

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

奈良先端科学技術大学院大学
物質創成科学研究科
笹川 清隆

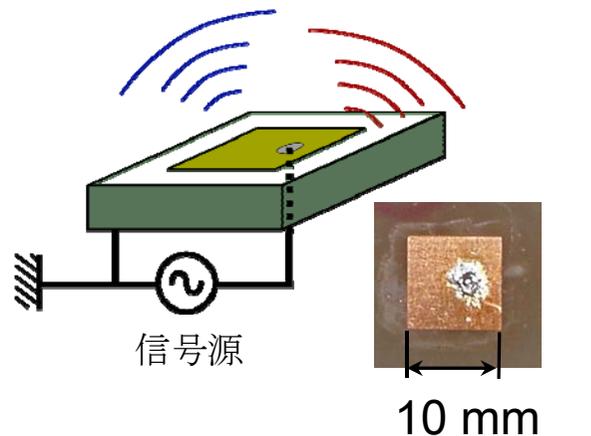
電界カメラ

(Live Electro optic Imaging Camera)

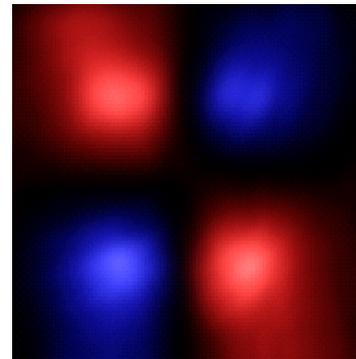
2

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

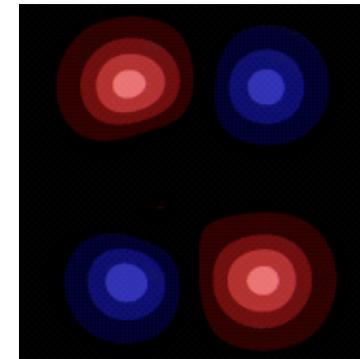
- マイクロ波の電界分布を最大**毎秒30枚**で高速撮影
- 画素数 **10,000画素**(100x100画素)
- マイクロ波回路の動作状態を視覚的・直観的に診断



平面アンテナ (右は上面の写真)



撮影電界イメージ



理論計算結果

フォトニクス技術によりリアルタイム・イメージングを実現

Outline

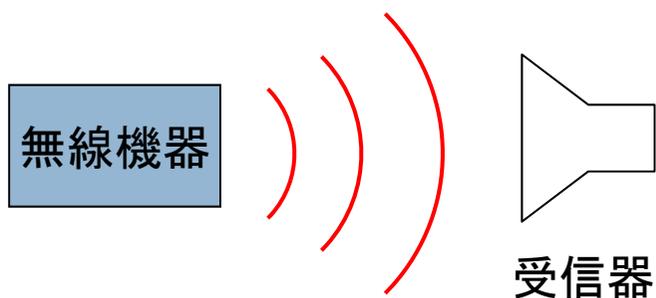
3

1. 研究背景
2. フォトニクス技術による電磁界計測法
3. 電界分布リアルタイム検出技術
(電界カメラ)
4. ミリ波イメージング用光信号生成
5. ミリ波電界観察例
6. まとめ

研究背景：従来の高周波回路計測

4

遠方界計測



放射される電波を計測
(低空間分解能)

