OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Self-phase Modulation Effects on the THz Radiation from a Two-color Laser Filament
Author(s)	巩, 辰
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/85392
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name (GONG CHEN)	
Title	Self-phase Modulation Effects on the THz Radiation from a Two-color Laser Filament (2色レーザーフィラメントからのTHz放射に対する自己位相変調効果)

Abstract of Thesis

Recent advances in terahertz (THz) science and technology have made it one of the most promising research topics in the 21st century in the field of spectroscopy, remote sensing, imaging and other cross cutting areas. detection and imaging and other cross-cutting areas. Compared with conventional time-domain spectroscopy systems based on photoconductive antennas and optical rectification principles, air-based THz generation detection systems have many unique advantages, such as a wider radiation spectrum, high intensity, and the possibility of long-range operation. Pulsed laser-induced filaments by focused infrared (IR) fundamental wave (ω) and its second harmonic (2ω) is capable to generate ultra-intense THz waves. And the detection of pulsed THz waves can also be realized by using the third-order nonlinear effect in air. Therefore, the research of THz technology has attracted a lot of attention in recent years. In particular, strong THz sources are used in revealing various applications of nonlinear effects, including nonlinear THz spectroscopy of condensed states, resonant and non-resonant control of materials and nonlinear response of metamaterials.

Despite the asymmetric transient current model successfully explains the theoretical principles of the two-color excitation scheme, the nonlinear effects in the filament associated with changes of the refractive index, which lead to the failure of the scaling law of the microscopic model, have not been studied in depth. In this dissertation, the intensity-dependent nonlinear effects in two-color filaments were experimentally investigated by observing the intensity evolution of the output THz pulses and its time domain waveform shaping. The physical mechanisms leading to these modulations are discussed in conjunction with theoretical models. This dissertation is organized as follows: Chapter 1 is an overall introduction to THz science and technology. We enumerate the common methods of THz pulse generation and detection based on ultrafast lasers and explain the advantages of an all-air-based two-color laser scheme over conventional solid-based emitters and detectors. The problem of nonlinear effects that cannot be explained by microscopic models of two-color scheme is also highlighted and motivates the research of this dissertation. Chapter 2 provides a brief introduction to the principle of laser filamentation process involves intensity dependent nonlinearities, THz emission from two-color filaments, and air-biased coherent detection methods. The widely accepted asymmetric transient current surge model and its scaling law are also explained. Chapter 3 discusses the intensity-dependent nonlinear modulation on the phase matching conditions during THz emission. The relative phase of the two-color pulse regulating this condition is influenced not only by the air dispersion, but also by the intensity-dependent plasma refractive index. We reveal that the additional modulation is proportional to the incident light intensity utilizing a nonlinear fit. The fit is validated by experiments on the two-color spectral spread and elliptical polarization orthogonal component ratio. Chapter 4 explores the waveform shaping effect due to intensity variations. The effect cannot be adequately explained by the microscopic model. We modify the microscopic model based on the macroscopic coherent emission mechanism. High plasma density at the focal center causes a π phase slip between the two-color fields, resulting in a bipolar THz waveform. The surrounding low-density electrons gradually affect the initial phase as the pumping energy increases, resulting in waveform shaping. And the slow-varying peak at the tail is caused by the fading of the residual current. Chapter 5 shows an example application of a gas-based THz-TDS system. We tested the cyclic olefin polymer, which is highly anticipated for future THz band applications, and obtained its refractive index and absorption coefficient. Its potential for application in THz lens, cuvettes and substrates of broadband transmission lines is also revealed. Chapter 6 summarizes the whole study.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　GONG CHEN　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	斗内　政吉
	副 査	教授	片山　竜二
	副 査	准教授	村上　博成
	副 査	教授	森　勇介
	副 査	教授	片山　光浩
	副 査	教授	尾﨑　雅則
	副 査	教授	近藤　正彦
	副 査	教授	森　伸也
	副 査	教授	廣瀬　哲也

論文審査の結果の要旨

２色（近赤外とその２倍波）パルスレーザー誘起フィラメントは、高強度のテラヘルツ（THz）波を放射させることができる。固体 THz 波光源に基づく従来の時間領域分光（TDS）システムと比べて、より広帯域、高強度、長距離動作など多くの利点を持っている。そのため、近年注目されている高強度 THz 光源として、凝縮相における非線形 THz 分光、分子の共鳴・非共鳴制御、メタマテリアルの非線形応答など、様々な分野での応用が期待されている。しかし、屈折率の変化に伴うフィラメントの非線形効果により、放射された THz パルスの強度や波形の変調を引き起こす可能性がある。これらの非線形効果は、微視的モデルのスケーリング則の破綻につながるため、フィラメント内のパルス伝搬の物理的メカニズムを再理解する必要がある。本研究では、強度依存の２色フィラメントの屈折率が変化することに着目し、２色光の位相スリップが THz 波の変調に与える影響について解明することを目的とした研究結果をまとめたものである。得られた主な研究成果を以下に要約する。

１．２色のパルスの相対位相変調は、空気の分散だけでなく、強度依存のプラズマの屈折率にも影響される。ポンプ光の強度を変化させると、空気分散に依存した THz 放射効率が変化することを実験的に明らかにした。さらに、非線形フィッティングにより、入射光強度に比例した変調が加わったことを見出していた。この線形変調は、２色のスペクトルの広がりと楕円偏光の直交成分比の実験によって検証される。

２．ポンプ光の強度を上げると、THz 波の波形は正負ピークの振幅比が大きくなり、後の広いピークも徐々に消えていく。この現象は微視的な光電流モデルでは説明できないため、レーザーフィラメント過程に基づいて、ガウス分布された電子密度のモデルを提案した。計算の結果により、この変調は、入射光強度に応じて変化する付加位相に起因することがわかった。また、後の広いピークは，負の狭いピークの残留電流の減衰に起因すると考えられる。

３．２色のフィラメントに基づいた THz-TDS の応用例として、THz 周波数帯域の応用として期待されている環状オレフィンポリマー（COP）の屈折率と吸収係数を測定した。COP 材料は、４THz 帯域幅での高い透明性、低い誘電損失、平坦な分散など並外れた性能で際立っている。また，異なる強度の THz 波を照射しても光学特性が安定していることによって、THz レンズやキュベットなど幅広い用途に活用できる。さらに、有限要素解析の結果から、COP が THz 伝送線路基板に応用できる可能性も示された。

以上のように、本論文は２色のフィラメントによるテラヘルツ波の発生に伴う非線形効果についての観察した結果と、広帯域 TDS システムの応用例について述べたものである。これらの成果は、広帯域の THz は発生メカニズムについて新たな知見を与え、今後のテラヘルツ波形の制御、及び COP 材料の新たな応用と繋がる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。