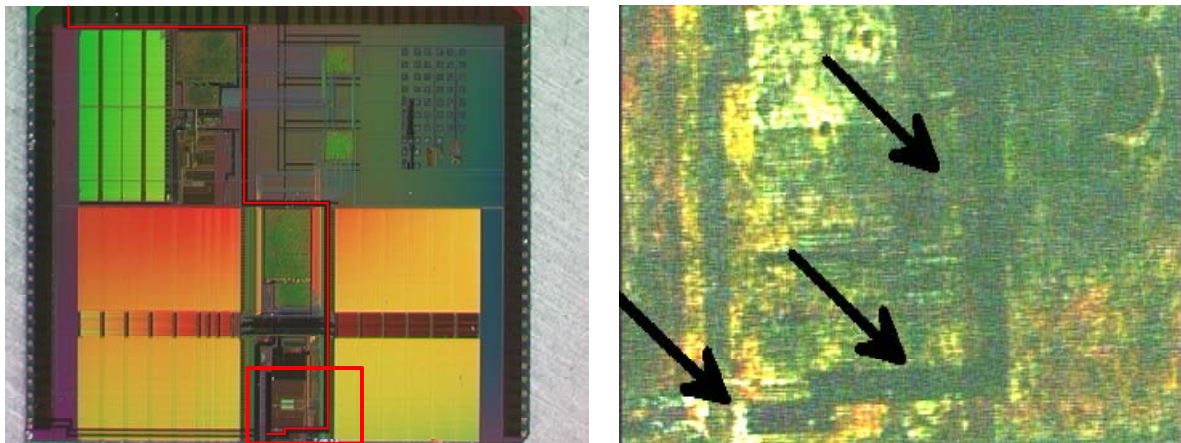

9 Praktischer Einsatz der neu entwickelten Testtechnik an einem IC der Firma Infineon

In diesem Kapitel wird anhand einer Strommessung an einem IC der Firma Infineon die Leistungsfähigkeit des im Rahmen der Arbeit entwickelten Testsystems demonstriert. Dieser fehlerhafte IC war funktionsunfähig produziert worden und wurde von der Abteilung Fehleranalyse zur Verfügung gestellt.

Mittels herkömmlicher Messtechniken wie z.B. der Hot-Spot-Analyse [Ericksen 1987] kann eine starke Wärmeentwicklung entlang einer Versorgungsleiterbahn in der Mitte des ICs, in Bild 9.1 rot markiert, festgestellt werden. Die unbestätigte Ausfallursache ist laut Angaben der Firma Infineon ein Designfehler, der zu einem Kurzschluss zwischen den Versorgungsleiterbahnen V_{SS} und V_{DD} führt.



a)

b)

*Bild 9.1: a) Lichtmikroskopische Aufnahme des ICs
b) Thermographieaufnahme des in a) rot markierten Bereichs*

Die U-I Kennlinie soll ein Ohmsches Verhalten aufweisen. Ziel der Untersuchung ist es, zu zeigen, dass mit dem in dieser Arbeit entwickelten Testsystem an Leiterbahnen dieser Art Strompfadverfolgungen realisiert werden können. Zur Untersuchung wird das auf dem kommerziellen Rasterkraftmikroskop basierende Testsystem verwendet.

9.1 IC Präparation

Die Strommessung an dem defekten IC kann zunächst aus mangelndem Testzugriff nicht durchgeführt werden. Das von Infineon standardmäßig aufgeätzte Gehäuse verhindert, dass die Messsonde an den Chip herangeführt werden kann.

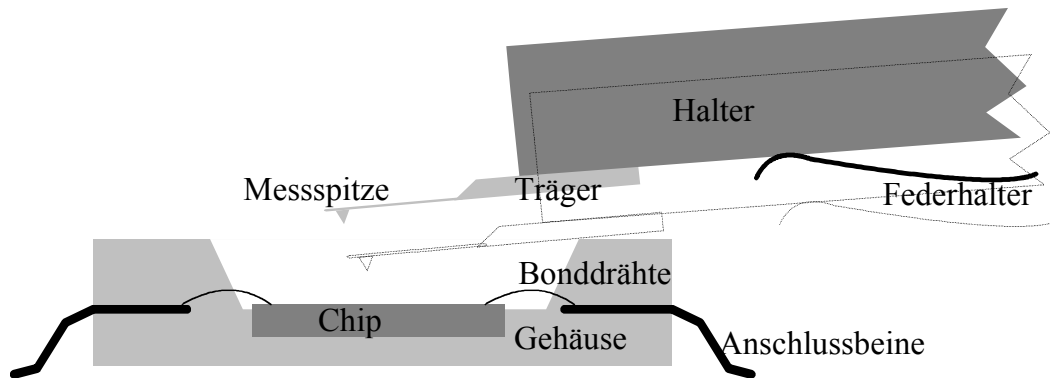


Bild 9.2: Messsonde über einem geöffneten Gehäuse, stilisiert

Wie in Bild 9.2 dargestellt, und in Kap. 3 bereits erwähnt, ist der Testzugriff mit einem hebelarmbasierten Rasterkraftmikroskop insofern problematisch, als dass der Trägerkörper bzw. der Halter auf dem Gehäuse aufsetzt und die Bonddrähte zerstört. Der zu untersuchende IC ist jedoch nur an drei Seiten gebondet, wie in Bild 9.3 zu sehen.

