Supernova DFG
Hochleistungs-Femtosekundenlaser im mittleren infraroten Spektralbereich
IFB Hamburg – PROFI Transfer

[1]Class 5 Photonics GmbH, Notkestr. 85, 22607 Hamburg, Germany
[2]Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestr. 85, 22607, Hamburg, Germany

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Kurzbeschreibung

Femtosekundenlaser im mittleren infraroten (MIR) Spektralbereich erlauben die hochpräzise Strukturierung neuer Materialien für die Optoelektronik sowie detaillierte Untersuchungen und sogar die Kontrolle über lebenswichtige Moleküle, wie Proteine und DNA. Die verfügbaren Laser bieten jedoch nicht die nötige Effizienz, um diese innovativen Anwendungen zu ermöglichen. Im vorliegenden Projekt entwickeln wir den Prototypen Supernova DFG, welcher die Effizienz um 20 gegenüber dem Stand der Technik erhöhen wird. Dazu untersuchen wir neue optische Kristalle und realisieren innovative Laserarchitekturen, um u.a. die Laserleistung im MIR-Bereich von 1W auf 20W bei 6 µm zentraler Laserwellenlänge zu erhöhen.

Die Class 5 Photonics GmbH ist ein Spin-Off Unternehmen des Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY. Wir entwickeln innovative und flexible Hochleistungs-Femtosekundenlaser, basierend auf optisch parametrischen Verstärkern mit einer speziell entwickelten Weißlichtquelle. Konsortialpartner im vorliegenden Projekt ist DESY. Die Forschungsgruppe von Privatdozent Dr. Laarmann bei DESY übernimmt Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Bereich der MIR-Laserentwicklung sowie Materialstudien.

Im dritten Jahr nach Projektende werden bei Class 5 Photonics 4 neue Arbeitsplätze entstanden sein. Mit der Supernova-DFG Technologie können wir unseren Umsatz langfristig um 47% steigern und 12 Arbeitsplätze schaffen.

Unternehmen	Class 5 Photonics GmbH
Antragsteller	Dr. Robert Riedel
Firmensitz	Notkestraße 85, 22607 Hamburg
Mitarbeiter	2 Geschäftsführer (Physiker) und 6 Freelancer
Branchner	Photonik (Laser)
Konsortialpartner	**DESY**
Ansprechpartner	PD Dr. Tim Laarmann
Adresse	Notkestraße 85, 22607 Hamburg

Anwendungen im Mittleren infraroten (MIR) Spektralbereich

Die Detektion, Manipulation und sogar Kontrolle von wichtigen Molekülen (insbesondere Biomolekülen) mittels Lasern ist von herausragender Wichtigkeit für die Entwicklung fortschrittlicher Anwendungen in der Medizin, der Industrie und der Grundlagenforschung. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem mittleren infraroten (MIR) Spektralbereich, insbesondere der so genannten „Fingerprint Region“ bei Lichtwellenlängen zwischen 6 – 16 µm (Abb. 1). Bei diesen Wellenlängen besitzen wichtige Moleküle, wie DNA, Proteine, Umweltschadstoffe und Nanoteilchen, charakteristische Absorptionseigenschaften. Die Untersuchung mit MIR Lasern ermöglicht daher deren eindeutige Identifikation.

Zum Beispiel enthält allein der menschliche Atem über 1000 Biomarker, deren geringe Konzentrationen Aufschluss über spezifische Krankheiten und Stoffwechselvorgänge geben können [1]. MIR-Femtosekundenlaser können die nichtinvasive Diagnostik extrem kleiner Molekül-konzentrationen in der medizinischen Anwendung ermöglichen, um vielfältige Krankheitsbilder, wie Krebs- und Lungenerkrankungen oder auch Vergiftungen, frühzeitig zu erkennen. Diese Art nichtinvasiver Diagnostik gleicht der Suche nach einer Nadel im Heuhaufen: Es gilt ein einzelnes krankhaft verändertes Molekül unter Trillionen irrelevanten Molekülen zu identifizieren. Von grundlegender Bedeutung ist daher die signifikante Erhöhung der Effizienz, also die Erhöhung der Sensitivität und Selektivität der Messung. Das Beispiel zeigt, dass in der praktischen Anwendung die Konzentrationen oder der Wirkungsquerschnitt dieser wichtigen Moleküle häufig sehr gering ausfällt. Ein kritischer Parameter zur Erhöhung der Effizienz ist die Erhöhung der Laserleistung *P* [2]. Ziel dieses Projektes ist daher die Entwicklung des Lasersystems Supernova DFG, welches u.a. durch Steigerung der Leistung die Effizienz um bis zu einem Faktor 20 erhöhen wird.

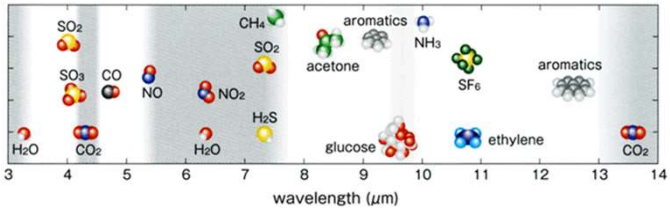

Abbildung 1: Absorptionseigenschaften wichtiger Biomoleküle in Abhängigkeit der Wellenlänge. Die so genannte Fingerprint Region befindet sich zwischen 6 – 16 µm.

