

# Qualitative und quantitative Prüfung von ungleichmäßig galvanisch beschichteten Substraten

Döhler, Torsten\*; Mühlig, Verena\*, Böhme, Andrea\*; Neumann, Jens\*\*; Bochem, Reinhard\*\*; Geißler, Ute\*; Hofmann, Mandy\*; Regehly, Martin\*, Foitzik, Andreas\*

\* Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, Germany

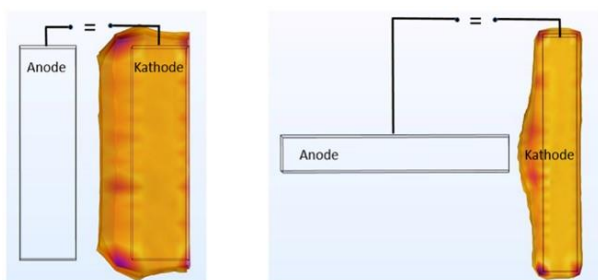
\*\* Schiefer und Co., Ellmenreichstraße 24, 20099 Hamburg, Germany

mailto: [tdoehler@th-wildau.de](mailto:tdoehler@th-wildau.de)

Mittels eines mikrogalvanischen Aufbaus wurden inhomogen strukturierte Oberflächen abgeschieden. Eine interferometrische Applikation ermöglichte die qualitative und quantitative Analyse. Eine schnelle qualitative interferometrische Untersuchung ist im Vergleich zur zeitintensiven quantitativen RFA-Auswertung sinnvoll.

## 1 Einführung

In der elektrochemischen Beschichtungstechnik werden gewöhnlich homogene Schichten verlangt. Es gibt Ausnahmen, in denen der sogenannte "Hundeknochen"-Effekt [1,2] auch absichtlich (vgl. Abb. 1) genutzt werden kann, um eine Schicht in einem bestimmten Bereich zu erzeugen, die inhomogen verteilt und nicht wiederholbar ist [3,4,5]. Solche inhomogen strukturierten Goldschichten wurden untersucht, um diese lokale Topografie zu beurteilen. Die Analyse der Bereiche erfolgte vergleichend mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), einem selbst konzipierten Laserinterferenzgerät und einem konfokalen Laser-Scanning-Mikroskop (LSM).



Normaler Hundeknocheneffekt

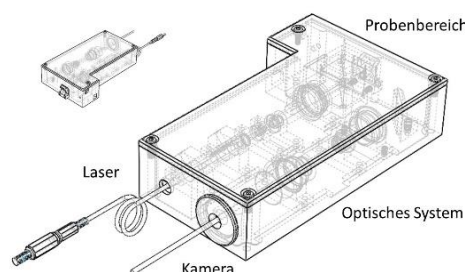
Reverser Hundeknocheneffekt

**Abb. 1** Vereinfachte Darstellung des für die Beschichtung verwendeten elektrochemischen Hundeknocheneffektes (rechts), (Comsol Multiphysics)

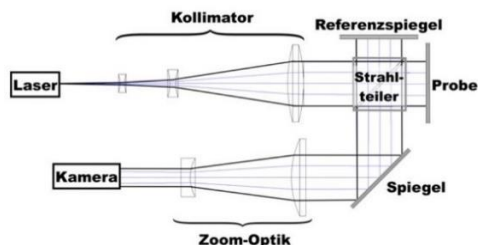
## 2 Aufbau und Funktionsweise des interferometrischen Messmoduls

Das Messmodul (Abb.2) basiert auf einem Michelson-Interferometer und wurde mit ZEMAX (Abb.3) designt und simuliert. Bis auf die optischen Komponenten wurde es mittels FDM-3D-Druckes gefertigt. Die Reflexions- und Interferenzmuster korrelieren mit der verwendeten Anodengeometrie der elektrolytischen Abscheidung bzw. der Schichtgeometrie. Abbildung 3 zeigt das optische System und den

## Strahlengang des Lasers.



**Abb. 2** Das designte optische Messmodul, in transparenter Darstellung (SolidWorks) mit den wichtigsten Bauteilen.

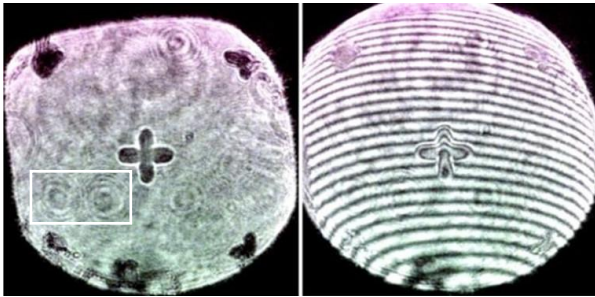


**Abb. 3** Der optische Strahlengang im simulierten Zemax Design vom Laser, über Kollimator zur Probe/ zum Referenzspiegel und zur Kamera [6].

## 3 Bildgebungsmöglichkeiten des optischen Messmoduls

Das Messmodul ermöglicht die Generierung von Interferogrammen und Bildern der Direktreflexion. Eine Justage von Teilstrahlen ist erforderlich, um Interferenzlinien in verschiedenen Ausrichtungen (horizontal, vertikal, zentral) in Anpassung an die Oberflächegeometrie zu erzeugen. Für eine visuelle Differenzierung der Teststrukturen (z.B. kreuz-, zylinder-, nuten- und arrayartig) müssen verschiedene Ausrichtungen der Interferenzlinien eingestellt werden. Wird der Referenzteilstrahl unterbrochen, entsteht ein Bild der Direktreflexion (Abb.4, links) und

die Oberflächentopografie ist oft ausreichend gut visualisiert.

