



Spezielle Messtechnik (MST2) – Labor

Laborversuch V3: SAM

Teilnehmer:

Alaa Albasha, Matr. Nr.: 943167
Jan-Manuel Megerle, Matr. Nr.: 942883
Nathan Kirori, Matr. Nr.: 941689
Ahmed EN-NOUR, Matr. Nr.: 937048

MST2_M2 - Team 1

Professor:

Prof. Dr.-Ing. Aylin Bicakci

Fachhochschule Kiel
Sommersemester 2025
Informatik und Elektrotechnik

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Theoretische Grundlagen	3
3 Aufgabenstellung	4
4 Proben und Methoden	5
5 Durchführung	5
5.1 Struktur Untersuchung	6
6 Ergebnisse	7
6.1 GatePad	9
6.2 Sinterpad rechts	10
6.3 SourcePad	12
6.4 Tiegel	13
7 Zusammenfassung	14
8 Fazit	15
9 Abbildungsverzeichnis	16
10 Tabellenverzeichnis	17
11 Literaturverzeichnis	17

1 Einleitung

In dem letzten Versuch wurde die Anwendung des Rasterelektronenmikroskops (REM) dargestellt und erklärt. Allerdings tritt häufig das Problem auf, dass einige Proben in den inneren Schichten Schäden aufweisen, die mit dem REM nicht erkennbar sind, da es lediglich die Oberfläche analysieren kann.

An dieser Stelle kommt die SAM-Technologie (Scanning Acoustic Microscopy) zum Einsatz, da sie mithilfe von Ultraschallwellen die innere Struktur der Schichten sichtbar machen kann. In dieser Versuch wird dies nun durch praktische Anwendung bewiesen.

2 Theoretische Grundlagen

Die Scanning Acoustic Microscope (SAM), auch bekannt als akustisches Mikroskop, wurde 1974 an der Stanford University entwickelt und stellte das erste Instrument dar, das in der Lage war, ein akustisches Bild zu erzeugen.

Das Grundprinzip der SAM basiert auf einem Wandler (Transducer), der Ultraschallwellen erzeugt. Diese werden mithilfe einer akustischen Linse fokussiert und auf die zu untersuchende Probe gerichtet. Beim Auftreffen auf das Material werden die Wellen absorbiert, reflektiert oder gestreut, abhängig von den Eigenschaften der inneren Strukturen. Die reflektierten Wellen werden von Detektoren – meist oberhalb oder unterhalb der Probe – erfasst und in elektrische Signale umgewandelt.

Diese elektrischen Signale liefern Informationen über materialinterne Eigenschaften wie Schichtdicke, Dichte und Grenzflächenbeschaffenheit. Die verwendeten Frequenzen der Ultraschallwellen sind dabei entscheidend, da sie die Auflösung und Eindringtiefe bestimmen. Je nach Frequenz können innere Strukturen wie Risse, Delaminationen, Lufteinschlüsse oder Hohlräume detektiert werden.

Eine Vielzahl von Materialien, die in der industriellen Fertigung verwendet werden – etwa Silizium, Epoxidharz, Bonding-Materialien und Metallrahmen – übertragen Ultraschallwellen ausreichend gut, um eine bildgebende Analyse zu ermöglichen.

Das am häufigsten genutzte Verfahren der SAM ist der Reflexionsmodus (Pulse-Echo-Verfahren). Dabei wird eine Ultraschallwelle in die Probe eingekoppelt. Ein Teil der Welle wird an inneren Grenzflächen reflektiert und gelangt zurück zum Wandler, wo sie erneut in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Die Intensität und Polarität dieser Signale liefern Rückschlüsse auf die inneren Strukturen des untersuchten Materials.

