に照射されるようになっている。ミラー 3 3 , 3 4 は、光源 3 1 から出射されたレーザー光を反射して研磨パッド 2 に入射角が 80° になるよう位置や角度が設定されている。すなわち、光源 3 1 から略垂直方向に出射されたレーザー光は、ミラー 3 3 (図 1 1 では図示せず) で光路が変更されて研磨パッド 2 の表面と平行に進行し、さらにミラー 3 4 で光路が変更されて入射角 80° で研磨パッド 2 に入射するようになっている。受光素子 3 5 は、レーザー光の研磨パッド上での正反射が垂直にあたるよう設置されている。

【 0 0 3 7 】

入射角が寝ているので、研磨パッドの厚さが変化すると、研磨パッド上のレーザー照射位置が比較的大きく変わってしまう。図 1 1 の形態では、ミラー 3 4 が水平方向移動機構に取り付けられており、研磨パッド 2 の厚さの変化によらず、受光素子 3 5 の面上の同じ位置にレーザー光の正反射が当たるように調整される。研磨パッドの厚さ、または、研磨パッドの表面の高さを測定する測定器 (図示せず) を備え、その測定器の結果に基いて、水平方向移動機構を制御するように構成しても良い。

【 0 0 3 8 】

上記ステップで得られた C M P 性能と相関の強い数値を、予め定めた値と比較して、特定の条件を満たした場合に、研磨パッドやドレッサーの寿命や交換タイミング、またパッド表面性状やドレッシング状態の異常を、演算処理装置 3 6 の表示部に表示する。

10

20

30

40

50

また、演算処理装置 36 は、上記ステップで得られた CMP 性能と相関の強い数値を、予め定めた条件に照らして CMP パラメータ、特にドレッシング条件（面圧、回転数、揺動パターン）を変更する機能を持つ。例えば、上記の数値、ドレッシング条件、CMP 性能の三者の相関を表わす式を予め得ておき、ドレッシング後に測定される上記の数値をその式に代入することで、CMP 性能が常に一定になるようなドレッシング条件を算出し、その条件を次のドレッシング時に適用する機能等である。

【0039】

図 12 (a), (b) は、図 4 乃至図 10 に示すプロセスで得られた数値を利用してドレッシング条件を変更する場合および警報を表示する場合の手順を示すフローチャートである。

図 12 (a) に示す例においては、基板を研磨した後に研磨パッド 2 をドレッシングし、パッド表面の測定を行う。次に、パッド表面指数を算出し、パッド表面指数が所定範囲内か否かを判断する。パッド表面指数が所定範囲内でない場合（NO の場合）には、次のドレッシング条件を変更する。パッド表面指数が所定範囲内の場合（YES の場合）には、ドレッシング条件を変更せず、そのままの条件で次のドレッシングを行う。

ドレッシング条件の変更例を表 1 に示す。

【表 1】

ドレッシング パラメータ	パッド表面指数が所定範囲より	
	小さい場合	大きい場合
ドレッシング荷重	増加	低減
ドレッサー回転数	増加	低減
ドレッシング時間	増加	低減

【0040】

図 12 (b) に示す例においては、基板を研磨した後に研磨パッド 2 をドレッシングし、パッド表面の測定を行う。次に、パッド表面指数を算出し、パッド表面指数が正常範囲内か否かを判断する。パッド表面指数が正常範囲内でない場合（NO の場合）には、ドレッサー寿命、研磨パッド寿命、研磨パッド表面異常のいずれかの警報を表示する。この場合、予め、ドレッサー寿命、研磨パッド寿命、研磨パッド表面異常となるパッド表面指数の演算式と正常範囲を決めておく。パッド表面指数が正常範囲内の場合（YES の場合）には、プロセスを継続する。

【0041】

次に、図 1 および図 2 に示すように構成された研磨装置を用いて、基板の研磨、研磨パッドのドレッシングおよび研磨パッドの表面のモニタリングを行う場合の手順の一例を図 13 を参照して説明する。

