

WWW.CAPS.FRAUNHOFER.DE

FRAUNHOFER CLUSTER OF EXCELLENCE ADVANCED PHOTON SOURCES CAPS





FRAUNHOFER CLUSTER OF EXCELLENCE ADVANCED PHOTON SOURCES CAPS

Im Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS arbeiten Experten aus 13 verschiedenen Fraunhofer-Instituten zusammen. Sie entwickeln neue Multi-kW-Ultrakurzpulslaser und erschließen damit ganz verschiedene Anwendungsfelder. In Aachen und Jena entstehen dafür Applikationslabore, in denen die Fraunhofer-Experten mit Partnern aus Industrie und Forschung mit den neuen Strahlquellen und der dazugehörigen Systemtechnik neue Anwendungsfelder erschließen können.

Kompetenz durch gemeinsames Know-how

Laser mit ultrakurzen Pulsen (UKP) sind einzigartig: Mit ihrer extrem hohen Spitzenleistung können sie praktisch alle Materialien bearbeiten, sie sind dabei extrem präzise und tragen kaum Wärme in das Material ein. Schon heute werden damit Augen operiert oder auch Smartphonegläser geschnitten. Limitiert ist die Technologie bislang vor allem durch die geringe mittlere Leistung der Laser.

Um das zu ändern, hat die Fraunhofer-Gesellschaft 2018 das Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS gestartet. Das Ziel ist die Entwicklung von verschiedenen Multi-kW-UKP-Lasersystemen. Parallel dazu wird sowohl die passende Systemtechnik als auch eine Vielzahl von neuen Anwendungen entwickelt. Derzeit beteiligen sich 13 Fraunhofer-Institute, wobei das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen und das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF in Jena das Cluster koordinieren. Die beiden Institute sind mit komplementären technischen Ansätzen zur Entwicklung von Hochleistungsstrahlquellen für ultrakurze Laserpulse international führend.

- 1 Fokussierung eines frequenzverdoppelten Laserstrahls in einem Gas Jet (IOF).
- 2 Aufbau zur nichtlinearen Pulskompression (ILT).

Fraunhofer ILT - Multi-kW-Laser mit 100 GW Pulsleistung

Am Fraunhofer ILT wurde die INNOSLAB-Technologie entwickelt, bei der die Pulse in slab-förmigen Laserkristallen verstärkt werden. Anvisiert wird eine Ausgangsleistung von bis zu 2 kW aus einem einzelnen Laserkristall, mit mehreren dieser Verstärkerstufen sollen es bis zu 5 kW werden. In einer Scheiben-Endstufe wird diese Ausgangsleistung schließlich auf 10 kW verdoppelt.

Fraunhofer IOF – neue UKP-Systeme mit > 10 kW Leistung

In Jena sind die Laser-Experten auf die kohärente Kombination von Faserlasern spezialisiert. Mit der Erzeugung von 3,5 kW-UKP-Strahlung aus vier kohärent kombinierten Faserkanälen halten sie den aktuellen Weltrekord. Für 2019 ist die Skalierung des Systems auf 10 kW und mittelfristig auf 20 kW geplant.

Leistungsdaten der UKP-Strahlquellen

Die Pulsdauern der UKP-Laser des Clusters of Excellence CAPS sind applikationsspezifisch einstellbar vom ns- und ps-Bereich bis hinunter zu etwa 50 fs. Geplant ist außerdem die Erzeugung von sehr kurzen Pulsen deutlich unter 50 fs, von Pulsenergien über 5 mJ sowie von Pulsfolgen mit sehr hohen Repetitionsraten und mittleren Leistungen im Multi-kW-Bereich. Darüber hinaus wollen die Teams auch intensive UKP-Strahlung in anderen Spektralbereichen von EUV bis THz erzeugen.

DAS VIRTUELLE INSTITUT

Das Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon
Sources CAPS ist eines von derzeit sechs Forschungsclustern
der Fraunhofer-Gesellschaft. In diesen fördert die Gesellschaft
die kooperative Entwicklung und Bearbeitung systemrelevanter Themen durch eine institutsübergreifende Forschungsstruktur. Nach außen treten sie jeweils als »Virtuelles Institut«
auf, das sich über mehrere Standorte verteilt und auf einen
gemeinsamen Know-how- und IP-Pool zurückgreifen kann.
Dabei steht nicht nur die temporäre Durchführung eines
einzelnen Projekts im Vordergrund, sondern vielmehr die
Schaffung einer Roadmap zur langfristigen Entwicklung eines
komplexen Technologietrends.

