

JOT

Journal für Oberflächentechnik

Galvanotechnik

Durchgängige Digitalisierung
erfüllt hohe Qualitätsansprüche

Funktionelle Oberflächen

Biolumineszenz bringt
Holz zum Leuchten

Vorbehandlung

Geschlossener Wasserkreislauf
für Qualität und Nachhaltigkeit



Schwerpunkt: Schleifen und Polieren

Die Temperatur als entscheidender Faktor

Überwachung nasschemischer Bäder

Für die Qualitätssicherung bei nasschemischen Prozessen ist eine schnelle Analysemethode essenziell. Die simultane Multielementanalyse durch laserinduzierte Plasmaspektroskopie für Metallvorbehandlungsbäder sowie eine Impedanzspektroskopie-basierte Methode zur Analyse der Badaktivität bei der außenstromlosen Kupferabscheidung bieten neue Möglichkeiten.

Dr. Dennis Weller, Dr. Wolfgang Eberhardt

Nur korrekt ausgeführte Konversionsbeschichtungen erfüllen alle Anforderungen zur Herstellung hafter und langlebiger Klebungen sowie Beschichtungen auf Aluminium. Die Qualitätssicherung der Prozessbäder für die Konversionsbeschichtungen ist der entscheidende Baustein zur Sicherstellung der Anforderungen an die nachfolgenden Prozesse und zur Erfüllung der Korrosionsschutzeigenschaften. Essenziell hierfür ist die präzise Kontrolle der Bäder, insbesondere hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und möglicher Verunreinigungen. Mit der laserinduzierten Plasmaspektroskopie (LIBS) kann die Badzusammensetzung kontinuierlich überwacht werden, um Abweichungen in Echtzeit zu erkennen und die Produktqualität sicherzustellen.

Die LIBS-Technologie ermöglicht die simultane Detektion mehrerer Elemente in Echtzeit, wodurch eine kontinuierliche Überwachung der chemischen Zusammensetzung von Badlösungen gewährleistet wird. Durch die Fokussierung eines gepulsten Laserstrahls auf die Probenoberfläche wird ein Plasma erzeugt, in dem die oberflächennahen Moleküle und Atome angeregt werden. Dieses Plasma emittiert ein charakteristisches Lichtspektrum, das mittels eines Spektrometers detektiert wird und die Identifizierung der in der Probe enthaltenen Elemente erlaubt. Allerdings erreicht die direkte Messung der Flüssigkeit nach aktuellem Stand der Technik nicht die erforderliche Präzision für eine Inline-Analyse. Daher muss die Analyse auf indirektem Weg erfolgen: Geringe

Mengen der Badlösung werden zusätzlich mit einem internen Molybdän-Standard in Tiegel dosiert, anschließend mit einem IR-Strahler innerhalb von Minuten getrocknet und die zurückbleibende Schicht wird mittels LIBS analysiert (Bild 1).

Bei diesem Vorgehen spielt das Tiegelmaterial eine entscheidende Rolle. Das Material muss in höchst reiner und stets reproduzierbarer Qualität erhältlich sein und darf keine Elemente enthalten, die für die Badlösung relevant sind. Als geeignetes Material hat sich PCTG erwiesen, das als 3D-Druck-Material eine hohe thermische und chemische Stabilität aufweist. Die Tiegel können entsprechend den Anforderungen der Analyse gedruckt werden. Durch den Druck kann außerdem eine Strukturierung der Tiegel vorgenommen werden, wodurch eine gleichmäßigere Trocknung unterstützt wird.

Zur Überprüfung der Eignung des Tiegelmaterials wurden eine neu angesetzte (Fresh) und eine künstlich gealterte (Aged) Badlösung untersucht. In der Aged-Probe ist neben Titan zusätzlich Aluminium enthalten. Die Spektren zeigen, dass eine eindeutige Unterscheidung zwischen beiden Badlösungen anhand der relevanten Elemente möglich ist (Bild 2).