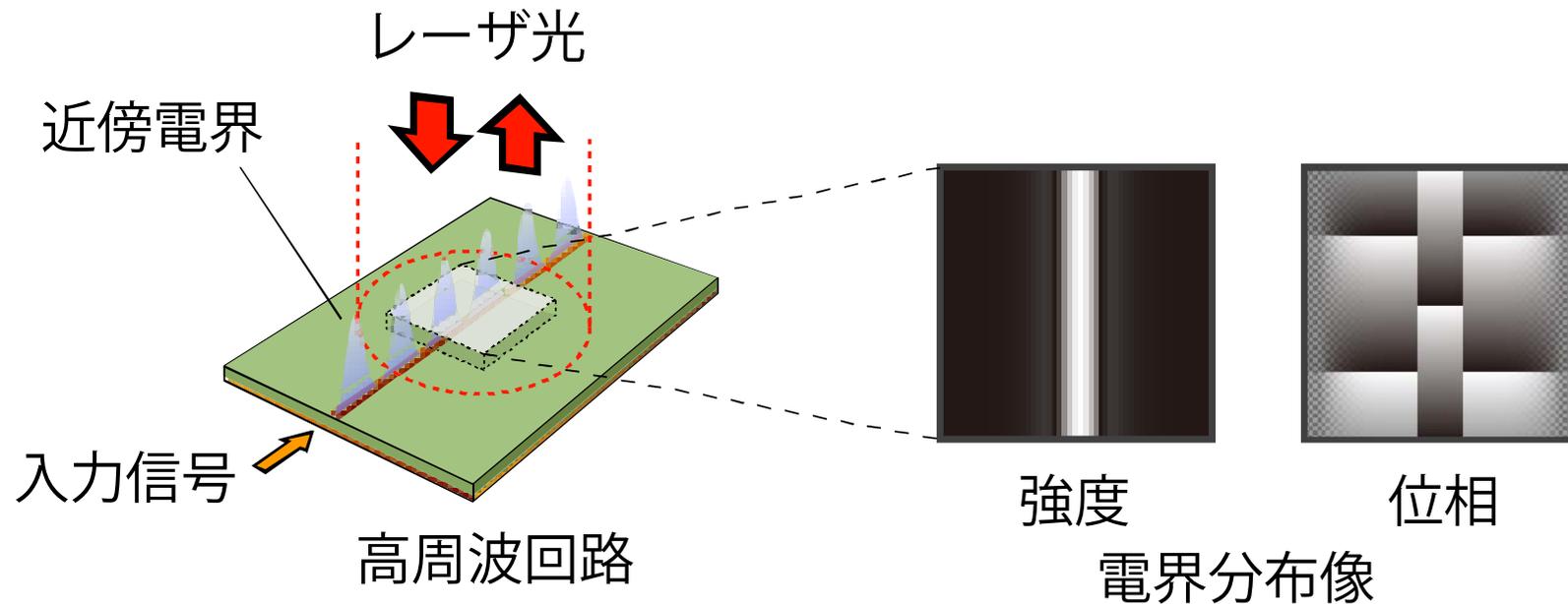
入出力信号計測



端子の入出力信号を計測
(点と点の間を測定)

近傍電磁界計測

5



遠方からは回折限界以下の分布観察不可

➡ プローブを測定対象の近傍に配置

フォトニクス技術による電 磁界計測

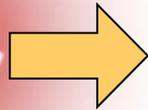


電気光学計測と磁気光学計測

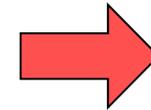
7

EO(電気光学)プローブ

電界



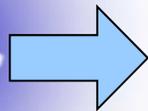
電気光学結晶
(ZnTe, GaAs, LiNbO₃など)



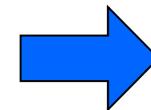
電圧計測

MO(磁気光学)プローブ

磁界



磁気光学結晶
(Bi:YIG, Ce:YIGなど)

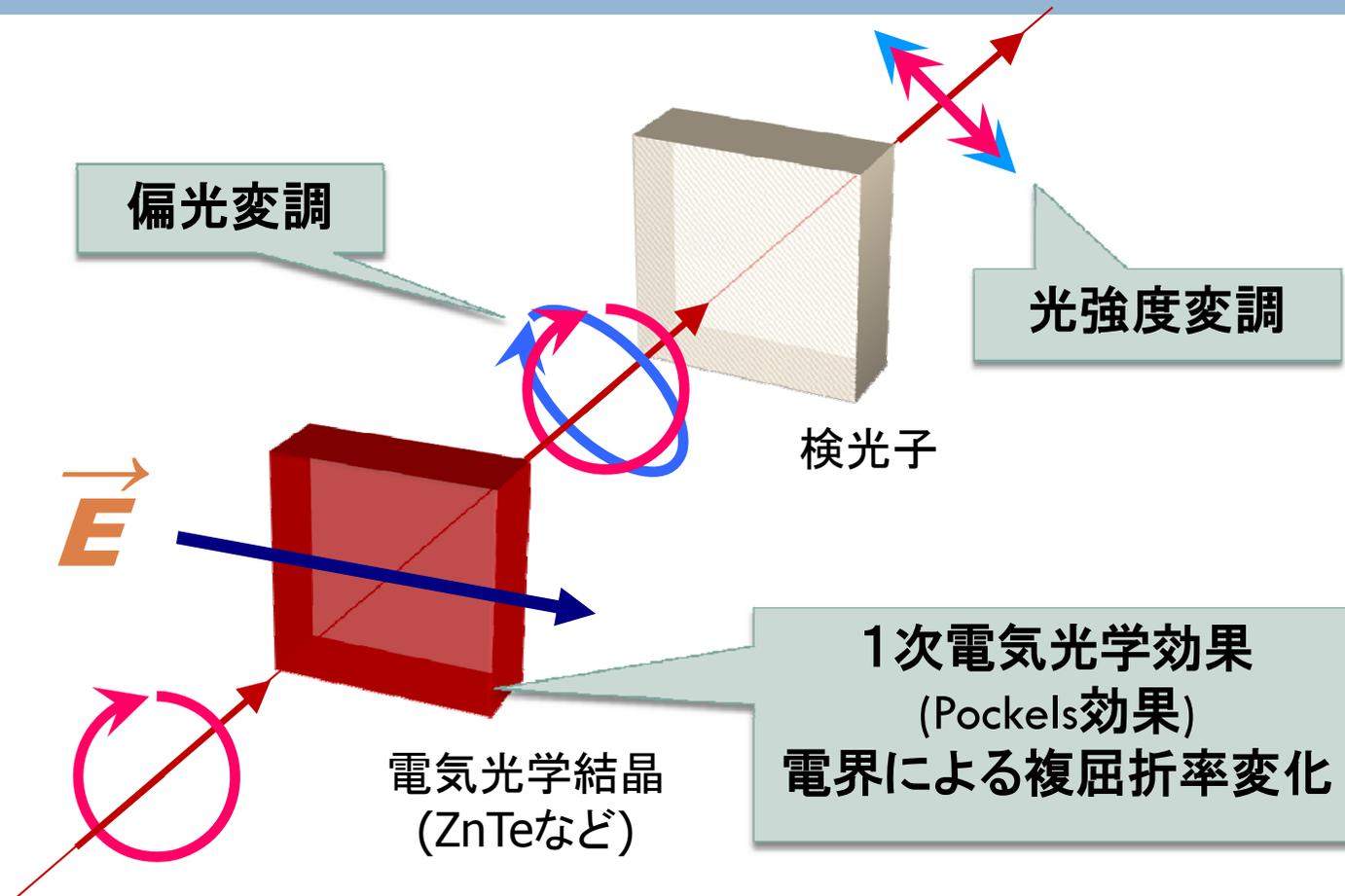


電流計測

(屈折率が変化)