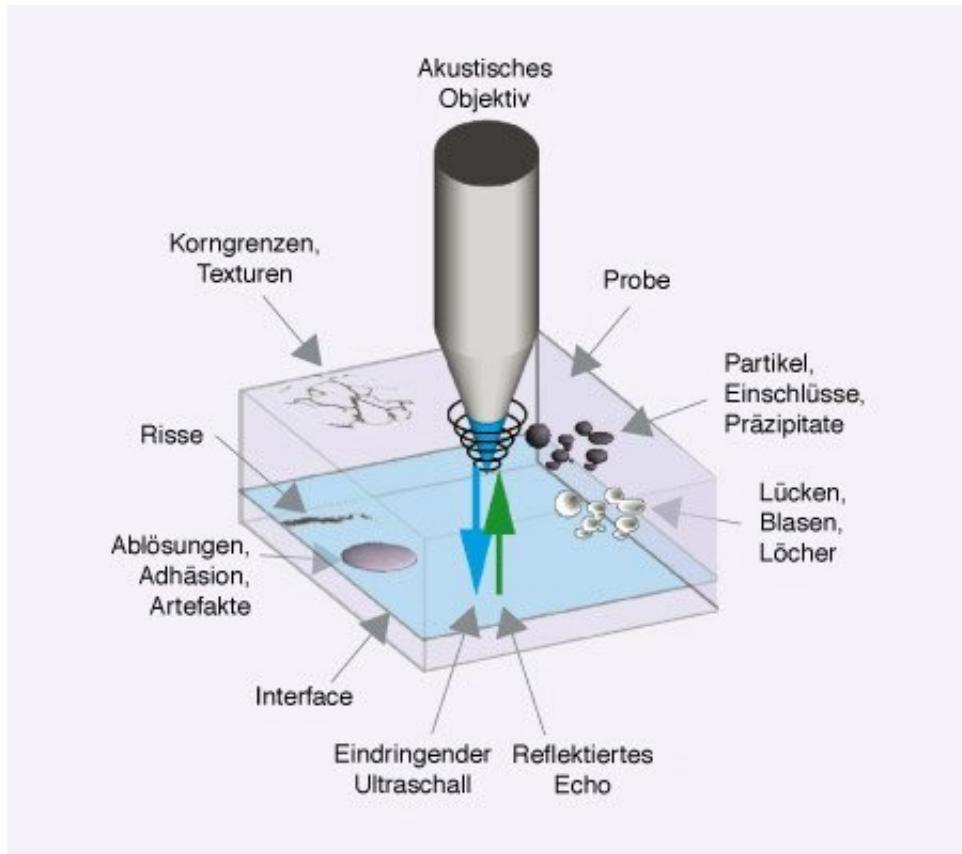


Abb. 1: Schematische Darstellung des Funktionsprinzips der Scanning Acoustic Microscopy (SAM) im Reflexionsmodus. Die eingestrahlten Ultraschallwellen werden an inneren Strukturen wie Rissen, Grenzflächen, Einschlüsse oder Delaminationen reflektiert und ermöglichen so eine zerstörungsfreie Analyse der Probe.

Quelle: PVA Tepla: SAM funktionsweise

Zur optimalen Übertragung der akustischen Wellen befindet sich die Probe während der Messung in einem Wasserbad. Wasser dient dabei als Kopplungsmedium, da es eine homogene akustische Impedanz aufweist und eine gleichmäßige Grenzfläche zwischen Sonde und Probe bildet.

3 Aufgabenstellung

In diesem Versuch wird die akustische Mikroskopie (SAM) eingesetzt, um zu demonstrieren, wie eine zerstörungsfreie bildgebende Untersuchung innerer Strukturen in Materialien durchgeführt werden kann. Dabei sollen insbesondere potenzielle Defekte wie Risse, Delaminationen, Lufteinschlüsse oder andere strukturelle Schäden identifiziert und analysiert werden. Die Untersuchung erfolgt an drei verschiedenen Proben, bei denen gezielt geeignete Untersuchungsebenen gewählt werden müssen, um relevante Fehlstellen sichtbar zu machen.

Ziel ist es, auffällige Bereiche zu dokumentieren, die jeweiligen Fehlerarten zu identifizieren und deren Ursache sowie Auswirkungen auf die Materialstruktur zu erläutern.

4 Proben und Methoden

Zunächst wird die akustische Mikroskopie verwendet, um darstellen zu können, wie eine Zerstörung freie Darstellung erfolgen kann, darüber hinaus werden werden nach Risse und irgendwelche Schaden untersucht und mögliche Darstellung bemerken zu können wie Luftblasen. Diese Untersuchung wird mit drei Proben durchgeführt. Auffabe bei den proben ist auch die Ebenen zu wählen, die für eine solchen Untersuchung sinnvoll sind. Potentielle Defekte oder Fehler müssen aufgenommen und erklärt werden.

In diesem Experiment werden drei unterschiedliche Proben mit dem KSI V8 SAM untersucht, um innere Strukturen und Defekte zerstörungsfrei zu erkennen. Die Messung erfolgt im Reflexionsmodus, wobei Ultraschallwellen über ein Wasserbad eingekoppelt und reflektierte Signale ausgewertet werden.

Die erste Probe ist eine keramische DCB-Leiterplatte mit gesinterten Halbleitern, teils mit Bonddrähten kontaktiert (siehe Abbildung 1). Sie dient zur Einführung in die SAM-Bedienung und zur Darstellung verschiedener Materialübergänge in mehreren Ebenen.

Die zweite Probe besteht aus einem Kupfer-Leadframe, der auf ein keramisches Substrat geschweißt wurde. Hier liegt der Fokus auf der Analyse der Schweißverbindungen und der Untersuchung möglicher Defekte durch Wahl geeigneter Scanebenen.

Die dritte Probe ist ein DoL-Leistungselektronikmodul ohne Bonddrähte. Statt keramischer Isolation kommt eine organische Trägerfolie zum Einsatz. Die Ebenenwahl und Bewertung erfolgen selbstständig.

