



Laser glass is becoming increasingly important for use as both a gain medium for the resonator and as an amplifier for ultra-high-performance applications. SCHOTT offers a wide range of laser glasses for many different applications.

Der Einsatz von Laserglas wird zunehmend interessanter, sowohl als Verstärkungsmedium für den Resonator wie auch als Verstärker für Ultra-Hochleistungsanwendungen. SCHOTT bietet eine breite Palette von Lasergläsern für vielfältige Anwendungen an.

A MATERIAL WITH A GREAT FUTURE

EIN MATERIAL MIT GROSSER ZUKUNFT

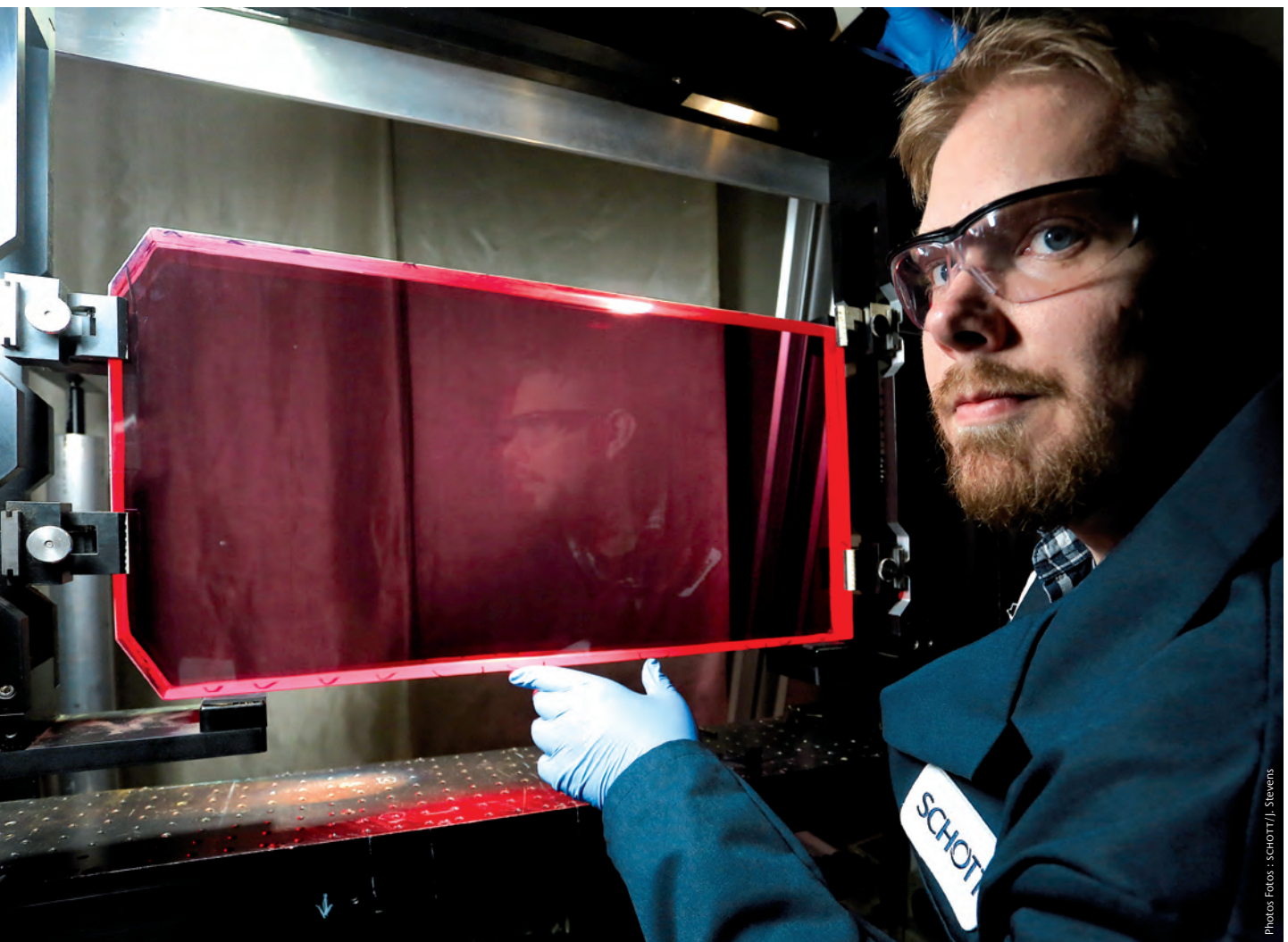
SCHOTT ranks among the world's leading suppliers of laser glass for use in industry, at universities and public institutions. Close collaboration with customers and intensive research and development will continue to open up promising prospects for laser glass as a medium in the future.

