U.D.C. 621.3.049.774′14.002:[620.191:628.511.1:535.361.2.08]

表面検査装置による微粒子検出

Surface Inspection Equipment

八掛保夫* Yasuo Yatsugake
鈴木道夫** Michio Suzuki
伊藤　誠* Makoto Itô

半導体製品の集積度の向上に伴い加工寸法が微細となり，工程数が増えるにつれて，ウェーハ表面に付着する塵埃に起因する不良が急激に増加している。このような状況下では，クリーンルーム内に漂っている浮遊塵埃よりも付着塵埃のほうが歩どまりに直接影響を及ぼす。

本稿では，クリーンルーム内の付着塵埃を測定するものとして，レーザ光の散乱現象を利用して，0.3μmまでの塵埃を自動計測できる表面検査装置について述べる。

また，実際の半導体プロセスで，塵埃の付着量を測定し清浄度の評価を行なった例を示し，その使用効果に関して報告する。

1 緒　言

半導体製造技術の進歩により，ICの集積度は年々増加し，LSIから超LSIを生産するに至っている。一方，製造プロセスの清浄環境も並行して改善され，現在ではクラス10～100の清浄度が実現されている。工程数が増え集積度が増加するにつれて，発塵が直接歩どまりに影響する割合が大きくなり，塵埃の管理がいっそう厳しい状況にある。

塵埃の管理は，一般に，クリーンルーム内の浮遊塵埃をダストモニタで測定することにより行なわれているが，ウェーハ表面に付着する塵埃の管理に関しては，特に行なわれていない。しかし，ICのパターン欠陥などはウェーハ表面に付着する塵埃によるものが多く，歩どまりに及ぼす影響は浮遊塵埃よりも付着塵埃のほうが大きいと言える。すなわち，クリーンルームがいくら清浄であっても，その中で使われている製造装置の内部で発生した塵埃がウェーハに付着するようでは，クリーンルームの意味がない。ここで問題とするのは浮遊塵埃でなく付着塵埃である。

付着塵埃を管理する上で効果的な手法として，鏡面ウェーハ上に付着した異物などを光学的に非接触で測定可能な表面検査装置を用いて，各プロセスでの塵埃の付着量を測定する方法を提案する。

本稿では，この表面検査装置の微粒子検出方法とその検出性能に関して述べ，更に，実際の半導体プロセスでの応用例を示し，その有効性について報告する。

2 背　景

塵埃が原因となって発生するLSIの欠陥は，その塵埃がプロセス中のどの段階でウェーハ上に付着したか，また，その粒子の種類によって複雑に異なってくる。例えば，ウェーハ上に付着した塵埃は，(1)不純物拡散やイオン打ち込み，(2)ホトレジスト露光，(3)エッチング，などの工程で重大な障害となり，歩どまりや信頼性などに大きな影響を及ぼしている。

一方，塵埃は工程によっては，粒子の寸法よりもはるかに大きな欠陥を引き起こすこともある。今後，ICのパターンの最小線幅は1μm以下になろうとしている。そこで問題となる塵埃の大きさは製品の歩どまりや信頼度を考慮すると，最小線幅の$\frac{1}{5}$～$\frac{1}{10}$と言われており，従来対象としてきた塵埃粒子の大きさ0.3～0.5μmから，将来0.1μmの大きさまでを考慮しなければならない[1]。

このように，対象とする塵埃の大きさがサブミクロンの領域になると，従来からの管理方法である光学顕微鏡などを使用した目視検査法は困難になり，また，人が検査を行なうこと自体発塵の原因となってしまい，これを避ける意味で，測定器による自動検査が必須となってきた。

3 検査装置

鏡面ウェーハ上にある異物などにレーザスポットを照射すると，反射光は異物の形状，大きさ，光学的性質に応じて一部は吸収又は透過し，他の一部は散乱する[2]。この散乱光の強度は角度や方向によって変化するが，広い角度で受光すれば受光強度は平均化される。この場合，受光強度と異物の大きさとの間には相関があり，検出信号によってその大きさの概略を知ることができる。

日立電子エンジニアリング株式会社の表面検査装置では，レーザスポットを鏡面ウェーハ上に垂直に照射し，異物からの散乱光を側方から広い角度で受光している。また，光学系の構成は走査方式の差異から，原理上XY形と回転形とに区別している。

XY形は，**図1**(a)に示すように，X軸方向はガルバミラーによってレーザスポットを走査し，これに対してY軸方向は，ガルバミラーの走査に同期してウェーハをステップ送りするものである。このXY形の場合，走査レンズの収差などによってX軸方向の走査幅が制約を受け，そこで，ウェーハ全面を走査するには，同図(b)に示すように分割走査を行なう。ただし，この方法は検査時間が長くかかる欠点がある[3]。

