

# ミリ波帯光 SSB 変調器の開発と Radio-On-Fiber システムへの応用 (031207002)

## Millimeter-wave optical SSB modulator and its application to Radio-On-Fiber system

岡村 康行 大阪大学  
Yasuyuki Okamura Osaka University

村田 博司 塩見 英久  
Hiroshi Murata, Hidehisa Shiomi  
大阪大学  
Osaka University

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

### 概要

本研究プロジェクトでは、大阪大学で提案された分極反転構造電気光学変調技術を用いたミリ波帯高性能光 SSB (Single Side Band) 変調器を開発した。さらに、この光 SSB 変調器を Radio-On-Fiber (無線信号光ファイバー伝送) システムにおけるミリ波一光波変換デバイスに適用して、ミリ波帯無線信号高品質光ファイバー伝送の可能性を追究した。タンタル酸リチウムを用いて光 SSB 変調器を設計、試作し、動作実験を行ったところ、変調周波数 38GHz において、サイドバンド間消光比 30dB 以上という極めて良好な特性を得た。開発した光 SSB 変調器モジュールを用いて、ミリ波帯 38GHz 信号の Radio-On-Fiber 実験を行ったところ、通常の光 DSB 変調器を用いた場合に比べて光ファイバーの分散による信号劣化が大幅に (20dB 以上) 改善されることを確認した。また、共振型変調電極と分極反転構造を用いた新しい光 SSB 変調器の提案と試作実験、高速トランジスタを用いた高速受光素子モジュールの試作実験も行った。

### Abstract

Novel optical single side-band (SSB) modulators using polarization-reversal structures were developed for application to radio-on-fiber (ROF) systems. SSB modulators operating in millimeter-wave frequency range were designed and fabricated by use of z-cut LiTaO<sub>3</sub>. SSB modulation characteristics with a high side-band suppression ratio over 30dB were experimentally demonstrated. Utilizing the developed SSB modulators, millimeter-wave signal transfer over ~10km long silica-fibers was confirmed experimentally. The usefulness of the optical SSB modulators which the researchers had proposed was verified and its possibility for ROF systems was proved.

### 1. まえがき

将来の大容量移動体通信のための周波数資源としてミリ波帯を用いることは確実である。このとき必要となる基地局-中央局間のミリ波伝送には Radio-On-Fiber(ROF) システムが非常に有用である。石英系光ファイバーの超広帯域性と超低損失性を利用することで、金属ケーブルや自由空間伝搬では損失や干渉の問題があるミリ波信号を高品位に伝送することができる。ROF システムにおけるキーデバイスは、高速光変調器と受光素子である。特に、高速光変調器としては、光ファイバーの分散による信号劣化を防ぐために光 Single Side-Band (SSB)変調器が必要とされている。本研究プロジェクトでは、大阪大学で提案された分極反転構造光変調技術を用いたミリ波帯光 SSB 変調器の開発とその ROF システムへの応用を追究した。

### 2. 研究内容及び成果

#### 2.1. 分極反転構造電気光学 SSB 変調器の開発

ミリ波帯で動作する分極反転構造電気光学 SSB 変調器の動作解析、設計、試作、動作実験を行なった。電気光学結晶としてはタンタル酸リチウムを用いて、特に、ミリ波帯での動作のために、分極反転構造と変調電極構造に工夫を施した構成の新しい光 SSB 変調器を考案した。基本構成を図 1 に示す。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムなどの電気光学結晶基板上に、マッハツェンダー型光導波路と進行波型変調電極を配した構造となっている。また、電気光学結晶基板の自発分極の向きを選択的に反転させている。分極反転構造による変調位相制御技術を用いているために、1つの RF 変調信号を入力するだけで、変調位

相が $\pi/2$  ずれた 2つの光位相変調特性が同時に得られる構成となっている。これにより、簡単な電気回路構造、光学回路構造で、任意の周波数帯域で光 SSB 変調特性を得ることができる。また、デバイスの断面において、光導波路中を伝搬する光波界分布と変調電極に沿って進行するミリ波電界分布が完全に対称となる構造を採用した。これにより、マッハツェンダー型光導波路の 2本の光導波路における RF 変調の深さ (位相変調指数の大きさ) を完全に揃えて、光 SSB 変調におけるサイドバンド間の消光比を大きく取ることが可能である。