図 13 に示すように、基板の処理を開始して基板を研磨する。すなわち、研磨液供給ノズル 3 から研磨パッド 2 に研磨液（スラリー）を滴下し、キャリア 10 を回転させながら下降させて、基板 W を回転する研磨パッド 2 に所定の研磨圧力で押圧する。これによって、基板上の金属膜や絶縁膜の研磨を行う研磨工程を開始する。なお、研磨工程に併行してドレッシングを行うインサイチュウドレッシングを行ってもよい。

【0042】

次に、研磨液供給ノズル 3 からの研磨液の供給を停止した後、研磨パッド 2 に純水を供給して、基板の水ポリッシング（水研磨）などを行うことにより、基板を研磨パッド 2 上で洗浄する。その後、キャリア 10 により基板を研磨パッド 2 の外側に搬送し、研磨後の基板をプッシャ等の受渡し装置に受け渡す。

【0043】

次に、研磨パッド 2 をドレッシングする。すなわち、研磨パッド 2 を回転させるととも

10

20

30

40

50

に、ドレッサー 2 2 を回転させ、次いでドレッサーアーム 2 1 を下降させ、ドレッサー 2 2 の下面のドレッシング部材 2 2 a を回転する研磨パッド 2 に押圧する。その状態で、ドレッサーアーム 2 1 を揺動（スイング）させる。研磨パッド 2 のドレッシング中は、研磨液供給ノズル 3（図 1 参照）からドレッシング液としての純水が研磨パッド 2 に供給される。

【 0 0 4 4 】

次に、研磨パッドの表面性状測定装置 3 0 により研磨パッド 2 の表面をモニタリングをする。このモニタリング工程は、図 4 乃至図 1 0 において説明したように、パッド表面指数を算出し、図 1 2（a）、（b）において説明したように、ドレッシング条件の変更、研磨パッド寿命や研磨パッド表面異常の警報を表示する等の所定の判断を行う。

10

前記モニタリング工程の終了後に基板処理を完了する。なお、モニタリング工程は、研磨工程中に行ってもよく、またドレッシング工程中に行ってもよい。

【 0 0 4 5 】

これまで本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術思想の範囲内において、種々の異なる形態で実施されてよいことは勿論である。

【符号の説明】

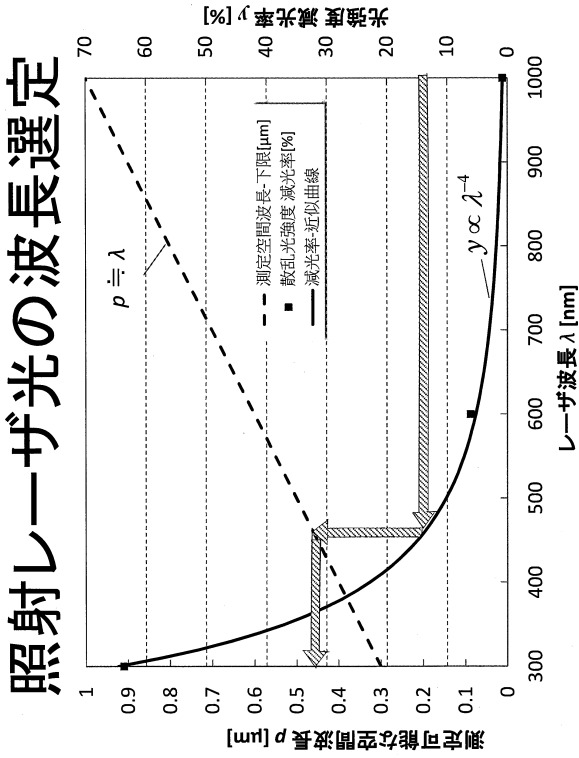
【 0 0 4 6 】

- 1 研磨テーブル
- 1 a テーブル軸
- 2 研磨パッド
- 2 a 研磨面
- 3 研磨液供給ノズル
- 1 0 キャリア
- 1 1 シャフト
- 1 2 キャリアアーム
- 2 0 ドレッシング装置
- 2 1 ドレッサーアーム
- 2 2 ドレッサー
- 2 2 a ドレッシング部材
- 3 0 表面性状測定装置
- 3 1 レーザ光源
- 3 2 導光空間
- 3 3 , 3 4 ミラー
- 3 5 受光素子
- 3 6 演算処理装置