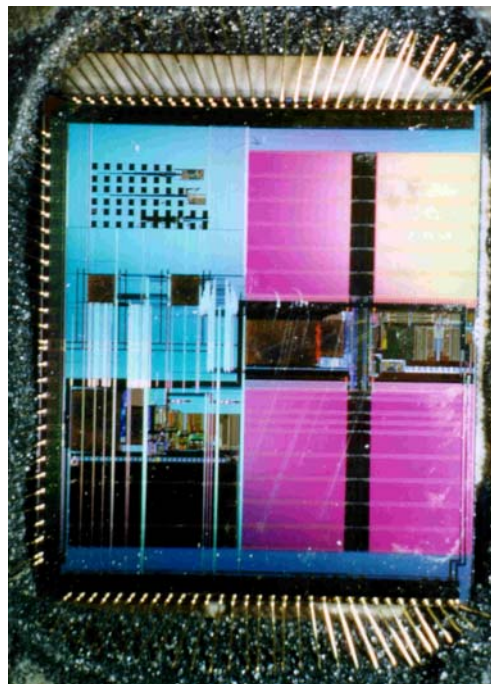


Bild 9.3: Foto des im geöffneten Gehäuse befindlichen ICs

Durch das Fehlen der Bonddrähte an einer Seite ist es möglich, über diese Seite in den IC zu gelangen, ohne seine Funktion einzuschränken. Ein weiteres Ätzen des Gehäuses kann nicht erfolgen, da es den Gehäuserahmen (Leadframe) zerstören würde.

Zur Lösung des Problems werden mit einer Diamantsäge Teile des Gehäuses abgesägt, ohne den eigentlichen IC zu beschädigen. Das Ergebnis dieser Präparation ist in Bild 9.4 zu sehen.

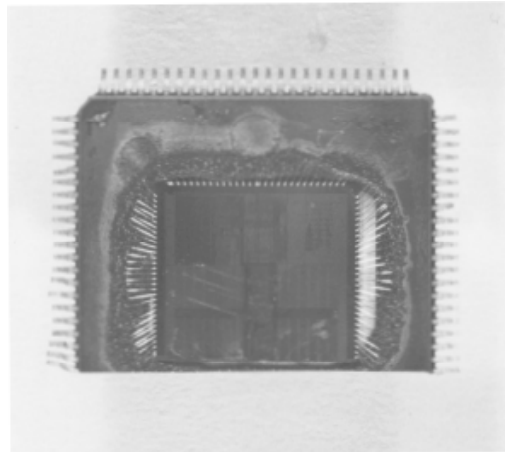


Bild 9.4: Foto des präparierten Gehäuses

Durch die Präparation ist es möglich, mit der Messsonde an die Oberfläche des ICs zu gelangen. Jedoch bleibt der Testzugriff weiterhin eingeschränkt (siehe Messbereich in Bild 9.5), da der Halter der Messsonde gegen die Seitenwände des Gehäuses zu stoßen droht. Der Messbereich kann durch Entfernen der Seitenwände vergrößert werden, sofern die Kontakte nicht zum Beschalten benötigt werden.

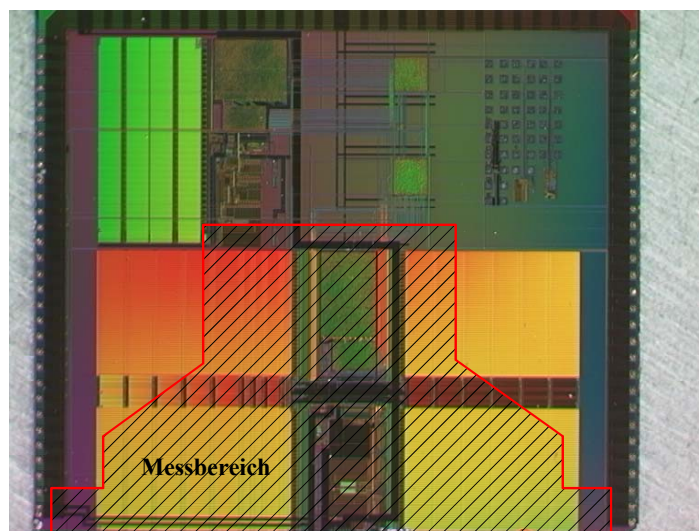


Bild 9.5: Darstellung des möglichen Messbereichs im geöffneten IC

9.2 Fehleranalyse

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit werden erste Strommessungen an der Leiterbahn, die in der Hot-Spot-Analyse eine große Wärmeentwicklung zeigte, durchgeführt. Sie ist in Bild 9.1 rot markiert. An dem unpassivierten IC kann sofort ein Stromfluss in der Leiterbahn, wie in Bild 9.6 dargestellt, gezeigt werden.