Für die Demonstration der Messmethode wurden verschiedene Konzentrationen der beiden Badlösungen Fresh und Aged untersucht. Die auf den Molybdän-Standard normierten Peakflächen aus den LIBS-

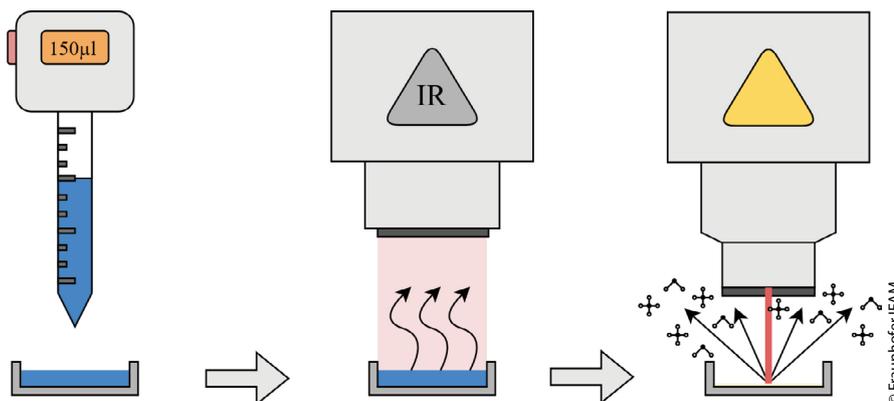


Bild 1 > Schematische Darstellung des Ablaufs der Probenherstellung und -messung.

© Fraunhofer IFAM

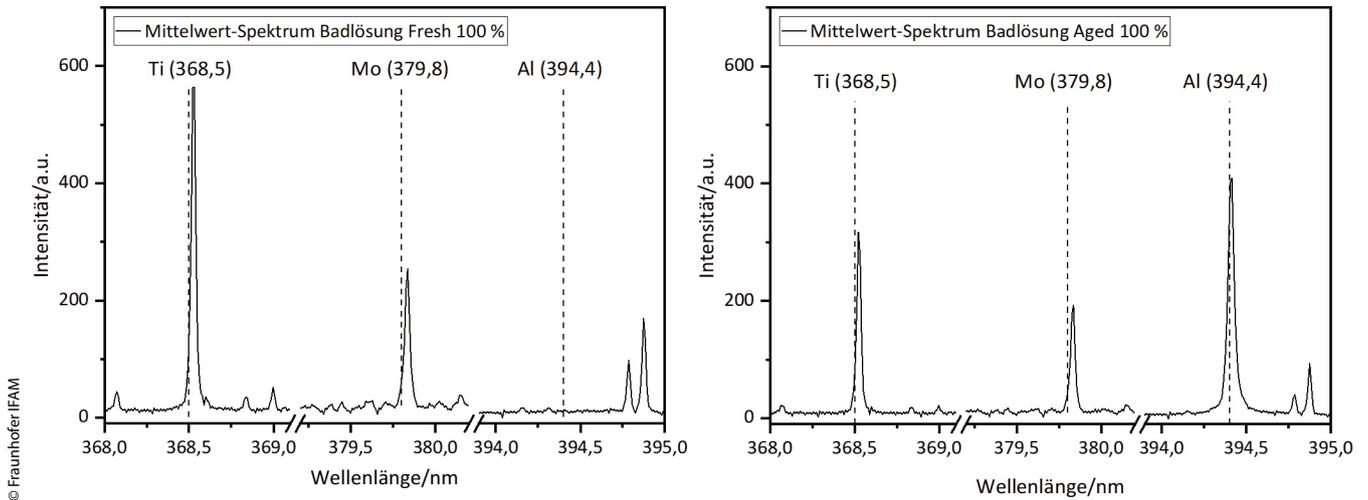


Bild 2 > Mittelwert-Spektren der Badlösungen Fresh (links) und Aged (rechts), mit gestrichelten Linien sind die theoretischen Wellenlängen der jeweiligen Elemente gekennzeichnet.

