精密製造を支援する産業用顕微鏡

ジョン・ウォレス

近代産業の多くの部門で微細公差が必須になっている。このため必然的に、検査、アセンブリ、評価で顕微鏡を利用するようになる。

顕微鏡は生物学や他の科学で不可欠の道具であるが、同様に産業分野でも必要とされている。微細な製造トレランス（公差）のために、多くの作業で微細画像が必要となるからである。産業用顕微鏡は、顕微鏡の行う作業同様に多様な構成で提供される。

顕微鏡を選定するときは、汎用装置か特定作業に特化されたものか、低倍率、高倍率あるいは両方、目視ベースかカメラベースイメージングか、手動または自動ハードウエア、仕事に最適な波長域、さらに当然のことであるが費用と性能の適切なバランスを決めなければならない。

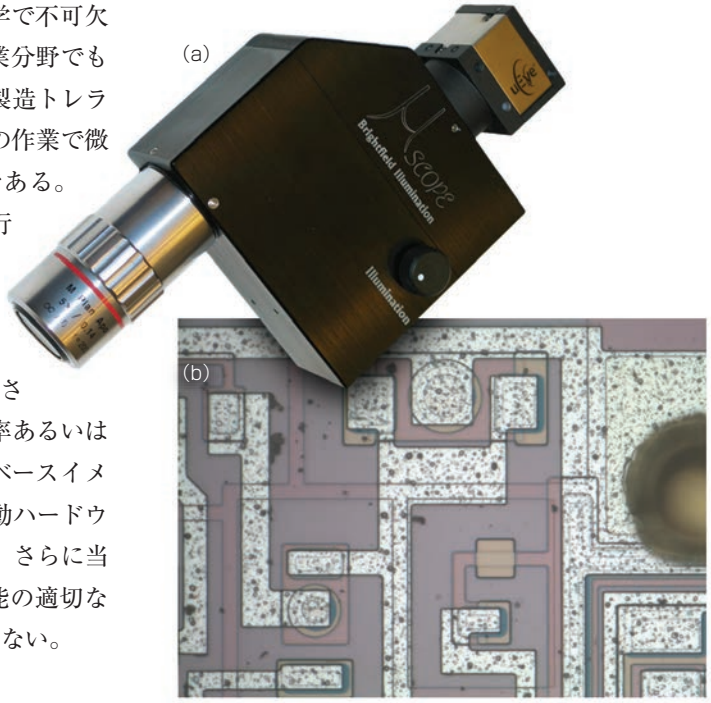

図1　サンタバーバラ・イメージングのコンパクトな単一対物レンズ顕微鏡（a）は、マイクロエレクトロニクス検査（b）でユーザーを獲得している（サンタバーバラ・イメージング提供）。

多用途性

多くの顕微鏡メーカーが様々な汎用顕微鏡装置を製造している。ユーザーは、ここからハードウエアを選択して、各自の目的に装置をカスタマイズするという方法がある。完全カスタマイズシステムという別の選択肢もある。例えば、米サンタバーバラ・イメージングは、30mm～50μmまでの視野を持つ低倍率、高倍率アプリケーションに使える顕微鏡を製造している。

同社の低倍率顕微鏡は、固定または可変ズーム拡大で提供される。照明は一般にリングライトか、グースネックランプとなる。高倍率顕微鏡は無限修正タイプで、同軸LED照明組込で提供され、イメージャはCマウント、対物レンズはねじ込み式となっている。すべてのシステムがイメージャとモニタもしくはコンピュータを使用してオブジェクト表示を行う（接眼レンズ無し）。

「低倍率顕微鏡は一般にアセンブリ、検査用途に使われる。例えばコネクタの半田付けや品質検査、小さな加工部品の検査に使われる」とサンタバーバラ・イメージングの設計技師、ジェフ・マーカキス（Jeff Markakis）氏は言う。「高倍率顕微鏡は一般に組込アプリケーションに使用される、例えば半導体検査、半導体ボンディング、ディスポーザブル医療用散布器検査、表面処理適正判定、微細部品のアライメントなどだ」。

一例を挙げると、同社のμScopeはコンパクト、無限補正、単一対物レンズ顕微鏡で、専用アプリケーション向けに同軸LED照明を組み込んでいる。装置は、焦点移動範囲50mmの電動クロスローラフォーカスステージを搭載している。位置決めはサブミクロン精度、ステッピングモータ駆動、ステッピングモータコントローラ組込となっている（**図1**）。米ナノトロニクス・イメージングは、主に市販のコンポーネントで組み立てる、設定変更の可能な産業グレードの多様な光学顕微鏡を製造している。その顕微鏡は、ガン研究所、医療試験研究所、半導体研究所のほか製造の現場でも使用されている、と同社工学技術者、ヤコブス・キース（Jacobs Keith）氏は語っている。キース氏によると、同社の狙いは数百万ドルの検査器具一切合切を提供することであり、これを自動カセットやウエハハンドリング、OCR（光学文字認識）統合、ウエハアライメントで補完する。