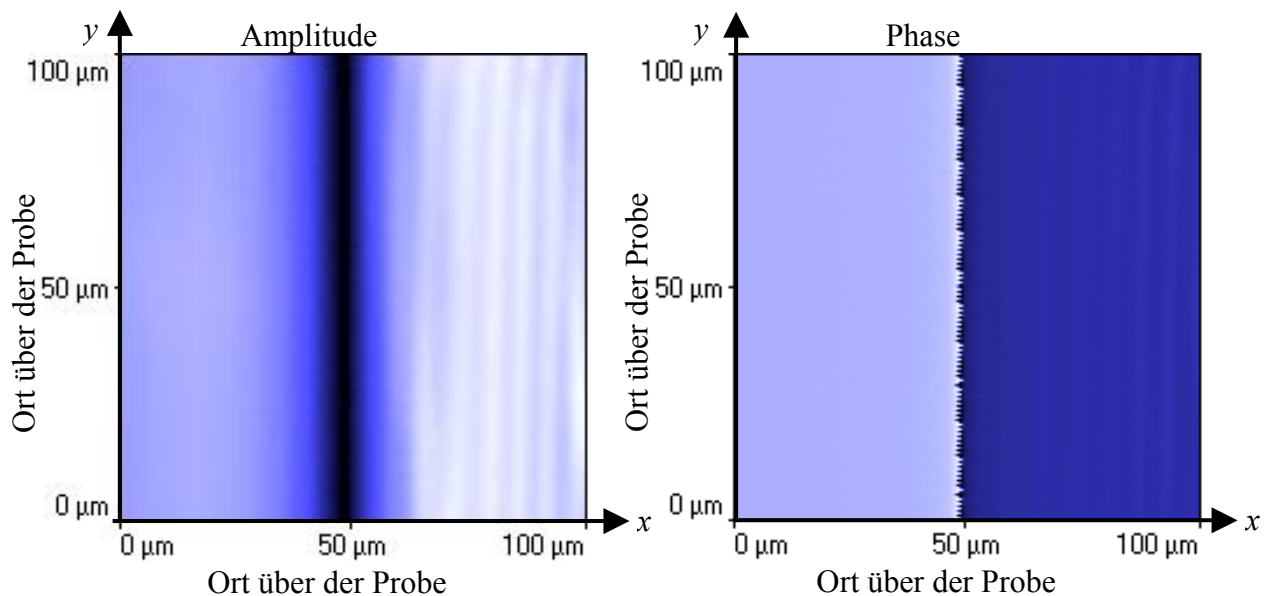


Bild 9.6: Strommessung bei ca. $I=6\text{ mA}$ über der $b_L=100\text{ }\mu\text{m}$ breiten Leiterbahn

Die dunkle Linie im Amplitudenbild zeigt das Minimum der Normalkomponenten des gemessenen Magnetfeldes und befindet sich über der Mitte der Leiterbahn. Zu den Rändern hin steigt das gemessene Signal an, was auf der Zunahme der Normalkomponenten beruht. Entsprechend den Erwartungen ist im Phasenbild über der Mitte der Leiterbahn ein Phasensprung von 180° zu erkennen, der dem Vorzeichenwechsel der magnetischen Kraft entspricht.

Es kann ein Stromfluss bis zum letzten Messpunkt (MP6) der in Bild 9.7 zu erkennen und rot markierten Leiterbahn verfolgt werden.

