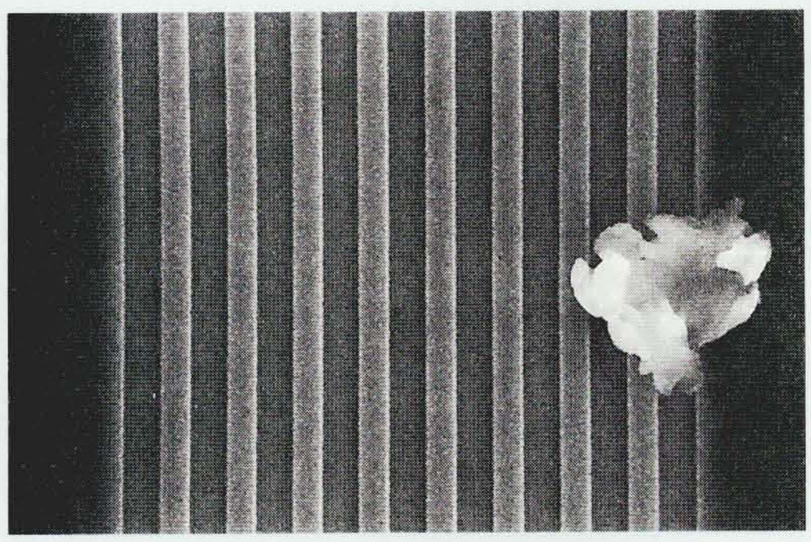
走査電子顕微鏡による半導体ウェーハ表面の異物観察と分析

Microscopy and Analysis of Wafer Particles Using a Semiconductor Defect Review System

山崎　巌*　*Iwao Yamazaki*　秋葉恒雄*　*Tsuneo Akiba*
多持隆一郎*　*Ryûichirô Tamochi*　熊田隆雄**　*Takao Kumada*

異物分析システム

異物解析ユニット“RU-700”



ウェーハ上の異物像

ウェーハ上の異物分析システムの外観とウェーハ上の異物像

このシステムは，FE-SEM(電界放出型走査電子顕微鏡)“S-4160”，異物解析制御ユニット“RU-700”，およびEDX(エネルギー分散型X線分析装置)で構成する。

半導体生産プロセスでウェーハ上に発生する異物および欠陥の軽減は，半導体の品質および歩留り向上の重要な要素である。したがって，半導体生産の各工程で発生するウェーハ上の異物・欠陥の管理は，これまでもさまざまな方法で行われてきた。

近年，半導体の高密度化に伴ってパターンサイズが，量産ラインではハーフ ミクロン オーダに，研究・開発部門ではディープ サブミクロン オーダにそれぞれ移行し，管理対象となる異物・欠陥も微小なものになってきた。そのため，光学式ウェーハ検査装置の異物座標をSEM(走査電子顕微鏡)ステージ座標に変換することにより，高倍率(数万倍以上)でのSEM観察ができ，同時にEDX(エネルギー分散型X線分析装置)による組成分析も行える異物分析システムを開発した。

* 日立計測エンジニアリング株式会社　** 日立製作所 計測器事業部

1 はじめに

半導体プロセスで発生する異物・欠陥は，レーザ光の散乱を応用した光学式ウェーハ検査装置により，その数や大きさおよびウェーハ上の位置座標が測定されている。しかしこの装置だけでは異物・欠陥の外観および組成が把握できないため，一般に光学顕微鏡や汎(はん)用SEMなどを併用して，外観検査および組成分析が行われている。しかし，電子デバイスの微細化が進むにつれて，より微小な異物・欠陥が測定対象となってきた。そこで，より高分解能なFE-SEM(電界放出型走査電子顕微鏡)をベースにし，確実に異物・欠陥を探し出せる分析システムの要求が高まってきた。

このような背景から，8インチウェーハ全面観察が可能なFE-SEM“S-4160”に異物解析制御ユニット“RU-700”およびEDX分析装置を組み合わせた，高分解能非破壊外観検査と組成分析を実現した異物分析システムを開発した。ここでは，このシステムの特徴と応用例について述べる。