SCHOTT gehört zu den weltweit führenden Anbietern von Laserglas für Industrie, Universitäten und staatliche Einrichtungen. Die enge Zusammenarbeit mit Kunden sowie eine intensive Forschung und Entwicklung eröffnen auch in Zukunft vielversprechende Perspektiven für das Lasermedium Glas.

DR. GREGORY FLINN

The realization that certain combinations of glass and rare earth dopants such as neodymium, erbium, and ytterbium also make exceptionally good laser gain media was made in the early 1960s by Elias Snitzer, the scientist and pioneer in the area of laser glass research at the American Optical Company, shortly after the advent of the laser. The principal reasons for this are the broad spectral absorption/emission profiles of dopants in glass that allow for efficient pumping using broadband discharge lamps. The high dopant solubility and large emission cross sections also mean that pulsed laser action is relatively easy to achieve, and that the

Schon kurz nach der Erfindung des Lasers Anfang der 1960er-Jahre wies der amerikanische Wissenschaftler und Pionier der Laserglas-Forschung Elias Snitzer (American Optical Company, s. S. 8) nach, dass Kombinationen von Glas und Metallen der Seltenen Erden – wie beispielsweise Neodym, Erbium und Ytterbium – ein hervorragendes Material zur Erzeugung von Laserlicht darstellen. Gründe dafür sind, dass dotierte (lateinisch „dotare“= „ausstatten“) Gläser breite Absorptions- und Emissionsprofile aufweisen, die mit breitbandigen Entladungslampen sehr effizient gepumpt werden können. Zum anderen unterstützen die hohe



Photos Fotos: SCHOTT/]. Stevens

variable chemical makeup of glass allows adaptation of the spectral and physical properties to best suit the application. “These factors have all helped nurture a steadily growing interest in laser glass, both as a gain medium for the resonator itself, and as an amplifier in ultra-high peak power applications,” says laser glass expert Dr. Simi George from SCHOTT Research & Development (R&D) in North America.

Many years of expertise

Drawing on over 40 years of R&D, SCHOTT’s expertise in the field of laser glass is now unmatched. Neodymium-doped glasses, as used for laser amplifier systems, have been the dominant product in the laser glass portfolio of the Business Unit SCHOTT Advanced Optics. Today, there are three principal types of phosphate-based laser glasses available suitable for high energy, high-power and ultrashort pulse applications. More recent developments include ‘eye-safe’ laser glasses for medical technology, celestial/terrestrial range finding and medical/cosmetic applications at a wavelength around $1.5\mu\text{m}$. Further to these mainstream laser glass categories, SCHOTT also offers a silicate-based laser glass for high-repetition rate,

Löslichkeit der Dotierstoffe im Glas sowie der hohe Wirkungsquerschnitt bei der Emission die Anforderungen an ein Lasermedium für den gepulsten Laserbetrieb. Glas bietet zudem viele Freiheitsgrade, um die chemische Zusammensetzung und dadurch die spektralen und physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Anwendung anzupassen. „Das hat dazu geführt, dass der Einsatz von Laserglas zunehmend interessanter wurde, sowohl als Verstärkungsmedium für den Resonator wie auch als Verstärker für Ultra-Hochleistungsanwendungen“, erklärt Dr. Simi George, Laserglas-Expertin bei SCHOTT Research & Development in Nordamerika.

