鏡面 Si ウエハー対応真空中ダストモニターの開発*

菅沢 秀行**・奥野 亨**・松井 豊**,***

(受理1993年12月24日, 掲載決定1994年2月5日)

Development of a Dust Monitor in a Vacuum for a
Bare (Mirror-polished) Si Wafer

Hideyuki SUGASAWA, Tohru OKUNO and Yutaka MATSUI

(ULVAC JAPAN, Ltd., Research and Development Div., 2500 Hagisono, Chigasaki, Kanagawa 253 Japan)

(Received December 24, 1993, Accepted February 5, 1994)

1. はじめに

半導体デバイスの高密度化, 高集積化が進み, 製造プロセスにおける微粒子汚染のみならず原子・分子レベルでの汚染の防止も重要な問題となりつつある。そのため, 半導体デバイス用の成膜・プロセス装置は, 基板を大気側に取り出さずにプロセスが続けて行えるように, 複数の真空チェンバーを真空搬送系で接続したものが主流となってきている。このマルチ・チェンバー装置におけるパーティクル汚染のモニターは, 基板を大気側に取り出さずに, 真空中で検査を行うことが望まれる。また, 真空中でウエハー上の検査を行うことにより, 検査時間の短縮やウエハーのハンドリング時の汚染を防止できる利点がある。今回, 真空搬送系から Si ウエハーを受け取って, 付着している微小ダスト粒子を真空中で検出し, 粒径の識別と分布の表示が行える装置を試作した。実際の半導体の生産装置では, 成膜, およびパターン処理されたウエハーの検査も必要とされるが, ここでは, 基本的な技術要素である。プロセス処理される前の鏡面研磨された (ベア) Si ウエハー上の微小ダスト粒子の検出について報告する。

2. 真空中 Si ウエハー上ダストモニターの構成

今回試作した装置は, Si ウエハー上の微小パーティクルの検出方法として, レーザー光ビームを基板上に照射して, 基板上の微小粒子からの散乱光により粒子を検出し, その粒径を判別する原理を用いている。細いビームのレーザー光を用いているため, Si ウエハーを載せているステージが回転しながら直線運動を行うことにより, ウエハー全面をレーザービームで渦巻き状にスキャンする。ウエハーの並進移動と回転運動の制御をコンピュータで行い, しきい値以上の散乱光を拾い出して, その粒径を識別し, そのウエハー上の座標を読み込んで分布図を作成する。

レーザー光を用いた Si ウエハー上の粒子の検出で, 真空中での測定と大気中での測定の主な相違点は, 真空と大気側を仕切る窓材での散乱光・迷光の発生と真空中における微小粒子の飛散の困難さである。レーザー光ビームの大気側から真空中への導入と, 反射光の真空中から大気側への取り出し時には, 窓材表面で反射・散乱される成分があり, これらが真空装置内で散乱し, 光学測定系のバックグラウンド (迷光) となり, 検出しようる最小粒径を大きくしてしまう。また, 真空内での駆動機構の運動は, 微小ダストを発生し易く, 真空中では気体分子との衝突による運動量の減衰が無いために, 一度舞い上がると真空槽内で反跳して, 飛び回ることになる。このため, できるだけ粒子の発生の少ない真空内駆動メ

* 第34回真空に関する連合講演会で講演

** 日本真空技術(株) 技術開発部 (〒253 神奈川県茅ヶ崎市萩園2500)

*** 論文に関する連絡先

Fig. 1 Cross-sectional views of the dust monitor in a vacuum for a bare Si wafer. (a) Side view to the wafer loading direction. (b) Front view to the wafer loading direction.

