

CNC 画像測定システム「NEXIV VMZ-H3030」 の開発

山本健一*, 門元伸吾*, 森田喬之**

Development of “NEXIV VMZ-H3030” CNC video measuring system

Kenichi YAMAMOTO*, Shingo KADOMOTO* and Takayuki MORITA**

ニコンは2018年に CNC (computer numerical control) 画像測定システムの高精度モデルとなる NEXIV VMZ-H3030 を発売した。VMZ-H3030 は、前機種 VMR-H3030 に比べて、新しい倍率の光学ヘッド (タイプ 4 : 4~60×) が選択可能となり、高倍ヘッド (タイプ TZ : 1~7.5×/16~120×) に長作動距離と高 NA を両立した新しい対物レンズを採用している。さらに、3 種類の入射角度に対応した 8 分割リング照明、薄い透明体の検出を可能とした TTL (through the lens) レーザーオートフォーカスを搭載している。

VMZ-H3030 の XY ステージは、前機種 VMR-H3030 より V-F (フラット) ニードルローラーガイド、Y 軸にデュアルリニアエンコーダーの構造を継承している。寸法測定ソフトウェアは新しくなり、位置や角度がずれていても検出可能な回転サーチ、マップ測定、検査成績書作成機能が追加された。

これらの技術により VMZ-H3030 は、様々な測定対象 (金型、各種電子部品、微細パッケージ基板、ウェーハパターン等) の高精度な測定の要求に応えることができる製品となっている。

Nikon released the “NEXIV VMZ-H3030” CNC video measuring system, a high accuracy model, in 2018. Compared to the previous model, VMR-H3030, VMZ-H3030 has a new optical head Type 4, whose magnification can be selected (4 to 60×). A new objective lens that combines a long working distance and high NA with a high-magnification head Type TZ (1 to 7.5×/16 to 120×) has been adopted. Furthermore, it has been equipped with 8 division ring illumination corresponding to 3 kinds of incident angles and TTL (through-the-lens) laser auto focus that enables detection of thin transparent objects.

The XY stage of VMZ-H3030 inherits the V-F (flat) needle roller guide from the previous model, VMR-H3030, and the dual linear encoder structure on the Y axis. The dimension measurement software has been newly developed, and functionalities for rotation search, map measurement, and inspection report preparation have been added that remain operational even if the position or angle is deviated.

With these technologies, VMZ-H3030 is a product that can meet the requirements for high accuracy measurement of various objects (molds, various electronic parts, micro package substrates, wafer patterns, etc.).

Key words CNC 画像測定システム, 位相フレネルレンズ, レーザーオートフォーカス, 高精度ステージ, 寸法測定ソフトウェア
CNC video measuring system, phase Fresnel lens, laser auto focus, high accuracy stage, measurement software

1 はじめに

CNC (computer numerical control) 画像測定システムは、電子部品や機械部品の微細形状の測定に広く使用されている。

ニコンでは CNC 画像測定システムを NEXIV の名称で以下のシリーズを販売している。

- VMZ-R シリーズ : スタンダードモデル
- VMA シリーズ : 広視野モデル
- VMZ-K シリーズ : コンフォーカルモデル
- VMZ-H3030 : 高精度モデル

この中で高精度モデル VMZ-H3030 は 2018 年より販売を開始し、量産機を出荷している。VMZ-H3030 の主な測定対象としては、金型、各種電子部品、微細パッケージ基板、ウェーハパターン等がある。

本稿では、VMZ-H3030 について、前機種 VMR-H3030 より進化した光学系、照明、レーザーオートフォーカス (AF)、寸法測定ソフトウェア及び、前機種より継承した高精度ステージに関して述べる。

* 産業機器事業部 開発部
** 光学本部 第一設計部

2 CNC 画像測定システムの特徴

測定顕微鏡や投影機などの従来の光学測定機は、被測定物を拡大して非接触で高精度に測定できる特徴を持つ。それらの光学測定機の特徴に加えて、CNC 画像測定システムは、画像処理と CNC 制御ステージ、CNC 制御調光、オートフォーカス等により、自動化、高精度化、高速化を実現している。

3 VMZ-H3030の概要

VMZ-H3030は、XY ステージとその上部に Z 軸で上下する顕微鏡の光学系を備えた光学ヘッドを搭載している。光学ヘッドは倍率により 5 種類から選択可能である。前機種 VMR-H3030より進化した点を以下にあげる。

