



<p>(51) 国際特許分類6 G01B 11/30, G01N 21/88</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO97/35162</p> <p>(43) 国際公開日 1997年9月25日(25.09.97)</p>
--	-----------	--

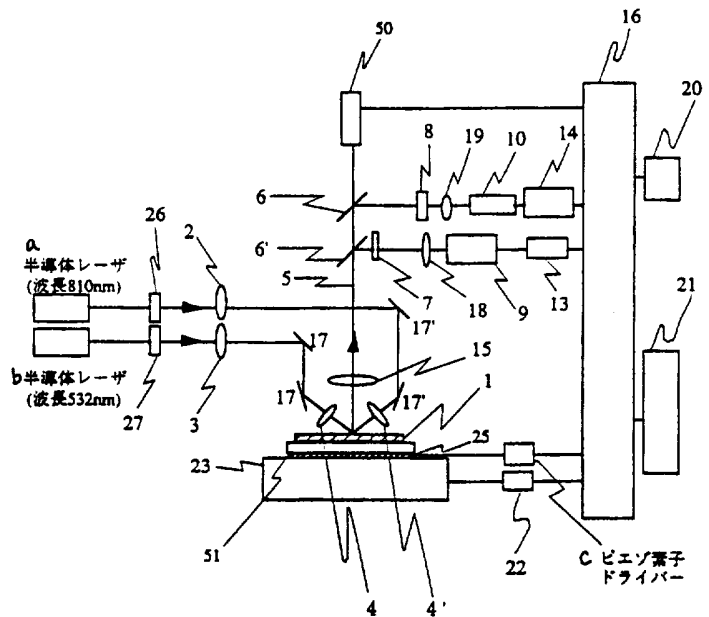
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP96/00681</p> <p>(22) 国際出願日 1996年3月15日(15.03.96)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 日立製作所(HITACHI, LTD.)(JP/JP) 〒101 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 Tokyo, (JP) 日立東京エレクトロニクス株式会社 (HITACHI TOKYO ELECTRONICS CO., LTD.)(JP/JP) 〒198 東京都青梅市藤橋3丁目3番地の2 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および</p> <p>(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ)</p> <p>武田一男(TAKEDA, Kazuo)(JP/JP) 〒189 東京都東村山市廻田町1-1-2-303 Tokyo, (JP)</p> <p>石田英嗣(ISHIDA, Hidetsugu)(JP/JP) 〒187 東京都小平市上水本町1丁目31番9号 Tokyo, (JP)</p> <p>平岩 篤(HIRAIWA, Atsushi)(JP/JP) 〒189 東京都東村山市諏訪町2-21-10 Tokyo, (JP)</p> <p>但馬 武(TAJIMA, Takeshi)(JP/JP) 〒190-01 東京都西多摩郡日の出町平井2196-44 Tokyo, (JP)</p> <p>渡瀬進一郎(WATASE, Shinichiro)(JP/JP) 〒196 東京都昭島市美堀町2-1-6 Tokyo, (JP)</p>	<p>(74) 代理人 弁理士 小川勝男(OGAWA, Katuo) 〒100 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 株式会社 日立製作所内 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 CN, JP, KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, IU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
--	--

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING DEFECT OF CRYSTAL ON CRYSTAL SURFACE

(54) 発明の名称 表面結晶欠陥計測方法およびその装置

(57) Abstract

In a measuring method by which internal defects of a crystal are detected using scattered light, it is made possible to measure the size, depth from the surface and position of each internal defect of the sample with a resolution shorter than the wavelength of the scattered light. The sample is scanned with two light beams which have different wavelengths penetrating the sample to different depths, one being more than three times as large as the other, the intensity of scattered light by an internal defect for either wavelength is measured, the size of the defect is found from the intensity of the scattered light of the longer wavelength, and the depth and position of the defect are found from the ratio of the intensity of the scattered light of the long wavelength to that of the other wavelength. The found depth, position, and size of the defect are displayed in the form of in-plane distribution of a wafer. According to the wide-area surface measurement a camera is moved to the position of a specific defect of the defects detected, the defect is observed by scanning the sample with the two light beams having different wavelengths and the depth, position, and size of the defect are found similarly from the picture data obtained from the scattered light of two wavelengths. By the method of this invention, the sizes, depths, and positions of the defects can be measured by examining the entire surface of the sample and by observing the image of the defect one by one.



a ... semiconductor laser (wavelength: 810 nm)  
b ... semiconductor laser (wavelength: 532 nm)  
c ... piezoelectric element driver

(57) 要約

結晶内の欠陥を散乱光によって検出する計測方法において、試料全表面領域の欠陥の粒径計測と波長以下の分解能での欠陥深さ位置計測とを可能とする。試料に侵入深さが3倍以上異なる二波長光を試料を走査しながら照射し、内部欠陥からの散乱光を波長別に計測し、長波長側の散乱光強度によって欠陥サイズを導出し、その散乱光強度の比から深さ位置を導出し、欠陥のウエハ面内分布で深さ位置と大きさを表示する。さらに、以上の広域計測によって検出した特定の欠陥位置にカメラの観察位置を移動し走査することによって、欠陥の形態観察を二波長で行い、この欠陥の二波長散乱光画像データから深さ位置と欠陥サイズの導出を同様に行う。本発明によれば、欠陥の粒径計測と深さ位置計測を有する試料全面の計測と欠陥の一個単位の像観察による粒径計測と深さ位置計測が可能となる。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出版をパンフレット第一頁にPCT加盟国を固定するために使用されるコード

AL	アルバニア	EE	エストニア	LR	リベリア	RU	ロシア連邦
AM	アルメニア	ES	スペイン	LS	レソト	RS	セルビア
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SE	スウェーデン
AU	オーストラリア	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SG	シンガポール
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	SI	スロベニア
BB	バルバドス	GB	イギリス	MC	モナコ	SK	スロバキア共和国
BE	ベルギー	GE	イギリス	MD	モルドバ	SN	セネガル
BG	ブルガリア	GH	ガーナ	MG	マダガスカル	SZ	スワジランド
BF	ブルキナ・ファソ	GK	ギニア	MK	マケドニア	TD	チャド
BG	ブルガリア	GR	ギリシャ	UA	ウクライナ	TG	トーゴ
BJ	ベナン	HU	ハンガリー	ML	マリ	TJ	タジキスタン
BR	ブラジル	IE	アイルランド	MN	モンゴル	TM	トルクメニスタン
BY	ベラルーシ	IT	イタリア	MR	モーリタニア	TT	トリニダード・トバゴ
CC	カナダ	JP	日本	MW	マラウイ	UA	ウクライナ
CF	中央アフリカ共和国	KE	ケニア	MX	メキシコ	UG	ウガンダ
CG	コンゴ	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NE	ニジェール	US	米国
CH	スイス	KR	韓国	NL	オランダ	UZ	ウズベキスタン共和国
CI	コート・ジボアール	LV	ラトヴィア	NO	ノルウェー	VN	ベトナム
CM	カメルーン	LI	リヒテンシュタイン	NZ	ニュージーランド	YU	ユーゴスラビア
CN	中国	LK	スリランカ	PL	ポーランド		
CO	コロンビア			PT	ポルトガル		
DE	ドイツ			RO	ルーマニア		
DK	デンマーク						

## 明 細 書

## 表面結晶欠陥計測方法およびその装置

## 技術分野

本発明は、半導体ウエハの結晶評価装置に係り、特に、シリコンウエ  
5 ハ中の析出物や積層欠陥などの結晶欠陥の存在密度およびサイズ、結晶  
表面からの深さ位置測定方法およびその装置に関する。

## 背景技術

LSI(大規模集積回路)の集積度が向上するとともに、LSIを構成する  
10 MOS(Metal Oxide Semiconductor)トランジスタの不良に起因した良品取  
得率と信頼性の低下が大きな問題となってきた。MOSトランジスタ  
の不良の原因としては、ゲート酸化膜の絶縁破壊及び接合のリーク電流  
過多が代表的なものである。後者は、特にDRAM(記憶保持動作が必要な  
15 随時書き込み読み出し型記憶装置)においてリフレッシュ不良と呼ばれ  
る情報の喪失現象を引き起こすので問題である。これらMOSトランジス  
タの不良の多くは、直接もしくは間接的にシリコン基板中の結晶欠陥に  
起因している。欠陥がデバイスに与える影響は、欠陥の存在密度および  
サイズ、表面からの深さ位置によって異なるので、これらの量を測定す  
る計測技術が重要である。

20 上記した欠陥計測技術に関しては、次のような公知例がある。シリコ  
ン基板をへき開し、その断面方向(試料の表面法線方向と垂直な方向)  
からSi結晶を透過する赤外線照射し、Si結晶中の微小欠陥からの散乱  
光像をカメラで撮影する方法がある。本方法は赤外線散乱トモグラフィ  
ー法と呼ばれ、例えばジャーナル オブ クリスタル グロース誌 第88

