idw - Informationsdienst Wissenschaft
Nachrichten, Termine, Experten

Press release

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich)
Peter Rüegg

10/11/2024
http://idw-online.de/en/news841090

Research results, Scientific Publications
Physics / astronomy
transregional, national

Rekordleistung bei Laserpulsen

An der ETH Zürich haben Forschende einen Laser entwickelt, der die bislang stärksten ultrakurzen Laserpulse erzeugt. Solche Hochleistungs-Pulse können in Zukunft für Präzisionsmessungen oder zur Materialbearbeitung genutzt werden.

Bei dem Wort Laser denkt man meist an einen stark gebündelten und kontinuierlichen Lichtstrahl. Laser, die solches Licht erzeugen, sind tatsächlich sehr nützlich und weit verbreitet. Oftmals aber benötigen Wissenschaft und Industrie auch sehr kurze und starke Pulse aus Laserlicht. Damit können Materialien bearbeitet oder hohe harmonische Frequenzen bis hin zu Röntgenstrahlen erzeugt werden, mit denen man extrem schnelle Prozesse im Attosekundenbereich (Milliardstel einer Milliardstel Sekunde) sichtbar machen kann.

Forschende der ETH Zürich um Ursula Keller, Professorin am Institut für Quantenelektronik, haben nun einen neuen Rekord für solche Laserpulse aufgestellt: Mit bis zu 550 Watt mittlerer Leistung überbieten sie den bisherigen Höchstwert um mehr als 50 Prozent und sind damit die stärksten, die je in einem Laser-Oszillator erzeugt wurden. Gleichzeitig sind sie mit weniger als einer Pikosekunde – also dem Millionsten Teil einer Millionstel Sekunde – extrem kurz und verlassen den Laser in regelmässiger Abfolge mit einer hohen Rate von fünf Millionen Pulsen pro Sekunde. Die Leistung der kurzen Pulse erreicht dabei Spitzen von 100 Megawatt (womit man theoretisch kurzzeitig 100.000 Staubsauger betreiben könnte). Ihre Ergebnisse haben die Forschenden kürzlich im Fachjournal Optica veröffentlicht.

Kellers Forschungsgruppe arbeitet seit 25 Jahren an der stetigen Verbesserung so genannter kurzgepulster Scheibenlaser, in denen das Lasermaterial aus einer nur 100 Mikrometer dünnen Scheibe eines Kristalls besteht, der Ytterbium-Atome enthält.

Immer wieder stiessen Keller und ihre Mitarbeitenden dabei auf neue Probleme, die zunächst die weitere Erhöhung der Leistung verhinderten. Nicht selten kam es dabei zu spektakulären Zwischenfällen, bei denen unterschiedliche Teile innerhalb des Lasers zerstört wurden. Die Lösung der Probleme hat immer wieder zu neuen Erkenntnissen geführt, welche die auch in der Industrie beliebten kurzgepulsten Laser zuverlässiger gemacht haben.

«Die jetzt erreichte Kombination aus noch höherer Leistung mit Pulsraten von 5.5 Megahertz beruht auf zwei Neuerungen», erklärt Moritz Seidel, Doktorand in Kellers Labor. Zum einen verwendeten er und seine Kollegen eine spezielle Anordnung von Spiegeln, die das Licht im Laser mehrmals durch die Scheibe leiten, bevor es den Laser durch einen Auskopplungs-Spiegel verlässt. «Diese Anordnung erlaubt es uns, das Licht extrem zu verstärken, ohne dass der Laser instabil wird», sagt Seidel.

Die zweite Neuerung betrifft das Herzstück des gepulsten Lasers: ein spezieller Spiegel aus Halbleitermaterial, den Keller bereits vor dreissig Jahren erfand und der unter der eingängigen Abkürzung SESAM (Semiconductor Saturable Absorber Mirror) bekannt ist. Anders als bei normalen Spiegeln hängt bei einem SESAM die Reflektivität davon ab, wie stark das Licht ist, das auf ihn trifft.