Alle Proben werden im Wasserbecken positioniert, wobei auf die Entfernung von Luftblasen geachtet wird. Die Steuerung erfolgt über den integrierten PC, und nach jeder Messung wird das Gerät in die Home-Position zurückgefahren.

5 Durchführung

Die Versuchsdurchführung erfolgt im Gebäude C12, Raum 3.28. Das verwendete Gerät ist der Phenom XL G2.

Das Experiment wird in zwei Abschnitten durchgeführt:

1. Untersuchung die Strukturen folgender Teile des SiC-Mosfet (Abbildung 3):

- 1.1. Gate Pad

- 1.2. Sinterpad
- 1.3. Source Pad
2. Analyse einer gesinterten Sinterpaste in einem Al-Tiegel mithilfe von EDX Analyse(Abbildung 4):

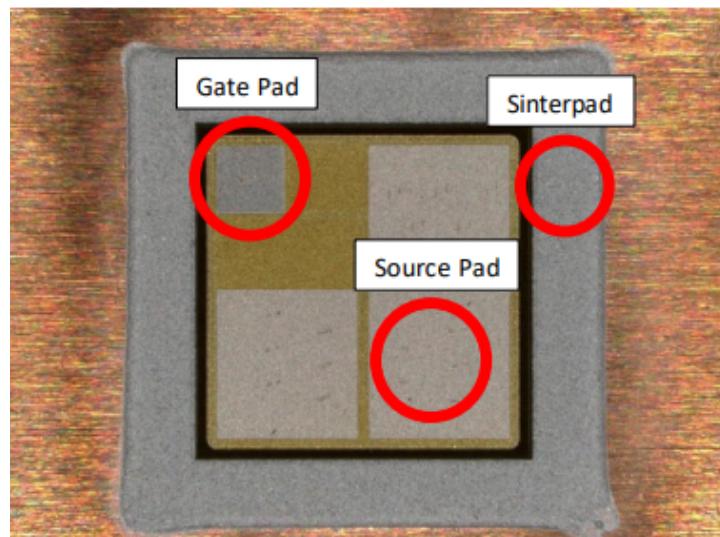


Abb. 2: Positionierung der Messpositionen auf SiC-Mosfet[1]



Abb. 3: Probe aus Sinterpaste in Aluminiumtiegel[1]

5.1 Struktur Untersuchung

Die Untersuchung begann mit dem ersten Teil des MOSFETs, dem Gate-Pad. Dabei wurde – wie bei jedem anderen Teil – das gleiche Verfahren angewendet: Zunächst erfolgte die Aufnahme mit dem BSE-Detektor (Backscattered Electrons) bei drei verschiedenen Vergrößerungsstufen:

1. 4000x

2. 10000x

3. 15000x

Anschließend wurde die Aufnahme mit dem SE-Detektor (Sekundärelektronen) unter den gleichen Vergrößerungsstufen durchgeführt. Daraufhin erfolgte eine Analyse mittels EDX (energie-dispersive Röntgenspektroskopie), um die chemische Zusammensetzung der jeweiligen Strukturen zu bestimmen.

Zu guter Letzt wurde die gesinterte Sinterpaste in einem Aluminium-Tiegel mittels EDX analysiert, wobei ihre chemische Zusammensetzung vollständig bestimmt wurde.

6 Ergebnisse

Nach erfolgreicher EDX-Analyse wurden die folgenden Daten erfasst:

Bereich	Element	Atomare Konz. [%]	Gewichtskonz. [%]
Gate Pad	Au	84,49	92,57
	Pd	10,05	5,95
	Ni	3,49	1,14
Sinterpad rechts	C	83,77	69,68
	Al	16,23	30,32
Sinterpad rechts	Al	97,92	92,19
	Ag	2,08	7,81
Sinterpad links	Ag	69,80	95,40
	C	30,20	4,60
Source Pad	Au	81,91	91,26
	Pd	11,41	6,87
	Ni	4,50	1,50
Source Pad	Au	80,60	90,70
	Pd	11,46	6,97
	Ni	5,87	1,97
Tiegel	Al	100,00	100,00

Tab. 1: EDX-Analyse der untersuchten Bereiche

6.1 GatePad

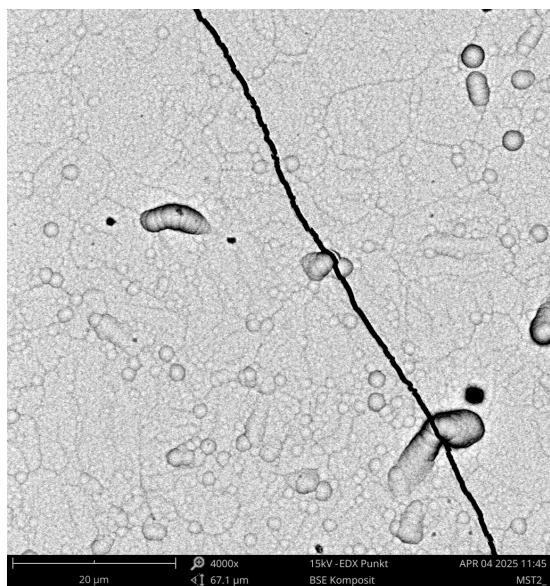


Abb. 4: REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des GatePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

