

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号： 14401
 研究種目： 基盤研究（B）
 研究期間： 2009～2011
 課題番号： 21360170
 研究課題名（和文）分極反転光変調技術を用いた高性能無線信号－光信号変換デバイスの開発
 研究課題名（英文）Research on advanced wireless-optical signal converters utilizing optical modulation technique in polarization-reversal structures
 研究代表者
 村田 博司（MURATA HIROSHI）
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
 研究者番号：20239528

研究成果の概要（和文）：

本研究では、“強誘電体の分極反転構造を利用した高速電気光学変調技術”を用いることにより、複数の無線信号を同時に受信し、かつ、到来方向ごとに分離して光信号に変換することのできる“高性能無線信号－光信号変換デバイス”を開発した。このデバイスは、

- ・複数の無線信号を同時に受信して入射角度に応じて異なる光信号に分離可能
- ・低誘導かつ低雑音、小型軽量で低消費電力
- ・大容量空間多重無線通信システムへの適用が容易

という優れた特長を持つものである。ミリ波 40GHz 帯で動作するデバイスの動作解析、設計、試作実験を行い、その基本動作確認実験に成功した。隣接する空間多重チャンネル間の光信号としての分離比は 13dB を、光信号をミリ波信号に再変換した後の C/N は 25dB を得た。

研究成果の概要（英文）：

In this research project, a new microwave/millimeter-wave to lightwave converter utilizing electro-optic modulation with polarization reversed structures has been proposed and developed. The proposed device has several advanced functions/characteristics: receiving multiple wireless signals coming from different directions simultaneously and converting them into different optical signals according to their injection angles, low noise, low cross-talk, low-power consumption, light weight and applicable to the space-division-multiplexing technology for broadband wireless communication systems. In the three-year research, a new device operating around 40GHz was designed and fabricated, and the basic performances were experimentally demonstrated. The wireless space channel isolation was obtained over 13dB at 38GHz. The carrier to noise ratio in the re-converted 38GHz signal was over 25dB.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学 ・ 電子デバイス・電子機器

キーワード： アンテナ電極光変調器、分極反転、Radio-Over-Fiber、光集積回路、
電気光学効果、空間多重無線通信、パッチアンテナ、ミリ波

1. 研究開始当初の背景

無線通信技術の社会への浸透には目覚しいものがある。携帯電話・PHSの国内登録台数は実に1億台を超えており、なおも増加傾向にある。パソコン用無線LANも急速な普及を見せており、ETCや情報家電をはじめとして自動車や家電製品にもさまざまな無線通信機器が装備されている。ネットワークロボットの研究も進められている。無線通信は今後も一層の広がりを見せることは確実である。その一方で、マイクロ波帯の周波数資源は枯渇してきており、無線信号の周波数をマイクロ波帯からミリ波帯（例えば60GHz帯）へ移行させることは不可避な情勢である。来るべきユビキタス・モバイルネットワーク社会の実現のためには、多種多様な大容量無線信号を自在に制御・交換することができるミリ波帯無線通信技術の構築が必要不可欠となっている。

2. 研究の目的

本研究は、研究代表者がかねてから研究を進めてきた“強誘電体の分極反転構造を用いた電気光学変調技術”を利用することにより、複数の無線信号を同時に受信し、さらにそれらを到来方向ごとに分離し、それぞれ別の光信号に変換することのできる“新しい高性能無線信号-光信号変換デバイス”を開発することを目的とする。さらに、このデバイスを光信号処理技術（フォトリソ技術）と融合させることで、ミリ波帯無線信号の低誘導で低雑音な受信・制御・復調技術を構築して、省エネルギー高速モバイルネットワーク実現の可能性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) プロトタイプ信号変換デバイスの試作

平面型アンテナと光変調電極を光変調器基板上に集積・直結したアンテナ電極を用いて、空間多重無線信号を高い消光比で分離するために必要な条件を求め、デバイス設計のための基礎データを明らかにする。このために、15GHz帯で動作するプロトタイプの設計、試作、評価実験を行う。

(2) 40GHz帯信号変換デバイスの試作

プロトタイプデバイスのデータを基にして、ミリ波40GHz帯で動作する空間多重信号分離・光信号変換デバイスの試作、評価実験を行う。さらに、光信号に変換後、フォトリソ技術を用いて、信号の処理・増幅を行うことで、無線-光信号変換の性能を向上させることにも挑戦する。