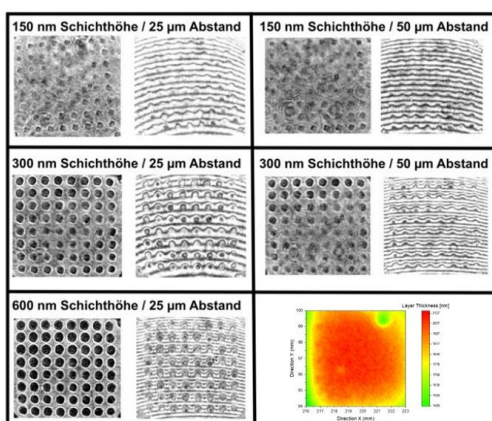


**Abb.4** Direktreflexion (links) und Interferogramm (rechts) einer kreuzförmig strukturierten Probe [6].

Mehrfachreflexionen zwischen den Linsen erzeugen Geisterbilder (vgl. Abb.4, u.a. erkennbar im weiß gekennzeichneten Bereich), die unerwünschte Hintergrundstrukturen verursachen können.

#### 4 Herstellung und Vermessung von Schichten

Zur Bestimmung der Nachweisgrenzen von 0,15µm bis 2µm am Modul wurden Referenzproben gesputtert, die ähnlich den galvanischen Proben sind. Auf einem 1 cm<sup>2</sup> großen quadratischen Bereich wurde Teststrukturen unterschiedlicher Dicke (150nm, 300nm, 600nm) prozessiert. Der Abstand zwischen Probe und Sputtermaske variierte, um ungleich scharfe Strukturen zu erzeugen, die RFA-Vermessung bestätigt diese Annahme. Die Interferogramme und Direktreflexionen der verschiedenen Strukturen können jeweils gut miteinander verglichen werden. Die Strukturen beeinflussen die Interferenzen, unabhängig von der Höhe und dem Abstand während der Herstellung. Die geforderte Nachweisgrenze des Messmoduls von ≥150nm wurde bestätigt.



**Abb.5** Referenz Vermessungen, unten rechts beispielhaft eine RFA-Referenzmessung

#### 5 Digitale Verarbeitung der Bilder

Eine Applikation in Matlab ermöglicht die digitale Auswertung der Aufnahmen und RFA-Ergebnisse.

Die grafischen Datensätze werden angepasst, in binäre Bilder umgewandelt und ein optimales Filterlevel bestimmt, um die Oberflächentopografie sichtbar zu machen. Die Auswertung der RFA-Daten zur Schichthöhe erfolgte in den Darstellungsvarianten: 3D-Ansicht, Draufsicht und Höhenlinien-Darstellung. Feinere Rastermessungen am RFA zeigen mehr Details und komplexe Strukturen (vgl. Array, Abb.5 rechts unten).

#### 6 Ausblick

Für die Herstellung und Vermessung weiterer galvanischer Proben werden die Ergebnisse der Referenzproben auf die Galvanik übertragen. Die Galvanikproben sollen entsprechend analysiert werden, um Rückschlüsse auf die Herstellungsparameter zu ziehen. Die Prozessparameter dabei sind der Abstand zwischen der strukturierten Anode und Probe, deren Geometrien, sowie die durch den „Hundeknocheneffekt“ manipulierte Beschichtungscharakteristik, die die Schichthöhe und Schichtausbildung bestimmt. Eine Erweiterung der Software und des Messmoduls ist beabsichtigt. Die Software soll eine automatisierte Bilderkennung der Strukturart ermöglichen und die Steuerung des Messmoduls übernehmen. Eine automatisierte Blende ist geplant um die Direktreflexion kombiniert mit den Interferogrammen aufzunehmen. Eine Datenbank soll implementiert werden, um Probensätze vergleichend analysieren und zugehörige Prozessdaten dokumentieren zu können.

#### Literatur

- [1] Kanani N. Dr. Ing. Dr. habil.: *Galvanotechnik Grundlagen, Verfahren, Praxis*, Carl Hanser Verlag 2. erweiterte Auflage 2009
- [2] Jelinek, T. W.: *Abscheidung von Metall mit äußerer Stromquelle, Praktische Galvanotechnik*, Bad Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag, pp. 58, 2013
- [3] T. Döhler, et al.: „*Mikrogalvanische Methode zur Abscheidung von lateral verteilten Schichtdicken unter Verwendung einer galvanischen Beschichtungstechnologie*“, IMAPS Deutschland e.V., 2022
- [4] CAS, C. I. China Patentnr. CN102766892B, 29.4.2015
- [5] T. Döhler, et al.: „*Apparat und Verfahren zur Aufbringung einer strukturierten Beschichtung sowie Metallgegenstand mit einer strukturierten Beschichtung*“, Patent Anmeldung, DE 102020127401A1, 21.04.2022
- [6] V. Mühlig, et al.: „*Qualitative und Quantitative Inspektion von inhomogen elektrolytisch abgeschiedenen Metallschichten*“, 15. Chemnitzer Fachtagung Mikromechanik & Mikroelektronik, 9./10. November 2022

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (ZIM, AiF) für die finanzielle Unterstützung (Fkz.: ZF4012231DF8).