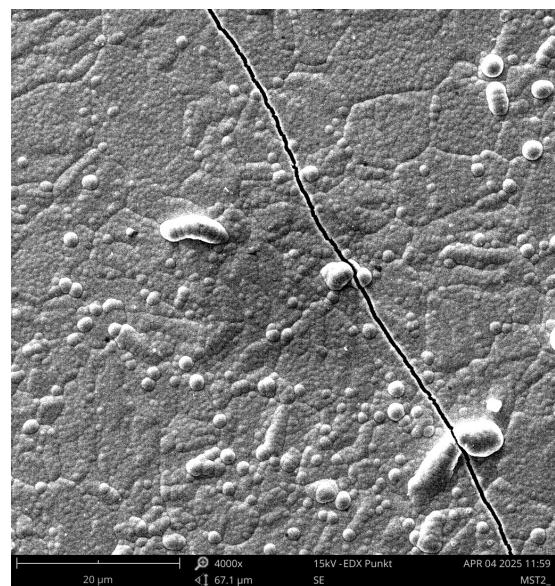


Abb. 5: REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des GatePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

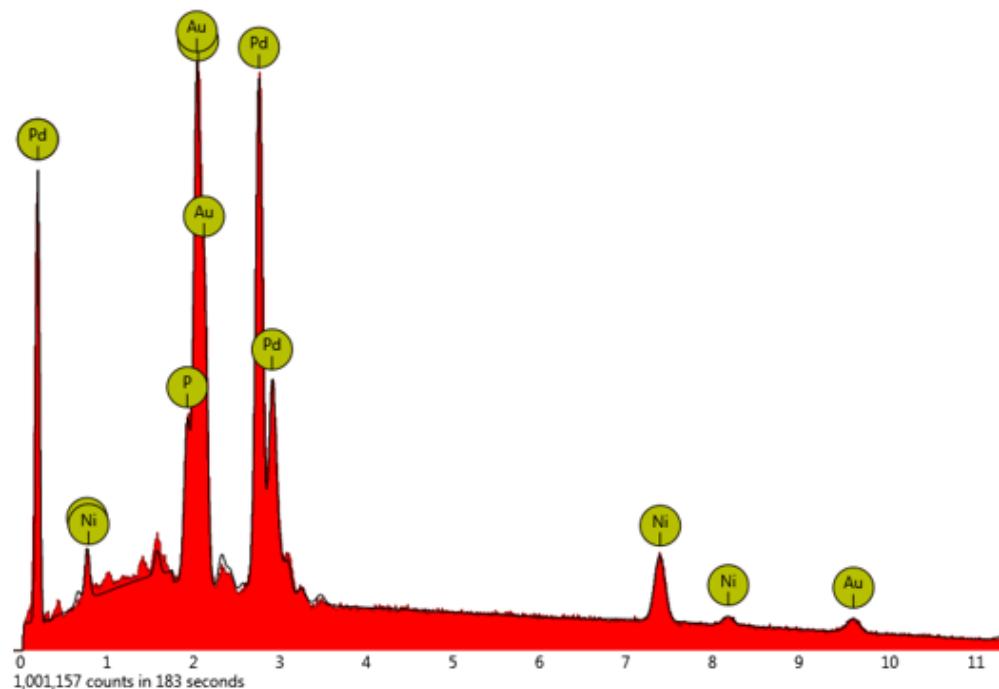


Abb. 6: EDX Analyse des GatePads mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)

Im BSE-Bild des GatePads lassen sich deutlich helle Flächen erkennen, die auf einen hohen Anteil von Gold hinweisen. Laut EDX-Analyse besteht die Oberfläche zu etwa 92,57 % aus Gold, ergänzt durch rund 5,95 % Palladium und 1,14 % Nickel. Die Fläche erscheint insgesamt glatt und homogen, mit nur wenigen sichtbaren Einschlüssen und feinen Rissen. Das SE-Bild gibt dagegen detaillierte Einblicke in die Topografie. Hier zeigen sich partikuläre Strukturen und kleine Oberflächendefekte. Zudem sind leichte Kantenkontraste sowie kugelartige Erhebungen erkennbar, die auf eine unregelmäßige Oberflächenstruktur hindeuten.