電気光学効果に基づく電界検出

8



J. A. Valdmanis *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **41**(3), 211 (1982)

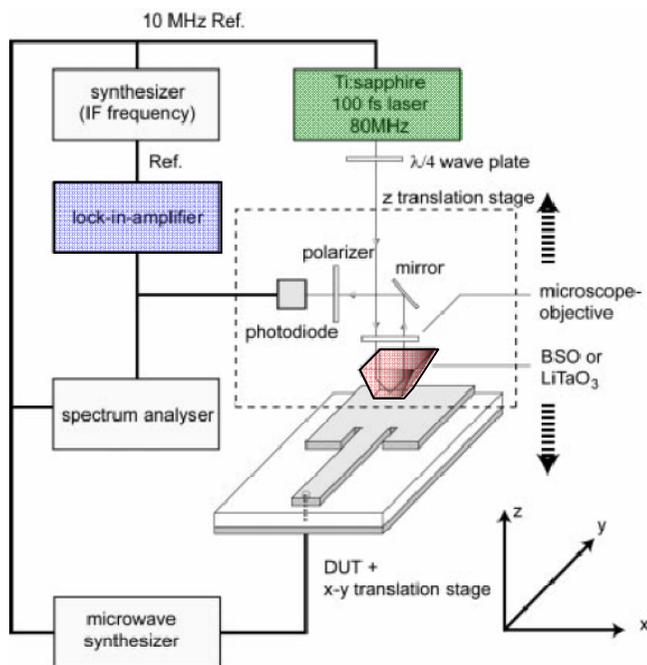
並列化による
リアルタイム電界イメージング



従来法: 単一点検出系構成例

10

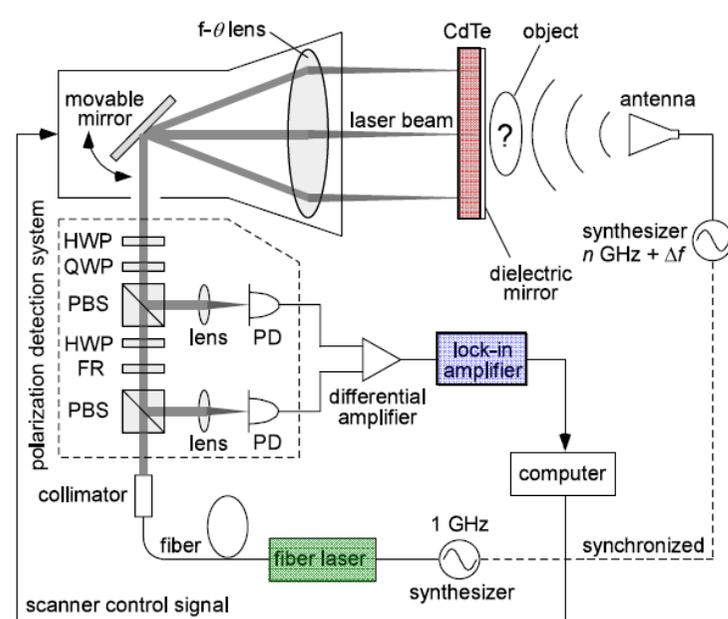
自動ステージ走査



3 pixels/sec

K. Yang et al., *IEEE T-MTT* 48(2), 288(2000).

Galvanoミラー走査



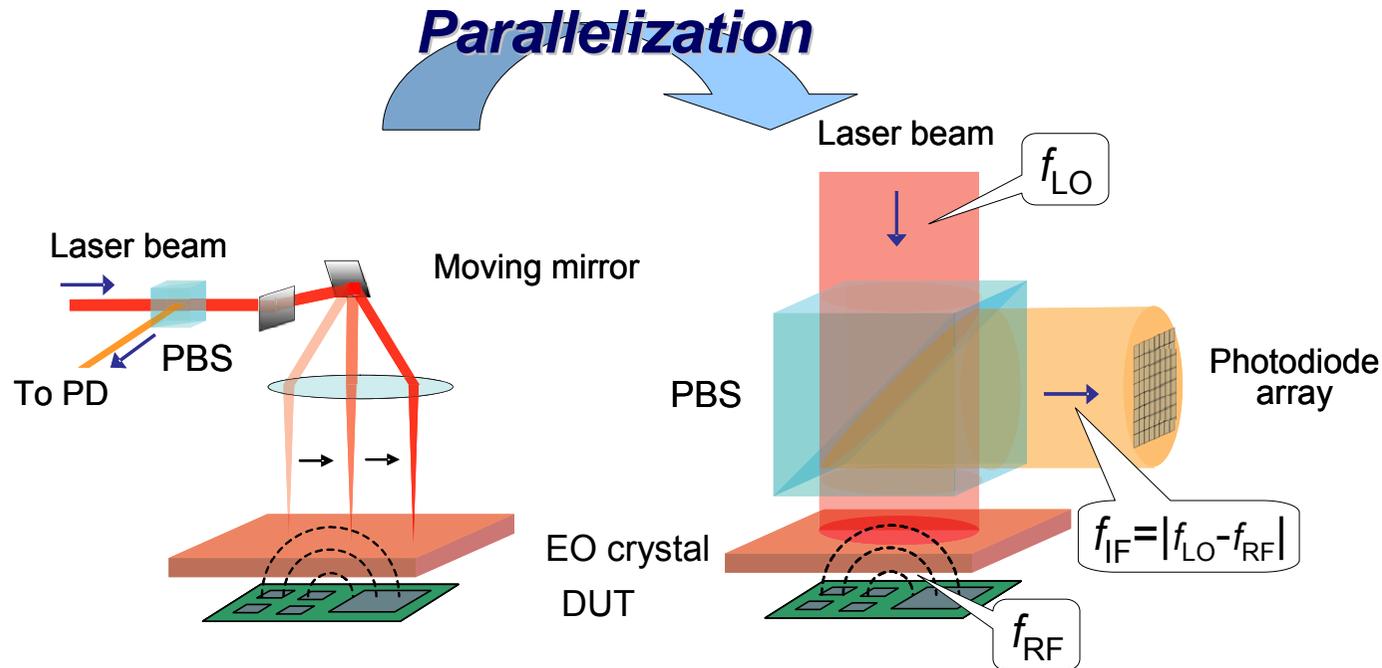
HWP: half-wave plate, QWP: quarter-wave plate, PBS: polarizing beam splitter, FR: Faraday rotator, PD: photodiode

