

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5100986号
(P5100986)

(45) 発行日 平成24年12月19日 (2012.12.19)

(24) 登録日 平成24年10月5日 (2012.10.5)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/66 (2006.01)

GO 1 N 22/00 (2006.01)

HO 1 L 21/66 M

GO 1 N 22/00 S

GO 1 N 22/00 U

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2005-205109 (P2005-205109)	(73) 特許権者	000001199
(22) 出願日	平成17年7月14日 (2005.7.14)		株式会社神戸製鋼所
(65) 公開番号	特開2007-27288 (P2007-27288A)		兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
(43) 公開日	平成19年2月1日 (2007.2.1)	(74) 代理人	100067828
審査請求日	平成19年9月28日 (2007.9.28)		弁理士 小谷 悦司
審判番号	不服2011-14920 (P2011-14920/J1)	(74) 代理人	100115381
審判請求日	平成23年7月11日 (2011.7.11)		弁理士 小谷 昌崇
		(74) 代理人	100111453
			弁理士 櫻井 智
		(72) 発明者	高松 弘行
			兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号
			株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体キャリア寿命測定用装置、半導体キャリア寿命測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルス光により励起された半導体に照射した電磁波の反射波若しくは透過波である測定波に基づいて、前記半導体における励起キャリアの寿命測定用信号を出力する半導体キャリア寿命測定用装置であって、

前記測定波に基づいて、励起キャリアの寿命の長短による前記測定波の変化量と変化している時間との両方を反映した強度変化を表す信号を生成する電磁波強度変化検出手段と

、
前記電磁波強度変化検出手段の生成信号から、信号レベルが前記半導体における励起キャリアの寿命を表す指標となる積分信号を生成して寿命測定用信号として出力する信号積分手段と、を具備し、

前記電磁波強度変化検出手段は、前記強度変化を表す電流信号を生成し、
前記信号積分手段は、前記電磁波強度変化検出手段の生成信号の電流をコンデンサに蓄積し、該コンデンサにより生じる電圧信号を前記積分信号とするものであること
を特徴とする半導体キャリア寿命測定用装置。

【請求項2】

パルス光により励起された半導体に照射した電磁波の反射波若しくは透過波である測定波に基づいて、前記半導体における励起キャリアの寿命を測定する半導体キャリア寿命測定方法であって、

前記測定波に基づいて、励起キャリアのライフタイムの長短による前記測定波の変化量

と変化している時間との両方を反映した強度変化を表す電流信号を電磁波強度変化検出手段によって生成し、この生成信号の電流をコンデンサに蓄積することによって、信号レベルが前記半導体における励起キャリアの寿命を表す指標となる積分信号を生成し、該積分信号の信号レベルに基づいて前記半導体における励起キャリアの寿命を表す指標の測定を行うこと

を特徴とする半導体キャリア寿命測定方法。

【請求項 3】

前記半導体が複数回の前記パルス光の照射により励起される間における前記積分信号を検出し、該積分信号の信号レベルに基づいて前記半導体における励起キャリアの寿命を表す指標の測定を行うものである請求項 2 に記載の半導体キャリア寿命測定方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パルス光により励起された半導体に照射された電磁波の反射波若しくは透過波である測定波に基づいて、半導体における励起キャリアの寿命測定用信号を出力する半導体キャリア寿命測定用装置及び半導体キャリア寿命測定方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの高集積化に伴い、デバイスに使用される半導体の材料特性の管理が重要となっている。半導体の材料評価の指標として、半導体のキャリア寿命（いわゆるライフタイム）があり、その測定方法として、マイクロ波光伝導減衰法が普及している。これは、半導体にパルス光（以下、励起光という）を照射することによって半導体内に光励起キャリア（以下、励起キャリアという）を生成させ、その後励起キャリアが再結合することによって減少する減少速度をもって半導体材料の欠陥や汚染の評価を行う方法である。励起キャリアの減少速度の測定は、具体的には、前記励起光を照射した部分に測定電磁波としてマイクロ波を照射し、その反射波或いは透過波（以下、測定波という）の強度変化を測定することにより、その測定波の強度変化の時定数から励起キャリアの寿命（励起キャリアが再結合により消失するまでの時間）を測定する。このマイクロ波光伝導減衰法に基づく一般的な半導体キャリアの寿命測定装置の構成は、例えば、特許文献 1 の図 6 に示されており、レーザダイオード 9 から照射される励起光で励起された半導体（被測定物 8）に、ガンダイオード 25 によりマイクロ波を照射し、その反射波（測定波）の強度を検出器 29 で電気信号として検出し、これをアンプ 10 で増幅後、CPU 11 に取り込んで信号処理を行う。この CPU 11 への信号取り込みの際には、一般に、A/D 変換が行われる。