6.2 Sinterpad rechts

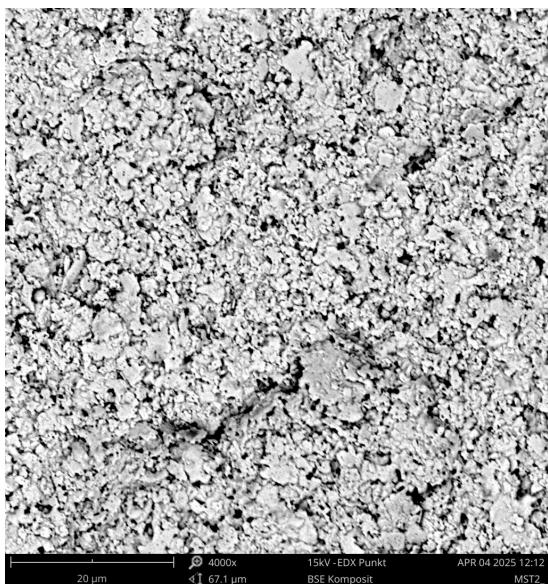


Abb. 7: REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 μm) des SinterPads rechts mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

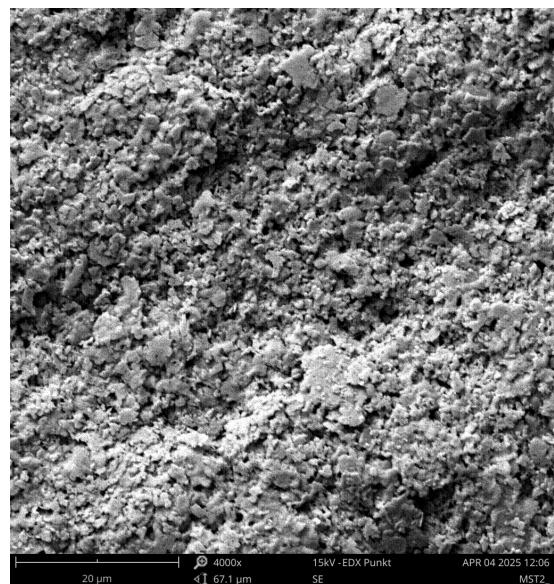


Abb. 8: REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 μm) des SinterPads rechts mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

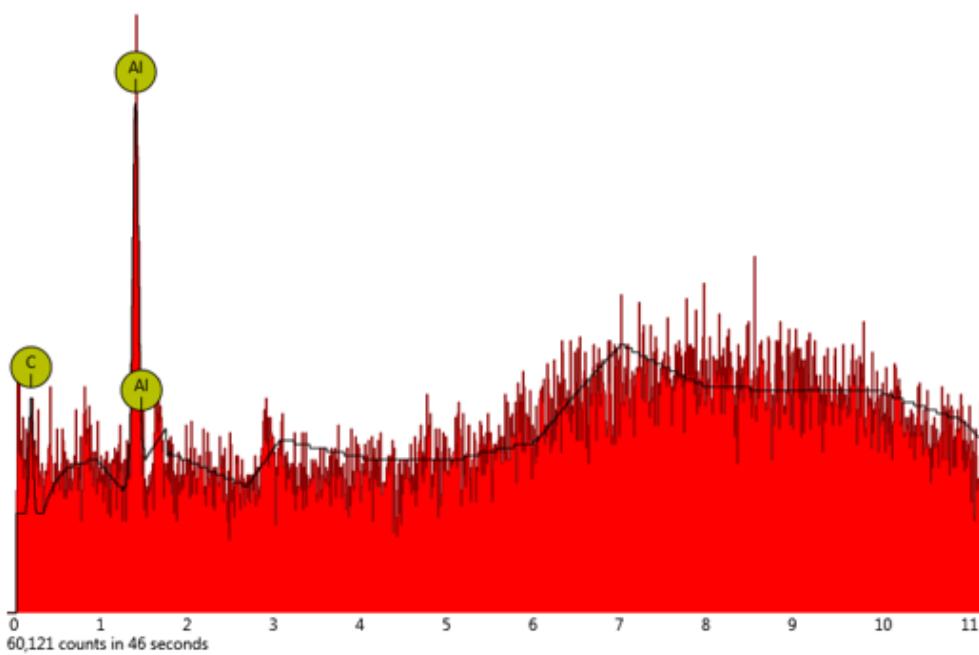


Abb. 9: EDX Analyse des SinterPads rechts mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)

Die SE-Aufnahme des rechten Sinterpads zeigt eine stark poröse und grobkörnige Oberfläche. Die Partikel sind ungleichmäßig verteilt und variieren deutlich in ihrer Größe. Das lässt darauf schließen, dass der Bereich nur teilweise gesintert wurde. Die EDX-Analyse unterstützt diese Beobachtung mit einem hohen Kohlenstoffanteil (83,77 %) und etwa 16,23 % Aluminium.

Im BSE-Bild erscheint die Fläche weitgehend gleichmäßig hell. Dies deutet darauf hin, dass keine deutlichen Cluster von Elementen mit hoher Ordnungszahl vorhanden sind. Die gleichmäßige Helligkeit lässt sich mit der homogenen Verteilung von Aluminium und Kohlenstoff erklären, wobei Silber in diesem Bereich nicht nachgewiesen wurde.