更に，最近ではシリコンウェーハの直径は5 in(125mm)のものが現われ，検査時間を短縮する上でも，これを一走査でカバーすることが必要となった。これを実現するものとして，球面鏡を用いた新しい走査方式が開発されている[4]。

次に，回転形は**図2**(b)に示すように，レーザスポットを固定し，ウェーハを回転しながら中心部から外周に向かって連続走査を行なう。この場合の走査は，同図(b)に示すように渦巻き状となり，無駄がない。この方式では，レーザビームを固定しているためレンズの収差に問題がなく，また，円周上の角度方向に受光器があるため感度の偏差が少ない。

* 日立電子エンジニアリング株式会社　** 日立製作所中央研究所

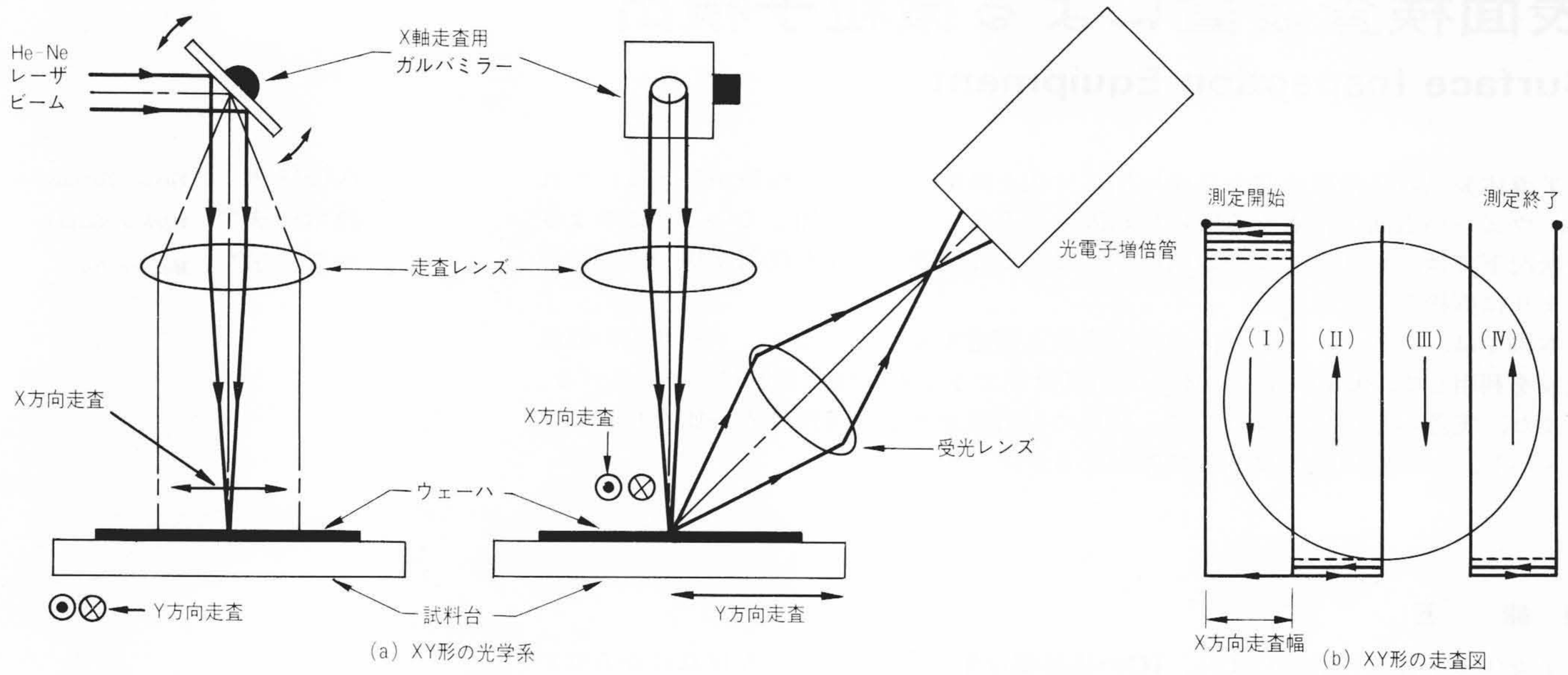

図1 XY形の光学系と走査 (a)受光レンズは，X方向走査に対して直角の方向に取り付けてある。(b)ウェーハをI～IVに分割し，各領域を矢印に従って順次走査する。

