

Symposium Photonische Terahertz-Technologien fuer Grundlagenforschung und Anwendung (SYTT)

veranstaltet vom
Fachverband Quantenoptik und Photonik (Q)

Rene Beigang
Fraunhofer Institut für Physik. Messtechnik
und Fachbereich Physik der TU Kaiserslautern
67663 Kaiserslautern
beigang@physik.uni-kl.de

Alfred Leitenstorfer
Fachbereich Physik, Univ. Konstanz
7857 Konstanz
alfred.leitenstorfer@uni-konstanz.de

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen (Hörsaal VMP 8 HS)

Hauptvorträge

SYTT 1.1	Di	14:00–14:30	VMP 8 HS	Terahertz-Wellen: Von der Grundlagenforschung zur industriellen Anwendung — ●MICHAEL HERRMANN, JOACHIM JONUSCHEIT
SYTT 1.2	Di	14:30–15:00	VMP 8 HS	THz Zeitbereichsspektroskopie zur Kontrolle von industriellen Prozessen und Produkten — ●CHRISTIAN JÖRDENS, STEFFEN WIETZKE, NORMAN KRUMBHOLZ, THOMAS HOCHREIN, MAIK SCHELLER, MARTIN KOCH
SYTT 1.4	Di	15:15–15:45	VMP 8 HS	Biochemical Sensing with THz — ●PETER HARING BOLIVAR
SYTT 2.1	Di	16:30–17:00	VMP 8 HS	Photonic Terahertz Technology at 10 GV/m Electric Field Amplitudes — ●ALEXANDER SELL, RÜDIGER SCHEU, ALFRED LEITENSTORFER, RUPERT HUBER
SYTT 2.4	Di	17:30–18:00	VMP 8 HS	Terahertzspektroskopie der Optischen Antwort eines Zweidimensionalen Elektronengases — ●SANGAM CHATTERJEE, TORBEN GRUNWALD, DANIEL GOLDE, MACKILLO KIRA, STEPHAN W. KOCH
SYTT 2.5	Di	18:00–18:30	VMP 8 HS	Terahertz (THz) Metamaterials and Transformation Optics — ●MARCO RAHM

Fachsitzungen

SYTT 1.1–1.4	Di	14:00–15:45	VMP 8 HS	Photonische Terahertz-Technologien für Grundlagenforschung und Anwendungen I
SYTT 2.1–2.5	Di	16:30–18:30	VMP 8 HS	Photonische Terahertz-Technologien für Grundlagenforschung und Anwendungen II

SYTT 1: Photonische Terahertz-Technologien für Grundlagenforschung und Anwendungen I

Zeit: Dienstag 14:00–15:45

Raum: VMP 8 HS

Hauptvortrag SYTT 1.1 Di 14:00 VMP 8 HS
Terahertz-Wellen: Von der Grundlagenforschung zur industriellen Anwendung — ●MICHAEL HERRMANN und JOACHIM JONUSCHEIT — Fraunhofer -Institut für Physikalische Messtechnik, Kaiserslautern, Deutschland

Im Terahertz (THz)-Bereich der elektromagnetischen Strahlung kommen drei interessante Eigenschaften zusammen: Viele Dielektrika sind für THz-Strahlung durchsichtig. Dennoch haben viele Materialien in diesem Bereich charakteristische Absorptionen. Schließlich ist THz-Strahlung nichtionisierend und darf daher als relativ unbedenklich eingestuft werden. Trotzdem sind Anwendungen auf breiter Basis erst in greifbarer Nähe gerückt, als man breitbandige THz-Strahlung durch die Beleuchtung von photoleitenden Antennen mit Femtosekundenlasern erzeugte. Seitdem wird der Forschung mit THz-Strahlung ein stetig ansteigendes Interesse entgegengebracht. Heute gibt es zur Erzeugung und zum Nachweis von THz-Strahlung eine Vielzahl von Ansätzen mit sehr unterschiedlichen Systemeigenschaften, wobei jeweils mehrere verschiedene Fachgebiete zusammengebracht werden. Einige THz Systeme eignen sich schon für einige industrielle Anwendungen. Höhere Anforderungen bestehen im Wesentlichen in Bezug auf eine höhere Messgeschwindigkeit, ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis und einen günstigeren Preis. Da noch nicht absehbar ist, welche Systeme diese Anforderungen letztlich am Besten erfüllen werden, besteht auf dem THz-Gebiet weiterhin ein großer Forschungsbedarf. In diesem Sinne versucht dieser Beitrag, einen Überblick über aktuelle Entwicklungen zu geben.

