

分極反転を用いた高周波帯域光変調器の可能性

安 達 雅 浩^{*1}

西 川 憲 次^{*2}

黒 川 悟^{*3}

森 本 朗 裕^{*4}

[要 旨]

電圧により光波制御が可能な電気光学結晶ニオブ酸リチウム (LN) を用いて高周波帯域で動作する光変調器の実現可能性について検討を行った。今回試作した光変調器は、結晶内で生じる高周波電気信号と光の速度差による変調度の低下を抑制するために、電気光学結晶の極性反転（分極反転）により擬似的に速度を合わせることが可能な「擬似速度整合」技術を利用することにより25GHz帯での動作確認を行った。

1 はじめに

ブロードバンド普及率が5割を超え、今後ネットワークの高速・大容量化への要求はますます膨らむなか、情報通信環境整備のための技術開発・製品開発への取り組みが進められている。高速・大容量通信が期待できる光通信技術とマイクロ波・ミリ波による無線通信技術との融合によるもので「マイクロ波・ミリ波フォトニクス技術」は、次世代通信方式として期待されている。例えば近距離間での無線大容量通信にはミリ波帯を、ネットワークの基幹通信には光を用いる電波-光融合の通信形態が総務省で認可されており、26GHz帯が割り当てられている。高速・大容量通信が可能なマイクロ波・ミリ波フォトニクス技術は、今後情報端末機器へのブレークダウンも予想され、さらには情

報通信機器のみならず情報家電・ネットセキュリティ関連等への利用拡大も期待できる。

このようなことから本研究開発においては、高周波電気信号を光信号に変換して伝送する光変調器の試作を実施した。この光変調器はミリ波帯での高周波動作が可能な「擬似速度整合」技術を利用して25GHzを設計周波数とする変調器の試作を行った。

2 擬似速度整合型光変調器の試作

2. 1 分極反転層の作成

電圧印加による屈折率変化を生じるポッケルス効果を有するLNは、電気光学結晶であり電氣的に光を制御するデバイスに一般的に用いられているが、強誘電体結晶でもあり分極特性も有している。この分極は21kV/mmの高電界により極性反転し、結晶内部の電氣的な特性（電気光学係数）も極性が反転する。この極性反転特性を制御することにより、ミリ波と光の擬似速度整合が可能となる。LNの誘電率は43、屈折率は2.3であり、ミリ波は誘電率、光は屈折率の影響により結晶内部での進

* 1 産学公連携推進室 技師

(現 京都府商工部産業支援室)

* 2 京セミ株式会社

* 3 独立行政法人産業技術総合研究所

* 4 立命館大学 教授

行速度が制限されるが、擬似速度整合を用いると極性反転による位相制御が可能となり、式(1)により、格子長Lからミリ波と光波の速度差を補完することができる。

$$L = 1/2 f_m (1/v_m - 1/v_0) \quad (1)$$

f_m : 変調周波数 v_m = 結晶中のミリ波の位相速度
 v_0 = 結晶中の光の群速度

今回変調周波数を25GHz、 $L=2.6\text{mm}$ と求められた。強度変調用マッシュェンダー(MZ)干渉計型光導波路を作成したz-cutのLN結晶の+C面に、ア

ルミ蒸着とフォトソグラフィにより作成した分極反転電極パターンを図1に示す。

次に高電界印加により作成したパターン形状部分のみを分極反転させるために、図2のような構成を行った。気中放電を避けるために絶縁性油として用いられるフロリナートに浸して行った。

2.2 コプレーナ電極の作成

変調電極用コプレーナ線路とz-cutのLN結晶にMZ干渉計型光導波路を配置したときの変調動作モデルを図3に示す。変調用電極(HOT電極)直下に光導波路を配置し、接地電極(GND電極)を

