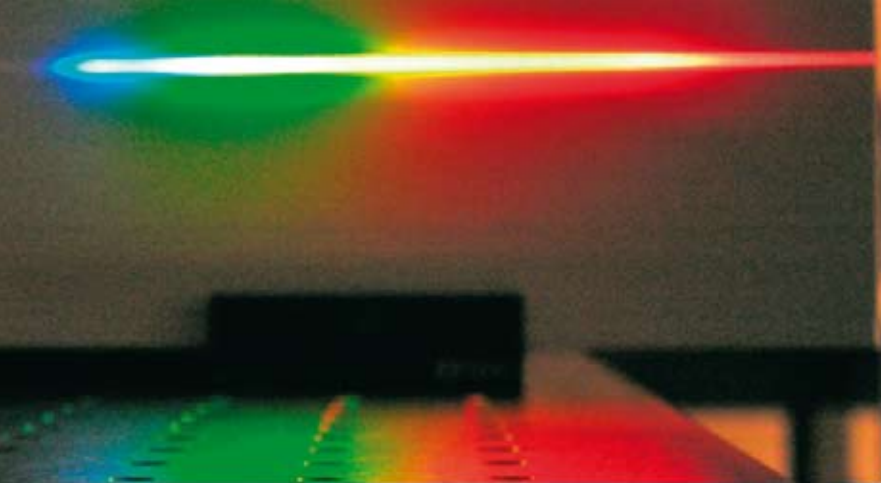
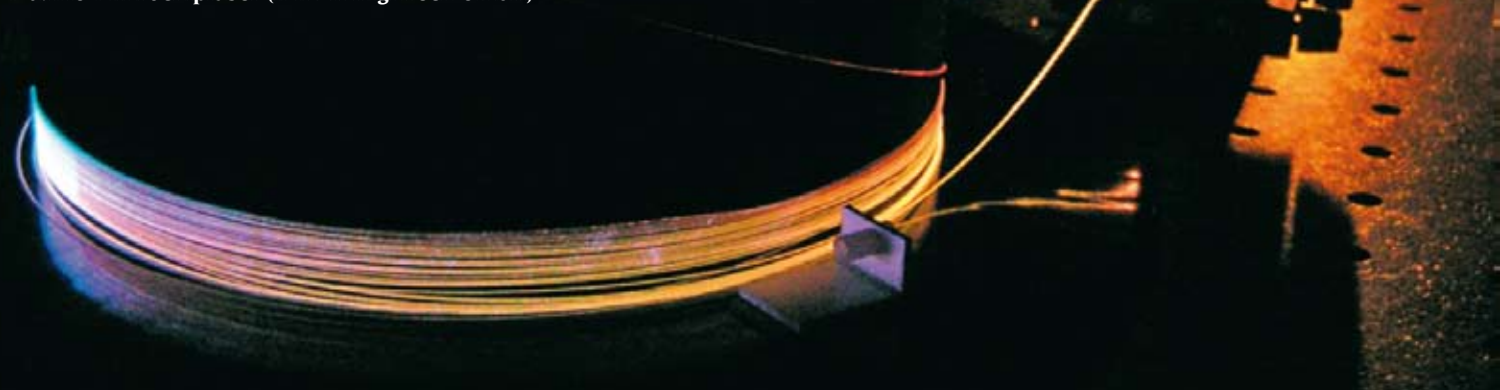




Spektral zerlegtes Superkontinuum (500 nm bis 1650 nm, typische spektrale Leistungsdichte $0,9 \mu\text{W}/\text{nm}$, Intensitätsschwankungen kleiner 7 dB) erzeugt in einer Photonischen Kristallfaser (Nulldispersionswellenlänge 1040 nm) gepumpt mit einem passiv gütegeschalteten Nanosekunden Nd:YAG-Mikrochiplaser (IMPEX HighTech GmbH)



Optische Schichten und Materialien breitbandig hochgenau vermessen

Verlustarme, hoch reflektierende Schichtsysteme sind eine Basistechnologie in der Produktion optischer Komponenten. Die Klassifikation dieser Schichten erfolgt über den spektralen Reflexionsfaktor $R(\lambda)$ beziehungsweise über den entsprechenden Transmissionsverlust eines transparenten Bauteils oder einer Antireflexschicht. Die Ingenieure am Institut für Oberflächentechnologien und Mikrosysteme der Westsächsischen Hochschule Zwickau haben nun Messverfahren entwickelt, mit dessen Hilfe man optische Verluste über einen großen Spektralbereich hochgenau (besser 10^{-5}) bestimmen kann.

