

Press release**Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie
Alexandra Wettstein**

01/06/2021

<http://idw-online.de/en/news760793>Research results, Scientific Publications
Physics / astronomy
transregional, national

Max Born Institute

und Berlin e.

Neue lasergetriebene Quelle liefert Femtosekunden-Röntgenimpulse mit sehr hohem Photonenfluss

Femtosekundenimpulse harter Röntgenstrahlung sind ein wichtiges Werkzeug, um strukturelle Änderungen in kondensierter Materie auf atomaren Längen- und Zeitskalen zu enträtseln. Eine neue lasergetriebene Röntgenquelle liefert Femtosekundenimpulse von Kupfer K α Strahlung bei einer Wiederholrate von 1 kHz mit einem bisher unerreichten Fluss von mehr als 10^{12} Röntgenphotonen pro Sekunde.

Elementare Prozesse in der Physik, Chemie oder Biologie sind mit Veränderungen der atomaren oder molekularen Struktur verknüpft, die auf der Femtosekunden-Zeitskala stattfinden (1 Femtosekunde (fs) = 10^{-15} Sekunden). Ultraschnelle Röntgenmethoden besitzen ein hohes Potenzial für die direkte Beobachtung solcher Strukturänderungen in Raum und Zeit und die Aufzeichnung von „Filmen“ der Bewegungen von Elektronen, Atomen und Molekülen. Diese vielversprechende Aussicht hat zu einer starken Nachfrage nach Femtosekunden-Impulsen harter Röntgenstrahlung geführt, die in Röntgenstreuungsexperimenten und spektroskopischen Untersuchungen eingesetzt werden.

Gegenwärtig kommen zwei unterschiedliche Konzepte für die Erzeugung ultrakurzer harter Röntgenimpulse zum Einsatz. Zum einen werden Großmaschinen zur Beschleunigung von Elektronen in Kombination mit sog. Undulatoren verwendet, in denen extrem kurze Elektronenpakete intensive Röntgenimpulse abstrahlen. Zum anderen gelangen kompakte Laborquellen zur Anwendung, die auf intensiven Impulsen aus Femtosekunden-Lasersystemen beruhen. Im extrem hohen elektrischen Feld eines Lichtimpulses werden Elektronen aus einem Metalltarget herausgelöst, im Vakuum beschleunigt und erzeugen nach Wiedereintritt in das Target ultrakurze Impulse harter sog. charakteristischer Röntgenstrahlung sowie Bremsstrahlung. Die gleichen Erzeugungsprozesse werden in konventionellen Röntgenröhren ausgenutzt.

Wissenschaftler am Max-Born-Institut (MBI) in Berlin haben nun einen Durchbruch in der lasergetriebenen Erzeugung von ultrakurzen Röntgenimpulsen erzielt. Sie demonstrierten einen stabilen Impulszug solcher Röntgenblitze bei einer Wiederholrate von einem Kilohertz (1000 Impulse pro Sekunde) und einem Gesamtfluß von 10^{12} Röntgenphotonen pro Sekunde. Wie sie in der Fachzeitschrift Optics Letters berichten, wurde dieses Ergebnis durch die Kombination eines neuentwickelten optischen Treiberlasers, der Femtosekunden-Lichtimpulse im mittleren Infrarot bei 5 μm (5000 nm) Wellenlänge erzeugt, mit einem Kupfertarget in einer Transmissiongeometrie erreicht. Die erzeugten harten Röntgenimpulse sind bei einer Wellenlänge von 0.154 nm zentriert.

Der optische Treiber basiert auf dem Prinzip der nichtlinearen optisch-parametrischen Verstärkung von Licht (OPCPA: Optical Parametric Chirped Pulse Amplification) und liefert 80-fs Impulse bei einer Zentralwellenlänge von 5 μm mit einer Energie von 3 mJ und einer Wiederholrate von 1 kHz. Um die Röntgenstrahlung zu erzeugen werden die Infrarotimpulse auf ein dünnes Kupferband fokussiert (Abbildung 1). In einem optischen Zyklus des Laserlichts werden die Elektronen aus dem Metall herausgezogen, im Vakuum beschleunigt und anschließend zurück in das Kupferband gelenkt. Elektronen mit einer kinetischen Energie von bis zu 100 keV werden im Kupferband abgebremst und erzeugen einerseits charakteristische Kupfer K α Impulse bei einer Wellenlänge von 0.154 nm und spektral breite Bremsstrahlung.

