

# Spezielle Messtechnik (MST2) – Labor

## Laborversuch V2: REM

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

<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>3 Aufgabenstellung</b>	<b>4</b>
<b>4 Proben und Methoden</b>	<b>5</b>
4.1 Phenom XL G2 von Thermo Fisher Scientific . . . . .	5
<b>5 Durchführung</b>	<b>6</b>
5.1 Struktur Untersuchung . . . . .	7
<b>6 Ergebnisse</b>	<b>7</b>
6.1 GatePad . . . . .	9
6.2 Sinterpad rechts . . . . .	10
6.3 SourcePad . . . . .	12
6.4 Tiegel . . . . .	13
<b>7 Zusammenfassung</b>	<b>14</b>
<b>8 Fazit</b>	<b>15</b>
<b>9 Abbildungsverzeichnis</b>	<b>16</b>
<b>10 Tabellenverzeichnis</b>	<b>16</b>
<b>11 Literaturverzeichnis</b>	<b>17</b>

## 1 Einleitung

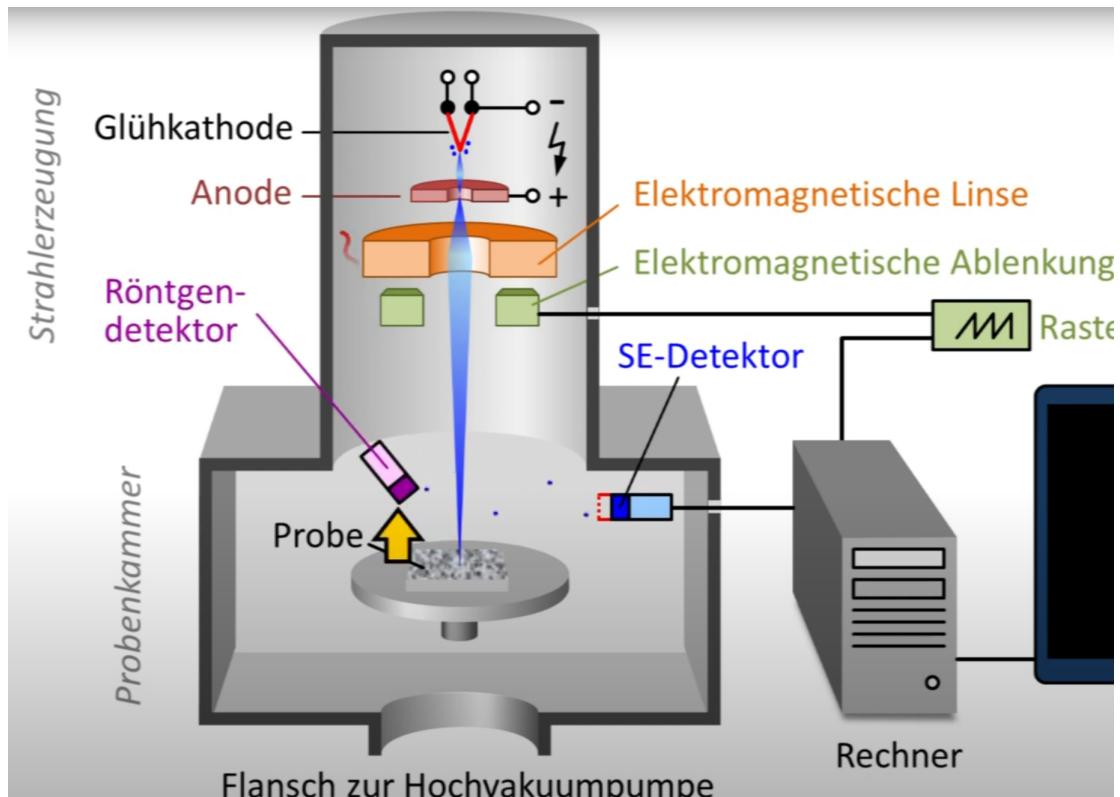
Mikroskope sind in vielen wissenschaftlichen Disziplinen von zentraler Bedeutung und werden regelmäßig eingesetzt. Besonders in den Materialwissenschaften spielt das Elektronenmikroskop eine wichtige Rolle, da es die Analyse der topologischen Struktur von Materialien sowie die Identifikation ihrer Bestandteile ermöglicht. In diesem Versuch wird ein Rasterelektronenmikroskop (REM) zu Ausbildungszwecken verwendet, um einen grundlegenden Einblick in dessen Funktionsweise und Anwendungsmöglichkeiten zu erhalten.