キース氏は、自動化は重要であると言う。ナノトロニクスは、自動化ハードウエアに同社顕微鏡を組み込むだけでなく、顧客と協力してユーザの現行手動顕微鏡に自動化システムをとりつ

ける。同社は、光学顕微鏡だけでなく、原子間力顕微鏡（AFMs）も提供することができる。

ナノトロニクスのnSPEC顕微鏡は、内蔵レーザシステムで、ユーザが選択した範囲を走査することで画像を取得する。次に画像処理ソフトウエアを使用して、ミクロンサイズおよびそれよりも大きな欠陥を特定し分類する。結果は、業界標準のプロトコルで出力する。多くの操作タイプがサポートされており、これには転送、明視野、暗視野、微分干渉コントラスト法（DIC）、落射蛍光計測、偏光計測が含まれる。

同社の製造ライン用顕微鏡は、2、4、6、8インチウエハ用ロボットウエハハンドリング装置、ウエハフラットアライメント・ノッチアライメント機構、自動ステージ、リアルタイムレーザオートフォーカスを備えており、ウエハの裏面または前面の光学文字認識（OCR）コードを読み取ることができる。標準的な画像収集とともに、特定箇所で低速度撮影もできる（この顕微鏡は、生体医学分野でも用いられ、例えばガン細胞と正常細胞の区別に使う）。

「信じがたいことだが、半導体研究や製造などのハイテク業界では今日でも、検査はまだ意外な割合で、何十人ことによると何百人もの技術者が製造工場で、流れてくる全てのウエハを手動で検査している。想像の通り、自動化されたシステムならウエハを検査しても目が疲れることもなく、何時間も顕微鏡を見て感覚が鈍ることもない」とキース氏は言う。

計測学

超精密3D非接触表面検査と計測に対する増え続ける要求が顕微鏡ハードウエアとソフトウエアの開発を促進し、二乗平均（RMS）表面高さ、表面高さの対称度（歪度）、表面高さの「尖り」、表面傾斜、空間周波数分布、その他の表面パラメータの計測と計算ができるようになっている（**図2**）。

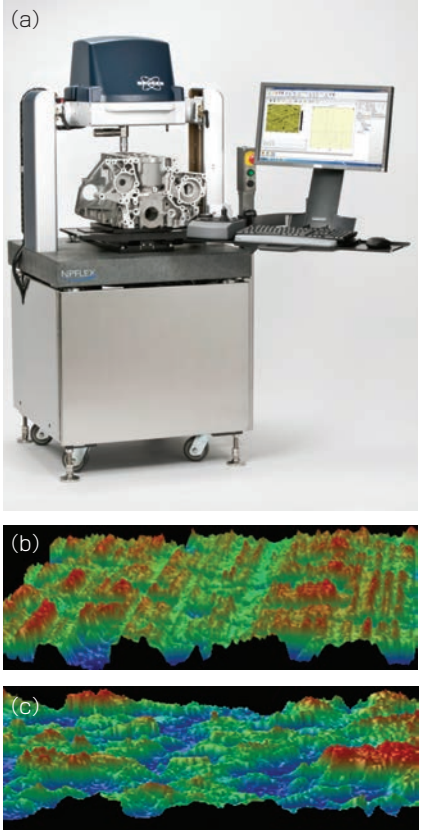

図1　ブルカーの白色光干渉顕微鏡が、極めて凹凸が激しいサンプルを画像化（a）。同じ平均粗さ値を持つ2つの異なる表面の白色光干渉顕微鏡画像は、そのような表面が実際はいかに違ったものであるかを示している。歪度、「尖り」、特徴の方向性、損耗領域、RMS表面傾斜は非常に違っている（b、c）（ブルカー提供）。

例えば、米ブルカーの製造した干渉法顕微鏡は、表面高さをサブナノメートルの分解能で計測できる。これは医療、自動車、航空、エレクトロニクス、ソーラ、MEMS製造、データストレージ、汎用製造工程、精密加工などの産業で有用である。

ブルカーの3D光学顕微鏡は、64-bitマルチコア動作解析ソフトウエアと白色光干渉法ハードウエアを組み合わせて、広い視野でオングストロームから

ミリメートルまでの垂直範囲に対応している。同社のシステムは、ベンチトップ装置から完全自動多目的システムまでをカバーする。これらは製造現場で使うために免震台と自己較正機能が組み込まれている。

