

Projektplan

SelektLas: Selektiver und schädigungsarmer Laserabtrag von Schichtsystemen auf optischen Bauelementen (01IF24661N)

Motivation (und wirtschaftlicher Nutzen)

In der modernen Fertigungstechnik stellt die Verwendung von Laserstrahlung bereits ein unverzichtbares Präzisionswerkzeug dar, das insbesondere durch einen berührungslosen selektiven Energieeintrag und hohe Automatisierbarkeit gekennzeichnet ist. Besonders im Bereich der Hochleistungsoptiken (Linsen, Spiegel oder andere optische Bauelemente), etwa für die EUV-Lithografie oder Ultrakurzpulslaser-Anwendungen, gelten extrem hohe Anforderungen an die verwendeten Schichten sowie an das Substrat, u. a. hinsichtlich der Homogenität und der Oberflächenqualität. Da die Herstellung der Substrate ohne Beschichtung bereits äußerst aufwendig und kostenintensiv ist, führen Defekte in der Beschichtung, z. B. durch Prozessfehler, Alterung oder unsachgemäße Anwendung zu einem erheblichen wirtschaftlichen Problem, da das gesamte Bauteil unbrauchbar wird.

Die aktuelle Praxis zur Rückgewinnung dieser wertvollen Substrate ist jedoch technologisch eingeschränkt. Derzeit dominieren mechanische und nasschemische Verfahren. Letztere verwenden jedoch häufig giftige Reagenzien, belasten daher die Umwelt und sind insbesondere für einzelne optische Elemente oft unwirtschaftlich. Zudem agieren diese Prozesse häufig nicht selektiv und entfernen meist das gesamte Schichtsystem, statt gezielt nur einzelne Schichten. Mechanische Verfahren erfordern hingegen hochpräzise und teure Spezialmaschinen sowie eine lückenlose Qualitätskontrolle, um die strengen Vorgaben an Oberflächenrauheit und Formgenauigkeit einzuhalten, da nur das Schichtsystem entfernt werden darf und das Substrat unverändert bleiben soll. Besonders bei komplexen Geometrien wie asphärischen Linsen oder Freiformflächen stoßen diese mechanischen Methoden an ihre wirtschaftlichen und technischen Grenzen.

Als alternatives Verfahren soll daher ultrakurz gepulste Laserstrahlung verwendet werden, da sie aufgrund der genannten Eigenschaften deutliche Vorteile gegenüber den etablierten Verfahren bietet.

Forschungsziel

Das Forschungsvorhaben „SelektLas“ verfolgt das übergeordnete Ziel, ein industrietaugliches Verfahren auf Basis von Ultrakurzpulslasern (UKP) zu entwickeln, um Beschichtungen auf optischen Bauteilen präzise und selektiv abzutragen. Hierbei sollen folgende konkrete Zielsetzungen erfüllt werden:

1. Technologische Präzision und Selektivität

Das Verfahren soll für die Bearbeitung komplexer Schichtsysteme mit bis zu 20 Lagen und Schichtdicken von wenigen Nanometern bis zu mehreren Mikrometern optimiert werden. Dabei sollen die Schichten zuverlässig entfernt, eine Schädigung des Substrats vermieden sowie die thermische oder mechanische Belastung minimiert werden.

2. Geometrische Flexibilität und Skalierbarkeit

Ein Fokus liegt auf der Bearbeitung anspruchsvoller Geometrien wie Asphären und Freiformflächen, da sie einen besonders hohen Wertschöpfungsfaktor aufweisen. Weiterhin ist für diese Bauteile eine mechanische Bearbeitung mittels konventioneller Verfahren kaum möglich. Nach der erfolgreichen Durchführung auf kleinen Flächen soll das Verfahren für große Flächen durch den Einsatz von Laserstrahlungsquellen mit Burstcharakteristik skaliert werden, um u. a. die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten.