巻(1988年)332ページに詳しい。本計測においては微小領域の欠陥の存在分布を知ることができるが、試料をへき開することが必要であり、破壊計測であり試料準備に時間がかかる。この技術では、ビームを検出方向と垂直な方向から照射し走査するので照射ビーム径によって深さ分解能を得る。その分解能は、照射光波長程度(約 $1\mu\text{m}$ )が限界である。

日本特開平5-264468号公報に記載されている公知技術においては、赤外線を試料に斜入射し、試料内部の欠陥からの散乱像を赤外線カメラで二次元的に観察することにより、散乱像の各部分の深さをその視野における位置と対応させて欠陥の深さ位置を求める方法が述べられている。この場合の深さ分解能は光学的結像性能(焦点深度)で決まり、波長と屈折率の積程度であるので高々 $4\mu\text{m}$ である。

日本特開平6-50902号公報で示された半導体ウエハ表面の欠陥計測の従来方法について、図2を用いて説明する。ウエハ表面に対してレーザー光を照射する。この時、ウエハを回転してウエハ表面からの散乱光をレンズで集光し検出器で検出する。得られた検出信号を、高周波数帯域、中間周波数帯域、および低周波数帯域に分割する周波数帯域分割回路と、分割された各欠陥検出信号をそれぞれデジタル化する複数のA/D変換回路、ならびにデジタル化された各欠陥検出信号を、欠陥データとして各欠陥の検出位置に対するアドレスに記憶する複数のメモリとを設ける。各欠陥データをデータ処理部により処理して、帯域別にプリンタにマップ表示し、各マップ表示の欠陥データにより、欠陥の種類を区別して評価する。上記方法は、時間的にパルス状に発生する散乱光検出信号の周波数帯域をもとに欠陥の形状やサイズなどを区別する方法である。この計測を含め表面異物検査を目的とした計測では、一般に一つの波長の散乱光強度によって表面異物のサイズを評価している。この原理を内部欠陥サイズ評価に適用すると、同一サイズの欠陥であっても欠陥の深さ位

置によって散乱光強度が減衰するので欠陥サイズが評価できないという問題がある。

日本特開平2-61540号公報に記載された発明は、光透過性の平面状の被検査物（薄膜、又は比較的薄い透明板等）に付着した異物の位置や大ききのほかに、その異物が被検査物の上面、下面のいずれに付着しているかを判定する欠陥検査装置に関するものであり、異なる透過率を有する第1の光束と第2の光束を照射し、それぞれの散乱光信号強度の大小関係に基づいて、異物が入射面に付着しているかその反対面に付着しているかを判定する方法である。この計測方法は異物の付着面を判定できるが、内部欠陥の深さ位置を求めることはできない。

また、日本特開平7-294422号公報に記載された発明は、シリコンへの入射光はその波長が異なると内部への侵入長が変わることを利用して、波長の異なるいくつかの光源、または、連続で波長を変えられる光源により斜めから入射し、入射光の侵入長の長いもので検出した結晶欠陥から短いものの場合を差し引けば、その侵入長差の間に存在する結晶欠陥だけを検出する方法を開示している。この場合に対象としている結晶欠陥は、結晶表面～10 $\mu\text{m}$ 程度の深さに存在するものとしている。

しかし、LSIにおけるデバイスはシリコン表面から0.5 $\mu\text{m}$ 以内の領域に形成されることが多い。この領域に欠陥が発生するとデバイス不良の生じる確率が高いが、これより深い領域に欠陥が発生しても、デバイス不良とは無関係なことが多い。したがって、欠陥計測の深さ分解能としては0.5 $\mu\text{m}$ 以下が必要である。また、欠陥のサイズによって、デバイスに対する影響が異なるからサイズ評価が可能でなければならない。しかも、シリコンウエハの品質をチェックできる為に必要な欠陥検出感度は、少なくともシリコンの引き揚げ時に生じる欠陥が検出できる感度である。さらに、ウエハ面内の欠陥分布は均一ではないのが一般的であるので、

ウエハ全面計測であることが必要である。しかも、この全面計測に必要な時間は、少なくとも一日の労働時間以内に終わられる程の短時間でなければならない。また、ウエハ面内分布と同時に欠陥の種類の種類識別の為に、個々の欠陥の形態を観察できることが望ましい。

- 5 以上の条件を満足する結晶欠陥計測方法、およびその装置を提供することを本発明の目的としている。

#### 発明の開示

本発明の構成の実施態様を以下に列記する。

- 10 (1) 試料に吸収される波長の光で侵入深さが異なる波長を発する複数の光源或は複数波長光を同時に発する光源と、それぞれの波長の光を試料に照射する手段と、照射光を試料に対して走査する手段あるいは試料を照射光に対して走査する手段と、その走査位置をモニタする手段と、  
15 試料表面あるいは内部の欠陥から発生した散乱光を照射波長別に分離して集光し波長毎に光検出器で検出し電気信号に変換する検出系と、複数の波長のうち特定の1波長の散乱光強度信号(トリガー信号)にしきい値を設け、該散乱光強度信号がそれより大きい信号が検出されたときのみ他の波長の散乱光強度と欠陥検出位置をデジタル化してメモリに記憶する手段と、上記トリガー信号波長の侵入深さより侵入深さが十分に  
20 長い波長の散乱光強度と光散乱理論(欠陥サイズと散乱光強度を結び付ける理論。例えば M. ボルン、E. ウォルフ著、光学の原理3、東海大学出版、1975年902~971頁およびPeter Chylek著、ジャーナル オプチカル ソサエティー オブ アメリカ 第67巻561頁から563頁に記載されている理論等)を用いて欠陥サイズを導出するデータ処理系と、  
25 上記測定結果を表示する手段とによって構成される欠陥計測装置およびその装置によって実施される欠陥計測方法。

(2) 試料に吸収される波長の光で侵入深さが異なる波長を発する複数の光源或は複数波長光を同時に発する光源と、それぞれの波長の光を試料に照射する手段と、照射光を試料に対して走査する手段あるいは試料を照射光に対して走査する手段と、その走査位置をモニタする手段と、  
5 試料表面あるいは内部の欠陥から発生した散乱光を照射波長別に分離して集光し波長毎に光検出器で検出し電気信号に変換する検出系と、複数の波長のうち特定の1波長の散乱光強度信号(トリガー信号)にしきい値を設け、該散乱光強度信号がそれより大きい信号が検出されたときにのみ他の波長の散乱光強度と欠陥検出位置をデジタル化してメモリに記憶する手段と、上記トリガー信号波長の侵入深さより $n$ 倍侵入深さが長い波長の散乱光強度と上記光散乱理論を用いて欠陥サイズを導出するデータ処理系と、上記測定結果を表示する手段とによって構成される欠陥計測装置およびその装置によって実施される欠陥計測方法。ここで、 $n$   
10 の値は、欠陥サイズ測定精度を少なくとも10%以下とする為には、欠陥サイズと散乱光強度の関係を示すグラフ第4図と、侵入深さの比と散乱光強度信号の深さによる減衰率を示すグラフ第5図より、侵入深さの比が少なくとも3倍以上なければならない。このように、欠陥サイズ測定精度をどのようにとるかによって $n$ の数を決定する。

(3) 試料に吸収される波長の光で侵入深さが異なる波長を発する複数の光源或は複数波長光を同時に発する光源と、それぞれの波長の光を試料に照射する手段と、照射光を試料に対して走査する手段あるいは試料を照射光に対して走査する手段と、その走査位置をモニタする手段と、  
20 試料表面あるいは内部の欠陥から発生した散乱光を照射波長別に分離して集光し波長毎に光検出器で検出し電気信号に変換する検出系と、複数の波長のうち特定の1波長の散乱光強度信号(トリガー信号)にしきい値を設けそれより大きい信号が検出されたときにのみ他の波長の散乱光

強度と欠陥検出位置をデジタル化してメモリに記憶する手段と、複数の照射波長のうちどれか二つの波長の散乱光強度（ $S_1$ 、 $S_2$ ）を用い、後述する数5または数9で示される関係式によって欠陥の深さ位置 $Z$ を導出する手段とによって構成される欠陥計測装置およびその装置により  
5 実施される欠陥計測方法。

（4）上記（2）または（3）の装置またはその装置により実施される欠陥計測方法において、複数の波長の照射光が、侵入深さが少なくとも3倍以上異なる二波長であって、侵入深さが短い方の散乱光強度信号が侵入深さが長い方の散乱光強度信号より時間的に先に検出されるように  
10 照射ビームをずらし、侵入深さが短い方の信号検出をトリガとして二波長両方の散乱光信号を取り込む手段と、その二波長の散乱光強度の比を用いて欠陥の深さ位置を導出する手段と、侵入深さが長い方の散乱光強度を用いて欠陥サイズを導出する手段とをさらに有する欠陥計測装置およびその装置により実施される欠陥計測方法。この方法では、侵入深さが短い方の信号をトリガ信号として欠陥を検出するが、侵入深さが短い方の波長はシリコンの場合短波長側であり、同じ照射パワー密度で比較した場合には短波長のほうが欠陥の散乱断面積が大きいので、検出感度が高いというメリットがある。