## 2 Theoretische Grundlagen

Das Elektronenmikroskop ist eine spezielle Art von Mikroskop, das Elektronen anstelle von Licht verwendet, um eine stark vergrößerte und hochauflösende Abbildung der Probe zu erzeugen. Im Vergleich zum Lichtmikroskop bietet es eine wesentlich höhere Vergrößerung sowie eine deutlich präzisere Bilddarstellung.

Einige Elektronenmikroskope ermöglichen eine Vergrößerung von bis zu zwei Millionen Mal der tatsächlichen Größe des Objekts, während selbst die leistungsfähigsten Lichtmikroskope auf etwa 2000-fache Vergrößerung begrenzt sind. Sowohl im Licht- als auch im Elektronenmikroskop gibt es jedoch durch die jeweilige Wellenlänge physikalisch bedingte Grenzen hinsichtlich der Auflösung und Bildschärfe.

Die überlegene Auflösung und Vergrößerungsfähigkeit des Elektronenmikroskops ist auf die deutlich kürzere Wellenlänge der Elektronen zurückzuführen – gemäß der de-Broglie-Gleichung – im Vergleich zur Wellenlänge elektromagnetischer Strahlung (Licht). Daraus ergibt sich ein inverser Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Auflösung bzw. Vergrößerung: Je kürzer die Wellenlänge, desto höher die mögliche Auflösung.



**Abb. 1:** Erklärung zur Elektronenstrahlerzeugung im REM  
Quelle: Youtube: Das Rasterelektronenmikroskop

Die Kathode wird stark erhitzt, auf etwa 1800K. Zusätzlich wird eine Hochspannung von etwa 5 bis 15kV zwischen Kathode und Anode angelegt. Dadurch erhalten die Elektronen genügend Energie, um beschleunigt zu werden. So entsteht ein Elektronenstrahl, der jedoch erst durch elektromagnetische Linsen gebündelt und fokussiert werden kann.

Mithilfe elektromagnetischer Ablenkung kann der gebündelte Strahl über die Probe geführt werden, sodass unterschiedliche Positionen gezielt angesteuert werden können. Zur Detektion der Elektronen wird ein positiv geladener Sekundärelektronendetektor verwendet, der die negativ geladenen Elektronen anzieht. Diese werden anschließend mithilfe einer Computersoftware visuell dargestellt.

Beim Betrieb des Rasterelektronenmikroskops entsteht außerdem Röntgenstrahlung.[1] Diese kann mit einem Röntgendetektor erfasst werden, um die chemische Zusammensetzung des untersuchten Materials zu bestimmen.

### 3 Aufgabenstellung

Ziel dieses Versuchs ist: Folgende Informationen über die Probe zu ermitteln:

- Morphologie.
- Kristallstruktur.
- Chemische Zusammensetzung.
- Analyse des EDX Diagramms und Erklärung.
- Die Untersuchung der Unterschiede zwischen dem SE- und BSE-Detektor.

## 4 Proben und Methoden

Der durchgeführte REM-Versuch untersuchte einen gesinterten Halbleiter mittels SE- und BSE-Detektor.

Als Leistungshalbleiter wird ein SIC-Mosfet benutzt, wo drei Strukturen analysiert wurden: [2]

- Gate Pad
- Sinterpad
- Source Pad

Zunächst die EDX Analyse einer gesinterten Sinterpaste in einem Al-Tiegel.

Für die Analyse wurde folgende Prüfgerät verwendet:

- Rasterelektronenmikroskop der Firma Thermo Fisher Scientific

Für diese Analyse ist bei beiden Proben ein Rasterelektronenmikroskop zu verwenden.

