

Projektplan

EVAPORE: Entstehungsdetektion und Vermeidungsstrategien von Mikropartikeln in Plasmabeschichtungsprozessen für die optische Industrie (18590 N)

Eine limitierende technische Herausforderung bei der Herstellung optischer Präzisionsbeschichtungen ist immer noch die Defekt- bzw. Partikelfreiheit der unter Vakuumbedingungen gewachsenen Schichtsysteme. Die Entwicklung der letzten Dekaden hat jeweils die Größe und Anzahl der noch vorhandenen Defekte deutlich reduziert, trotz allem werden kleine Mikro- und Nanodefekte weiterhin in den Herstellungsprozessen durch Partikelkontamination gebildet. Diese Einschlüsse limitieren die Abbildungsqualität und Leistungsverträglichkeit der Optiken, insbesondere wenn es sich um Anwendungen im kurzwelligen Spektralbereich bzw. um Laserapplikationen handelt. Die Quellen dieser Partikelkontamination in den dünnen Schichtsystemen sind vielfältig. Sie können sowohl durch eine Unausgewogenheit der beteiligten thermischen oder hochenergetischen physikalischen Prozesse, als auch durch die in der Beschichtungsanlage verbauten mechanischen Komponenten hervorgerufen werden.

Um Vermeidungsstrategien solch anlagenspezifischer Partikelkontamination zu entwickeln, ist im ersten Schritt eine über den gesamten Beschichtungsprozess fortwährende Monitorierung der Partikeldichte erforderlich. So kann im zweiten Schritt dann mit weiteren entweder experimentellen Verfahren oder auf Basis von theoretischen Modellen durch die Interpretation der Beobachtungen eine Eingrenzung der möglichen Partikelquellen erfolgen.

Forschungsziel

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines kostengünstigen, industriell einsetzbaren, optischen Messverfahrens zur in-situ Detektion von Partikeln auf beschichteten Bauteilen. Das Messgerät soll in den Beschichtungsvarianten Aufdampfen, Magnetronspütern und Ionenstrahlspütern einsetzbar sein. In Kombination mit dem zu entwickelnden Simulationsmodul zur Darstellung von Makropartikelbewegungen soll das Prozessverständnis um den Ursprung der Partikelbildung erweitert werden. Aus den so gewonnenen Erkenntnissen sollen Maßnahmen entwickelt werden, die die Partikelbildung auf dem Substrat vermeiden oder reduzieren.

Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Eine große Herausforderung des Projekts besteht in der Realisierung von optischen Inspektionsverfahren, die das Partikelauftreten in der wachsenden Schicht quantifizieren können. Hierbei soll sowohl eine Videoinspektion als auch eine streulichtbasierte Variante angewendet werden. Mit einer LED Lichtquelle soll eine monochromatische Dunkelfeldbeleuchtung eines Substrats in der rotierenden Kalotte realisiert werden.

Diese beleuchtete Probe wird mit einer CCD Kamera im Prozess visuell inspiziert. Technisch muss dieser Ansatz auf Drehtelleranlage bzw. Boxcoater (IBS & IAD) zugeschnitten werden, wobei das Messprinzip dasselbe bleibt. Im zweiten Konzept wird die Messung des Streulichtes, das an der wachsenden Schicht entsteht, bei möglichst kurzer Laserwellenlänge (532 nm oder 355 nm) in Transmissionsrichtung durchgeführt. Der generelle Aufbau entspricht dem ersten Ansatz, wobei die LED-Lichtquelle durch einen Laser ersetzt wird und die Kamera durch einen integrierenden Detektor, der auch deutlich näher an der Kalotte montiert sein muss. Mittels dieser qualifizierten in-situ Partikelmonitorierung werden die industriellen Beschichtungsprozesse der Industriepartner bzgl. der möglichen Partikelursachen analysiert. Innerhalb der drei Prozesse Aufdampfen, Magnetronspütern und Ionenstrahlzerstäuben sollen Studien durchgeführt werden, die einerseits das Partikelauftreten im Prozess mit den verschiedenen Prozessschritten (Gaseinlass, Materialwechsel, Verschlussbewegungen, Evakuierungsschritte, Materialtyp bzw. -zusammensetzung, etc.) in Verbindung bringen und andererseits die Implementation dieser Partikel in die Schicht analysieren.

Parallel zu den experimentell durchgeführten Studien wird eine Software entwickelt und den industriellen Partnern zur Verfügung gestellt, die es gestattet, Bewegungen von Partikeln theoretisch zu analysieren, um systematisch weitere Partikelquellen zu identifizieren. Unter der Annahme, dass die Staubteilchendichte klein genug ist und keine Rückkopplung auf die Plasma-Entladungscharakteristik vorherrscht, lassen sich Plasmadynamik und Staubteilchenbewegung vollständig voneinander entkoppeln. Die Neuheit an dem im Projekt EVAPORE verfolgten Ansatz besteht darin, dass die Trajektorien von Staubteilchen unmittelbar basierend auf Ergebnissen vorheriger Prozesssimulationen des Beschichtungsreaktors durchgeführt werden. Die Reaktorsimulationen setzen auf die „Direct Simulation Monte Carlo“ (DSMC) – Methode für Niederdruck-Gasströmung sowie auf die „Particle-in-Cell Monte-Carlo“ (PIC-MC) – Methode für Plasmaentladungen auf. Dies ermöglicht eine Makropartikel-Simulation basierend auf einfachen analytischen Bewegungsgleichungen, die dennoch den charakteristischen Besonderheiten der jeweiligen Beschichtungsanlage hinreichend Rechnung trägt. Hierzu wird eine elektrische Ladung des Partikels postuliert, so dass auf Basis bewährter Particle-in-Cell Rechnungen und geometrischer Anlagendaten Bewegungen von Teilchen (Partikeln) mit und ohne Plasma berechnet werden können.