（5）上記（4）の装置またはその装置により実施される欠陥計測方法  
20 において、侵入深さが長い方の散乱光強度信号が侵入深さが短い方の散乱光強度信号より時間的に先に検出されるように照射ビームをずらし、侵入深さが長い方の信号検出をトリガとして二波長両方の散乱光信号を取り込む手段と、その後データ処理の段階で侵入深さが短い方の信号強度がある一定の値以上の欠陥に対してのみ、二波長の散乱光強度の比を用いて欠陥の深さ位置を導出する手段と、侵入深さが長い方の散乱光強度を用いて欠陥サイズを導出する手段とを有する欠陥計測装置およびそ  
25

の装置により実施される欠陥計測方法。この方法では、侵入深さが長い方の信号をトリガ信号として欠陥を検出するが、この方法のメリットは一度に深い領域の欠陥も浅い領域の欠陥も検出できるということである。

(6) 試料へ侵入深さが少なくとも $n$ 倍以上異なる波長を含む複数の波長の光を照射する手段と、照射光が試料の任意の場所に照射される様に試料または照射ビームを移動させる手段と、欠陥から発生する散乱光を結像させて得られる欠陥像を波長別に撮影する手段と、欠陥像の散乱光強度分布の各波長におけるピーク値を用いてその欠陥の深さ位置を導出する手段と、複数の照射波長のうち少なくとも侵入深さが $n$ 倍以上異なる二波長で観察される欠陥に対して、侵入深さが長い方の欠陥像の散乱光強度分布ピーク値と上記光散乱理論を用いて欠陥サイズを導出することを特徴とする欠陥計測装置およびその装置により実施される欠陥計測方法。ここで、 $n$ の値は、欠陥サイズ測定精度を少なくとも10%以下とする為には、欠陥サイズと散乱光強度の関係を示すグラフ第4図と侵入深さの比と散乱光強度信号の深さによる減衰率を示すグラフ第5図より、侵入深さの比が少なくとも3倍以上なければならない。このように、欠陥サイズ測定精度をどのようにとるかによって $n$ の数を決定する。

(7) 上記(1)および(5)を組み合わせた欠陥計測方法及び欠陥計測装置。

(8) 試料を上記(1)および(5)の方法で欠陥計測を行った後に、検出した各欠陥の位置データに基づき、特定の観察する欠陥を選定し、この欠陥の位置に照射光が照射される様にして、上記(6)の方法で計測する欠陥計測方法及び欠陥計測装置。

次に、深さ分解能を得るための原理と粒径を求めるための原理を以下に説明する。試料物質の波長 $\lambda$ に対する屈折率を $n$ 、消衰率を $k$ とすれば、入射光の振幅が表面の値の $1/e$ ( $e$ は自然対数の底： $e \approx 2.718$ )にな

る侵入深さ $\Gamma$ は次のように与えられる。

$$\text{【数 1】} \quad \Gamma = \lambda / 2\pi k$$

したがって、空气中より入射角 $\theta$ で物質に入射した照射光強度は表面からの深さ $Z$ のところでは、シリコン中の屈折角が $\arcsin(\sin \theta / n)$ である事を考慮すると、 $\exp((-2Z/\Gamma)\cos(\arcsin(\sin \theta / n)))$ だけ表面より減衰することになる。次に、第3図に示すように空气中より試料表面に光が入射角 $\theta$ で入射し、その照射光が試料内部の欠陥により試料表面方向へ散乱された光をある立体角で検出する場合を考える。その検出立体角についての欠陥の積分散乱断面積を $\sigma$ 、照射光強度を $I$ 、照射光のウエハ表面入射角での透過率を $T_i$ 、欠陥からの散乱光のウエハ内部から大気中への透過率 $T_s$ としたとき、試料表面より深さ $Z$ の位置にある欠陥からの散乱光強度 $S$ は照射光の減衰と散乱光の減衰の両方を考慮して以下の様に表わすことができる。

$$\text{【数 2】} \quad S = T_i T_s I \sigma \exp[-(2Z/\Gamma)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin \theta / n))\})]$$

試料物質の波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_2$ に対する屈折率を各々 $n_1$ 、 $n_2$ 、侵入深さを各々 $\Gamma_1$ 、 $\Gamma_2$ 、照射光強度を各々 $I_1$ 、 $I_2$ 、測定される散乱光強度を各々 $S_1$ 、 $S_2$ 、積分散乱断面積を各々 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、照射光透過率をそれぞれ $T_{i1}$ 、 $T_{i2}$ 、散乱光透過率を各々 $T_{s1}$ 、 $T_{s2}$ とすると以下の式が成り立つ。

$$\text{【数 3】} \quad S_1 = T_{i1} T_{s1} I_1 \sigma_1 \exp[-(2Z/\Gamma_1)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin \theta / n_1))\})]$$

$$\text{【数 4】} \quad S_2 = T_{i2} T_{s2} I_2 \sigma_2 \exp[-(2Z/\Gamma_2)(1 + 1/\{\cos(\arcsin(\sin \theta / n_2))\})]$$

ただし、 $\Gamma_1 > \Gamma_2$ とする。数3と数4より、

$$\text{【数 5】} \quad Z = C_1 \ln[ C_2 (S_1/S_2) (\sigma_2/\sigma_1) ]$$

但し、 $C_1$ と $C_2$ は装置定数と試料の光学定数からなり、以下の式で定義

される。

$$\text{【数6】 } C1 = 1 / [(2 / \Gamma 2) (1 + 1 / \{\cos(\arcsin(\sin \theta / n 2))\}) - (2 / \Gamma 1) (1 + 1 / \{\cos(\arcsin(\sin \theta / n 1))\})]$$

$$\text{【数7】 } C2 = (I2 / I1) \cdot (Ti2 Ts2 / Ti1 Ts1)$$

- 5     C1とC2は装置定数であるので、(S1/S2) (σ2/σ1)が分かればZが求まる。

ここでS1/S2は信号強度の比であり測定量から求まる。これに対して、σ2/σ1を求める方法を以下に説明する。

- σ1およびσ2は、欠陥の粒径よりMie散乱理論（例えば M. ポルン、E. ウォルフ著、光学の原理3、（東海大学出版、1975年）902～971頁）および吸収媒体中に於ける散乱理論（Peter Chylek著、ジャーナル オプティカル ソサエティー オブ アメリカ 第67巻561頁から563頁に記載されている理論）を用いて算出されるので、まず粒径計測の原理について述べる。信号強度S2で検出される侵入深さΓ2以内に存在する欠陥の信号強度S1について考える。Γ1>>Γ2が成り立つ場合、このS1は深さによる減衰因子は1となり減衰は無視できる。なぜなら波長λ2の散乱光を検出することができる欠陥の深さ位置は、Z<Γ2の条件を満足するからである。この関係を以下に定量的に記述する。

- 20     欠陥サイズを例えば10%以内の精度で計測するために、信号強度S1の深さによる減衰はどの程度でなければならないかを考える。実際の計測では欠陥が粒径0.1μm以下の場合が殆どであるため、欠陥による散乱現象は散乱光強度は粒径の6乗に比例し、波長のマイナス4乗に比例するレーリー散乱として取り扱える。第4図は、粒径が波長より十分小さくレーリー散乱領域である場合における相対粒径と相対散乱光強度との関係を示したものである。粒径計測精度が10%以内である為には、散乱光強度計測精度を50%以内とする必要のある事が分かる（図中にこの関