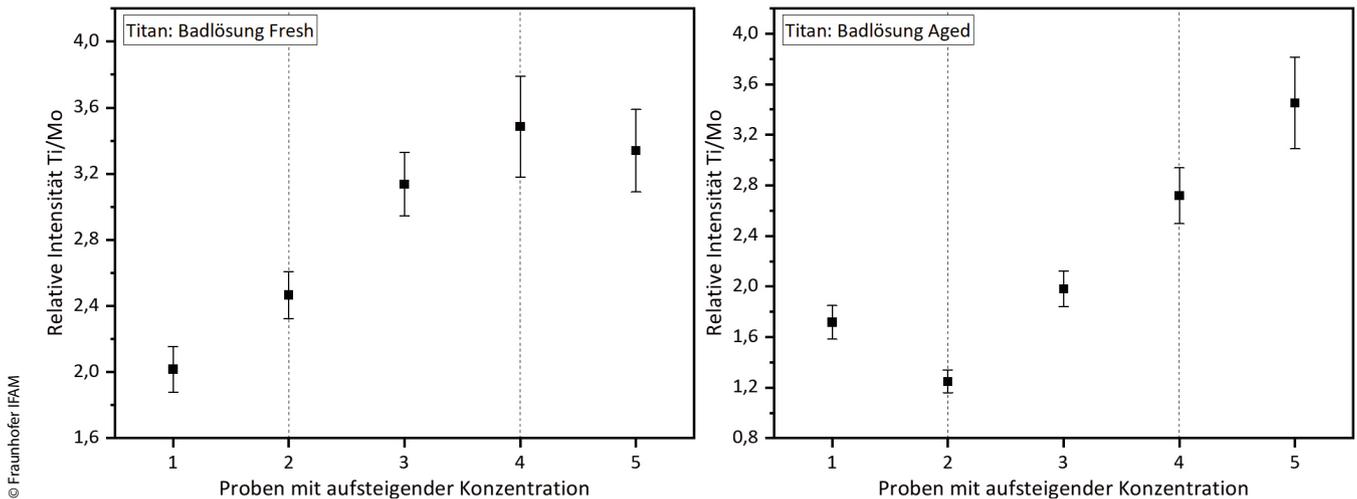


Bild 3 > LIBS-Intensität von Ti relativ zu Mo der Badlösungen Fresh (links) und Aged (rechts) von Proben mit aufsteigender Konzentration. Mit gestrichelten Linien ist der in der Praxis relevante Bereich gekennzeichnet.

Messungen nahmen bei steigender Probenkonzentration entsprechend zu. Sowohl bei den Fresh- als auch Aged-Proben konnte insgesamt eine gute Übereinstimmung mit den jeweiligen Konzentrationen festgestellt werden, insbesondere im für die Praxis relevanten Bereich der Proben 2 bis 4. In diesem Bereich ist bei beiden Proben ein sehr gutes lineares Verhalten zu erkennen. Diese Ergebnisse unterstreichen die Zuverlässigkeit der LIBS-Methode zur Bestimmung von Ti-Konzentrationen in Prozessbädern und ihre Eignung für die Qualitätskontrolle in industriellen Anwendungen (Bild 3). Beispielhaft konnte durch die Messung der Ti-Konzentration gezeigt werden, dass die LIBS-Technologie eine zuverlässige Methode für die Überwachung der chemischen Zusammensetzung von Badlösungen dar-

stellt. Durch die Anpassung von Tiegel und Standards an die spezifische Badlösung oder Messaufgabe kann die Methode flexibel eingesetzt werden. Die Möglichkeit zur Automatisierung macht die LIBS-Technologie inline-fähig, was eine kontinuierliche Überwachung der Prozessbäder erlaubt. Dies ermöglicht ein schnelles Eingreifen bei Unregelmäßigkeiten in der chemischen Zusammensetzung und trägt wesentlich zur Sicherung der Produktqualität bei.