- タイプ 4 光学ヘッド（光学倍率：4～60×）追加
- タイプ TZ 光学ヘッドに高 NA (0.6) の対物レンズを採用
- 光源に白色 LED を採用した垂直落射照明、透過照明
- 3 種類の入射角度に対応した 8 分割リング照明
- 薄い透明体の検出を可能としたレーザー AF
- XGA（高画素）カメラのオプション追加
- Z ステージの新駆動系による低速での操作性改善
- 回転サーチ、マップ測定、検査成績書作成機能の追加された新しい寸法測定ソフトウェア

高精度な XY ステージは V-F（フラット）ニードルローラーガイド、デュアルリニアエンコーダーを使用した構造を前機種 VMR-H3030より継承している。

安全規格は、最新の EC 機械指令、EMC 指令、RoHS 指令、SEMI S2/S8に対応している。

Table 1 に VMZ-H3030の主な仕様を、Fig. 1 に外観を示す。

4 VMZ-H3030に搭載されている技術

(1) 光学系

1) NEXIV シリーズに搭載されている光学技術

一般に画像測定システムの光学性能として特に重要なのが低ディストーション（歪曲収差）と高いテレセントリック性、コマ収差低減である。

ディストーションとは Fig. 2 のように測定対象を画面内で歪ませる収差で測定精度に大きく影響するものである。

テレセントリック性は画像のピントずれにおける測定精度の悪化に影響するものである。テレセントリック性の高い光学系では焦点位置から外れてボケてしまった画像でも点像の強度分布重心位置が変化することを抑え、測定誤差を小さくすることができる。Fig. 3 は物体側がテレセントリックな光学系である。物体が O から P に動いてピントが

Table 1 Specifications of VMZ-H3030

| | |
|-----------------|---|
| 形式 | シングルコラム XY ステージ形 |
| ストローク (X, Y, Z) | 300×300×150 mm |
| 最小表示単位 | 0.01 μm |
| 被検物最大質量 | 30 kg（精度保証値：10 kg） |
| 精度保証環境 | 20°C ± 0.5 K |
| 駆動最高速度 XY/Z | 100 mm/s/50 mm/s |
| 駆動最低速度 XY/Z | 0.01 mm/s/0.001 mm/s |
| 測定精度 | $E_{UX,MPE}, E_{UY,MPE}: 0.6 + 2L/1,000 \mu m$ $E_{UXY,MPE}: 0.9 + 3 L/1,000 \mu m$ $E_{UZ,MPE}: 0.9 + L/150 \mu m$ |
| カメラ | VGA 1/3" B/W/ カラー XGA 1/3" B/W/ カラー (カラーカメラはタイプ 1, 2, 3のみ対応) |
| 光学ヘッド：光学倍率 | タイプ 1：0.5～7.5× タイプ 2：1～15× タイプ 3：2～30× タイプ 4：4～60× タイプ TZ：1～7.5×/16～120× |
| AF | TTL レーザー AF/画像 AF |
| 照明 | タイプ 1, 2, 3, 4：垂直落射、透過、8 分割リング (タイプ 1, 2, 3 は 3 角度、タイプ 4 は 1 角度) タイプ TZ：垂直落射、透過、暗視野 ※全系統白色 LED 光源 |
| 供給電源 | AC100～240 V 50/60 Hz |
| 消費電流 | 5 A ～ 2.5 A |
| 外観寸法 (W×D×H) | 1,000×1,100×1,750 mm |
| 質量 | 約 500 kg |
| 設置寸法 (W×D) | 3,000×2,800 mm |
| 精度規格 | ISO10360-7 |



