

名古屋大学未来材料・システム研究所の宇治原徹教授、理化学研究所革新知能統合研究センターの杏掛健太郎客員研究員（現名古屋大学未来材料・システム研究所准教授）、グローバルウェーハズ・ジャパン（株）の永井勇太参事、アイクリスタル（株）の高石将輝代表取締役、関翔太取締役技術統括、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング（株）の谷川公一主幹技師らの研究グループは、仮想空間上に構築したデジタルツインを接続して高速に最適化するプラットフォーム（メタファクトリー）を用いて、シリコンウェハーからCMOSイメージセンサー（CIS）を製造するまでの一貫プロセスで全体最適化を行い、最適なプロセス条件を短期間で取得することに成功した。将来の実量産での活用を目指して引き続きファインチューニングを進めていく考えだ。

本件は、NEDO（新

AIでプロセス最適化

グローバルウェーハズ・ジャパンら5者



永井勇太氏

エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務として、2023～24年度に「NEDO先端研究プログラム／新産業・革



高石将輝氏

メタファクトリーを構築して、理研と名大が最適化アルゴリズムの開発を行った。

基板デバイス仮想試作

新技術創出に向けた先端研究プログラム／半導体プロセスメタファクトリー「の基盤技術開発」として行われ、25年3月に終了し、研究成果を3月の第72回応用物理学会春季学術講演会で発表した。

グローバルウェーハズ・ジャパンとソニーセミコンダクタマニュファクチャリングがCISノイズ特性改善をモデルケースとし、アイクリスタルがデジタルツイン（メタフ

「こうした理由から、上流のシリコンウェハーから下流のデバイスまで、製造プロセス全体を一貫して最適化することがますます重要になっているが、企業の壁を越えて、ウェハーとデバイスの製造を一体的に最適化する仕組みはこれまで存在しなかった。プロセスデータやデバイス特性データといった極めて機密性の高い情報を共有したうえで、膨大なプロセスパラ

AIモデルの連携、すなわちメタファクトリーで実現することを目指した」と説明する。

加えて、「俗に『いいウェハー』と呼ばれるものはスペックだけで表現できない。結晶欠陥の分布がデバイス特性をどう左右するかには明確な根拠がなく、非常に曖昧だったが、これを明確化することも狙った」と付け加える。

このようにして構築したメタファクトリーは、理想的な一貫プロセスの条件を短時間で導き出せるようになった。

■製造工程を一貫で最適化

CISをはじめとして、個々のデバイスの製造工程内を最適化するだけでは、改善できる性能に限界がある。加えて近年、デバイス性能を極限まで向上させるには、シリコンウェハー内部の不純物濃度分布や欠陥密度分布をデバイス構造に合わせて適切に作り込む必要があることが明らかに

■AI+人で精度を向上

製造プロセスの全体最適化を実現するため、プロジェクトでは工程ごとにAIモデルを作成し、それを互いに連携させる手法をとった。高石氏は「AIによる伝言ゲームだと考えていただいて相違ない。ウェハーの結晶成長や熱処理、CISの成膜熱処理やイオン注入といった、30ほどある工程ごとにAIモデルを構築し、それぞれをサーバ

■他分野にも応用が可能

加えて、人によるチューニングも行った。「各プロセスの熟練技術者が非常に協力的で、最適解にたどり着くまで細かなアドバイスや惜しみなく与えてくれた。幹部の方々のサポートもあり、若手とベテランが融合し、企業の垣根を超えて密なディスカッションを行うことができた」と永井氏は振り返る。

このようにして構築したメタファクトリーは、理想的な一貫プロセスの条件を短時間で導き出せるようになった。

実際、酸素析出物と呼ばれる微小欠陥の密度分布およびドーパント濃度の分布を理想に近づける最適化をメタファクトリーで行ったところ、最適解を得るまでには通常1万回以上の条件探索が必要で、従来のシミュレーションで行った場合は1年を要するが、メタファクトリーは1万回の条件探索をわずか8時間で完了し、要する時間を約1000分の1に短縮することに成功した。