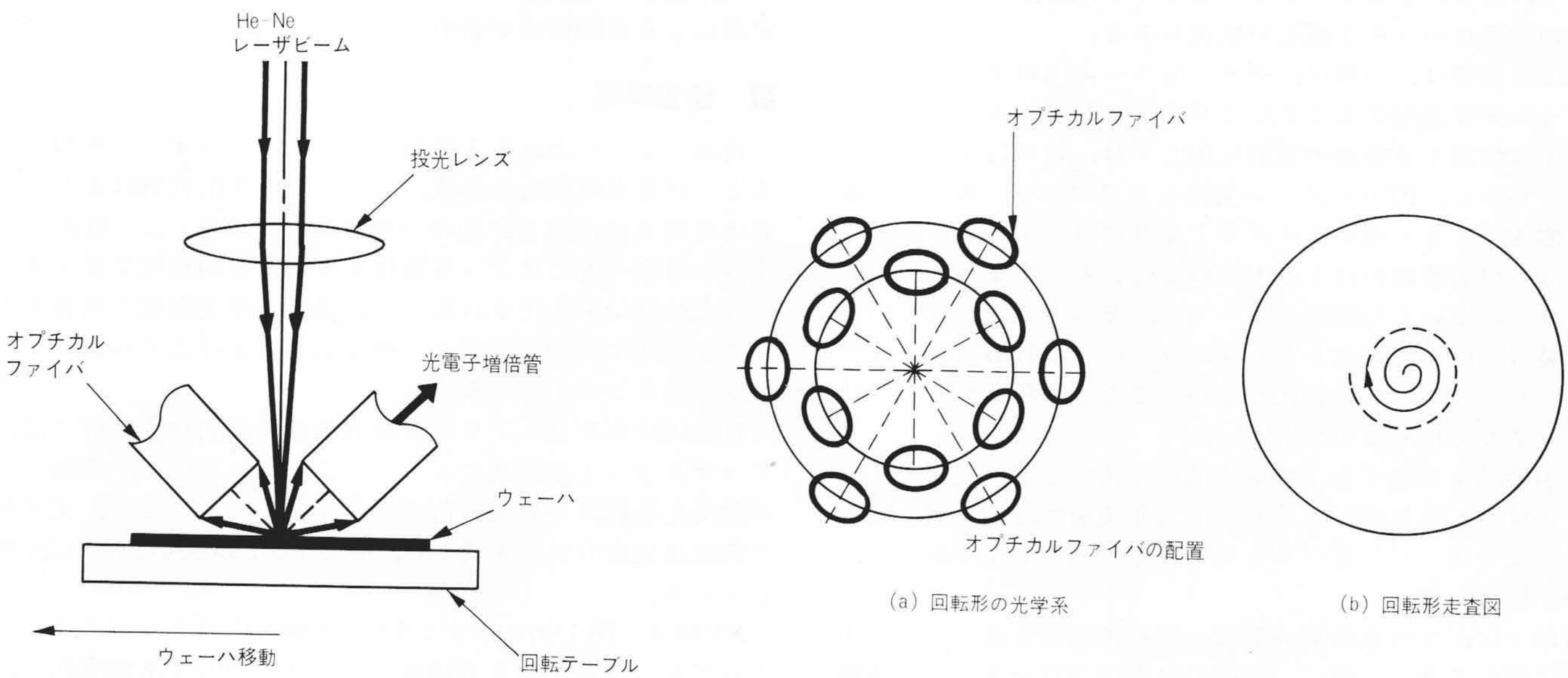

図2 回転形の光学系と走査 (a)12本のオプチカルファイバがスポットを中心に半球面上に配列されている。(b)走査は中心部から渦巻式に外周に向かって連続走査する。

現在，表面検査装置ではこの二つの方式を区別して，XY形を“HLD-200”タイプ，回転形を“HLD-300”タイプと呼んでいる。

表面検査装置では，検出性能又は検出感度を評価する尺度として，ポリスチレンラテックス標準粒子(屈折率1.592，密度1.05)を用いている。**図3**は，鏡面ウェーハ上に各サイズの標準粒子を付着させ，粒径に対する検出信号レベルを測定した結果であり，粒子径の増大に伴う波高値の増加の状態が明瞭に現われている。また，0.6328μmの使用光源の波長近辺で増加の状態が変化する様子は，微粒子計測でみられるミー散乱特性によく似ている[5]。**図4**の標準粒子0.312μmの検出信号で分かるように，サブミクロン領域でも良好な信号が得られている。

次に，データ処理はXY形と回転形では多少異なり，XY形では単位面積を1 mm^{2}の正方形でとり，その中に粒子が1個以上あれば一つの点として出力し，検査結果をマップ表示する。

また，回転形では，半径方向の単位長を一定とし，円周方向の分割数を外周から中心に向かって段階的に変化し，面積が大体一定となるように分割し，XY形と同様にマップ表示するものである。