### 4.1 Phenom XL G2 von Thermo Fisher Scientific

Das Phenom XL G2 ist ein hochmoderner Rasterelektronenmikroskop, das für präzise Analyse von Strukturen und Zusammensetzung in der Materialwissenschaften Industrie entwickelt wurde: Das REM besitzt die folgende Eigenschaften: [3]

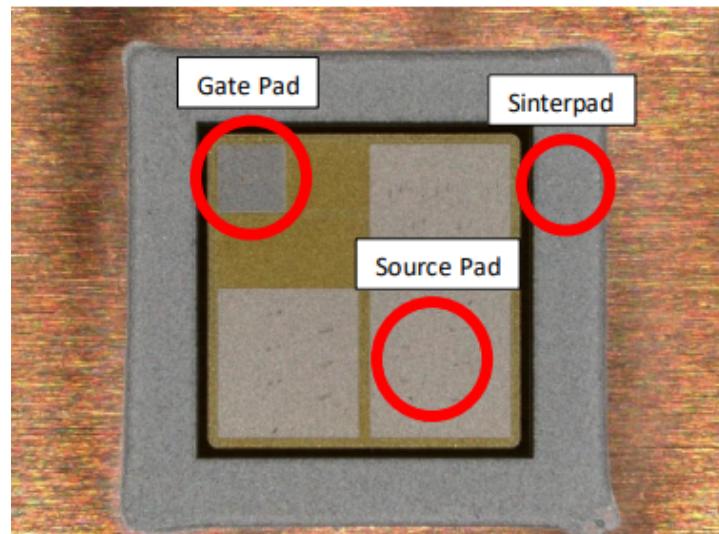
- Automatisierte Abläufe: Unterstützt die Automatisierung von Routineprozessen, wodurch manuelle und sich wiederholende Arbeitsschritte reduziert werden.
- Schneller Analysebeginn: Nach durchschnittlich 60 Sekunden liefert das Gerät erste Bilder.
- EDS-Funktion (Elementanalyse): Zur chemischen Analyse der Proben kann das System optional mit einem energie-dispersiven Röntgenspektrometer (EDS) ausgestattet werden, das die Elementzusammensetzung erfasst.

## 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[2]



**Abb. 3:** Probe aus Sinterpaste in Aluminiumtiegel[2]

## 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.

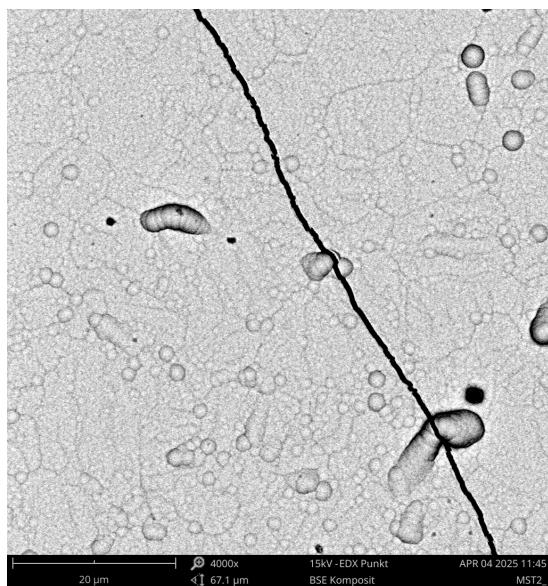
## 6 Ergebnisse

Nach erfolgreicher EDX-Analyse wurden die folgenden Daten erfasst:

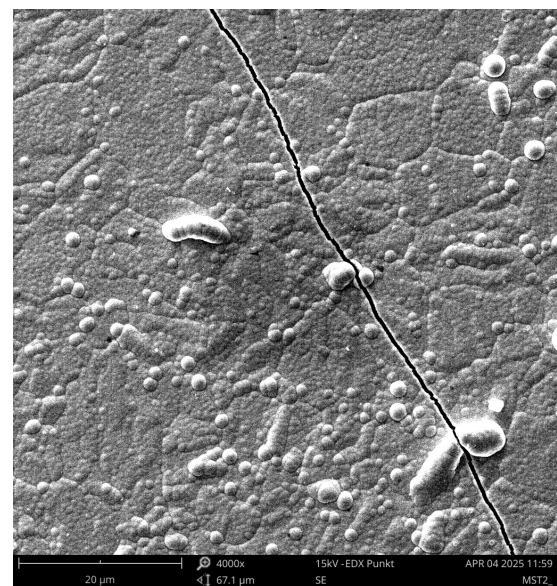
Bereich	Element	Atomare Konz. [%]	Gewichtskonz. [%]
<b>Gate Pad</b>	Au	84,49	92,57
	Pd	10,05	5,95
	Ni	3,49	1,14
<b>Sinterpad rechts</b>	C	83,77	69,68
	Al	16,23	30,32
<b>Sinterpad rechts</b>	Al	97,92	92,19
	Ag	2,08	7,81
<b>Sinterpad links</b>	Ag	69,80	95,40
	C	30,20	4,60
<b>Source Pad</b>	Au	81,91	91,26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