Metallisierung von 3D-Schaltungsträgern

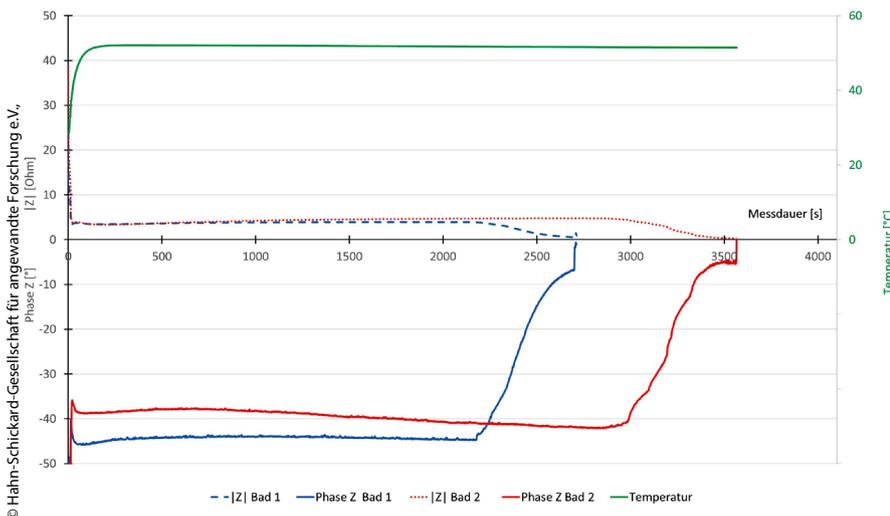
Ein weit verbreitetes Verfahren zur Herstellung von 3D-Schaltungsträgern, sogenannten Mechatronic Integrated Devices (MID), basiert auf der Laserdirektstrukturierung

von spritzgegossenen Bauteilen. Die Erzeugung der 3D-Leiterbahnstruktur erfolgt mit einem Laserstrukturierungsprozess, bei dem die Oberfläche des Bauteils mikroaufgeraut und für den nachfolgenden außenstromlosen chemischen Metallisierungsprozess selektiv aktiviert wird. Nach einem in der Regel nasschemischen Reinigungsschritt erfolgt zuerst die außenstromlose Metallisierung mit Kupfer (Bild 4). Für die kompletten Leiterbahnen können aufbauend darauf verschiedene Endschichten wie Nickel/Gold abgeschieden werden. Der kritische Prozessschritt ist die außenstromlose Kupfermetallisierung, da eine zu geringe Badaktivität zu Fehlstellen und eine zu hohe Badaktivität zu einer unerwünschten Abscheidung auf nicht aktivierten Bereichen führen kann. Die Ba-



© 2E mechatronic

Bild 4 > Metallisierung von MID.



© Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V.

Bild 5 > Messkurven von außenstromlosen Kupferbädern mit unterschiedlicher Aktivität.

daktivität ist von vielen Parametern, zum Beispiel Badzusammensetzung, Temperatur und Position im Metallierungsbecken, abhängig und hat einen wesentlichen Einfluss auf das sogenannte Anspringverhalten der Kupfermetallisierung auf den laseraktivierten Bauteilen. Das Anspringverhalten beschreibt im Wesentlichen die initiale Keimbildung und das Keimwachstum auf dem laseraktivierten Bauteil in den ersten Minuten im Kupferbad und ist für die Schichtqualität essenziell. Verschiedene laseraktivierte Thermoplaste erfordern oft eine unterschiedliche Badaktivität, um ein optimales Abscheideergebnis zu erzielen. Das momentan gebräuchlichste Verfahren zur Überwachung der außenstromlosen Kupfermetallisierung für MID ist die Metallisierung von laseraktivierten Testsubstraten und die anschließende Messung der Schichtdicke des aufgewachsenen Kup-