Mit herkömmlichen Reflexions- bzw. Transmissionsmessungen lassen sich sehr niedrige Transmissionsverluste beziehungsweise sehr hohe Reflexionsfaktoren $R > 99,99\%$ nicht messen. Sowohl das Rauschen der entsprechenden Detektoren als auch die Intensitätsinstabilitäten der eingesetzten Laserquellen verursachen Messfehler, die deutlich größer sind als die zu messenden Intensitätsunterschiede. Eine Alternative zur direkten Intensitätsmessung ist ein Analyseverfahren auf der Basis der Cavity-Ring-Down-Spektroskopie (CRD).

In dem entsprechenden Messaufbau ist das Messobjekt Bestandteil eines

stabilen optischen Resonators hoher Güte (cavity). Es wird der zeitliche Abfall der transmittierten Intensität eines Laserpulses (ring down) gemessen. So können die Verluste des optischen Resonators und damit der Reflektivität der Spiegel oder der Transmissionsverlust eingebrachter optischer Schichten oder Medien bestimmt werden.

Die konventionellen CRD-Techniken haben jedoch einen entscheidenden Nachteil: Der Wellenlängenbereich ist durch die typischerweise eingesetzten abstimmbaren Laserquellen begrenzt.

»Deshalb verwenden wir eine Weißlichtquelle, denn sie erweitert den

Arbeitsbereich auf den gesamten sichtbaren Spektralbereich bis in den nahen Infrarotbereich«, erklärt Prof. Peter Hartmann, Leiter der Arbeitsgruppe Optische Technologien des Institutes und ergänzt: »Entscheidend für die Messgenauigkeit und die Dynamik des Messverfahrens sind die Brillanz und das Zeitverhalten der Weißlichtquelle. Daher ist für eine stabile, reproduzierbare Einkopplung der Lichtpulse in den optischen Resonator der Einsatz einer Faserkopplung zwischen Weißlichtquelle und cavity praktisch unabdingbar.«

Die maximal messbaren Verluste sind durch die Flankensteilheit der Anre-

gungspulse begrenzt. Auch die Rückflanke der Messpulse sollte sehr stabil und kürzer als $t_f \geq 1 \mu\text{s}$ sein.

Mechano-optisch modulierte Weißlichtquellen aber auch Blitzlampen sind damit ungeeignet, optimal eignet sich dagegen eine sogenannte Superkontinuumquelle für die breitbandigen CRD-Verlustmessungen. Das Superkontinuum ist eine extrem breitbandige Strahlung, die durch die spektrale Verbreiterung eines kurzen Laserpulses hoher Intensität in einem stark nichtlinearen Medium erzeugt wird.

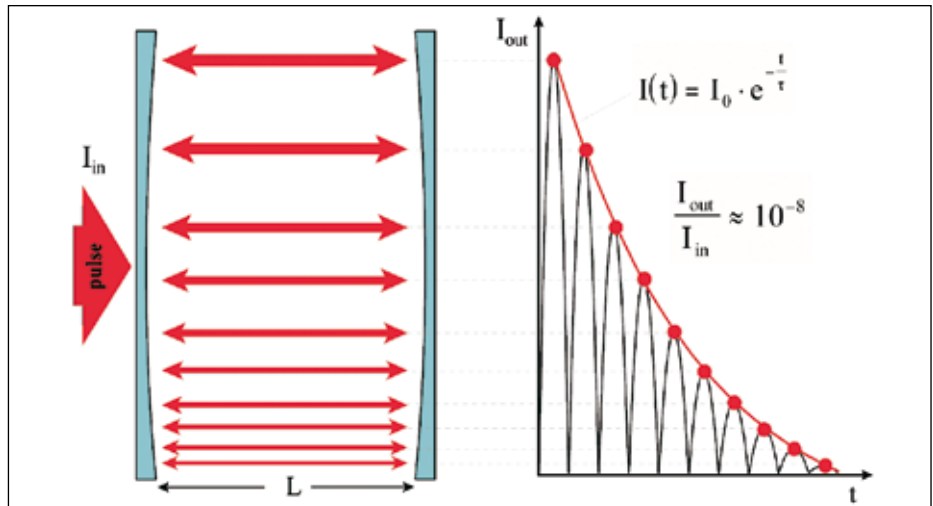
Die für die CRD-Messungen verwendete Superkontinuumquelle besteht aus einer 20 m langen Photonischen Kristallfaser mit einer Nulldispersionswellenlänge von 1.040 nm. Sie wird mit einem passiv gütegeschalteten Nd:YAG-Mikrochip-Laser der Firma IMPEX HighTech GmbH gepumpt. Die Pulslänge beträgt 2 ns bei einer Pulsennergie von 12 μJ und einer Wiederholrate von 15 kHz.