Langjährige Kompetenz

Nach über 40 Jahren Grundlagenforschung ist die SCHOTT Kompetenz im Bereich Laserglas bis heute wegweisend. Neodym-dotierte Gläser als aktives Lasermedium zur Verstärkung von Laserenergie sind der wichtigste Baustein der Laserglas-Produktpalette der Geschäftseinheit SCHOTT Advanced Optics. Aktuell stehen drei Grundtypen von Lasergläsern auf Phosphatbasis zur Verfügung, die in Hochleistungs-, Hochenergie- und Ultrakurzpulslasern zum Einsatz kommen. Sogenannte „Eye-safe“-Lasergläser für Wellen-

Otto Schott Research Award for laser glass pioneers Otto-Schott-Forschungspreis für Pioniere der Laserglasforschung

In 1999, the Ernst Abbe Fund awarded the renowned Otto Schott Research Award to John H. Campbell (University of California, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)) and to Elias Snitzer (Rutgers University, Piscataway, New Jersey). The prize is awarded in recognition of outstanding contributions in the area of glass and glass-ceramic science. Campbell (left) received the award for his achievements



in establishing a basic understanding of the properties of glass, especially in the area of multicomponent phosphate glasses. Snitzer (right) made pioneering contributions to glass, in particular in the area of laser glass and optical fiber glasses. His far-reaching vision and contributions to the first observed laser action in glass led to his discovery of both neodymium- and erbium-doped laser glass and his development of the first fiber amplifier. <



1999 wurden die zwei amerikanischen Wissenschaftler Dr. John H. Campbell (University of California, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), Livermore, CA) und Prof. Elias Snitzer (Rutgers University, Piscataway, USA) mit dem renommierten Otto-Schott-Forschungspreis des Ernst-Abbe-Fonds ausgezeichnet. Dieser würdigt hervorragende wissenschaftliche Leistungen im Bereich Glaswissenschaften. Prof. Campbell (links) erhielt den Preis für seine

wissenschaftlichen Beiträge, die zu einem grundlegenden Verständnis der Eigenschaften von Glas, vor allem auf dem Gebiet komplexer Phosphatgläser, führten. Dr. Snitzer (rechts) leistete Pionierarbeit speziell im Bereich Lasergläser und optischer Glasfasern. Seine weitreichende Vision und seine Beiträge zur erstmalig beobachteten Laseraktivität mit Glas führten zur Erfindung sowohl neodym- als auch erbiumdotierter Lasergläser und damit zu Snitzers Entwicklung des ersten faseroptischen Verstärkers. <

solid-state laser applications, and both phosphate and silicate-based glass types optimized for fabrication of active guiding structures in integrated optics applications. In addition to production in Mainz, Germany, SCHOTT Advanced Optics manufactures the majority of its laser glasses in Duryea, Pennsylvania. The Research & Development center for these products is also based there. Distinguished glass experts, such as Dr. Joseph S. Hayden, who has made a significant contribution to SCHOTT's leading market position, also research glass and its properties in Duryea. Hayden, an internationally renowned laser glass expert, joined SCHOTT in 1985, where his work on compositional modifications and the identification of special post-processing treatments was crucial in expanding the operational window for laser glasses.

But SCHOTT's success in the field has also been influenced by other factors, as Hayden himself acknowledges. Now a Research Fellow in Duryea, he was in July 2014 honored with the Stookey Award of the American Ceramic Society (ACers) for lifetime contributions in the field of glass and glass-ceramics. In his Lecture of Discovery presentation, Hayden paid tribute "to the many scientists, engineers and technicians involved in these collaborations who have individually or collectively contributed to the progress in the field." Of particular note was the frequent technical and financial support of John H. Campbell and other researchers at

längen um 1,5 μm eignen sich für medizinische und kosmetische Anwendungen sowie für Entfernungsmessungen. Neben diesen etablierten Laserglas-Typen bietet SCHOTT auch eine Variante auf Silikatbasis, die für gepulste Festkörperlaser mit hohen Wiederholraten einsetzbar ist, sowie phosphat- und silikatbasierte Glastypeen zur Herstellung aktiver Strukturen in integrierten optischen Anwendungen an.

