

AI for Semiconductor Manufacturing オランダ視察

取り扱う AI トピック：

※英語版が後に続きます。

課題	ソリューション
前工程	
成膜プロセスの予測・最適化、および変化する条件へのモデル適応	成膜装置およびウェハの時系列データを用いて、予測、異常予測、継続的なモデル更新、成膜プロセスの最適化を行う。
機密性の高い製造データを直接共有しない AI モデル学習	機密性の高い製造データを直接交換することなく AI モデルを学習できる、連合学習（Federated Learning）手法を開発する。
プロセス変動や確率的影響を考慮したリソグラフィマスク最適化	逆リソグラフィに深層生成モデルを用い、プロセス変動や確率的影響に対してロバストなマスク設計を最適化する。
ノイズを含む SEM 画像からのウェハ内部構造の再構成	物理モデルと深層学習（Deep Learning）を組み合わせ、ノイズを含む SEM 画像からウェハ表面下の構造を再構成する。
少ない試行回数でのプロセス・装置パラメータ最適化	製造プロセスの AI モデルを構築し、高度な最適化手法を用いて少ない試行回数でプロセスおよび装置パラメータを最適化する。
後工程	
先端パッケージングにおけるウェハアライメント	GDS 設計情報に基づく ML によるフィデューシャル検出を用い、サブピクセル精度でウェハの位置と向きを特定する。
ボンディング工程のアライメント最適化	先端パッケージング向けボンディング工程におけるアライメントを最適化するアルゴリズムを開発する。
Hybrid Bonding におけるメカトロニクス条件と接合品質の最適化	物理ベースモデルとデータ駆動 AI を組み合わせたデジタルツインを開発し、Hybrid Bonding のメカトロニクス条件と接合品質を最適化する。
Thermo-Compression Bonding における熱制御の最適化	同じく物理ベースモデルとデータ駆動 AI を組み合わせたデジタルツイン手法を、Thermo-Compression Bonding の熱制御最適化に適用する。
先端パッケージングのプロセス・装置パラメータ最適化	Recipe Builder、Model Predictive Control（モデル予測制御）などの最適化手法を、先端パッケージングのプロセス制御へ適用する方法を検討・開発する。
計測・検査	

計測データからの物性・構造情報の推定	シミュレーションベース推論とデータ駆動モデリングを用いて、半導体イメージング、ウェハ計測、不確かさ定量化を高度化する。
	計測データから試料を再構成する逆問題型 AI モデルや、AI サロゲートモデルと最適化を組み合わせた手法を開発する。ホログラフィや EDS/EDX への応用を含む。
	高倍率顕微鏡と ML を用い、画像データをグレーティングカブラのフィルファクタなどの物理特性と関連付ける。レジスト膜厚や配線インピーダンスへの応用は開発中。
光学計測条件と実験設計の最適化	シミュレーションベース推論とデータ駆動モデリングを用いて、光学計測条件の実験設計を最適化する。
少数の電子顕微鏡投影像からの 3D 再構成	物理情報を組み込んだ AI (Physics-informed AI) を用い、従来 60~120 枚程度必要だった投影像を約 7 枚に削減し、埋もれた 3D 半導体構造を再構成する。
大規模 4D-STEM データの取得・処理・産業化	4D-STEM のデータ取得、DSP、キャリブレーション、大規模回折データ処理パイプラインを統合し、科学計測用検出器技術の産業プラットフォーム化を支援する。
高倍率顕微鏡におけるウェハ反り計測とフォーカス制御	高速オートフォーカスセンシングでウェハ反りを計測し、オフセットスキャンにより異なる高さの構造や透明層下の構造を撮像する。
ナノスケール粒子検出技術の開発	Fourier Ptychography (フーリエ・タイコグラフィ) を用い、10~100 nm 領域の粒子を検出するハードウェア/ソフトウェア・ソリューションを開発中。
微小な高さ変動の計測技術開発	ピック&プレース用途に高速オートフォーカスセンシングを適用し、約 20 nm という微小な距離変動の計測を開発中。
AI による欠陥検出・分類	オフライン/インライン欠陥検査向けに、アノテーション、学習、アルゴリズム展開を行う ML スイートを提供する。
	カメラ、AI モデル、処理基盤を統合した外観検査プラットフォームを提供し、物体検出と欠陥分類を行う。半導体を含む複数産業で適用されている。
	検査画像に AI アルゴリズムを適用し、欠陥を自動で検出・分類する。
顕微鏡・SEM・GDS データを組み合わせた検査	顕微鏡画像と SEM 画像を重ね合わせ、ウェハ設計情報と組み合わせで多層の欠陥マップを作成し、検査ワークフローの最適化を支援する。