fers mittels Röntgenfluoreszenzanalyse. Aufgrund der langen Verweildauer im Bad kann damit vor allem auf zu aktive Bäder nicht zeitnah reagiert werden. Zudem ermöglichen Schichtdickenmessungen von beschichteten Testsubstraten zwar die Bestimmung einer mittleren Abscheiderate, aber nicht die Bestimmung des Anspringverhaltens auf dem laseraktivierten Substrat. Daher wird ein Bad mit zu hoher oder geringer Aktivität meist erst erkannt, wenn die zu beschichtende Ware bereits im Prozess ist, was im schlimmsten Fall zum Verlust der kompletten Metallisierungscharge führt.

Kupferabscheidung mithilfe der Impedanzspektroskopie überwachen

Zur Überwachung des außenstromlosen Kupferelektrolyten wurde ein Messsystem

mit einem kapazitiven Sensorelement entwickelt. Dabei standen die einfache Bedienung mit einer grafischen Benutzeroberfläche und ein einfacher Aufbau im Fokus, was mit einem Analog Discovery 2 Multifunktionsgerät, zusammen mit einem herkömmlichen Industrie-PC, realisiert wurde. Das Sensorelement ist die Basis für eine Impedanzmessung während der Metallabscheidung und liefert eine Aussage zum Anspringverhalten des Startkupferelektrolyten auf laseraktivierten spritzgegossenen Bauteilen, das heißt es erlaubt die Unterscheidung von wenig reaktiven und stark reaktiven Bädern. Zudem ist damit eine auf das Substratmaterial abgestimmte Optimierung des Abscheideprozesses möglich. Das Sensorelement besteht aus einem einfachen Kunststoffteil mit einer laseraktivierten Oberfläche. Zur Durchführung der Messung wird das in einen Sondenhalter gesteckte Sensorelement in den Elektrolyten getaucht. Auf der laseraktivierten Fläche des Sensorelements zwischen den Elektroden wird dann das Kupfer abgeschieden. Das Konzept beinhaltet einen leiterplattenbasierten, vergossenen Aufbau mit wiederverwendbaren Edelstahl Elektroden und einem integrierten digitalen Temperatursensor, sodass auch die Badtemperatur einsatznah erfasst werden kann.

Zu Beginn der Messung mit konstanter Messfrequenz wird zunächst ein kapazitives Verhalten beobachtet, da die laseraktivierte Fläche des Sensorelements noch nicht mit Metall beschichtet ist. Mit Ausbildung erster Stromleitpfade ändert sich die Phasenverschiebung sprunghaft und man beobachtet ein zunehmend resistives Verhalten (Bild 5). Die Zeitspanne zwischen Eintauchzeitpunkt und Phasensprung ist ein Maß für die Badaktivität. Der Phasensprung erfolgt umso schneller, je höher die Aktivität beziehungsweise das Anspringverhalten des Elektrolyten ist. Dem Anwender wird damit zusätzlich zu den standardmäßig durchzuführenden Analysen eine Methode an die Hand gegeben, die bei der Metallisierung von 3D-Schaltungsträgern eine erweiterte Qualitätssicherung ermöglicht.