Zusätzlich zur Produktion in Mainz fertigt SCHOTT Advanced Optics den Großteil seiner Lasergläser in Duryea, Pennsylvania, USA. Vor Ort befindet sich zugleich auch das Forschungs- & Entwicklungszentrum für die Produkte. In Duryea forschen namhafte Glas-Experten wie Dr. Joseph S. Hayden, der mit seinem Wissen wesentlich zur erfolgreichen Marktposition von SCHOTT beigetragen hat. Dr. Hayden ist ein international anerkannter Laserglas-Experte und kam 1985 zu SCHOTT. Seine wissenschaftlichen Arbeiten zur Veränderungen der Glaszusammensetzung sowie der Identifikation spezieller Nachbearbeitungsverfahren waren entscheidend für die Ausweitung der Einsatzmöglichkeiten für Lasergläser. Er arbeitet heute als Research Fellow in Duryea und wurde im Juli 2014 von der American Ceramic Society (ACers) für seine richtungsweisenden Forschungsergebnisse im Bereich Glas und Glaskeramik mit dem Stookey Award ausgezeichnet. In seinem Vortrag anlässlich der Preisverleihung, der sogenannten Stookey Lecture of

Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL).

Laser glass expert Dr. Simi George: "We can thank the many international ventures on large-scale laser projects around the world for providing the necessary drive to further develop laser glass materials." In most of them, SCHOTT is involved as a partner and has developed the required laser glass components, e.g. at the LLNL and the French Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). "SCHOTT is also actively involved in the planning of projects exceeding the PW (petawatt) level," continues George, "but here we are not

Discovery, würdigte Hayden „die vielen Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker, die beteiligt waren und als Einzelne oder im Team Fortschritte auf diesem Gebiet ermöglicht haben.“ Besonders erwähnenswert sei auch die kontinuierliche technische und finanzielle Unterstützung durch John H. Campbell (s. S. 8) und weitere Forscher des Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL).

Laserglas-Expertin Dr. Simi George: „Wir verdanken es Laser-Großprojekten weltweit, dass sie der Entwicklung von Laserglas-Materialien den erforderlichen Schwung gaben.“ Bei vielen