Fig. 1 View of VMZ-H3030¹⁾

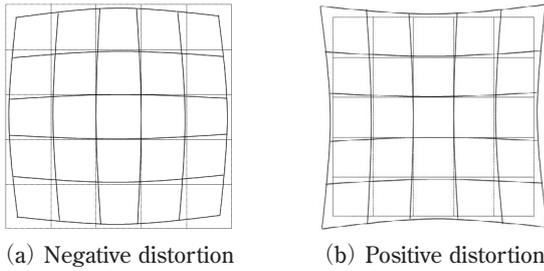


Fig. 2 Distortion

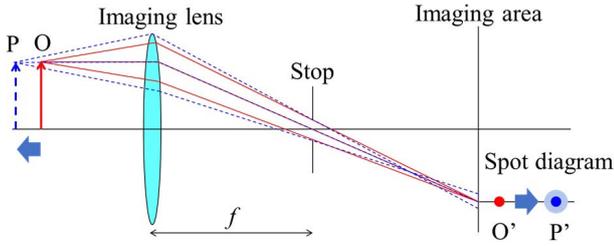


Fig. 3 Telecentric optical system

ずれてしまっても撮像面上の重心はほとんど変化しないことが分かる。

これによりテレセントリック光学系では Fig. 4 のように高さのある測定対象でもエッジ位置がシフトせず測定できる。

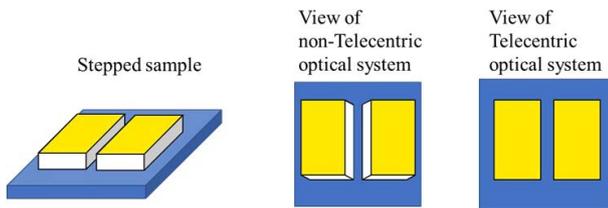
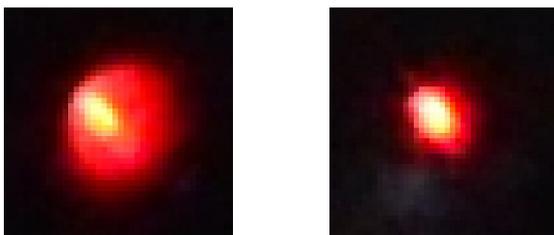


Fig. 4 Comparison of Telecentric optical system

重心変化抑制にはコマ収差の低減も肝要である。光学系にコマ収差があると、焦点からずれたとき点像の重心がシフトして測定誤差が生じる。Fig. 5 はピンホール画像であり、コマ収差が (a) 大きいものと (b) 小さいものを比較している。コマ収差が大きい場合には画面右下側に光量分布が尾を引き、ピンホール像の強度分布重心が右下側にシフトしていることが分かる。



(a) Large coma aberration (b) Small coma aberration

Fig. 5 Comparison of coma aberration

コマ収差は設計値に加え組立時のレンズ偏心などでも生じるため、製造時においてズーム倍率ごとに光学系の偏心

を抑えた調整が必要である。

NEXIV シリーズでは以上のディストーション、テレセントリック性、コマ収差に配慮した設計、製造がなされ高精度な測定が可能になっている。

2) VMZ-H3030で更新された光学技術

さらに VMR-H3030 から VMZ-H3030 への移行で光学系では以下の項目が更新された。

(1) VMR-H3030 におけるタイプ 1～3 光学ヘッドに対しタイプ 4 光学ヘッドを追加した。これにより作動距離 30 mm と高い NA (0.465) を確保しつつ、測定の倍率域が高倍側に拡大された。段差があり作動距離が必要なワークの測定において、これまでよりも微細な領域の測定が可能になっている。

(2) タイプ TZ 光学ヘッドでは位相フレネルレンズを使用する対物レンズを採用したことで色収差の低減を有利に行うことができ、一般にトレードオフの関係にある作動距離の確保と高 NA と収差の低減を両立することが可能になった。その結果作動距離は従来の 9.8 mm から 11 mm に長くなり、NA は 0.55 から 0.6 へと大きくなったことで解像力が向上し、さらに高精度な測定が可能になっている。

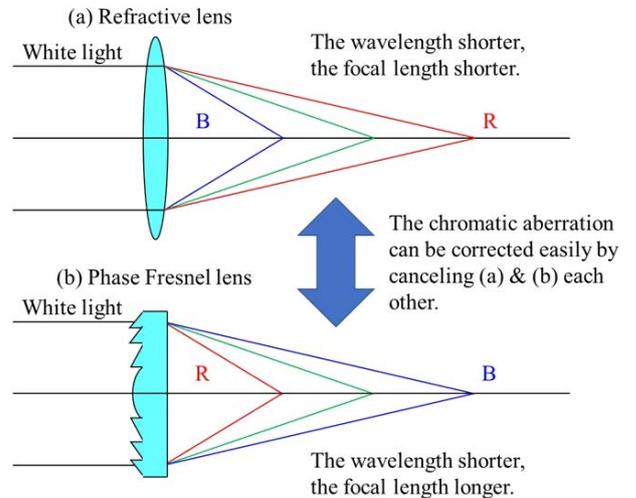


Fig. 6 Effect of Phase Fresnel Lens

(2) 照明

1) 光源に白色 LED を採用した垂直落射照明、透過照明

VMZ-H3030 は、垂直落射照明、透過照明、8 分割リング照明の 3 系統の照明を搭載し、それぞれ CNC 制御で調光可能であり、被測定物に応じて使用する。

一般的には、被測定物の外形、貫通した穴、ガラス基板上のパターン等、透過照明で検出可能なものは透過照明を使用し、透過光で検出できない場合は、垂直落射照明を使用する。