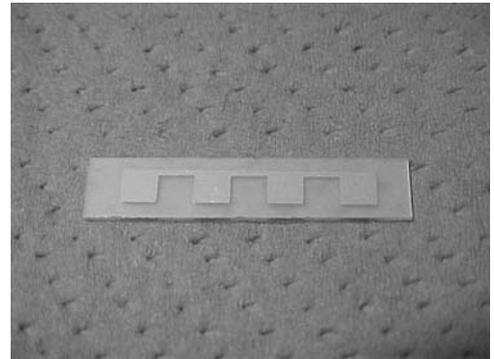
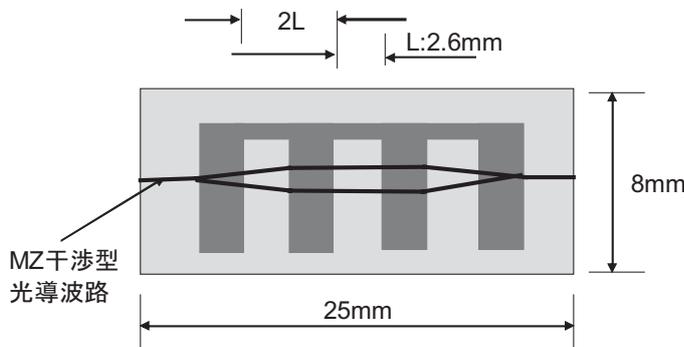


図1 作成した分極反転電極パターン

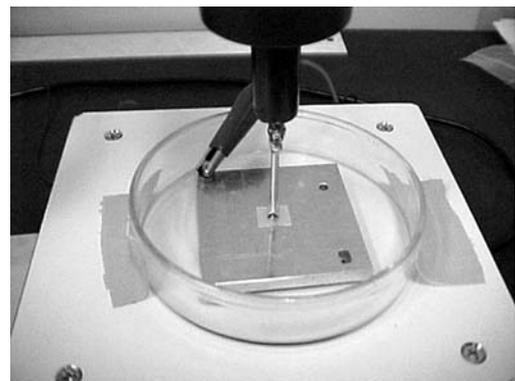
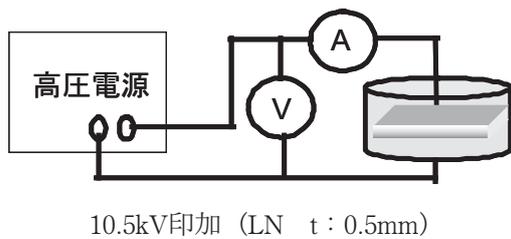


