

1 Einleitung

Die Halbleitertechnik ist einer der anspruchsvollsten und höchstentwickelten Industriezweige. Die Anforderungen an Halbleiterbauelemente steigen mit den Erwartungen und Qualitätsansprüchen der Kunden für die Weiterverarbeitung, denn speziell der Einsatz in sicherheits- oder umweltrelevanten Anwendungen verlangt eine hohe Zuverlässigkeit. Dies impliziert eine immer höhere Komplexität der Herstellungsverfahren, die trotzdem mit höchster Präzision und Genauigkeit durchgeführt werden müssen. Die Produktqualität entscheidet dabei über wirtschaftlichen Geschäftserfolg und ist somit ein wichtiger Wettbewerbsfaktor. Doch um konkurrenzfähig zu bleiben, müssen die Innovationen nicht nur von hoher Qualität, sondern gleichzeitig auch kostengünstig produziert werden. Prozessqualität und -stabilität sind demnach entscheidende Faktoren, um die Fertigungskosten zu senken und den Gewinn zu steigern. Für die Gewährleistung einer dazu notwendigen optimalen und stabilen Produktion sind regelmäßige Messungen und Prozesskontrollen essenziell.

Hierfür hat sich der Bereich der Advanced Process Control (APC) in allen Prozessbereichen etabliert, wodurch jede Produktionsanlage in der Fertigung permanent überwacht wird. Wenn ein Wafer fehlerhaft prozessiert wurde, wird dies trotzdem mitunter erst in den abschließenden Tests festgestellt, sodass zwischen den Zeitpunkten des inkorrekten Prozessierens und der Fehlererkennung unnötige Ressourcen (Material, Arbeitszeit, Produktionszeit und -equipment) verschwendet wurden. Eine Messung aller Wafer könnte dies verhindern, ist jedoch aufgrund hoher Kosten für beispielsweise einen erhöhten Bedarf an Messinstrumenten und eine längere Gesamtprozesszeit nicht praktikabel. Deshalb wird pro Los nur eine statistisch signifikante Anzahl real gemessen. Das ist der Ausgangspunkt für die Entwicklung der Virtuellen Messtechnik (VM), die eine vollständige Überwachung aller Wafer nach jedem Prozessschritt ermöglicht. Dazu werden relevante Prozessergebnisse durch hoch entwickelte Algorithmen berechnet und basierend auf historischen Messungen sowie den aktuellen Prozessdaten vorhergesagt.

Bei der Infineon Technologies AG wird am Standort Regensburg im Rahmen der Doktorarbeit von Herrn Benjamin Lenz u. a. ein solches VM-System entwickelt. In dieser zugehörigen Diplomarbeit wird die Thematik geeigneter Algorithmen betrachtet, um entsprechende Vorhersagen berechnen zu können. Das umfangreiche Gebiet des Data Mining als Teilbereich des Knowledge Discovery in Databases (KDD) bietet hierfür eine sehr große Anzahl an Methoden. Um sowohl der Anwendung in der Halbleiterindustrie als auch den mathematischen Gegebenheiten der Daten gerecht zu werden, muss deshalb eine Auswahl möglicher Techniken anhand prozessbedingter Kriterien getroffen werden. Anschließend kann eine Implementierung entwickelt und getestet werden.

Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Analyse, Implementierung und Optimierung von Algorithmen des Maschinellen Lernens zur Vorhersage bestimmter Prozessergebnisse in der Halbleiterproduktion. Hierfür sind zunächst eine Einarbeitung in die Grundlagen der Halbleitertechnik sowie ein Überblick über die laufende Forschung auf dem Gebiet des Data Mining, insbesondere über mögliche Methoden zur Prädiktion (Regressionsverfahren), notwendig. Nach einer Evaluation der Algorithmen anhand geeigneter Kriterien im Hinblick auf die Halbleiterfertigung wird eine Auswahl von Verfahren für die weiteren Untersuchungen getroffen. Für diese gilt es, lauffähige Implementierungen zu entwickeln, diese problemspezifisch zu optimieren und auf klar definierten Daten zu testen. Abschließend sollen die Ergebnisse hinsichtlich der mathematischen Grundlagen sowie der Genauigkeit und Effizienz in Bezug auf die Halbleiterproduktion diskutiert werden.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird eine produktionsfähige Implementierung geeigneter Algorithmen für die Virtuelle Messtechnik bei der Infineon Technologies AG angestrebt.

Gliederung

Dieser Einleitung schließt sich in *Kapitel 2* eine Einführung in die Halbleiterproduktion an. Die kurze Vorstellung des Unternehmens Infineon Technologies AG sowie Erläuterungen grundlegender Begriffe und Prozesse der Halbleitertechnik führen zu dem Konzept der Virtuellen Messtechnik als Einsatzgebiet der nachfolgenden Betrachtungen. In *Kapitel 3* wird der Bereich der Künstlichen Intelligenz, insbesondere die Datenanalyse, beleuchtet. Dafür wird zunächst der weitreichende Umfang des Gebietes Knowledge Discovery in Databases aufgezeigt und dann speziell auf die Methoden des Maschinellen Lernens näher eingegangen. Die Definition notwendiger Fehler- und Bewertungsmaße sowie die Analyse verschiedener Algorithmen hinsichtlich der Eignung als Regressionsverfahren dienen der anschließenden Auswahl jener Verfahren, die sich für die weiteren Untersuchungen als gut geeignet herausstellen. Während hier die Funktionsweisen der drei Algorithmen – Entscheidungsbäume, Support-Vektor-Maschinen und Künstliche Neuronale Netze – beschrieben werden, steht in dem darauffolgenden *Kapitel 4* deren mathematische Modellierung im Vordergrund, um somit aus der Verbindung beider Aspekte in *Kapitel 5* die Implementierung der Algorithmen und weiterer notwendiger Funktionen zu entwickeln. Die Anwendung dieser Methoden auf Testdaten wird in *Kapitel 6* erläutert, gefolgt von einer Aufstellung der somit erzielten Ergebnisse in *Kapitel 7*. Anschließend werden die Resultate in *Kapitel 8* entsprechend den Vorbetrachtungen in den Bereichen Mathematik und Halbleitertechnik diskutiert. Eine Zusammenfassung der Vorgehensweisen, Methoden und Ergebnisse der Diplomarbeit sowie ein Ausblick auf weitere mögliche Anwendungsgebiete der Untersuchungen bilden in *Kapitel 9* den Abschluss dieser wissenschaftlichen Arbeit.