Der längere optische Zyklus der Lichtimpulse im mittleren Infrarot führt, im Vergleich zu kürzeren Laserwellenlängen, zu längeren Beschleunigungszeiten, höheren kinetischen Energien der Elektronen und letztendlich einer deutlich höheren Ausbeute bei der Röntgenerzeugung (Abbildung 2).

Die neue lasergetriebene Labor-Röntgenquelle erzeugt im Mittel etwa 1.5×10^{10} Photonen pro Laserimpuls, die in den vollen Raumwinkel emittiert werden, das entspricht 1.5×10^{12} Röntgenphotonen pro Sekunde (blaue Punkte in Bild 2c). Dieser Photonenfluss ist 30 mal höher als in den bisher genutzten optisch getriebenen Femtosekunden-Quellen harter Röntgenstrahlung, bei denen Impulse aus Ti:Saphir-Lasern (Wellenlänge um $0.8 \mu\text{m}$) verwendet werden (schwarze Punkte in Bild 2c). Die neuen Quellenparameter eröffnen vielversprechende Perspektiven für die Untersuchung ultraschneller Strukturänderungen in kondensierter Materie mittels zeitaufgelöster Röntgenbeugung.

Bildunterschriften Abb.1. und Abb.2

Abb. 1: (a) Kompaktes optisches Treibersystem zur Erzeugung von Femtosekunden-Impulsen bei einer Wellenlänge von $5 \mu\text{m}$ im mittleren Infrarot. Nichtlineare ZnGeP₂ (ZGP) Kristalle dienen zur Lichtverstärkung. (b) Kupfer-Bandtarget zur Röntgenerzeugung in einer Vakuumkammer. Intensive Infraotimpulse (roter Pfeil) werden auf das $20 \mu\text{m}$ dicke Kupfertarget fokussiert (am Schnittpunkt zu den blauen Pfeilen). Das Kupferband bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 5 cm/s um eine frische Targetfläche für jeden Treiberimpuls bereitzustellen. Die Plastikbänder dienen zur Aufnahme des abgedampften Kupfers und bewegen sich mit.

Abbildung 2:

Abb. 2: (a) Wechselwirkungsgeometrie der optischen Treiberimpulse mit dem dünnen Kupfertarget. Femtosekunden-Infrarotimpulse bei $5 \mu\text{m}$ Wellenlänge (rote Bündel) werden auf ein dünnes Kupfertarget fokussiert und reflektiert. Hierdurch entsteht ein starkes elektrisches Feld senkrecht zur Targetoberfläche. Elektronen (e^-) werden innerhalb eines Zyklus dieses Feldes aus dem Metall gelöst, im Vakuum beschleunigt und zum Target zurückgelenkt. Dies führt zur Erzeugung von Impulsen harter Röntgenstrahlung und von Bremsstrahlung. (b) Spektrum der harten Röntgenimpulse auf den charakteristischen K α Linien von Kupfer (Cu-K α_1 und Cu-K α_2). (c) Totale Photonen ausbeute an Cu-K α Strahlung im vollen Raumwinkel als Funktion des elektrischen Feldes. Für die Treiberwellenlänge von $5 \mu\text{m}$ ist die Ausbeute (blaue Punkte) deutlich höher als für einen optischen Treiber bei $0.8 \mu\text{m}$ (schwarze Punkte).

contact for scientific information:

Dr. Azize Koç, Tel. +49 30 6392 1474, azize.koc@mbi-berlin.de

Dr. Michael Woerner, +49 30 6392 1470, michael.woerner(at)mbi-berlin.de

Prof. Dr. Thomas Elsaesser, +49 30 6392 1400, thomas.elsaesser(at)mbi-berlin.de

Original publication:

Compact high-flux hard X-ray source driven by femtosecond mid-infrared pulses at a 1 kHz repetition rate

Azize Koç, Christoph Hauf, Michael Woerner, Lorenz von Grafenstein, Dennis Ueberschaer, Martin Bock, Uwe Griebner and Thomas Elsaesser