20

30

ここで、キャリア濃度の高い低抵抗の半導体や低抵抗基板を有するエピタキシャルウェハ、或いは非常にライフタイムが短い半導体材料では、光励起による反射マイクロ波の変化が小さいため、その観測波形から感度よく（正確に）ライフタイムを算出するためには、観測波形の信号対ノイズ比（S/N 比）を高める必要がある。このため、従来、反射マイクロ波の S/N 比を高めるために、前記励起光の強度を高めることによって反射マイクロ波の信号強度（変化の大きさ）を高めることや、反射マイクロ波の信号を加算平均化処理することによってノイズ低減を図る等の S/N 比向上対策がとられていた。

40

また、特許文献 2 には、ライフタイム測定において、マイクロ波強度の検出値の変化の最大値により半導体の特性を評価する手法について示されている。

【特許文献 1】特開平 7 - 240450 号公報

【特許文献 2】特開平 6 - 338547 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

ところで、結晶性の悪い半導体や、表面や界面での再結合速度が速い薄膜形態の半導体

50

等では、励起キャリアのライフタイムが短いため、マイクロ波の変化が検出される時間帯が数十 ns 以下とごく短時間となる場合がある。

一方、マイクロ波強度変化の最大値やその変化が最大となる時間を測定する従来のライフタイム測定において、上記のような非常に短い時間帯に生じるマイクロ波の変化をも捉えてライフタイム測定を行うためには、信号処理系において、マイクロ波強度を少なくともその変化の時間帯の 10 分の 1 程度以下の周期で検出できる高い時間分解能（サンプリング周期）を備えるとともに、そのような高周波数帯域を含む広帯域に対応したマイクロ波検出手段や A/D 変換手段が必要となる。

しかしながら、広帯域の信号（ライフタイムが短く変化が速い信号からライフタイムが長く変化速度が遅い信号まで）に対応したマイクロ波検出手段や A/D 変換手段を用いた測定では、周波数帯域の広さ故に必然的にノイズ（熱雑音、増幅器発生ノイズ等）が大きくなり、測定精度が悪化するという問題点があった。例えば、信号の立ち上がりから立ち下がりまでのパルス幅が 10 ns 程度である場合、100 MHz 程度の周波数帯域に対応した信号検出器及びアンプが必要となる。

また、ノイズ低減のためにマイクロ波信号を加算平均化処理する場合、測定時間が長くなり測定効率を悪化させるという問題点があった。

さらに、時間分解能の高い A/D 変換手段を用いる場合、そのような機器は一般に高価であるため装置の高コスト化を招くという問題点もあった。

従って、本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、パルス光により励起された半導体に照射した電磁波の反射波若しくは透過波（測定波）に基づいて半導体のキャリア寿命測定を行う場合に、励起キャリアのライフタイムが短い半導体を測定する際にも、測定時間の増大や高コスト化をもたらすことなく高精度で測定できる半導体キャリア寿命測定用装置及び半導体キャリア寿命測定方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0004】

上記目的を達成するために本発明は、パルス光により励起された半導体に照射した電磁波（マイクロ波はその典型例）の反射波若しくは透過波である測定波に基づいて、その半導体における励起キャリアの寿命測定用信号を出力する半導体キャリア寿命測定用装置に適用されるものであり、前記測定波からその強度変化を表す信号を生成する電磁波強度変化検出手段と、その生成信号から、信号レベルが前記半導体における励起キャリアの寿命を表す指標となる積分信号を生成して寿命測定用信号として出力する信号積分手段とを具備することを特徴とするものである。