125 pixels/sec

A. Sasaki et al., *IEICE T. Electron.* E86-C(7), 1345(2003).

フotonics技術による超並列化

11

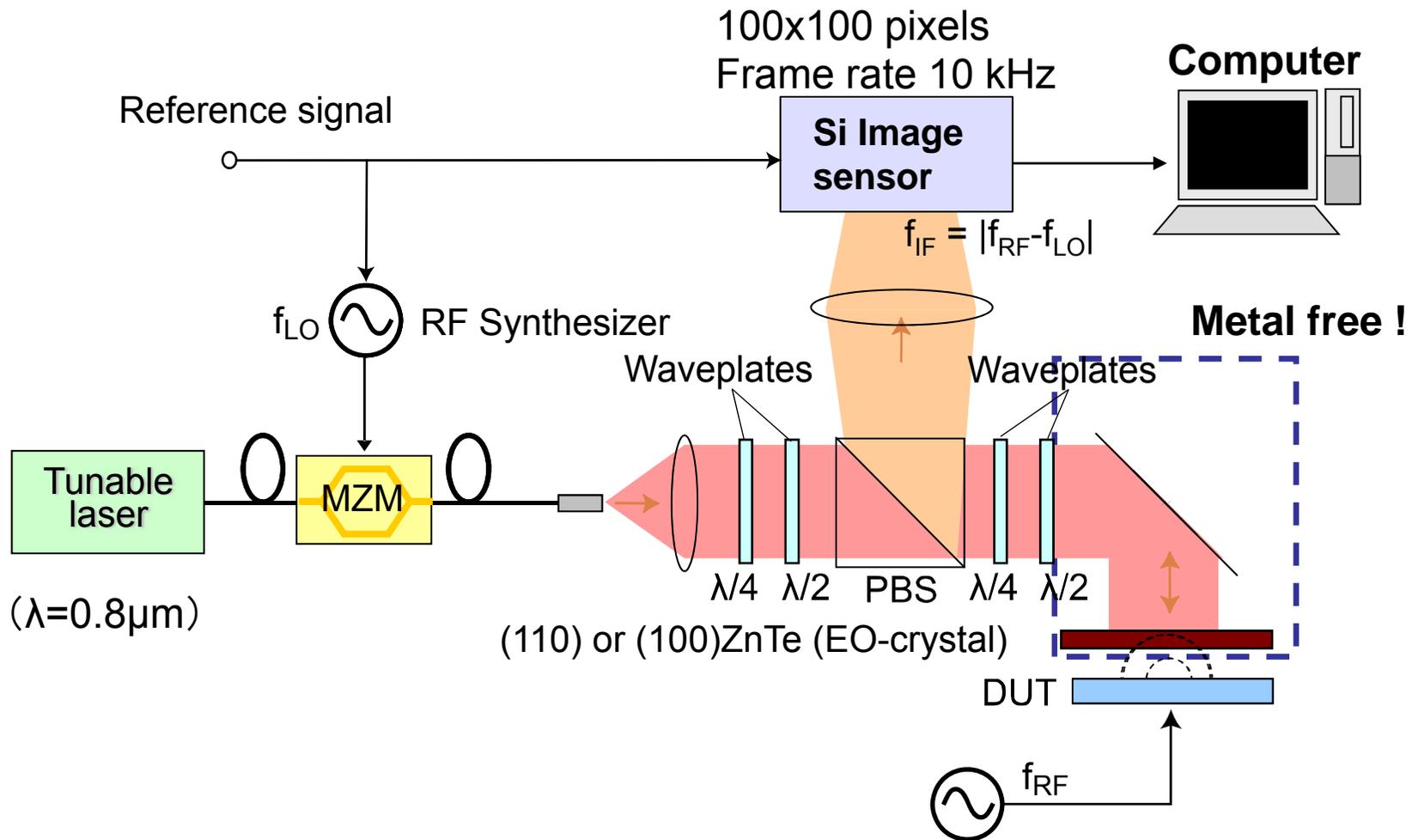


□ フォトニクス技術の利点

- 低侵襲性
- レンズ光学系による並列処理 (可動部不要)
- 高空間分解能 (光波長程度)
- 広測定帯域 (マイクロ波帯全域)