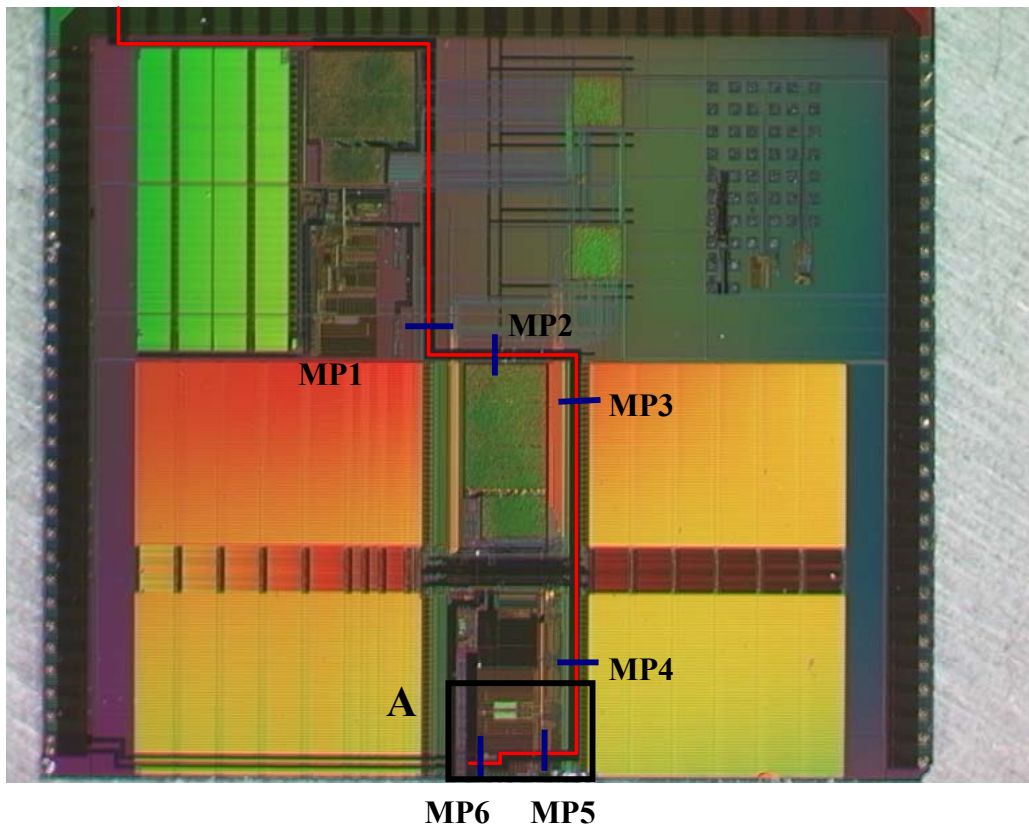


Bild 9.7: Lichtmikroskopische Aufnahme des Chips mit eingezeichneten Messpunkten

Ein Stromfluss außerhalb der Leiterbahn kann nicht detektiert werden. Dieses Messergebnis weist darauf hin, dass kein oder sehr wenig Strom in andere Bereiche des ICs abfließt.

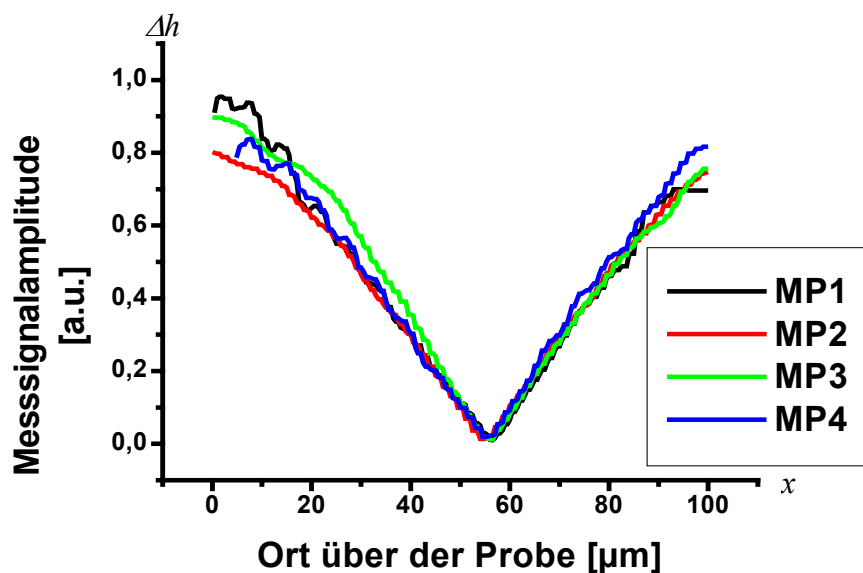


Bild 9.8: Linienrasterungen an verschiedenen Messpunkten der Leiterbahn

Wie in Bild 9.8 zu sehen, kann durch Vergleich der Linienrasterungen MP1 - MP4 verifiziert werden, dass der Messsignalpegel über die gesamte Leiterbahn hin konstant bleibt. Bei Aufteilung des Stroms auf alle Bereiche des ICs müsste der Strom aufgrund der Linearität des Signalpegels im Bezug auf die Stromstärke über die Leiterbahn hin abnehmen.