係を矢印で示した)。 $\Gamma 2$ 以内で検出された欠陥の信号 $S 1$ について、深さによる減衰率が50%以下(即ち、減衰因子が0.5以上)であるための条件は第5図で与えられる。この図は数3で $Z = \Gamma 2$ を代入して得られる関係をグラフ化したものである。図中に矢印で示したように、減衰因子が0.5以上であるためには、 $\Gamma 1 / \Gamma 2 > 3$ とすれば良いことがわかる。第6図はシリコンへの侵入深さの波長依存性を、“ハンドブック オブ オプティカル コンスタント オブ ソリッド”(1985年、アカデミックプレス社)エドワード D.パトリック編の547ページ~569ページに掲載されているデータに基づいてグラフ化したものである。この図から分かるように、波長532nmと波長810nmとの組み合わせを用いた場合、侵入深さの比は約10であり上記条件を十分満足している。また、レーリ散乱の場合、 $\sigma 2 / \sigma 1$ は欠陥の粒径に依存しない量になり、次の式で示すように照射波長にのみ依存する量になる。

$$\text{【数8】 } \sigma 2 / \sigma 1 = (\lambda 1 / \lambda 2)^4$$

15 上式を、数5の式に代入することによって、数5が以下の様になる。

$$\text{【数9】 } Z = C 1 \ln (S 1 / S 2) + C 0$$

但し、 $C 0$ は次式で示されるように装置定数となる。

$$\text{【数10】 } C 0 = C 1 \ln [C 2 (\lambda 1 / \lambda 2)^4]$$

20 また、粒径 $d$ も、 $S 1$ が $d$ の6乗に比例するという関係から以下のよう  
に表わせる。

$$\text{【数11】 } \ln (d) = (1 / 6) \ln (S 1) + C 3$$

但し、 $C 3$ は $\lambda 1$ と検出角度と照射強度の関数であり装置定数である。

したがって、深さ計測は数9に基づいて行い、粒径計測は数11に基づいて行う。未処理CZ(Czochralski:引上法)シリコンウエハ中に含まれる酸素析出物であるGrown-in欠陥を測定し、そのうち特定の欠陥を透過型電子顕微鏡でサイズを確認し、その欠陥の信号強度と欠陥サイ

ズとを対応させて装置定数を決定する。一度この対応を行えば、それ以後定期的に表面上のポリスチレン標準粒子の信号強度で相対感度調整を行なえば良い。

#### 5 図面の簡単な説明

第1図は、本発明の第1の実施例の概略構成図であり、第2図は、従来技術の断面概略図であり、第3図は、光散乱による欠陥検出の原理を説明するための図であり、第4図は、相対粒径と相対散乱光強度の関係を示す図であり、第5図は、信号強度S1の深さによる減衰率と $\Gamma 1 / \Gamma 2$ との関係を示す図であり、第6図は、シリコンへの侵入深さの波長依存性を示す図であり、第7図は、CZ型シリコンウエハの表面から深さ0.5 $\mu\text{m}$ までの結晶欠陥の面内分布の実測例であり、第8図は、CZ型シリコンウエハで検出された結晶欠陥の粒径分布を示す図であり、第9図は、エピ膜厚が0.1 $\mu\text{m}$ と0.3 $\mu\text{m}$ のウエハの結晶欠陥の深さ位置分布を示す図であり、第10図は、試料ウエハ表面にほぼ垂直入射の場合の照射及び検出光学系の例であり、第11図は、試料ウエハ表面にほぼ垂直入射の場合の照射及び検出光学系のもう1つの例である。

#### 発明を実施するための最良の形態

20 本発明をより詳細に説述するために、実施の形態の構成図である第1図を用いて説明する。試料はシリコンウエハであり、波長810nmの半導体レーザー光および波長532nmのYAGレーザーの第2次高調光(SHG)を1/2波長板26、27によって半導体ウエハ表面に対する偏光方向をp偏光に調整する。これらをそれぞれレンズ2、3によってビームを平行化し、ミラー17、17'を経てレンズ4、4'にて集光し、シリコンウエハ1  
25 に照射する。この場合、試料の走査に伴って時間的に波長532nmが波

長810nmよりも先に欠陥に照射される様に照射位置を照射ビーム径(約5  
 $\mu\text{m}$ )の数倍程度の距離だけずらして計測する。欠陥の検出は、波長532nm  
の散乱光強度信号(S2)がある設定したしきい値( $S2_{Th}$ )を越えた場合に  
のみ波長532nmと波長810nmの両信号を取り込む様にする。但し、しき  
5 い値( $S2_{Th}$ )は、ウエハ表面から発生する散乱光強度変動が信号として検  
出されないように設定する。

結晶に対する照射ビームの走査は、ウエハスケールの広域走査と数10  
0 $\mu\text{m}$ 角の微小領域の走査の二通りのモードがあり、まず広域走査モード  
で計測を行う。

10 広域走査に伴う散乱光の検出によって、試料ウエハ中に含まれる酸  
素析出物(SiO<sub>2</sub>粒子)や転移等の結晶欠陥が散乱体として検出される。  
欠陥からの散乱光5を対物レンズ15を用いて集光し、波長分離用フィル  
タ6、6'およびフィルタ7、8によって波長810nmと532nmの光を分  
離し、レンズ18、19で各々集光し、光検出器9、10で波長別に検  
15 出する。それぞれの検出信号はそれぞれアンプ13、14によって増幅  
し、A/Dコンバータでデジタル化してコンピュータ16に取り込む。一  
方、コンピュータ16よりドライバ22を用いて回転ステージ23を回  
転方向( $\theta$ 方向)及び半径方向(R方向)に走査しながらウエハ固定治  
具51に取り付けた回転エンコーダ及び並進エンコーダの座標(R,  $\theta$ )  
20 をモニターしながら散乱光計測を行い、欠陥から散乱光が発生した瞬間  
の座標(R,  $\theta$ )を散乱光強度信号とともにコンピュータ16に取り込む。

未処理CZシリコンウエハ中に含まれる酸素析出物であるGrown-in欠陥  
を測定し、そのうち特定の欠陥を透過型電子顕微鏡でサイズを確認し、  
その欠陥の信号強度と欠陥サイズとを対応させて装置定数を決定する。  
25 一度この対応を行えば、それ以後定期的に表面上のポリスチレン標準粒  
子の信号強度で相対感度調整を行なえば良い。第7図は未処理CZシリコ

ンウエハの欠陥計測の結果を、深さ $0.5\mu\text{m}$ までの欠陥の面内分布で示したものである。この欠陥は、Grown-in欠陥とよばれ、酸素析出物であることが分かっている。第8図はこの欠陥の粒径分布であり、横軸が $\ln(d)$ であり、強度分布のピーク位置を $60\text{nm}$ となるように数11の右辺のC3

5 を決定した。ここではCZシリコンウエハ中に含まれる酸素析出物Grown-in欠陥の粒径 $60\text{nm}$ がTEMによって分かっている（宝来ら、雑誌セミコンダクター シリコン（1994年発行）159ページ）、これを参考にした。また、深さ位置の決定における数9の装置定数C1とC0は次の様に決定した。即ち、CZシリコンウエハ上に厚さ $0.3\mu\text{m}$ だけシリ

10 コンをエピタキシャル成長させたウエハにおいて欠陥の分布計測を行い、CZシリコン基板中のGrown-in欠陥の深さ分布が増大する位置を $0.3\mu\text{m}$ とし、最も浅く欠陥が検出される位置を表面として、C1とC0を決定した。エピタキシャル成長の厚さ $0.3\mu\text{m}$ および $0.1\mu\text{m}$ のウエハの計測例が第9図である。この図から、深さ位置計測が可能な範囲は、 $0.5\mu\text{m}$ 以内

15 である事が分かる。以上の様にして各欠陥について大きさと深さ位置を導出し、その結果をディスプレイ20およびプリンタ21に出力する。広域走査の測定中ウエハ表面の高さは、ギャップセンサ（図示せず）を対物レンズ近傍15に設け、 piezo素子25を利用したサーボ機構によって変動を対物レンズ15の焦点深度以内に制御する。

20 次に、広域走査モードの計測によって得られた欠陥分布から、所望の欠陥を選んでその位置に照射ビームが照射されるように照射ビームあるいは試料を移動する。欠陥からの散乱光像をカメラ50で2波長別々に観察し、画像データをコンピュータ16に取り込む。この場合、照射ビーム径は約 $10\mu\text{m}$ であるので、約 $10\mu\text{m}$ ごとに僅かに走査しつつ波長別に画像

25 データを取り込む。波長ごとの散乱光強度から深さ位置と散乱光像による欠陥形状を得る。

上記の照射形態において、試料の走査に伴って時間的に波長810nmが波長532nmより先に欠陥に照射される様に照射位置をビーム径の数倍程度ずらして計測してもよい。この場合は、波長810nmの散乱光強度信号(S1)があるしきい値( $S1_{Th}$ )を越えた場合に波長532nmと波長810nmの両信号を取り込む様にする。さらに、この場合の深さ位置を決定可能な欠陥は波長532nmの侵入深さ以内のものであるので、波長532nmの散乱光強度信号S2の値があるしきい値( $S2_{Th2}$ )より大きな値を有するデータに対してのみ深さ位置導出を行う。

上記の照射形態において、入射光を絞るためにレンズ4としてシリンドリカルレンズを用いて扁平なビーム断面形状で照射し、その扁平な照射領域からの散乱光を検出する光検出器としてアレイ検出器を用い、扁平な照射領域からの散乱光をアレイ素子ごとに並列に欠陥を検出してデータを取り込んでもよい。この場合は、計測時間を短縮することができる。