(3) 60GHzおよび新構造デバイスの試作

小信号免許不要バンドである60GHz帯で

動作する無線信号-光信号変換デバイスの可能性を追究する。また、平面アンテナをベースとした新しいタイプのアンテナ電極デバイスの可能性も追究する。

4. 研究成果

(1) プロトタイプ信号変換デバイスの試作

電気光学結晶基板上に、マイクロストリップパッチアンテナと定在波共振型変調電極を作製して、両者を接続用の線路で直結させた構造のアンテナ電極を用いて、プロトタイプデバイスを試作した。

電気光学結晶基板には、厚さ0.4mmのz-cut LiTaO₃を用いて、基板表面に2~4本の直線導波路とアンテナ電極を形成した。デバイスの各導波路に異なる分極反転構造を持たせることにより、無線信号の入射方向に応じて光信号の出力ポートが切り替わることを確認した。光波の走行時間による位相ずれの効果を考慮するとともに、基板中での不要共振モードの影響を抑制することで、到来角が15度ずつ異なるミリ波帯無線信号を分離比13dB以上で分離できることを明らかにした。

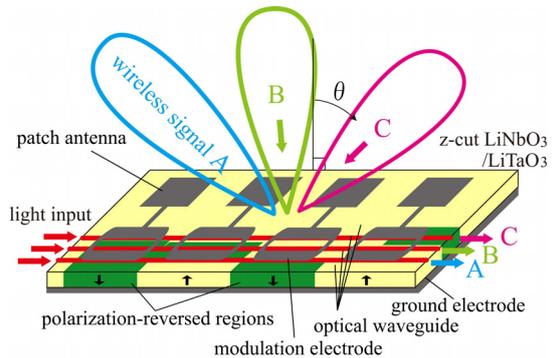


図1 プロトタイプデバイスの基本構成

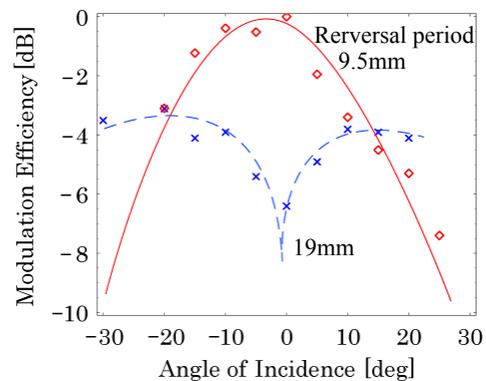


図2 15GHz帯無線信号変換の指向性（赤：導波路A（分極反転周期9mm）、青：導波路B（分極反転周期19mm））

(2) 40GHz 帯信号変換デバイスの試作

プロトタイプデバイスの試作で得られたデータを基にして、40GHz 帯デバイスの評価実験を進めた。

アンテナと共振電極の共振周波数を揃えて、両者の整合を取るために、3次元電磁界解析ソフトを用いた詳細な解析を行い、デバイスを設計・試作した。基板共振モードの影響を避けるために、厚さ 0.25mm の z-cut LiTaO₃ を用いた。空間多重信号の分離を上げるために、8 素子のアレイ構造を用いた。実験により、複数の 40GHz 帯空間多重信号を同時に光信号に変換できることを実証した。空間多重チャネル分離比は 13dB 以上であった。また、光フィルターと光増幅器を用いることで、高品質な信号変換・伝送ができることを明らかにした。光伝送後に再変換された 40GHz 信号の C/N 比は 25dB を得た。

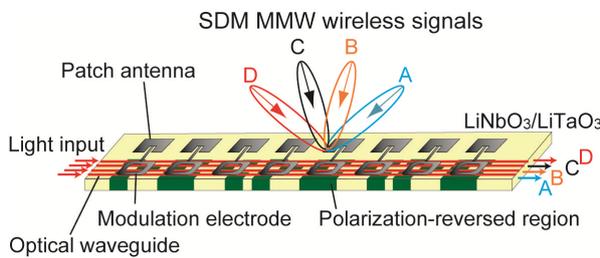


図 3 40GHz 帯デバイスの基本構成

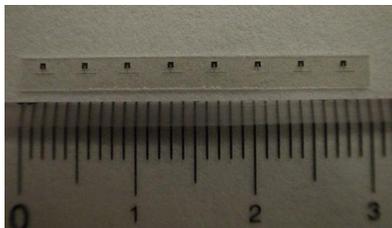


図 4 試作した 40GHz 帯デバイスの写真

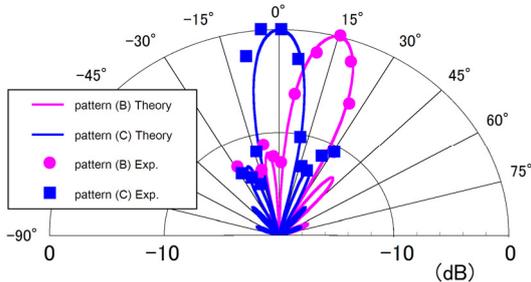


図 5 40GHz 帯無線信号変換の指向性 (赤：導波路 B、青：導波路 C)