図2 分極反転層作成構成

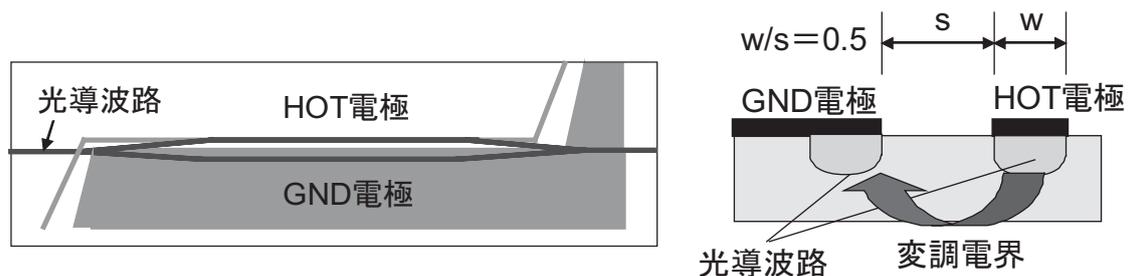


図3 変調電極用コプレーナ線路と変調動作モデル

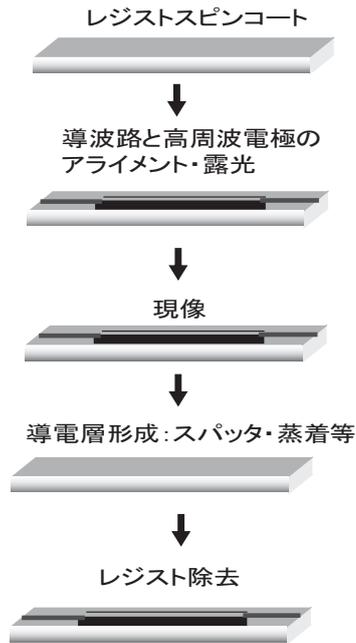


図4 リフトオフによるコプレーナ線路作成工程

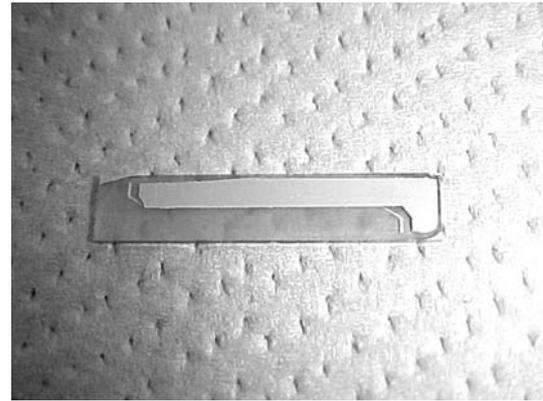


図5 作成したコプレーナ電極

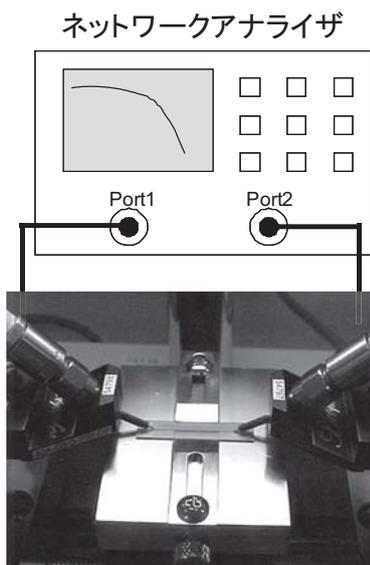


図6 コプレーナ線路測定構成

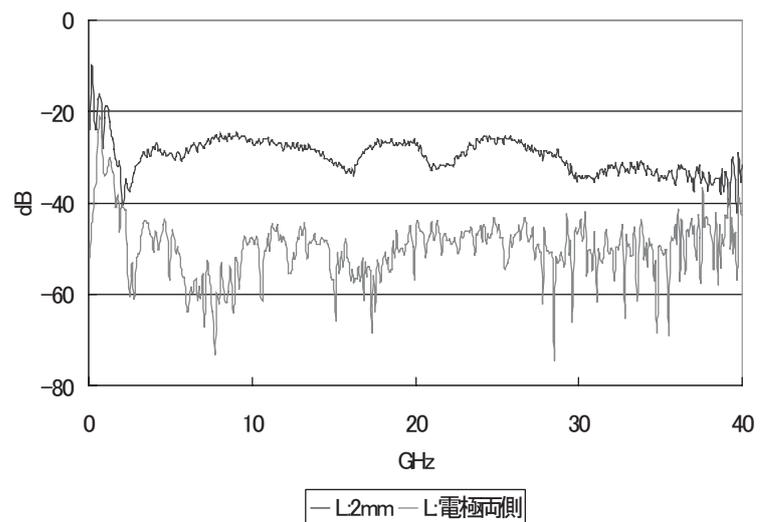


図7 測定結果

もう片方の光導波路上に配置している。

導体にはチタンを用いてリフトオフにてフォトリソグラフィを実施した。リフトオフの工程を図4に示す。

作成したチタンのコプレーナ線路の評価を行った。伝送路へは高周波用コンタクトプローブを用いて40MHz~40GHzの高周波を入力し、ネットワークアナライザにて伝送特性S21を測定した。

図6に測定構成、図7に測定結果を示す。

プローブ間2mmのときと電極両側のときと比較すると、電極両側においてはかなり伝送ロスが生じていることがわかる。リフトオフ工程においては、堆積する金属の厚みがレジストの厚みで制限されるため、伝送線路自体の厚みが取れないことが原因と考えられる。