パルス光により励起された半導体において、結晶中や表面、界面での再結合が遅い場合には、励起キャリアが多く発生している状態が長く続くため、パルス光照射による前記測定波強度の変化量は大きく、変化している時間が長い。一方、再結合が早い場合には、励起キャリアの発生量は少なく、発生している時間帯も短いため、パルス光照射による前記測定波強度の変化量は小さく、変化している時間も短い。従って、前記測定波の強度変化信号を積分した信号は、前記測定波の変化量と変化している時間との両方が反映された信号となり、その信号レベルは励起キャリアのライフタイムを高感度（高分解能）で表す指標となる。

しかも、前記積分信号においては、前記測定波の強度変化検出の際に生じる一時的なノイズの影響は小さくなるため、高精度で励起キャリアのライフタイムを測定することができる。

さらに、ノイズ低減のための加算平均化処理を行ったり、前記測定波の強度のピーク値（最大値）やその変化が最大となる時間を検出するための高い時間分解能を備えた A/D 変換手段を設ける必要がなく、測定時間の増大や装置の高コスト化をもたらすこともない。

【0005】

より具体的な構成としては、例えば、前記電磁波強度変化検出手段として、前記測定波

10

20

30

40

50

の強度変化を表す電流信号を生成するものを採用し、その生成信号の電流による電荷量の検出信号を前記積分信号として出力する前記積分手段を採用したものが考えられる。

この場合、前記測定波からその強度に応じた電流信号を生成する検波手段と、その検波手段の生成信号にハイパスフィルタ処理を施すことにより前記測定波の強度変化を表す電流信号を生成するハイパスフィルタ手段とを備えた前記電磁波強度変化検出手段とすることが考えられる。

また、前記信号積分手段としては、前記電磁波強度変化検出手段の出力信号の電流をコンデンサに蓄積し、そのコンデンサにより生じる電圧信号を前記積分信号とするものが考えられる。

以上のような構成により、高い時間分解能を備えたA/D変換手段を要しないアナログ系のごくシンプルな装置（回路）構成によって、励起キャリアのライフタイムを高感度かつ高精度で表す前記積分信号、即ち、励起キャリアの寿命測定用信号を生成することができる。

【0006】

また、本発明は、以上示した半導体キャリア寿命測定用装置を用いた半導体キャリア寿命測定方法として捉えたものであってもよい。

即ち、パルス光により励起された半導体に照射した電磁波の反射波若しくは透過波である測定波に基づいて、前記半導体における励起キャリアの寿命を測定する半導体キャリア寿命測定方法であって、前記測定波に基づいて、励起キャリアの寿命の長短による前記測定波の変化量と変化している時間との両方を反映した強度変化を表す電流信号を電磁波強度変化検出手段によって生成し、この生成信号の電流をコンデンサに蓄積することによって積分信号を生成し、その積分信号の信号レベルに基づいて前記半導体における励起キャリアの寿命を表す指標の測定を行うのである。

これにより、前記積分信号（前記励起キャリアの寿命測定用信号）は、前述したように、前記測定波の変化量と変化している時間との両方が反映された信号となり、励起キャリアのライフタイムを高感度かつ高精度で表す指標となるので、これをA/D変換して処理する等により、高感度かつ高精度で半導体における励起キャリアの寿命測定が可能となる。

さらにこの場合、前記半導体が複数回の前記パルス光の照射により励起される間における前記積分信号を検出し、その積分信号の信号レベルに基づいて前記半導体における励起キャリアの寿命測定を行えばなお好適である。

これにより、前記積分信号は、複数回の励起分についてさらに積算されるため、前記測定光の微小な変化についてもより高感度で測定することができる。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、前記測定波の変化量と変化している時間との両方が反映された信号である前記測定波の強度変化信号の積分信号が励起キャリアの寿命測定用信号として生成されるので、測定時間の増大や装置の高コスト化をもたらすことなく高感度かつ高精度で半導体における励起キャリアの寿命を表す指標の測定を行うことが可能となる。

また、前記測定波の強度変化を表す電流信号を生成し、その生成信号の電流による電荷量の検出信号を前記積分信号とする構成を採用すれば、ごくシンプルな構成の測定用装置を具現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

