

FORSCHUNG KOMPAKT

FORSCHUNG KOMPAKT

2. Juni 2025 || Seite 1 | 3

LASER 2025

Laserquellen der Zukunft: Schlüssel zur technologischen Souveränität

Von Fertigung bis Medizin, von Quantentechnologie bis Kernfusion – Laser sind die Basis für viele kritische Anwendungen. Doch ohne Seltene Erden und Kristalle aus Drittländern lassen sie sich immer seltener herstellen. Exportbeschränkungen, Krieg und restriktive Zollpolitik setzen nicht nur die Industrie unter Druck, sondern bedrohen die technologische Souveränität Deutschlands. Fraunhofer forscht an Alternativen in Kristallzüchtung und -bearbeitung sowie Glasfaserentwicklung. Zu sehen sind sie vom 24. bis 27. Juni auf der LASER in München.

Als China im Zuge des Zollstreits im April den Export von Seltenen Erden und einigen anderen Elementen in die USA und somit auch nach Europa erschwerte, wurde die Abhängigkeit Deutschlands von so kritischen Rohstoffen einmal mehr offensichtlich. Neben anderen Hightech- und Rüstungsunternehmen leidet auch die Laserindustrie unter dem verknappten Angebot. Denn benötigt werden die Elemente unter anderem für Laserkristalle und aktive Laserfasern als Verstärkungsmedium, um Laserstrahlung zu erzeugen. Damit entscheiden Materialien im Wert von einigen hundert Euro über die Fertigung von Systemen im Wert von hunderttausenden Euro.

»Es ist nicht nur für die Wettbewerbsfähigkeit und Unabhängigkeit der deutschen und europäischen Volkswirtschaften, sondern auch für unsere Sicherheit entscheidend, die Verfügbarkeit adäquater Laserkristalle und Fasern zu gewährleisten und die Prozesse ihrer Verarbeitung selbst in der Hand zu haben«, sagt Prof. Dr. Marc Eichhorn. Er ist Direktor des Fraunhofer-Instituts für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB an den Standorten Ettlingen und Oberkochen. Dort forscht die Abteilung Lasertechnologie unter Leitung von Dr. Christelle Kieleck an neuen Laserquellen und verbesserten, leistungsfähigeren Kristallen sowie faseroptischen Komponenten als Grundlage für die weitere Entwicklung von Lasersystemen. Von der Simulation und dem Design neuer Materialien bis hin zu Demonstratoren deckt das Institut die gesamte Wertschöpfungskette der Laserfertigung ab.

Züchtung und Verarbeitung von Laser- und nichtlinearen Kristallen

Als Herzstück eines jeden Lasers verstärken Laserkristalle das Licht, indem sie optische Energie in höheren Energieniveaus speichern und – entsprechend ihrer Dotierung etwa

Kontakt

Monika Landgraf | Fraunhofer-Gesellschaft, München | Kommunikation | Telefon +49 89 1205-1333 | presse@zv.fraunhofer.de
Ulrich Pontes | Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB | Telefon +49 721 6091-300 | Fraunhofer-
str. 1 | 76131 Karlsruhe | www.iosb.fraunhofer.de | ulrich.pontes@iosb.fraunhofer.de

mit bestimmten Seltenen Erden – in definierten Wellenlängen als Laserstrahlung freisetzen. Wenn für bestimmte Wellenlängen keine Laserkristalle verfügbar sind, ist eine Konversion mittels nichtlinearer optischer Materialien (NLO) möglich. Durch ihre optischen Eigenschaften können diese die Wellenlängen (und somit Farben) eines Laserstrahls umwandeln – etwa halbieren, dritteln oder auch mehrere Wellenlängen mischen. Damit lässt sich das Laserlicht über einen definierten Bereich hinweg kontrolliert verändern, sodass es stärker mit Materialien wechselwirkt, besondere Moleküle nachweisen kann oder höherauflösende Mikroskopie ermöglicht. Auch Anwendungen augenschädlicher Laserstrahlung, etwa bei Entfernungsmessungen, können durch NLO in unbedenkliche Wellenlängenbereiche verlagert werden. So ermöglichen diese Quellen neue Anwendungen in Medizintechnik, Umweltanalytik oder Verteidigung.