**Tab. 1:** EDX-Analyse der untersuchten Bereiche

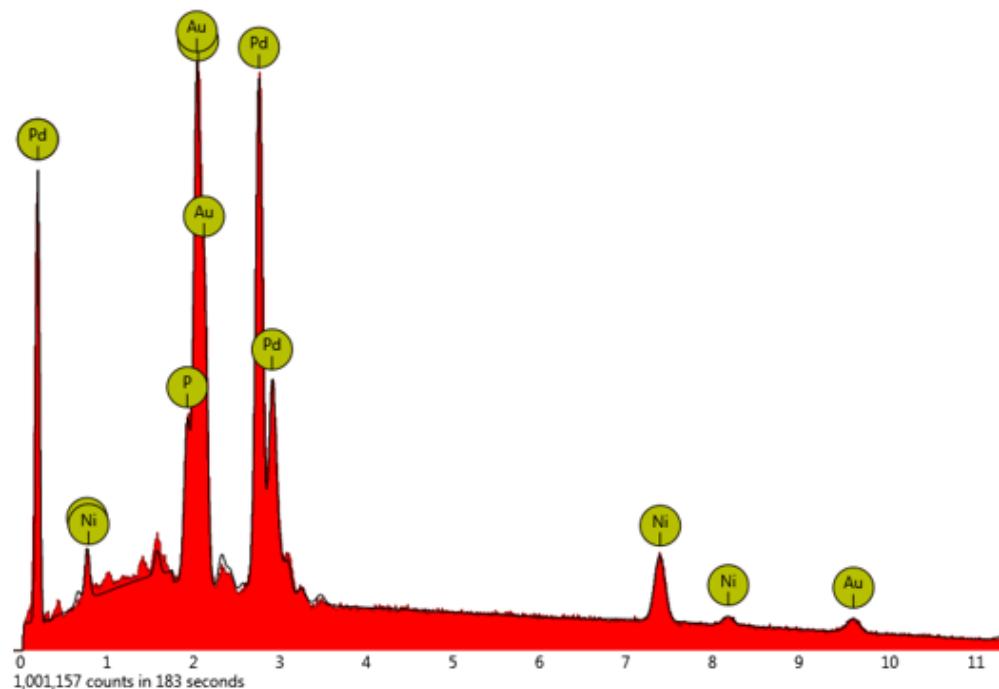
## 6.1 GatePad



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



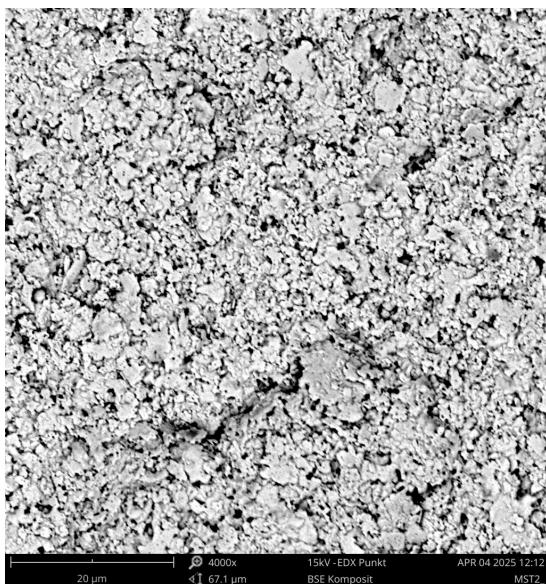
**Abb. 5:** REM-Aufnahme(SE Komposit, 4000x, 67,5 μm) des GatePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)



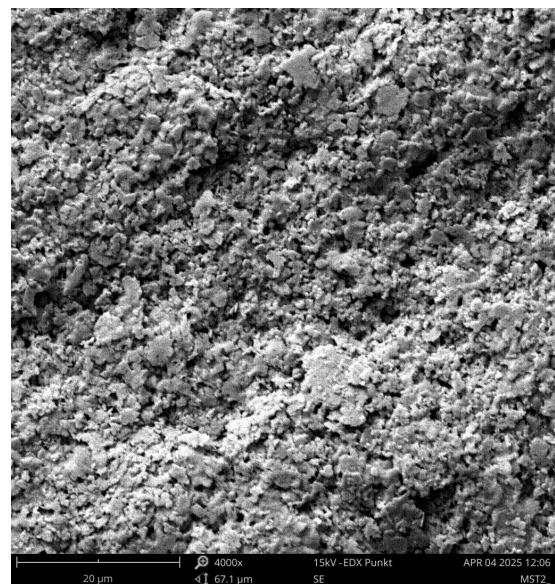
**Abb. 6:** EDX Analyse des GatePads mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)

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.