図5に表面検査装置“HLD-300A”の外観を示す。

4 半導体プロセスへの応用

周知のように，LSIの生産はクリーンルーム内で行なわれている。これは生産過程の途中でLSIが作り込まれる半導体結晶ウェーハ上に塵埃が付着し，製品の歩どまりや信頼度に悪影響を与えないための配慮である。しかし，現実にはウェーハ上に多くの異物が付着している。これは単にクリーンルーム内に漂っている浮遊塵埃がウェーハに衝突して付着する

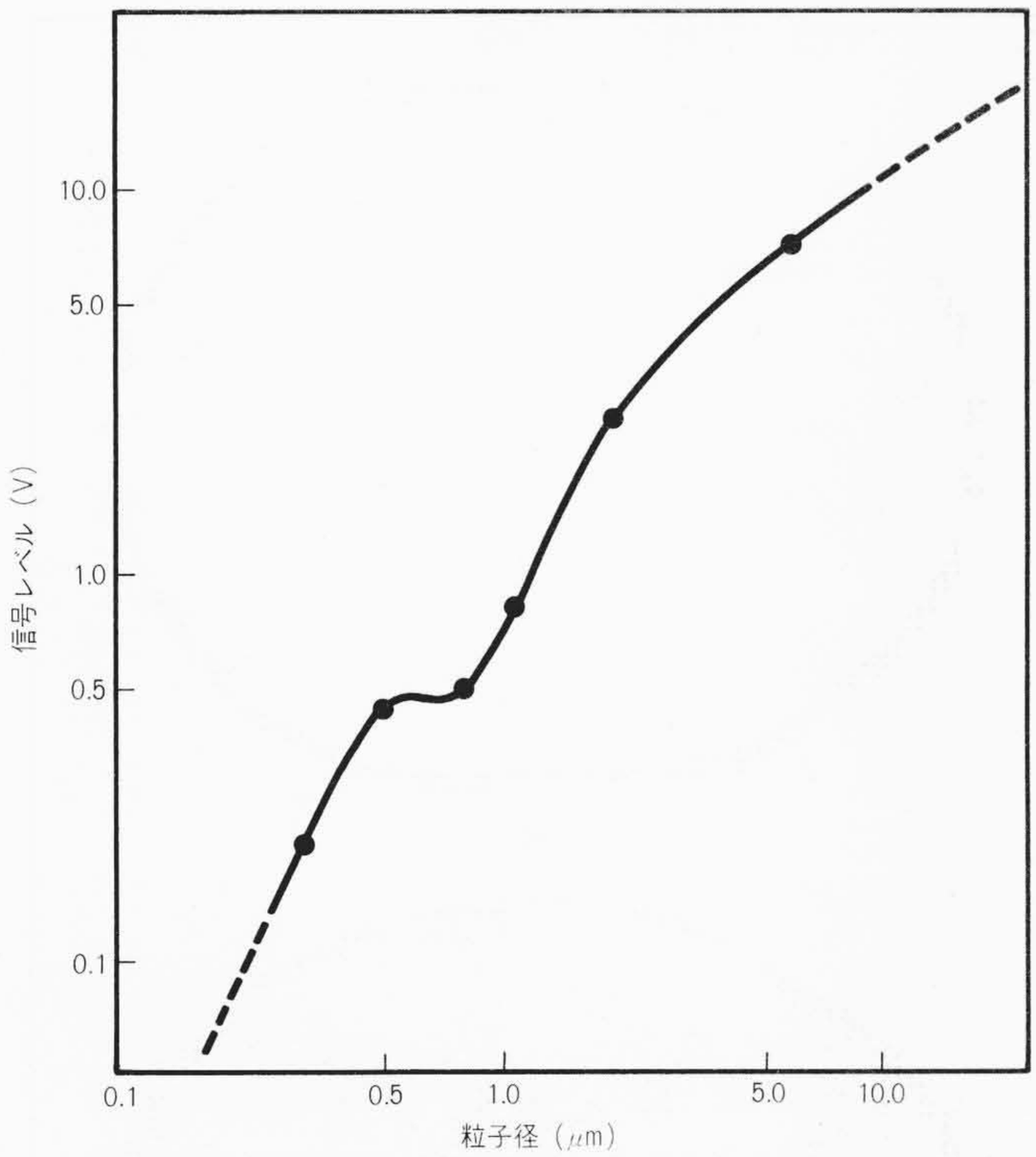

図3　粒子径と信号レベルの関係　Siウェーハ表面上に付着した標準粒子5.7μm，2.02μm，1.091μm，0.804μm，0.481μm，0.312μmに対する信号レベルを示す。実際の塵埃粒子は，屈折率，形状などが不明なため，標準粒子で換算する。