「共通アプリケーションには、自動車用コンポーネント、精密加工面、光学素子・光学システム、MEMS、薄膜と厚膜、半導体、データストレージコンポーネント、それに医療機器が含まれる」とブルカーのマーケティング情報管理者、スティーブ・ホプキンス(Steve Hopkins)氏は言う。

同社のNPFLEX 3D光学顕微鏡は、整形外科用インプラントや、航空、自動車、精密加工業界でごく普通に見られる大きな独特の部品など、大きなサンプルの表面計測を目的にしている。同システムは開放ガントリデザインとなっており、表面へのアクセスは300°が可能であり、高さ13インチのサンプルの微視的特徴、巨視的特徴に対処できる。回転光学ヘッドの選択により、湾曲度の強いサンプルや傾斜のついたエッジを詳細に見ることができる。また、対物レンズの衝突緩和システムは、起こりうる接触損傷を無くしている。

日本のオリンパスは、1919年会社設立以来、顕微鏡製造を行っている。同社は、光計測とイメージングアプリケーション向けに産業用顕微鏡システムを製造している。同社の装置は、基本的な実体顕微鏡から、複合顕微鏡、倒立顕微鏡、先進的な光学デジタル顕微鏡までの範囲がある。

同社の装置の利用は、製造、金属や合金の分析、代替エネルギー、航空、自動車、高レベル品質保証や品質コントロール、表面計測・検査、穀物分析、粒子検査を含む、とオリンパスのマーケティングマネージャー、デイビッド・ライドアウト(David Rideout)氏は説明している。

オリンパスのレーザスキャニング共焦点顕微鏡、LEXT OLS4100は、ライドアウト氏の説明によると、表面の特徴を10nm分解能で非接触3D観察と計測を可能にする。同装置は、デュアル共焦点システムをベースにしており、異なる反射特性を持つ材料で構成されるサンプルからの画像を捉えることができる。

レーザイメージングに加えて、この顕微鏡は白色LED光と高い色忠実度のCCDカメラを用いてカラー画像を生成し、それを3Dレーザ画像に重ねて3Dサンプルを表示する。高NAの対物レンズと、405nmレーザ用に設計した光学システムにより、この顕微鏡は凹凸面の微小粗さだけでなく、鋭角サンプルも計測できる。アプリケーションには、半導体コンポーネント、フラットパネルディスプレイ、MEMSの製造、材料加工が含まれる。

自動化

多くの顕微鏡メーカーが、それぞれの装置で多様なレベルの自動化ハードウエアとソフトウエアを出しているが、英プライアー・サイエンティフィックは自動化コンポーネントとシステムの製造に全力を尽くしている。

同社のマーケティングと宣伝を担当しているジョン・コメソ(John Commesso)氏によると、顕微鏡ステージの全カテゴリ、HTシリーズは、硬度試験用に開発したシリーズだ。これらのステージの移動範囲は250×150mm、積載量は最高100kg。金属サンプルのテストで生じた高負荷に硬度試験機が耐えられるようになっており、試験機はサンプルに精確な凹凸模様を作り出し、イメージングソフトウエアと連携して硬度マップを作成することができる。

プライアーの自動ステージは顕微鏡に使用してナノメートルからマイクロンメートルまでの薄膜の一貫性を自動判定する。ここでは、薄膜の厚さ計測はサンプルの干渉パターンを収集する必要がある。これらの計測は、光学部品、半導体デバイス、薄膜太陽電池およびその他のデバイスで膜厚をチェックするのに使用される。

フーリエ変換IR(FTIR)分光計では、材料サンプルからの反射または透過スペクトラムの吸収計測を既知の材料のライブラリと比較し、テスト材料を特定することができる。顕微鏡ステージとフォーカス装置は、コメソ氏によると、ここでは自動スキャニングにも使用される。

カメラとオプティクスとともにフォーカスモータとステージを使って多様な焦点位置で大量の画像を撮る技術を拡張被写界深度(EDF)技術と言うが、一般検査用では、この技術によってユーザは大量の画像を合成写真として表示することができ、効果的に3D画像を作成することができる。EDF技術の産業利用は、金属顕微鏡で利用し、材料の応力、歪、疲労を分析する。顕微鏡ステージの自動化を利用する他のEDFアプリケーションには、3D表面イメージング、表面地形、結晶学、溶接検査が含まれる。

プライアー・サイエンティフィックのx-yステージは、ソフトウエアツールと組み合わせて、高解像度で撮った多数の画像を「縫い」合わせ、高解像度モザイク画像を創る。これは、顕微鏡の視野を超えるサイズの部品を検査するためである。高解像度画像は欠陥の発見と特定に役立つ。また、精密加工からナノマニファクチャリングまでのプロセスで角度や半径の計測に使用する。

LFWJ