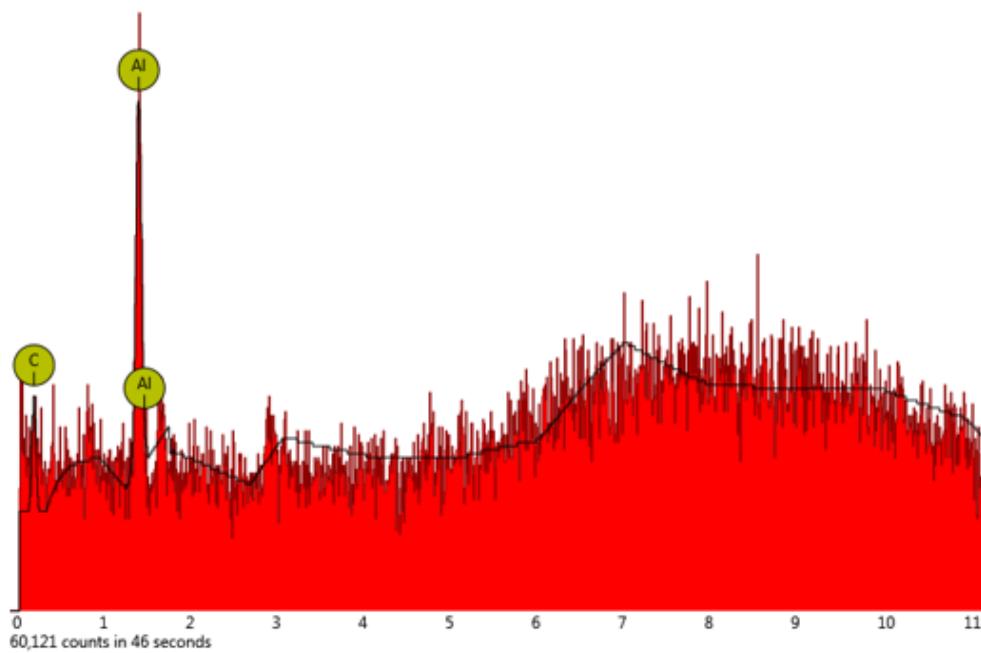
## 6.2 Sinterpad rechts



**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)

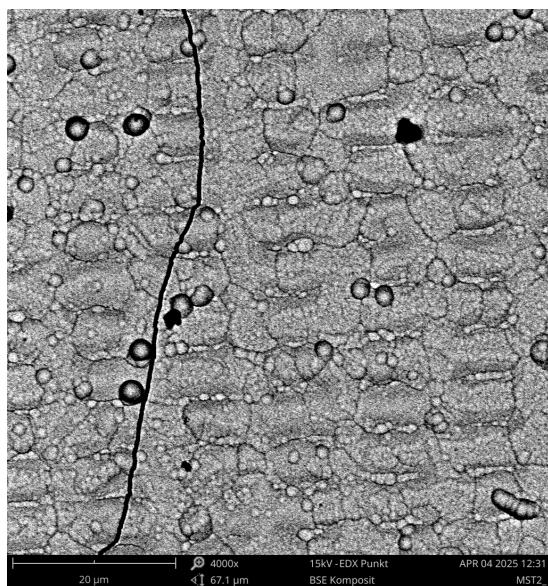


**Abb. 9:** EDX Analyse des SinterPads rechts mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)

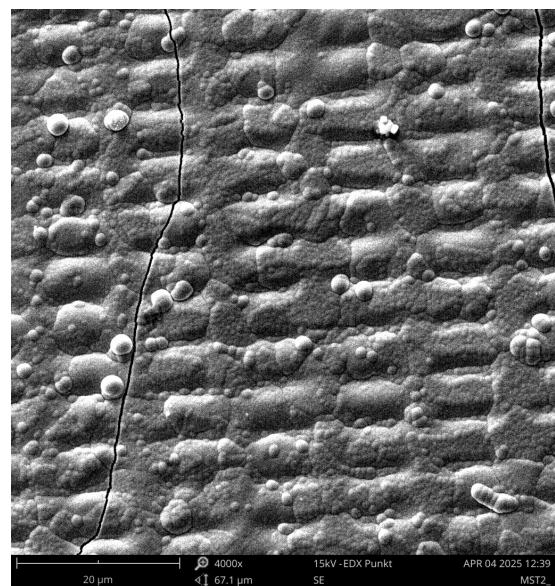
Die SE-Aufnahme des rechten Sinterpads zeigt eine stark poröse und grobkörnige Oberfläche. Die Partikel sind ungleichmäßig verteilt und variieren deutlich in ihrer