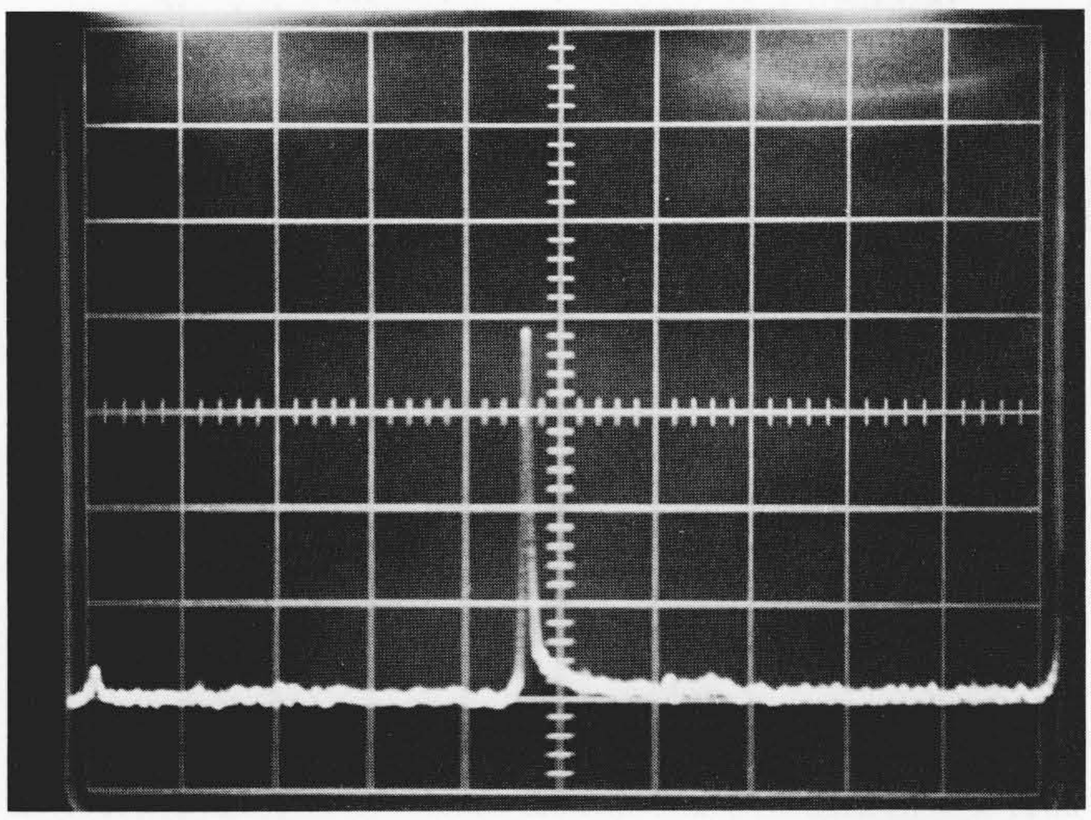

図4　0.312μm標準粒子の信号波形　Siウェーハ表面上に付着した0.312μm標準粒子の検出信号パルス波形を示す。

だけでなく，以下に示すような多くの要因が考えられる。

すなわち，(1)環境，(2)プロセス，(3)材料，(4)製造装置，(5)保管，(6)その他である。

これら各要因ごとの付着異物量の評価に，表面検査装置が有効であることを以下に述べる[6]。

図6は各種清浄度のクリーンルーム中でSi鏡面ウェーハを1時間放置した後の表面状態を測定した結果を示す。この測定条件では約0.5～0.7μm以上の大きさの異物が検出されている。使用するウェーハはあらかじめ洗浄し，異物が存在しない状態であることを確認している。ウェーハ周辺の異物列は異物そのものではなく，ウェーハ周辺の縁取り加工による表