考案したデバイスの動作解析、設計、および試作を行った。動作実験の結果、ミリ波帯 38GHz~40GHz において、サイドバンド間消光比 30dB 以上という極めて良好な光 SSB 変調特性が得られた。(図 2) これは、分極反転構造を用いた電気光学 SSB 変調器としては、これまでに報告されているものの中で世界最高速かつ最良の特性である。他の方式による光 SSB 変調器と比べても世界最高レベルにあり、極めて有用性の高いものである。

#### 2.2 38GHz 無線信号光ファイバー伝送実験

開発した分極反転構造ミリ波帯光 SSB 変調器を用いて、実際にミリ波帯 38GHz 無線信号の長距離光ファイバー伝送実験を行った。

光 SSB 変調器にミリ波帯コネクタと単一モード光ファイバーを接続固定したミリ波帯光 SSB 変調器モジュールを作製し、38GHz 帯無線信号を光ファイバーを用いて中継、伝送する Radio-On-Fiber(ROF)実験を行なった。実験系を図 3 に示す。レーザー光 (波長 1.55 $\mu$ m) をミリ波帯 38GHz 無線信号で SSB 変調した後、Er ドープ光ファ

イバーアンプを用いて増幅し、単一モード石英光ファイバー（長さ~10km）中を伝送させた。光ファイバーからの出力光を高速フォトダイオードで検波し、得られたミリ波信号をスペクトラムアナライザで測定した。同様の実験を光 DSB 強度変調器を用いても行い、比較した。結果を図4に示す。本研究プロジェクトで開発した光 SSB 変調器を用いた場合には、光 DSB 変調器に比べて、20dB 以上のパワーペナルティーの改善が見られた。C/N 比も 20dB 以上が得られ、その有用性を確認した。

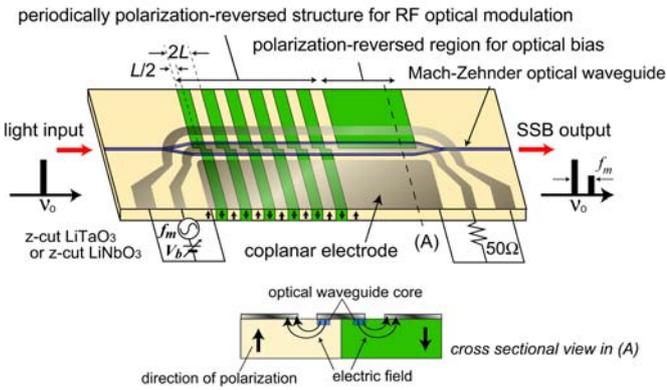


図1 分極反転構造電気光学 SSB 変調器

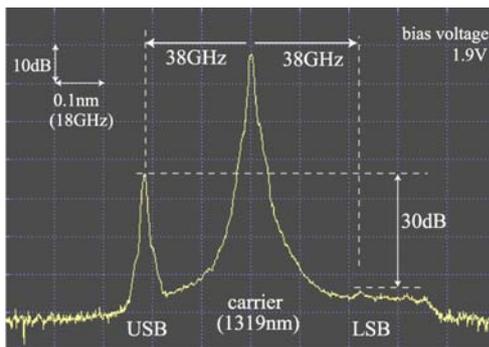


図2 光 SSB 変調光スペクトルの測定例  
( $f_m=38\text{GHz}$ ,  $P_{in}=+18\text{dBm}$ ,  $V_b=1.9\text{V}$ )

