

100%-Qualitätskontrolle von Halbleiter-Bauteilen mittels akustischen Fingerabdrucks

Martin FÜRST¹, Louis MONOT¹, Josef PÖRNBACHER¹, Balthasar FISCHER¹

¹ XARION Laser Acoustics GmbH, Ghegastraße 3, 1030 Wien, Österreich

Kontakt E-Mail: m.fuerst@xarion.com

Kurzfassung

Die Halbleiterindustrie bildet das Rückgrat der modernen Wirtschaft und produziert jährlich über eine Billion Halbleiterbauteile. Um fehlerhafte Bauteile auszusondern, sind zerstörungsfreie Prüfmethoden notwendig, jedoch nur eingeschränkt verfügbar. Vor allem interne Defekte wie Delaminationen, Risse, etc. können derzeit nur mit koppelmittelbasierten Ultraschallmethoden effektiv detektiert werden, beispielsweise mittels scannender akustischer Mikroskopie (C-SAM). Der Einsatz von Koppelmitteln ist in der Ausgangskontrolle von Halbleiterkomponenten jedoch unerwünscht, außerdem verhindern relativ lange Messzeiten eine 100%-Qualitätskontrolle.

Wir stellen eine neuartige, laserbasierte Ultraschall-Prüfmethode vor, die ohne scannendes Verfahren, mittels eines einzelnen Laserpulses pro Bauteil, eine Aussage über die Qualität des Bauteils erlaubt. Dabei erzeugt ein kurzer Laserpuls eine breitbandige Ultraschallwelle die sich im gesamten Bauteil ausbreitet und charakteristische Resonanzen ausbildet. Ein Optisches Mikrofon detektiert die in die Luft abgestrahlte Ultraschallwelle. Das akinetische Funktionsprinzip des Optischen Mikrofons (es besitzt keine beweglichen Teile) führt zu einer sehr hohen Detektionsbandbreite. Ein Großteil des abgestrahlten Ultraschallspektrums kann daher detektiert und als charakteristische Sprungantwort des angeregten Bauteils interpretiert werden – ein akustischer „Fingerabdruck“.

In diesem Beitrag präsentieren wir kontaktfreie „Single-Shot“-Messungen an Bauteilen der Halbleiterindustrie. Die Bauteile weisen oberflächliche sowie interne Defekte, wie Absplitterungen oder Delaminationen, auf. Diese Abweichungen vom Soll-Bauteil führen zu einer Abweichung der detektierten Sprungantwort von der Sprungantwort des fehlerfreien Normbauteils. Durch Korrelationsanalyse der registrierten Signale lassen sich somit fehlerbehaftete von fehlerfreien Bauteilen unterscheiden. Aufgrund des kontaktfreien Prüfprinzips, sowie hohen Pulsraten von heutigen Lasern, lassen sich somit prinzipiell hunderte Bauteile pro Sekunde prüfen. Dies und die Freiheit von Koppelmitteln macht die vorgestellte Ultraschall-Methode sehr interessant für die 100%-Qualitätskontrolle in der Halbleiterindustrie.

100%-Qualitätskontrolle von Halbleiter-Bauteilen mittels akustischen Fingerabdrucks

Martin Fürst, Louis Monot, Josef Pörnbacher, Balthasar Fischer

m.fuerst@xarion.com, opticalmicrophones@xarion.com

DACH-Jahrestagung 2023, 15.-17. Mai in Friedrichshafen

XARION Laser Acoustics GmbH



Kennen Sie Shazam?

❖ „Shazam“ ist eine beliebte App für das Smartphone, die Musik identifiziert



Musik



Aufnahme



Berechnung eines
„Fingerabdrucks“



Vergleich mit
Datenbank



Ausgabe: Name des Songs

❖ → Können wir „Shazam“ für die ZfP einsetzen?