Technologischer Lösungsansatz

Um den erhöhten Anforderungen an Effizienz und Sensitivität zu genügen, müssen Femtosekundenlaser mit höherer Leistung und verbesserten Pulseigenschaften entwickelt werden. Das Signal-zu-Rausch Verhältnis von MIR-Detektoren verbessert sich mit zunehmender durchschnittlicher Laserleistung (*P*MIR) [2], welche das Produkt aus Pulsenergie (E_P) und Pulswiederholrate (f_R) ist.

Um die Durchschnittsleistung zu erhöhen, kann also entweder die Pulsenergie (E_P) oder die Pulswiederholrate (f_R) erhöht werden. Die gesteigerte Pulswiederholrate liefert eine erhöhte Anzahl an Laserpulsen pro Sekunde und verbessert die statistische Signifikanz der Messung, welche in einem Messzeitraum erreicht werden kann. Eine erhöhte Pulsenergie erhöht die erzielbare Pulsspitzenleistung, $P_P = E_P/\tau$; wobei τ die Pulsdauer beschreibt.

Im vorliegenden Projekt verfolgen wir die Erhöhung der Pulswiederholrate und der Pulsenergie, sowie eine Verkürzung der Pulsdauer im MIR-Bereich. Entsprechende Parameter haben wir bereits im NIR-Bereich erfolgreich zur Marktreife geführt. Unser Lasersystem Supernova OPCPA bietet Leistungen von mehr als 100 W [3].

Der gängige technologische Ansatz zur Erzeugung von MIR-Laserpulsen in der „Fingerprint Region“ 6 – 16 µm ist die „Difference Frequency Generation“ (DFG). Hierbei werden zwei NIR-Pulse, ein so genannter Pumplaserpuls λ_P und ein Signalpuls λ_S, in einem nichtlinearen optischen Kristall überlagert. Unter den richtigen physikalisch-technischen Bedingungen lässt sich daraus im Kristall die Dierenzfrequenz im MIR-Bereich erzeugen (siehe Abb. 2).

Abbildung 2: Dierenzfrequenzerzeugung in nichtlinearem Kistall (Dierence Frequency Generation -- DFG), Wellenlängen λ_P - Pumppuls, λ_S - Signalpuls, λ_{DFG} - Differenzpuls.

Die erzielbare Laserleistung bei DFG hängt von der Durchschnittsleistung des verwendeten NIR-Pumplasers (P_{NIR}) sowie der Konversionseffizienz (η) ab:

$$P_{MIR} = \eta P_{NIR}$$

Zum Beispiel wird bei 2% Konversionseffizienz ein NIR-Pumplaser von 1 kW benötigt, um 20 W im MIR zu erzeugen. Solche NIR-Pumplaser werden z.B. von unserem Partner AMPHOS GmbH hergestellt und in unseren Produkten von Class 5 Photonics eingesetzt.

Projektablaufplan

Im Rahmen des geplanten Projektes wird ein Pumplaser mit 100 – 200W angeschafft, da dieser zur Lösung der relevanten Problemstellungen ausreichend und kosteneffizient ist.

Arbeitspaket 1: Weiterentwicklung unserer Weißlichtquelle (WLG) für den Betrieb bei 10 MHz Pulswiederholrate zur Erzeugung der Signalpulse (Stand der Technik im Wettbewerb: 1 MHz). Der Pumplaser wird bei DESY installiert.

Arbeitspaket 2: Studien zu neuen nichtlinearen Kristallen mit Fokus auf deren thermische Eigenschaften sowie Entwicklung eines innovativen Kühlkonzeptes, um 20W Ausgangsleistung zu ermöglichen. Der Pumplaser wird bei DESY verwendet.

Arbeitspaket 3: Erhöhung der Konversionseffizienz durch Entwicklung eines Hochleistungs-Differenzfrequenz (DFG) Moduls. Dieses soll ca. 2WAusgangsleistung im MIR-Bereich liefern (durch begrenzte Pumpleistung von 100 200 W), jedoch technologisch auf 20W ausgelegt werden. Der Pumplaser wird bei Class 5 Photonics installiert.

Literatur

[1] S.-S. Kim, C. Young, B. Vidakovic, S. G. A. Gabram-Mendola, C. W. Bayer, and B. Mizaiko. Potential and challenges for mid-infrared sensors in breath diagnostics. *IEEE Sensors J.*, 10:145158, 2010.

[2] P. R. Griths and J. A. de Haseth. *Fourier Transform Infrared Spectrometry*. Wiley, 2th edition, 2007.

[3] H. Höppner, A. Hage, T. Tanikawa, M. Schulz, R. Riedel, U. Teubner, M. J. Prandolini, B. Faatz, and F. Tavella. An optical parametric chirped-pulse amplier for seeding high repetition rate free-electron lasers. *New J. Phys.*, 17:053020, 2015.

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation
EFRE-Verwaltungsbehörde

IFB HAMBURG | Hamburgische Investitions- und Förderbank