装置エンジニアリング・制御	
複雑な半導体装置の機能・構造設計と性能最適化	AI と設計自動化を活用し、半導体製造装置の機能設計、構造設計、性能最適化を行う。
	ハイクテック装置に関するドメイン知識と高度なアルゴリズムを組み合わせ、装置開発・最適化を支援する。
計算負荷の高い物理モデルによる高速予測	物理シミュレーションを模倣する AI サロゲートモデルを構築する。流体力学、電磁気、熱・機械モデルなどの応用で 100 倍以上の高速化実績を報告。
装置セットポイントの最適化	制御パラメータのセットポイントを最適化し、同じハードウェアでより効率的かつ高速な運転を可能にする。
作業依存性を低減した装置キャリブレーション・チューニングの効率化	キャリブレーションやチューニング作業をガイドするツールを提供し、作業時間を短縮するとともに、作業員個人の経験への依存性を低減する。
レガシーソフトウェアと複雑な装置アーキテクチャの理解	AI を活用し、レガシーソフトウェアや複雑な半導体装置アーキテクチャの理解を支援する。
	生成 AI を新規（Greenfield）ソフトウェア開発や、大規模な既存コードベースの保守性向上に活用する。
装置診断・上位制御への AI 活用	AI と設計自動化を装置診断および上位制御に適用する。
装置プロトタイプが完成するまで AI 開発に必要な実機データを取得できないことによる、AI 開発の開始の遅れ	AI とハードウェアを並行開発することで開発期間を大幅に短縮し、装置完成前でも defect detection 性能を踏まえてハードウェア設計を判断できる。
装置保守	
故障の早期予測・予知保全	半導体リソグラフィ装置の事例では、リアルタイム監視、信号処理、AI による異常パターン認識を組み合わせ、リミッターピンの故障を予測する。
	装置のセンサーデータと物理知識を組み合わせ、想定される物理挙動からの逸脱を検知し、故障を早期に特定する。
装置性能に影響を与えない継続監視	ゼロインパクト・ワークロード・スケジューリング（Zero-impact workload scheduling）を用い、重要なマシンドライバ・アーキテクチャ内で装置性能に影響を与えず継続的な診断監視を行う。
従来のセンサーデータだけでは不十分な場合の故障検知	超音波マイクと音響パターン・周波数特性の解析を用いて故障を検知し、潜在的な根本原因を調査する。

製造データ／工程横断 AI	
大量の製造データを用いた問題分析・根本原因分析	装置センサーデータ、技術文書など複数の情報源を統合した産業用チャットボット、根本原因分析（Root Cause Analysis）、診断、異常検知を開発する。これは半導体専用ではなく、一般製造業向けの機能として提示されている。
機密データを装置・工場外へ移動させない AI 活用	アルゴリズムをローカル環境に配置し、機密データを工場や装置の外へ出さずに処理できるようにする。エッジ AI も活用する。
プロセス・材料・装置情報の関係性モデリング	プロセスパラメータ、材料特性、装置特性の関係を表すモデルを構築し、生産チェーン全体の最適化を目指す。
変化する製造条件に適応する時系列 AI モデル	時系列予測、合成データモデリング、連合学習（Federated Learning）、継続的なモデル更新を研究する。

Challenge	Solution
Front-end	
Deposition process prediction, optimization, and model adaptation to changing conditions	Uses time-series data from deposition equipment and wafers for forecasting, anomaly prediction, continual model updating, and deposition-process optimization.
AI model training without directly sharing confidential manufacturing data	Develops Federated Learning methods that allow AI models to be trained without directly exchanging confidential manufacturing data.
Lithography mask optimization under process variations and stochastic effects	Uses deep generative models for inverse lithography to optimize mask designs that remain robust against process variations and stochastic effects.
Reconstruction of subsurface wafer structures from noisy SEM images	Combines physical models with Deep Learning to reconstruct subsurface wafer structures from noisy SEM images.
Process and equipment parameter optimization with limited iterations	Recipe Builder creates AI models of manufacturing processes and applies advanced optimization to optimize process and machine parameters in a limited number of iterations.
Back-end	

Wafer alignment for advanced packaging	Uses ML-based fiducial detection based on GDS design information to determine wafer position and orientation with sub-pixel accuracy.
Bonding-process alignment optimization	Develops algorithms to optimize alignment during bonding processes for advanced-packaging applications.
Optimization of mechatronic conditions and bonding quality in Hybrid Bonding	Develops a Digital Twin combining physics-based models and data-driven AI to optimize mechatronic conditions and bonding quality in Hybrid Bonding.
Optimization of thermal control in Thermo-Compression Bonding	Applies the same physics-based and data-driven Digital Twin approach to thermal-control optimization in Thermo-Compression Bonding.
Optimization of advanced-packaging process and equipment parameters	Explores and develops the application of Recipe Builder, Model Predictive Control, and related optimization approaches to advanced-packaging process control.
Metrology / Inspection	
Inference of physical properties and structural information from metrology data	Uses simulation-based inference and data-driven modelling to advance semiconductor imaging, wafer metrology, and uncertainty quantification.
	Develops inverse AI models that reconstruct samples from measurement data, as well as approaches combining AI surrogate models with optimization, including applications in holography and EDS/EDX.
	Uses high-magnification microscopy and ML to associate imaging outputs with physical properties such as grating-coupler fill factor. Applications to resist thickness and interconnect impedance are work in progress.
Optimization of optical measurement conditions and experimental design	Uses simulation-based inference and data-driven modelling to improve the experimental design of optical measurement conditions.
3D reconstruction from a limited number of electron-microscopy projections	Develops physics-informed AI to reconstruct buried 3D semiconductor structures using approximately seven projection images instead of the conventional 60–120.

