

# 最先端電子部品向け 高感度超音波検査装置

株式会社 日立製作所

執行役社長兼CEO 東原 敏昭

株式会社 日立パワーソリューションズ

取締役社長 野村 健一郎

(株)日立製作所 研究開発グループ	酒 井 薫
(株)日立製作所 研究開発グループ	宮 本 敦
(株)日立パワーソリューションズ	菊 池 修
(株)日立パワーソリューションズ	北 見 薫
(株)日立パワーソリューションズ	大 野 茂
(株)日立パワーソリューションズ	梅 田 雅通

## はじめに

情報化・電子化社会の進展に伴い、自動車やモバイル機器、デジタル家電の高性能化、多機能化が進んでいる。これらの製品のキーデバイスとなる電子部品の需要は急速に拡大し、市場規模は2018年に7,022億ドル、2023年には8,016億ドルになると予想されている。電子部品には一層の信頼性が求められており、開発・製造現場では内部に潜む剥離、クラック、ボイド等の欠陥を部品を破壊せずに特定する非破壊検査技術が必要不可欠となっている。特に運転支援・自動運転等の電子制御化や電動化が進む自動車では電子部品の欠陥が重大な事故につながる恐れもある。我々は高い信頼性が求められる最先端電子部品の非破壊検査を目的として、より微小な内部欠陥を高速に検出するための高感度な超音波検査の開発を行った。これにより、従来の検査装置では検出困難であった電気特性上の致命性に関わる欠陥を、組み立て前の部品の段階で検出可能とする。電子部品の品質向上により、最終製品の信頼性・安全性の確保を実現する。

## 開発のねらい

電子部品においては回路パターンの微細化や三次元積層化等の高集積化が進んでいる。図1に電子部品の内部構造トレンドを示す。90年代は電子回路パターンが形成されたシリコンチップと実装基板をワイヤで接合する構造が主流であったが、小型化・薄型化の要求を受けて直径30 $\mu\text{m}$ 前後の bumps と呼ばれる微細な電極で接合する構造へ移行した。また、厚さ50 $\mu\text{m}$ 前後のシリコンチップを積層する構造により更なる高集積化が進行した。このような微細化・高集積化の潮流において従来は問題にならなかった微小

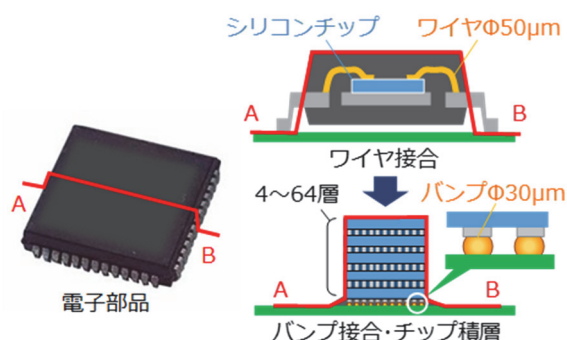


図1 電子部品の内部構造トレンド

欠陥の致命性が高まり、検査装置には部品内部の各チップ面に存在する微小欠陥を高精度に検出することが求められる。このような要求に応えるべく、最新の電子部品に対応した高感度な超音波検査技術の開発を行った。

## 装置の概要

高感度な超音波検査装置を開発し、「FineSAT シリーズ」として市場投入した（図2）。開発装置は二機種であり、一つは電子部品全般を対象とした高分解能検査装置「FineSAT V」である。最高空間分解能  $1\mu\text{m}$  の高精細な画像生成と微小欠陥の自動検出を実現した。主にスマートフォンに搭載される電子部品の量産ラインで適用されている。もう一つは、同等の欠陥検出性能をもち、ウェハの完全自動検査が可能な「Wafer LINE」である。主に車載向け MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）製造ラインにおいて積層ウェハの接合面全数検査に適用されている。



高分解能検査装置「FineSAT V」



インライン検査装置「Wafer LINE」

図2 開発した超音波検査装置の外観

超音波を発生する超音波プローブ（探触子）の外観と検査原理の概要を図3に示す。プローブから発生した超音波を検査対象である試料に水を介して照射する。超音波は試料中を伝搬し、音響インピーダンス（超音波の通りにくさ）の異なる物質の界面や、接合不良箇所等の欠陥部で反射波が生じる。プローブを走査しながら超音波の照射と反射波の受信を繰り返し、反射波強度を明度値に変換することで検査画像を生成する。一般に欠陥部からの反射波は正常部からの反射波と比べて強度が大きくなるため、明るい領域を欠陥として検出することができる。

## 技術上の特徴

超音波画像の空間分解能を向上し、欠陥判定性能を劇的に向上する検査技術を開発した。開発技術の特徴は大きく下記2点である。

### 特徴1：検査画像の高分解能化

複雑な回路パターンの中から微小欠陥を検出するには、検査画像の高分解能化が不可欠である。新型超音波プローブに代表されるハードウェア開発に加え、ソフトウェア処理による高分解能化により、大幅な分解能向上を実現した。



