

Kurzbeschreibung zum Forschungsantrag

1. Forschungsthema

Hochsensitive Absorptionsmessung mit durchstimmbarer Laserstrahlung im UV/VIS/NIR-Spektralbereich (SENSALAS)

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Präzise Messverfahren sind eine unabdingbare Voraussetzung für die Optimierung und insbesondere auch Vermarktung von Laserkomponenten mit höchsten Ansprüchen an Funktionalität und Beständigkeit. Ein zentrales Qualitätsmerkmal von optischen Hochleistungs-Komponenten, das in vielen Anwendungsbereichen als Schlüsselgröße betrachtet wird, ist der Absorptionsgrad. Beispielsweise kann die Absorption eines signifikanten Anteils der Laserstrahlung in den optischen Systemen die Laserstrahlpropagation erheblich beeinträchtigen, eine erwärmungsbedingte Verschiebung der spektralen Charakteristik bewirken oder sogar zur Zerstörung der Komponente führen. Zu betrachten sind auch die wirtschaftlichen Aspekte der Absorption, weil die mit viel Aufwand und Kosten erzeugte Laserstrahlung der Anwendung entzogen wird und so die Wirtschaftlichkeit an entscheidender Stelle mitbestimmt. Die Messung des Absorptionsgrads ist mithin eine wichtige Aufgabenstellung in den optischen Technologien, die heutzutage zunehmend in der Entwicklung und der industriellen Qualitätssicherung für Optiken eingesetzt wird. Darüber hinaus kommt den Absorptionsmessverfahren auch in der Grundlagenforschung und der Erarbeitung von Produktinnovationen eine tragende Rolle zu. Hier werden die Messverfahren oft eingesetzt, um anhand erhöhter Absorptionswerte in bestimmten Spektralbereichen Verunreinigungen und andere Defekte im optischen Material zu identifizieren.

In der voraneilenden Entwicklung von Kristallen für Hochleistungs-Scheibenlaser oder Kristall- und Glasoptiken für die Strahlführung stößt die Qualifizierung mit Standardmessgeräten zunehmend an schwer überwindbare Hürden. Mit der klassischen Spektralphotometrie lassen sich nur vergleichsweise hohe Absorptionswerte im Bereich mehrerer Promille sicher nachweisen. Für die Charakterisierung optischer Materialien mit niedrigen Absorptionskoeffizienten sind daher besonders lange Propagationswege nötig, die im Falle von Substraten und Kristallen zu einem extremen Kostenaufwand führen. Die Absorption von dielektrischen Hochleistungsbeschichtungen ist typischerweise so gering, dass sie nicht über spektralphotometrische Messungen nachweisbar ist. Seit vielen Jahren wird daher eine Reihe von präzisen laserbasierten Verfahren zur Absorptionsmessung (laserkalorimetrisch, photothermisch, photoakustisch) erfolgreich eingesetzt. Den genannten Verfahren ist gemein,

dass mit einem Pumplaserstrahl eine lokale Erwärmung auf der Probenoberfläche erzeugt wird. Auf Grund der Nichtverfügbarkeit kontinuierlich durchstimmbarer Laserstrahlquellen mit hinreichenden Strahleigenschaften sind präzise Verfahren zur Messung der Absorption optischer Materialien bislang nur für prominente Laserwellenlängen (u.a. 532nm, 1.064nm, 10,6µm) etabliert. Von einem Charakterisierungsverfahren mit vergleichbarer Nachweisgrenze bei gleichzeitiger freier Wahl der Wellenlänge vom Ultraviolett- bis zum Nahinfrarotbereich ist noch nicht berichtet worden.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