1. Motivation

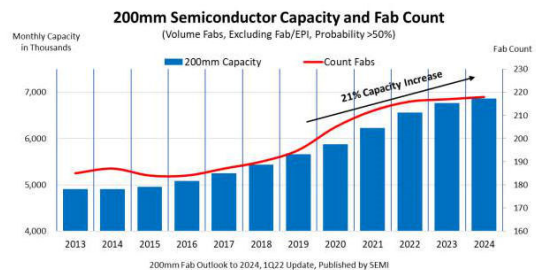
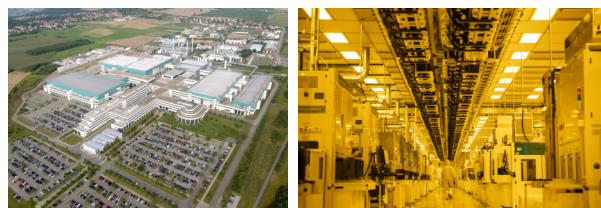
2. Messprinzip „Akustischer Fingerabdruck“ und Korrelationsanalyse

3. Fallbeispiele: Semicon-Bauteil, Mikrokeramik

4. Zusammenfassung & Ausblick

Motivation

- ❖ Mikrochips u. Halbleiter sind allgegenwärtig und für die moderne Industrie unverzichtbar
- ❖ Die produzierten Mengen steigen weiter
- ❖ Stand der Technik:
 - Genaue Eingangskontrollen
 - Strenge Prozesssteuerung
 - **Stichprobenartige** Endprüfung
- ❖ → Potentielles Problem v.a. bei sicherheitskritischen Anwendungen, z.B. in der Automobilindustrie, Flugzeugindustrie

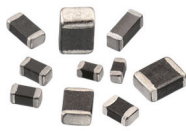


100%-Prüfung ist erwünscht

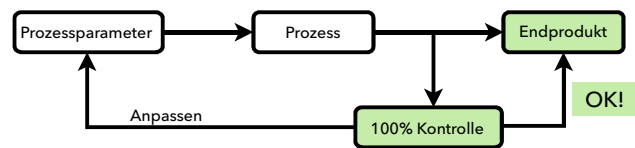
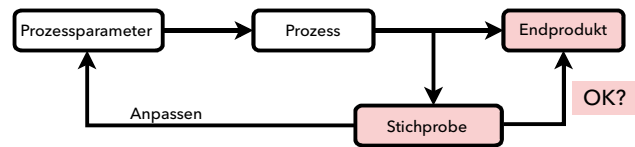
- ❖ Für sicherheitskritische oder lebenswichtige Komponenten
- ❖ Zur frühzeitigen Erkennung von Prozessabweichungen
- ❖ Zur Vermeidung von Reklamationen



Spannungsregler



Mehrlageninduktor



Welche Prüfverfahren eignen sich für 100%-Prüfung?

- ❖ Zielformulierung: Gesucht ist eine Methode, die auch Fehler im Inneren entdeckt, und schnell genug für 100%-Prüfung ist.

Verfahren:	Schnell (100%)?	Interne Fehler?	Datenmenge?
Kamera-basierte VF	Ja	Nein	2D Bilder
Röntgen	Ja	Ja	2D Bilder
CT	Langsam	Ja	3D Volumina
C-SAM	Langsam	Ja	2D Bilder
Thermographie	Mittel	Ja, begrenzt	2D Bilder
Akustischer Fingerabdruck	Ja	Ja	1D Akustiksignal

Akustische Impulsantwort von Weingläsern



❖ Der Klang hängt vom Füllstand ab!

Inhalt

1. Motivation
- 2. Messprinzip „Akustischer Fingerabdruck“ und Korrelationsanalyse**
3. Fallbeispiele: Semicon-Bauteil, Mikrokeramik
4. Zusammenfassung & Ausblick



Musik



Aufnahme



Berechnung des „Fingerabdrucks“



Vergleich mit Datenbank



Ausgabe: Name des Songs



Musik



Aufnahme



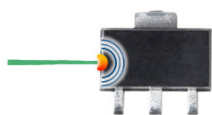
Berechnung des „Fingerabdrucks“



Vergleich mit Datenbank



Ausgabe: Name des Songs



Laser-Akustische Anregung



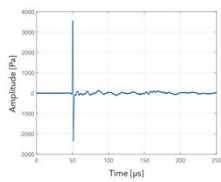
Aufnahme mit Optischem Mikrofon

Anregung und Aufzeichnung mittels Laserakustik und Optischem Mikrofon

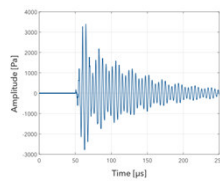
Breitbandige Anregung des Ultraschalls

- ❖ Anregung durch gepulsten Laserstrahl
- ❖ Sehr kurze Impulsdauer → breitbandiges Ultraschallsignal