Zukünftig soll das System um die Messung Impedanzspektroskopie erweitert werden, die Hardware ist dafür bereits vorbereitet (Bild 6). Dabei wird kontinuierlich ein vordefinierter Frequenzbereich durchfahren und die komplexe Impedanz für jeden Frequenzschritt erfasst. Hiermit sollen weitere Informationen zum Bad gewonnen werden. //

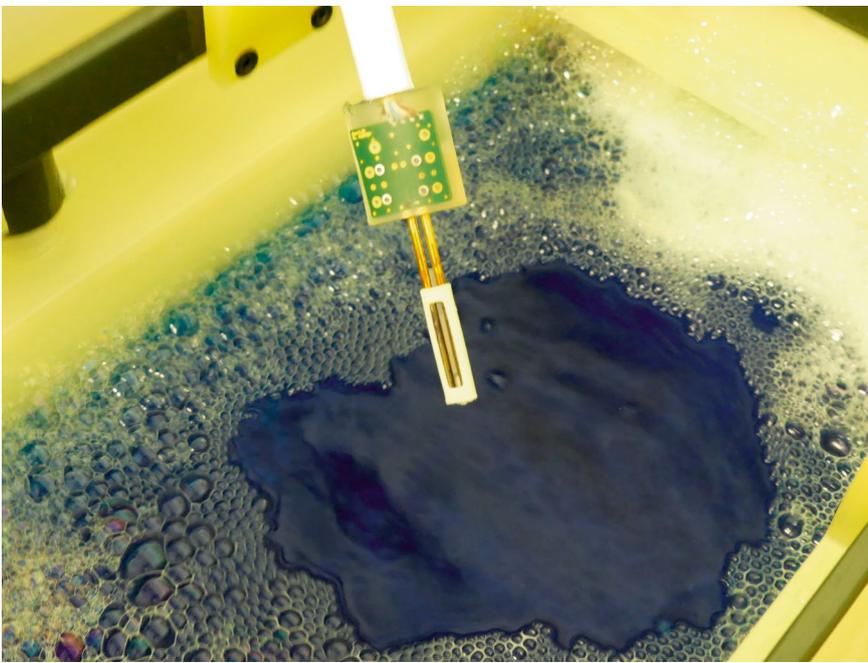


Bild 6 > Sonde für Impedanzmessung.

Die vorliegenden Arbeiten zur Analyse der Badlösungen mittels LIBS-Technik sowie die Entwicklung eines Sensorelements zur Impedanzspektroskopie wurden im Rahmen des IGF-Forschungsprojekts „BadeMeister“

(22065N) als Konsortialvorhaben durch die Forschungseinrichtungen Hahn-Schickard und Fraunhofer IFAM erarbeitet. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund

eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Vorhaben wurde dabei durch einen projektbegleitenden Fachausschuss mit mehr als zehn Mitgliedern der Industrie unterstützt.

Autoren

Dr. Dennis Weller

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen
dennis.weller@ifam.fraunhofer.de
www.ifam.fraunhofer.de

Dr. Wolfgang Eberhardt

Bereichsleiter Technologie
Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V., Villingen-Schwenningen
Wolfgang.Eberhardt@Hahn-Schickard.de
www.Hahn-Schickard.de

55 YEARS
MUNK
WE HAVE THE POWER

MUNK PAYBACK EFFEKT

**CO₂ reduziert – Geld gespart:
Maximale Effizienz**

Unsere PSP Tower **sparen** Platz, **reduzieren** CO₂ und Kosten - und das mit maximaler Effizienz. Sie stellen die alte Technik in den Schatten und überzeugen mit:

- + Payback in ca. 24 Monaten
- + Niedrigere Energiekosten
- + Resilient & smart - easy versichert
- + Kompakte Bauweise & wenig Gewicht
- + Hohe Flexibilität und mehr Prozesssicherheit

Jetzt auf die **moderne** Gleichrichtertechnik von MUNK umsteigen und **nachhaltig** profitieren!

MUNK GmbH

Gewerbepark 8+10 | D-59069 Hamm-Rhyrn | Tel.: +49 2385 74-0 | Mail: vertrieb@munk.de | www.munk.de | [f](#) [in](#) [v](#)



ZVO-OBERFLÄCHENTAGE

BERLIN

24.-26.9.2025

Kongress für Galvano- und Oberflächentechnik

Wir stellen aus
Stand Nr.:

31