2 ウェーハ上の異物・欠陥検査システムの構成

異物分析システムの構成を**図1**に示す。光学式ウェーハ検査装置によって検出されたウェーハ情報，異物・欠陥情報および座標データは，3.5インチ フロッピーディスクを介してRU-700に送られる。このうち，座標データはSEMの試料ステージ座標に変換されてSEMのステージ制御を行い，異物・欠陥の位置を自動的に検索する。また，探し出された異物・欠陥は，SEMによる外観検査，およびEDXによる組成分析が適用され，その由来が追跡される。またこのシステムは，最大8インチ径のパターン付きウェーハおよびベアウェーハに適用できる。

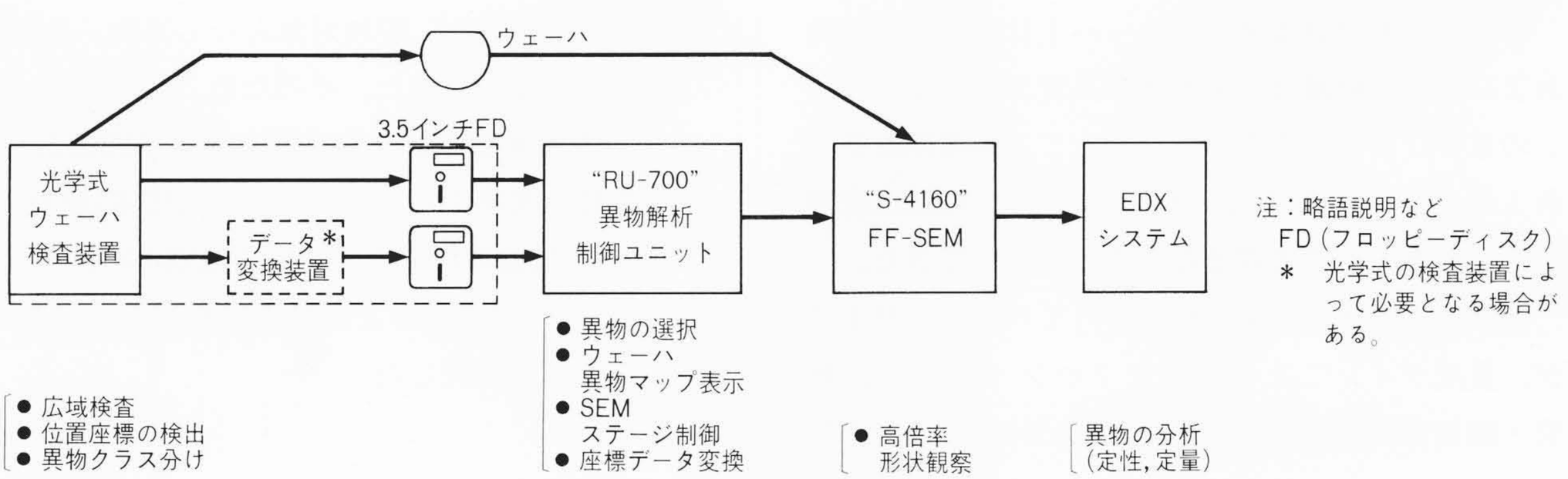


図1 ウェーハ上の異物・欠陥検査のシステム構成
このシステムは，各種光学式ウェーハ検査装置に対応が可能である。

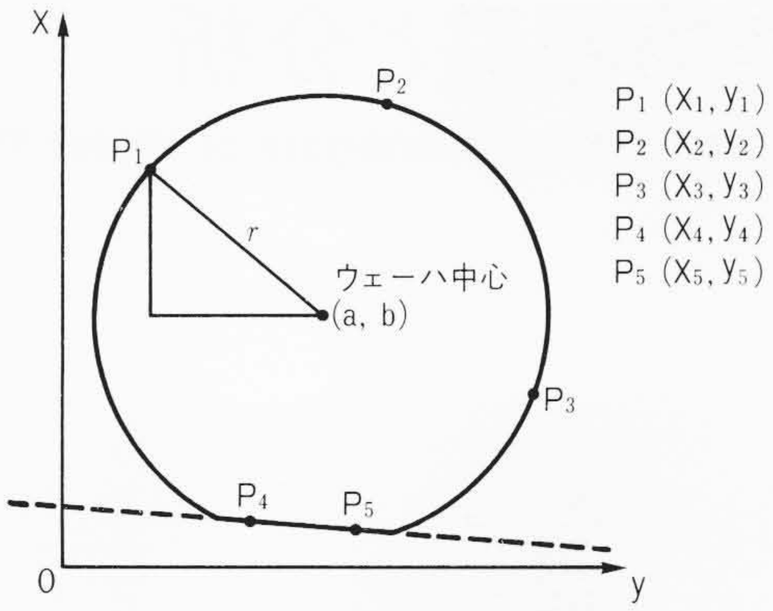


図2 ベアウェーハのアラインメント法
アラインメントは，ウェーハ上の5点(P_1～P_5)の位置を基準にして行われる。

3 座標変換とアラインメント

3.1 座標変換

光学式ウェーハ検査装置の座標系は，一般にウェーハ中心を原点とするものと，ウェーハのオリフラ(オリエンテーション・フラットウェーハ水平規準)の延長線で直行する外周接線との交点を原点とするものの2種類に大別される。これらの座標系はいずれもコンピュータによる演算処理を経て，直行した伸縮のない理想的座標系に変換され，さらにS-4160のステージ座標(X＝150 mm，Y＝150 mmの直行座標系)に変換される。また8インチウェーハの場合は，ステージの機械的回転を併用して全面の観察が行われるため，座標変換は回転軸も含めて処理される。