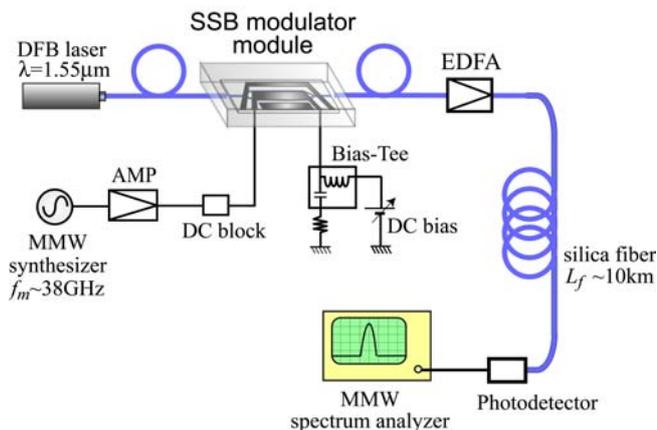


図3 ミリ波信号 ROF システム実験系

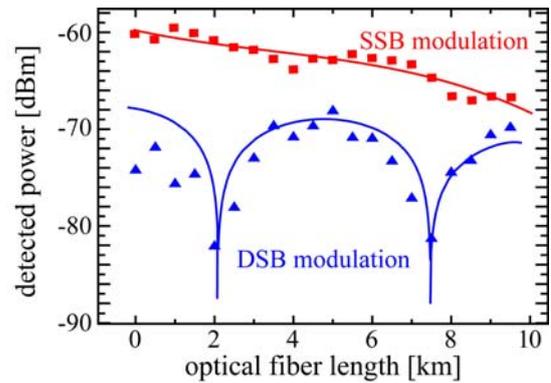


図4 伝送後のミリ波信号出力とファイバー長の関係

### 3. むすび

強誘電体分極反転構造を用いた新しいミリ波帯光 SSB 変調技術を確立して、その ROF システムにおける有用性を実証した。特に、ハイブリッド回路等の外部回路素子を一切必要とすることなく、高周波信号を直接入力することで光 SSB 変調を実現できることは、ROF システムを構成する上で非常に有利である。また、上記デバイスとは異なる方式（共振型変調電極と分極反転構造）を用いた新しいタイプの高効率光 SSB 変調器の提案、試作、動作確認実験を行い、特許申請も行った。HEMT を用いた高速受光素子の研究開発も行った。今後は、60GHz 帯光 SSB 変調器の開発と ROF システムへの応用を進める予定である。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] 村田博司, 岡村康行, “分極反転構造導波型電気光学 SSB 変調器,” レーザー研究, Vol.32, No.3, pp.186-190 (March, 1, 2004).
- [2] Hiroshi Murata, Shigehiko Matsunaga, Akira Enokihara, and Yasuyuki Okamura, “Resonant electrode guided-wave electrooptic phase modulator using polarization-reversal structures,” *Electronics Letters*, Vol.41, No.8, pp.497-498 (April 14, 2005).
- [3] Hiroshi Murata, Kazumasa Kaneda, Akira Enokihara, and Yasuyuki Okamura, “38GHz signal optical fiber transmission using guided-wave electrooptic single-sideband modulators with polarization reversals,” *Proceedings of the 35th European Microwave Conference 2005 (EuMC2005)* (Paris, France) EuMC03-1, pp.53-56 (October 3-7, 2005).

#### 【申請特許リスト】

- [1] 村田博司, 「電気光学 SSB 光変調器及び光周波数シフタ」、日本、特願 2004-250085、平成 16 年 8 月 30 日。

#### 【登録特許リスト】

- [1] 村田博司, 小林哲郎, 「周期ドメイン反転構造電気光学 SSB 光変調器・光周波数シフタ」、日本、特願 2000-250492、申請：平成 12 年 8 月 22 日、登録：平成 17 年 1 月 21 日、特許第 3639198 号。

#### 【受賞リスト】

- [1] Hiroshi Murata, Kazumasa Kaneda, Akira Enokihara, and Yasuyuki Okamura: *EuMC (European Microwave Conference) Microwave Prize (Best Paper Award)*, “38GHz signal optical fiber transmission using guided-wave electrooptic single-sideband modulators with polarization reversals,” (October, 7, 2005).