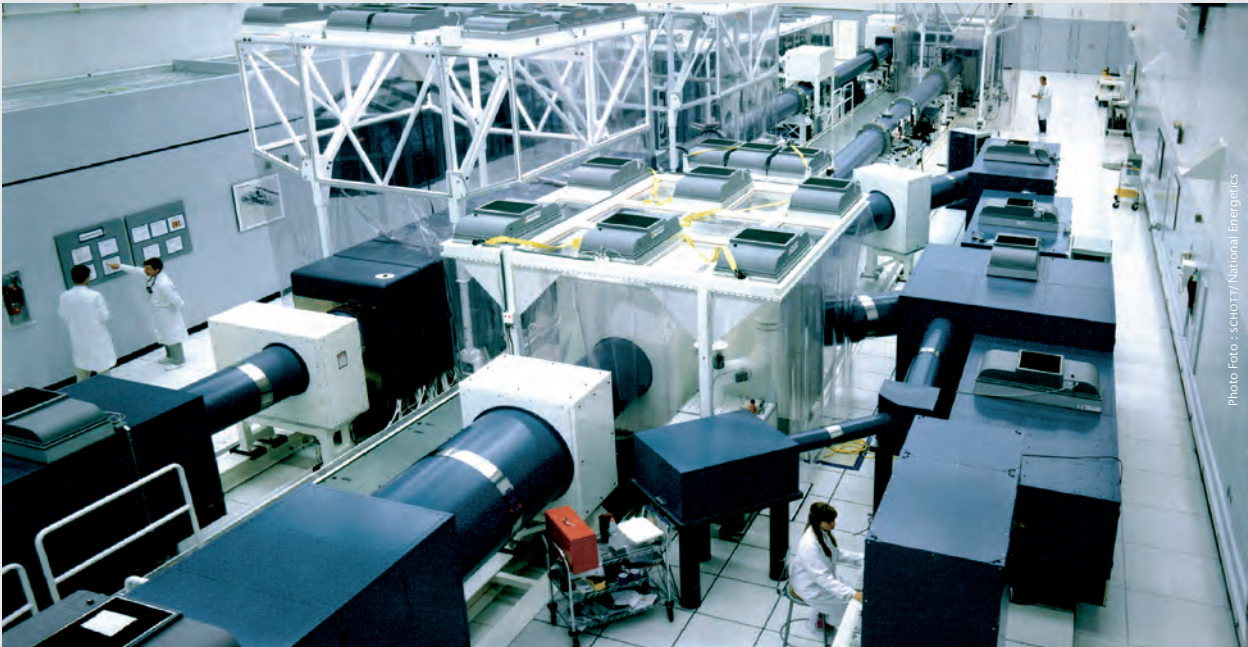
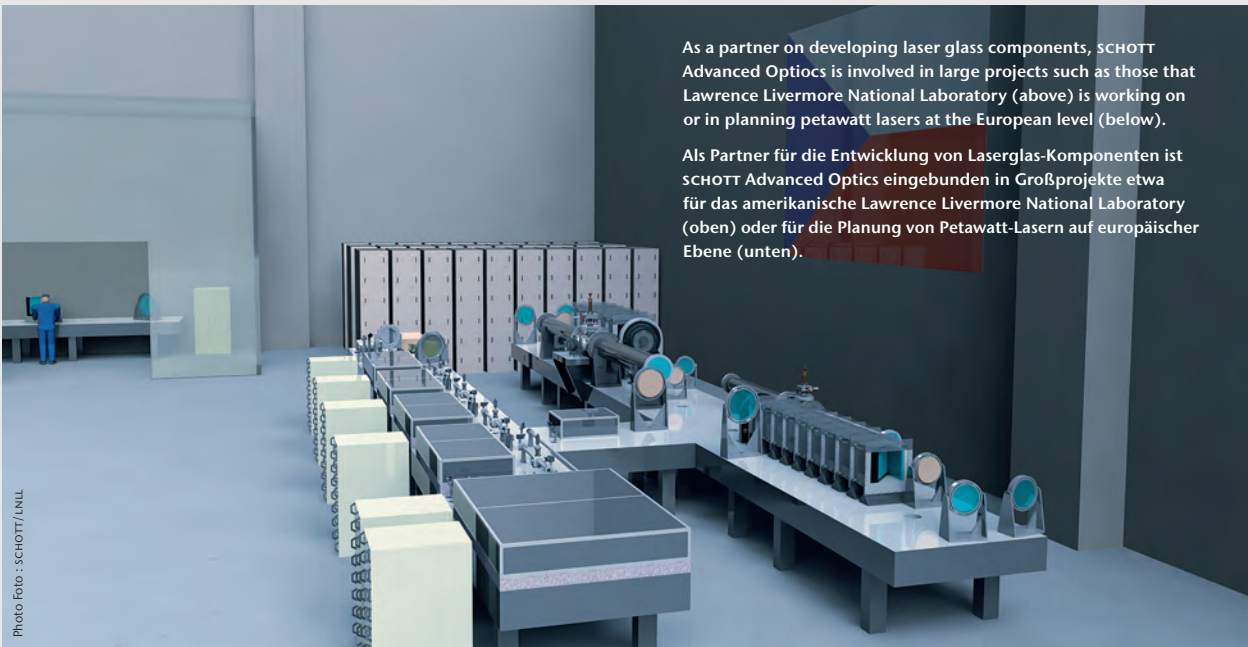


Photo Foto : schott/National Energetics



As a partner on developing laser glass components, SCHOTT Advanced Optics is involved in large projects such as those that Lawrence Livermore National Laboratory (above) is working on or in planning petawatt lasers at the European level (below).

Als Partner für die Entwicklung von Laserglas-Komponenten ist SCHOTT Advanced Optics eingebunden in Großprojekte etwa für das amerikanische Lawrence Livermore National Laboratory (oben) oder für die Planung von Petawatt-Lasern auf europäischer Ebene (unten).

Photo Foto : SCHOTT/LLNL

simply faced with the challenge of just 'bigger and better' glass. Instead the laser glass needs to provide sufficient gain width for the incredibly short pulses – we are going to be cooking up new glasses!" Subsequently, a consortium led by National Energetics, Inc., in partnership with Ekspla UAB, has been awarded a contract valued in excess of \$40 million to develop and install an ultra-intense laser system for the European Union's Extreme Light Infrastructure (ELI) facility near Prague in the Czech Republic. The laser system will

“We can thank the many international ventures on large-scale laser projects around the world for providing the necessary drive to further develop laser glass materials.”

„Wir verdanken es Laser-Großprojekten weltweit, dass sie der Entwicklung von Laserglas-Materialien den erforderlichen Schwung gaben.“

Dr. Simi George, SCHOTT R&D North America

yield pulse energies in excess of 1.5 kJ and pulse widths of approximately 150 fs delivered at a repetition rate of one shot per minute. SCHOTT will supply laser glass for use in the large aperture laser amplifiers. The development of new laser glasses has previously taken a time consuming, reiterative 'melt and test' approach. Thankfully, new predictive tools exist that drastically accelerate the identification of suitable glass compositions.