3.2 位置精度向上のためのアラインメント法

異物検索を精度よく行うために，ウェーハのSEMステージ座標補正(ウェーハアラインメント)を行う必要がある。ベアウェーハに対するウェーハアラインメント法を

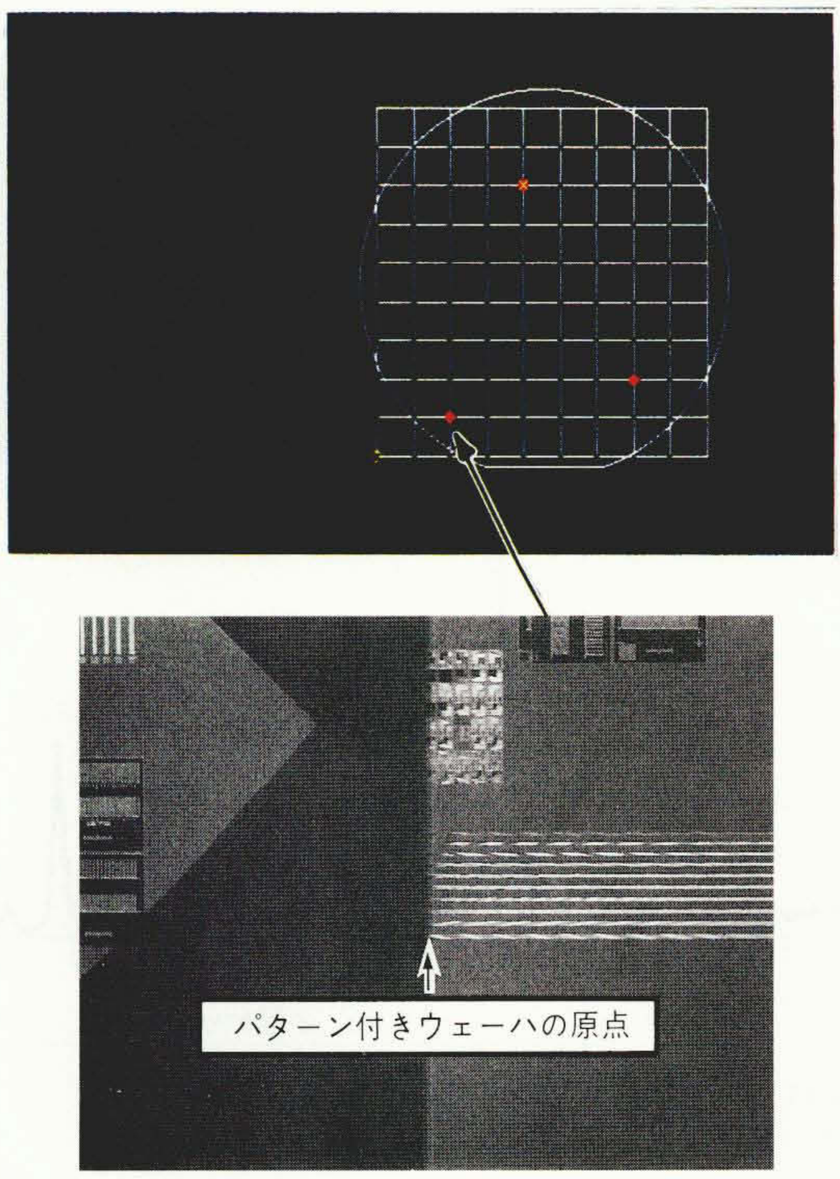


図3　パターン付きウェーハのウェーハアラインメント
ウェーハ上の直線にならない，3個所のパターン原点でアラインメントを行う。

図2に示す。外周の3点(P_1, P_2, P_3)でウェーハ中心座標(a, b)を決定し，ウェーハの半径(r)が算出される。さらにオリフラ上の2点(P_4, P_5)でウェーハの回転補正を行う。また，パターン付きウェーハの場合は，光学式ウェーハ検査装置で設定された各パターン内の原点(計3点)を基点としてアラインメントが行われる(**図3**参照)。このウェーハアラインメントを行うことにより，数μmレベルの異物・欠陥は，ほぼ自動的に検出することができる。

微小な異物・欠陥に対しては，さらに位置精度を高めるため，異物そのものの位置座標を利用した異物アラインメントを行う。これは，実際にウェーハ上に存在する任意の異物・欠陥の座標のずれを実測してあらかじめ登録しておくことにより，その他の異物・欠陥の位置検出精度を飛躍的に向上させるものである。2種のアラインメントを実行した場合の，異物・欠陥の位置再現性を**図4**に示す。通常，S-4160の試料微動のX，Y方向の再現性は10 μm以内である。外周アラインメントの場合は平均50 μmの位置再現性であるが，異物アラインメントを実施した場合は平均20 μm以内である。したがって，数千倍のSEM倍率でも，異物・欠陥が確実にその視野に入る。さらに，視野から外れた場合でも，試料微動を**図5**に示すように渦巻状に自動的に移動させるサーチ機能(スパイラルスキャン)により，異物欠陥を確実に探し出すことができる。