シリコンウエハ計測用として侵入深さの比が3倍以上異なる照射波長の組み合わせについて第6図を参考に挙げてみると、( $\lambda_1 = 352\text{nm}$ と $\lambda_2 = 380\text{nm}$ より長波長)、(442nmと500nmより長波長)、(488nmと580nmより長波長)、(515nmと620nmより長波長)、(532nmと650nmより長波長)等が考えられる。波長の組み合わせは、計測する深さや測定する結晶の種類によって変える必要がある。本特許内容はシリコンに限定するものではなく、他の材料(GaAsなどの化合物半導体、金属、有機物など)についても適用できる。例えばGaAs結晶の場合は、GaAs結晶にたいする各波長の侵入深さによって波長を決定すればよい。この場合も $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の侵入深さの比は3以上として波長を選択するのが望ましい。他の材料についても同様に波長を決定するのが望ましい。

上記光学系では、照射光の入射角度が75度の斜入射の場合を述べた

が、第10図に散乱光集光までの光学系を示した様にほぼ垂直入射でも良い。この場合は照射光の試料表面からの反射光がほぼ垂直に戻ってくる。この反射光が、微弱な散乱光の計測の障害となるので、この反射光を検出しない様に散乱光集光用レンズに穴をあけてこの穴を通して照射し、反射光はこの穴を通して集光しない様にする。集光後、また穴あきのミラーで散乱光のみ反射させ光路を変えて、波長別に検出すれば良い。また、第11図に示すように散乱光集光用レンズが反射光をさけてもよい。

#### 10 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明によれば、シリコンウエハ中の結晶欠陥計測において、欠陥の粒径計測と深さ位置計測を有するウエハ全面の計測と欠陥の一個単位の像観察による粒径計測と深さ位置計測を可能とした。

15

20

25

## 請 求 の 範 囲

1. 試料に光照射し該試料の結晶欠陥からの散乱光を計測することによって該結晶欠陥検出を行う計測方法において、
  - 5 該試料への侵入深さが異なる複数種類の波長の光を照射し、該試料または照射光を相対的に走査し、欠陥から発生する複数の波長の散乱光強度を波長別に検出し、複数の波長のうち特定の1波長の散乱光強度信号（トリガー信号）が所定値より大きい信号が検出されたときに、前記トリガー信号の波長の侵入深さより侵入深さが長い波長の散乱光強度を用いて欠陥サイズを求めることを特徴とする欠陥計測方法。
  - 10 2. 請求の範囲第1項記載の前記複数種類の波長の光は、必要とされる欠陥サイズ計測精度に基づいて求められた比率に、各波長の侵入深さの比率が満たすように決められることを特徴とする欠陥計測方法。
  3. 前記複数種類の波長のうちのいずれか二つの波長の散乱光強度を用いて前記欠陥の深さ位置を導出することを特徴とする請求の範囲第1項記載の欠陥計測方法。
  - 15 4. 請求の範囲第2項記載の前記複数種類の波長の光が、各照射光の侵入深さが少なくとも3倍以上異なる二波長の光であることを特徴とする欠陥計測方法。
  - 20 5. 前記二つの波長の光を前記試料に照射し、侵入深さが短い方の波長の散乱光強度信号が長い方の散乱光強度信号より時間的に先に検出されるように照射ビーム位置をずらし、侵入深さが短い方の波長の散乱光強度信号をトリガー信号として二波長両方の散乱光信号を取り込み、侵入深さが長い方の散乱光強度を用いて欠陥サイズを導出し、二つの波長の散乱光強度を用いて欠陥の深さ位置を導出することを特徴とする請求の範囲第3項記載の欠陥計測方法。
  - 25

6. 前記二つの波長の光を前記試料に照射し、侵入深さが長い方の波長の散乱光強度信号が短い方の散乱光強度信号より時間的に先に検出されるように照射ビーム位置をずらし、侵入深さが長い方の波長の散乱光強度信号をトリガ信号として二波長両方の散乱光信号を取り込み、侵入深さが短い方の信号強度がある一定の値以上の欠陥に対してのみ、侵入深さが長い方の散乱光強度を用いて欠陥サイズを導出し、二つの波長の散乱光強度を用いて欠陥の深さ位置を導出することを特徴とする請求の範囲第3項記載の欠陥計測方法。

7. 試料に光照射し該試料の結晶欠陥からの散乱光を計測することによって該結晶欠陥検出を行う計測方法において、

該試料への侵入深さが異なる複数種類の波長の光を照射し、各波長の結晶欠陥の散乱光結像を画像データに取り込み、該各波長における欠陥画像の散乱光強度分布のピーク値を用いて、少なくとも二つの波長で観察される欠陥の深さ位置を導出し、侵入深さが長い方の波長の欠陥画像の散乱光強度分布ピーク値を用いて該欠陥のサイズを導出することを特徴とする欠陥計測方法。

8. 請求の範囲第7項記載の前記複数種類の波長の光は、必要とされる欠陥サイズ計測精度に基づいて求められた比率に、各波長の侵入深さの比率が満たすように決められることを特徴とする欠陥計測方法。

9. 請求の範囲第8項記載の前記複数種類の波長の光が、各照射光の侵入深さが少なくとも3倍以上異なる二波長の光であることを特徴とする欠陥計測方法。

10. 試料に光照射し該試料の結晶欠陥からの散乱光を計測することによって該結晶欠陥検出を行う計測方法において、

請求の範囲第1項記載の欠陥計測方法、および請求の範囲第7項記載の欠陥計測方法の両方の計測を行う事の特徴とする欠陥計測方法。

11. 請求の範囲第10項記載の欠陥計測方法において、試料を前記請求の範囲第1項乃至第6項記載の欠陥計測方法により欠陥計測を行った後に、この計測で得られた特定の欠陥に対して前記請求の範囲第7項記載の欠陥計測方法により計測を行うことを特徴とする欠陥計測方法。
- 5 12. 試料に吸収される波長の光で侵入深さが異なる波長を発する複数の光源或は複数波長光を同時に発する光源と、  
それぞれの波長の光を試料に照射する手段と、  
照射光を試料に対して走査する、または試料を照射光に対して走査する手段と、
- 10 前記試料表面あるいは内部の欠陥から発生した散乱光を照射波長別に分離して集光し、波長毎に光検出器で検出して電気信号に変換する検出系と、  
複数の波長のうち特定の1波長の散乱光強度信号（トリガー信号）が所定のしきい値より大きい信号で検出されたときにのみ、前記トリガー信号波長の侵入深さより侵入深さが長い波長の散乱光強度と欠陥検出位置を記憶する手段と、
- 15 前記記憶されたデータを用いて欠陥サイズを導出する手段と、  
前記結果を表示する手段とによって構成される欠陥計測装置。
- 20 13. 請求の範囲第12項記載の前記複数の波長の光は、必要とされる欠陥サイズ計測精度に基づいて求められた比率に、各波長の侵入深さの比率が満たすように決められることを特徴とする欠陥計測装置。
14. 前記複数の波長のうちのいずれか二つの波長の散乱光強度を用いて前記欠陥の深さ位置を導出する手段を加えたことを特徴とする請求の範囲第12項記載の欠陥計測装置。
- 25 15. 請求の範囲第13項記載の前記複数の波長の光が、各照射光の侵入深さが少なくとも3倍以上異なる二波長の光であることを特徴とする

欠陥計測装置。

16. 請求の範囲第12項記載のそれぞれの波長の光を試料に照射する手段が、二つの波長の光を前記試料に照射し、侵入深さが短い方の波長の散乱光強度信号が長い方の散乱光強度信号より時間的に先に検出されるように照射ビーム位置をずらして照射する手段であり、

複数の波長のうち特定の1波長の散乱光強度信号（トリガー信号）が所定のしきい値より大きい信号で検出されたときにのみ、前記トリガー信号波長の侵入深さより侵入深さが長い波長の散乱光強度と欠陥検出位置を記憶する手段が、侵入深さが短い方の波長の散乱光強度信号をトリガー信号として二波長両方の散乱光信号を取り込んで記憶し、

前記二つの波長の散乱光強度を用いて前記欠陥の深さ位置を導出する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第12項記載の欠陥計測装置。

17. 請求の範囲第12項記載のそれぞれの波長の光を試料に照射する手段が、二つの波長の光を前記試料に照射し、侵入深さが長い方の波長の散乱光強度信号が短い方の散乱光強度信号より時間的に先に検出されるように照射ビーム位置をずらして照射する手段であり、

複数の波長のうち特定の1波長の散乱光強度信号（トリガー信号）が所定のしきい値より大きい信号で検出されたときにのみ、前記トリガー信号波長の侵入深さより侵入深さが長い波長の散乱光強度と欠陥検出位置を記憶する手段が、侵入深さが長い方の波長の散乱光強度信号をトリガー信号として二波長両方の散乱光信号を取り込んで記憶し、