(3) 60GHz および新構造デバイスの試作

小信号免許不要 60GHz 帯で動作するデバイスの解析・設計を行った。60GHz 帯では、

基板厚さを 0.15mm 程度にすることで、良好な特性が期待できることを明らかにした。

また、アンテナ部分と光変調器部分をそれぞれ別の材料からなる基板上に作製して、それらを接続することで、感度を 10 倍以上高められることを明らかにした。

さらに、パッチアンテナに光変調電極を組み込んだ新しいタイプのアンテナ電極デバイスを考案して、その基本特性を明らかにした。このデバイスは、あたかもアンテナのみで無線信号—光信号変換を行うことができるために、共振周波数やインピーダンス整合が不要であることが特長である。さらに、アンテナと光導波路との配置を巧みに調整した疑似位相整合 (QPM) 配置を利用することで、感度を 10 倍程度高められることも明らかにした。

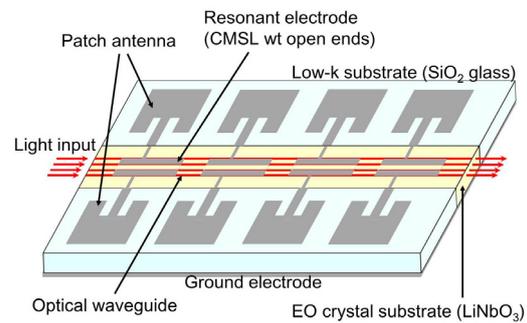


図 6 60GHz 帯デバイスの構成の例

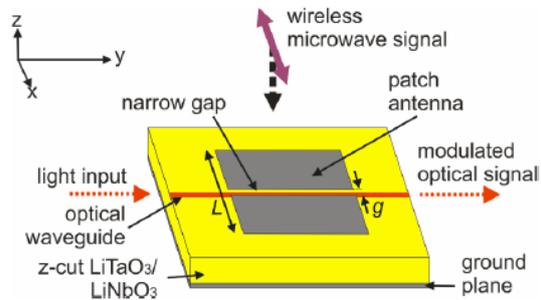


図 7 パッチアンテナのみを用いた新型デバイスの基本構成

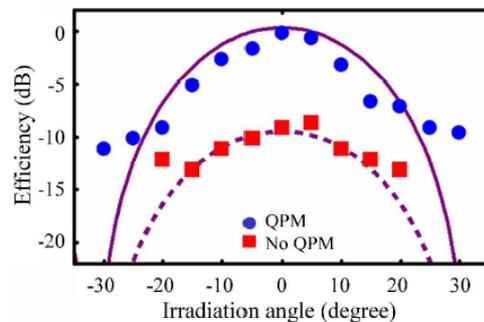


図 8 パッチアンテナのみを用いた新型デバイスの評価結果 (赤：通常の配置、青：QPM 配置)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, “Discrimination of wireless electromagnetic signals by electro-optic modulators using an array of patch antennas embedded with orthogonal gaps,” *The Journal of Physics* (2012). (Accepted for publication) 査読有.
- ② Hiroshi Murata, Ryota Miyanaka, and Yasuyuki Okamura, “Wireless space-division-multiplexed signal discrimination device using electro-optic modulator with antenna-coupled electrodes and polarization-reversed structures,” *The International Journal of Microwaves and Wireless Technologies*, Vol.4, No.3, pp.399-405 (2012). 査読有.
- ③ Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, and Yasuyuki Okamura, “Electro-optic microwave-lightwave converters utilizing patch antennas with orthogonal gaps,” *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials*, Vol.21, No.1, 1250001 (2012). 査読有.
- ④ Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, and Yasuyuki Okamura, “Electro-optic microwave-lightwave converters utilizing a quasi-phase-matching array of patch antennas with a gap,” *Electronics Letters*, Vol.48, No.1, pp.36-38 (2012). 査読有.
- ⑤ Quang Hong Ngo, Hiroshi Murata, and Yasuyuki Okamura, “DFG-based microwave/millimeter-wave signal generation device by using LiTaO₃ rectangular waveguide,” *IEICE Electronics Express*, Vol.8, No.22, pp.1892-1898 (2011). 査読有.
- ⑥ Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, and Yasuyuki Okamura, “Novel electro-optic microwave-lightwave converters utilizing a patch antenna embedded with a narrow gap,” *IEICE Electronics Express*, Vol.8, No.7, pp.491-497 (2011). 査読有.
- ⑦ 村田博司, “分極反転電気光学変調器”, *オプトロニクス*, Vol.30, No.351, pp.112-117 (2011). 査読無.
- ⑧ Quang-Hong Ngo, Hiroshi Murata, and Yasuyuki Okamura, “Microwave signal generation device using difference frequency generation in a LiTaO₃ rectangular waveguide,” *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol.28, No.19, pp.2791-2799 (2010). 査読有.
- ⑨ Akira Enokihara, Tetsuya Kawanishi, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, and Masayuki Izutsu, “Measurement of small chirp-parameter for Mach-Zehnder-type