3. Qualitätssicherung für die Wiederbeschichtung

Durch den selektiven und schädigungsarmen Laserabtrag soll die Rauheit der Oberfläche des Substrats nicht verändert und auch Spannungen innerhalb des Substrats sollen vermieden werden. Dadurch sollen die Substrate ohne aufwendige Nachbehandlung erneut beschichtet werden können.

4. Wirtschaftliche und ökologische Ziele

Durch die Wiederverwendung teurer Substrate soll die Ausschussrate in der Optikfertigung deutlich reduziert und damit die Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit erhöht werden. Durch den vollständigen Ersatz umweltschädlicher nasschemischer Prozesse und giftiger Reagenzien werden Kosten und Umweltbelastung reduziert und die Nachhaltigkeit erhöht. Weiterhin können die gewonnenen Erkenntnisse zum selektiven Abtrag für andere Verfahren wie die Erstellung von Masken, Teilungsbildern oder anderen Geometrien auf optischen Bauelementen verwendet werden.

Lösungsweg zum Erreichen des Forschungsziels

Der Lösungsweg des Projekts „SelektLas“ basiert auf einer engen Verzahnung von Modellierung, Messtechnik, experimenteller Validierung und industrieller Anwendung unter Einbeziehung der Partner des projektbegleitenden Ausschusses (PA).

1. Verständnis & Modellierung

Um den Abtrag der Schichten im Nanometerbereich zu kontrollieren, ist das Verständnis der dabei stattfindenden Wechselwirkung zwischen der ultrakurz gepulsten Laserstrahlung und dem Material essenziell. Dafür soll die Wechselwirkung durch den Einsatz des Zwei-Temperatur-Modells in Kombination mit der Hydrodynamik (TTM-HD) zur Berechnung der Ablation des Materials sowie die Propagation der Laserstrahlung im Schichtsystem simuliert werden.

Durch den Einsatz von ultraschneller in situ Messtechnik (zeitaufgelöste Reflektometrie und Interferometrie) sollen die Simulationen validiert und der Abtragsprozess genau charakterisiert und verstanden werden.

2. Experimentelle Entwicklung & Optimierung

Die Erkenntnisse aus den Simulationsergebnissen und der ultraschnellen Messtechnik sollen in die Praxis überführt werden. Dabei sollen optimierte Parameter der Laserstrahlung identifiziert werden, sodass ein vollständiger Abtrag ohne thermische Schäden oder Substratveränderungen erfolgt. Dabei müssen auch Strategien und Versuchsanordnungen entwickelt werden, um u. a. die Wiederablagerung abgetragener Partikel zu verhindern, die spätere Hochleistungsschichten beeinträchtigen könnten. Ebenso muss eine Anpassung des Verfahrens von zunächst Punkt- und Linienabträgen bis hin zu Flächenabträgen auf planen und gekrümmten Oberflächen erfolgen.

3. Qualitätskontrolle und Validierung durch Wiederbeschichtung

Ein entscheidender Schritt zur Erfolgskontrolle ist der Praxistest in Kooperation mit den Partnern des projektbegleitenden Ausschusses (PA). Dabei soll zum einen durch ex situ Messtechnik geprüft werden, ob die Schichten selektiv entfernt werden konnten und eine Schädigung des Substrats vermieden wurde. Weiterhin soll eine erneute Beschichtung erfolgen und das optische Bauelement getestet werden.

4. Skalierung und Qualifizierung

Im letzten Schritt wird die Industrietauglichkeit durch eine Skalierung auf große Flächen sichergestellt, indem zum einen der Prozess auf größere Komponenten ausgeweitet wird und zum anderen alternative Strahlquellen (Burstcharakteristik, UV-Laser) getestet werden. Diese Schritte sollen erneut in Kooperation mit dem PA erfolgen und auch ein Test unter Industriebedingungen bei PA-Mitgliedern durchgeführt werden.

