

## 半導体の微小欠陥の正確な検出を可能にする、AI活用のイメージング

ブルーノ・メナード、ブラッド・フィニー

ますます微細化していく半導体を取り扱うメーカーは、全体的な検査時間を増加させることなく、工程のさらに多くの箇所での検査を行う必要がある。

2021年に始まった世界規模の半導体不足は、いまだ世界に影響を落とし続けている。それは、民生エレクトロニクス、運輸、防衛、通信、さらには重工業に至るまでの多岐にわたる業界に衝撃を与えた。自動車メーカーは、生産計画の見直しを余儀なくされ、民生

エレクトロニクス企業は、製品発売の延期や中止に見舞われた。2022年の報告書<sup>(1)</sup>によると、半導体不足によって、製造リードタイムは平均で3~4か月から10~12か月に増加したということだ。

何千億ドルもの収益の減少<sup>(2)</sup>と機会

の喪失を受けて、最も重要であるにもかかわらず見過ごされている業界の1つに、さらなる注目が集まるようになった。さまざまな市場と国が、半導体製造問題の範囲と原因に折り合いをつけると同時に、解決策を積極的に模索し始めた。



図1 半導体製造工場(ファブ)で設計されるチップのノードはますます微細になり、歩留まりはますます高くなっている

## さらに大きなビジョンとはるかに小さなソリューションへの投資

その解決策の1つが投資である。複数の情報筋が、半導体業界は2030年までに1兆ドル規模に達すると予測しており、そうなれば、半導体は世界5大産業の1つになる<sup>(3)</sup>、<sup>(4)</sup>。その状態に達するには、巨額のインフラ投資が必要である。

この成長の1つの要因になるのが、米国半導体業界によるリーダーシップ奪還に向けた動きである。現在、米国で製造された半導体は、世界合計の12%しか占めていない。その割合は、わずか30年前の37%という高い水準から低下している<sup>(5)</sup>。しかも、その縮小した製造規模の中で、その大半は、最先端の小さなノードサイズ(10nm未満)のチップではない。米政府は、この状況を変えなければならぬと判断し、CHIPS and Science Act of 2022の下で、研究、インフラ投資、サプライチェーン強化を推進するための新たなレベルの大規模投資を確約した<sup>(5)</sup>。

半導体製造インフラに対する大規模投資は、半導体製造工場(ファブ)そのものだけでなく、それらのチップを可能にする装置を製造する多くのメーカーにまで波及することになると考えられる。半導体製造に使われる露光システムやフォトリソグラフィ装置の他、製造工程の主要段階の評価に使われる検査装置も、大きく成長することが予想される。

それと同時に、イノベーションに対する要求(ノードの微細化と歩留まりの向上)も、加速することはないにしても、同じペースを維持することになるだろう。それは、たやすいことではない。ムーアの見解はもはや、かつてのような「法則」ではなくなっているが、それでも急速な進歩は続いている。台湾TSMC社(Taiwan Semiconductor Manufacturing Company)などのファブは、(性能を向上させつつ)チップサイズの縮小と消費電力の低下を実現する、さらに微細なノードプロセスを開発することによって、その競争力をア

ピールしている<sup>(6)</sup>。

フィーチャサイズをさらに小さく、性能をさらに高くするための取り組みは、回路設計を定義するマスクだけでなく、集積回路、配線、スイッチ、被覆など、プリント回路基板(PCB)を構成するコンポーネントを搭載する基板に至るまでのすべてに及ぶ。これは、ほんの小さな欠陥であっても、シグナルインテグリティやその他の項目を損なう可能性があることを意味する。メーカーは、ナノレベル製造とその先に向けて取り組みを進めていく中で、新しい脆弱性、感受性、欠陥を発見し続けている。その解決策は、製造サイクルのすべての個々の工程で公差を低く抑えることである。

## 主要イネーブラーとしてのイメージングとその課題

半導体製造においては、歩留まりがすべてであり、それによって生産高とコストが決まる。しかし、公差が低く部品が小さくなることは、検査におけ

図2 半導体製造メーカー世界上位5社に名を連ねる米国企業は1社のみである<sup>(7)</sup>

企業	本社	市場シェア
TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company)	台湾新竹	55%
サムスン(Samsung)	韓国ソウル	17%
UMC(United Microelectronics Corporation)	台湾新竹	16%
Global Foundries	米国ニューヨーク州マルタ	7%
SMIC(Semiconductor Manufacturing International Corporation)	中国上海	4%

Source: Nasdaq, 2021

る大きな課題になる可能性がある。ますます微細なジオメトリを扱うメーカーは、欠陥を早期に発見できるように、ウエハから最終PCBまでの工程のさらに多くの箇所では検査を行うことにより、歩留まりを管理する必要がある。重要なのは、全体的な検査時間を増加させることなく、より多くの検査工程を追加し続けていくことである。イメージングシステムは、露光時間を短縮しつつ、より高い分解能を提供しなければならない。