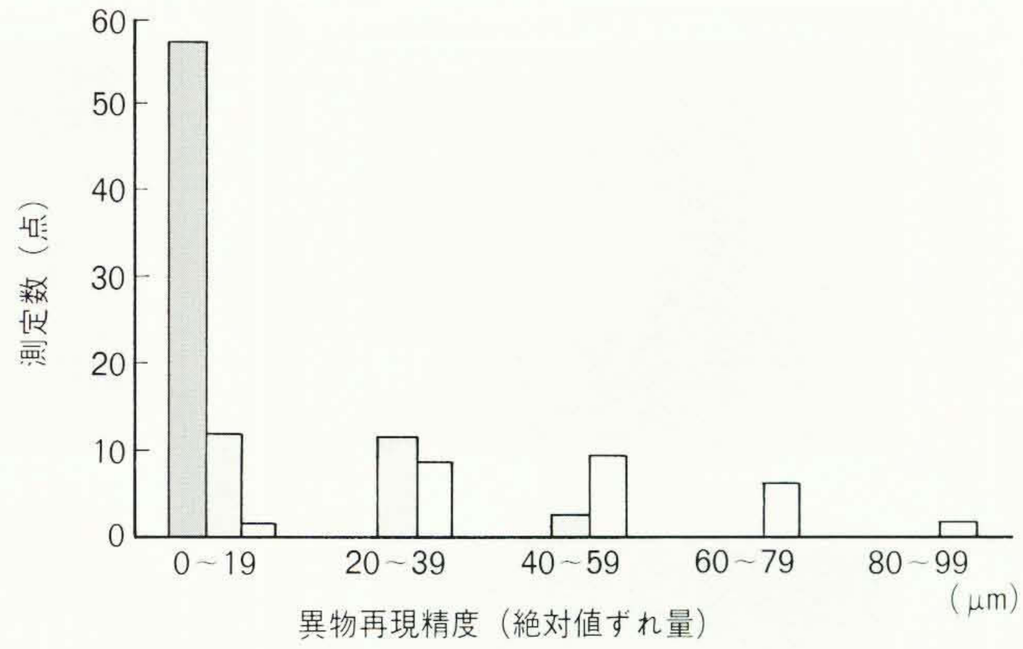


図4　2種類のアラインメント法と異物位置再現精度
アラインメントを行うことにより，異物位置再現精度は向上する。

4　異物分析システム応用例

4.1　微小な異物・欠陥の観察

ウェーハ上の直径0.1 μmのポリスチレンラテックス，および約0.2 μmのベアウェーハ上の欠陥の観察例を**図6**に示す。いずれもその形態が明瞭(りょう)に観察されており，このシステムが0.1 μm以下の異物・欠陥の管理に対応できることを示している。

4.2　ウェーハ上の異物の傾斜観察