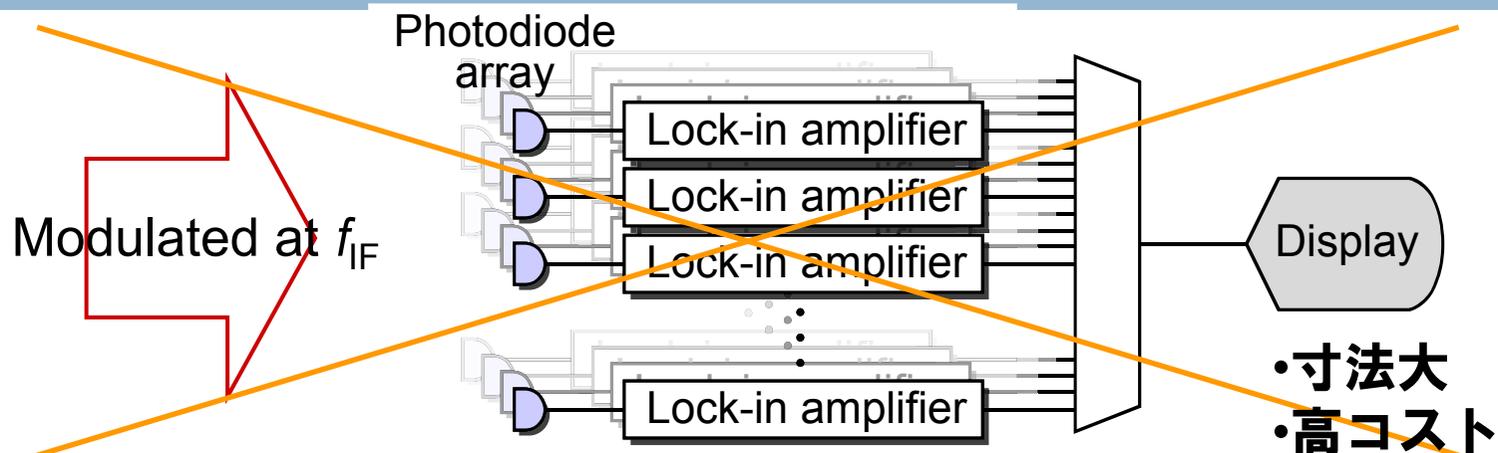
光学系

12

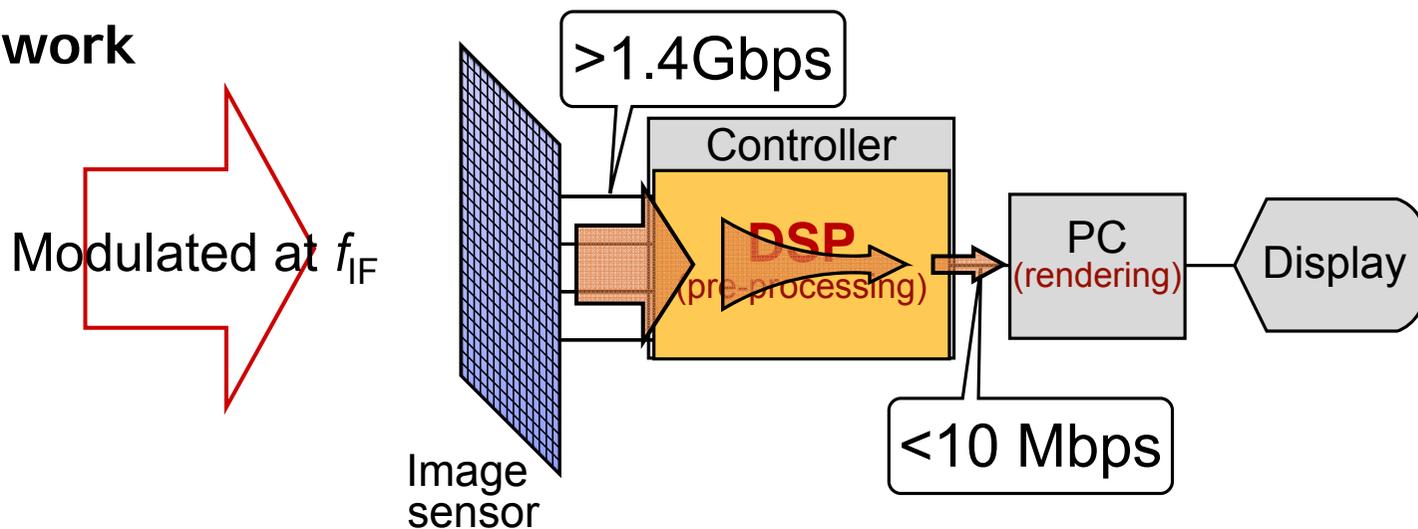


高速イメージセンサによる並列検出

13



This work



電界カメラ用 ミリ波変調信号生成



ミリ波電界イメージングのための課題

15

電界イメージング

- Si高速イメージセンサを利用
 - ▣ 検出波長 400~1000nm
 - ▣ 各画素の飽和光強度 ~数nW
- 光ヘテロダイン法による検出
 - ▣ 局所発振周波数の変調光源が必要

