

## お客さまと歩み続けた20年 ウエハの形状測定装置

LEO事業本部 製造部 森田 仁

IoTや自動車の自動運転、5G、データセンターなどデジタル技術が進展するなかで、ますます半導体の重要性が増してきている。その主要部材であるシリコンウエハは、2020年度には過去最高の出荷枚数を記録し、今後も成長が見込まれている。ウエハの製造工程において、品質管理のために欠くことができないのが、ウエハの厚さや反りなどの形状を測定する当社の測定装置である。測定性能のみならず、お客さまのご要望にあわせたカスタマイズにより長くご愛用いただいている。初号機を上市して今年で20年を迎えるが、国内にとどまらず、世界のウエハ製造工場で活躍している。

### 【測定原理と特徴】

本装置は、ウエハの上下に配した静電容量センサーと、ウエハを直線状に移動させる搬送ステージ、さらに搬送ステージの両端に設けた回転ステージとで構成されている(第1図)。上下のセンサーでウエハとの距離を測定し、それをもとにウエハの厚さをサブミクロン精度で算出している。さらに搬送ステージの直線状の動きと、その両端のステージでウエハを回転させる機構とを組み合わせて放射状にスキャンすることで、ウエハ全面の厚さ情報を得ることができる(第2図)。こうして得られた厚さ情報に対し、重力による影響を補正し無重力状態のウエハ形状として算出している。

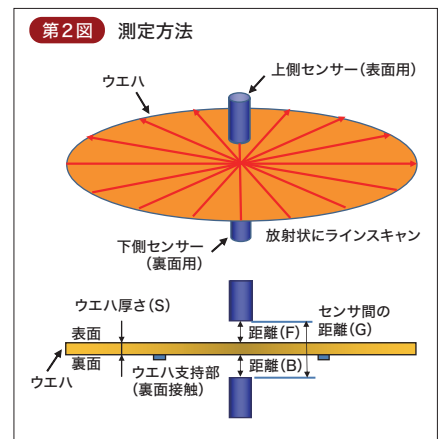
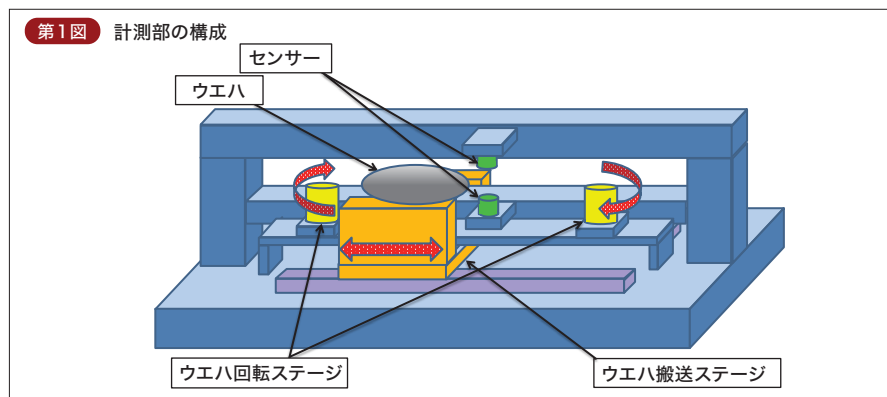
販売開始当時、市場ではウエハを立てて回転させながらスパイラル状に計測する装置が主流であった。ところが、このような装置は構造が複雑なため大型な装置にならざるを得ない。当社は上記の機構を独自に考案し、実用機として市場に投入し、お客さ

まが求められる計測精度を満たしつつ、コンパクトかつ高速での計測を可能にしたことで、市場において高い評価をいただくに至った。

### 【形状測定装置の進展】

この20年間、お客さまの用途やサンプルの変化にあわせてハードウェア、ソフトウェアともに個別のカスタマイズも加えながら進化させてきた。販売開始当初は直径300mmのシリコンウエハ専用で、ロボットでの自動搬送を備えた形のラインナップのみであった(写真1)。しかしその後、ガラス基板や、ガラスとシリコンとを張り合わせたウエハ等の新材料へのニーズをいただくなかで、新たにレーザー変位計や光学式センサーを採用した装置もラインナップに加えた。その他、大学等の研究用途向けのマニュアル機や、直径50mmから200mmの小径ウエハへの対応、さらには450mmウエハにも対応した装置も開発した。また、形状測定以外に、シリコンウエハ製造工程で必

要とされる物性(抵抗やp型、n型等)を測定するユニットを組み合わせ、新たな機種としても展開している。測定以外の機能面でも、お客さまの工程に適したデータ形式や工場内のネットワーク、さらには無人(完全自動化)のシステムにも対応している。



このように、形状測定装置をさまざまなお客さまに幅広い用途でご採用いただくなかで、業界における認知度を高めるとともに、技術を磨いてきた。現在では、より高精度なサブナノメートル精度の計測技術も開発し、これを搭載した平坦度測定装置としても展開している。今後も、技術開発に取り組み、引き続き半導体分野の進展に貢献していく。