この異物・欠陥検査システムは，ユーセントリック傾斜機構を採用している。さらに，ソフトウェア上で視野ずれ補正機構も備えており，傾斜時の視野ずれを最小に抑えることができる。**図7**に示すパッシベーション膜上の異物の傾斜観察例のように，異物の立体的な外観把握が可能である。

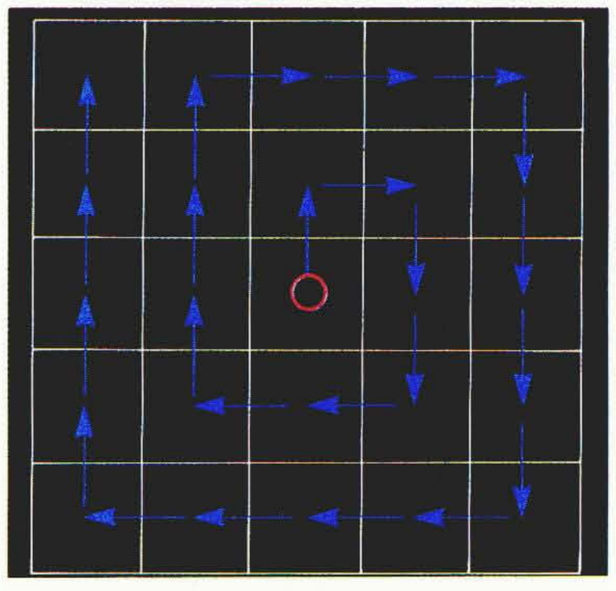
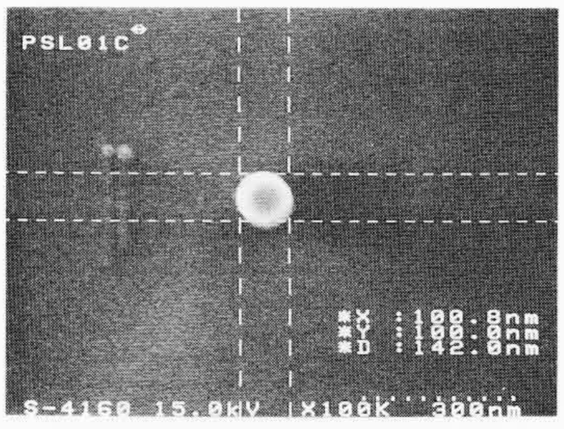
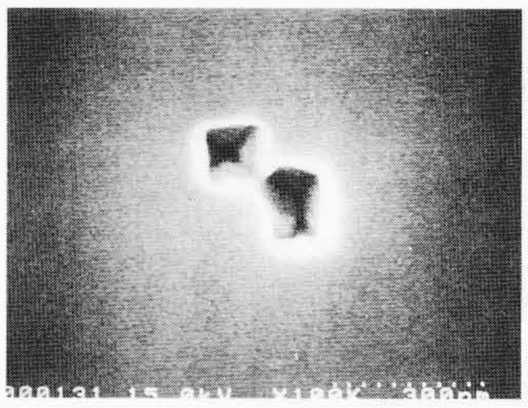