6.3 SourcePad

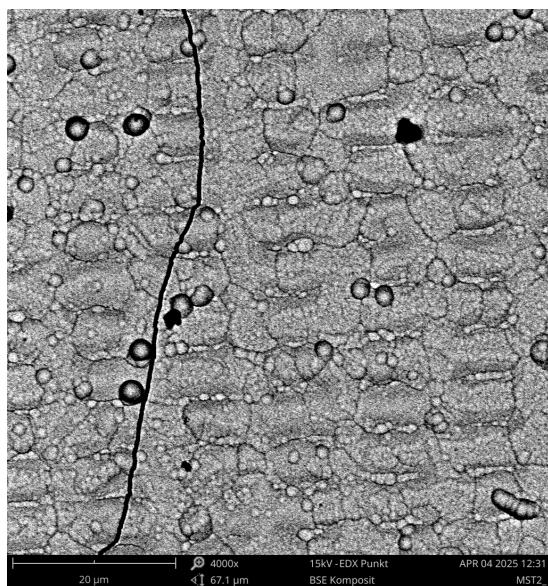


Abb. 10: REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des SourcePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

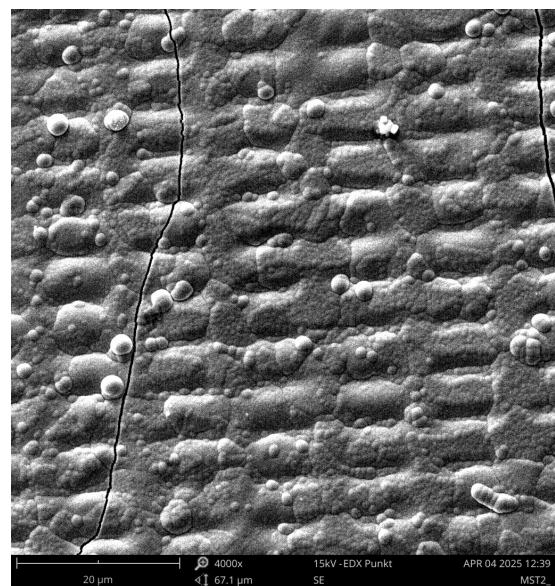


Abb. 11: REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des SourcePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

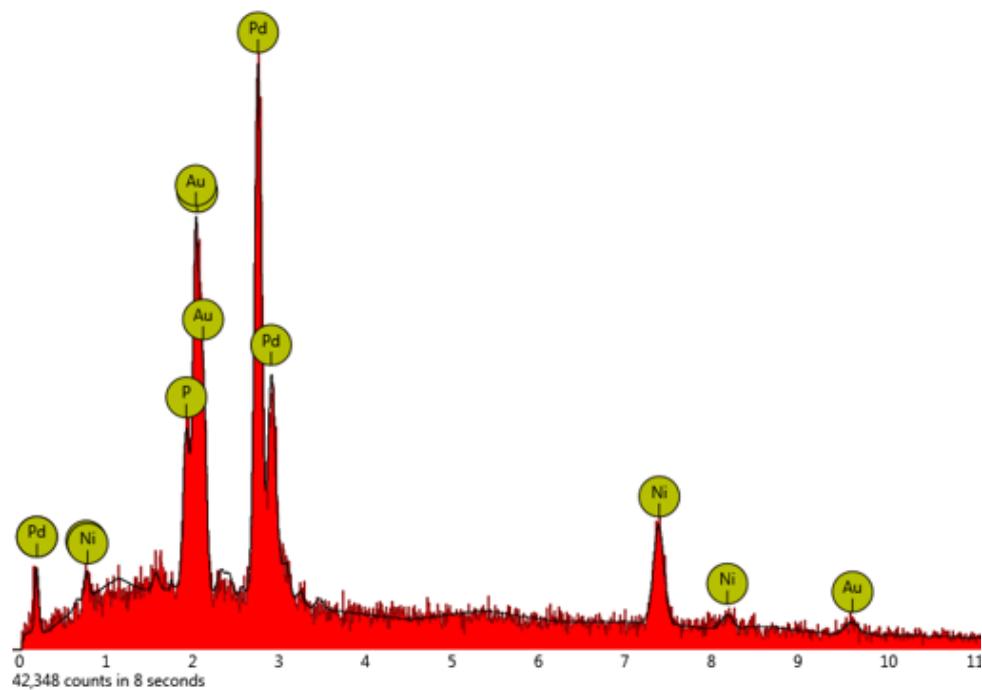


Abb. 12: EDX Analyse des SourcePads mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)

Im BSE-Modus zeigt das SourcePad einen starken Kontrast, der auf die Anteile von Gold und Palladium zurückzuführen ist. Die Analyse belegt eine sehr homogene Verteilung dieser Elemente, ergänzt durch feine Risse und punktuelle Einschlüsse in der Struktur. Die SE-Aufnahme offenbart eine deutlich strukturierte Oberfläche mit einer streifenförmigen Textur. Die zahlreichen kleinen Partikel auf der Oberfläche könnten durch Diffusions- oder Herstellungsprozesse entstanden sein. Diese feinen topografischen Merkmale lassen Rückschlüsse auf die Qualität der Metallisierung zu.