Für die Dokumentation der erzielten Ergebnisse dienen verschiedene ex-situ Analysemethoden, um die Natur, Größe und Verteilung der Partikel eindeutig festzuhalten. Dafür stehen u.a. das FIB-REM (Focused Ion Beam Rasterelektronenmikroskop), ein Standard-REM, ein AFM und mehrere Konfokalmikroskope zur Verfügung. Zusätzlich ist die Bestimmung der lateral aufgelösten totalen Streuung mittels eines eigens am LZH entwickelten Fast-TS-Systems vorgesehen, sowie die komplementäre Inspektion der Oberflächen mittels Nomarski-Mikroskopie.

Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas

Innerhalb der Photonikindustrie kann aufbauend auf dem Basiswissen, das in diesem Vorhaben entwickelt wird, ein neuer Standard zur Vermeidung von Partikelkontamination und zum Umgang mit hochempfindlichen Optiken generiert werden. Mit der entwickelten Metrologie kann sehr flexibel gemessen werden, so dass eine Anpassung an die Produktionsbedingungen anderer Wirtschaftszweige möglich wird. So ist eine Implementierung in Anwendungen, die eine ästhetische Funktion erfüllen bis hin zu empfindlichen und technologisch anspruchsvollen Feldern möglich. Die Partikelminimierung bei Dünnschichtprozessen, die Vermeidung von Kontaminationen und damit die Verbesserung der technischen Sauberkeit von Oberflächen sind nicht nur in der Präzisionsoptik von allgemeiner Bedeutung sondern auch für viele weitere Branchen der Mikro- und Nanotechnologie, z.B. der Mikroelektronik, der Solarindustrie oder der Mikrosystemtechnik, wichtig. In diesen Bereichen sind zahlreiche KMUs tätig, die von der geplanten Entwicklung profitieren. Die Bedeutung des Themenfelds nimmt durch die zunehmende Nachfrage nach hochwertigeren Beschichtungen zu, da z.B. EUV-Anlagen zum Einsatz kommen, immer kleinere Strukturen gefordert werden oder höhere Laserleistungen erreicht werden sollen. Anknüpfungspunkte werden auch im Bereich der Medizintechnik, der Lebensmittelindustrie und der Optoelektronik (z.B. für Barrierebeschichtungen gegen Wasserdampf und Sauerstoff oder autoklavierbaren Beschichtungen) gesehen. Auch die Flachglasbeschichtung (z.B. elektrochrome Beschichtungen) kann von den Ergebnissen aus EVAPORE profitieren. Korrosionsschutz wird ebenfalls durch Defekte limitiert, dies spielt z.B. in der Solarindustrie (Spiegel) eine Rolle. Auch wenn teilweise die Elektronikindustrie in Bezug auf die detektierbaren Defektgrößen der optischen Industrie voraus ist, sind die in EVAPORE erzielten Ergebnisse auch dort von großem Interesse, z.B. hinsichtlich der Integration optischer und elektronischer Komponenten auf einem Mikrochip.

Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Die eingebundenen Unternehmen können die Projektergebnisse in eigenen Anlagen zur Verbesserung der eigenen Produkte nutzen. So kann der in-situ Partikelmonitor auch für eine in-situ Qualitätskontrolle eingesetzt werden, was erhebliche Vorteile bei der Prozesssicherheit mit sich bringt. Das entwickelte Softwaremodul zur Makropartikelbewegung wird auch nach Ende des Projekts durch die Industriepartner weiterhin nutzbar sein, um auf Basis der im Projekt erstellten Modelle der Anlagenplattformen eigene Simulationen durchzuführen, die wiederum für eine Verbesserung der Anlagentechnik verwendet werden können. Schließlich wird die Wettbewerbsfähigkeit der KMU auch durch das entwickelte Prozessverständnis, speziell in Bezug auf die Mechanismen der Entstehung und Bewegung von Partikeln, erhöht. Das ermöglicht die Verbesserung der Qualität der eigenen Beschichtungsprozesse und damit auch der Produkte, der Prozesssicherheit und der Reduktion von Ausschuss. Mit einem unabhängigen Messsystem kann zusätzlich der

Weg zu einem genormten Verfahren gegangen werden, was die Hightech-Strategie der Bundesregierung als einen klaren Fokus sieht.

Projektbegleitender Ausschuss

| Unternehmen |
|-----------------------------------|
| Blösch AG |
| Bühler Alzenau GmbH |
| Fisba Optik AG |
| Laser Components GmbH |
| Leica Microsystems GmbH |
| Merck KGaA |
| Naneo Precision IBS Coatings GmbH |
| POG Präzisionsoptik Gera GmbH |
| Qioptiq Photonics GmbH & Co. KG |
| Rodenstock GmbH |
| Robeko GmbH & Co. KG |
| Sindlhauser Materials GmbH |