

# 薄膜プロセスの歩留りを支えるセンシング技術

## Sensing Technologies Supporting High Yields for LSI and LCD Processes

林 正和  
M. Hayashi

津村 明  
A. Tsumura

石田 文彦  
F. Ishida

半導体や液晶ディスプレイなどの薄膜プロセスにおいては、微細化、大面積化が急速に進んでいる。このような状況下では、抜取検査による QC (Quality Control) 手法で高い歩留りを維持することは難しくなりつつある。そこで、この手法を進歩させたインプロセス QC とそのためのインプロセスセンシング技術が重要となってきている。

ここでは、このインプロセスセンシング技術の開発事例として、メモリ用トレンチにおけるエッチング加工中の深さ測定装置と、液晶ディスプレイ用基板の付着ダスト検査装置を紹介する。

With the rapid progress of technologies for the manufacturing of fine LSIs and large LCDs, it is difficult to maintain high yields using only standard quality control (QC) methods. The need has therefore arisen for the development of in-process sensing technology and in-process QC.

This paper describes technologies for in-situ monitoring of the trench depth of DRAMs, and for in-process monitoring of surface particles on LCD glass plates.

### 1 まえがき

半導体や液晶ディスプレイなどの薄膜プロセスでは、微細化や大面積化が急速に進むと同時に、高い歩留りに対する要求がますます強くなっている。このためには、従来の抜取検査による QC から一歩踏み込んで、加工装置やプロセス工程のなかで、製品状態を管理できるインプロセス QC の進展が望まれている。

一方、薄膜プロセスには一般的に三大管理項目があるといわれている。第一はパターン幅に代表される面内の寸法精度である。また、第二は面に垂直な方向の寸法精度である。代表例は膜厚やエッチング深さがこれにあたる。さらに、最後はパーティクルである。これには加工に使用するプラズマ中の反応生成物、大気中の浮遊ダスト、基板に付着したダストなどが相当する。

そこで、ここでは半導体分野からはエッチング深さのセンシング技術の開発事例を、また液晶ディスプレイの分野からは基板の付着ダストのセンシング技術の開発事例をインプロセス QC の観点から紹介する。

### 2 トレンチエッチングモニタ<sup>(1)</sup>

#### 2.1 トレンチとその加工

当社の 4M ビット DRAM などの高集積メモリではトレンチ方式のキャパシタセルを用いている。トレンチキャパシタ

セルの容量は深さに依存するため、デバイスの高品質化のためにはセル深さの高精度な管理が必要である。

また、トレンチの加工は反応性イオンエッチングによるが、この加工は図 1 のようにシリコンに微細穴を垂直に深く削るため、エッチング時間による深さ管理が難しい。さらに、単一材料だけのエッチングであることから、一般的な発光分光による終点検出も行えない。そこで、エッチング処理中にトレンチ深さを実時間でモニタリングできる装置を開発した。

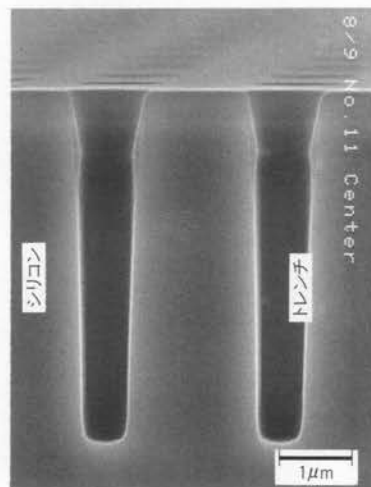


図 1. トレンチの断面構造 反応性イオンエッチングによってシリコンに微細穴を深く削り、DRAM のキャパシタセルに用いる。

SEM photograph of trench

## 2.2 モニタの原理と構成

図2にモニタをエッチング装置に装備した状態を示す。ウェーハ上で規則的に配置された多数のトレンチにレーザ光を垂直照射すると、図2の拡大部に示すように複数の回折光が発生する。この回折光強度はトレンチ深さ、レーザ光の波長 $\lambda$ 、ウェーハ表面の反射率などの関数になる<sup>(2)</sup>。ここで、トレンチ深さが変化すると、回折光強度は周期的変化をする。これはウェーハ表面の反射光とトレンチ底面の反射光の干渉現象で説明できる。このとき、強度変化の1周期はトレンチの $\lambda/2$ の深さ変化に相当する。また、この1周期に要した時間間隔 $t$ を用いれば、その周期部分のエッチングレートも求めることになる。