Pulse dank SESAM

Mit dem SESAM bringen die Forschenden ihren Laser dazu, anstelle eines kontinuierlichen Strahls kurze Pulse auszusenden. Pulse haben deshalb eine höhere Intensität, weil ihn ihnen die Lichtenergie in sehr kurzer Zeit konzentriert ist. Damit ein Laser überhaupt Laserlicht aussendet, muss die Lichtintensität in seinem Inneren einen bestimmten Schwellenwert überschreiten. Hier kommt der SESAM ins Spiel: Er wirft das Licht, das die verstärkende Scheibe mehrmals durchlaufen hat, besonders effizient zurück, wenn die Lichtintensität hoch ist. Dadurch geht der Laser automatisch in einen gepulsten Zustand über.

«Pulse mit ähnlich hohen Leistungen wie den jetzt von uns erreichten konnte man bisher nur erzeugen, indem man schwächere Laserpulse durch mehrere separate Verstärker ausserhalb des Lasers schickte», sagt Seidel. Das hat aber den Nachteil, dass die Verstärkung auch zu stärkerem Rauschen führt, also einer Schwankung in der Leistung, die vor allem bei Präzisionsmessungen problematisch ist. Um die hohe Leistung direkt mit dem Laser-Oszillator zu erzeugen, mussten die Forschenden einige knifflige technische Probleme lösen – zum Beispiel, wie sie auf die Halbleiterschicht des SESAM-Spiegels ein dünnes Fenster aus Saphir aufbringen, welches die Eigenschaften des Spiegels stark verbessert. «Als das endlich geklappt hat und wir beobachten konnten, wie der Laser Pulse erzeugte – das war schon cool», freut sich Seidel.

Alternative zu Verstärkern

Auch Ursula Keller ist von diesen Ergebnissen begeistert und betont: «Die Unterstützung der ETH Zürich über die Jahre sowie die zuverlässige Finanzierung meiner Forschung durch den Schweizerischen Nationalfonds haben meinen Mitarbeitenden und mir dabei geholfen, dieses grossartige Resultat zu erzielen. Wir erwarten nun auch, dass wir mit diesen hohen Leistungen die Pulse sehr effizient in den Bereich von wenigen Zyklen verkürzen können, was für die Erzeugung von Attosekundenpulsen sehr wichtig ist.»

Weitere Anwendungen der kurzen, schnellen und starken Pulse, die mit dem neuen Laser möglich werden, sieht Keller unter anderem in neuen so genannten Frequenzkämmen im Ultraviolett- bis Röntgenbereich, die Uhren noch genauer machen könnten. «Ein Traum wäre es, wenn wir mit solchen extrem präzisen Uhren einmal messen könnten, dass die Naturkonstanten doch nicht konstant sind», sagt Keller. Auch Terahertz-Strahlung, die viel langwelliger ist als sichtbares Licht oder Infrarotlicht, kann mit dem Laser erzeugt und etwa für die Überprüfung von Materialien verwendet werden. «Insgesamt kann man sagen, dass wir mit unserem gepulsten Laser zeigen, dass Laser-Oszillatoren eine gute Alternative zu Lasersystemen mit Verstärkern sind und neue und bessere Messungen ermöglichen», fasst Keller zusammen.

