

高周波電界実時間映像化技術（電界カメラ）のミリ波帯への展開 (082103017)

Expansion of High frequency electric field imaging
(Live Electrooptic Imaging camera) to millimeter wave range

研究代表者

笹川 清隆 奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科

Kiyotaka Sasagawa Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology

研究期間 平成 20 年度～平成 21 年度

概要

本課題では、高マイクロ波からミリ波の周波数帯における高周波回路近傍電界分布を実時間観察する技術「ミリ波電界カメラ」の開発、および、これを用いたミリ波回路の診断手法の確立のための研究を目的とした。本研究ではマイクロ波帯電界カメラにおける計測周波数をミリ波帯に拡張するための技術を開発した。ミリ波回路における近傍電界の実時間観察を実現することにより、回路上の局所的な動作状態に対応した電界分布を様々な条件下で効率的に解析することが可能となる。

Abstract

The purposes of this research are development of “millimeter wave live electro-optic imaging camera”, which is a novel measurement system for real-time observation of the electric near-fields over a high frequency circuit at a frequency of microwave or millimeter wave, and its application to diagnosis of millimeter wave circuits. In this research, its frequency range was successfully extended to millimeter wave frequencies. By realizing real-time observation of the electric near-fields over a millimeter wave circuits, the electric field distribution corresponding to local operating status on the circuit can be analyzed effectively in various conditions.

1. まえがき

電界カメラ(Live Electro-optic Imaging camera; LEI camera)は、高周波回路上の電界分布を瞬時に映像化する装置である。概念図を図1に示す。回路上のマイクロ波電界分布が 100×100 画素、最大毎秒 30 枚の動画像として可視化される。マイクロ波電界の変動をリアルタイムに観察することで回路の動作状態を直観的に解析し、診断に応用できるものと期待される。

本研究では、電界カメラによってイメージングされる周波数を従来のマイクロ波帯からミリ波帯へ拡張することを目的とした。これにより、電界カメラによるリアルタイム同時多点計測により、ミリ波帯の機器開発への寄与を目指す。

2. 研究内容及び成果

電界カメラでは、瞬時に高周波電界の分布を計測するために電気光学結晶板(ZnTe, LiNbO₃ など)をセンサとして用いる。図2にその構成を示す。電気光学結晶に変調レーザー光を照射し、偏光ビームスプリッタからの反射光を高速なイメージセンサで受光させることで、高周波電界の印加による複屈折率変化を並列に計測し、電界分布像の瞬時取得が実現される。高感度検出を行うためにイメージセンサには、高速かつ高感度な Si イメージセンサが用いられる。イメージセンサのフレームレートは 20kHz であり、そのままでは電気光学結晶における高周波(マイクロ波・ミリ波)電界印加による変調信号を検出することはできない。そのため、入射光は局所発振周波数 f_{LO} で変調されたものを用いる。これにより、電気光学結晶における高周波電界の周波数 f_{RF} との中間周波数成分 f_{IF} が生成される。すなわち、光信号のヘテロダイン検出により周波数を下方変換することで、高周波の計測が実現される。

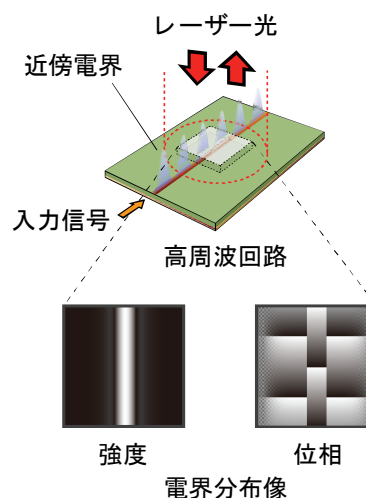


図1 電界カメラの概念図。

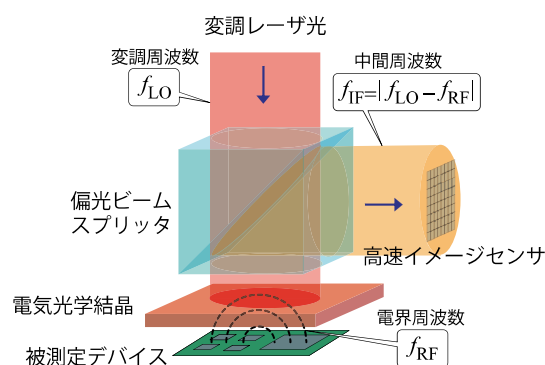


図2 電界カメラの構成。

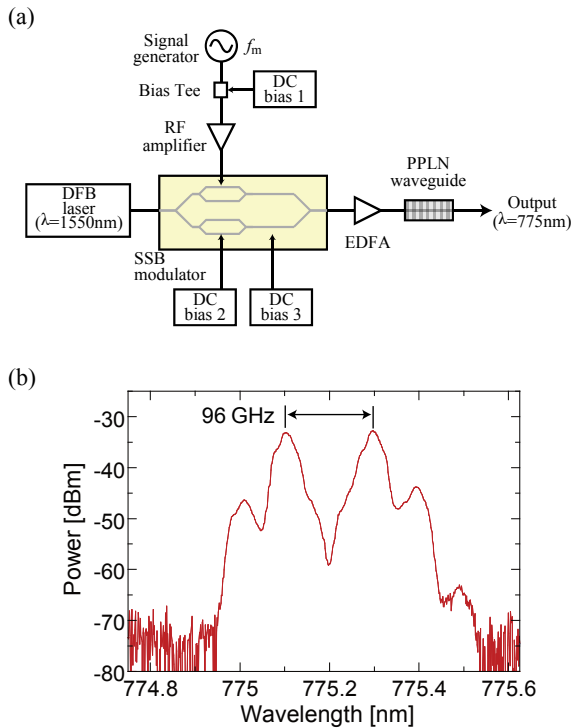


図3 Single Side Band 変調器と第2高調波発生器によって生成された波長 775 nm, W-band 2 トーン変調光の生成(a) 実験系, (b) 変調光スペクトル.