図5　表面検査装置"HLD-300A"の外観　本装置は，クリーンベンチ内で稼動するように構成され，X-Yプロッタ，グラフィックディスプレイなどが付属する。

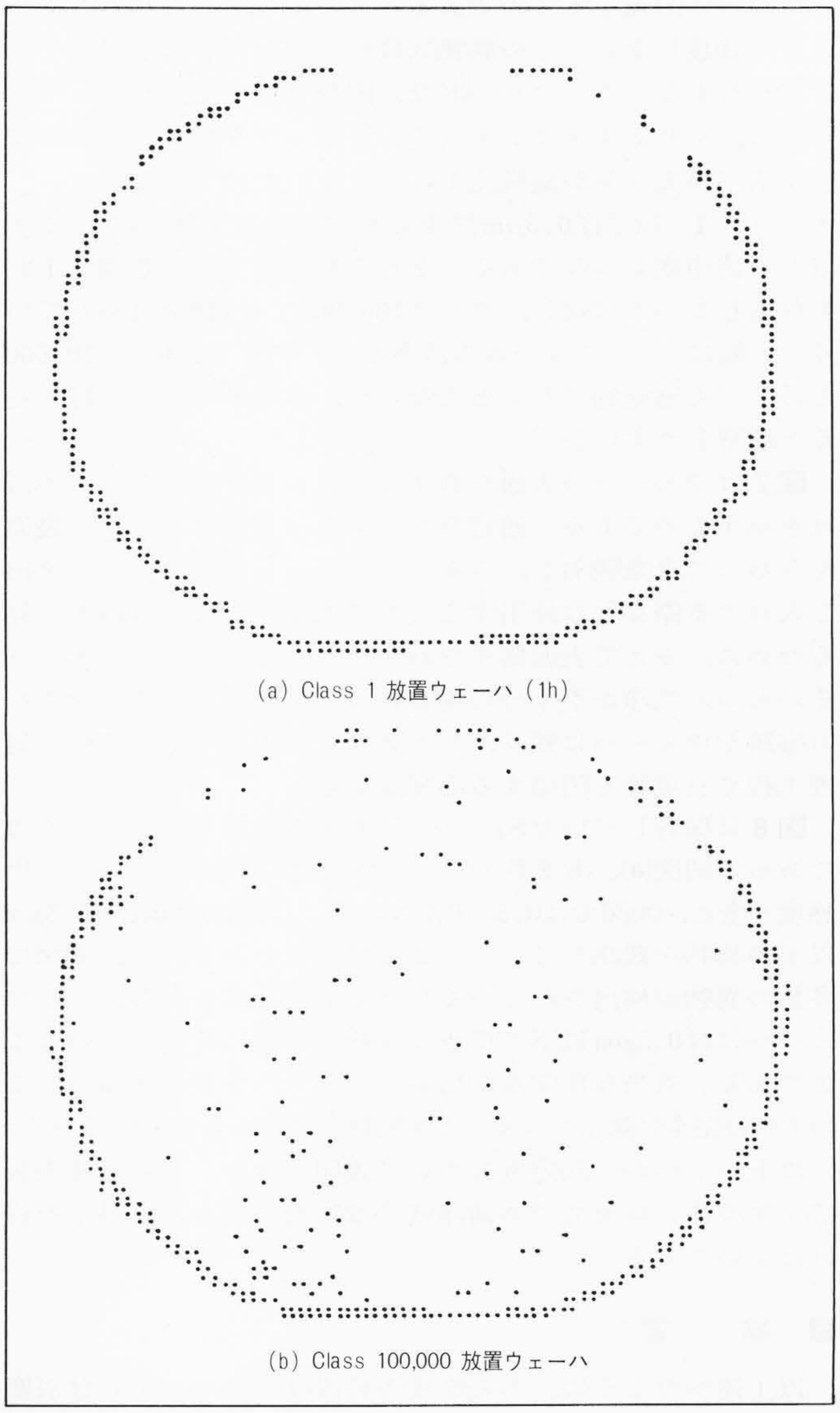

図6　浮遊塵埃と付着異物の対比　クラス1とクラス100,000の環境中にSi鏡面ウェーハを1時間放置後測定した結果を示す。検出異物の大きさは0.5～0.7μm以上である。