First, the influence of varying glass composition on laser properties has been studied so systematically that optimized glass properties for any new laser design can now be determined quickly. Secondly, by rendering the lasing and thermomechanical material

Projekten war SCHOTT als Partner für die Entwicklung der Laser-glas-Komponenten verantwortlich, beispielsweise für das LLNL und das französische Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA). „Auch an den Planungen zu Projekten, die die Petawatt (PW)-Grenze überschreiten, ist SCHOTT aktiv beteiligt“, so Dr. George. „Hier besteht die Herausforderung nicht nur darin, größere und bessere Glaskomponenten zu liefern. Das Laserglas muss für die extrem kurzen Pulse auch das Licht in einem breiteren Spektralbereich verstärken. Wir werden vollkommen neue Gläser schmelzen müssen.“

Ein Konsortium unter der Leitung von National Energetics Inc. hat gemeinsam mit Ekspla UAB zudem nun auch den Auftrag für ein 40-Millionen-US-Dollar-Projekt zur Entwicklung eines Ultra-Hochleistungs-Lasersystems für das Extreme-Light-Infrastructure (ELI)-Projekt der Europäischen Union in der Nähe von Prag erhalten. Das Lasersystem wird Pulsenergien von mehr als 1,5 kJ mit 150 Femtosekunden (fs) kurzen Pulsen und einer Wiederholrate von einem Schuss pro Minute erreichen. SCHOTT wird für die Laserverstärker, die einen sehr großen Durchmesser haben, Lasergläser liefern.

Für die Entwicklung neuer Lasergläser waren bisher zeitaufwendige Testschmelzen erforderlich. Mittlerweile existieren verlässliche Methoden, um geeignete Glaszusammensetzungen schnell zu identifizieren. Zum einen ist der Einfluss der Glaszusammensetzung auf die Lasereigenschaften inzwischen systematisch untersucht, so dass sich für jedes neue Laserdesign schnell die optimalen Glaseigenschaften bestimmen lassen. Zum anderen kann die Eignung eines neuen oder vorhandenen Glases für eine bestimmte Anwendung schnell durch eine Leistungskennzahl (eine „Figure-of-Merit“) abgeschätzt werden, in die die optischen und die thermodynamischen Materialeigenschaften eingehen. Und schließlich können statistische Werkzeuge dazu verwendet werden, den geeigneten Bereich der Glaszusammensetzung mit einem Minimum an Versuchen einzuschränken. Dies alles zusammen mit den



Look into the measurement lab: the SCHOTT site in Duryea, Pennsylvania, serves as the center for developing laser glasses and their manufacturing capabilities.

Blick ins Messlabor: Zentrum für die Entwicklung von Lasergläsern und deren Fertigungsmöglichkeiten ist der SCHOTT Standort Duryea, USA.

GREATER LASER EFFECT

In most cases, the biggest and most powerful laser systems incorporate neodymium-doped phosphate glass in high optical quality to amplify laser energy. These glasses are extremely homogeneous and contain very few defects such as platinum inclusions that would explode and cause the glass to burst under intensive irradiation. During use, the electrons inside the neodymium atoms are elevated to a higher energy level with the help of flash lamps that are focused on the laser glass. Through a process known as stimulated emission, as these electrons fall back down to lower energy levels, they do so via emission of photons at the same wavelength, phase and direction of propagation. As a result, a collimated, intense beam of light emerges from the laser cavity. <

GROSSER LASEREFFEKT

Zur Verstärkung von Laserenergie werden in den größten und leistungsstärksten Lasersystemen überwiegend neodymdotierte Phosphatgläser in hoher optischer Qualität eingesetzt. Diese sind äußerst homogen und besitzen kaum innere Defekte wie etwa Platineinschlüsse, die unter intensiver Bestrahlung explodieren und das Glas zerspringen lassen würden. Bei der Anwendung werden Elektronen in den Neodym-Atomen mittels auf das Laserglas fokussierter Blitzlampen auf ein höheres Energieniveau angehoben. Durch einen Prozess sogenannter stimulierter Emission werden die angeregten Elektronen auf ein niedrigeres Energieniveau gebracht, was durch emittierte Photonen von gleicher Wellenlänge, Phase und Ausbreitungsrichtung erreicht wird. Dadurch entsteht im Laserresonator ein gebündelter, intensiver Strahl. <

parameters together in a 'Figure of Merit' approach, the suitability of a new or existing laser glass to any one application can be better assessed. Finally, statistical tools can be used to map out the corresponding compositional space with a minimum of experimental trials. Taken together with advances in production processes, laser glasses can now be realized that would otherwise have been too costly to develop in the required volumes.