モニタはレーザユニット、測定ヘッド、信号処理ユニットの三要素から構成した。

レーザユニットには波長442 nmのHeCd(ヘリウムカドミウム)レーザを使用した。この波長を用いた理由は、波長は短いほどトレンチ底面からの光が多く良好な測定ができることと、装置操作性の面からは可視光が望ましいことからである。また、ビームスプリッターでレーザ光を分岐し、2台の測定ヘッド(2台のチャンバ)にも対応できるようにした。

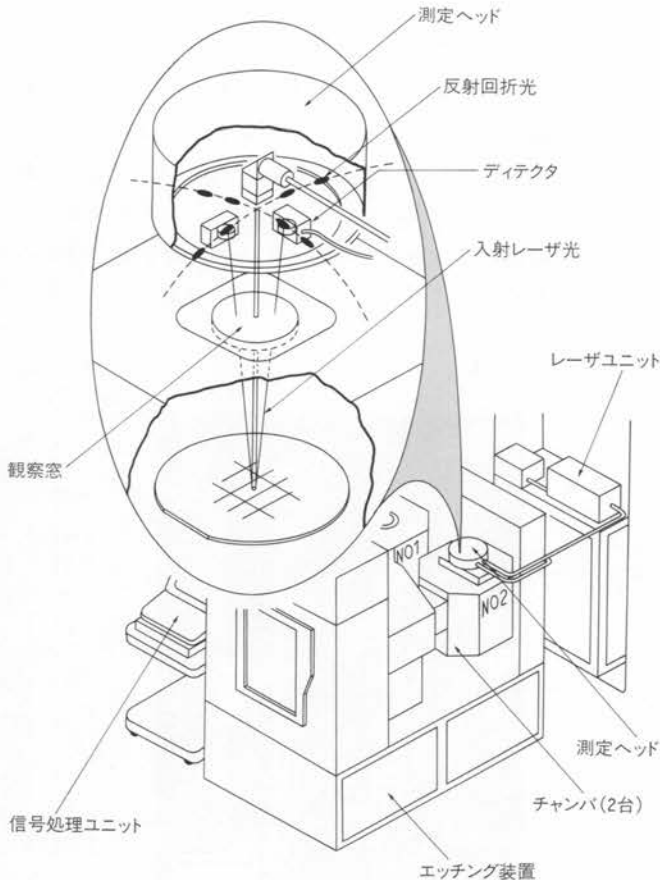


図2. モニタの構造とエッチング装置への装備状態 測定ヘッドはチャンバの上部窓に装着する。拡大図では、レーザがウェーハに垂直入射し、回折光が得られるようすを示す。

Schematic drawing of trench monitor and etching machine

測定ヘッドにはレーザ光を光ファイバで導き、エッチングチャンバの上部窓を通して入射させる構成とした。チャンバ内のウェーハの位置ずれに対応して、ヘッドをステージで移動し、所定の位置にレーザスポットを照射できるようにした。また、ウェーハの種類により回折光の位置は異なるので、ディテクタを複数個搭載し、選択的に使用できるようにした。

図3に直径 $0.85\ \mu\text{m}$ のトレンチを深さ $4.6\ \mu\text{m}$ 程度までエッチングしたときの信号を示す。周期信号は時間とともに徐々に減衰し、8~10周期程度でノイズと分離できなくなる。これはトレンチのような微細な穴に入射した光は、内部で減衰する現象があるためと考えられる。すなわち、信号の周期成分から直接測定できる深さに限界があることになる。まず、測定限界深さをできるだけ深くするため、ノイズの低減処理を施した。この処理によって、判別できる周期を2倍程度に増加できた。また、測定限界深さまでは信号の周期成分から直接深さを算出するが、それ以後は、限界深さまでのエッチングレートと時間からトレンチ深さを推定する方式を考案した。さらに、エッチングレートは時間とともに変化する場合もあり、この変化をも予測することによって、さらに正確に深さを推定できるようになった。