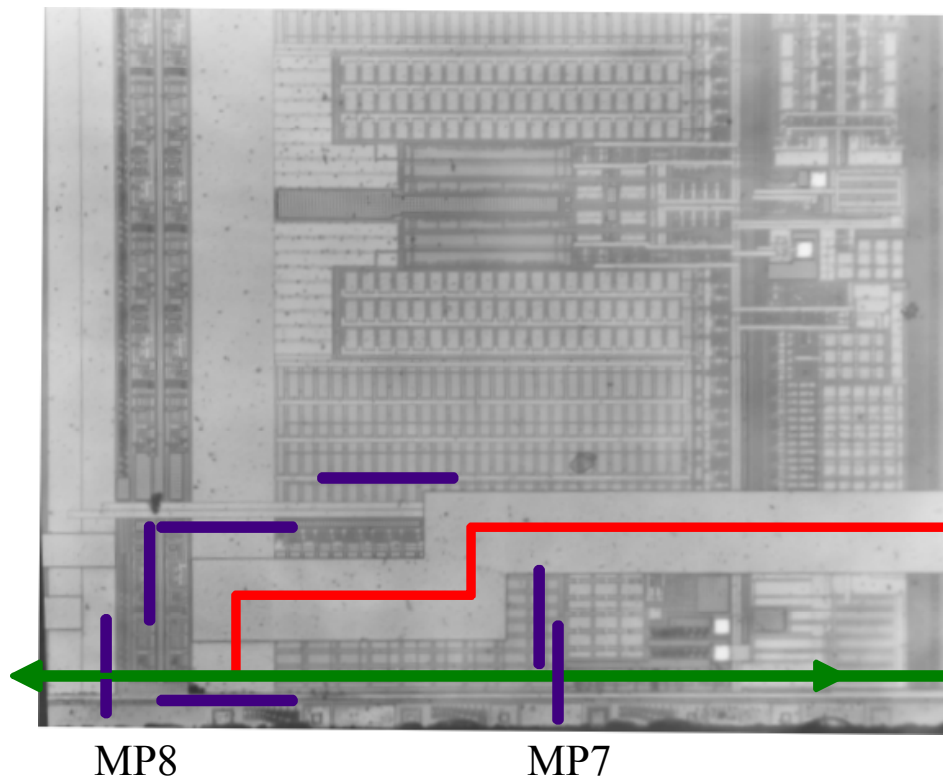


Bild 9.9: Lichtmikroskopische Aufnahme des Bereichs A am Leiterbahnenende (vgl. Bild 9.7)

In Bild 9.9 ist der Bereich A des ICs, in dem die stromführende Leiterbahn aus Bild 9.7 (rot eingezeichnet) endet, vergrößert zu sehen.

Durch einige Strommessungen in der Umgebung des sichtbaren Leiterbahnenendes, die in Bild 9.9 blau eingezeichnet sind, ist es möglich, den weiteren Weg des Stromflusses zu finden, und den in Bild 9.9 grün eingezeichneten, weiteren Strompfad zu verfolgen.

Es kann festgestellt werden, dass sich am Ende der Leiterbahn der Strom verzweigt. Bild 9.10 zeigt die Strommessung in Messpunkt MP7 und Bild 9.11 zeigt die Strommessung in Messpunkt MP8.

