

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektinformationen

IGF-Nr.:	18590 N
Laufzeit:	08/2016 – 06/2019
Fördersumme:	467.450 EUR
Industrieleistungen:	195.623 EUR

Forschungseinrichtungen

- Laser Zentrum Hannover e. V., Hannover
- Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig

Projektbegleitender Ausschuss

- Blösch AG ^{KMU}
- Bühler Alzenau GmbH
- Fisba AG ^{KMU}
- LASER COMPONENTS GmbH ^{KMU}
- Leica Microsystems GmbH
- Merck KGaA
- NANE Precision IBS Coatings GmbH ^{KMU}
- POG Präzisionsoptik Gera GmbH ^{KMU}
- Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG
- Rodenstock GmbH
- robeko GmbH & Co. KG ^{KMU}
- Sindlhauser Materials GmbH ^{KMU}

• Plasmabeschichtung

Entstehungsdetektion und Vermeidungsstrategien von Mikropartikeln in Plasmabeschichtungsprozessen für die optische Industrie (EVAPORE)

Die Herausforderung

Mikropartikel in dielektrischen Beschichtungen für Hochleistungsoptiken führen zu Qualitätseinbußen durch höhere Lichtverluste und geringerer Leistungsverträglichkeit der Optiken bei Bestrahlung mit Laserlicht. Auch die Lebensdauer der Optiken wird verkürzt, da Partikel Delamination initiieren können. Daher steht das Problem von Partikeln und anderen Unvollkommenheiten im Fokus der Präzisionsbeschichtung.

Die Innovationsidee

Das Ziel des Vorhabens EVAPORE lag in der Entwicklung von experimentellen und simulatorischen Werkzeugen, um mit diesen das Prozessverständnis der Kontamination von Optiken durch Mikropartikel während Plasmabeschichtungsprozessen zu erweitern und Vermeidungsstrategien zu finden.

Es sollte zum einen ein kostengünstiges optisches Messsystem zur Detektion von Partikeln auf dem Substrat entwickelt werden und der In-situ-Einsatz eines

Geräts für die Beschichtungsverfahren Aufdampfen (auch plasmagestützt; *engl.* Ion Assisted Deposition, IAD), Magnetronspütern (*engl.* Magnetron Sputtering, MS) und Ionenstrahlzerstäuben (*engl.* Ion Beam Sputtering, IBS) demonstriert werden. Im Hinblick auf die Empfindlichkeit des neuen Messgeräts sollte die Detektion auch von kleinen Partikeln, bis hinunter zu 1 µm, verifiziert werden. Zum anderen sollte ein Software-Modul programmiert werden, das das Bewegungsverhalten von Partikeln im Beschichtungsprozess berechnen und darstellen kann. Aufbauend auf einem bestehenden Simulationsmodul, sollten verschiedene industrietypische Beschichtungsanlagen anhand ihrer 3D-Geometrien simuliert werden.

Mit den neuen Werkzeugen sollte die Frage geklärt werden, wo und bei welchen Prozessschritten Partikel entstehen, die die Schichten kontaminieren. Darauf basierend sollten Prozessbedingungen und Maßnahmen identifiziert werden, mit denen Partikelkontamination auf dem Substrat reduziert wird.

Projektbegleitende akademische Abschlussarbeiten

[Promotion] Philipp Schulz: Modell-gestützte Untersuchung der Staubteilchenkontamination in Plasma-Beschichtungsprozessen

Das Programm „Industrielle Gemeinschaftsforschung“ (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMW**i fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projekimpulse.

2 **AiF-Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Die **Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen** (AiF) lässt die Anträge durch **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten.

7 Das **BMW**i finanziert die Forschungskosten bis max. 250/500/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen einen regen Technologietransfer zwischen den **Forschungseinrichtungen** und den 10-15 Unternehmen eines projektbegleitenden **Industrieausschusses** mit mindestens 50 % KMU sicher.

11 Die **Industrie** steuert das Projekt mit, berät während der Forschungsphase, validiert die Ergebnisse, absorbiert sie und verwertet sie.

Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M.
Werderscher Markt 15, 10117 Berlin
030 4140 2139,
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de



Die Ergebnisse

Der Aufbau eines qualifizierten Partikelmonitors wurde für alle drei Beschichtungsverfahren, MS, IBS und IAD, erreicht. Es stehen vier Bauformen von In-situ-Partikelmonitoren zur Verfügung (s. unten links). Die Detektion von $1\mu\text{m}$ -Defekten wurde mit diesen Demonstratoren verifiziert. Durch Einsatz eines Makroobjektivs konnten auch Submikrometerpartikel detektiert werden.