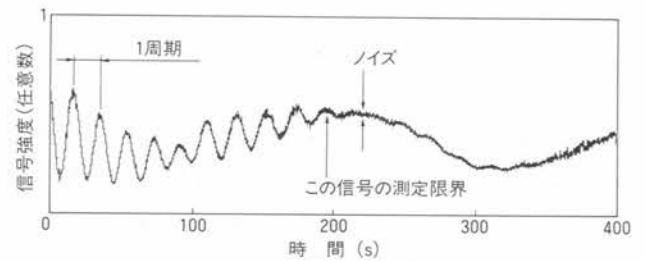


図3. 回折光の強度信号 信号の周期からトレンチ深さがわかる。周期成分は8~10周期でノイズと分離できなくなる。

Typical detection signal

ところで、図2のようにレーザ光はチャンバの上部観察窓を利用して導入する。このとき観察窓はエッチングのプラズマにさらされ、シリコンのエッチング生成物の堆(たい)積とエッチングが繰り返される。結果として窓に曇りが発生し、入射光と反射回折光の透過率が減少し、測定が困難になる場合がある。そこで窓の構造をくふうし、チャンバの連続使用期間内ではつねにモニタリングできるよう改良した。

## 2.3 モニタの性能

トレンチ断面のSEM観察像から求めた深さとモニタの測定値を比較した。この結果、深さ $5\ \mu\text{m}$ 程度までは測定精度が $\pm 0.1\ \mu\text{m}$ 以内であることが検証できた。

次にエッチングプロセスにこのモニタを適用し、テストサンプル方式による加工と比較を行った結果を図4に示す。テストサンプル方式とは、あらかじめエッチングしたサンプル

からエッチングレートを求め、所要の深さになるように時間一定で加工する方式である。インプロセスモニタ方式とは、このモニタを用いて所要の深さで加工を終了させる方式である。図ではサンプル S (0 枚目) の深さを目標にインプロセス制御したサンプルを SEM 観察し、深さデータを求めた。次に、サンプル S のレートとそのエッチング時間からテストサンプル方式の場合の計算深さを対応させて示した。

この例からインプロセス制御を実施した結果、トレンチ深さは  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  の範囲内で管理できることが検証できた。

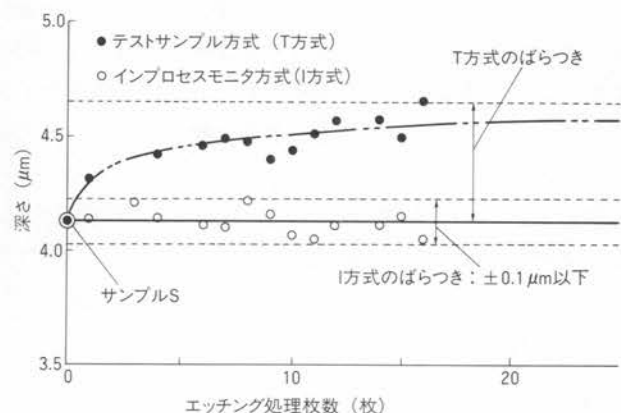


図4. インプロセス制御の結果 テストサンプル方式に比較してインプロセス方式のトレンチ深さのばらつきは小さく  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  以下である。

Comparison of trench depths controlled by two methods

### 3 液晶基板用ダスト検査装置<sup>(3)</sup>

#### 3.1 液晶基板とその製造

単純マトリックス型液晶パネルでは、透明電極付きの2枚のガラス基板をスペーサ ( $6 \mu\text{m}$  程度) を介して対向させ、液晶材料を注入している。このときガラス基板表面に  $6 \mu\text{m}$  程度のダストが付着し液晶中に混入すると、さまざまな欠陥の要因となる。そこで、パネルの製造プロセス中に組み込んで、流れる基板の付着ダストを全数検査できる装置を開発した。

#### 3.2 装置の原理と構成

基板上的付着ダストにレーザー光を照射すると、ダストから散乱光が発生する。基板に透明電極があるとき、この電極パターンからも散乱光が発生する。そこで、このパターンとダストからの散乱光の空間分布を考慮して、パターンからの散乱光が少なく、ダストからの散乱光の多い基板上方に光検出器を配置し、感度よくダストを検出できるようにした。