カニズムの採用や、発生したダスト粒子が検査ウェハーに到達しないような防着機構を装備する必要がある。

試作した装置は、大きく分けてレーザー光源、反射光導出部、散乱光受光部、そしてウェハー駆動メカニズムを納めた排気系付真空容器からなっている。Fig. 1(a), (b)に8インチ径Siウェハー対応真空中ダストモニターの構造を示す。レーザーユニットから出た波長632.8 nm, 直径2 mmのHe-Neレーザー光ビームは、真空容器内の可動ステージ上に置かれたSiウェハーに当たり、その反射光は光導出部を通して容器外に捨てられる。もしSiウェハー上にダスト粒子が存在すれば、レーザービームがダスト上を掃引する時に、レーザー光の散乱が起こる。散乱光の発光・検出は、反射光を避けるために入射・反射面に対して90度の方向(側方)から光電子増倍管(PMT)を用いて検出する。検査されるSiウェハーが載る可動ステージの直線運動は、真空排気されたベローズ内に納められたボール・ネジをステッピング・モーターで駆動して行われる。ウェハーステージの回転は、ガス放出と発塵の非常に少ない真空用Axial Gap (AG) ステッピング・モーター¹⁾で行われ、ステージを取り付けたAGモーターが、ボール・ネジにより直線運動駆動される。ステッピング・モーターの回転と散乱光強度のコンピューター処理によりウェハー上のダスト粒子の分布とその粒径判別を行う。

検査中のウェハーダスト粒子による汚染と、散乱光以

外の迷光成分の除去のために、ウェハーステージは、黒化処理されたカバーに取り囲まれている。さらに、真空搬送系から真空中でウェハーを受け取るために、搬送系との接続用の真空フランジと、ホイストによるウェハー受渡し機構が、取り付けられている。

試作した装置では、ウェハーが一回転する間に、ウェハーステージを、0.25 mm移動させるスキャン方法を用いたために、2 mm径のレーザー光ビームは、ウェハー上の一点を、8回横切ることになる。同一の動径方向に散乱光信号のピークを、続けて3回以上検出した時に、ダスト粒子が存在すると判断し、その最大値と極座標(r, θ)を読み込む。最後に、散乱光の値より粒径を求め、粒径を識別したウェハー上の分布図を作成する。

3. 真空中に置かれたSiウェハー上のダスト粒子の検出

ダスト粒子の検出実験では、まず標準粒径(0.3, 1.0, 3.0 μm)のPolystyrene Latex (PSL) 粒子を付着させた鏡面(ベア)Siウェハー(VLSIスタンダード社製表面異物絶対スタンダード)を、ステージに装着して、検出信号強度の粒径依存性を調べた。このスタンダードウェハーは、粒径の揃ったPSL粒子を含むエアロゾルをSiウェハー上に散布したものである。また、市販のベアSiウェハーの表面マイクロラフネスは、一般に1 nm以下であり、鏡面的な外観を呈している。実験は、

Fig. 2 Frequency distribution of scattered light intensity of $0.3\ \mu\text{m}$ PSL particles detected by the dust monitor in a vacuum. A bar graph represents the number of particles with the light intensity.

Fig. 3 Frequency distribution of scattered light intensity of $3.0\ \mu\text{m}$ PSL particles detected by the dust monitor in a vacuum. Frequency is shown against each scattered light intensity in the form of bar graph.

Si ウェハーが置かれた検査用の真空容器を、油回転真空ポンプを用いて大気圧から $0.1\ \text{Pa}$ 以下の圧力まで排気して行った。 0.3 及び $3.0\ \mu\text{m}$ 粒子付きウェハーから検出した最大散乱光強度の頻度分布を、**Fig. 2, 3**に示す。測定された最大信号強度は、必ずしもレーザービームの中心にダスト粒子が有る場合の値ではなく、レーザービームでウェハー上をスキャンした場合の最大値であるため、分布の幅はダスト粒子のレーザービームの中心からの位置のずれを反映している。**Fig. 2**より、集光系を使用せず、 $0.3\ \mu\text{m}$ 系の粒子が、バックグラウンドより明

Fig. 4 Variation of maximum scattered light intensity against PSL particle diameter, which is measured by the dust monitor in a vacuum and at atmospheric pressure. Error bars are full widths at half maximum (FWHM) of detected scattered light intensity.