Das hoch brillante Superkontinuum besitzt im Bereich 500 nm bis 1.650 nm eine flache Leistungskurve mit einer typischen spektralen Leistungsdichte von 0,9 $\mu\text{W}/\text{nm}$. Die Intensität der Weißlichtpulse schwankt um weniger als 7 dB bei einer Flankensteilheit von $< 1 \text{ ns}$.

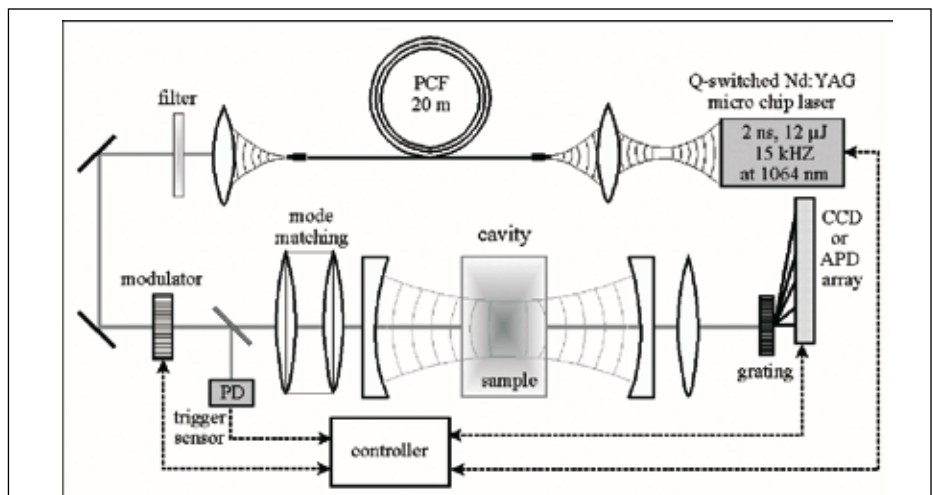
»Ein PC (lab view-Programm) steuert über den Controller des Mikrochip-Lasers und einen zusätzlichen Modulator die Erzeugung der Superkontinuumpulse synchron zur Datenaufnahme«, so Hartmann.

Die vorgefilterten Weißlichtpulse werden durch ein Linsensystem an den optischen Resonator angepasst. Die Probe ist Bestandteil des optischen Resonators. Bei der Untersuchung von Antireflexbeschichtungen oder hochtransparenten Materialien unter dem Brewsterwinkel wird sie direkt im Modenvolumen positioniert, bei hochreflektierenden Beschichtungen dient sie als Resonatorspiegel.

Der Signalnachweis erfolgt mit Hilfe eines Arrays von Lawinendiode- oder CCD-Sensoren.



▲ Grundprinzip der Cavity-Ring-Down-Technik (CRD)



▲ Prinzipieller Aufbau des Weißlicht-CRD-Verlustmessplatzes

Zur Messung extrem geringer Verluste im ppm-Bereich muss das aktive Messvolumen gegen Umgebungseinflüsse abgeschirmt werden. Dazu kann der kompakte transportable Messaufbau in eine Miniflowbox (elektronische Komponenten und der Controller im Gehäuseunterteil) integriert werden. Zusammenfassend nennt Hartmann nochmals die Vorteile des Verfahrens: »Der Einsatz einer Superkontinuumquelle auf Basis einer Mikrochip-Laser gepumpten Photonischen Kristallfaser ermöglicht hochgenaue Cavity-Ring-Down-Verlustmessungen über einen extrem großen Spektralbereich von mehr als 1.000 nm (VIS bis NIR). Bedingt durch die optimale Form und Länge der Superkontinuum-Weißlichtpulse wird dabei eine Dynamik von mehr als 50.000 ppm erreicht. So

können Reflektivitäten im Bereich von $R = 0,95$ bis $R = 0,99995$ oder Transmissionsverluste im Bereich von $\tau = 0,05$ bis $\tau = 0,00005$ mit einer Genauigkeit besser $2 \cdot 10^{-6}$ gemessen werden«.

Die Arbeiten werden gefördert durch das FH3-Programm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

■ INFO

Autoren:
Tobias Baselt, Fabiola Basan und
Peter Hartmann
Westfälische Hochschule Zwickau
Institut für Oberflächentechnologien
und Mikrosysteme
Dr.-Friedrichs-Ring 2A
08056 Zwickau
Tel.: 0375 536-0
E-Mail: rektorat@fh-zwickau.de
www.fh-zwickau.de