図5　サーチ機能(スパイラルスキャン)
渦巻状にステージをコントロールし，視野外の異物を検索する。

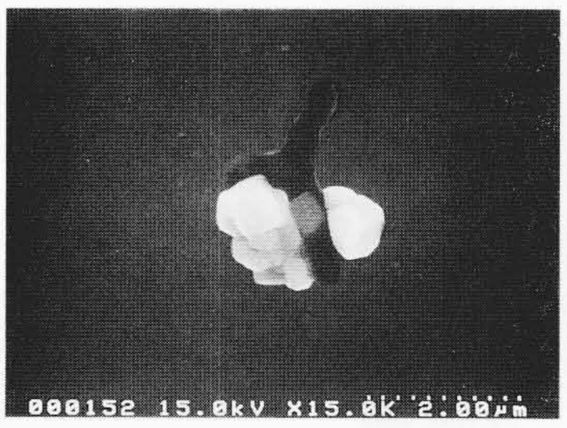


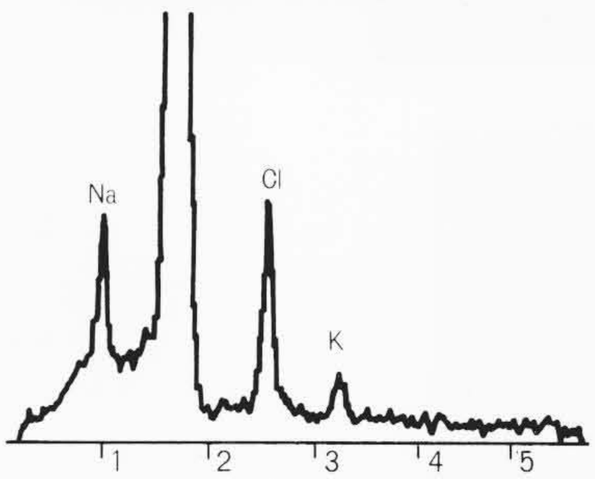
(a) ウェーハ上のポリスチレンラテックス



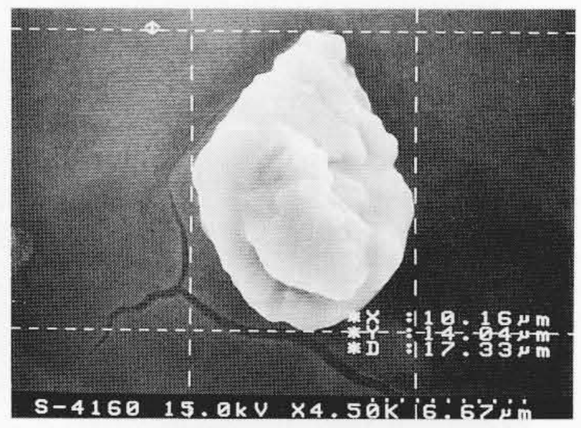
(b) ベアウェーハ上の欠陥

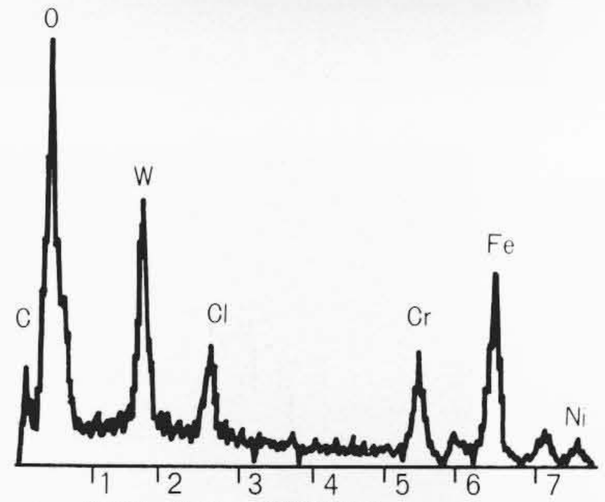
図6　微小異物・欠陥のSEM観察例
高分解能SEMを持つシステムであり，高倍率観察も可能である。





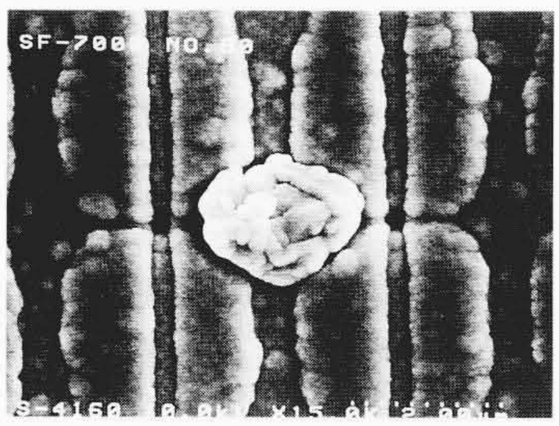
(a) 自然異物



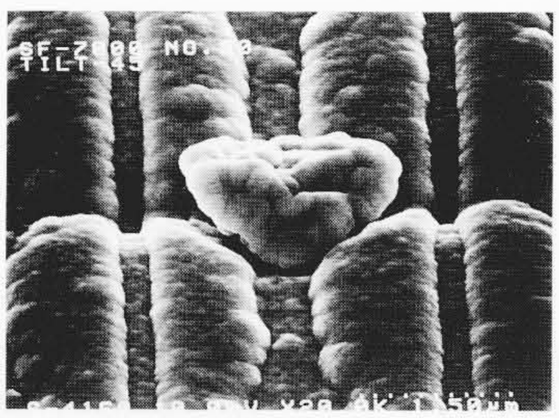


(b) 装置からの異物

図8　異物発生源とEDX分析
自然異物は塩化物が，装置発生の異物は金属元素がそれぞれ検出される。



(a) 傾斜角：0°



(b) 傾斜角：45°

図7　ウェーハ傾斜角と欠陥のSEM像
ウェーハと欠陥との接点の観察が可能で，欠陥の由来が考察できる。

4.3　EDXによる組成分析

ウェーハ上に発生する異物・欠陥の対策には，その原因を把握することが重要であり，組成分析はそのための強力な手段となる。

自然異物およびプロセス内の装置から発生した異物の形態と組成を比較した例を**図8**に示す。自然異物の場合はナトリウムやカリウム，カルシウムなどの塩化物が含まれている。また，プロセス中の各装置から発生した異物には金属元素(鉄，クロム，ニッケルなど)が含まれることが多い。

5　おわりに

ここでは，FE-SEM“S-4160”をベースにした異物分析システムのシリコンプロセスへの応用例について述べた。CD(Critical Dimension)-SEM(S-8820，S-7280Hなど)ベースの異物・欠陥解析システム(EDX取付不可)もS-4160と同様の外観検査が可能である。

参考文献

1) 多持，外：日本電子顕微鏡学会，第48回学術講演会予稿集(1992)
2) 稲田，外：メガビット対応パーティクル評価技術の開発，住友金属，Vol.43-3，p.35～36(1991)
3) 小谷田，外：ウェハ付着異物微粒子の計測と分析，第36回半導体・集積回路技術シンポジウム論文集(1989)