Es wurde eine neue Software zur Simulation von Partikeln im Inneren der Beschichtungsanlage entwickelt. Damit kann das Verhalten von großen Ensembles (Größenordnung 100.000) von Partikeln anhand der physikalischen Beschreibung der während der Beschichtung wirkenden Kräfte simuliert werden. Die Simulation generiert als Ausgabedaten die zeitaufgelösten Partikeleigenschaften und erlaubt die anschauliche Darstellung von 3D-Partikeltrajektorien in der Beschichtungskammer.

Mit den entwickelten Werkzeugen wurde das Verständnis der Prozesse bei der Partikelkontamination durch Identifizierung einiger Partikelquellen erweitert. Die Simulationen des MS-Verfahrens ergaben, dass viele Partikel in das Beschichtungsplasma hineingelangen und dort verbleiben, da die elektrische Kraft die dominante Kraft auf die Teilchen ist.

Bei den experimentellen Ergebnissen aus dem Partikelmonitoring zeigten sich sowohl beim MS- als auch beim IBS-Verfahren starke Abhängigkeiten vom verwendeten Beschichtungsmaterial (s. u. re.).

In-situ-Bilddaten bestätigten zudem, dass Einzelereignisse in Form von parasitären elektrischen Blitzentladungen (*engl.* Arcing) im Hinblick auf Partikel kritisch sind. Erstmals konnte die zeitliche Korrelation eines von der Quellensteuerung der Anlage registrierten Arcs und eines durch den Partikelmonitor detektierten neuen Defekts auf dem Substrat experimentell belegt werden.



Partikelmonitor

Die Verwertung

KMU-Nutzen

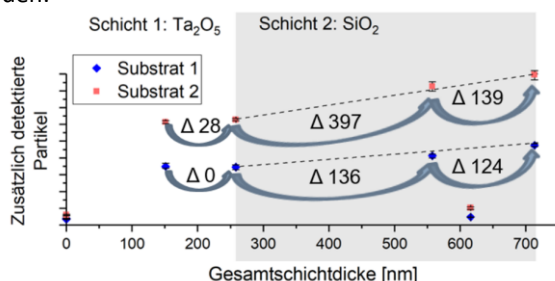
In diesem Projekt konnten Hypothesen zu bestimmten Einflüssen auf die Partikelkontamination, wie z. B. dem Arcing, durch direkten Nachweis im realen Beschichtungsprozess experimentell bestätigt werden. In diesem Zuge wurden Demonstratoren für innovative Werkzeuge zur Beobachtung und zur Erklärung von Partikelkontamination im Prozess realisiert und eine Simulationssoftware zur Berechnung des Bewegungsverhaltens von Partikeln programmiert.

In der deutschen Beschichtungsbranche sind viele KMU vertreten, die durch Innovationen und Spezialisierung auf Sonderanfertigungen sowie die Bedienung von Nischenmärkten für High-End-Produkte auf dem internationalen Markt konkurrenzfähig sind. Insbesondere für den Hochtechnologiesektor ist die Partikelkontamination während der Beschichtung von unmittelbarem Interesse. Bei den Entwicklungen in diesem Projekt wurde darauf geachtet, dass Anschaffungskosten benötigter Geräte unter 10.000 EUR liegen und diese somit auch KMU zugänglich sind.

Geplante Umsetzung

Durch Einbindung eines breiten Unternehmensspektrums aus der Beschichtungsbranche und dem Beschichtungsanlagenbau konnte die Ursachenforschung zu Partikelkontaminationen effektiv vorangetrieben werden. Durch die weite Verbreitung der Ergebnisse und deren Veröffentlichung erhielt der gesamte Wirtschaftssektor Zugang zu Knowhow, das die Grundlage für innovative Partikelvermeidungskonzepte darstellt.

Aufgrund des großen Interesses der Projektpartner ist ein IGF-Folgeprojekt bereits in der Entwicklung. Ziel ist die systematische Eindämmung der Partikelquellen auf Basis der in EVAPORE gewonnenen Ergebnisse.



Schichtdicken- u. Beschichtungsmaterial-abhängige Partikelzahl