

Diss. ETH No. 13148

A Macro/Micro-Manipulator for High Speed and Accurate Pick and Place Operations

Dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Agathe Hodac
Ingénieure Diplômée en Microtechnique EPFL
born December 31, 1973
citizen of France

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. G. Schweitzer, examiner
Prof. Dr. R. Siegwart, co-examiner

Zürich, 1999

Abstract

In the semiconductor sector, there has been increasing demand for robotic systems which can perform very fast and accurate pick and place tasks. In order to meet these requirements, new robotic architectures are being developed.

A macro/micro-manipulator enhances the functionality of a conventional manipulator because it combines the high acceleration capability and the large work space of a macro-manipulator with the high accuracy of a micro-manipulator. The macro-manipulator brings the micro-manipulator within the vicinity of the target position and the micro-manipulator corrects possible misalignments between the end-effector and the target position, using endpoint position feedback.

This dissertation focuses on the design, the development and the realization of a macro/micro-manipulator to perform fast and accurate placement of integrated circuit components. In the first part, we concentrate on the optimization of the actuator arrangement and the sensor location. In particular, we optimize the design of the macro/micro-manipulator to reduce the effects of interaction between the two manipulators. We introduce a novel design for a micro-manipulator which uses direct drive voice coil actuators and a compliant transmission system. The actuator of the micro-manipulator drives the endpoint relative to the base of the system. The resonance modes of the macro-manipulator are therefore not directly excited, which would occur if the actuator drove the endpoint relative to the macro-manipulator.

In the second part, we discuss the compensation of oscillations. The rapid motion of the macro-manipulator excites its structural modes and hence causes the tip to oscillate. The micro-manipulator is controlled with endpoint position feedback to compensate for the oscillations occurring at the macro-manipulator's tip.

The theoretical developments are validated with an experimental apparatus. Experimental results demonstrate that the fast micro-manipulator can reach the target position with micrometer accuracy, before the macro-manipulator has terminated its manoeuvre. Thus, the macro/micro-manipulator configuration achieves much higher performance in endpoint accuracy and cycle time than a conventional manipulator.

Kurzfassung

In der Halbleiterindustrie besteht zunehmend Bedarf an Robotersystemen, die sehr schnelle und präzise Pick and Place Operationen ausführen können. Weil herkömmliche Robotersysteme den Anforderungen dieser Anwendung nicht genügen, sind neue Roboterarchitekturen erforderlich.

Ein Makro/Mikro-Manipulator erlaubt eine bedeutende Leistungssteigerung im Vergleich zu konventionellen Manipulatoren, weil er die hohe Beschleunigungsfähigkeit und den grossen Arbeitsbereich des Makro-Manipulators mit der hohen Präzision des Mikro-Manipulators kombiniert: der Makro-Manipulator bringt den Mikro-Manipulator zum Zielbereich. Sobald sich der Mikro-Manipulator in der Nähe der angestrebten Endlage befindet, kann durch eine Positionsregelung auf die Endlage der Positionsfehler zwischen dem End-Effektor und dem Zielpunkt korrigiert werden.

Das Thema der vorliegenden Doktorarbeit ist die Konzeption, Entwicklung und Realisierung eines Makro/Mikro-Manipulators, der Komponenten für integrierte Schaltungen schnell und genau positioniert. Im ersten Teil der Arbeit befassen wir uns mit der Anordnungsoptimierung für Aktor- und Sensorelemente. Insbesondere wird das Design des Makro/Mikro-Manipulators optimiert, um die Kopplungseffekte zwischen den beiden Manipulatoren zu minimieren. Ein neues Entwicklungskonzept für den Mikro-Manipulator, bestehend aus einem Direktantrieb und einer nachgiebigen Befestigung des Mikro-Manipulators wird vorgestellt. Dabei bestimmt der Aktor des Mikro-Manipulators die Endlage von

der Basis des Systems aus. So werden keine Resonanzen des Makro-Manipulators direkt angeregt, was der Fall wäre, wenn die Endlage von der Spitze des Makro-Manipulators aus geregelt würde.

Im zweiten Teil der Arbeit wird die Schwingungskompensation behandelt. Die schnelle Bewegung des Makro-Manipulators in einem Pick and Place Manöver bewirkt Schwingungen an seiner Spitze. Es wird eine Möglichkeit dargestellt, die Endlage des Mikro-Manipulators so zu regeln, dass diese Schwingungen kompensiert werden.

Die theoretisch erarbeiteten Lösungen werden an einem Prototyp experimentell überprüft. Die Experimente zeigen, dass der schnelle Mikro-Manipulator die Mikro-Positionierung bereits ausführen kann, bevor der Makro-Manipulator seine Bewegung vollendet hat. Es wurde nachgewiesen, dass der Makro/Mikro-Manipulator eine deutlich höhere Positioniergenauigkeit und wesentlich kürzere Zykluszeiten als ein konventioneller Manipulator erlaubt.