前記二つの波長の散乱光強度を用いて前記欠陥の深さ位置を導出する手段を備えたことを特徴とする請求の範囲第12項記載の欠陥計測装置。

18. 試料に吸収される波長の光で侵入深さが異なる波長を発する複数の光源或は複数波長光を同時に発する光源と、

それぞれの波長の光を試料に照射する手段と、

照射光が試料の任意の場所に照射される様に試料または照射ビームを移動させる手段と、

前記試料表面あるいは内部の欠陥から発生した散乱光を結像させて得られる欠陥像を照射波長別に撮影し、画像データに取り込む手段と、

5 各波長における欠陥画像の散乱光強度分布のピーク値を用いて、少なくとも二つの波長で観察される欠陥の深さ位置を導出する手段と、

侵入深さが長い方の波長の欠陥画像の散乱光強度分布ピーク値を用いて該欠陥のサイズを導出する手段と、

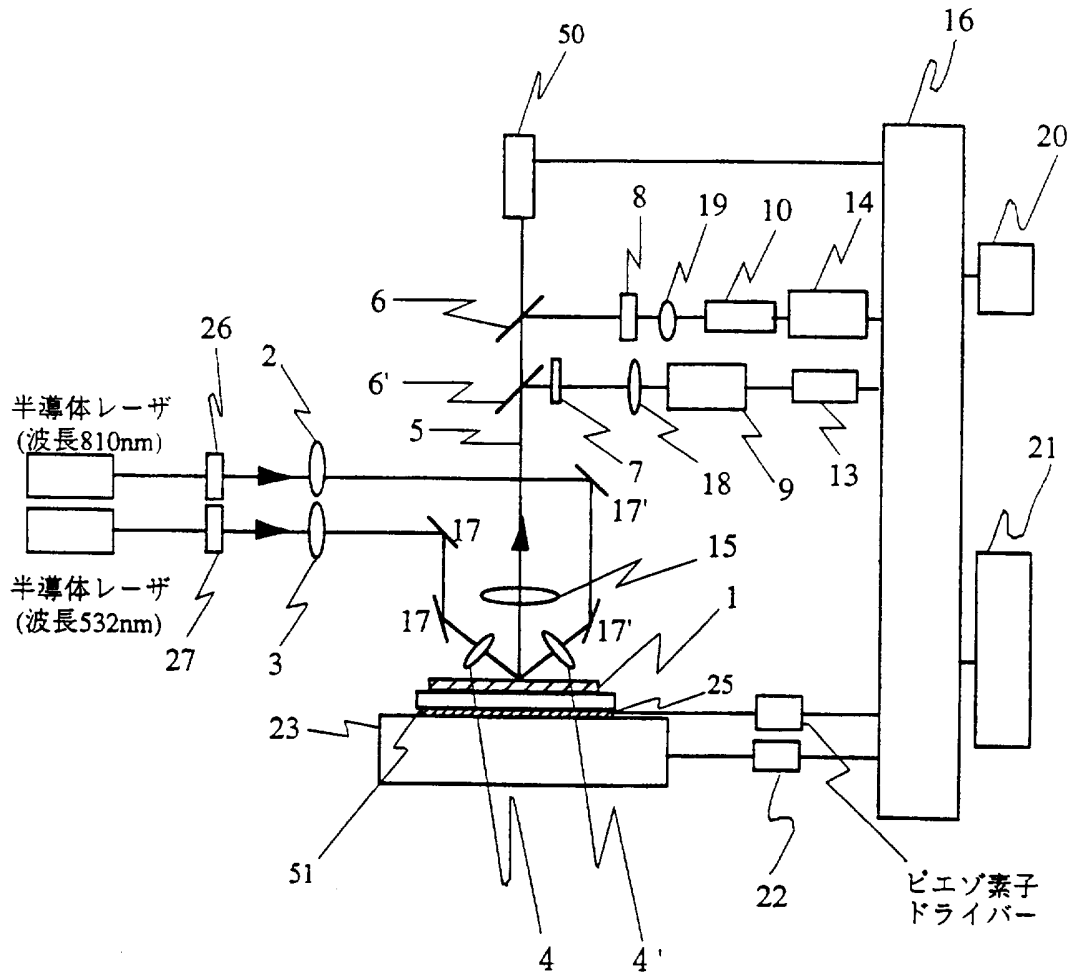
10 前記結果を表示する手段とによって構成されることを特徴とする欠陥計測装置。

19. 請求の範囲第18項記載の前記複数の波長の光は、必要とされる欠陥サイズ計測精度に基づいて求められた比率に、各波長の侵入深さの比率が満たすように決められることを特徴とする欠陥計測装置。

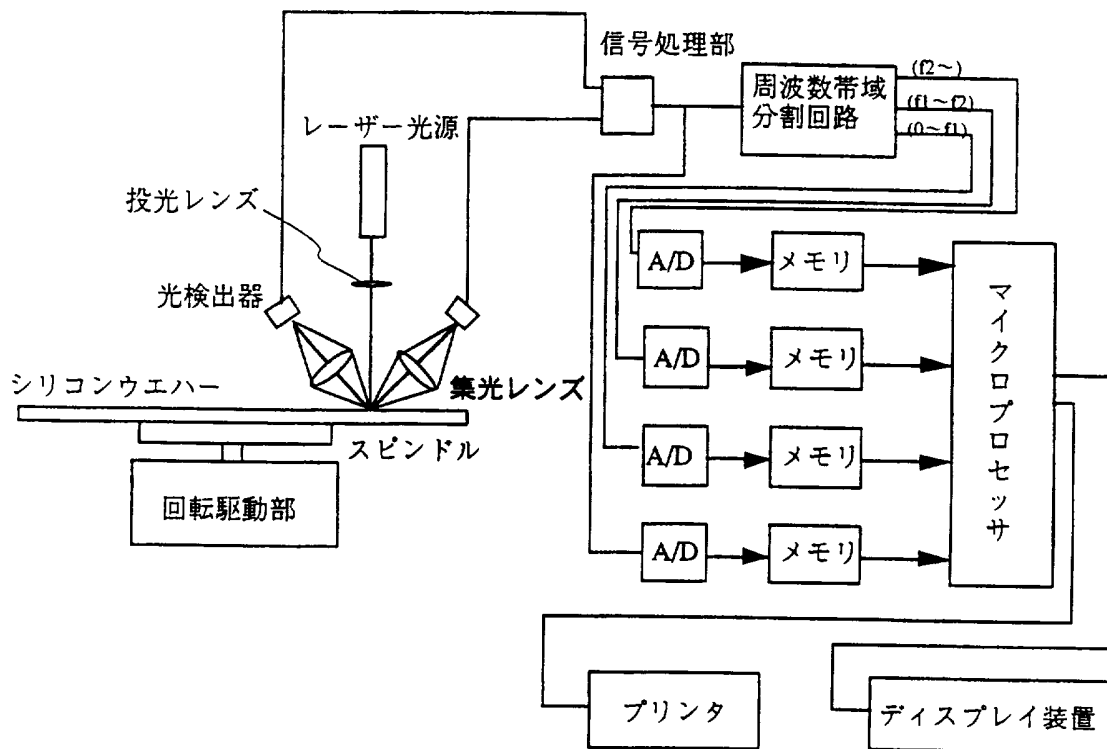
15 20. 請求の範囲第19項記載の前記複数の波長の光が、各照射光の侵入深さが少なくとも3倍以上異なる二波長の光であることを特徴とする欠陥計測装置。