図3 超音波プローブと検査原理の概要

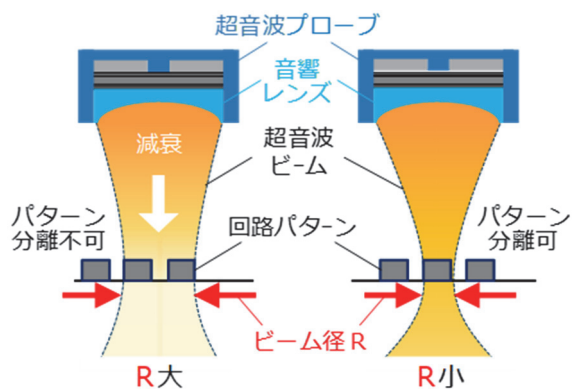


図4 超音波プローブと分解能の関係

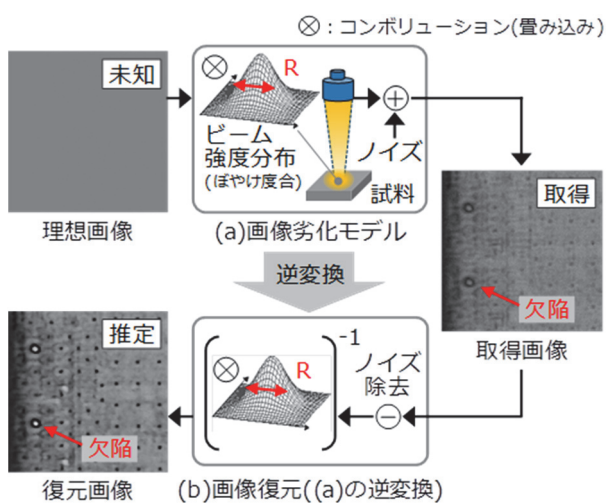


図5 画像復元

検査画像における分解能劣化の主要因は超音波ビームの拡がりや試料内部における超音波の減衰である(図4)。音響レンズ形状の最適化等によってビーム径を縮小すると共に、減衰の大きい高周波成分の超音波強度を向上する超音波プローブを開発してきた。

一方、ハードウェア改良による性能向上は物理的な限界が近づいており、技術的なブレークスルーが求められていた。この要求に対し、プローブの周波数特性を用いてビームの拡がりによる画像のぼやけ度合いを推定し、逆変換(デコンボリューション)により鮮鋭化する画像復元技術を開発した(図5)。装置ユーザの検査要求別にカスタマイズした100種類以上の多様な超音波プローブに対して物理モデルに基づく高分解能化を行い、最小欠陥検出能力 $1\mu\text{m}$ を実現している。

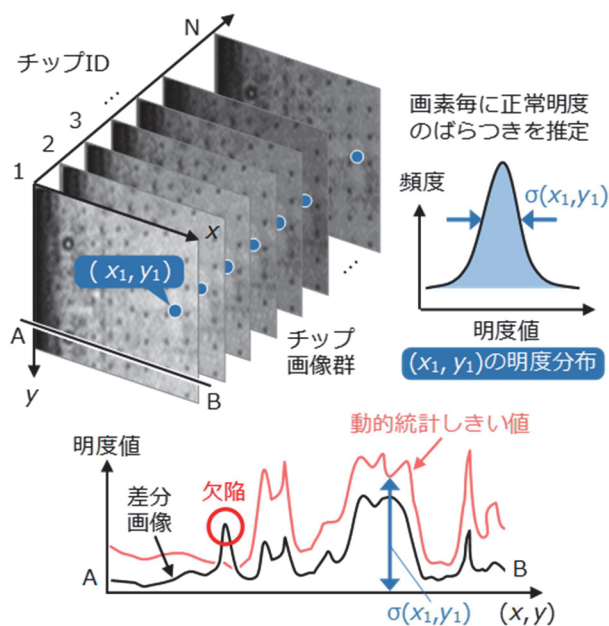


図6 動的統計しきい値による欠陥自動判定

### 特徴2：ウェハ面内の高感度欠陥自動判定

特にMEMSに代表される車載向け電子部品においてはウェハの状態での全数検査を行う必要がある。一方、検査画像の目視による欠陥判定は、膨大な検査時間を要し、生産性の低下に直結する。これに対し、画像処理技術の強化によって実効性のある高感度な欠陥自動判定を実現した。