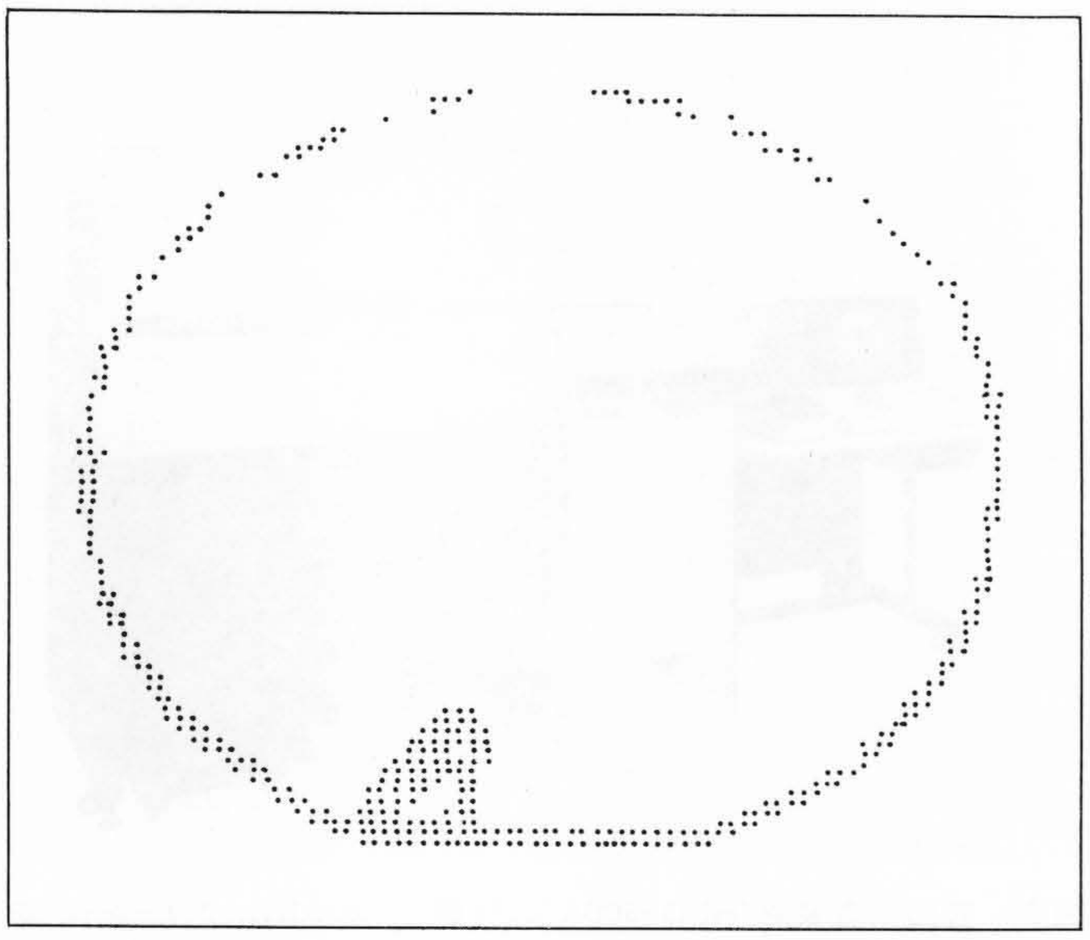

図7 ピンセットの痕跡 Siウェーハを真空ピンセットで触れた後の表面状態ウェーハ下側に，三角形状に異物が分布している部分がピンセットの汚れの痕跡である。

面の傾斜に由来するものである。したがって，これらは異物として計数しない。この異物列はウェーハの形状を呈示できる利点もある。ウェーハの形状が円形でなく扁平になっているのは，シリアルプリンタを使ってマップを描かせたことにより活字の大きさが縦横比1にならないためである。

クラス1（粒子径0.5μm以上の塵埃総数が1 ft^3当たり1個以下の清浄度レベルであることを表わす。）では1時間に1個も付着しないのに対し，クラス100,000では119個付着している。一般にクリーンルームの清浄度を，クラス100とか10,000と言っても感覚的にピンとこないが，本結果のように目で見ると理解しやすい。

図7はウェーハの表面を真空ピンセットで触れたときの汚れを示すものである。通常真空ピンセットはウェーハの裏面をさわって真空吸着し，ウェーハカセットからウェーハを出し入れする際などに使用するものである。ここでは汚れを見るために，あえて表面側をさわったものである。ピンセットそのものの洗浄が不十分の場合には，同図に示すような汚れの痕跡がウェーハに残り，たとえそれが裏面であっても熱処理工程で石英管を汚染する心配がある。

図8は保管していたSiウェーハの表面状態を測定したものである。同図(a)，(b)2枚のウェーハは全く同一のもので，検出感度を変え，(a)図では0.5～0.7μm以上，(b)図では0.2～0.3μm以上の異物を観測している。ここで興味のあるのは，(b)図で多数の異物が検出されていることである。すなわち，このウェーハには0.5μm以下の微小な異物が一面に付着していることである。適当な化学液を用いてウェーハを洗浄すると，この汚れは完全に除去できることも同様な測定から確認している。

以上いくつかの測定例について説明したが，本表面検査装置が半導体プロセスでの清浄度評価に有益であると推察を得れば幸いである。

5 結　言

以上述べたように，本表面検査装置はウェーハ上の付着塵埃をマップに描かせて検出できる。表面検査装置の検出性能はXY形，回転形共に標準粒子によって較正し，0.3μmとしている。これに対して，実際のウェーハでの清浄度評価でも