従来の電界カメラでは、低雑音かつ高精度な変調光を得るために、波長 780 nm の cw(連続波)レーザーとマッハ・ツェンダ型光変調器とを組み合わせて使用している。光変調器の変調帯域は成熟した 1.55 μm 帯においても高々 50 GHz 程度である。変調における高調波成分を利用する方法も提案されているが、光強度が低下してしまう。Si イメージセンサが高い感度を示す波長 800 nm 帯では、1.55 μm 帯と異なりファイバ増幅器が利用できないために、十分な光強度が得られない。そこで、本研究では 1.55 μm 帯において光変調および光増幅を行った後に、第二高調波発生によって波長 775 nm の変調光生成を行った。

SSB (single-side band) 光変調器を用いて変調を行い、周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN)導波路により第二高調波を生成する手法を提案した。本手法ではフィルタを用いないため、周波数可変域を広くすることができる。図 3(a)に実験系を示す。SSB 変調器は、マッハ・ツェンダ干渉計が入れ子になった構造を有しており、これを用いることにより、変調光の側帯波成分と搬送波成分の強度比および位相差を任意に調整することが可能となる。光源には波長 1.55 μm の DFB レーザーを用い、SSB 変調器の片側のアームに±2 次成分が最大となるパワーの変調信号(周波数 24 GHz)を入力した。さらに、それぞれの電極へのバイアス電圧を調整して基本波の搬送波強度がそれぞれ側帯波の強度の 2 倍となり、位相差が π/2 となるように設定した。変調光はエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)によって増幅され、周期分極反転ニオブ酸リチウム(PPLN)導波路によって第 2 高調波が生成される。図 3(b)に出力光のスペクトルを示す。第二高調波の搬送波成分が干渉によって打ち消され、中心波長 775 nm 帯において、周波数間隔 96 GHz の W-band 光 2 トーン信号の生成に成功している。

W-band (100GHz)の変調光を電界カメラ装置に適用

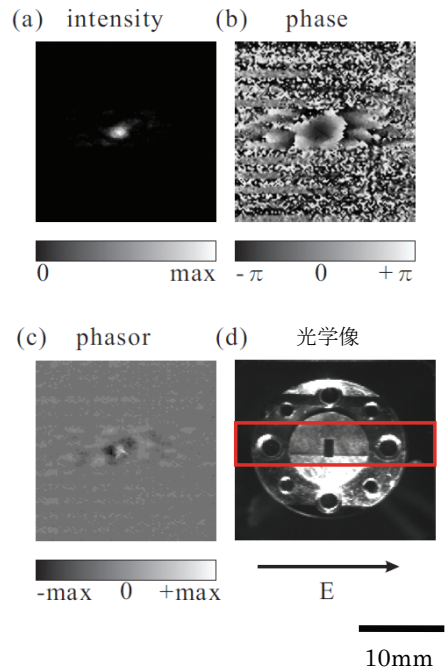


図4 電界カメラによる W-band 帯ミリ波イメージング例.

し、電界分布測定を行った。測定対象は導波路(WR-10)端面の開口近傍における電界とした。観察信号生成には、マイクロ波発生器と通倍器およびミリ波増幅器を用いた。測定結果を図 4 に示す。測定対象の光学像(図 4(d))に示す赤枠部分に電気光学結晶である ZnTe を配置した。図 4(a)の強度分布像の中央部分、導波路の開口部分に明るい点が明確に観察され、ミリ波電界のイメージングに成功していることがわかる。

3. むすび

電界カメラのミリ波対応を目指して波長 775 nm 帯の変調光生成についての研究を行った。その結果、1.55 μm 帯の成熟した光変調技術と波長変換技術を応用することによって、W-band の変調光生成に成功した。また、この変調光生成技術を電界カメラに適用し、電界カメラの測定周波数を 100 GHz までのミリ波に拡張することに成功した。

【誌上发表リスト】

- [1] K. Sasagawa, A. Kanno, M. Tsuchiya, "Real-time Visualization of W-band Millimeter Wave by Live Electro-optic Imaging," PIERS proceedings, pp. 48-51 (Mar. 23-27, 2009).
- [2] K. Sasagawa, A. Kanno and M. Tsuchiya, "Real-time digital signal processing for live electro-optic imaging," Opt. Express, Vol. 17, No. 18, pp. 15641-15651 (Aug. 2009).
- [3] K. Sasagawa, M. Fujiwara, T. Noda, T. Tokuda, and J. Ohta, "Quadruple Frequency Photonic Signal Generation by Optical Frequency Doubling," in Proc. of OSA Annual Meeting 2009, FMD4, (Oct. 12, 2009).

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://lei-camera.nict.go.jp>