optical modulator,” *Optics Communications*, vol.282, pp.4229-4232 (2009). 査読有.

[学会発表] (計 21 件)

- ① Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, “Electro-optic modulators with gap-embedded patch antenna array for wireless-fiber links,” *The 7th Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (APMP2012)*, WD-1, April 25-27(25), Kyoto, Japan. 査読有.
- ② Junya Nishioka, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, “New electro-optic modulators for over 100 GHz wireless signals using two-dimensional array of split-ring resonators,” *The 7th Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (APMP2012)*, WD-2, April 25-27(25), Kyoto, Japan. 査読有.
- ③ Naohiro Kohmu, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, “New electro-optic modulator using double antenna-coupled resonant electrode for wireless millimeter-wave signal,” *The 7th Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (APMP2012)*, PA-1, April 25-27(26), Kyoto, Japan. 査読有.
- ④ 村田博司, “分極反転デバイスによる光—マイクロ波制御 (招待講演)”, シンポジウム「分極反転が拓く光制御の未来」2012年(平成24年)春季第59回応用物理学関係連合講演会, 15p-F4-4, 早稲田大学, 東京都新宿区 (2012年3月15-18(15)日). 査読無.
- ⑤ Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, “High-speed guided-wave electro-optic modulators using an array of gap-embedded patch antennas with phase reversal,” *電子情報通信学会 マイクロ波・ミリ波フォトリクス研究会(MWP)*, 信学技報(IEICE Technical Report), Vol.111, No.413, MWP2011-72, pp.133-138, 大阪大学コンベンションセンター, 大阪府吹田市 (2012年1月26-27(26)日). 査読無.
- ⑥ Hiroshi Murata, Ryota Miyanaka, Yasuyuki Okamura, “Millimeter-wave wireless signal discrimination device using electro-optic modulator with antenna-coupled electrodes and polarization-reversed structures of ferroelectric optical crystal,” *The 41st European Microwave Conference (EuMC2011)*, EuMC/EuMIC11-1, pp.1241-1244, October 9-14(11), 2011, Manchester, UK. 査読有.
- ⑦ Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, “Electro-optic microwave-lightwave converters for dual-polarized wireless signals using patch antennas embedded with orthogonal gaps,”