集積回路において、ナノスケールのフィーチャは、一般的に使用される可視波長や、UV波長よりもさらに小さくなる可能性がある。検出と定量化のために必要な精度は、センサの実際のノイズフロアや、根本的な動作原理に近づいていく可能性がある。その解決には、深UVや極UVの照明やイメージングといった、新しいアプローチが必要である。イメージングのさらなる高精度化は、意思決定に向けて画像を解析する、下流のコンポーネント(画像処理ハードウェアおよびソフトウェア)に重圧を与える。

PCBでは、設計と製造の複雑さが新たなレベルに引き上げられるにつれて、材料欠陥はますます微細なものになっていく。メーカーは、破損、摩耗、汚染、破片、気泡など、さまざまな種類の欠陥を検出する必要がある。従来の手動検査や、ルールベースのイメージングでは、その処理に全く対応できない可能性がある。ルールベースの画像処理技術は、形状、色調、コントラスト、テクスチャが多種多様なPCBコンポーネントに適用すると、信頼性に問題が生じる可能性がある。そうになると、従来のアルゴリズムで堅牢な検査システムを構築するのは、実質的に不可能である。そこでメーカーは、AI

(人工知能)機能で従来の方法に足りない部分を補おうとしている。AIアルゴリズムを、欠陥のあるPCBコンポーネントと欠陥のないPCBコンポーネントのさまざまなサンプルでトレーニングすることにより、高い精度でのコンポーネント分類が可能になる。

## 従来の方法から AIイメージングへの移行

ある半導体OEMはこの課題に直面し、同社の自動光学検査(Automated Optical Inspection: AOI)プロセスで検出されない欠陥品が増加した。このOEMはこの問題を解決するために、ルールベースのアルゴリズムとAI機能の両方を組み合わせた新しい検査ソリューションを、AOI装置に実装した。

このAIソフトウェアツールを使用することでそのOEMは、12~14msの

速度での200枚の画像の連続分類で98%、453枚の合格画像と11枚の不合格画像で100%の精度を達成した。

また、1枚の部品画像で複数の欠陥を同時に検索するオブジェクト検出で、20msの速度と、259枚の画像で99.62%の精度を達成することができた。

## 2030年に向けた準備

米マッキンゼー社(McKinsey)は、自動車、演算およびデータストレージ、ワイヤレス通信のわずか3つの業界にけん引されて、半導体使用量が今後10年間で70%近く増加すると予測している<sup>(3)</sup>。どの業界も、効率、性能、デバイスサイズ、そして最も重要なスケールをさらに向上させるための手段を模索することになるだろう。イメージングは、それを実現するための重要な要素になるだろう。

### 参考文献

- (1) D Kaur. Chip shortage: The lack of "chips to make chips" is exacerbating the shortage by another 2 years. June 7, 2022 Techwire Asia. <https://techwireasia.com/2022/06/chip-shortage-the-lack-of-chips-to-make-chips-is-exacerbating-the-shortage-by-another-2-years/>
- (2) M Placek. Projected revenue and production loss of the global automotive industry as a result of the semiconductor chip shortage in 2021. Statista, September 28, 2022. <https://www.statista.com/statistics/1280639/automotive-industry-revenueand-production-loss-forecast/>
- (3) O Burkacky, J Dragon, N Lehmann. The global semiconductor industry is poised for a decade of growth and is projected to become a trillion-dollar industry by 2030. McKinsey & Company, April 1, 2022. <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/the-semiconductordecade-a-trillion-dollar-industry>
- (4) M Hall. ISS 2022: Semiconductor industry market outlook and prospects for reaching \$1 trillion by 2030. Semi, May 9, 2022. <https://www.semi.org/en/blogs/business-markets/iss-2022-semiconductor-industry-outlook-and-prospects-for-reaching-%241-trillion-by-2030>
- (5) Fact Sheet: President Biden signs executive order to implement the CHIPS and Science Act of 2022. US White House, August 25, 2022. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statementsreleases/2022/08/25/fact-sheet-president-bidensigns-executive-order-to-implement-the-chipsand-science-act-of-2022/>
- (6) A Shilov. TSMC details 5 nm process tech: aggressive scaling, but thin power and performance gains. AnandTech, May 8, 2018. <https://www.anandtech.com/show/12727/tsmc-details-5-nmprocess-tech-aggressive-scaling-but-thin-powerand-performance-gains>
- (7) Prableen Bajpai. An overview of the top 5 semiconductor foundry companies, Nasdaq, October 1, 2021. <https://www.nasdaq.com/articles/anoverview-of-the-top-5-semiconductor-foundrycompanies-2021-10-01>

### 著者紹介

ブルーノ・メナード(Bruno Menard)は、加テレダイナダルサ社(Teledyne DALSA)のソフトウェアディレクター、ブラッド・フィニー(Brad Finney)は、同社グローバルセールス/カスタム製品担当ディレクター。