Bsp.: kurzer Impuls

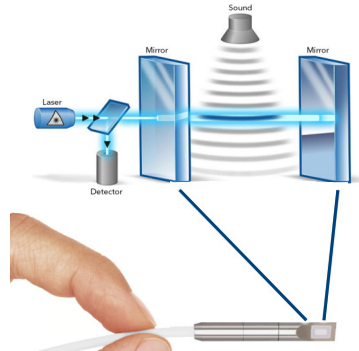


Piezo-Anregung



Breitbandige Messung des Ultraschalls

- ❖ Optisches Mikrofon als breitbandiger Ultraschallsensor (ca. 10 Hz bis > 2MHz)



Musik



Aufnahme



Berechnung des „Fingerabdrucks“



Vergleich mit Datenbank



Ausgabe: Name des Songs



Laser-Akustische Anregung



Aufnahme mit
Optischem Mikrofon



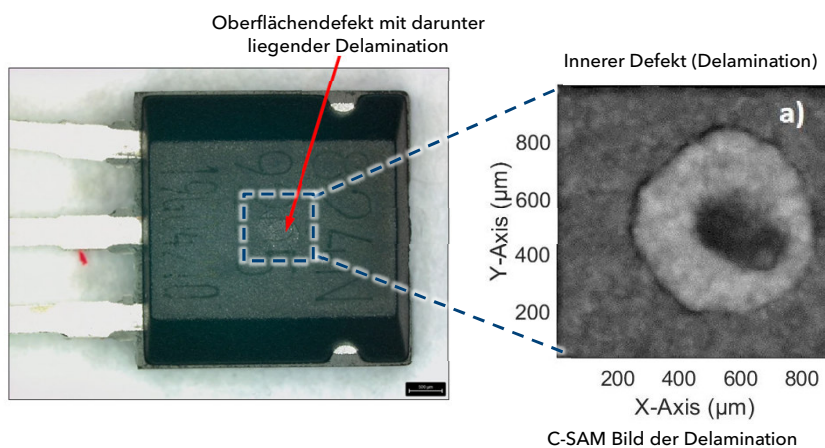
Berechnung des
„Fingerabdrucks“

Unser „Fingerabdruck“ ist die akustische Impulsantwort



(Die akustische Impulsantwort ist auch die wichtigste Metrik bei der Bewertung von Raumakustik - allerdings im hörbaren Bereich)

Typische Defekte in Halbleiterbauteilen



Äußerer Defekt (Absplitterung)



(Kooperation mit Fraunhofer IMWS)

Wie „klingen“ Defekte im Ultraschallbereich?



❖ Signale sind um den Faktor 1000 verlangsamt!



❖ Defekte sorgen z.B. für Nachhall



Musik



Aufnahme



Berechnung des
„Fingerabdrucks“



Vergleich mit Datenbank



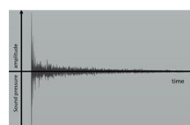
Ausgabe: Name des Songs



Laser-Akustische Anregung



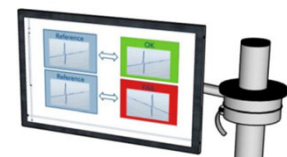
Aufnahme mit
Optischem Mikrophon



Berechnung des
„Fingerabdrucks“



Vergleich mit Datenbank

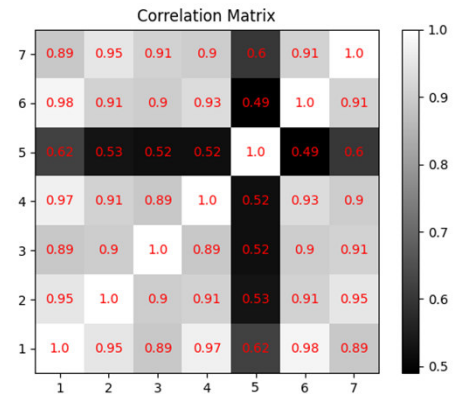


Ausgabe: OK/nOK

OK/nOK Prüfung durch Vergleich der Impulsantwort

$$R_{xy}(\tau) = (x \star y)(\tau) = (x^*(-t) \star y(t))(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x^*(t) y(t + \tau) dt$$