DIE PARTNERINSTITUTE

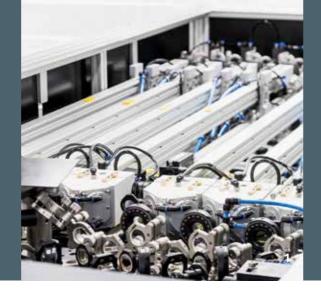
- Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik,
 Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP, Dresden
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF,
 Freiburg im Breisgau
- Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen
- Fraunhofer-Institut f
 ür Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden
- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS, Halle (Saale)
- $\bullet\,$ Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg im Breisgau
- Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT, Itzehoe
- Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern
- $\bullet\,$ Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg im Breisgau
- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden
- $\bullet\,$ Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI-BB, Leipzig

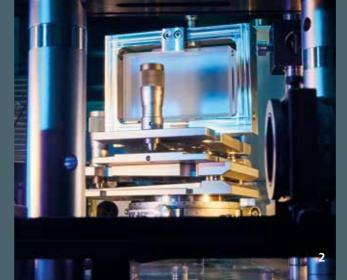
Forschungsfelder und Anwendungen

Forschungsfelder Kerninstitute ILT & IOF	Anwendungen Partnerinstitute	Produktion IAF, IKTS, ILT, IOF, ISE, ISIT, IWS	Bildgebung IIS, IMWS, ITWM, IZI-BB	Materialien FEP, IOF, IWM	Wissenschaft CERN, DESY, ELI, FZJ, HZDR
	Systemtechnik	• Schnelle Modulation & Ablenkung • Parallelisierung	Erzeugung hoher Harmonischer	Erzeugung hoher Harmonischer	Strahlführung & -fokussierung
	Strahlquellen	Hohe mittlere Leistung	Kurze Pulsdauer Hohe mittlere Leistung	Kurze Pulsdauer Hohe mittlere Leistung	Hohe Pulsenergie Sehr hohe mittlere Leistung

2

USER FACILITY







MEHR DURCHSATZ DURCH MEHR LEISTUNG

Dank der Leistungsskalierung der UKP-Laser auf ein Niveau, das eine Größenordnung über den derzeit verfügbaren Systemen liegt, lässt sich der Durchsatz bei der Anwendung von UKP-Lasern erheblich steigern. Dies macht die Systeme für viele neue Bearbeitungsverfahren interessant und ermöglicht die Erschließung neuer, systemrelevanter Märkte. Dabei kommen die Vorteile der UKP-Laser als vielseitige Präzisionswerkzeuge und für neue Anwendungen, die auf extrem hohen Leistungsdichten beruhen, zum Tragen.

Materialunabhängig

Relevante Wechselwirkungsprozesse von ultrakurzen Laserpulsen mit Werkstoffen sind weitgehend materialunabhängig. So lassen sich sowohl Standardmaterialien wie Metalle (Stahl, Kupfer), Halbleiter (Silizium, GaAs, SiC) und Dielektrika (Glas, Saphir) als auch Verbundwerkstoffe wie GFK oder CFK mit dem gleichen Laser bearbeiten. Auch biologische Materialien lassen sich mit UKP-Lasern präzise abtragen oder schneiden.

Hohe Präzision

Ultrakurze Pulse können beim Abtrag eine Präzision bis in den Bereich unter 100 nm erreichen. Schon heute wird diese Präzision beispielsweise bei Augenoperationen genutzt. Mit den neuen UKP-Lasern und der entsprechenden Prozesstechnik lässt sich diese Präzision aber auch großflächig anwenden. So kann man mit Multistrahloptiken aus einem einzelnen Hochleistungslaserstrahl eine Vielzahl von Teilstrahlen erzeugen, die alle parallel mikrometergenau bohren.

Die UKP-Strahlung lässt sich mit verschiedenen Methoden sehr genau dosieren, sodass auch eine Bearbeitung im Volumen möglich ist. Dabei werden im Strahlfokus selektiv Materialeigenschaften verändert, ohne Risse oder Hohlräume zu erzeugen.