図5に装置外観を、図6にその構成を示す。ガラス基板の搬送はころ付きホルダと送りステージを用いた。製造工程では、上流から搬送された基板はころによって装置内に取り込まれ、ホルダにセットされる。このときガラス基板の上下の

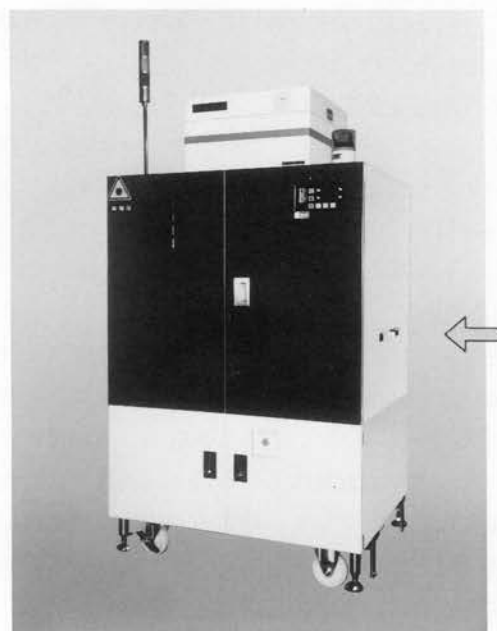


図5. 液晶基板用ダスト検査装置 スループット 30 秒/基板の検査装置。図の矢印部から基板が挿入され、反対側から排出される。

Dust inspector for LCD glass plates

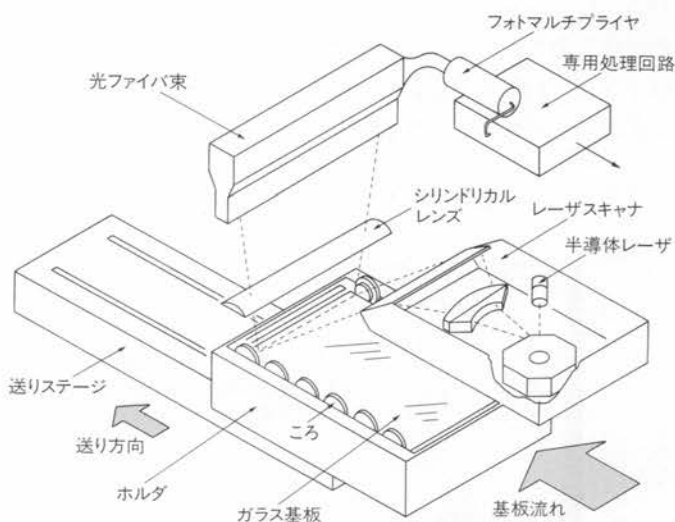


図6. 検査装置の構成 半導体レーザー光は液晶基板を幅 300 mm 走査し、散乱光は光ファイバ束でフォトマルチプライヤに導く。

Schematic drawing of dust inspector

たわみが走査レーザーの焦点深度以下となるように、ホルダを構成した。ホルダはステージによって定速移動し、基板をレーザー走査する。走査終了後、再度ホルダのころを回転させ、下流の装置に基板を受け渡すようにした。

レーザスキャナには波長  $670 \text{ nm}$  の半導体レーザーを使用した。レーザー光はポリゴンミラーによって幅  $300 \text{ mm}$  のガラス基板を全範囲高速走査する。ダストからの散乱光は基板の上方に配置したシリンドリカルレンズで光ファイバ束に集光し、フォトマルチプライヤで光電変換する。このとき基板裏面の散

乱光はスリットにより遮へいして、裏面のダストを検出しにくい構成とした。

信号処理部は光電変換信号の専用処理回路とデータ処理用コンピュータから構成した。処理結果はダストの位置と大きさを表示する方式とした。ダストの位置は基板を二次元のメッシュに分割(1mm角)し、そのメッシュ位置で表示する。また、ダストの大きさはメッシュ内にある最大のダスト(散乱光強度)を代表値として用いた。