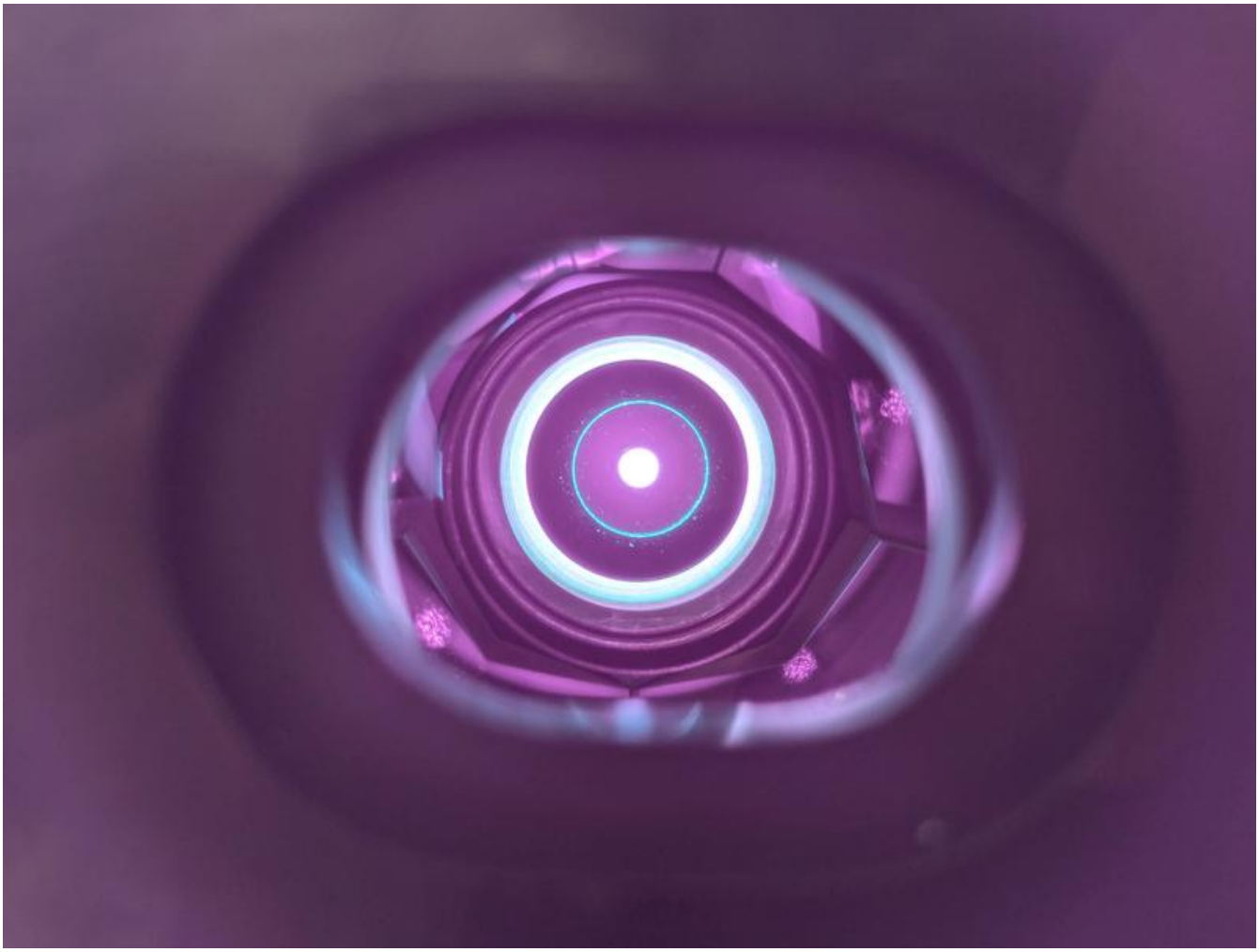
contact for scientific information:

Ursula Keller
keller@phys.ethz.ch

Original publication:

Seidel M, Lang L, Phillips CR, Keller U. Ultrafast 550-W average-power thin-disk laser oscillator, Optica 11, 1368-1375 (2024) doi: 10.1364/OPTICA.529185

URL for press release:
https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2024/10/rekordleistung-bei-laserpulsen.html



Blick ins Innere des Rekordlasers: Zu sehen ist die runde Verstärkerscheibe, die mehrmals vom Laserstrahl durchlaufen wird (heller Punkt in der Mitte).
Moritz Seidel / ETH Zürich