Werkzeugunabhängig

Wie alle Laser arbeiten auch die neuen UKP-Systeme kontaktfrei und verschleißarm. Viele Strahleigenschaften sind steuerbar. Gerade in einem digitalisierten Produktionsablauf benötigen sie nahezu keine Vorlaufzeit.

UKP-Laser erschließen neue Märkte

Die Skalierung auf kW-Leistungen eröffnet völlig neue Märkte für UKP-Laser. Neben der klassischen Materialbearbeitung, wo sie mit äußerster Präzision auch ultraharte Materialien schneiden und bohren können, werden sie so auch für großflächige Anwendungen in der Photovoltaik und Batteriefertigung interessant.

Auch in vielen Bereichen der Messtechnik können UKP-Laser erhebliche Fortschritte bewirken, so zum Beispiel als kohärente EUV-Quellen in der Lithographie sowie in Bildgebungsverfahren für die Materialforschung, Biologie und Medizin.

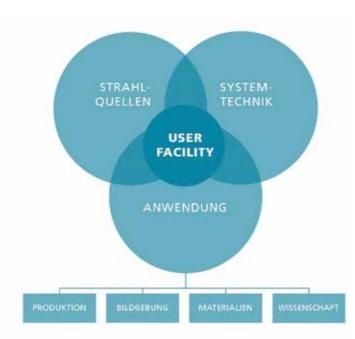
Völlig neue Möglichkeiten ergeben sich, wenn zukünftige UKP-Laser in der Lage sind, Elektronen oder Protonen zu beschleunigen. Damit könnten sie sowohl die molekulare Bildgebung als auch die Strahlentherapie revolutionieren.

APPLIKATIONSLABORE IN AACHEN UND JENA

Ein wesentliches Ziel des Forschungsclusters ist die frühzeitige Arbeit an verschiedenen Anwendungen. Dafür stellen die koordinierenden Fraunhofer-Institute IOF und ILT schon 2019 in Jena und Aachen zwei Applikationslabore mit mehreren kW-UKP-Laserquellen zur Verfügung.

Neben den Strahlquellen bieten die Applikationslabore auch die nötige Prozesstechnik. Damit ist vom ersten Tag an eine professionelle Arbeit für die verschiedenen Nutzer in der User Facility des Forschungsclusters gewährleistet.

Forschungscluster CAPS – User Facility



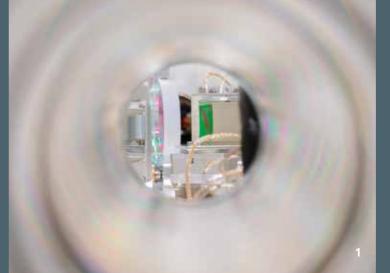
Das Applikationsslabor am Fraunhofer ILT ensteht direkt neben dem Laserentwicklungslabor und wird mit einer separaten Strahlquelle ausgestattet. So können in drei verschiedenen Kammern parallel Versuche durchgeführt werden. Zur Eröffnung Ende 2019 steht zunächst eine Quelle mit 500 W, Pulsenergien bis zu 1 mJ und Pulsdauern unter 100 fs bereit, die bis Mitte 2020 auf 2,5 kW (5 mJ) erweitert wird. Zur Messtechnikausstattung gehört eine umfangreiche Strahldiagnostik.

Am Fraunhofer IOF sind für den Start zwei Lasersysteme geplant. Bei einer Wellenlänge von 1 µm stehen den Nutzern ultrakurze Laserpulse mit < 200 fs Dauer, bis zu 1 kW mittlere Leistung und Pulsenergien bis zu 2 mJ zur Verfügung. Eine nachgeschaltete Pulskompression erlaubt eine effiziente Verkürzung der Pulsdauer auf < 30 fs. Bei 2 µm Wellenlänge werden es mittlere Leistungen von 100 W und Pulsenergien von 0,2 mJ sein. Dazu kommt ein Aufbau zur Erzeugung von kohärenter EUV-Strahlung im Spektralbereich von 20–90 eV (60–13 nm) sowie eine umfangreiche EUV-Messtechnik inklusive Kamera. Für die EUV-Versuche steht auch eine Vakuumkammer bereit. Das Labor wird Ende 2019 betriebsbereit sein.