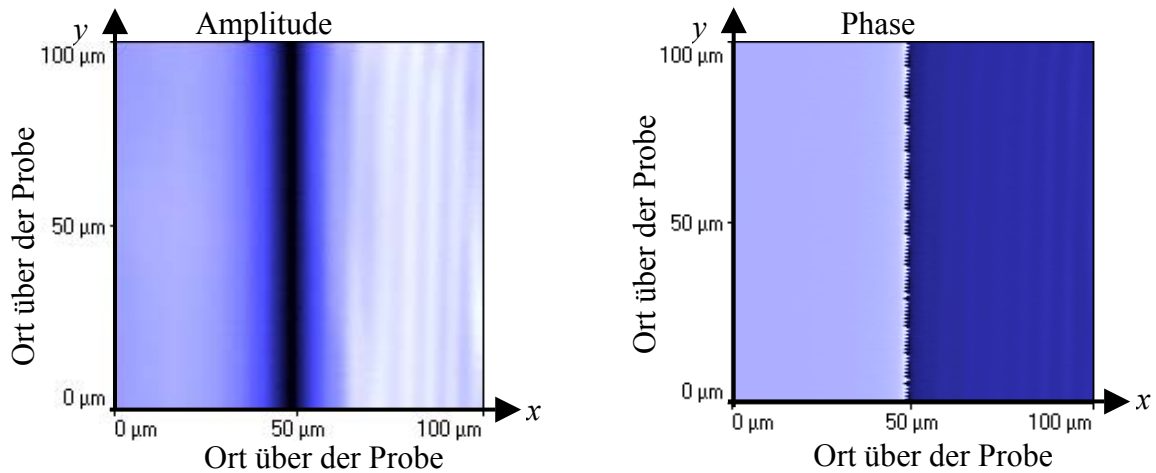


Bild 9.10: Strommessung in Messpunkt MP7

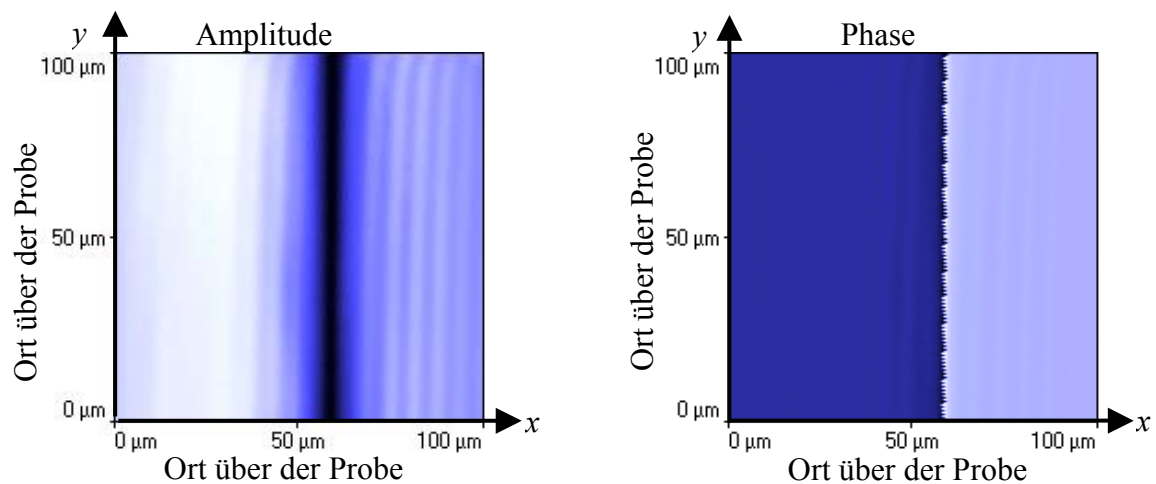
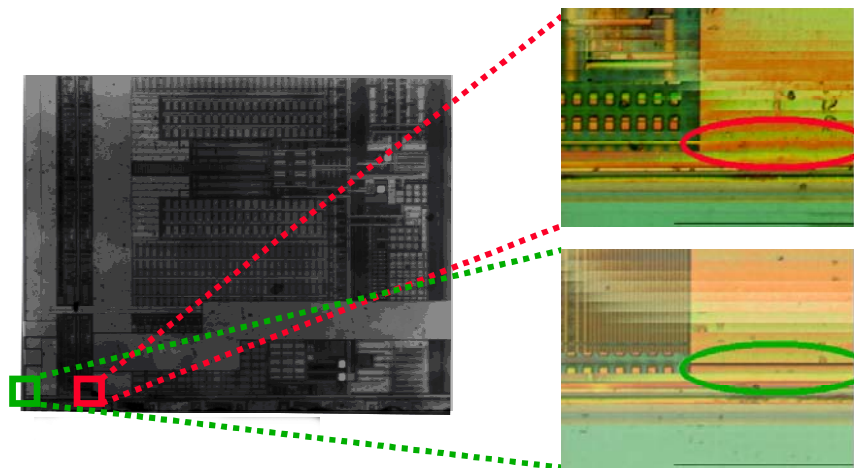


Bild 9.11: Strommessung in Messpunkt MP8

Durch die Strommessungen rechts (Messpunkt MP7) und links (Messpunkt MP8) neben der Leiterbahn (siehe Bild 9.9) kann festgestellt werden, dass die Richtung des Stroms in den beiden Messpunkten wie erwartet gegensinnig ist. Dies kann man eindeutig in den Bildern 9.10 und 9.11 sehen, da die Phase bei den Messergebnissen um 180° gedreht ist, und somit ein Vorzeichenwechsel in entgegengesetzter Richtung über der Leiterbahnmitte zu messen ist. Aus dieser Tatsache und dem vergleichbar großen Signalpegel, kann man anhand der Strommessung feststellen, dass zwei ungefähr gleich große Ströme am unteren Ende des ICs zu beiden Seiten nach außen hin fließen. Dies setzt jedoch voraus, dass sie in der selben Verdrahtungsebene fließen. Sichtbare Leiterbahnen sind an dieser Stelle nicht zu erkennen. Das legt die Vermutung nahe, dass sich dort in tieferen Metallisierungsebenen Versorgungsleitungen befinden. Der Spannungseinfluss kann bei dieser Messung vernachlässigt werden, da die anliegende Spannung deutlich unter einem Volt liegt. Dadurch

dominiert die Kraftwirkung des Magnetfeldes. Den Hebelarmeinfluss kann man jedoch deutlich an dem unsymmetrischen Verlauf der Amplitude erkennen.

In der Fehleranalyseabteilung der Firma Infineon wurde zur Verifikation der Ergebnisse der oben vorgestellten Strommessung eine Zielpräparation durchgeführt. Der in Bild 9.12 dargestellte Querschliff zeigt nochmals den Ausschnitt A aus Bild 9.7. Rechts sind zwei Leiterbahnen an ihrem Endpunkt zu erkennen. Oben ist eine mit dem Rahmen kurzgeschlossene Leiterbahn zu sehen. Dieser Kurzschluss stellt die Ausfallursache für den IC dar. Zum Vergleich ist unter dem Bild der fehlerhaften Leiterbahn ein fehlerfreies Leiterbahnde dargestellt. Man kann deutlich erkennen, dass zwischen Rahmen (unten) und Leiterbahn ein Abstand vorliegt, der im Bild schwarz zu sehen ist.



*Bild 9.12: Zielpräparation der kurzgeschlossenen Leiterbahn (rot).
Zum Vergleich eine gleichartige Leiterbahn, die keinen Kurzschluss aufweist*

Somit kann der Fehler, der zum Ausfall des ICs führt, mit Hilfe der hier entwickelten Strommesstechnik eindeutig erkannt und lokalisiert werden.

Mit diesen Strommessungen kann demonstriert werden, dass es möglich ist, Strompfadverfolgungen durchzuführen, selbst wenn die Leiterbahn in tieferen Metallisierungsebenen verläuft.