Opt. Lett. 46, 210-213 (2021) Open Access

<https://doi.org/10.1364/OL.409522>

<https://www.osapublishing.org/ol/fulltext.cfm?uri=ol-46-2-210&id=445733>

URL for press release: <http://>Weitere Informationen unter:

URL for press release:

<https://mbi-berlin.de/de/forschung/highlights/details/high-flux-table-top-source-for-femtosecond-hard-x-ray-pulses>

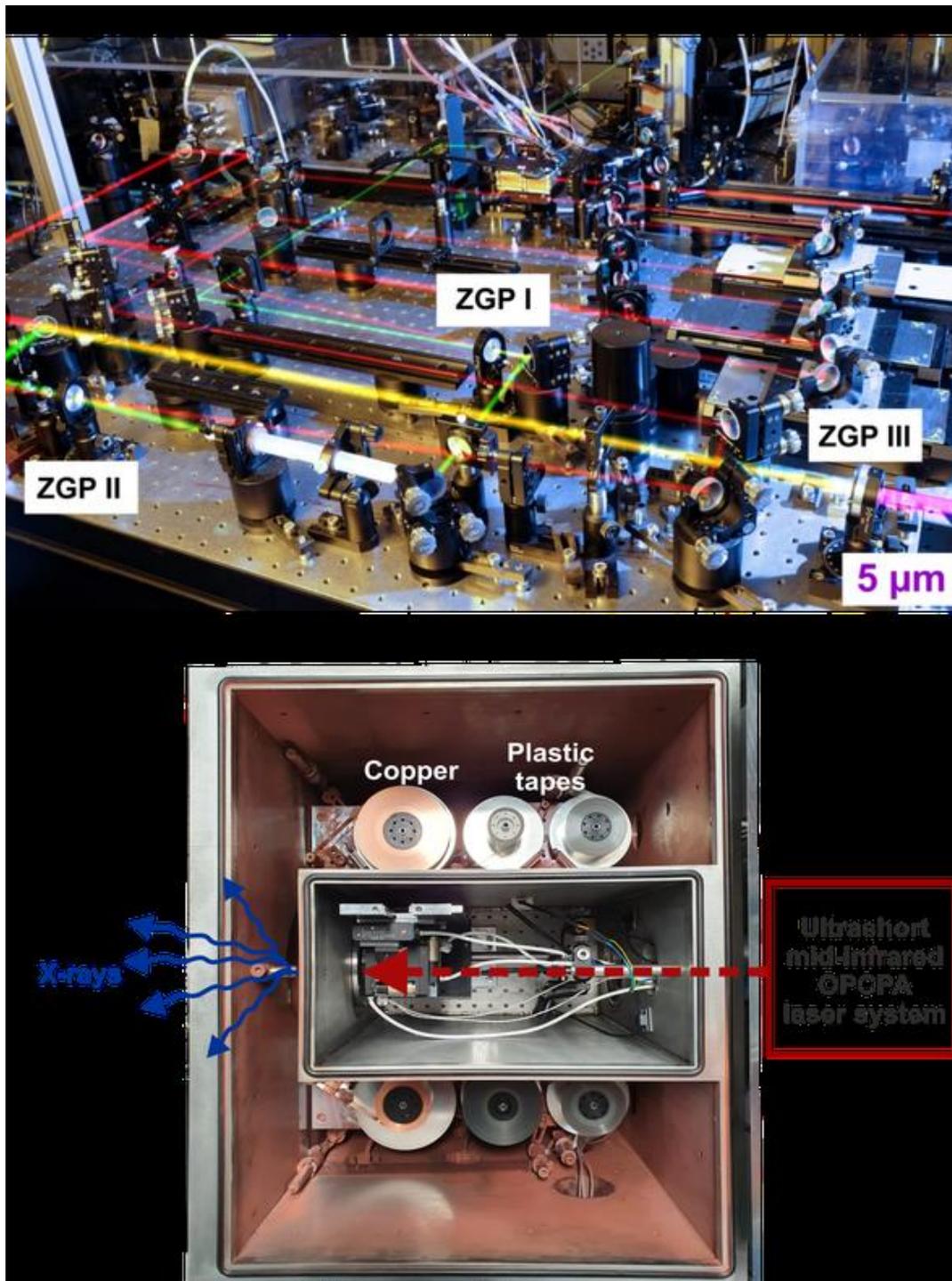


Abb. 1: Bitte s/Pressemitteilung
MBI

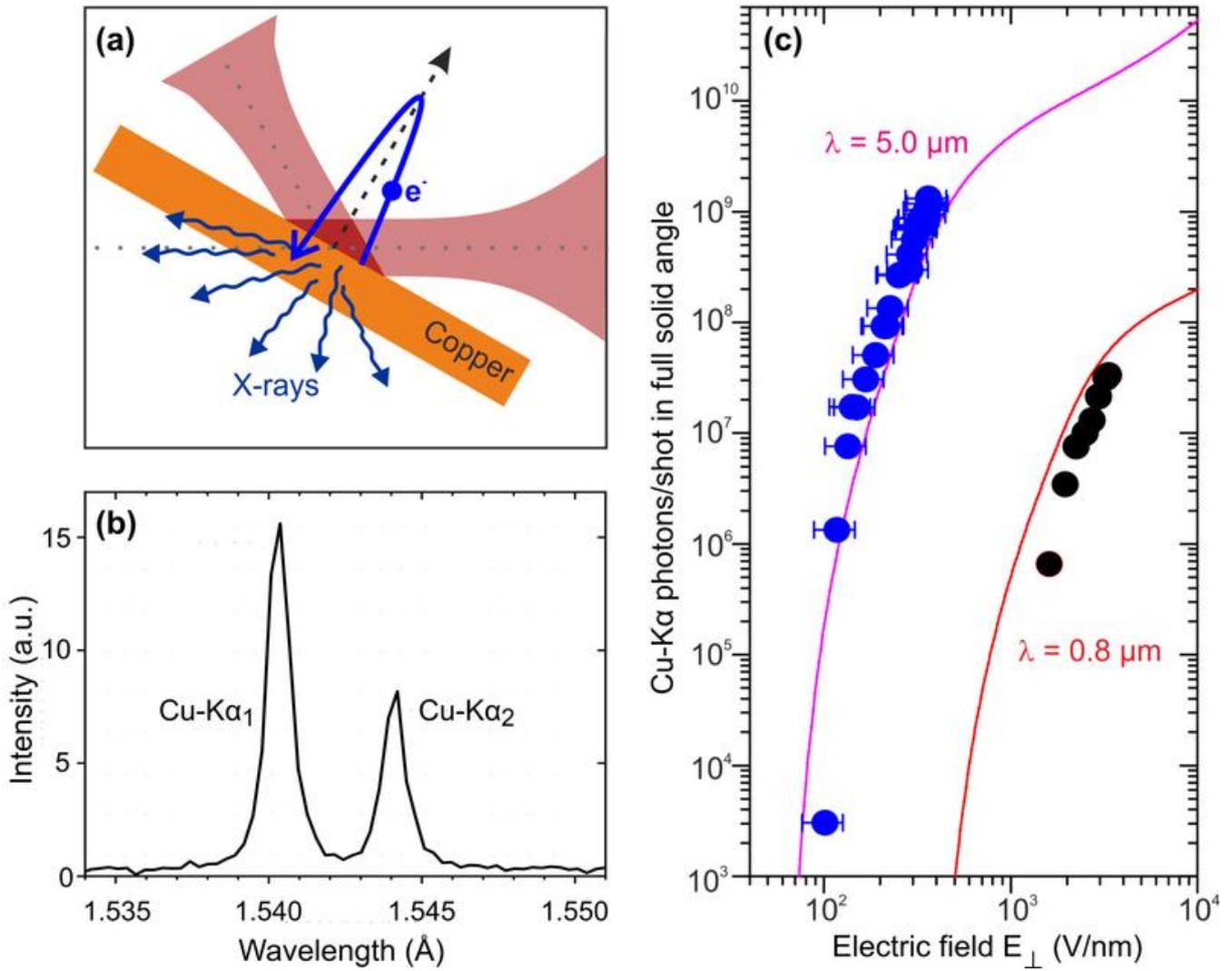


Abb. 2: Bitte s/Pressemitteilung
MBI