- 1 Kohärente Kombination von Faserlasern (IOF).
- 2 Kompressionsgitter zur Erzeugung höchster Pulsenergien mittels CPA (ILT).
- 3 Kammer zur Erzeugung kohärenter EUV-Strahlung (IOF).

4

ANWENDUNGSSPEKTRUM





BREITES SPEKTRUM VON ANWENDUNGEN

Die Applikationslabore sind von Anfang an als User Facility organisiert. Neben den Fraunhofer-Partnerinstituten kooperiert das Forschungscluster CAPS dafür bereits mit Firmen und international renommierten Forschungseinrichtungen.

Gemeinsam werden Projekte in den Zukunftsfeldern

Produktion, Bildgebung und Materialien sowie in der Grundlagenforschung bearbeitet.

In den Applikationslaboren werden ab 2019 mehrere Hochleistungsstrahlquellen zur Verfügung stehen, deren Parameter auf die Bedürfnisse der Nutzer zugeschnitten werden können.

Systemtechnik und Komponenten

Neben der Entwicklung der verschiedenen Laserquellen (Fraunhofer ILT und IOF) ist der Aufbau der passenden Systemtechnik von großer Bedeutung für das gesamte Cluster. Neben den rein optischen Hochleistungskomponenten gehört dazu beispielsweise auch die Entwicklung neuer Scannersysteme. Das Fraunhofer ISIT überträgt die Vorteile der Silizium-basierten MEMS-Scanner-Technologie auf hohe Laserleistung, das Fraunhofer IWS kombiniert diese mit klassischer Hochleistungsscanner-Technologie. In einem weiteren Schritt soll die Direct Laser Interference Patterning Technologie (DLIP) des Fraunhofer IWS erstmals mit ultrakurzen Pulsen eingesetzt werden.

- 1 Elemente zur Fokussierung und spektralen Filterung von EUV-Strahlung (IOF).
- 2 Skalierung der UKP-Laserstrahlung in den Multi-kW-Bereich (ILT).

Produktion

Anwendungen von Ultrakurzpulslasern in der Produktion erlauben Verfahren, die in Präzision, Selektivität, Flexibilität und/oder der Einsparung von Prozessschritten den klassischen Verfahren deutlich überlegen sind. Sie müssen aber auch wirtschaftlich sein. Ein hoher Durchsatz, z. B. bei der Hochrate-Strukturierung, erfordert Ultrakurzpulslaser mit hoher mittlerer Leistung von teils weit über 1 kW und eine entsprechende Systemtechnik, um diese Leistung ohne thermische Schädigung des Materials umsetzen zu können.

Für die Anwendung der Multi-kW-UKP-Laser gibt es bereits eine Reihe von Projektideen. Dazu gehört z. B. die Texturierung von Siliziumwafern für die Solarindustrie (Fraunhofer ISE und IWS). Der entsprechende Prozess erfordert Leistungen im Multi-kW-Bereich für die Etablierung weiterer laserbasierter Prozesse und weitere Kostensenkungen in der Produktion von Solarzellen. Auch bei der Fertigung von Lithiumbatterien könnten UKP-Laser die Effizienz erhöhen (Fraunhofer IKTS, IWS und ILT). Große Chancen ergeben sich außerdem bei der Bearbeitung hochverschleißfester Keramiken aus ultraharten Materialien (Fraunhofer IKTS, IWS und ILT).

Neue Anwendungen in der Bildgebung und Materialforschung nutzen sekundäre Strahlung, die sich mit UKP-Lasern generieren lässt. So können die intensiven Laserpulse z. B. zur Erzeugung kohärenter, sehr kurzwelliger Strahlung bis in den Spektralbereich weicher Röntgenstrahlung eingesetzt werden.

Bildgebung

Eine zentrale Herausforderung für biomedizinische Anwendungen und die Materialanalytik sind bildgebende Verfahren zur Erkennung extrem kleiner Objekte, beispielsweise einzelner Zellen oder Moleküle. Mit einer entsprechend großen Anzahl von Durchstrahlungsbildern kann ein dreidimensionales Volumenbild rekonstruiert werden.