9.3 Weiterführende Messungen

Durch eine Linienrasterung in Messpunkt MP3 mit verschiedenen Strömen kann beobachtet werden, dass die Kennlinie nicht rein Ohmscher Natur sein kann.

Bei einer Messung des in den IC fließenden Stroms, kann die in Bild 9.13 dargestellte U-I Kennlinie ermittelt werden.

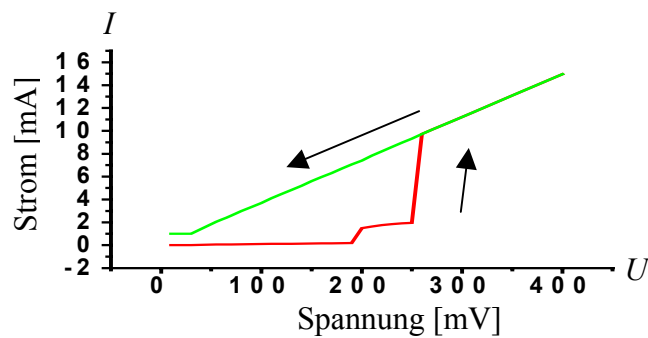


Bild 9.13: Extern gemessene U-I Kennlinie.
Die Pfeile geben die Durchlaufrihtung der Spannung an

Diese Kennlinie wird auch bei einer IC-internen Strommessung mit dem MKM nachgewiesen. Ein entsprechendes Messergebnis, an Messpunkt MP2 gemessen, mit ansteigendem und abnehmendem Strom, ist in Bild 9.14 dargestellt.

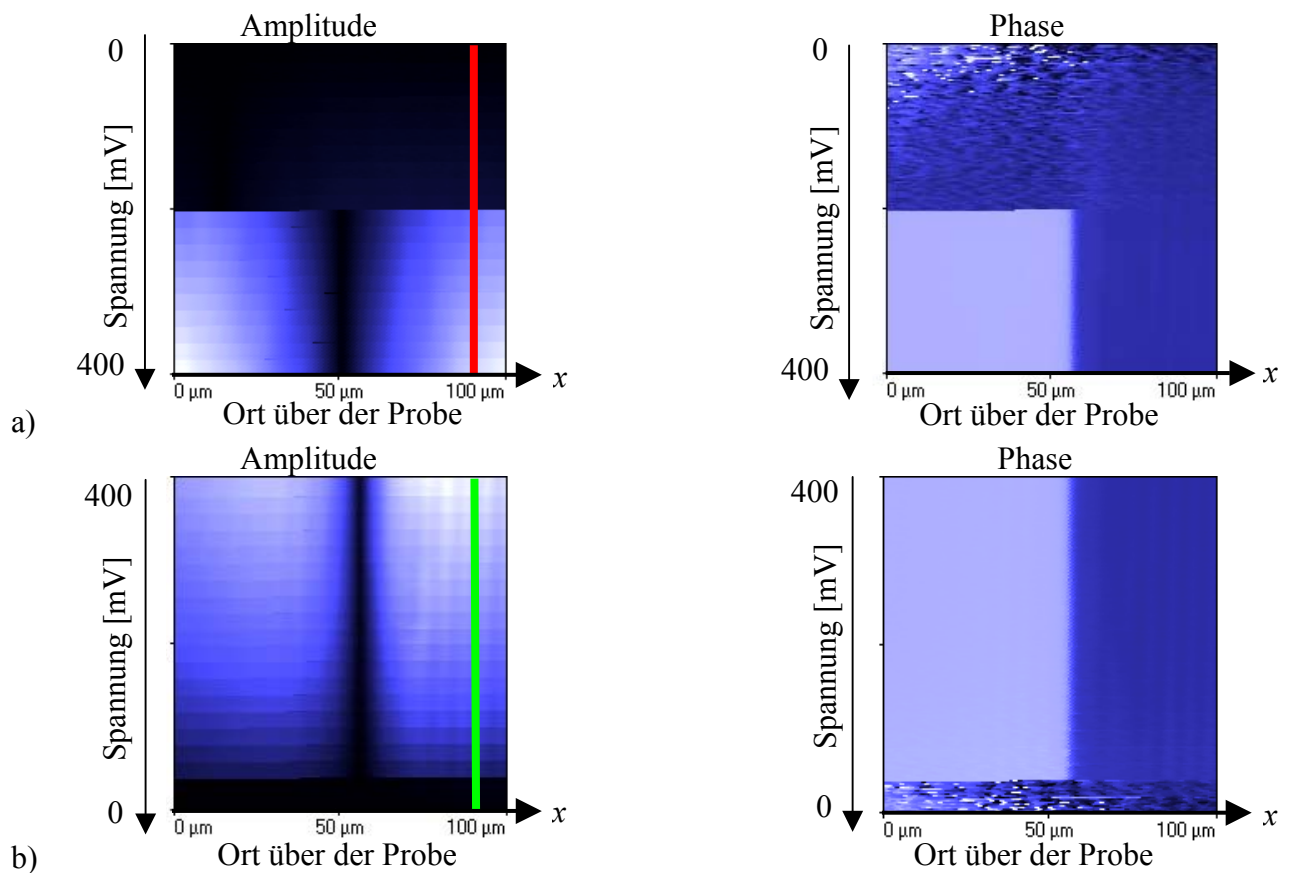


Bild 9.14: Strommessung am Messpunkt MP2 a) abnehmender Strom
b) ansteigender Strom