Arbeitsdiagramm

Arbeitspunkte	Zeitraum																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AP1 Theoretische Prozessbetrachtung und Materialauswahl																														
AP2 Entwicklung und Aufbau eines Versuchs- und Messstandes																														
AP3 Simulation der Wechselwirkung																														
AP4 Charakterisierung und Prüfung (in situ und ex situ)																														
AP5 Verfahrensentwicklung Schichtabtrag																														
5.1 Plane Oberflächen																														
5.1.1 Einzelpulse: Punktabträge																														
5.1.2 Multipulse: Linien- u. Flächenabträge																														
5.2 Gekrümmte Oberflächen																														
5.3 Skalierung und Demonstratoren																														
AP6 Projektmanagement, Risikobewertung und Kooperation mit den PA-Mitgliedern																														

FE1: Laserinstitut Hochschule Mittweida LHM

FE2: Ernst-Abbe-Hochschule Jena EAH

Meilenstein M1: Vergleich von Experiment und Simulation für Punktabträge

Meilenstein M2: Verfahren zum erfolgreichen Schichtabtrag auf planen Oberflächen

Meilenstein M3: Verfahren zum erfolgreichen Schichtabtrag auf einfachen gekrümmten Oberflächen

Meilenstein M4: Erfolgreiche Skalierung für großflächigen Schichtabtrag und Erstellung von Demonstratoren

Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas

Das entwickelte selektive und schädigungsarme ukp-Verfahren stellt einen bedeutenden Vorteil hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und technologischen Leistungsfähigkeit von KMU, insbesondere aus der Optikindustrie sowie aus anderen im PA vertretenen Branchen, dar. Dies beinhaltet dabei folgende Kernpunkte:

1. Wirtschaftlichkeit

Durch die Möglichkeit zur Wiederverwendung wird der Totalverlust eines optischen Bauteils bei Beschichtungsfehlern vermieden. Dies ist insbesondere bei vielen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), bei denen beschichtete Bauteile einen signifikanten Anteil des Portfolios ausmachen, essentiell.

2. Technologische Innovation und neue Anwendungen

Das Verfahren dient als effiziente Alternative zu mechanischen oder fotolithografischen Verfahren zur Erzeugung von Masken, Markierungen oder Teilungsbildern und muss nicht, wie in der Lithografie üblich, auf die gesamte Charge angewandt werden. Weiterhin werden durch den Einsatz auf gekrümmten Flächen auch Anwendungsfälle erschlossen, die mit der Fotolithografie nicht möglich sind. Für Hersteller von Lasieranlagen und Messtechnikunternehmen entstehen ebenso neue Märkte durch die Integration dieser hochselektiven Prozesse.

3. Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit (insbesondere für KMU)

Durch den Einsatz der selektiven Lasertechnik können Unternehmen agiler und kosteneffizienter agieren sowie schnell und flexibel auf kundenspezifische Anforderungen reagieren. Zudem erhöht der Wegfall teurer nasschemischer Prozesse oder teurer Spezialmaschinen sowie die Reduktion von

Materialverlusten die Margen der Unternehmen und leistet somit einen wesentlichen Beitrag zur modernen, umweltfreundlichen Industrie hinsichtlich Ressourceneffizienz und Umweltschutz.

Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen
3D-Micromac AG KMU
ACM Coatings GmbH KMU
Bühler Alzenau GmbH
Carl Zeiss Jena GmbH
Coherent Kaiserslautern GmbH
HOFBAUER OPTIK Mess- & Prüftechnik KMU
JENOPTIK Optical Systems GmbH
LASER COMPONENTS Germany GmbH KMU
Light Conversion UAB
n2-Photonics GmbH KMU
PRIMES GmbH KMU
SCHOTT Technical Glass Solutions GmbH
TTI - Technologie-Transfer-Initiative GmbH an der Universität Stuttgart KMU

Das IGF-Vorhaben SelektLas (01IF24626N) der Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e. V. (F.O.M.), Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin, wurde im Rahmen des von dem DLR Projekträger (DLR-PT) betreuten Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