- ❖ Impulsantwort der Bauteile wird aufgezeichnet
- ❖ Kreuzkorrelation zwischen Impulsantworten wird berechnet
- ❖ Bewertung durch
 - Vergleich mit fester Referenz oder durch
 - Vergleich mit Signalen der Nachbarbauteile



In diesem Fall unterscheidet sich Bauteil 5
signifikant von den anderen geprüften Teilen

Inhalt

1. Motivation
2. Messprinzip „Akustischer Fingerabdruck“ und Korrelationsanalyse
- 3. Fallbeispiele: Semicon-Bauteil, Mikrokeramik**
4. Zusammenfassung & Ausblick

Fallbeispiel Halbleiter-Bauteil

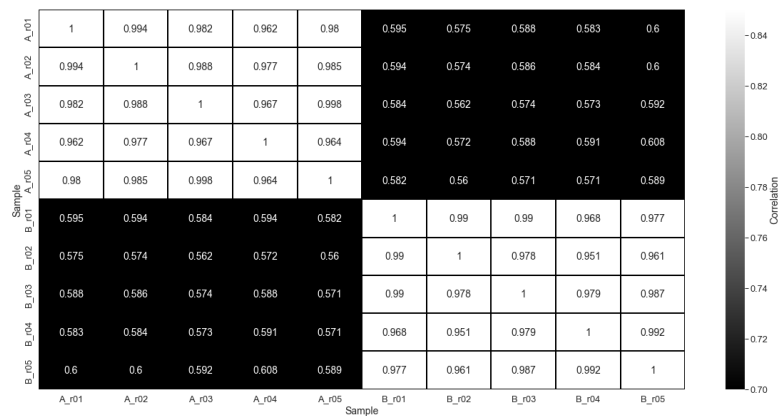
- ❖ Geprüft wurden Mehrlageninduktoren
- ❖ Kreuzkorrelation zwischen Impulsantworten wird berechnet
- ❖ Bewertung durch Vergleich der Impulsantworten



Mehrlageninduktor

Ergebnisse - Einfluss von Größenvariation

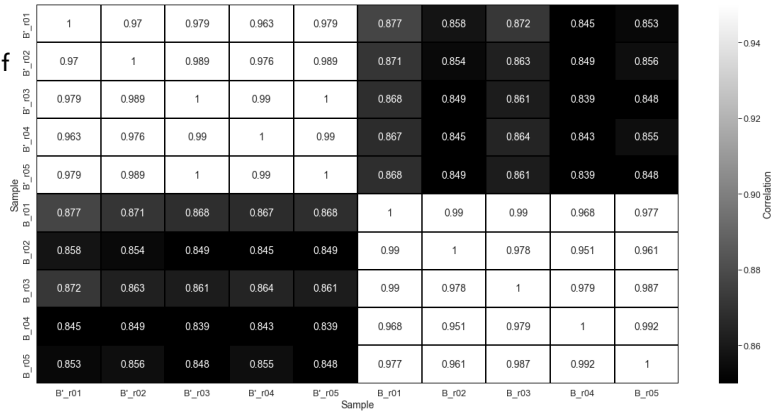
- ❖ 2 Bauteile geprüft
 - Größenunterschied ~2%
- ❖ Messungen 5-mal wiederholt für Abschätzung der Robustheit



- ❖ Geringe Größenabweichung führt zu signifikant niedrigerer Korrelation!