以下添付図面を参照しながら、本発明の実施の形態について説明し、本発明の理解に供する。尚、以下の実施の形態は、本発明を具体化した一例であって、本発明の技術的範囲を限定する性格のものではない。

ここに、図1は本発明の実施形態に係る半導体キャリア寿命測定用装置Xの概略構成図、図2は半導体キャリア寿命測定用装置Xにより出力される測定用信号及び従来の測定装

10

20

30

40

50

置により出力される測定用信号のトレンドグラフの一例、図3は半導体キャリア寿命測定用装置Xにおいて複数回のパルス光照射を行った際に得られる測定用信号のトレンドグラフの模式図である。

【0009】

本発明の実施形態に係る半導体キャリア寿命測定用装置X（以下、キャリア測定用装置Xと略称する）は、シリコンウェハ等の半導体を被検体（被測定試料）とし、パルス光により励起されたその半導体に照射した電磁波の反射波若しくは透過波である測定波から、その半導体における励起キャリアの寿命を高感度かつ高精度で測定可能とする測定用信号を出力することを特徴とするものである。なお、以下には、半導体試料に照射した電磁波の反射波を測定波とする例について示すが、半導体試料に照射した電磁波の透過波を測定波としても同様の作用効果が得られる。

10

まず、図1を用いてキャリア測定用装置Xの構成について説明する。

図1に示すように、キャリア測定用装置Xは、パルスレーザ1、電磁波発振器3、サーキュレータ4、導波管5、E-Hチューナ6、導波管アンテナ7、マイクロ波検出器8、ハイパスフィルタ回路9及び電荷増幅回路10を備えている。

前記導波管アンテナ7は、その先端開口部が試料2に近接配置され、E-Hチューナ6を経由してくるマイクロ波（電磁波）を、シリコンウェハ等の半導体である試料2へ導くとともに、その試料2に反射したマイクロ波を再びE-Hチューナ6に導く導波管である。

前記パルスレーザ1は、試料2に励起用パルス光を照射する光源であり、その出射パルス光は、微小開口（不図示）から導波管アンテナ7内に入り、これを通過して試料2に照射される。このパルスレーザ1は、例えば、波長523nm、パルス幅10ns程度のパルス光を出力するものである。

20

前記電磁波発振器3は、パルス光により励起された試料2に照射する電磁波であるマイクロ波を出力するものである。例えば、周波数10GHzのガンダイオード等を採用することができる。

【0010】

電磁波発振器3から出射されたマイクロ波は、サーキュレータ4により導波管5に伝送され、さらにその導波管5→E-Hチューナ6→導波管アンテナ7と経路して、パルス光により励起された試料2に導かれる。

30

そして、試料2に反射したマイクロ波（以下、測定波という）は、今度は導波管アンテナ7→E-Hチューナ6→導波管5と経路してサーキュレータ4に到達し、さらに、このサーキュレータ4によりマイクロ波検出器8に伝送される。

前記マイクロ波検出器8は、前記測定波を入力し、その測定波の強度に応じた電流信号、即ち、測定波の強度に応じた電流値を示す電気信号を生成して出力する（電流信号に変換する）検波器（検波手段の一例）である。

このマイクロ波検出器8としては、例えば、ショットキーバリアダイオードを用いることができる。ここで、このショットキーバリアダイオードの接点にかかるマイクロ波の電圧をVmとすると、その接点を流れる電流iは、次の（1）式で近似できる。

$$i = a V_m + b V_m^2 \dots (1)$$

40

ここで、a、bは、ショットキーバリアダイオードの特性定数である。また、このショットキーバリアダイオードによる検波信号（電流信号）の電流I（直流電流）は、次の（2）式で近似できる。

$$I = b V_m^2 \dots (2)$$

この検波電流Iは、入力された前記測定波の強度（パワー）にほぼ比例する。

【0011】

前記マイクロ波検出器8から出力される検波信号（電流信号）は、ハイパスフィルタ回路9に入力される。これにより、前記マイクロ波検出器8（検波手段の一例）による検波信号（生成信号）は、コンデンサCに通されることによってその直流成分が除去された後に、その電流信号が、前記電荷増幅回路10に入力される。本実施形態では、ハイパスフ