Größe. Das lässt darauf schließen, dass der Bereich nur teilweise gesintert wurde. Die EDX-Analyse unterstützt diese Beobachtung mit einem 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.

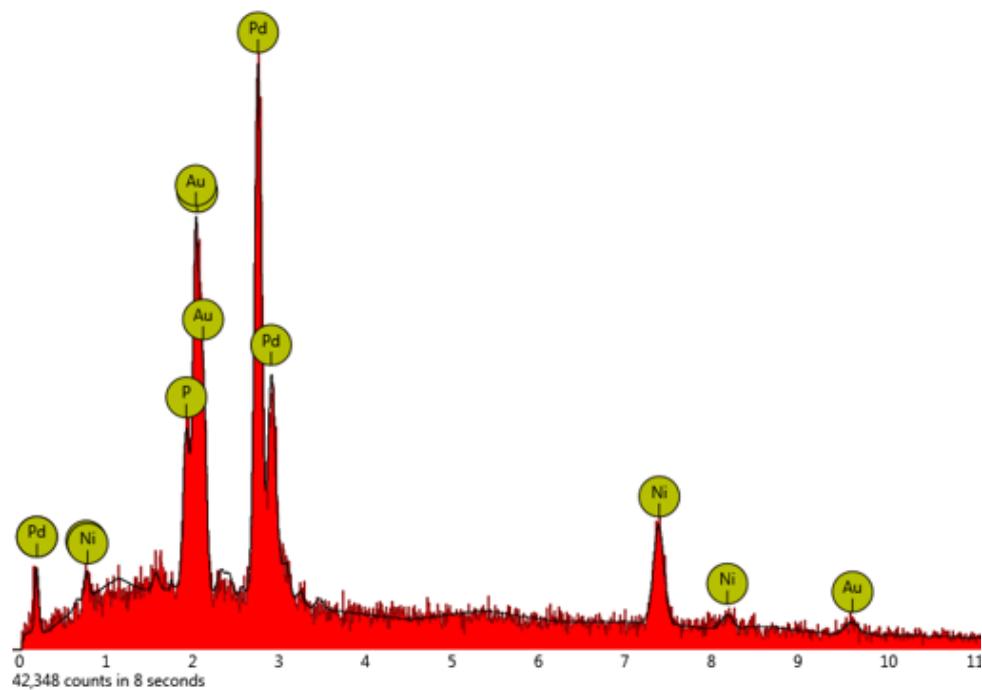
### 6.3 SourcePad



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



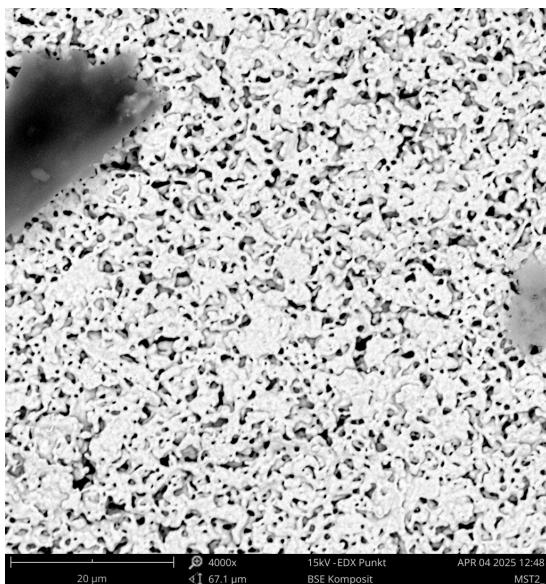
**Abb. 11:** REM-Aufnahme (SE Komposit, 4000x, 67,5 μm) des SourcePads mit Punktanalyse, (Selbsterstellte Abbildungen)