Ergebnisse - Einfluss von mechanischem Defekt

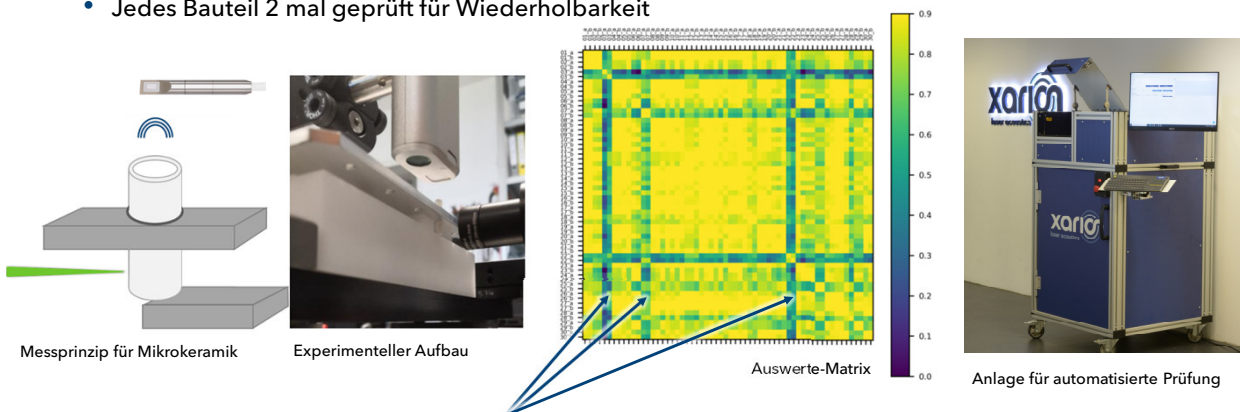
- ❖ 2 Bauteile geprüft
 - 1 Bauteil weist mech. Defekt auf
- ❖ Messungen 5-mal wiederholt für Abschätzung der Robustheit



- ❖ Oberflächendefekt führt zu signifikant niedrigerer Korrelation!

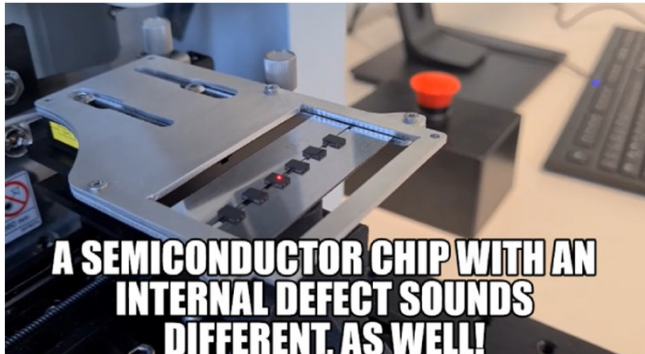
Fallbeispiel Mikrokeramik

- ❖ Mikrokeramik mit Haarrissen
 - Jedes Bauteil 2 mal geprüft für Wiederholbarkeit



- ❖ Fehlerhafte Bauteile stechen klar hervor!

Videodemonstration einer Single-Shot-Messung



Videodemonstration einer Single-Shot-Messung im XARION-Labor



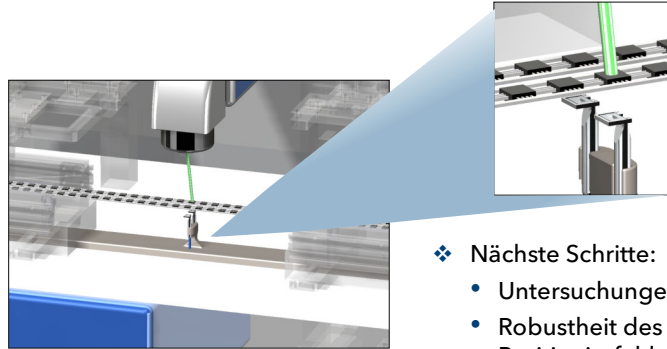
Verwendetes Equipment

Inhalt

1. Motivation
2. Messprinzip „Akustischer Fingerabdruck“ und Korrelationsanalyse
3. Fallbeispiele: Semicon-Bauteil, Mikrokeramik
- 4. Zusammenfassung & Ausblick**

Zusammenfassung und Ausblick

- ❖ Die akustische Impulsantwort erlaubt die automatisierte Bewertung kleiner Bauteile
- ❖ Die Kombination aus **Kontaktfreiheit** und **Geschwindigkeit** ermöglicht 100%-Prüfung



❖ Nächste Schritte:

- Untersuchungen zum Einfluss des Trägerstreifens
- Robustheit des Verfahrens gegenüber Positionierfehlern
- Grenzen der Detektierbarkeit kleinster Defekte

100%-Qualitätskontrolle von Halbleiter-Bauteilen mittels akustischen Fingerabdrucks

Martin Fürst, Louis Monot, Josef Pörnbacher, Balthasar Fischer

