



| | |
|--------------|---|
| Title | レーザ光散乱法によるSiウエハ表面上の微粒子および微小欠陥計測に関する研究 |
| Author(s) | 井上, 晴行 |
| Citation | 大阪大学, 2003, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/44379 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名 井 上 晴 行
いの うえ はる ゆき

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 17394 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 15 年 1 月 24 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 2 項該当

学 位 論 文 名 レーザ光散乱法による Si ウエハ表面上の微粒子および微小欠陥計測に関する研究

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 片岡 俊彦

(副査)

教 授 青野 正和

教 授 遠藤 勝義

教 授 広瀬喜久治

教 授 森 勇藏

教 授 森田 瑞穂

教 授 芳井 熊安

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、次世代の Si ウエハ表面性状の検査装置を開発し、それによるウエハ表面上の微粒子および微小欠陥計測を行うことを目的とし、得られた成果をまとめたもので、全 7 章から成る。

第 1 章では、本研究の背景とその意義について述べ、レーザ光を用いた光散乱計測法を提案した。

第 2 章では、光散乱の理論を述べた。Si ウエハ表面上の微小欠陥の大きさを光散乱法で同定するために、散乱体を電気双極子の集まりとし、それから放射される電磁場を散乱光とするものである。この手法をウエハに付着した微粒子や表面の突起、ピット、スクラッチなどに適用し、それらの散乱光強度、光散乱方位依存性、CCD 画面上の光学顕微鏡像を求めた。さらに、空気による光散乱の計算法を示した。

第 3 章では、開発した光散乱表面欠陥検査装置について述べた。極微弱光を定量的に計測できる検出系と、観察領域を均一に照明するための照射光学系を開発した。特に、冷却 CCD カメラが散乱光の検出器として有効であることを示し、散乱光を画像として検出した。さらに、スペックルパターンが計測に影響しない平均化画像処理法と、欠陥からの散乱光が自動検出できるプログラムを開発した。空気による散乱光の計測値と理論値とが、一致していることを示した。

第 4 章では、ポリスチレンラテックス粒子 (PSL) を Si ウエハに散布した標準試料を作製し、計測した。その結果、37 nm の微粒子まで感度良く計測できた。スペックルの散乱光強度をもとに、装置の検出限界は PSL 換算値で直径 30 nm であることを示した。微粒子からの散乱光強度は、散乱理論で示される 6 乗則に従っていた。微小欠陥計測には、P 偏光を用いる方が良いことを示した。

第 5 章では、表面性状の評価として、種々の表面処理された Si ウエハを計測した。微細なスクラッチと考えられる直線状の輝点列を計測した。理論計算をもとにその大きさを、幅および深さが 1.4 nm 程度の溝状欠陥と推定した。また、スクラッチ計測時の SN 向上法を考案した。スペックルの散乱光強度が、ウエハ表面のマイクロラフネスを評価できることを示した。さらに、欠陥の凹凸の識別法について提案した。

第 6 章では、6 インチウエハ全面の計測を行い、微粒子の輝点やスクラッチさらにスペックルパターンが確認でき、微小欠陥の観察が可能であることを示した。その結果、大面積計測装置開発に有用な指針が得られた。

第 7 章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

次世代の半導体デバイスの高集積化・高性能化にともない、付着異物、表面ラフネス、表面欠陥のない Si ウエハが必要で、デバイスの基板となる Si ウエハの良し悪しがデバイスの性能を決めており、高品質で高纯净度の Si ウエハが求められている。しかし、このような Si ウエハを得るための半導体デバイス製造用検査装置は未だ十分に開発されていない。

本論文は、レーザ光散乱法による光散乱表面欠陥検査装置を試作し、Si ウエハ表面に存在する超微小表面欠陥を高感度で計測する手法を開発したものである。さらに、計測結果を解析するために散乱体が電気双極子の集まりとし、それから放射される電磁場を散乱光と見なす近似理論を提唱し、Si ウエハ表面上の超微小欠陥に適用することにより散乱光強度から欠陥の大きさを推定する手法を確立している。このような高感度表面欠陥検出法および理論解析法で得られた成果をまとめたもので、その主な成果は次の通りである。