VMZ-H3030 の垂直落射照明、透過照明の光源は、前機種のはロゲンランプから白色 LED に変更し、低消費電力、長寿命、高速応答などを実現している。

2) 3種類の入射角度に対応した8分割リング照明

8分割リング照明は、垂直落射照明では捉えられないエッジ検出に有効で、セラミック基板、プリント基板などの測定に使用される。

VMZ-H3030のType1, 2, 3の光学ヘッドに搭載される8分割リング照明は、光源には白色LEDを使用し、測定面に対する入射角度を、前機種種の37°、78°に55°を追加し、3種類に設定可能としている (Fig. 7)。

Fig. 8 に垂直落射照明条件の画像を、Fig. 9 にリング照明条件で入射角を切り替えた場合の画像を示す。リング照明条件の入射角55°の場合、被測定物の凸部の下側のエッジが検出できていることが分かる。

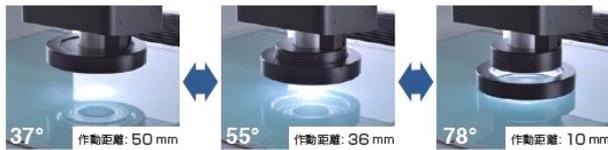


Fig. 7 View of the 8 segments ring illumination²⁾

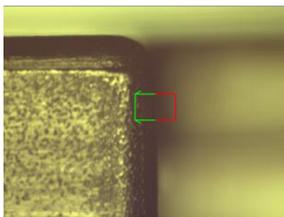


Fig. 8 Image of sample under the vertical episcopic illumination conditions

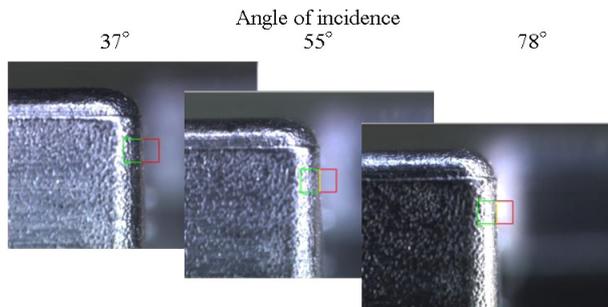


Fig. 9 Images of sample under the 8 segments ring illumination conditions

(3) 薄い透明体の検出を可能としたレーザー AF

VMZ-H3030では、被検物の高さのばらつきによるピントずれを防ぐためのオートフォーカス (AF) 機能として、ナイフエッジ方式の TTL (through the lens) レーザー AF と画像 AF を搭載している。XY ステージを一定速スキャンさせて、合焦位置を目標に Z 軸を追従駆動しながら連続的に高さ測定をする像レーザー AF の機能も搭載している。

Fig. 10 にナイフエッジ方式の TTL レーザー AF の構造を、Fig. 11 にその検出信号の処理を示す。A-B のゼロクロスを検出することにより、表面を検出可能であることを示している。