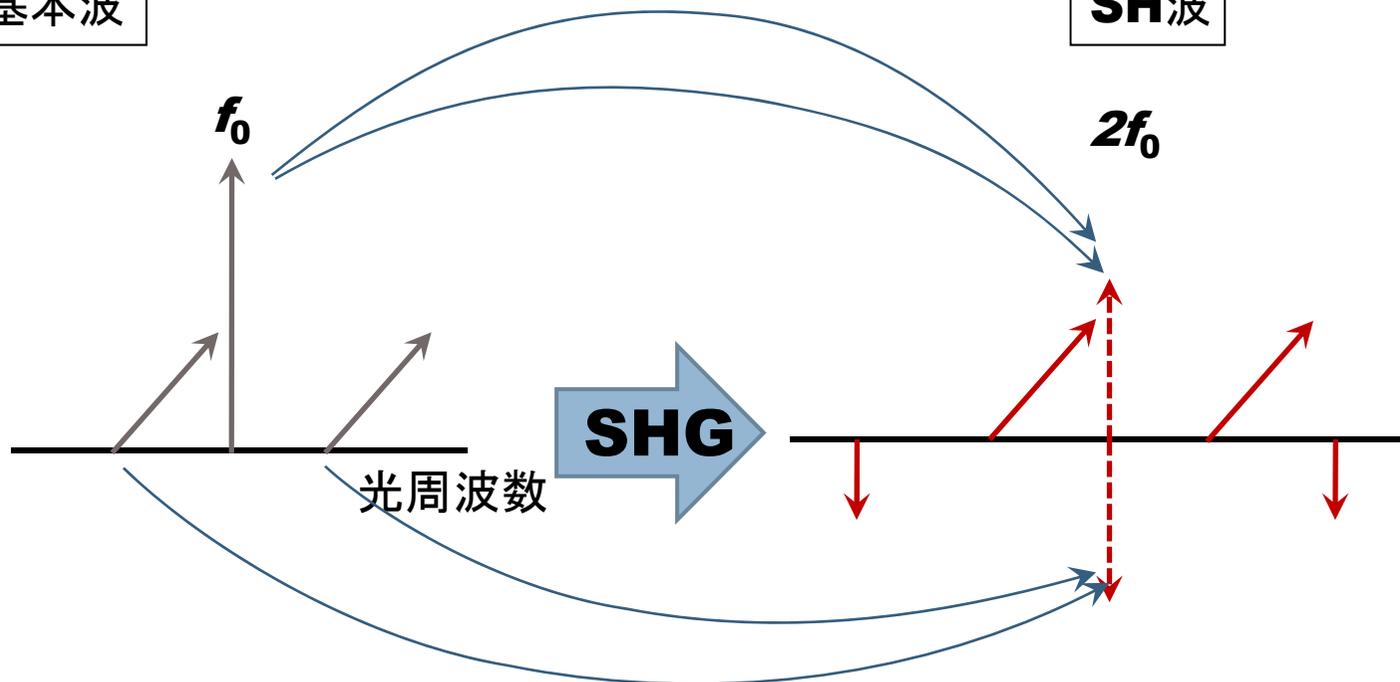
Siフォトダイオードで検出可能な波長帯における
ミリ波光信号生成が不可欠

第2高調波発生による 2トーン光信号生成

16

基本波

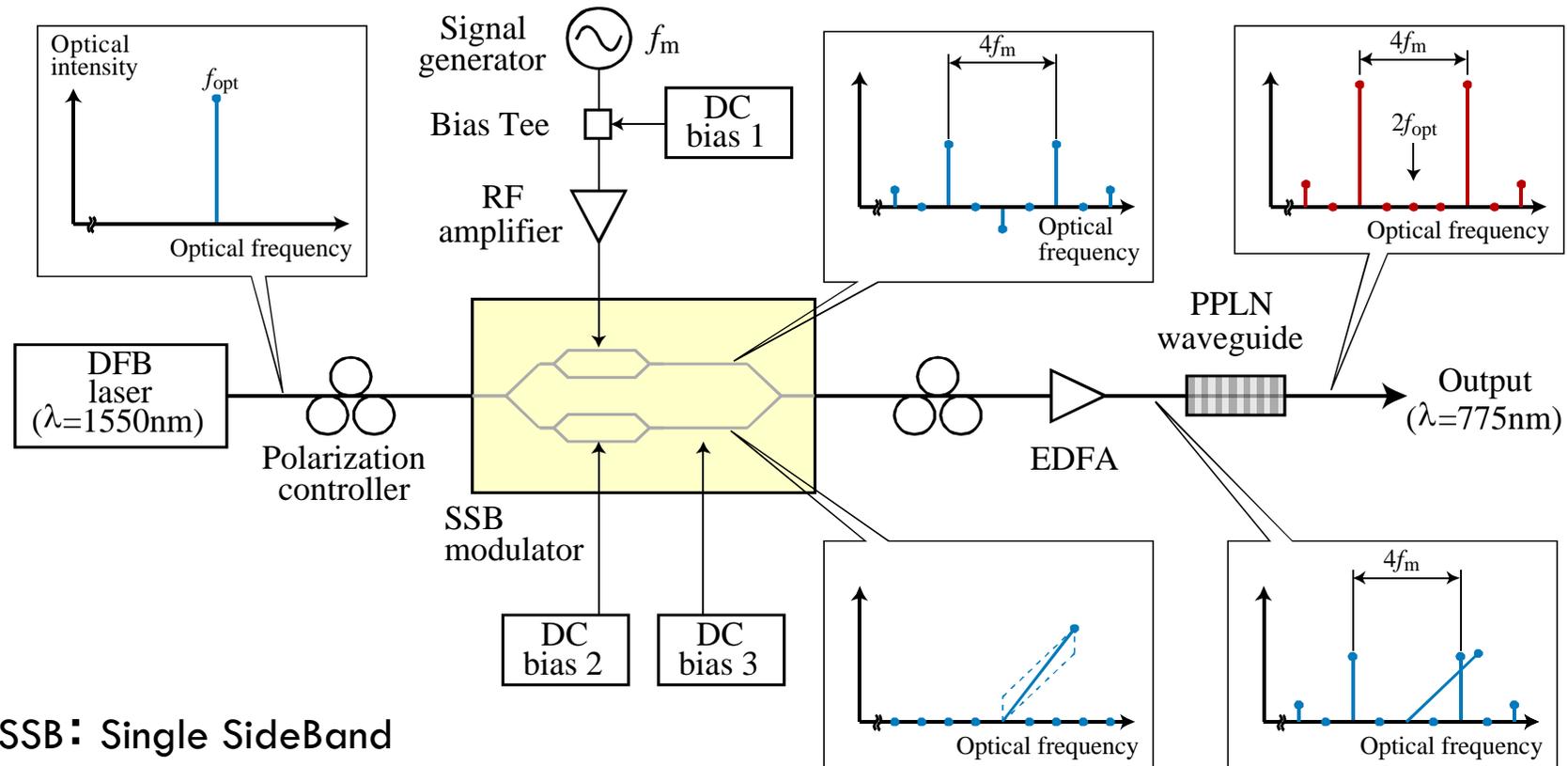
SH波



SH波における搬送波は複数の基本波の組み合わせにより生成
→位相制御により相殺可能

ミリ波帯変調光生成実験系

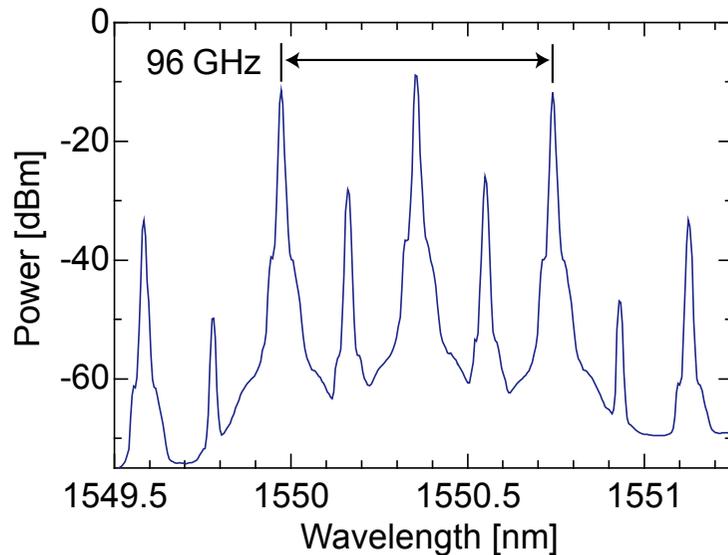
17



ミリ波光信号生成実験結果

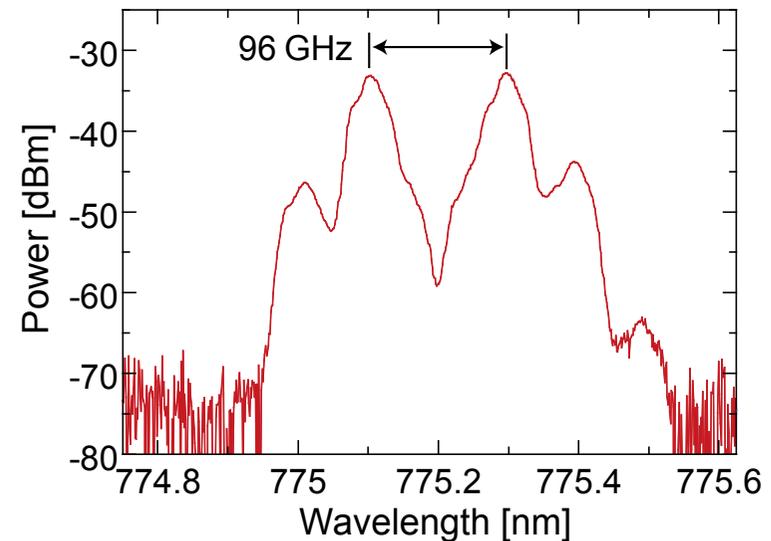
18

基本波



入力変調周波数: 24GHz

第2高調波



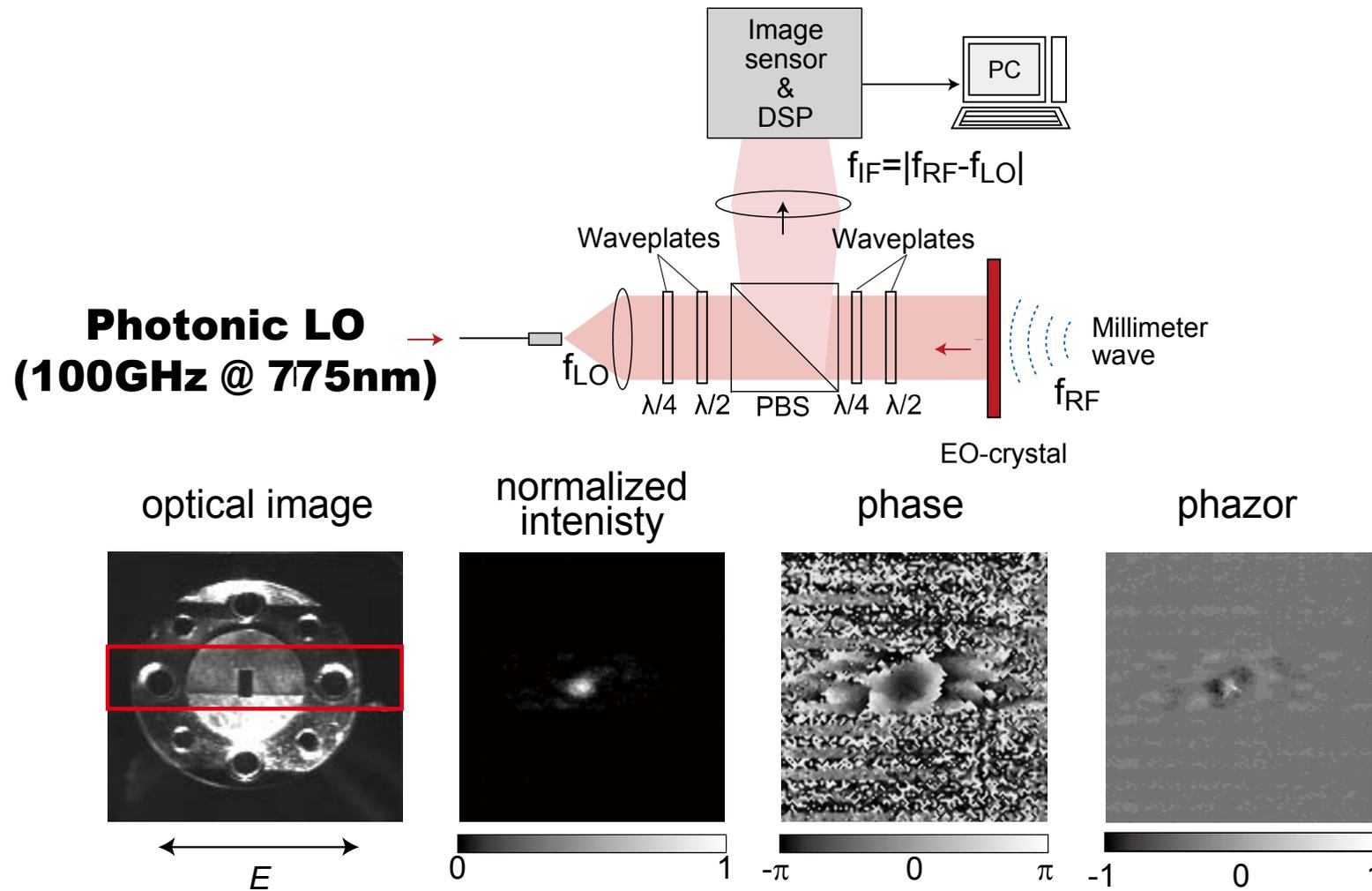
- 周波数間隔: 96 GHz (= 4 × 24 GHz)
- 搬送波成分の抑圧に成功

ミリ波イメージング



W-band(100GHz) 電界イメージング例

20



まとめ

21

- ミリ波帯電界カメラ
 - 並列度:10,000 (100x100画素)
 - フレームレート:最大毎秒30 枚
 - 光ヘテロダイン法により周波数変換を下方変換
 - 第二高調波発生を用いて波長 $0.8\mu\text{m}$ 帯のミリ波変調信号を生成。局所発振信号として利用
 - W-bandのミリ波電界像の取得に成功

業績

22