## 電界放出型オージェ電子分光法(FE-AES)による 表面・微小領域解析

技術本部 加古川事業所 技術室 吉川 卓郎

2007年に当社がいち早く導入したオージェ電子分光分析装置(日本電子製: JAMP-9500F、外観: 第1図)は、主にエレクトロニクス分野の半導体や電子材料の開発支援、不具合調査に活躍してきた。本装置の特徴は2つ、検出深さが数nmと極めて浅く、nmオーダーの高い空間解像度を持つことである。前者特徴は、対象物の表面から深さ数nmのオージェ電子を検出することに由来、後者は、本装置がFE銃を搭載し、照射する電子ビームを非常に細く収束させることができるためである。

エレクトロニクスは、人の手に収まる製品から人を運ぶ製品まで多岐にわたり組み込まれている。しかし、活用の幅が広い分、不具合が発生した際には、大きな事故につながる危険性もはらむ。製品の動作保証には、各種半導体の品質はもちろんのこと、各種部品をつなぐ接続技術も極めて重要である。代表的な接続技術としてははんだが挙げられ、またそのはんだ付け先としてめっきが存在する。これらは共通して金属材料表面の清浄度が求められる。製品になる前段階で接続部に不具合が生じた場合、表面に着目した調査が必要となる。一般に、SEM-EDXやXPSなどの汎用装置が利用されるが、昨今の技術革新により分析対象の微小化が進み、解像度の点で本装置を活用するケースが増えている。

本稿では、需要高く多用される本装置の魅力を改めて、2つの分析事例で解説したい。

### 【事例1: スパッタ併用の深さ方向分析による酸化皮膜の厚さ測定】

はんだ不濡れやめっき不着といった不具合は、酸化皮膜が原因となるケースがある。厚さはnmオーダーであり、検出深さの深いEDX分析だけでは現象を捉えきれない。本装置では、深さ方向分析により酸化皮膜の厚さを推定する事が可能で、銅の酸化皮膜に着目した測定例を紹介する。

銅は表面の酸化皮膜の厚さにより、その外観色が赤、銀、金、橙色などに変化する(第2図)。この厚さを本手法で測定すると(第3図)、外観色は厚さ数10nmの酸化皮膜の厚さに大きく影響を受けている様子が判る。

本事例では解像度に重きを置いていないが、例えばはんだパンプ、ピラーやチップのパッド部、配線パターンといった微小領域に対して同様の分析が可能である。

### 【事例2: Siウエハ変色部の表面マッピング分析】

冒頭では接続部の重要性を説いたが、接続先である半導体でも清浄度は重要である。材料となるウエハで汚染が発生した場合、性

能や歩留りに悪影響を与えるため、迅速な原因究明が必須となるが、汚染箇所は極薄かつ微小であることが多い。まさに本装置の特徴にマッチした事象であり、実際にSiウエハ上の汚染部を調査した事例を紹介する。

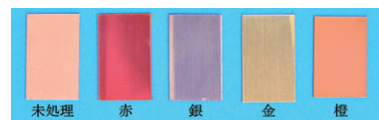
Siウエハ上をSEM観察した時、第4図のような変色部が見られた。この変色原因をオージェ電子分光で特定したところ(第5図)、変色部は数10nm程度の非常に微小な部分も含めて、炭素元素と判り、有機汚れが原因であると推察された。

このようにnmオーダーの微小物を視覚的に捉えることが可能で、他に微細な析出物といった金属の組織についても適用できる。

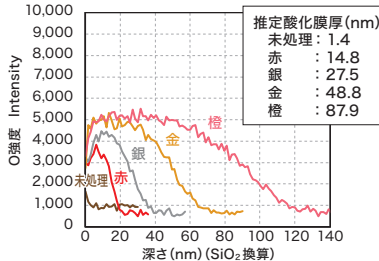
第1図 装置外観



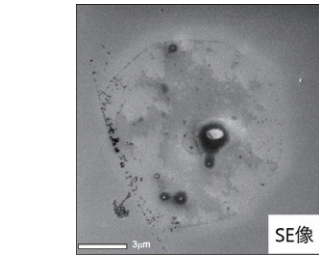
第2図 銅板の外観



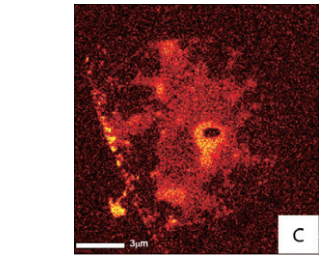
第3図 Cu板の酸化膜厚測定結果



第4図 二次電子像



第5図 Cのマッピング像



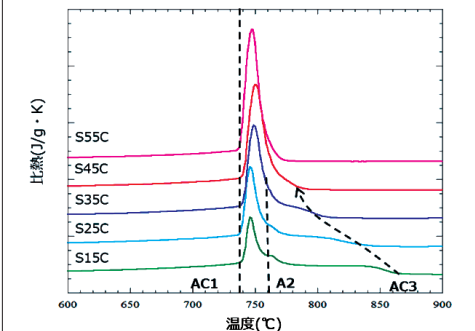
本稿で紹介した機能以外に、線分析や広域マッピング、元素によっては化学式で示されるような状態解析をすることも可能である。今後も分析対象の微小化は進むと思われるが、本装置の特徴を生かしたメニューを提案していきたい。