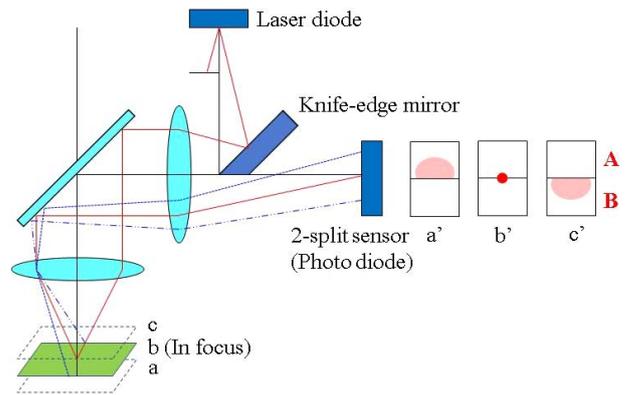


Fig. 10 Principle of the Knife-edge focusing method

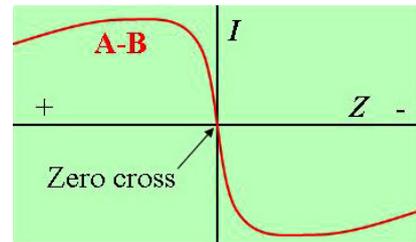


Fig. 11 Relationship between detection signal and Z coordinate

VMZ-H3030は、改良した受光センサーと検出アルゴリズムを搭載することにより、前機種 VMR-H3030では困難であった厚さ 0.1 mm の透明体の厚さ検出を可能としている。

(4) 高精度ステージ

1) 概要

VMZ-H3030は、XY ステージの構造を前機種 VMR-H3030 より継承している。Z ステージは駆動系の見直しにより、最低速を 0.001 mm/s とし、低速での操作性を改善している。

一般的にリニアエンコーダーを用いた測定機のステージではアッペの誤差が、最大の誤差要因となる。ステージの角度誤差を $\angle\theta$ 、測定軸とリニアエンコーダーの距離を L とすると、アッペの誤差は以下の式となる。

$$E_{Abbe} = L \times \angle\theta$$

NEXIV の場合は系統的な誤差を補正するため、ステージの走り誤差 (ピッチング、ヨーイング、ローリング) のロストモーションが $\angle\theta$ となる。

2) V-F ニードルローラーガイド

VMZ-H3030が搭載している V-F (フラット) ニードルローラーガイドは、ステージの下側のフレームに V 溝とフラット面を、上側のフレームに凸 V 形状とフラット面を精密に研削加工し、その間に多数のニードルローラーを配置している。一般的なレールを取り付けるタイプのリニアガイドにあるような、取り付けボルトによるレールの変形等

がないため高精度である。

これによりステージの走り誤差を極力抑え、アッペの誤差の式で $\angle\theta$ を小さくし、アッペの誤差を小さくしている。

Fig. 12 に V-F ニードルローラーガイド部の写真を示す。

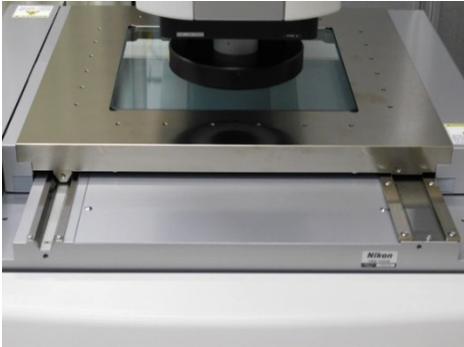


Fig. 12 V-F guide mounted on VMZ-H3030

3) デュアルリニアエンコーダー

X 軸では、リニアエンコーダーを光学ヘッドの光軸の直下の真横に配置している。一方で Y 軸は X 軸の上であり光軸に対して動くため、光軸上にリニアエンコーダーを配置することは不可能である。このため Y 軸ではステージの左右にリニアエンコーダーを配置するデュアルリニアエンコーダーの構造とし、疑似的に光学ヘッドの光軸上にリニアエンコーダーを配置することを実現している。

これにより X 軸 Y 軸とも、ヨーイングに対してアッペの誤差の式で L を小さくし、アッペの誤差を小さくしている。

Fig. 13 に Y 軸のデュアルスケールの原理を示す。

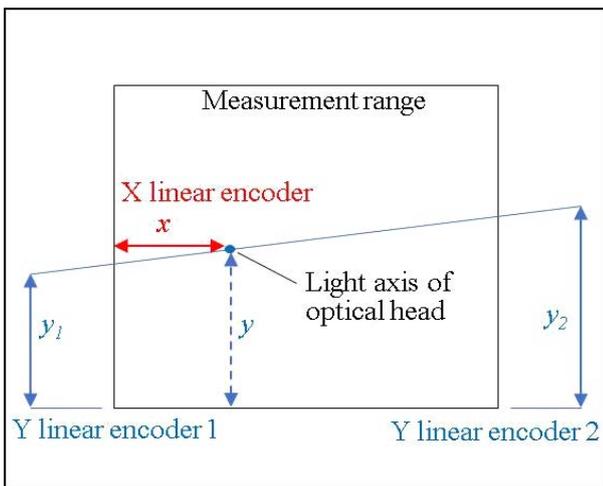


Fig. 13 Principle of Y axis dual linear encoders system

4) 総合精度

VMZ-H3030はISO10360 Part 7に準拠した精度検査を行っている。X 軸 Y 軸の検査には校正された標準尺を使用し、Z 軸の検査には校正されたレーザー測長システムを使用する。Fig. 14 に実際の VMZ-H3030の最大許容単一方向長さ測定誤差 $E_{UX,MPE}$, $E_{UY,MPE}$, $E_{UZ,MPE}$ の検査結果を示す。これは