Acquisition, processing, and industrialization of large-scale 4D-STEM data	Integrates acquisition, DSP, calibration, and large-scale diffraction-data pipelines for 4D-STEM, supporting the productization of scientific detector technology into an industrial platform.
Wafer warpage measurement and focus control in high-magnification microscopy	Uses high-speed autofocus sensing to measure wafer warpage and offset scanning to image structures at different heights or beneath transparent layers.
Development of nanoscale particle-detection techniques	Develops a hardware/software solution using Fourier Ptychography for particle detection in the 10–100 nm range. Work in progress.
Development of small-height-variation measurement techniques	Investigates high-speed autofocus sensing for pick-and-place applications, targeting distance variations as small as approximately 20 nm. Work in progress.
AI-based defect detection and classification	Provides an ML suite for annotation, training, and deployment of algorithms for offline and inline defect inspection.
	Provides a visual-inspection platform integrating cameras, AI models, and processing infrastructure for object detection and defect classification.
	Applies AI algorithms to inspection images for automated defect identification and classification.
Inspection combining microscopy, SEM, and GDS data	Overlays microscopy and SEM images and combines them with wafer-design information to create layered defect maps and support inspection-workflow optimization.
Equipment Engineering / Control	
Functional and structural design and performance optimization of complex semiconductor equipment	Applies AI and design automation to functional design, structural design, and performance optimization of semiconductor manufacturing equipment.
	Combines high-tech equipment domain knowledge with advanced algorithms for equipment development and optimization.
Fast prediction using computationally intensive physics-based models	Builds AI surrogate models that mimic physics-based simulations. Speed improvements of more than 100× in

	applications involving fluid dynamics, electromagnetics, and thermo-mechanical models.
Equipment setpoint optimization	Optimizes control-parameter setpoints to enable more efficient and faster operation using the same hardware.
More efficient equipment calibration and tuning with reduced operator dependency	Provides tools that guide operators through calibration and tuning processes, reducing completion time and dependence on individual operator experience.
Understanding legacy software and complex equipment architectures	Applies AI to support understanding of legacy software and complex semiconductor-equipment architectures.
	Uses Generative AI for Greenfield software development and for improving the maintainability of large existing codebases.
Application of AI to equipment diagnostics and supervisory control	Applies AI and design automation to equipment diagnostics and supervisory control. The source does not explicitly claim real-time control.
Delay in starting AI development because real-world data required for AI development cannot be collected until the equipment prototype is completed.	By developing AI and hardware in parallel, the overall development time can be significantly reduced. Hardware design decisions can also be made before the equipment is completed, based on their impact on defect detection performance.
Equipment Maintenance	
Early failure prediction and Predictive Maintenance	In a semiconductor lithography-machine case, combines real-time monitoring, signal processing, and AI-based anomaly-pattern recognition to predict limiter-pin failures.
	Combines machine sensor data and physics knowledge to detect deviations from expected physical behaviour and identify failures at an early stage. Practical examples, including semiconductor applications.
Continuous monitoring without impacting machine performance	Uses zero-impact workload scheduling to perform continuous diagnostic monitoring within critical machine-driver architecture.

Fault detection when conventional sensor data is insufficient	Uses ultrasonic microphones and analysis of sound patterns and frequency characteristics to detect faults and investigate potential root causes.
Manufacturing Data / Cross-process AI	
Problem analysis and Root Cause Analysis using large volumes of manufacturing data	Develops industrial chatbots combining machine sensor data, technical documentation, and other information sources, together with Root Cause Analysis, diagnostics, and anomaly detection. This is presented as a general manufacturing capability rather than a semiconductor-specific solution.
AI use without moving confidential data outside the machine or factory	Supports local algorithm deployment so sensitive data does not need to leave the factory or machine environment; Edge AI is also used.
Modelling relationships among process, material, and equipment information	Developing models describing relationships among process parameters, material properties, and equipment characteristics, with the aim of optimizing the production chain.
Time-series AI models that adapt to changing manufacturing conditions	Researches time-series forecasting, synthetic-data modelling, Federated Learning, and continual model updating.