2. 3 光ファイバ調芯・接着

z-cutのLN結晶の変調動作モデル図3において、変調電界は縦方向(z方向)に印加され、同方向の光波のみが変調を受けるため、入射する光波の偏波面を合わせることで変調感度の向上を図ることができる。そのため光入力には偏波面保存ファイバを用いて、調芯・接着する必要がある。図8に接続モデル、図9に実際に光ファイバを調芯・接着している様子を示す。固定するときは、光ファイバの屈折率とLN結晶の屈折率の中間程度の屈折率の接着剤を用いると反射や漏れを少なくすることができる。今回屈折率1.55の紫外線硬化樹脂

を用いて固定した。光導波路作成時のスループットは-6dB程度であったが、調芯・接着すると-25dB程度になっていた。分極反転層とコプレーナ線路を作成する際の2度フォトリソグラフィ工程により、研磨面が欠けたり、傷が入ったりしたため、最終的に研磨工程を設ける手順にすることは今後の課題である。

3 擬似速度整合型光変調器の評価

今回試作した擬似速度整合型光変調器の動作確認を図10の測定構成にて行った。図6のコプレーナ線路の伝送特性評価と同様にコンタクトプロー

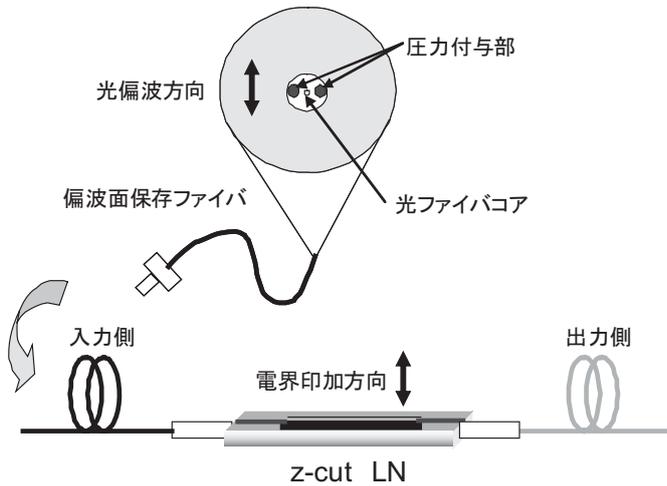


図8 接続モデル

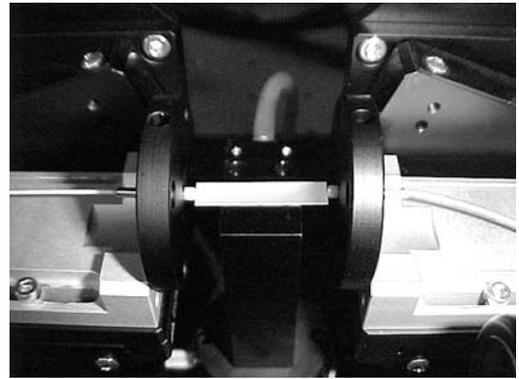


図9 調芯している様子

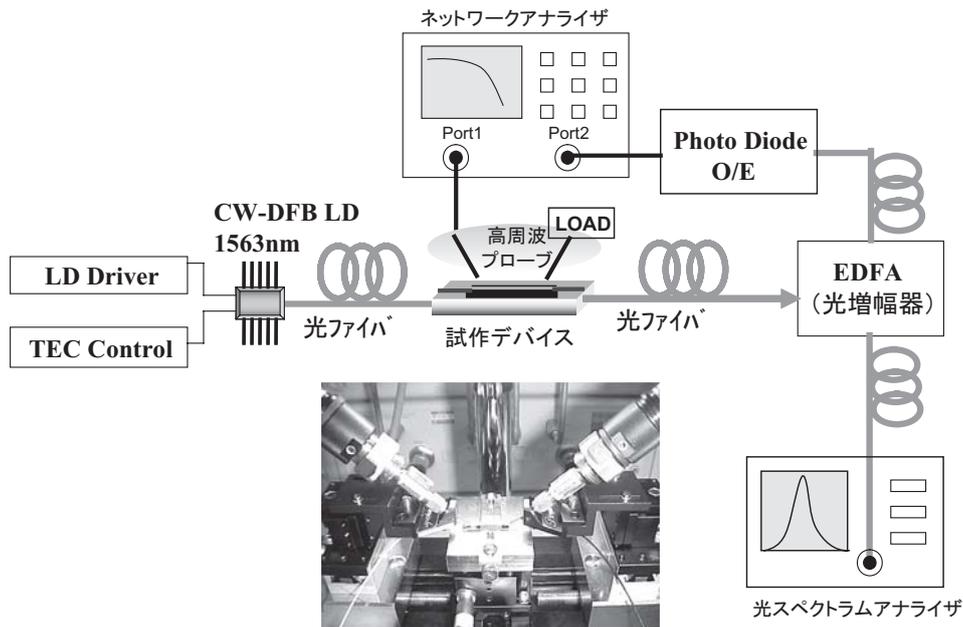


図10 測定構成