50

フィルタ回路 9 は C R 回路により構成され、その C と R は、例えば、2 p F 程度と 1 0 M Ω 程度とに設定すること等が考えられる。

この電荷増幅回路 1 0 (チャージアンプ) は、オペアンプ 1 0 a と、その負帰還ラインに設けられるコンデンサ 1 0 b と、そのコンデンサ 1 0 b と並列接続された抵抗素子 1 0 c とを備えた回路である。

前記ハイパスフィルタ回路 9 (電磁波強度変化検出手段の一例) からの電流信号がこの電荷増幅回路 1 0 に入力されることにより、その電流値 I に応じた量の電荷がコンデンサ 1 0 b に蓄積され、このコンデンサ 1 0 b により生じる電圧信号がその出力端に生成される。

ここで、コンデンサ 1 0 b の容量を C f とすると、電荷増幅回路 1 0 の出力電圧 V o は、次の (3) 式により表される。

$$V_o = \int I dt / C_f \quad \dots (3)$$

ここで、電荷増幅回路 1 0 におけるコンデンサ 1 0 b の容量は、測定対象とする試料 2 の種類や励起に用いるパルス光の強度等によるが、例えば 2 p F 程度とすることが考えられる。

このように、電荷増幅回路 1 0 により、前記ハイパスフィルタ回路 9 の生成信号からその積分信号 (電圧 V o) が生成される (信号積分手段の一例)。本キャリア測定用装置 X では、この積分信号が、試料 2 (半導体) における励起キャリアの寿命測定用信号 (以下、測定用信号という) として出力される。この測定用信号 (積分信号) は、前記測定波の変化量と変化している時間との両方が反映された信号となり、その電圧レベルが励起キャリアのライフタイムを高感度かつ高精度で表す指標となる。また、そのような高感度かつ高精度の指標となる測定用信号の出力装置を、ごくシンプルなアナログ系回路を主とした回路構成によって実現できる。

なお、抵抗素子 1 0 c は、パルス光照射が繰り返された場合に、コンデンサ 1 0 b への電荷の蓄積が飽和すること、即ち、積分信号が飽和することを防止する放電用の抵抗素子である。例えば、1 G Ω 程度の抵抗素子を用いる。

【0012】

図 2 は、キャリア測定用装置 X により出力される測定用信号の電圧 V o と従来の測定装置により出力される測定用信号の電圧 V o ' のトレンドグラフの一例である。従来の測定装置における測定用信号は、前記マイクロ波検出器 8 の検出電流をそのまま電圧換算したものである。ここで、図 2 (a) は、試料 2 の励起キャリアの寿命が短く、前記測定波 (マイクロ波) の強度変化が小さい場合の例、図 2 (b) は、同寿命が長く、前記測定波の強度変化が大きい場合の例を表す。

図 2 に示すように、従来の測定装置では、広帯域測定が必要となるために測定信号 (電圧 V o ') の S / N 比が低い。

一方、キャリア測定用装置 X における測定信号 (電圧 V o) は、前記マイクロ波検出器 8 による検出電流の変化の積分信号であるため、広帯域測定が不要となり、従来に比べて S / N 比が極めて高いことがわかる。

さらに、キャリア測定用装置 X における測定信号 (積分信号) のレベル (電圧 V o) は、前記マイクロ波検出器 8 の検出電流の変化の大きさ及びその変化の継続時間の両方が反映されるものであるため、前記測定波強度の変化に対する V o の変化が大きく、励起キャリアのライフタイムを高感度で表す指標となることがわかる。

このようにして得られる測定信号の電圧 V o を、A / D 変換器を通じて計算機等の信号処理装置に取り込んで処理することにより、半導体試料の結晶性を高感度で評価することができる。

この場合に用いる A / D 変換器の時間分解能 (サンプリング周期) は、例えば、幅 1 0 n s 程度のパルス波形に対し、A / D 変換器の時間分解能は 1 0 0 n s 程度で十分である。