FORSCHUNG KOMPAKT2. Juni 2025 || Seite 2 | 3

Sowohl bei Laser- als auch NLO-Kristallen ist die Qualität der erhältlichen Kristalle bisher oft ein limitierender Faktor. Denn Kristall ist nicht gleich Kristall: »Neben der Dotierung sind die optische Qualität und Absorption sowie die Wärmeleitfähigkeit und Polarisatoneigenschaften der Kristalle entscheidend für deren Leistungsfähigkeit«, so Prof. Marc Eichhorn. So kann es bei höherer Leistung zu Temperaturunterschieden innerhalb des Kristalls kommen – mit negativen Effekten auf Effizienz und Strahlqualität. Deshalb ist die Züchtung und Verarbeitung von Laserkristallen im wahrsten Sinne des Wortes eine Wissenschaft für sich. »Es ist sehr viel spezielles Know-how nötig. Zahlreiche Prozesse sind nicht automatisierbar«, ergänzt Dr. Christelle Kieleck. »Rohkristalle müssen geschnitten, geschliffen, poliert, beschichtet oder mikrostrukturiert werden. Diese spezielle Verarbeitung entscheidet über Effizienz und Belastbarkeit. Deshalb müssen wir dieses Prozesswissen erhalten und ausbauen, um die Weiterentwicklung der Technologie nicht aus der Hand zu geben.«

Die Forschenden simulieren zunächst die Zusammensetzung der Kristalle, etwa mit abgestuften Dotierungsgraden und variierten Züchtungsbedingungen, um ihre Eigenschaften zu verbessern. In speziellen Öfen werden sie anschließend gezüchtet und mithilfe von Röntgenbeugung untersucht. Hohe Drücke und Sicherheitsanforderungen machen die Herstellung komplex. Im Labor werden anschließend die optischen Bauteile aus den Kristallen gesägt, mit spezifischen Verfahren weiterbearbeitet und poliert. Ein Ziel ist dabei, durch bestimmte Verfahren die sogenannte Zerstörschwelle zu erhöhen, also die Robustheit des Kristalls bei Belastung durch die Laserstrahlung. Dazu haben die Forschenden des Fraunhofer IOSB einen neuen Teststand realisiert, der optische Zerstörschwellen mit neuesten Messtechniken ermittelt. Schließlich werden die Quellen in Laseraufbauten getestet, die wiederum je nach Kristallgüte und -geometrie optimiert werden.

Glasfaserforschung für maßgeschneiderte optische Fasern

Neben Kristallen und NLO-Materialien entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch aktive Laserfasern und neue Faserkomponenten für spezifische Anwendungen – von der Materialbearbeitung bis hin zur Laserchirurgie. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem kurzwelligen und mittleren Infrarotspektrum. Um Laserstrahlung

in Faserlasern zu erzeugen, bei denen der dotierte Kern einer Glasfaser das aktive Medium ist, erforschen sie derzeit vor allem Seltenerd-dotierte Quarzglasfasern und fluorierte Laserfasern. »An unserem neuen Standort in Oberkochen werden wir maßgeschneiderte und robuste Hochleistungsfasern für Laser mit geringem Volumen, Gewicht und Energiebedarf hausintern fertigen«, freut sich Christelle Kieleck.

Seine Kristalle, nichtlinearen Optiken, Zerstörschwellenmesstechnik und Faserlaser stellt das Fraunhofer IOSB vom 24. bis 27. Juni auf der Messe LASER in München, Halle A2, Stand 415, vor.

FORSCHUNG KOMPAKT2. Juni 2025 || Seite 3 | 3



Abb. 1 Verschiedene oxidische Laserkristalle mit unterschiedlichen aktiven Dotierungen (Seltene Erden und Übergangsmetalle).

© Fraunhofer IOSB / indigo



Abb. 2 Achteckige Faserpreform, Glaspfropfen vom Beginn des Faserziehprozesses und aktive Laserfaser auf Trägerrolle.

© Fraunhofer IOSB / indigo