

Systemtechnische Grundlagen für THz-Imaging-Systeme



Boris Pradarutti



Claudia Brückner



Stefan Riehemann



Gunther Notni



Gabor Matthaues¹



Stefan Nolte¹

Mit der Entwicklung leistungsfähigerer Strahlungsquellen und hochsensitiver Detektoren wird der Terahertz-Frequenzbereich (0,1 THz – 10 THz) zunehmend für eine Vielzahl von Anwendungen im Sicherheits- und Qualitätsmanagement interessant. Die THz-TDS (Time Domain Spectroscopy) stellt hierbei das höchstauflösendste kohärente Detektionsverfahren dar, welches trotz geringer Quantenenergie und Gesamtleistung der THz-Strahlung ein Signal-Rauschverhältnis von bis zu 1 000 000 ermöglicht. THz-Strahlung durchdringt Papier, trockenes Holz und die meisten Kunststoffe und besitzt eine hohe Sensitivität bzgl. Wasser. Zudem existieren viele Rotationsübergänge von interessanten Molekülen, wie z. B. von organischen Substanzen, Medikamenten und illegalen Drogen, die man mit THz-Strahlung identifizieren und detektieren kann. So eröffnen THz-Systeme viele Anwendungsfelder, die bisherigen Techniken verschlossen blieben.

Für den industriellen Einsatz der THz-Technik müssen preisgünstige, robuste und kompakte Komponenten entwickelt werden. Durch den Einsatz eines Ultrakurzpuls-Faserlasers /1/ zur Erzeugung und Detektion der THz-Strahlung konnten die Systemabmessungen deutlich reduziert werden. Das Prinzip der THz-TDS besteht darin, dass die Pulse des Lasersystems in Pump- und Abtastpuls aufgeteilt werden (Abb. 1). Der Pumpimpuls wird über eine Verzögerungsstrecke auf den Emitter, eine Halbleiter-Oberfläche, geleitet, wo elektromagnetische Pulse mit einem Spektrum von (0,1–3) THz emittiert werden (Abb. 2). Ein Parabolspiegel erzeugt einen kollimierten THz-Strahl, in dem eine Probe platziert werden kann. Ein zweiter Parabolspiegel fokussiert die THz-Strahlung auf den Detektor, wo der THz-Puls durch den fs-Laserpuls abgetastet wird. Die Detektion erfolgt über den elektro-

optischen Effekt, d. h. die Polarisation des Probestrahls wird in einem elektrooptischen Kristall proportional zur elektrischen Feldstärke der THz-Strahlung gedreht. Dieser Effekt wird punktuell vermessen, so dass hier auch eine orts aufgelöste (bildgebende) Detektion möglich ist.

Zur Optimierung der Leistungsübertragung werden am IOF spezielle Komponenten realisiert. Im Vergleich zum Optikdesign im sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich ergeben sich die Anforderungen an das Design des Abbildungssystems daraus, dass die Abmessungen der Komponenten nur wenige Vielfache größer als die Wellenlänge der THz-Strahlung (30 μm bis 3 mm) sind und somit Beugungseffekte die Strahlungsausbreitung dominieren. Dies wird als Quasioptik bezeichnet. Das Design erfolgt mithilfe der Kombination von klassischen Ray-Tracing-Programmen mit Tools zur Analyse der wellenoptischen Effekte (Abb. 3). Aufgrund der großen Wellenlängen ergeben sich geringere Anforderungen an die Oberflächenrauheit quasioptischer Komponenten als im visuellen Spektralbereich. Daher können zu ihrer Fertigung spannende Verfahren wie Feindrehen und Feinfräsen eingesetzt werden, was die Realisierung der optimierten Formen begünstigt. Hiermit ist ein weiterer Schritt hin zu industrietauglichen Systemen erfolgt.

Gefördert im Rahmen der internen Programme der FhG (MAVO 813907).

Literatur:

- /1/ Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Röser, F.; Liem, A.; Höfer, S.; Zellmer, H.; Nolte, S.; Limpert, J.: "The renaissance and bright future of fibre lasers", J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 38, 681 (2005).