瞭に分離され、良好なS/N比が得られたことが分かる。同一条件で測定した場合の、PSL粒子の粒径による散乱光強度（＝散乱光ピーク分布の最大値）の変化を**Fig. 4**に示す。**Fig. 4**には、比較のために大気圧状態での散乱光強度の測定結果も示してある。得られた散乱光強度は粒径に対して単調増加を示しているが、粒径 $0.3\ \mu\text{m}$ から $1\ \mu\text{m}$ への散乱光強度（即ち散乱断面積）の増加の勾配は、 $1\ \mu\text{m}$ から $3\ \mu\text{m}$ への増加の勾配に比べて急である。これは、他の大気中表面異物検査装置の測定結果²⁾やMieの理論を用いた散乱断面積の計算結果³⁾と定性的に一致する。

検査装置内を真空状態にした時の信号強度は、大気圧状態の時より幾分小さい値を示している。この原因として考えられるのは、大気圧状態での測定における空気分子によるレイリー散乱や、PSL粒子を囲む媒質の屈折率の増大による散乱光の減少よりも、大気と真空との仕切り窓における散乱によるダスト粒子からの散乱光信号強度の減少効果の方が大きいということである。なお、仕切り窓には、硼硅酸クラウンガラスを用いている。PSL粒子の検出個数を、メーカー出荷検査値と比較した検出効率(**Fig. 5**)で見ても、真空中測定は大気中測定に比べて感度が低下している。

次に、このシステムによって得られるウェハー上の粒子の分布の正しさを検証するために、表面のビット(穴)をエッチングしたウェハーの測定を行った。この標準ウェハー(VLSIスタンダード社製SCS表面異物スタンダード)には、 0.364 、 1.091 、 2.02 、そして $4.04\ \mu\text{m}$ の4

Fig. 5 Detection efficiencies of 0.3, 1.0 and 3.0 μm PSL particles with the inspection values from the supplier. We speculate that the uncertainty of the supplier inspection value is 10%. Solid-line bars show the measurements in a vacuum, and broken-line bars show the measurements at atmospheric pressure.

種のPSL粒子相当(同等の散乱光強度)のビットが、 3×3 の正方形に2 mm間隔で配列され、全体で 6×6 の穴で一つのパターンとなり、ウェハース面全体に格子縞状に配列されている。このウェハースを測定したマップをFig. 6に示す。このマップでは、 6×6 のビットの並びの分布は正しく得られているが、 $0.364 \mu\text{m}$ 相当の大部分は欠落している。ここで $0.364 \mu\text{m}$ 相当まで検出感度を上げると、ウェハース全面に分布したエッチング痕跡らしい表面の凹凸(マイクロラフネス)からの信号も拾ってしまい、エッチングパターンが見づらくなった。

この装置は、真空中での測定におけるウェハース表面へのパーティクル汚染防止対策に、十分な注意を払って設計・製作されている。評価試験として、清浄なウェハースを用いて連続測定を行い、一回の測定で $0.3 \mu\text{m}$ 以上の粒子の増加が、8インチ径ウェハースに対して、1個以下であることが確認された。

Fig. 6 Mapping image of the pit-patterned wafer by the dust monitor in a vacuum. In a 6×6 points pattern, $4.0 \mu\text{m}$ pits are etched in the upper left quadrant, $2.0 \mu\text{m}$ are in the upper right, $1.1 \mu\text{m}$ are in the lower right and $0.36 \mu\text{m}$ are in the lower left.

4. ま と め

レーザー光ビームを利用して、真空中で、搬送系から8インチ径Siウェハースを受け取って、ダスト粒子の汚染のない状態で、表面上のダスト粒子を検出し、分布をマッピングできる装置を試作した。この装置で、PSL粒子からの散乱光強度の測定を行い、真空中測定では、大気中に比べて検出散乱光強度の低下を観測した。また、ビットパターンをエッチングしたウェハースの測定により、分布図が正しく得られていることを確認した。

【文 献】

- 1) 武松 忠, 浅石 隆, 小池土志夫, 山川洋幸: 真空 34 (1991) 318.
- 2) Ch. M. Baas, H. P. Lengkeek and M. Hendricks: J. Electrochem. Soc. 136 (1989) 3061.
- 3) 三好元介: 「ULSI製造コンタミネーションコントロール技術」p. 207 (奥村・清田・鈴木・水野監修) (1982) (サイエンスフォーラム).