- The 8th International Symposium on Modern Optics and Its Applications (ISMOA), Contributed Paper-8, July 4-7(7), 2011, Bandung, Indonesia. 査読有.
- ⑧ Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, Hidehisa Shiomi and Yasuyuki Okamura, “Electro-optic microwave-lightwave converter using patch antenna embedded with a narrow gap for optical modulation,” The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2011), JWA122, May 1-6(4), 2011, Baltimore, USA. 査読有.
- ⑨ Yusuf Nur Wijayanto, Hiroshi Murata, Yasuyuki Okamura, “New electro-optic microwave-lightwave converters using channel optical waveguides and microstrip-patch-antennas with narrow-gaps,” 電子情報通信学会 マイクロ波・ミリ波フォトニクス研究会(MWP), 信学技報(IEICE Technical Report), Vol.111, No.22, MWP2011-2, pp.7-12, 機械振興会館, 東京都 (2011年4月28日). 査読無.
- ⑩ 宮中亮太, 村田博司, 岡村康行, “分極反転構造アンテナ電極電気光学変調器を用いた空間多重ミリ波無線信号受信・分離デバイス”, 2011年春季電子情報通信学会総合大会, C-14-15, 東京都市大学, 東京都 (2011年3月14-17(17)日). 査読無.
- ⑪ 宮中亮太, 村田博司, 岡村康行, “分極反転構造アンテナ電極光変調器を用いた空間多重ミリ波信号の分離”, 電子情報通信学会 光エレクトロニクス研究会 (OPE), Vol.110, No.395, OPE2010-159, pp.113-118, 大阪大学コンベンションセンター, 大阪府吹田市 (2011年1月27-28(28)日). 査読無.
- ⑫ 宮中亮太, 村田博司, 岡村康行, “パッチアンテナと定在波共振電極を用いたミリ波帯電気光学変調器”, 2010年(平成22年)秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16a-G-2, 長崎大学, 長崎市 (2010年9月14-17(16)日). 査読無.
- ⑬ Hiroshi Murata, “Electro-optic modulators using antenna-coupled electrodes and polarization reversed structures (Invited Talk),” The IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2010), Workshop: Emerging Optical Modulation Technologies for RF Photonics, WFG-5, May 23-28(28), 2010, Anaheim, CA, USA. 査読有.
- ⑭ Hiroshi Murata, Noriyoshi Suda, Ryota Miyanaka and Yasuyuki Okamura, “Electro-optic modulators utilizing patch-antenna-coupled electrodes and polarization-reversed structures (Invited Talk),” The 2010 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (APMP2010), TA3-3, April 26-28(27), 2010, Hong Kong, China. 査読有.
- ⑮ 宮中亮太, 村田博司, 岡村康行, “ミリ波帯空間多重無線通信システムのための分極反転構造アンテナ電極電気光学変調器”, 2010年(平成22年)春季第57回応用物理学関係連合講演会, 19a-A-7, 東海大学, 神奈川県平塚市 (2010年3月17-20(19)日). 査読無.
- ⑯ 村田博司, 須田規仁, 宮中亮太, 岡村康行, “アンテナ電極を用いた高速電気光学変調器(招待講演)”, 電子情報通信学会 第2回マイクロ波・ミリ波フォトニクス研究会(MWP), MWP09-09, pp.1-10, 産業技術総合研究所, 大阪府池田市 (2010年1月27日). 査読無.
- ⑰ 村田博司, 須田規仁, 横田智久, 岡村康行, “アンテナ電極電気光学変調器を用いた無線信号受信デバイス”, 2009年秋季電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-14-5, 新潟大学, 新潟市 (2009年9月15-18(16)日). 査読無.
- ⑱ 村田博司, 須田規仁, 横田智久, 宮中亮太, 岡村康行, “分極反転構造アンテナ電極電気光学変調器を用いた空間多重無線信号の分離”, 2009年(平成21年)秋季第70回応用物理学会学術講演会, No.3, 11a-P8-45, p.1111, 富山大学, 富山市 (2009年9月8-11(11)日). 査読無.
- ⑲ Hiroshi Murata, Noriyoshi Suda, Yasuyuki Okamura, “Electro-optic modulator using patch antenna-coupled resonant electrodes and polarization-reversed structure for radio-on-fiber systems,” The Conference on Lasers and Electro-Optics 2009 (CLEO2009), CTuT5, May 31-June 5(2), 2009, Baltimore, ML, USA. 査読有.
- ⑳ Hiroshi Murata, Ha Viet Pham, Yasuyuki Okamura, Takahide Sakamoto, Tetsuya Kawanishi, “Single-drive electro-optic modulator for duo-binary modulation utilizing non-periodically polarization-reversed structure,” The Conference on Lasers and Electro-Optics 2009 (CLEO2009), JWA35, May 31-June 5(3), 2009, Baltimore, ML, USA. 査読有.
- ㉑ Hiroshi Murata, Ha Viet Pham, Tsuyoshi Inoue, Yasuyuki Okamura, Takahide Sakamoto, Tetsuya Kawanishi, “New optical frequency-shift-keying modulator utilizing three-branch-waveguide interferometer and polarization-reversed structure,” The 2009 Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (APMP2009), A03, April 22-24(22), 2009, Beijing, China. 査読有.

〔図書〕（計1件）

- ① Hiroshi Murata, “RF Photonics -Optical Pulse Synthesizer-,” Antao Chen and Edmond Murphy Ed., “Broadband Optical Modulators: Science, Technology, and Applications,” Chapter 20, pp.455-468, CRC Press, November 16, 2011.

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：無線信号受信分離装置

発明者：村田博司

権利者：国立大学法人大阪大学

種類：特許

番号：特願 2007-223266, 特開 2009-60183

出願年月日：平成 19 年 8 月 29 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ec.ee.es.osaka-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 博司 (MURATA HIROSHI)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号：20239528

(2) 研究分担者

塩見 英久 (SHIOMI HIDEHISA)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号：00324822