専用処理回路は光電変換信号をメッシュサイズの走査時間で区切り、ピークホールド回路で区間内の最大値を検出する(レーザ走査方向の処理)。さらに基板送り方向では、メッシュ内で一走査前に記憶されている値と、現在走査で得られた値とを逐次比較し更新して、最大値を求める処理とした。この回路は、いったんデータを記憶し後で処理する方式に比較し、少ないメモリ容量で送り速度に同期した実時間処理が行える利点がある。

### 3.3 装置性能

検出感度はポリスチレン製の標準粒子を基板に散布して確認した。ガラス基板の大きさは約300mm×400mm、厚さは0.7mm(電極パターン付き)である。直径5 $\mu$ mの標準粒子を散布したときの散乱光強度と粒子を検出したメッシュ数(頻度)の関係を図7に示す。図から標準粒子のデータがノイズと分離できていて検出感度は5 $\mu$ mであることが確認できた。さらに、標準粒子を用いて粒子径と検出器出力の関係を求めた結

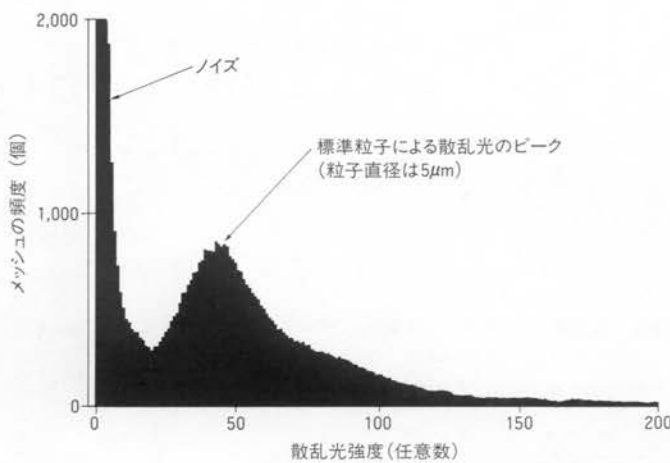


図7. 散乱光強度のヒストグラム 横軸はフォトマルチプライヤ出力のデジタル変換値。標準粒子によるピーク値がノイズと明瞭に分離でき、5 $\mu$ mの感度があることがわかる。

Histogram of scattering light intensity

果、検出器出力は粒子径のほぼ2乗に比例する特性が得られた。

また、検出の再現性は5%以下である。これは標準粒子付き基板を繰り返し測定して得られるダスト総数のばらつきから評価した3倍のCV(Coefficient Variant)値である。基板挿入、検査、基板排出、ホルダ戻り時間を含めた総合の検査時間は30秒/基板以下で、プロセス中を流れる基板を全数検査ができることが確かめられた。

## 4 あとがき

ここでは、半導体におけるトレンチ深さのインプロセスセンシング技術を用いて、高精度な深さ管理が実現できる例を示した。また、液晶ディスプレイにおける基板ダストのインプロセスセンシング技術の例を紹介し、製品と工程のダスト管理が行えることも示した。

これらインプロセスQCとそのセンシング技術の開発例は、決して多いとはいえないのが現状である。しかし、今後はますます重要になるこの技術を、各方面の技術者の支援を得ながら推進したいと考えている。

## 文献

- (1) 吉田幸正, 他: レーザ光の干渉を用いたトレンチエッチングモニタ, 精密工学会春期講演論文集, pp.617-618 (1992)
- (2) H. P. Kleinknecht, H. Meier: Optical Monitoring of the Etching of SiO<sub>2</sub> and SiN on Si by the Use of Grating Test Patterns, J. Electrochem. Soc., 125, 5, pp.798-803 (1978)
- (3) 寺田茂樹, 他: 液晶用インラインダストモニタ, 精密工学会春期講演論文集, pp.951-952 (1995)



林 正和 Masakazu Hayashi

1976年入社。生産工程における計測検査機器の開発に従事。現在、生産技術研究所情報応用研究部主任研究員。Manufacturing Engineering Research Center



津村 明 Akira Tsumura

1983年入社。生産工程における計測検査機器の開発に従事。現在、生産技術研究所情報応用研究部研究主務。Manufacturing Engineering Research Center



石田 文彦 Fumihiko Ishida

1986年入社。生産工程における計測検査機器の開発に従事。現在、生産技術研究所情報応用研究部。Manufacturing Engineering Research Center