- (1) Si ウエハ上の付着微粒子や微小欠陥による散乱光は、その大きさの 6 乗に比例しており、一般的なレーリ散乱の様相を示す。しかしながら、空中に置かれた粒子による散乱と異なり、P 偏光による散乱光も観察され、その大きさは S 偏光の場合よりも大きくなることを見出し、計測には P 偏光を用いる方が有利であることを示している。このことは理論計算の結果からも明らかにされている。さらに、溝状欠陥のスクラッチの場合には、散乱光強度はスクラッチサイズの 4 乗に比例していることを理論計算で示している。
- (2) 超微粒子計測において、37 nm の微粒子まで感度良く計測し、試作検査装置の微粒子検出限界はポリスチレンラテックス粒子換算で直径 30 nm であることを定量的に示している。また、微粒子からの散乱光の理論計算と計測値はその絶対値において、計測値の方が理論値よりも 2 桁程度小さくなることを見出し、その原因が近接場光の影響であることを明らかにしている。
- (3) Si ウエハ表面には超微細溝状欠陥であるスクラッチを観察している。スクラッチが観察される角度はレーザの入射方向に対してほぼ直角の範囲内に限定されることを見出し、微小スクラッチからの散乱光はレーザの入射方向に対して極めて顕著な異方性をもっていることを示し、対物レンズの開口部に微小スクラッチと垂直な方向にスリットを挿入することによりスクラッチのコントラストが向上し、より鮮明な像が得られることを実証している。理論計算との比較により、観察した微小スクラッチの大きさは、その幅および深さが 1.4 nm 程度の溝状欠陥と推定している。
- (4) Si ウエハ表面のマイクロラフネスに起因する光散乱は、CCD 画面上でスペックルパターンとして観察され、スペックルパターンの平均強度がマイクロラフネスの大きさに対応することを見出し、理論計算との比較により観測されるマイクロラフネスの周期を 6 nm 程度と推定している。スペックルパターンの平均強度が Si ウエハ表面の評価基準になることを提案し、市販 Si ウエハの評価が可能であることを実験的に確かめている。また、レーザの入射方向を変えることで表面からの散乱光強度に違いを見出し、原因が Si ウエハ表面に存在するマイクロスクラッチの密度とマイクロラフネスの影響であることを指摘している。
- (5) 東北大、大見によって開発された TRTWC 洗浄の Si ウエハ表面からの散乱光強度を計測すると、洗浄直後は散乱光強度が 3～4 倍大きくなるが、時間経過するにつれて徐々に減少してくることを示し、レーザ光を Si ウエハ表面に照射し続けると、その散乱光強度の減少が促進される新たな現象を見出し、示している。
- (6) 理論計算により、突起、ピット、スクラッチの表面欠陥による散乱光は、特徴的な方位依存性を持っていることを示し、この特性を利用した凹凸欠陥の計測法を考案し、Si ウエハ表面上の凸状欠陥の計測を行っている。凸状欠陥の計測結果と理論計算のシミュレーション結果が一致していることから凹凸欠陥の識別が可能であることを確かめている。
- (7) CCD カメラで 6 インチウエハ全領域を計測するためには CCD の画素数と画素の大きさが障害となり、現在開発されている CCD カメラでは高分解能で計測できないことを指摘している。この問題点の解決手法を考案し、高感度フィルムを用いた計測により微小欠陥が検出できることを実証している。

以上のように、本論文は、Si ウエハ表面欠陥の光散乱によるより高感度な表面評価技術確立し、これまで解明が不十分であった光の波長以下の超微小表面欠陥による散乱現象に関する多くの知見を与えており、光工学、半導体工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。