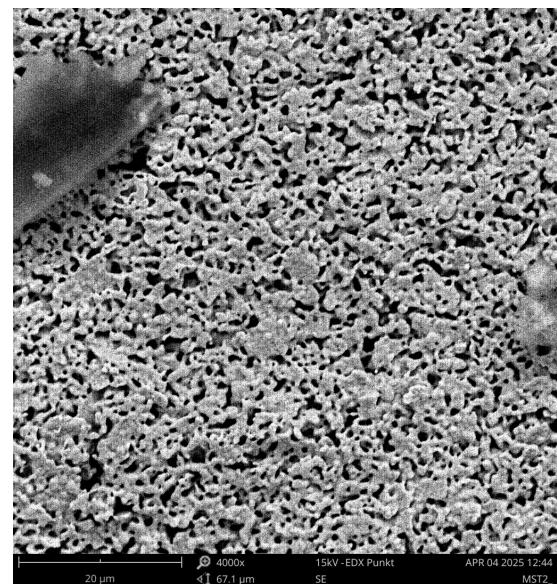
**Abb. 12:** EDX Analyse des SourcePads mit Darstellung der chemischen Zusammensetzung der Elemente, (Phenom erstellte Bericht)

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.

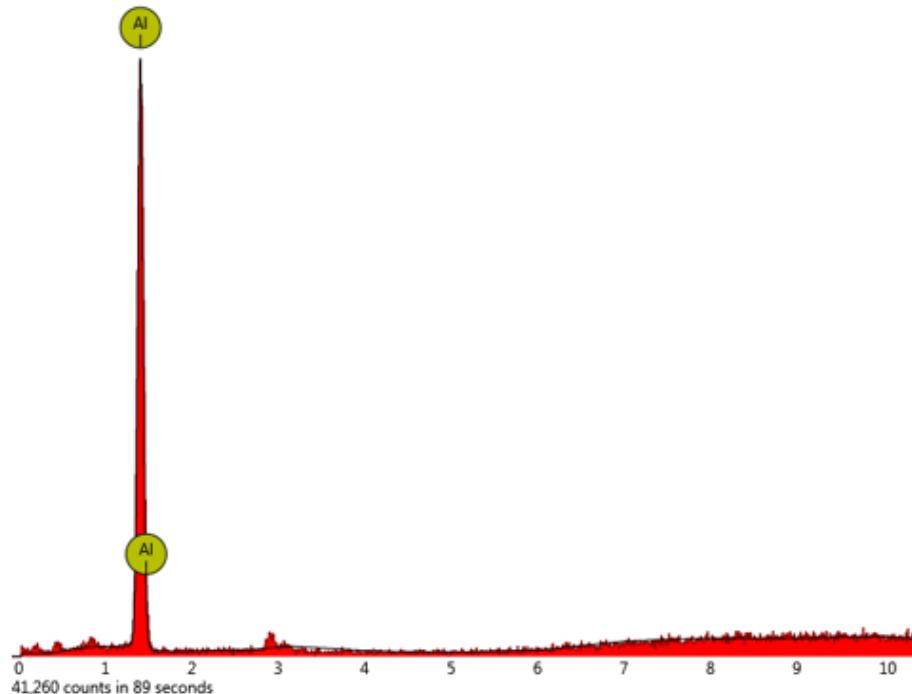
## 6.4 Tiegel



**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	Erklärung zur Elektronenstrahlerzeugung im REM . . . . .	4
2	Positionierung der Messpositionen auf SiC-Mosfet[2] . . . . .	6
3	Probe aus Sinterpaste in Aluminiumtiegel[2] . . . . .	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] Rainer Schwab. *Das Rasterelektronenmikroskop*. Zugriff am 10 April 2025. 2012. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=uXjXx63Nb6k>.
- [2] M.Eng. Yannick Bockholt. *Laborversuch 2: Rasterelektronenmikroskop (REM)*. Zugriff am 11 April 2025.
- [3] thermofisher. Zugriff am 10 April 2025. URL: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/MSD/Datasheets/phenom-xl-g2-argon-compatible-desktop-sem-datasheet.pdf>.