## 機能性材料の開発を支える、 DSCをもちいた熱分析技術

技術本部 加古川事業所 技術室 金築 俊介

熱分析とは物質の熱に対する物理的な変化を分析する手法である。古くは19世紀後半の合金状態図研究の黎明期に端を発し、当時発明されたばかりの白金-ロジウム熱電対をもちいたオスモンの“逆冷却速度法”による熱分析が鋼の変態を発見する決め手となった。以降温度センサーの進歩とともに熱分析技術は高度化し、熱電対が多重に直列接続されたサーモパイル型の熱流束センサーが開発され、これを搭載した熱量計であるDSC(示差走査熱量計)の技術確立によって熱分析技術は成熟した。当社では30年来、最大1400°Cまでの高温測定と高感度な熱分析が可能なDSCを早々と導入し、材料設計に必要な不可欠な熱分析サービスを提供してきた。炭素鋼の比熱曲線(第1図)では、パーライト変態(AC1点)、磁気変態(A2点)、オーステナイト変態(AC3点)といった一連の鋼の変態挙動が明瞭に表れており、C量に対する変態点の変化を系統的に理解できる。本稿ではDSCの分析事例を交えながら熱分析技術の有用性について触れたい。

第1図 炭素鋼(S15C~S55C)の比熱曲線



### 【析出強化型アルミ合金の熱分析事例】

昨今の自動車のマルチマテリアル化にともなうアルミ合金適用率の増大を受け、アルミ板材にはさらなる高強度化が要求されており、析出強化メカニズム等の冶金現象の理解が進んでいる。アルミ合金の析出強化においてはナノオーダーの微細なクラスタの形成・再固溶を捉える必要があり、高感度の熱分析が不可欠である。第2図は当社で試作した7000系(Al-Zn-Mg)アルミ合金の高温反応挙動をDSCによって評価した事例である。自然時効(T4処理)→人工時効(T6処理)の二段時効における処理条

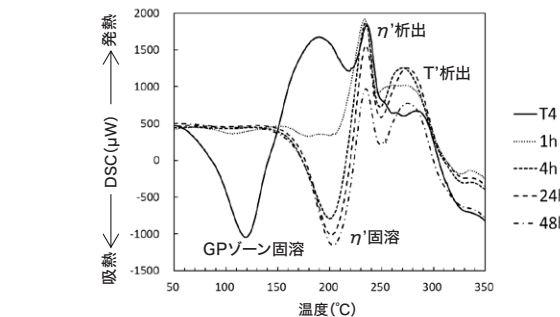
件の違いが明瞭に表れており、T6処理が長くなるとη'相の固溶ピークが大きくなるなど、複雑かつ微弱的な固溶・析出挙動を明確に測定できている。またTEMでは観察が困難なG.P.ゾーン(サイズが1nmで構造がはっきりしない)の固溶挙動も見て取れ、DSCによる熱分析の有用性がよく分かる。

### 【永久磁石の熱分析事例】

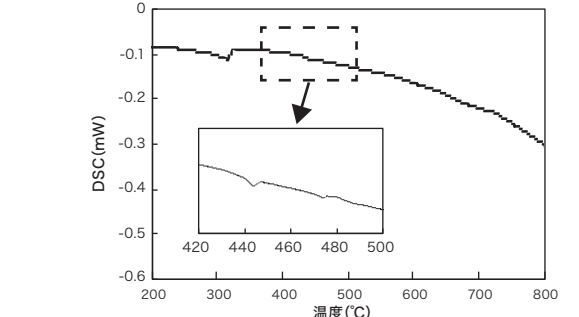
モータ用Nd系永久磁石材料は、主相(強磁性Nd-Fe-B相)の粒界をNdリッチな低融点相(粒界相)が覆うことで高い保磁力が発現する。それゆえまずは粒界相の

溶融挙動を知ることが焼鈍プロセスの最適化につながる。第3図は日常用途のNd磁石市販材のDSC曲線であるが、約400~500°Cにおける粒界相の微弱な融解ピークを検出できている。Nd磁石は高温酸化し易い材料でもあり、高感度な熱分析を行うには残留酸素を排した雰囲気制御が重要となる。当社の酸素ゲッターを搭載したDSCをもちいれれば酸素濃度1ppmレベルの不活性ガス雰囲気での熱分析が可能であり、急冷・焼結・焼鈍といった熱処理プロセスの最適化のために有用な知見を与えてくれる。

第2図 7000系アルミ合金のDSC曲線



第3図 Nd系永久磁石のDSC曲線



以上から明らかのように、状態変化を始めとする材料のさまざまな高温反応挙動を知る上で熱分析は極めて有用であり、材料の開発や製造プロセスの検討を進める上で今なお欠かすことのできない重要な技術である。最近では2次電池やモータ用の機能性材料を熱分析するケースも増えてきており、各産業分野における材料技術の知見を活用しながらさまざまなニーズに応えていきたい。