Prospects for laser glass

Currently, and aside from the large-scale projects, much of the developmental input comes from the defense and cosmetic/medical technology markets. The penetration of laser technology into these and other new applications, the demand for new wavelengths in practical and reliable laser formats, trends such as weight reduction and transportability as well as a desire for more simplified systems, all have a direct influence on the performance and size requirements of the gain media. Critically, in developing a new laser glass, it is not important to exactly reproduce the favorable optical and material parameters found in, for example, alternative gain media. Instead, it is only necessary to achieve an appropriate performance envelope using the tools described above. Using this type of approach it is now possible to realize gain media that, for example, permit the high repetition rates common to many of the (crystal-based) picosecond and femtosecond ultrashort pulse laser systems that are currently rapidly gaining recognition for industrial processing applications. Acutely, as the pulse lengths in ultrashort pulse laser systems are reduced, there is also a need to avoid an issue called gain narrowing, i.e. that the available emission profile does not provide for adequate gain across the entire spectrum of an ultrashort pulse. SCHOTT is currently pursuing options to realize this in a single gain medium. Dr. William James, Supervisor Materials Development SCHOTT R&D in North America: "Glass is probably the only material that provides the necessary flexibility to achieve this - that is, to be able to vary the composition, physical format, and manufacturing processes in order to reach the desired goal." < roland.langfeld@schott.com

mittlerweile erreichten Verbesserungen der Produktionstechnologie ermöglicht es heute, auch Lasergläser anzubieten, deren Entwicklungskosten angesichts geringer Mengen bislang zu hoch gewesen wären.

Perspektiven für Lasergläser

Neben den Großprojekten sind es derzeit insbesondere die Kosmetik- und Medizintechnikmärkte sowie die Verteidigungsindustrie, die Entwicklungsimpulse liefern. Für diese und weitere Anwendungen sind zunehmend Laser mit neuen Wellenlängen in praktischen und zuverlässigen Formaten gefragt, darunter auch leichte, transportable und einfach zu bedienende Systeme. All dies hat direkte Auswirkungen auf die Eigenschaften und die Leistungsfähigkeit des Verstärkungsmediums. Bei der Entwicklung neuer Lasergläser ist es nicht entscheidend, die geforderten optischen und materialabhängigen Parameter einzeln genau zu reproduzieren. Oft reicht es aus, mit den beschriebenen Methoden ein geeignetes Leistungsprofil zu bestimmen. Mit diesem Ansatz lassen sich bereits aktive optische Materialien realisieren, die solch hohen Wiederholraten ermöglichen, wie sie in vielen der zunehmend in der Industrie eingesetzten gepulsten Sekunden- oder Femtosekunden-Lasersystemen erzielt werden. Ein Problem, das mit einer weiteren Verkürzung der Pulslängen in Lasersystemen auftritt, ist das sogenannte „gain narrowing“. Je kürzer ein Laserpuls werden soll, umso mehr benachbarte Frequenzen müssen im Laser verstärkt werden. Oft benötigt man für die geforderte Bandbreite mehrere unterschiedliche Lasermaterialien. SCHOTT verfolgt in seiner Forschung derzeit Ansätze, mit denen dies in einem einzelnen Verstärkungsmedium gelöst werden kann. Dr. William James, Materialentwickler bei SCHOTT R&D in Nordamerika: „Glas ist wahrscheinlich das einzige Material, das die erforderlichen Freiheitsgrade bietet, dies zu erreichen – indem die Glaszusammensetzung und dadurch die physikalischen Eigenschaften und der Herstellungsprozess so variiert werden können, um das gewünschte Ziel zu erreichen.“ <

roland.langfeld@schott.com