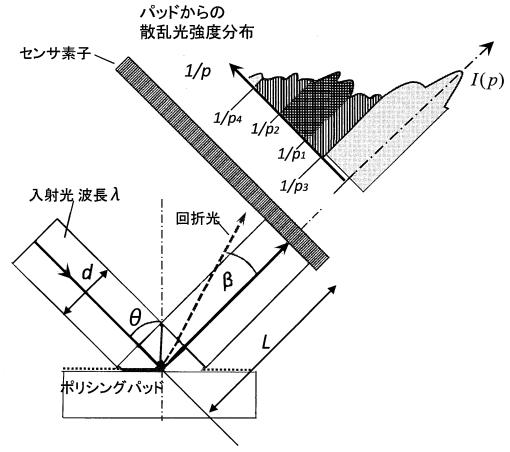
20

30

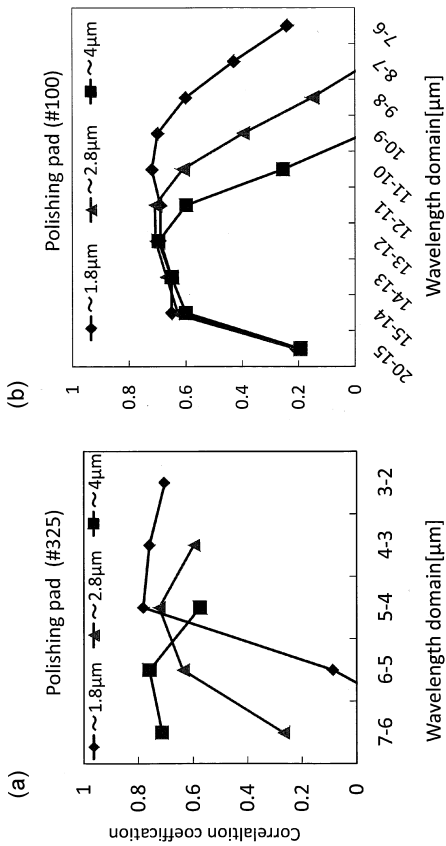
【 図 6 】



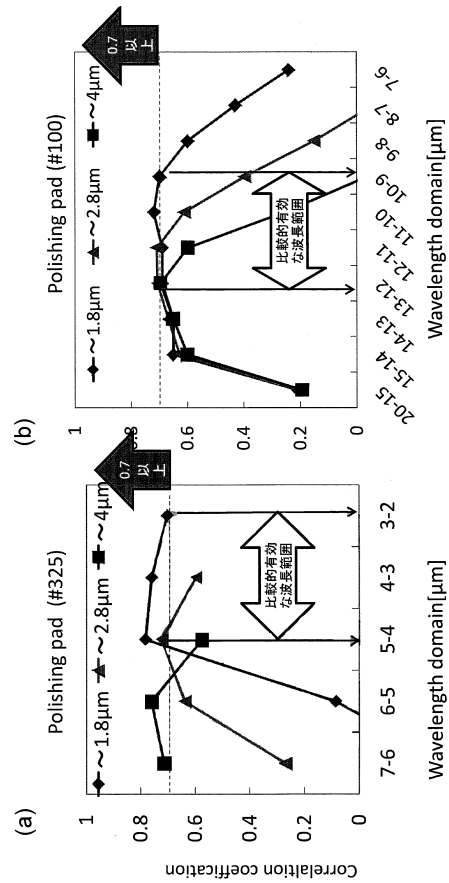
【 図 7 】



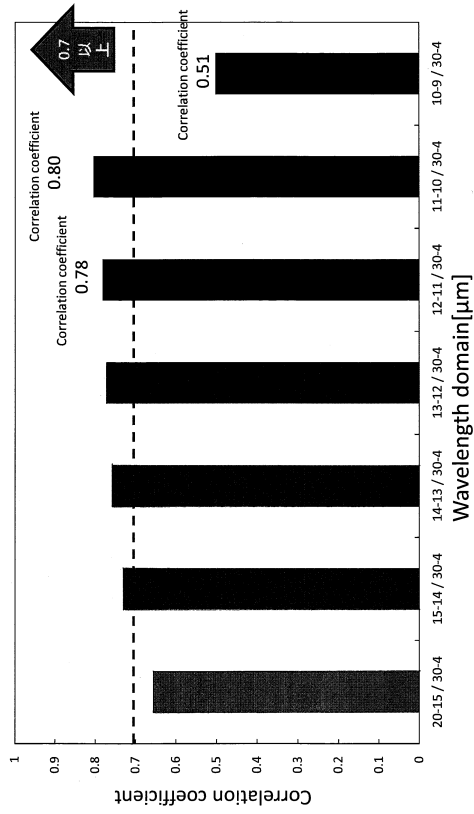
【 図 8 】



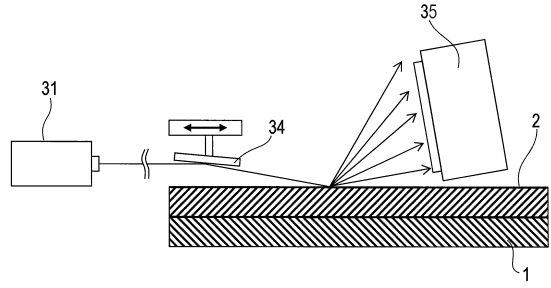
【 図 9 】



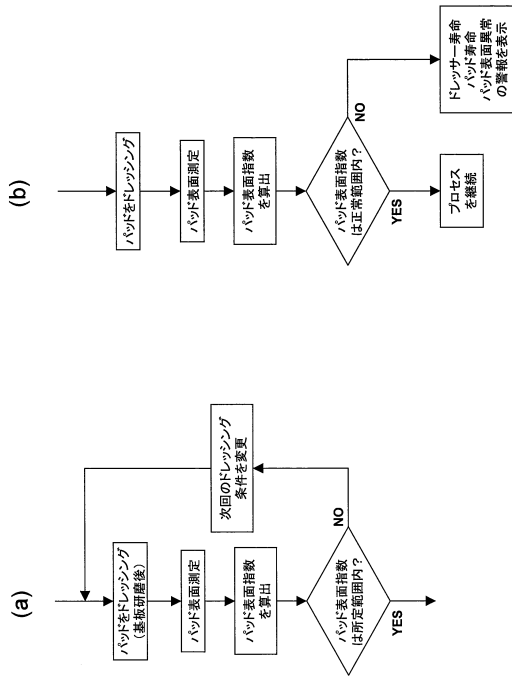
【図10】



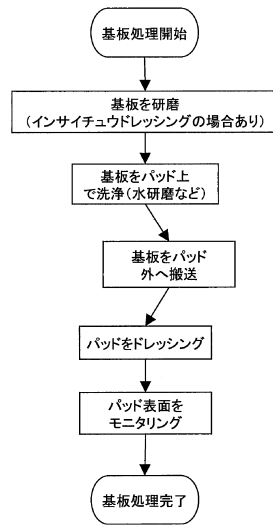
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 1 B 11/30 (2006.01) G 0 1 B 11/30 1 0 2 G

- (72)発明者 木村 景一
 福岡県飯塚市川津 6 8 0 - 4 国立大学法人九州工業大学内
- (72)発明者 鈴木 恵友
 福岡県飯塚市川津 6 8 0 - 4 国立大学法人九州工業大学内
- (72)発明者 カチョーンルンルアン パナート
 福岡県飯塚市川津 6 8 0 - 4 国立大学法人九州工業大学内
- (72)発明者 櫛田 高志
 福岡県飯塚市川津 6 8 0 - 4 国立大学法人九州工業大学内

審査官 亀田 貴志

- (56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 1 3 7 4 8 4 (J P , A)
 特開平 0 9 - 2 8 5 9 5 5 (J P , A)
 特開 2 0 0 8 - 0 0 2 8 9 1 (J P , A)
 特開 2 0 1 0 - 0 2 3 2 1 0 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 1 1 0 4 4 9 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

B 2 4 B 3 7 / 2 0 - 3 7 / 2 6
 B 2 4 B 4 9 / 1 2
 B 2 4 B 4 9 / 1 8
 B 2 4 B 5 3 / 0 1 7
 G 0 1 B 1 1 / 3 0
 H 0 1 L 2 1 / 3 0 4
 DWPI (Thomson Innovation)