XYZ 軸各軸方向に 1 軸のみ駆動して測定した場合で、5 つの長さを 3 回ずつ測定した15個の測定値の誤差を点で示し、青色の破線で精度仕様 MPE (maximum permissible error) を示す。点が重なる場合は横にずらして表示している。非常に高い絶対精度と繰返し精度を実現していることが分かる。

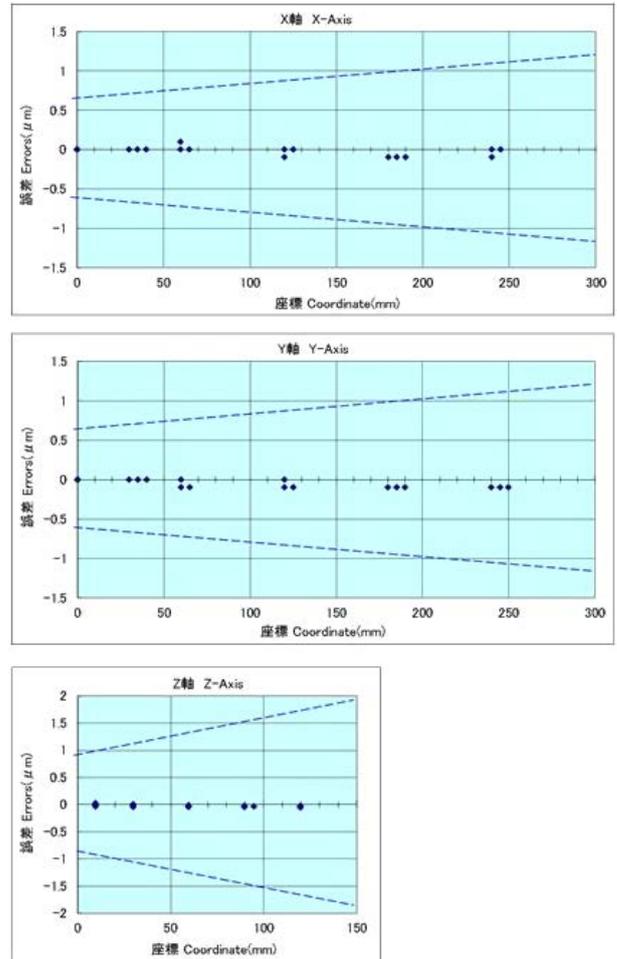


Fig. 14 Inspection certificate of VMZ-H3030

(5) 寸法測定ソフトウェア

1) 概要

VMZ-H3030のアプリケーションソフトウェアは、「寸法測定ソフト NEXIV AutoMeasure」をメインソフトとし、「形状評価ソフト NEXIV Profiler」, 「マップ測定ソフト NEXIV MapMeasure」, 「レポートソフト NEXIV Report」などのオプションソフトで構成される。

NEXIV AutoMeasure は、測定手順を記録したティーチングファイルを作成し、実行することで自動測定を行う。この際、画像処理はサブピクセル処理により、光学系で得た画像のエッジ（明暗の境界）を光学解像力や画素分解能よりも高分解能で検出することができ、高精度な測定が可能となっている。

4 (5) 2) から 4 (5) 4) で新たに追加した機能を説明する。

2) インテリジェントサーチ機能

CNC 画像測定システムにおけるサーチ機能は、あらかじめ登録したパターン形状を探して測定位置を決定し、サンプルの位置ズレや傾きを自動で補正することで、精度よく自動測定することを可能にするものである。

VMZ-H3030では、ニコン独自の画像処理アルゴリズムを用いることで、正確な測定位置を再現し、高精度測定を可能にしている (Fig. 15, Fig. 16)。