¹ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Angewandte Physik

System technical basics for THz imaging systems

Due to the development of high power radiation sources and highly sensitive detectors, the terahertz frequency region (0.1 THz – 10 THz) is becoming increasingly interesting for multiple applications in safety and quality management. The THz TDS (Terahertz Time Domain Spectroscopy) is the coherent detection method with the highest resolution. Moreover, it can achieve a signal to noise ratio of 1 000 000 despite low quantum energy. THz radiation penetrates paper, dry wood, many plastics and has a high sensitivity to water. In addition many interesting molecules, e. g. organic materials, pharmaceutical or illegal drugs, have their rotation transitions within the THz range and thus can be detected and identified with THz radiation. THz systems open many areas of application which have been closed to other techniques up to now.

For industrial applications of the THz technique, competitively priced, robust and flexible components have to be developed. Due to the application of ultra short pulse fiber lasers [1] for generation and detection of THz radiation, the system dimensions have been reduced clearly. The principle of the THz TDS consists of splitting the laser pulses into a pump and a gate pulse (Fig. 1). The pump pulse is delayed and directed at a semiconductor surface, where electromagnetic pulses with a spectrum of 0.1 THz to 3 THz are emitted (Fig. 2). A parabolic mirror creates a collimated THz beam in which a sample can be placed. A second parabolic mirror focuses the THz beam onto the detector where the THz pulse is sampled by the fs-laser pulse. The detection is based on the electro-optical effect, which turns the polarisation of the gate beam proportionally in relation to the THz pulses. This effect can be measured point-wise, so that a spatially resolved measurement (an image) can be generated. For an optimized power transfer, special optical components are being realized at the IOF. In comparison with optical

designs for the visible and ultraviolet spectral range, the requirements of this imaging system are dictated by the fact that the dimensions of the components are only a few times larger than the wavelength of the THz radiation (30 μm to 3 mm) and so beam propagation is dominated by diffraction. This is called quasi-optics. The design includes a combination of classical ray-tracing programs with tools for analyzing wave-optical effects (Fig. 3). Due to the long wavelengths, the requirements regarding the surface roughness are fewer than those in the optical spectral range. Therefore techniques like fine cutting and fine turning can be used to realize optimized shapes. Thus, a further step to systems suitable for industrial applications is realized.

Supported by the FhG internal program (MAVO 813907).

References:

- [1] Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Röser, F.; Liem, A.; Höfer, S.; Zellmer, H.; Nolte, S.; Limpert, J.: "The renaissance and bright future of fibre lasers", J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 38, 681 (2005).

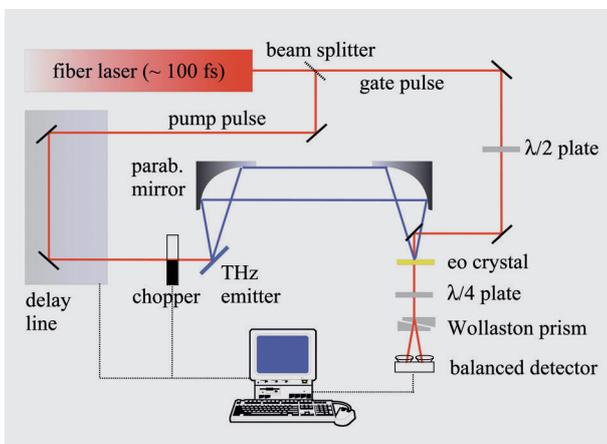


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines THz-TDS-Systems.

Fig. 1: Schematic sketch of a THz-TDS system.

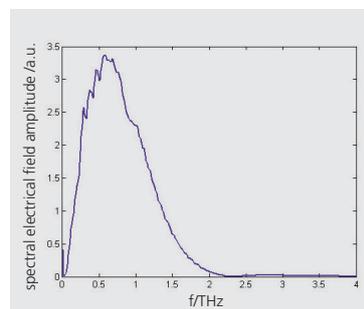


Abb. 2: Spektrale Amplitudenverteilung eines gemessenen THz-Pulses.

Fig. 2: Spectral amplitude of a measured THz pulse.

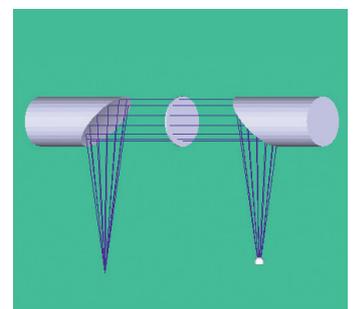


Abb. 3: Optisches Design eines THz-TDS-Systems in ZEMAX.

Fig. 3: Optical design of a THz-TDS-system in ZEMAX.