Von besonderem Interesse ist dabei die Tomographie auf Basis von Coherent Diffraction Imaging (CDI)-Daten bei einer Wellenlänge von 13,5 nm. Eine variable EUV-Strahlungswellenlänge ermöglicht eine zusätzliche spektrale Analyse und damit die Vision »4D-nanoCT«, ein Verfahren zur vierdimensionalen Röntgen-Bildgebung.

Für das Erreichen kurzer Belichtungszeiten mit kohärenten EUV-Lichtquellen sind effiziente Ultrakurzpulslaser mit mehr als 10 kW mittlerer Leistung und Pulsdauern unter 50 fs als Treiber unabdingbar. In der Nutzung ergeben sich einzigartige Perspektiven. Dank der extrem kurzen Wellenlänge können extrem hohe Auflösungen in der Mikroskopie mit EUV-Strahlen erzielt werden (Fraunhofer IZI-BB).

Für die Erforschung von Materialien werden noch kürzere Wellenlängen mit sogenannten Compton-Quellen erreicht. Hier wird die Wechselwirkung von gepulsten Laserstrahlen mit konventionell erzeugten Elektronenstrahlen genutzt (Fraunhofer FEP und IIS).

Die verschiedenen Partner bringen dafür ihre Kompetenzen im Bereich Biologie und Medizin (Fraunhofer IIS), Halbleitertechnologien (Fraunhofer IMWS) oder auch Datenanalyse und Qualitätskontrolle (Fraunhofer ITWM) ein.

Materialien

UKP-Laser mit mittleren Leistungen im Bereich von 10–20 kW eröffnen völlig neue Möglichkeiten bei der Herstellung von künstlichen Materialien und der Erforschung neuer Materialzustände (Nichtgleichgewichtsprozesse). Perspektiven ergeben sich hier auch für die Quantentechnologien, wo z. B. N-Störstellen in Diamanten für neue Quantensensoren aktiviert werden können (Fraunhofer IAF). Neue Optionen ergeben sich auch für die Erforschung von Materialien mit laserinduzierten und daher ultrakurzgepulsten Elektronenstrahlquellen (Fraunhofer FEP).

TECHNOLOGIETRANSFER

Ein zentrales Ziel des Forschungsclusters ist der Transfer der Forschungsergebnisse in die kommerzielle Umsetzung. Dies betrifft die Strahlquellen- und Systemtechnikentwicklung ebenso wie die Anwendungsentwicklung. Die Labore der User Facility stehen Industriepartnern für Applikationsuntersuchungen zur Verfügung. Dabei können sie auf das Know-how der verschiedenen Fraunhofer-Institute zurückgreifen.

GRUNDLAGENFORSCHUNG

Geradezu revolutionär sind die Aussichten beim Aufbau von lasergetriebener Frequenzkonversion zu Spektralbereichen, welche für die Laser selbst unzugänglich sind (z. B. weiche Röntgenstrahlung oder THz). Um die Strahlquellen für den Einsatz in Forschung und Industrie zu optimieren, kooperiert das Cluster CAPS eng mit renommierten Forschungseinrichtungen. Ziel ist es, das Leistungsspektrum von Synchrotronanlagen auf einem optischen Tisch bereitzustellen.

Gemeinsam mit Forschungszentren wie dem DESY in Hamburg, dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf und dem Forschungszentrum Jülich sowie internationalen Einrichtungen wie dem CERN in Genf und der European Light Infrastructure (ELI) arbeitet das Team des Clusters an der Entwicklung von neuartigen Laserteilchenbeschleunigern. Der Aufbau solcher Beschleuniger setzt UKP-Laser mit mittleren Leistungen in der Größenordnung von 100 kW voraus. Die Anlagen im Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS kommen dem derzeit am nächsten und sind wegweisend für zukünftige technologische Entwicklungen.

6 7



Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS

Kontakt

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann Fraunhofer ILT, Aachen Telefon +49 241 8906-206 hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de www.ilt.fraunhofer.de

Prof. Dr. Jens Limpert Fraunhofer IOF, Jena Telefon +49 3641 947-811 jens.limpert@iof.fraunhofer.de www.iof.fraunhofer.de

www.caps.fraunhofer.de

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 72 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 26 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von 2,6 Milliarden Euro. Davon fallen knapp 2,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

www.fraunhofer.de