Hauptvortrag SYTT 1.2 Di 14:30 VMP 8 HS
THz Zeitbereichsspektroskopie zur Kontrolle von industriellen Prozessen und Produkten — ●CHRISTIAN JÖRDENS¹, STEFFEN WIETZKE¹, NORMAN KRUMBHOLZ¹, THOMAS HOCHREIN², MAIK SCHELLER¹ und MARTIN KOCH¹ — ¹TU Braunschweig, Institut für Hochfrequenztechnik, Schleinitzstraße 22, 38106 Braunschweig — ²Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (SKZ), Kunststoff-Forschung und Entwicklung, Friedrich-Bergius-Ring 22, 97076 Würzburg

Dieser Beitrag liefert einen Überblick zum Einsatz gepulster THz-Spektroskopie zur Qualitätskontrolle industrieller Prozesse und Produkte. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht die Überwachung des polymeren Compoundierungsprozesses mit Hilfe eines THz-Zeitbereichsspektrometers. Darüber hinaus werden auch Anwendungsbeispiele aus den Bereichen Lebensmitteltechnik und Pflanzenphysiologie diskutiert. Im Bereich der Süßwarenindustrie erlaubt die THz-Spektroskopie beispielsweise den Nachweis von nicht-metallischen Ver-

unreinigungen in Schokolade.

THz-Systeme in der Prozess- und Produktkontrolle stehen an der Schwelle zum breiten industriellen Einsatz. Dabei erscheint die Nutzung dieser Technologie in der Kunststoffindustrie als besonders aussichtsreich. Mit Hilfe eines selbst entwickelten fasergekoppelten THz-Systems wurde am SKZ der Compoundierprozess inline überwacht. Der Einfluss von Temperatur und Druck auf die Permittivität der Schmelze wurde bestimmt. Mit Hilfe des Brechungsindex konnte der Additivgehalt im Kunststoff bestimmt werden. In offline Messungen wurde darüber hinaus die Dispergiertüte von spritzgegossenen Proben untersucht.

SYTT 1.3 Di 15:00 VMP 8 HS
Fasergekoppeltes Terahertz-Spektroskopiesystem — ●TRISTAN WEINLAND, FRANK ELLRICH, DANIEL MOLTER und RENÉ BEIGANG — Fraunhofer IPM, Erwin-Schrödinger-Str., Gebäude 56, 67663 Kaiserslautern, Germany

Die Terahertz-Technologie gewinnt derzeit in vielen Bereichen wie z.B. im Sicherheitsbereich oder in der zerstörungsfreien Materialprüfung immer stärker an Bedeutung. Üblicherweise werden die verwendeten THz-Systeme in Freistrahlanordnungen realisiert, sodass ihre Anwendung oft nur unter Laborbedingungen möglich ist. Dadurch ist die Flexibilität solcher Systeme stark eingeschränkt. In diesem Beitrag wird ein fasergekoppeltes THz-System vorgestellt, das diese Probleme durch die Verwendung von Lichtleitfasern löst. Die THz-Strahlung wird hier in kompakten Messmodulen von der Größe einer Getränkedose erzeugt bzw. detektiert, die über Glasfasern mit der restlichen Optik verbunden sind. Durch die Faserkopplung ist ein einfaches Wechseln zwischen Transmissions- und Reflexionsmessungen möglich.

Für die hier verwendete THz-Zeitbereichsspektroskopie werden Lichtpulse im Bereich von etwa 100 fs Pulsdauer zur Erzeugung und Detektion von Terahertz-Strahlung benötigt. Es werden die Auswirkungen von Dispersion und nichtlinearen Effekten auf solche Pulse in Glasfasern bei 800 nm Wellenlänge für verschiedene Faserlängen diskutiert und Methoden zur Kompensation dieser Effekte vorgestellt. Darüber hinaus werden Messungen der nutzbaren Bandbreite des THz-Pulses für verschiedene Anregungspulsbreiten gezeigt.