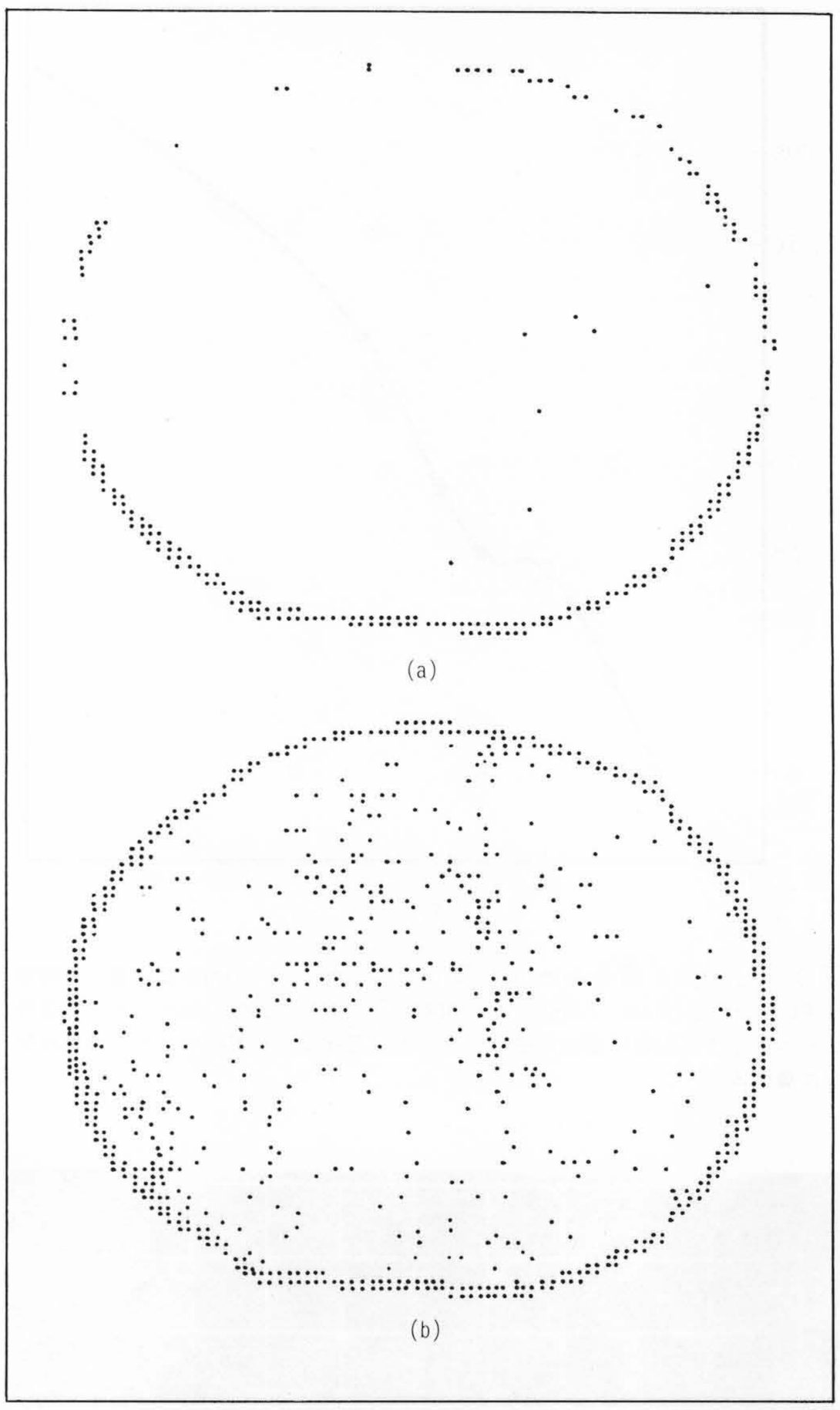

図8 Siウェーハ表面状態の異常例 同一ウェーハを，(a)図は0.5～0.7μm以上の異物を，(b)図は0.2～0.3μm以上の異物を測定したもので，保管時に表面を汚染したと思われる。

0.3μm以下の異物を観測しており，検出性能は半導体プロセスで問題としている塵埃粒子径と対応していると言える。

今後，表面検査装置は半導体プロセスで製品の歩どまり，品質及び信頼性の向上を図る上で，ダストモニタとともに重要な役割を担うことが予想される。

参考文献

1) 鈴木：最近の超LSI技術，製造設備・環境，昭和55年電気四学会連合大会
2) 須田，外：半導体プロセスにおける欠陥・微粒子のレーザによる検出，電子材料，16，9，103～109(1977)
3) 岩谷，外：レーザ面板自動検査装置，電子材料，18，9，34～35(1979)
4) 高橋，外：球面鏡による光ビーム走査方式におけるビームスポットの偏差特性，光学，11，462(1982)
5) K. Suda, et al.：Portable Optical Particle(0.06μm) Counter, Rev. Sci. Instrum 50，7，831(1979)
6) 鈴木，外：付着量測定による浮遊塵埃推定法，第2回空気清浄大会(1983，3)