Das grundlegende Forschungsziel besteht in der Realisierung eines Messplatzes zur hochpräzisen Messung der Absorption optischer Komponenten mit einer Laserstrahlquelle, deren Wellenlänge in einem Spektralbereich zwischen 300nm und 2,5µm frei einstellbar ist. Hierbei sollen bewährte Messverfahren zum Einsatz kommen, die über die Kombination mit der durchstimmbaren Laserstrahlquelle einen weithin vergrößerten Anwendungsbereich erschließen. Die klassische laserbasierte Absorptionsmessung soll durch die Ankopplung einer flexiblen Strahlquelle hin zu einem hochempfindlichen spektroskopischen Verfahren für die Charakterisierung optischer Materialien weiterentwickelt werden. Die angestrebten Messverfahren, die auf der Laserkalorimetrie und der thermischen Deflexion basieren, bieten dabei einerseits eine Absolutmessung der Absorption und andererseits eine kurze Messzeit bzw. eine hohe laterale Auflösung über der Probenoberfläche. Die Erweiterung des Messverfahrens zielt auf die maßgeschneiderte Qualifizierung optischer Komponenten für neuartige, innovative Laseranwendungen im Ultraviolett- bis Nahinfrarotbereich. Des Weiteren soll das verbesserte Verfahren entscheidende Impulse bei der Optimierung der Reinheit von optischen Materialien geben und mithin der Erhöhung ihrer Funktionalität dienen.

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Gemäß dem beschriebenen Forschungsziel können die angestrebten Forschungsergebnisse in die folgenden drei Abschnitte gegliedert werden. Das erste Themenfeld definiert sich durch die Errichtung der Messapparatur sowie der Bereitstellung einer geeigneten Strahlquelle. Angepeilt wird hierbei die erfolgreiche Übertragung der langjährig erprobten Verfahren der Laserkalorimetrie und der photothermischen Deflexion in den UV- und VIS-Bereich. Als Nachweisgrenze der Absorption wird für beide Verfahren ein Wert von 1-10ppm angestrebt. Das hierfür notwendige Lasersystem soll auf einem optisch-parametrischen Oszillator (OPO) basieren, der in einem weiten Spektralbereich kontinuierlich durchstimmbare Strahlung erzeugt. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die hohe Qualität des räumlichen Strahlprofils und die Leistungsstabilität gelegt.

Der zweite Bereich konzentriert sich auf die sorgfältige Qualifizierung des Messverfahrens bzgl. der relevanten Einflussgrößen. Ein wichtiges Kriterium ist die spezifische Kalibrierbarkeit des Deflexionsverfahrens über die Laserkalorimetrie. Die Charakterisierung geeigneter Kalibrierproben soll eine Eichung des Deflexionsverfahrens ermöglichen. Durch die Nutzung der photothermischen Deflexion ist eine wesentliche Beschleunigung des Messvorgangs zu erwarten (Laserkalorimetrie: 500-800s pro Messung, Deflexion: ms-s Bereich pro Messpunkt), die zum einen für die breitbandige spektroskopische Analyse von Laseroptiken und zum anderen für eine lateral auflösende Charakterisierung der Probenoberfläche zwingend erforderlich ist.