6.4 Tiegel

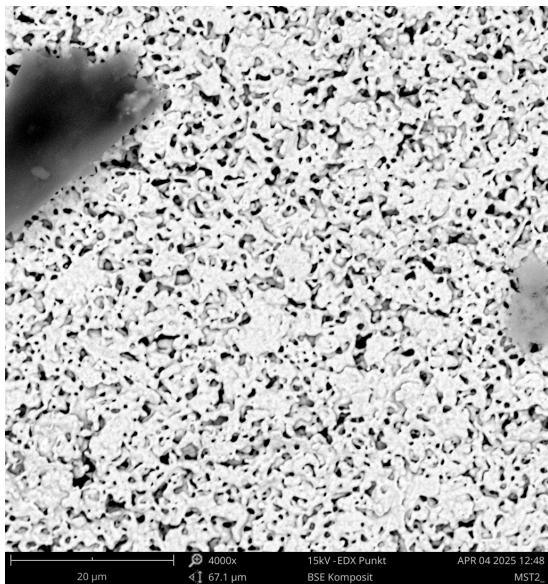


Abb. 13: REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 μm) des Tiegels mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

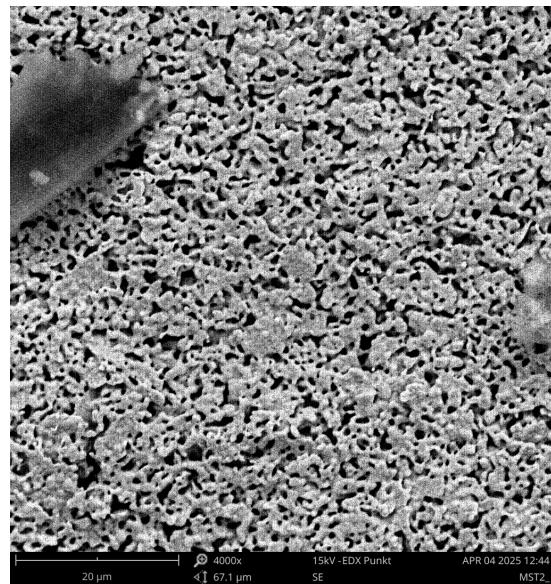


Abb. 14: REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 μm) des Tiegels mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)

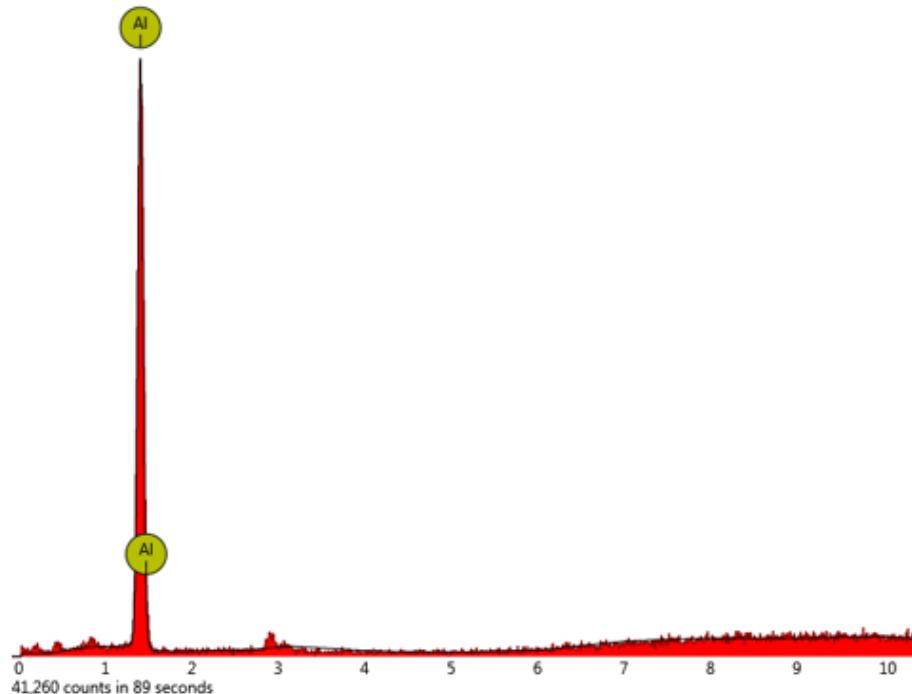


Abb. 15: EDX Analyse des Tiegels mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)

Im SE-Bild vom Tiegel ist eine schwammartige, poröse Struktur zu erkennen. Die Poren sind recht gleichmäßig verteilt, was auf ein gesintertes Aluminium-Material hindeutet. Auf der linken Seite des Bildes sieht man außerdem einen größeren Fremdkörper, der sich vom Rest deutlich abhebt.