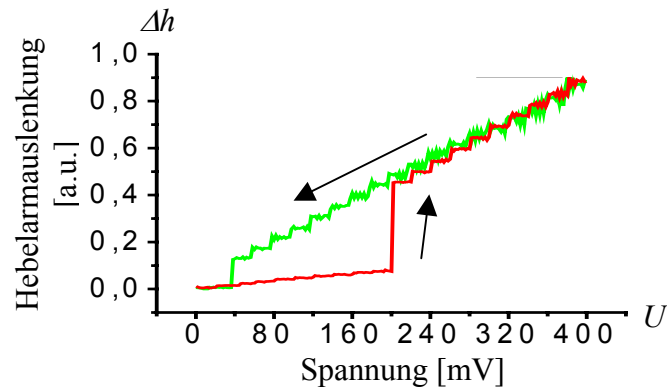


Bild 9.15: Extrahierte Linienrasterung für ansteigenden (rot) und abnehmenden Strom (grün) aus Bild 9.14

In Bild 9.14a ist deutlich zu sehen, dass ein Stromfluss in der hier untersuchten Leiterbahn erst bei ca. $U=200$ mV deutlich messbar ist. Wie erwartet, steigt der dann einsetzende Strom sprunghaft an. In Bild 9.14b ist bei abnehmender Stromstärke zu erkennen, dass bei ca. $U=40$ mV noch ein deutlicher Stromfluss nachzuweisen ist.

Mit dieser Strommessung kann demonstriert werden, dass IC-intern die Stromstärke, aufgrund der direkten Proportionalität zwischen Messsignalpegel und dem in einer Leiterbahn fließenden Strom, qualitativ vermessen werden kann. Für eine quantitative Strommessung wäre die Kenntnis aller Parameter erforderlich, siehe Kap. 2. Das ist schon aufgrund des Fehlens einer exakten Höhenkontrolle bei diesem Testsystem und der daraus resultierenden Unkenntnis des exakten Abstandes der Messspitze zur Leiterbahn nicht möglich.

9.4 Strommessungen an einem passivierten IC

Alle beschriebenen Messergebnisse können auch an einem passivierten IC erreicht werden, da die Strommessungen am unpassivierten IC aufgrund der großen Strukturen bei einem sehr großen Arbeitsabstand durchgeführt werden. Es ergibt sich nur eine zu vernachlässigende Beeinflussung der Messverläufe, wie in Bild 9.16 exemplarisch dargestellt.

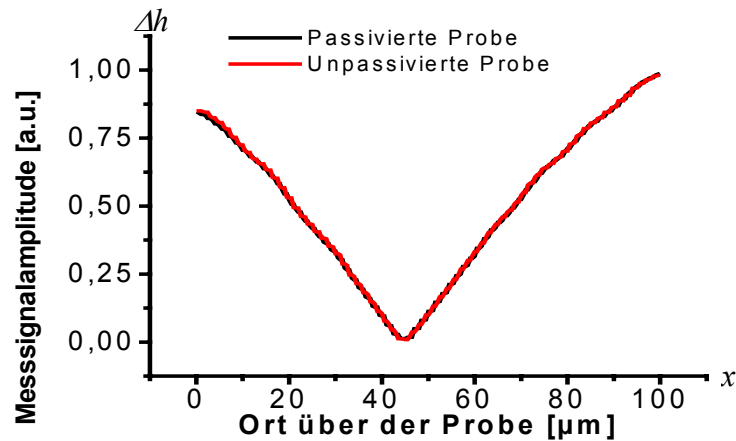


Bild 9.16: *Linienrasterungen im Messpunkt MP2 mit Passivierung (rot) und ohne Passivierung (schwarz). Die Messhöhe h ist bei beiden Messungen gleich.*

9.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diese Strommesstechnik zur Zeit die einzige Methode darstellt, den hier ermittelten Fehler zu lokalisieren. Die vorangegangene Hot-Spot-Analyse bietet weder die erforderliche Ortsauflösung noch die erforderliche Empfindlichkeit. Auch andere Strommessverfahren führen hier aufgrund der mangelnden Empfindlichkeit zu keinem befriedigenden Messergebnis. Weitere Strommesstechniken, wie sie in der Einleitung beschrieben sind, wie z.B. die Strommesstechnik basierend auf dem Kerr- oder Faraday-Effekt, oder auch die Verwendung von Festplattenköpfen zur Magnetfeldauswertung, könnten unter Umständen vergleichbare Ergebnisse liefern, jedoch bei einem ungleich größeren Aufwand.