Als dritter Themenschwerpunkt schließt sich die Durchführung umfangreicher Studien zum wellenlängenabhängigen Absorptionsverhalten von praxisrelevanten Laserkomponenten an. Ein großes Interesse besteht einerseits in der Qualifizierung von dielektrischen Funktionsschichten für Hochleistungsanwendungen, die besondere Eigenschaften bezüglich der spektralen Charakteristik aufweisen, wie z. B. Kantenfilter, Interferenzfilter, Laserschutzfilter, Polarisationsstrahlteiler oder komplexe Breitbandspiegel. Ebenso bedeutsam ist die Evaluierung von Kristallen und Gläsern für neuartige Anwendungen in der Photonik, die sich z. B. mit der fortschreitenden Entwicklung von Halbleiterlasern in zunehmender Weise im kurzwelligen sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich entwickeln. Nicht zuletzt ist die Unterstützung bei der Optimierung verschiedenster industrierelevanter Kristall- und Glasoptiken bzgl. der Verunreinigung mit Fremdelementen von zentraler Bedeutung. Beispielsweise sollen Kontaminationen bei diversen Laserkristallen, Konversionselementen, Modulatoren, Preforms für optische Fasern und Küvettenmaterial hochsensitiv nachgewiesen werden.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Die angestrebten Forschungsergebnisse würden es ermöglichen, eine Vielzahl von Fragestellungen bezüglich der Qualität und Stabilität von optischen Komponenten für Anwendungen mit höchsten Ansprüchen zu verfolgen. Mit dem optimierten hochsensitiven Verfahren zur Absorptionsmessung stände erstmals ein einfaches, flexibles und dennoch zuverlässiges Werkzeug zur Qualitätssicherung optischer Komponenten in dem genannten Spektralbereich zur Verfügung. Auf Grundlage der geplanten Messapparatur könnten besonders kleine und mittelständische Unternehmen, die auch im Bereich der optischen Technologien zu den wesentlichen Innovationsträgern zählen, in die Lage versetzt werden, neue Produkte zeitnah und kostengünstig mit Blick auf ihre industrielle Tauglichkeit zu evaluieren. Ferner könnte mit dem geplanten Absorptionsmessplatz trotz des einheitlichen Aufbaus eine individuell auf die industriellen Bedürfnisse angepasste Unterstützung bei der Fortentwicklung von neuartigen optischen Materialien und Komponenten geleistet werden.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Entsprechend der Einteilung der Themenbereiche in drei Abschnitte, die weitgehend aufeinander aufbauen, kann der strategische Ansatz zur Lösung der Zielvorgaben in definierte Arbeitsschritte aufgegliedert werden. Für die Bearbeitung der genannten Arbeitspakete wird von einem Zeitbedarf von zwei Jahren ausgegangen, wobei die Projektarbeit im Wesentlichen von einem gut ausgebildeten und erfahrenen Wissenschaftler durchgeführt werden müsste.

AP 1: Aufbau der Messapparatur:

- Realisierung eines OPO-Systems zur Erzeugung von Laserstrahlung im UV/VIS/NIR-Spektralbereich. Ausgangsleistung im Wellenlängenbereich von 600nm-2,5µm im Bereich mehrerer Watt. Erweiterung des Wellenlängenbereich bis zu etwa 300nm über eine zusätzliche Frequenzkonversion.
- Anpassung der Laserkalorimetrie und der photothermischen Deflexion an breitbandig durchstimmbare Pumpstrahlung, Implementierung einer Verschiebeeinrichtung für eine lateral ortsauflösende Absorptionsmessung.

AP 2: Qualifizierung des Messverfahrens:

- Charakterisierung der Einflussgrößen (Laserleistung, Wellenlänge, Nahwinkelstreuung, Pump- und Abtaststrahldurchmesser bei der PTD-Messung etc.) und deren Beitrag zur Messunsicherheit, Abgleich der Messplatzparameter mit den Erfordernissen der industriellen Anwender, Kalibrierung des Messaufbaus gemäß der Messnorm ISO 11551.
- Erarbeitung eines geeigneten Verfahrens für die Kalibrierung der photothermischen Messung. Untersuchung repräsentativer Kalibrierproben mit unterschiedlichen thermoelastischen Materialeigenschaften. Abgleich der experimentellen Ergebnisse mit theoretischen Modellrechnungen.

AP 3: Durchführung von Messkampagnen:

- Studien zum wellenlängenabhängigen Absorptionsverhalten praxisnaher Laserkomponenten (dielektrische Schichtsysteme, technische Gläser, Kristalloptik, optische Bauelemente).
- Untersuchungen zur Kontamination von Kristall- und Glasoptiken. Identifikation von Fremdatomen bzw. Fehlstellen in Kristallmaterialien. Kombination der Absorptionsmessung mit komplementären Messungen zur laser-induzierten Fluoreszenz (LIF).

4. Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

4.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse

- Fachgebiete gemäß 4.1.19:

Werkstoffe/ Materialien, Verfahrenstechnik, Produktion, Mess-, Regel-, und Automatisierungstechnik

- Fachbereiche gemäß 4.1.20:

Maschinenbau, Feinmechanik und Optik

4.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der kmU

Der Wirtschaftszweig der optischen Technologien verzeichnet seit vielen Jahren ein über dem Durchschnitt liegendes Wachstum, das zu einem großen Teil von kleinen und mittelständischen Unternehmen und deren innovativen Produkten getragen wird. Um diese Vorrangstellung gegenüber der internationalen Konkurrenz zu verteidigen und auszubauen, müssen insbesondere die kleinen und mittelständischen Unternehmen einen Zugang zu zukunftsweisender Forschung erhalten. Das vorgestellte Projekt verfolgt den strategischen Ansatz, einerseits die Interessen der zahlreichen Industrieunternehmen zu bündeln, indem die für alle Partner zwingende Entwicklung des Messverfahrens gemeinsam bewältigt wird. Andererseits können die Partner durch die Messkampagnen individuell und zielgerichtet bei der Produktentwicklung unterstützt

werden. Ohne die Initiierung eines firmenübergreifenden Gemeinschaftsprojekts bliebe diese für den langfristigen Fortbestand existenziell wichtige Zugangsmöglichkeit insbesondere den kleinen und mittelständischen Unternehmen weitestgehend verwehrt.

5. Beabsichtigte Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Eine Verwertung der Ergebnisse wird in erster Linie von den zahlreichen im Projekt vertretenden Industriepartnern sichergestellt. Des Weiteren steht die Messapparatur während und nach Abschluss des Projekts auch anderen Industrieunternehmen oder interessierten Kunden zur Verfügung. Sie stellt somit eine leistungsfähige und flexible Messplattform zur Charakterisierung von hochwertigen Laserkomponenten dar, die von einer Vielzahl von Firmen aus dem Bereich der optischen Technologien genutzt werden kann.

Der zu errichtende Messplatz soll nach erfolgreichem Abschluss des Projekts fester Bestandteil der am Laser Zentrum Hannover e.V. verfügbaren Verfahren zur Optikcharakterisierung werden. Die während der Projektlaufzeit errichtete und qualifizierte Messapparatur soll anschließend Firmen und Instituten im Rahmen von Serviceleistungen für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden. Die bei der Durchführung von Messkampagnen entstehenden Personal- und Verbrauchskosten werden dem Kunden auf Ausgabenbasis in Rechnung gestellt. Die beschriebene Finanzierung ist für eine Reihe von bereits installierten Messeinrichtungen, die regelmäßig von Industriekunden nachgefragt werden, gängige Praxis und hat sich insgesamt bewährt. Der längerfristige Bestand des Messplatzes am Laser Zentrum Hannover kann durch diese Regelung gesichert werden.

Eine Verbreitung der Ergebnisse wird über Beiträge bei Fachtagungen, über Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften sowie durch regelmäßige Mitteilungen an Internet-basierte Informationsdienste erfolgen. Mit der Einbindung des Laser Zentrums Hannover in die Aus- und Weiterbildung von wissenschaftlichen und technischen Arbeitskräften können die Erkenntnisse auch zu Fortbildungszwecken genutzt werden. Nicht zuletzt ist das Laser Zentrum Hannover in den nationalen und internationalen Gremien zur Standardisierung vertreten und betreibt maßgeblich die Weiterentwicklung von Messverfahren in der Laserstrahl- und Optikcharakterisierung. Die gewonnenen Erfahrungen bei der hochsensitiven Absorptionsmessung können mithin in spätere Revisionen z.B. der Messnorm ISO 11551 einfließen.

6. Durchführende Forschungsstelle(n)

Laser Zentrum Hannover e.V., Abt. Laserkomponenten, 30419 Hannover

6.1 Leiter der Forschungsstelle

Dr.-Ing. Andreas Ostendorf (geschäftsführendes Vorstandsmitglied)

6.2 Projektleiter

Dr. Detlev Ristau

Hannover, 18.1.2006

Ort, Datum

 LASER ZENTRUM HANNOVER e.V.
Hollerithallee 8
30419 Hannover
Telefon (05 11) 27 88-0
Telefax (05 11) 27 88-100

A. Ostendorf

Unterschrift des Leiters und Stempelabdruck
der Forschungsstelle