Hauptvortrag SYTT 1.4 Di 15:15 VMP 8 HS
Biochemical Sensing with THz — ●PETER HARING BOLIVAR — Institut für Hochfrequenztechnik und Quantenelektronik, Univ. Siegen TBA

SYTT 2: Photonische Terahertz-Technologien für Grundlagenforschung und Anwendungen II

Zeit: Dienstag 16:30–18:30

Raum: VMP 8 HS

Hauptvortrag SYTT 2.1 Di 16:30 VMP 8 HS
Photonic Terahertz Technology at 10 GV/m Electric Field Amplitudes — ●ALEXANDER SELL, RÜDIGER SCHEU, ALFRED LEITENSTORFER, and RUPERT HUBER — University of Konstanz, Universitätsstraße 10, 78464 Konstanz, Germany

Ultrabroadband THz optoelectronics has evolved into a powerful tool providing direct access to low-energy elementary excitations in condensed matter. Currently the quest for new frontiers like photon echo spectroscopy, coherent control and high-harmonics generation, calls for phase stable pulses with enhanced electric field amplitudes. We introduce a novel scheme combining the stability and versatility of a multi-branch Er: fiber seed laser with the high power capabilities of a Ti:sapphire system. In a first approach phase controlled few-cycle THz transients with energies as high as 19 μ J and peak field amplitudes of 108 MV/cm are synthesized by difference frequency mixing (DFM) of two OPAs sharing one seed continuum. Full amplitude and phase information is gained via electro-optic sampling employing 8-fs pulses provided by a numerically optimized nonlinear bulk fiber in the Er: system. In a second approach we demonstrate gating of phase stable pulses with frequency components up to 135 THz and average THz powers of 1.4 mW which are generated by DFM of two branches of the

fiber laser. The center frequencies from our hybrid system cover the entire THz spectral range from 1 to 107 THz marking a new record for phase-locked table-top sources. The unprecedented field amplitudes give rise to first observations of extreme THz nonlinearities in condensed matter.

SYTT 2.2 Di 17:00 VMP 8 HS
Nanosekunden optisch parametrischer Oszillator zur Erzeugung schmalbandiger THz-Strahlung — ●DANIEL MOLTER¹, MICHAEL THEUER^{1,2} und RENÉ BEIGANG^{1,2} — ¹Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Kaiserslautern, Deutschland — ²Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, Deutschland

Eine vielversprechende Methode zur Erzeugung von Terahertzwellen besteht in der Nutzung der nichtlinearen Optik in dafür geeigneten Kristallen wie Lithium-Niobat (LiNbO_3). Wir berichten über einen von einem gutegeschalteten, einfrequenzen Festkörperlaser (Nd:YVO_4) gepumpten optisch parametrischen Oszillator (OPO), dessen nichtlineares Medium ein neuartig periodisch gepolter LiNbO_3 -Kristall ist. Der nichtlineare Prozess besteht darin, dass ein Pumpphoton bei 1064 nm in ein sogenanntes Signalphoton bei etwa 1070 nm und ein Iderphoton bei 200 μ m (1.5 THz) umgewandelt wird. Die Polung des nichtlinearen Kristalls wird benötigt, um bei diesem Prozess neben der Ener-

gieerhaltung auch die Impulserhaltung zu gewährleisten ($\mathbf{k}_{\text{Pumpe}} = \mathbf{k}_{\text{Signal}} + \mathbf{k}_{\text{Idler}} + \mathbf{k}_{\text{Polung}}$). Zur Verringerung der Emissionsbandbreite wird die Methode des sogenannten Injection Seeding benützt. Hierzu wird mit der Pumpwelle überlagert eine zweite, schmalbandige Laserstrahlung eingekoppelt, die in unserem Fall von einem gitterstabilisierten Diodenlaser stammt. Neben der zu erwarteten Emission bei der Signalwellenlänge von 1070 nm konnten in unserem Experiment aufgrund kaskadierter Prozesse auch Emissionsmaxima bei 1076 nm und 1082 nm beobachtet werden, was ein Indiz für die hohe Effizienz dieser THz-Quelle darstellt.

SYTT 2.3 Di 17:15 VMP 8 HS

Erzeugung durchstimmbarer Dauerstrich-Terahertzstrahlung durch kaskadierte optisch parametrische Oszillationen — ●JENS KIESSLING¹, ROSITA SOWADE¹, INGO BREUNIG¹, VOLKMAR DIEROLF² und KARSTEN BUSE¹ — ¹Physikalisches Institut, Universität Bonn, Wegelerstr. 8, 53115 Bonn, Deutschland — ²Physics Department, Lehigh University, 16 Memorial Drive East, PA 18015 Bethlehem, USA

Wir demonstrieren einen einfach-resonanten Dauerstrich optisch parametrischen Oszillator (OPO), basierend auf periodisch gepoltem, MgO-dotiertem Lithiumniobat, welcher monochromatische Idlerwellen im Bereich von 2,33 bis 5,32 μm erzeugt. In den Spektren werden zusätzliche Komponenten beobachtet, die außerhalb des parametrischen Verstärkungsprofils liegen und zuvor in der Literatur als Raman-Linien interpretiert wurden. Wir zeigen, dass es sich stattdessen um kaskadierte optisch parametrische Prozesse handelt. Die dabei generierten Idlerwellen dieser phasenangepassten Prozesse laufen parallel und antiparallel zur Signalwelle und haben Frequenzen im Bereich um 3,5 bzw. 1,5 THz.

*Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (FOR 557) und der Deutschen Telekom AG für die finanzielle Unterstützung.

Hauptvortrag SYTT 2.4 Di 17:30 VMP 8 HS

Terahertzspektroskopie der Optischen Antwort eines Zweidimensionalen Elektronengases — ●SANGAM CHATTERJEE, TORBEN GRUNWALD, DANIEL GOLDE, MACKILLO KIRA und STEPHAN W. KOCH — Fachbereich Physik und Wissenschaftliches Zentrum für Materialwissenschaften, Philipps-Universität Marburg, Renthof 5, 35032 Marburg

In diesem Vortrag werden Untersuchungen der kollektiven Antwort eines Vielteilchensystems in Halbleiterheterostrukturen durch THz-Zeitbereichsspektroskopie vorgestellt. Dadurch können korrelierte Zustände in Halbleitern eindeutig identifiziert werden. Als Beispiel dient das Plasmon. Es beschreibt die kollektive Oszillation des Ladungsträgersystems zum Beispiel in einem zweidimensionalen Elektronengas. Das Plasmon bestimmt durch seinen Beitrag zur Abschirmung die effektive Coulomb-Wechselwirkung zwischen Ladungsträgern. Diese ist stark abhängig von der effektiven Dimension des Vielteilchensystems. So wird für Volumenmaterial eine endliche Plasmaresonanz

beobachtet [1], während die Plasmafrequenz eines zweidimensionalen Systems im Limes langer Wellenlängen verschwindet. Wir zeigen in einer detaillierten experimentellen und theoretischen Studie jedoch, dass auch in einem zweidimensionalen Ladungsträgersystem eine endliche Plasmaresonanz beobachtet werden kann. Die THz Antwort eines zweidimensionalen Elektronengases zeigt das charakteristische Verhalten eines entsprechenden dreidimensionalen Systems in Volumenmaterial [1]. Dieses volumenartige Verhalten der Plasmafrequenz zeigt sich auch in anderen zweidimensionalen Systemen.

Diese Beobachtung kann nicht mittels einer einfachen Drudetheorie beschrieben werden, jedoch reproduzieren mikroskopische Vielteilchenrechnungen auf Basis der Halbleiter Bloch Gleichungen die Experimente. Die Ursache der typischen Signatur der Plasmafrequenz in der komplexen dielektrischen Funktion ist das Wechselspiel zwischen Coulomb-Korrelationen und ponderomotiven Beiträgen. Letztere spielen im THz Spektralbereich eine bedeutende Rolle während sie im Optischen im Allgemeinen vernachlässigt werden können. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das für die Beschreibung der Abschirmung verwendete selbstkonsistent induzierte Feld des Plasmons dimensionsabhängig ist, während das Plasmon selber dimensionsunabhängig ist.

[1] R. Huber et al., Nature 414, 286 (2001)

Hauptvortrag SYTT 2.5 Di 18:00 VMP 8 HS

Terahertz (THz) Metamaterials and Transformation Optics — ●MARCO RAHM — Department of Physics, University of Kaiserslautern, Germany — Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM, Freiburg, Germany

Transformation Optics is a unique and novel technique for the design of complex electromagnetic materials with exotic and unprecedented properties. One of the most intriguing examples of a transformation-optical device was the experimental demonstration of an invisibility cloak. In this talk, the general methodology of transformation optics is introduced and discussed at the example of specific optical components like invisibility cloaks, electromagnetic concentrators, dynamic beam shifters and splitters, beam bends and waveguide bends.

In a second part of the talk, we show how metamaterials can play an outstanding role as electromagnetic optical components for the THz technology. In contrast to a lack of the electromagnetic response of most natural materials to THz radiation, artificially composed metamaterials offer unique properties for the fabrication of functional, active electromagnetic components like THz modulators or other optical elements. Hereby, the constituents of the metamaterial allow an almost independent control of the permittivity and permeability tensors of the effective medium which can be exploited for the realization of media with negative refraction index. As examples, a bulk negative index material at THz frequencies and a polarization-independent THz modulator will be presented.