1/11

第1図

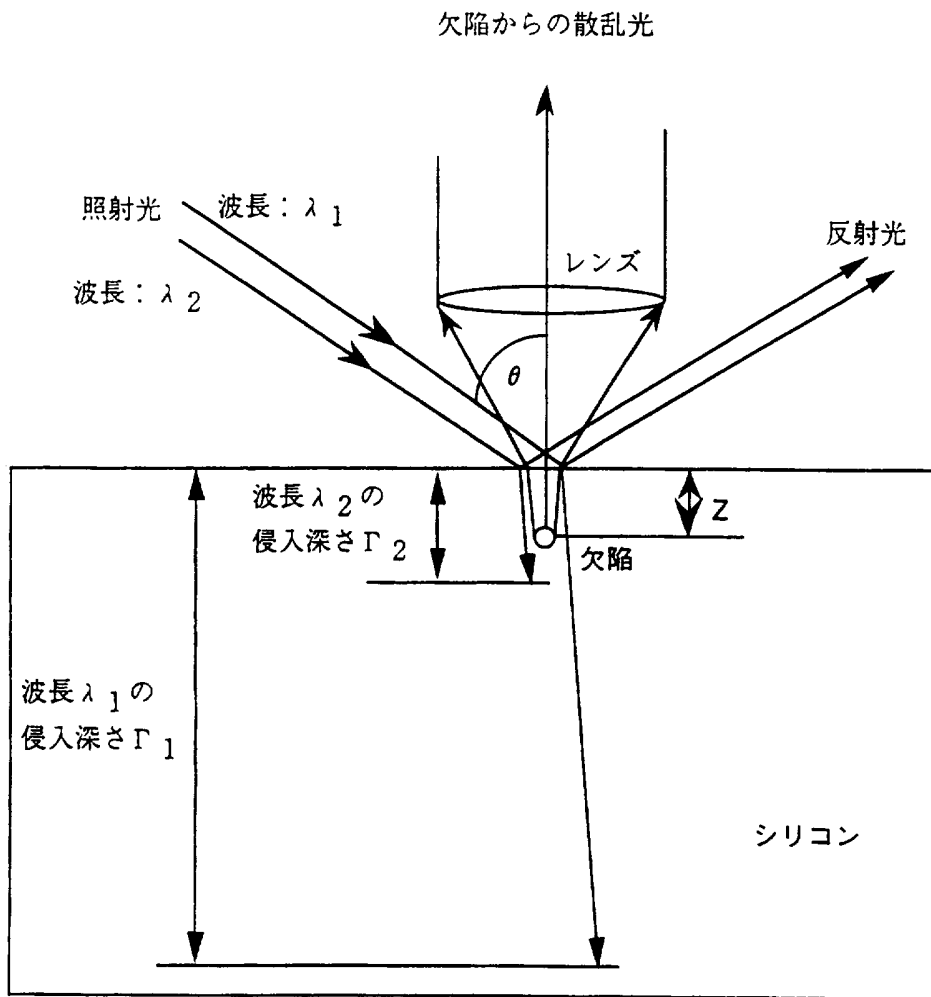


2/11  
第 2 図



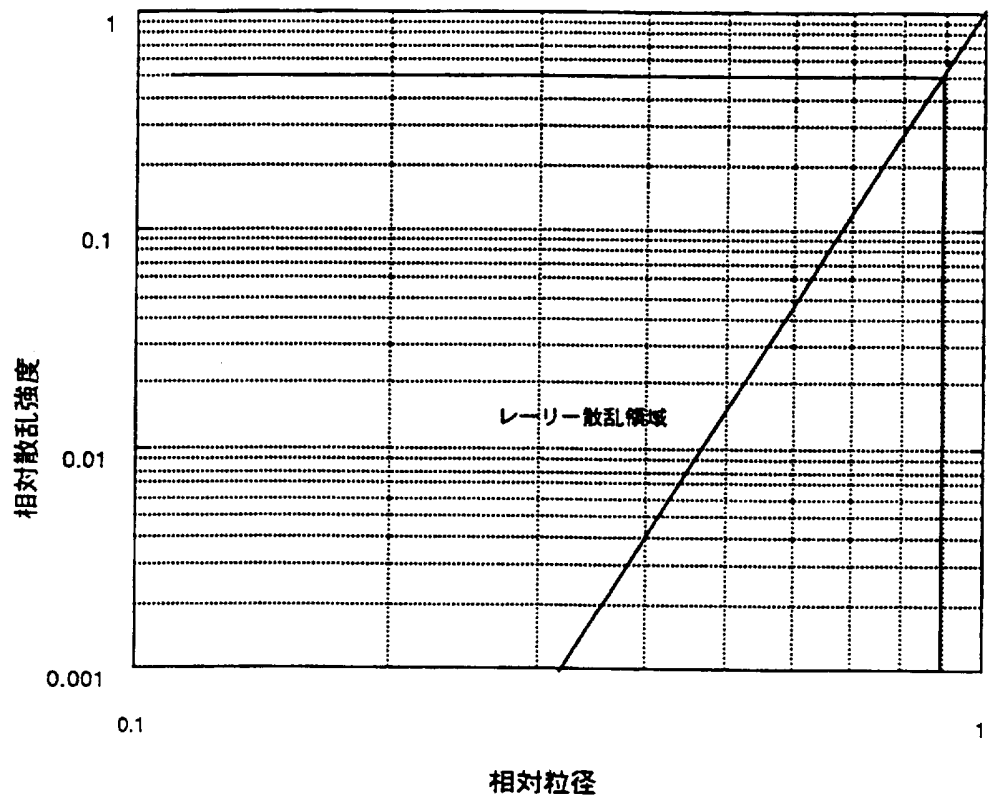
3/11

第3図



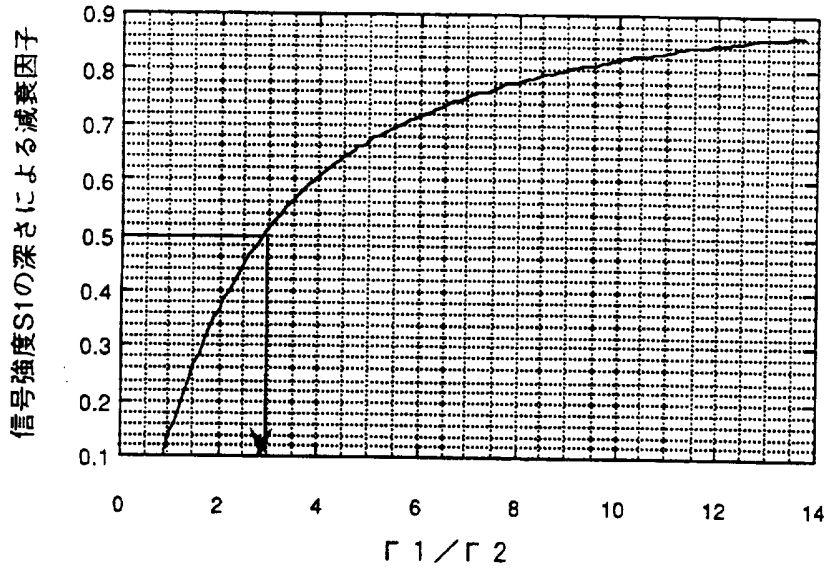
4/11

第4図

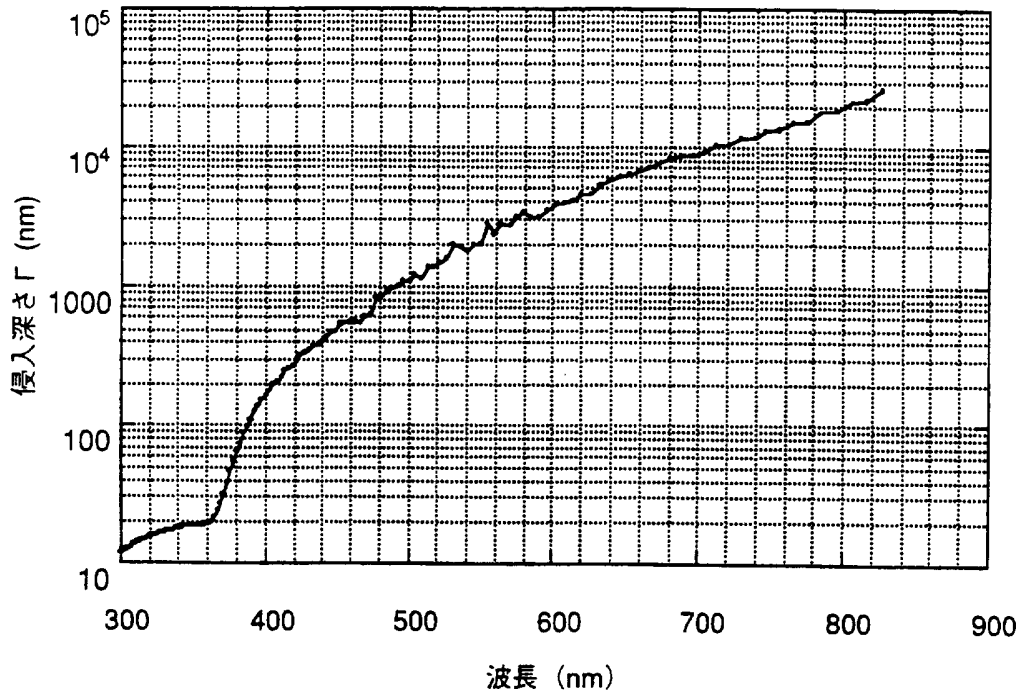


5/11

第5図

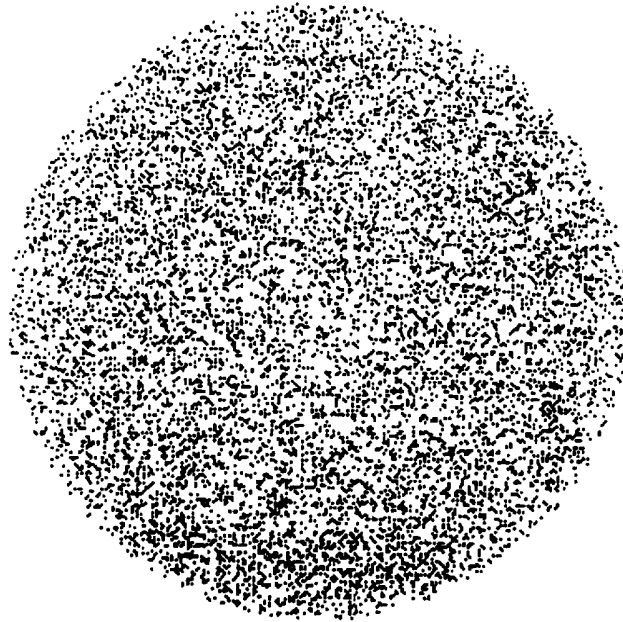


6/11  
第 6 図



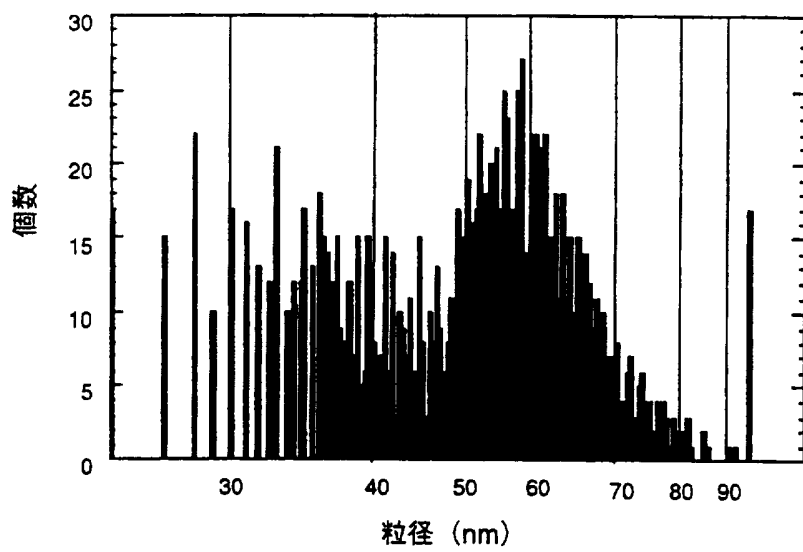
7/11

第7図



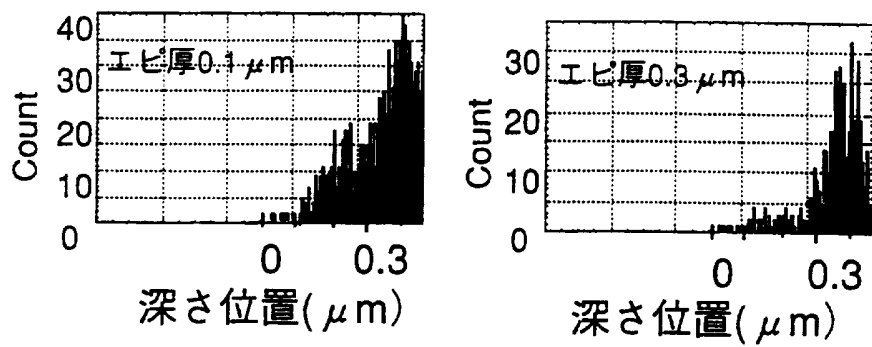
CZシリコンウエハ中の欠陥の面内分布  
1ドットが1個の欠陥を示す。

8/11  
第 8 図

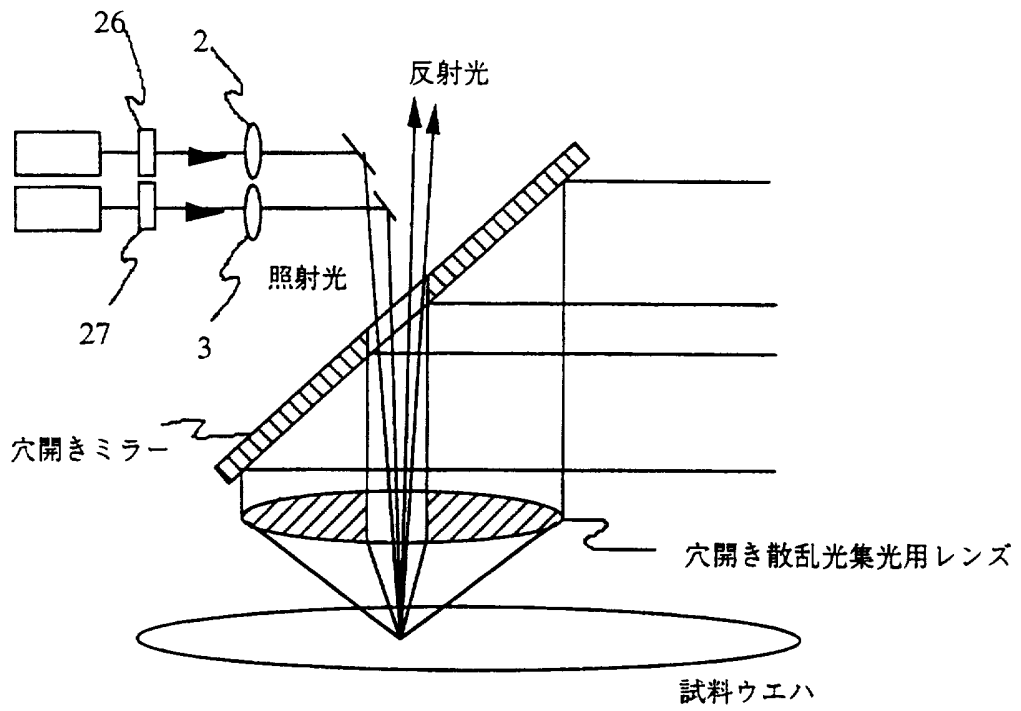


9/11

第9図

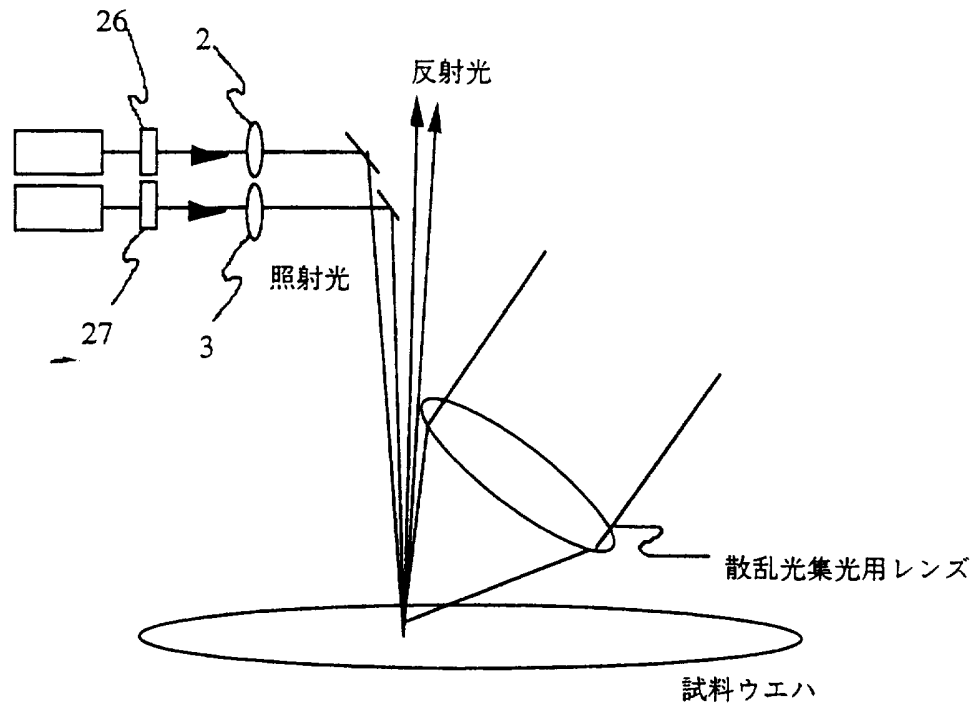


10/11  
第 1 0 図



11/11

第 1 1 図



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP96/00681

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int. Cl <sup>6</sup> G01B11/30, G01N21/88 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int. Cl <sup>6</sup> G01B11/30, G01N21/88 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1996 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1995 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 7-294422, A (Mitsubishi Materials Corp.), November 10, 1995 (10. 11. 95) (Family: none)	1 - 20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search June 18, 1996 (18. 06. 96)		Date of mailing of the international search report June 25, 1996 (25. 06. 96)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.		Authorized officer  Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. Cl<sup>6</sup> G01B11/30、G01N21/88

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. Cl<sup>6</sup> G01B11/30、G01N21/88

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1971-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-1995年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 7-294422, A (三菱マテリアル株式会社), 10.11月. 1995 (10.11.95) (ファミリーなし)	1-20

C欄の続きにも文献が列举されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献	

国際調査を完了した日  
 18.06.96

国際調査報告の発送日  
 25.06.96

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
 濱野 隆 印  
 2 F 9108  
 電話番号 03-3581-1101 内線 3217