従来の欠陥自動判定では予め用意した正常な回路パターンの画像と検査画像との差分画像を求め、あるしきい値よりも差分が大きい箇所を欠陥として検出していた。しかしながら、正常部であっても配線パターンは製造公差内で変動するため、一定値で両者を高精度に分離することは非常に困難であった。加えて、検査画像にはノイズ等の揺らぎも存在する。そこで、正常値の統計ばらつきを推定し、しきい値をウェハ面内で画素毎に動的に変更することで欠陥判定精度を向上した(図6)。ウェハには、後に切断されチップとなる同一の構造をもつ回路パターンや機械部品が規則的に配置されている。この点に着目し、複数チップ内の同一座標の回路パターン群から正常パターンの統計ばらつきを推定できると考えた。これにより誤判定を大幅に低減し、製造公差に近い $10\mu\text{m}$ の微小欠陥が検出可能となった。

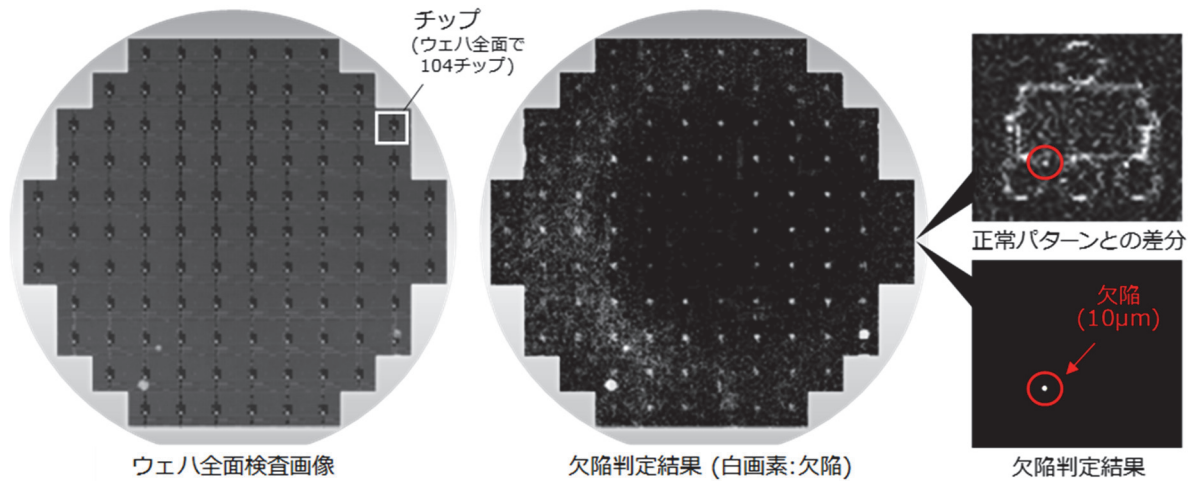


図7 ウェハ全面検査例

## 実用上の効果

本技術をウェハ全面検査に適用した例を図7に示す。微小欠陥に対する検査感度が大幅に向上し、欠陥の多くがウェハの左側に三日月状で分布する傾向が確認できる。本例は量産立ち上げ時のウェハであることから欠陥が多発しているが、本解析結果をプロセス条件にフィードバックして面内均一性を改善することで、安定した量産フェーズへと迅速に移行することが可能となる。

機種別では、主にスマートフォン、タブレット等のモバイル機器やパソコン向け電子部品の検査に高分解能検査装置「FineSAT V」が用いられている。最先端電子部品の製造をリードするデバイスメーカーで設計・開発時の欠陥発生メカニズムの解析に用いられ、IoT 関連製品の品質と安定供給を支えている。また、インラインウェハ検査装置「Wafer LINE」は、国内の主要 MEMS メーカーにおいて広く採用されており、特に高い信頼性が求められる車載向け MEMS ウェハのインライン全数検査に用いられている。車載電子部品メーカーでは加速度センサを始めとして自動車1台あたり数十種類、百個以上の電子部品に対して検査が行われており、故障に繋がる可能性のある電子部品の市場流出防止と、最終製品の信頼性を保証している。また、コンシューマ機器、産業機器向け無線通信用モジュール部品の全数検査に適用されている。更に、構造の複雑

化が進む最新 CMOS イメージセンサにおける検査への適用も計画されている。CMOS イメージセンサはスマートフォン向けカメラから運転支援システム向け車載カメラ、異常検知や監視を目的としたセキュリティカメラ等、幅広い分野への活用が見込まれており、安全性の観点からスマートシティの実現に貢献する。

## 知的財産権の状況

本開発に関する特許登録(代表)は下記の通り。

日本国特許第 6546826 号

名称：欠陥検査方法、及びその装置

概要：複雑パターン構造をもつ積層ウェハにおける微小欠陥の検出方法

同内容で、米国、韓国、台湾においても特許登録済。ドイツ、中国に出願中。

## むすび

最先端電子部品における難度の高い検査ニーズに応える超音波検査装置「FineSAT シリーズ」を開発した。ハードウェア、ソフトウェア開発の両輪により、飛躍的な画像の高分解能化と欠陥自動判定の高精度化を実現した。今後もモノづくりの現場を“見る”技術で支え、安心・安全なスマート社会の構築にワールドワイドで貢献していく。