Das BSE-Bild zeigt eine gleichmäßig helle Fläche, was gut zu den EDX-Ergebnissen passt: 100 % Aluminium, keine anderen Elemente nachweisbar. Das spricht für eine sehr homogene Zusammensetzung.

7 Zusammenfassung

Die SEM- und EDX-Analysen zeigen Unterschiede zwischen den verschiedenen Bereichen. Das Gate-Pad und das Source-Pad bestehen hauptsächlich aus Gold, Palladium und etwas Nickel, was typisch für leitfähige Kontakte ist.

Die Sinterpads weisen je nach Messstelle unterschiedliche Materialverteilungen und Sinterzustände auf. Besonders das linke Sinterpad fällt durch seinen hohen Silberanteil auf.

Die Bilder des Sinterpads vom SE- und BSE-Detektor sehen sehr ähnlich aus. Der auffälligste Unterschied liegt im Kontrast. Das SE-Bild ist etwas dunkler und zeigt stärkere

Kontraste. Es hat eine Informationstiefe von etwa 5nm. Der BSE-Detektor hingegen kann bis zu 100nm tief eindringen. Das ist besonders hilfreich bei der Analyse der chemischen Zusammensetzung. Durch den Materialkontrast erscheinen Elemente mit höherer Ordnungszahl heller.

Der Aluminiumtiegel stellt während der Messung eine gewisse Schwierigkeit dar. Zum Beispiel wurde beim Messen des rechten Sinterpads eine auffällige Anomalie festgestellt: Die EDX-Messung zeigte einen ungewöhnlich hohen Aluminiumanteil. Der Grund dafür war, dass der Messpunkt zu nah am Aluminiumtiegel lag, sodass die detektierten Elektronen tatsächlich vom Tiegel und nicht vom Pad selbst stammten.

Das Hauptproblem besteht darin, dass die gemessenen Elektronen durch die Elektronen gestört werden, die vom Aluminium-Tiegel emittiert werden. Diese Wechselwirkung beeinflusst die Messergebnisse erheblich und erschwert die Identifizierung der Sinterpaste, solange sie nicht vom umgebenden Aluminium isoliert ist.

Insgesamt liefern die Aufnahmen wichtige topografische und analytische Informationen über den Aufbau und die Materialqualität im Chip.

8 Fazit

Dieses Experiment hat erfolgreich gezeigt, wie ein Rasterelektronenmikroskop (REM) funktioniert und wie die verschiedenen Detektoren eingesetzt werden. Die Untersuchung des SiC-MOSFETs und der gesinterten Paste lieferte dabei wichtige Einblicke in die Materialeigenschaften und die Leistungsfähigkeit des REM.

Die Ergebnisse belegen, dass die Kombination aus SE-Detektor, BSE-Detektor und EDX-Analyse gut geeignet ist, um Oberflächen zu untersuchen und Materialien zu identifizieren. Durch die EDX-Analyse lassen sich topografische und strukturelle Beobachtungen um eine chemische Analyse ergänzen.

So konnte zum Beispiel die genaue Zusammensetzung der Gate-Pads ermittelt werden. Die Kombination dieser Techniken ermöglicht eine Bewertung der strukturellen und chemischen Eigenschaften auf mikroskopischer Ebene. Das ist besonders wichtig für die Optimierung von Halbleiterprozessen und die Verbesserung der Geräteleistung.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

1	Schematische Darstellung des Funktionsprinzips der Scanning Acoustic Microscopy (SAM) im Reflexionsmodus. Die eingestrahlten Ultraschallwellen werden an inneren Strukturen wie Rissen, Grenzflächen, Einschlüsse oder Delaminationen reflektiert und ermöglichen so eine zerstörungsfreie Analyse der Probe.	4
2	Positionierung der Messpositionen auf SiC-Mosfet[1]	6
3	Probe aus Sinterpaste in Aluminiumtiegel[1]	6
4	REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des GatePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	9
5	REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des GatePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	9
6	EDX Analyse des GatePads mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)	9
7	REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des SinterPads rechts mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	10
8	REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des SinterPads rechts mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	10
9	EDX Analyse des SinterPads rechts mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)	11
10	REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des SourcePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	12
11	REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des SourcePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	12
12	EDX Analyse des SourcePads mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)	12
13	REM-Aufnahme(BSE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des Tiegels mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	13
14	REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 µm) des Tiegels mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)	13
15	EDX Analyse des Tiegels mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)	14

10 Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1	EDX-Analyse der untersuchten Bereiche	8
---	---	---

11 Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] M.Eng. Yannick Bockholt. *Laborversuch 2: Rasterelektronenmikroskop (REM)*. Zugriff am 11 April 2025.