- K. Sasagawa, A. Kanno and M. Tsuchiya, "Real-time digital signal processing for live electro-optic imaging," *Opt. Express* 17 (18), pp. 15641-15651, Aug. 2009.
- K. Sasagawa, A. Kanno, and M. Tsuchiya, "V-band signal generation by photonic frequency doubling with periodically poled lithium niobate waveguide," 2008 International Topical Meetings on Microwave Photonics (MWP 2008), Gold Coast, Australia, Sept. 30 - Oct. 3, 2008, B4P-B.
- A. Kanno, K. Sasagawa and M. Tsuchiya, "W-band live electro-optic imaging system," The European Microwave Conference (EuMC2008), Amsterdam, the Netherlands, Oct. 28-30, 2008, EuMC20-1.
- K. Sasagawa, A. Kanno and M. Tsuchiya, "W-band Photonic Signal Generation with Carrier and Unnecessary Sidebands Suppressed by Second Harmonic Generation," Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS2008), Newport Beach, CA, Nov. 9-13, 2008, TuZ-2.
- 笹川 清隆, 菅野 敦史, 土屋 昌弘, "第2高調波発生によるW-band 2トーン光信号生成," 電子情報通信学会 総合大会, C_14_13, 2009/3/17.
- Kiyotaka Sasagawa, Atsushi Kanno, Masahiro Tsuchiya, "Real-time Visualization of W-band Millimeter Wave by Live Electro-optic Imaging," PIERS 2009, Mar. 3, 2009.
- 笹川 清隆, 藤原 正英, 野田 俊彦, 徳田 崇, 太田 淳, "第二高調波発生による4逓倍光2トーン信号生成," 応用物理学会, 11a-P8-46, 2009/9/11
- 笹川 清隆, 土屋 昌弘, "電界カメラ -高周波電界のリアルタイムイメージング-, " IPG秋合宿, 2009/9/28.
- [8] Kiyotaka Sasagawa, Masahide Fujiwara, Toshihiko Noda, Takashi Tokuda, Jun Ohta, "Quadruple Frequency Photonic Signal Generation by Optical Frequency Doubling," OSA Annual Meeting 2009, FMD4, Oct. 12, 2009.

謝辞

23

- (独)情報通信研究機構 土屋昌弘 博士, 菅野 敦史博士, 香川高等専門学校 塩沢隆広教授のご協力に感謝いたします。