【0013】

図 3 は、キャリア測定用装置 X において複数回のパルス光照射を行った際に得られる測

10

20

30

40

50

定用信号（電圧 V_o ）のトレンドグラフを模式的に表した図である。

図3に示す例は、試料2（半導体）が4回（複数回）のパルス光の照射により励起される間における前記測定用信号（積分信号、電圧 V_o ）を検出し、その測定用信号の電圧 V_o を表す。この測定用信号をA/D変換器を通じて計算機等の処理装置に取り込み、その信号レベルに基づいて試料2における励起キャリアの寿命測定を行えば、測定用信号のレベルは、複数回の励起分についてさらに積算されたものとなるため、前記測定光の微小な変化についてもより高感度で測定することができる。

【0014】

以上示したキャリア測定用装置Xは、前記測定波に基づいてその強度変化を表す信号を生成する手段として、前記マイクロ波検出器8及び前記ハイパスフィルタ回路9を用いるものであったが、前記測定波の強度変化を表す信号を生成できるものであれば、他の装置構成であってもかまわない。

10

また、その測定波の強度変化の信号からその積分信号を生成する手段として、前記電荷増幅回路10（チャージアンプ）を用いる例を示したが、同様の積分信号を生成できるものであれば、他の装置構成であってもかまわない。

【産業上の利用可能性】

【0015】

本発明は、半導体キャリア寿命測定用装置に利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0016】

20

【図1】本発明の実施形態に係る半導体キャリア寿命測定用装置Xの概略構成図。

【図2】半導体キャリア寿命測定用装置Xにより出力される測定用信号及び従来の測定装置により出力される測定用信号のトレンドグラフの一例。

【図3】半導体キャリア寿命測定用装置Xにおいて複数回のパルス光照射を行った際に得られる測定用信号のトレンドグラフの模式図。

【符号の説明】

【0017】

X ... 半導体キャリア寿命測定用装置

1 ... パルスレーザ

2 ... 試料（半導体）

3 ... 電磁波発振器

4 ... サーキュレータ

5 ... 導波管

6 ... E - Hチューナ

7 ... 導波管アンテナ

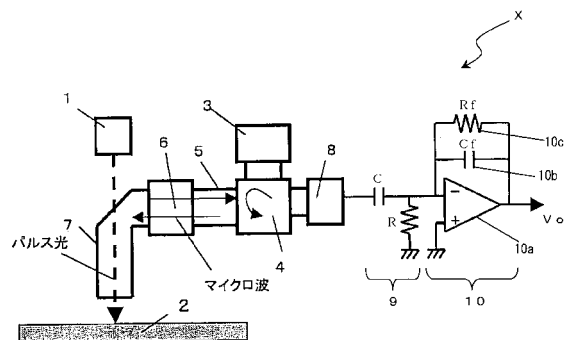
8 ... マイクロ波検出器

9 ... ハイパスフィルタ回路

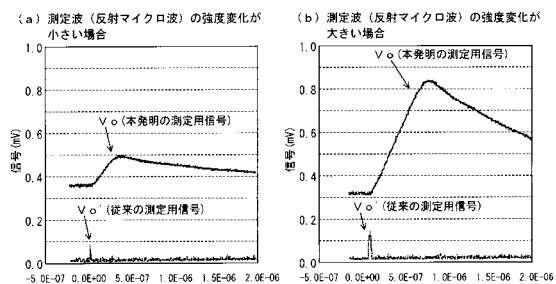
10 ... 電荷増幅回路

30

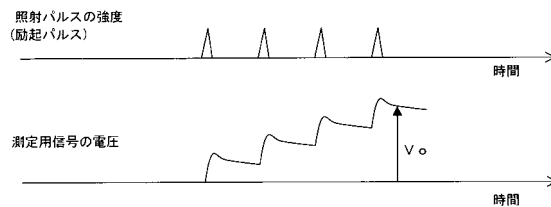
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 高橋 英二
兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5 番 5 号 株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研究所内
- (72)発明者 迫田 尚和
兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5 番 5 号 株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研究所内
- (72)発明者 森本 勉
兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5 番 5 号 株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研究所内

合議体

審判長 鈴木 匡明
審判官 西脇 博志
審判官 早川 朋一

- (56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 3 1 9 6 3 3 (J P , A)
特開昭 6 1 - 2 6 0 1 4 0 (J P , A)
特表 2 0 0 1 - 5 1 6 0 3 3 (J P , A)