



Fakultät II - Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
Department für Informatik

Robotic Liquid Metal Manipulation and Electrical Contact Probing at Small Scales

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt von

Fabian von Kleist-Retzow

geboren am 19. Dezember 1987 in Schwabach

Gutachter:

Prof. Dr. Sergej Fatikow

Prof. Dr. Pierre Lambert

Tag der Disputation: 31. März 2021

Abstract

Contact measurement techniques are commonly applied for determining the electrical properties of materials. These techniques are especially critical for conducting quality assurance in the semiconductor industry. However, characterizing devices which are submicrometer in size remains a great technical challenge.

This PhD thesis investigates established methods, as well as develops new ones, for conducting contact measurements on the submicrometer scale with increased reliability and reproducibility. The exact knowledge of the interface between the prober and the contact surface (pad) plays a very important role in interpreting the measured values. The electrical contact resistance at the interface is a systematic error that has a significant influence on the measurement signal. The contact resistance can be determined prior to measurement through calibration, and must be kept as low as possible. As the size of the device under test shrinks, contact resistance contributes a larger portion to the measured value. For accurate characterization, precise definition of systematic errors is essential. Hence, there is a high priority to maintain a constant measuring environment. This includes avoiding misalignment between the probe and pad, as well as surface variations (for example, wear and oxides) on the pad itself.

The methods developed in this thesis are effective at minimizing measurement errors, as well as at maintaining the systematic error at close to that measured during calibration. Two optimization possibilities were identified. First, the influence of operator errors was minimized by automation. Second, the use of liquid metal (LM) creates a solid-liquid-solid interface between the prober and pads, which minimizes wear and enables straight-forward, stable electrical contacting. For this purpose, dedicated robotic setups were developed and built. To utilize LM on a small scale it is first necessary to develop manipulation techniques with a high level of precision. The LM pads in this thesis were produced using two separately developed techniques, which make it possible for the first time to reproducibly and accurately manipulate LM at small scales. To apply the LM, it was necessary to deposit microdroplets at dedicated positions on a substrate and precisely form them into desired structures, e.g. pads.

Finally, these LM pads were characterized using high frequency measurements, and compared with the simulation and experimental measurement data of commercial pads. In particular, the behavior of the pads during the misalignment of the prober was investigated.

The results of this doctoral thesis thus enable robotically automated electrical measurement of small scale devices using liquid metal, and therefore have the potential to open up a new field of research.

Zusammenfassung

Zur Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Materialien werden häufig berührende Messverfahren eingesetzt. Diese Techniken sind besonders wichtig für die Qualitätssicherung in der Halbleiterindustrie. Die Charakterisierung von Bauelementen, die im Submikrometerbereich liegen, bleibt jedoch eine große technische Herausforderung.

In dieser Dissertation werden sowohl etablierte Methoden untersucht als auch neue entwickelt, um Kontaktmessungen im Submikrometerbereich mit erhöhter Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit durchzuführen. Die genaue Kenntnis der Grenzfläche zwischen Sonde und Kontaktfläche (Pad) spielt bei der Interpretation der Messwerte eine sehr wichtige Rolle. Der elektrische Kontaktwiderstand an der Grenzfläche ist ein systematischer Fehler, der das Messsignal maßgeblich beeinflusst. Der Kontaktwiderstand kann vor der Messung durch eine Kalibrierung ermittelt werden und muss so gering wie möglich gehalten werden. Mit abnehmender Größe des Prüflings trägt der Kontaktwiderstand einen größeren Anteil zum Messwert bei. Für eine genaue Charakterisierung ist eine genaue Definition der systematischen Fehler unerlässlich. Daher ist es von hoher Priorität die Messumgebung konstant zu halten. Dazu gehört die Vermeidung von Ausrichtungsfehlern zwischen Sonde und Pad sowie von Oberflächenvariationen (z. B. Verschleiß und Oxide) auf dem Pad selbst.

Die in dieser Arbeit entwickelten Methoden sind effektiv bei der Minimierung von Messfehlern sowie bei der Beibehaltung des systematischen Fehlers nahe dem bei der Kalibrierung gemessenen Wert. Es wurden zwei Optimierungsmöglichkeiten identifiziert. Erstens wurde der Einfluss von Bedienerfehlern durch Automatisierung minimiert. Zweitens wurde durch die Verwendung von Flüssigmetall eine hart-weich-hart Grenzfläche zwischen Prober und Pads geschaffen, die den Verschleiß minimiert und eine unkomplizierte, stabile elektrische Kontaktierung ermöglicht. Zu diesem Zweck wurden spezielle Roboteraufbauten entwickelt und gefertigt.

Um Flüssigmetall in kleinem Maßstab einsetzen zu können, müssen zunächst Manipulationstechniken mit einem hohen Maß an Präzision entwickelt werden. Die Flüssigmetall-Pads in dieser Arbeit wurden mit zwei separat entwickelten Techniken hergestellt, die es ermöglichen, Flüssigmetall in kleinem Maßstab reproduzierbar und genau zu manipulieren. Um dieses gezielt zu verarbeiten, war es notwendig, Mikrotröpfchen an bestimmten Positionen auf einem Substrat abzuscheiden und sie präzise zu gewünschten Strukturen, z.B. Pads, zu formen. Schließlich wurden diese Flüssigmetall-Pads durch Hochfrequenzmessungen charakterisiert und mit den Simulations- und experimentellen Messdaten von kommerziellen Pads verglichen. Insbesondere wurde das Verhalten der Pads während der Falschpositionierung des Probers untersucht.

Die Ergebnisse dieser Dissertation ermöglichen somit die robotergestützte, automatisierte elektrische Messung von kleinen Bauteilen mit Flüssigmetall und haben somit das Potenzial, ein neues Forschungsgebiet zu erschließen.