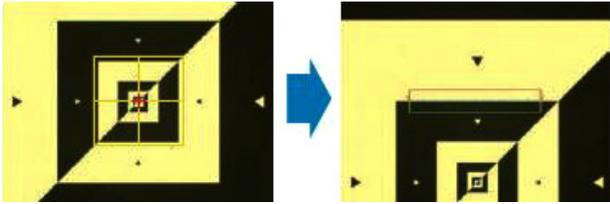


Fig. 15 Automatic detection of workpiece shape by model image²⁾

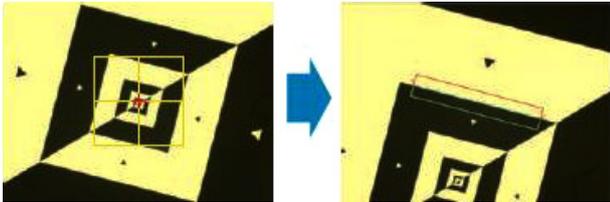


Fig. 16 Detectable even if the position or angle is off (rotation search)²⁾

3) マップ測定

オプションソフトの「マップ測定ソフト NEXIV MapMeasure Pro」では、ウェーハ上やトレイ上のチップ配置を再現したマップパターンを作成することができる。作成したマップパターンを用いることで、任意のチップの測定が容易に可能になり、チップの測定結果を視覚的に確認できる。VMZ-H3030と NEXIV MapMeasure Pro を組み合わせることで、300 mm ウェーハの測定が効率的におこなえる (Fig. 17)。

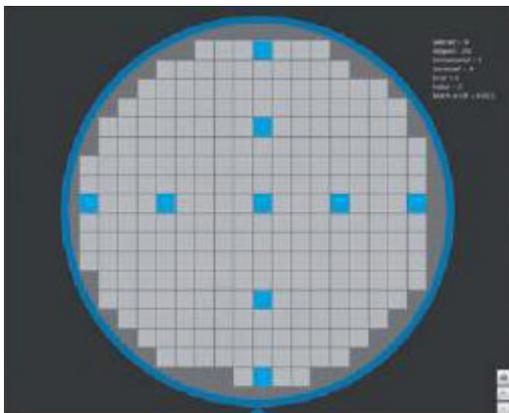


Fig. 17 Map pattern of the wafer²⁾

4) 検査成績書作成プログラム

オプションソフトの「レポートソフト NEXIV Report」は、NEXIV の測定結果から任意の検査成績書を作成することができる。検査成績書のフォーマットには、NEXIV の測定結果データ、測定画像、グラフィックをユーザーが任意の位置に配置することができる。作成したフォーマットを元に、NEXIV の測定終了後に自動で検査成績書が作成される (Fig. 18)。

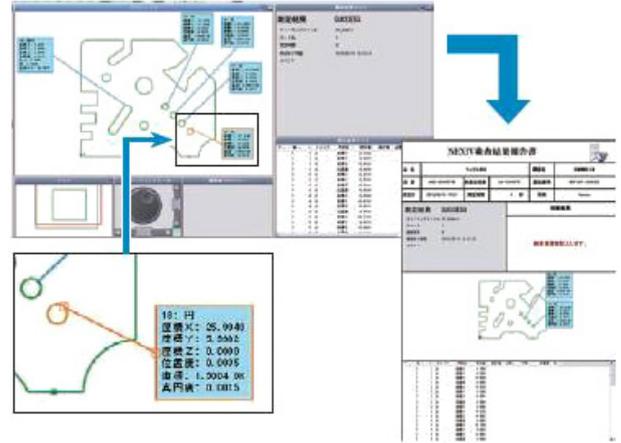


Fig. 18 NEXIV Report²⁾

5 まとめ

NEXIV VMZ-H3030は光学系、寸法測定ソフトウェアが進化し、前機種 VMR-H3030より高精度ステージを継承したことにより、高精度な測定が求められる様々な測定対象（金型、各種電子部品、微細パッケージ基板、ウェーハパターン等）の測定要求に応えることができる製品となっている。

CNC 画像測定システムの市場は、電子部品の進化、工場自動化の要求等により今後も拡大が見込まれる。今後も CNC 画像測定システム NEXIV の開発を通じて、様々な産業の発展に貢献していきたい。

参考文献

- 1) https://www.nikon.co.jp/news/2018/0821_nexiv_01.htm, (2019年7月閲覧)
- 2) NEXIV VMZ-R カタログ, ニコンインステック, <http://www.nikon-instruments.jp/jpn/download/brochures/industrial/>, (2019年7月閲覧)