ブを用いて、伝送線路の端末は50Ωで終端した。光源には光通信用波長の1562nmの連続光（CW）DFBレーザを用いて、温度コントロールにて発振波長の安定化を行っている。変調光はエルビウム添加ファイバアンプ（EDFA）にて増幅し、光スペクトラムアナライザと光／電気変換素子（O/E）で電気変換された信号をネットワークアナライザの伝送特性S21による変調測定を行った。

入力パワー 5 mW、挿引周波数10~40GHz、IFバンド幅は10HzとしたときのS21特性の光スペクトラムアナライザの波形を図11、ネットワークアナライザの波形を図12に示す。図11においては、光スペクトラムアナライザの波長分解能は、0.05nmであるため、25GHz程度の変調光であれば十分測

定可能であるが、変調光を確認することはできなかった。

しかし、ネットワークアナライザでの測定において、変調周波数26~28GHz付近でSNR10dB程度の変調波形を確認することができた。変調深さは浅く、IF周波数を上げるとほとんどノイズに埋もれてしまう位の変調深さのため、実用的な光変調器としては難がある。またEDFAにより変調光を増幅しないと測定波形を得ることができないため、更なる変調感度向上には、コプレーナ線路の伝送特性の向上と光導波路の最終スループットの向上が必要である。また今回変調電極にはコンタクトプローブを用いており、光ファイバ接着した試作光変調器の平行度を出すのが大変困難であったこ

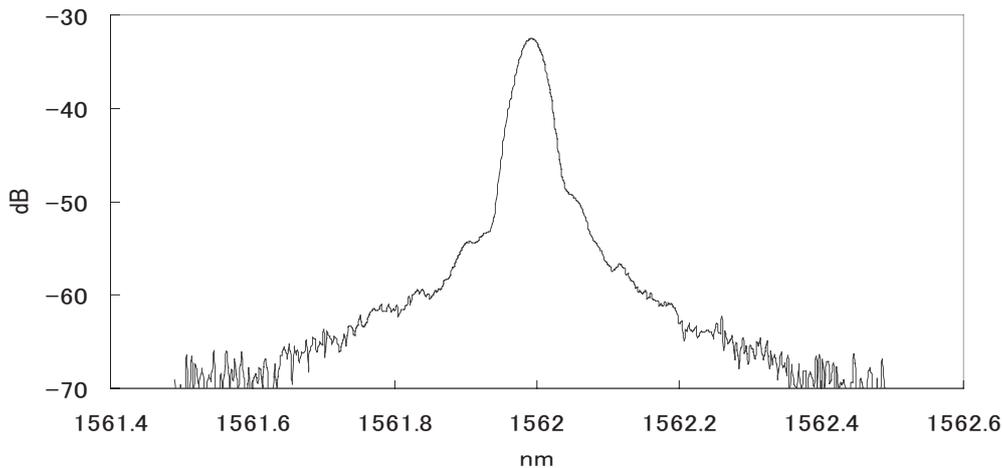


図11 光スペクトラムアナライザの測定波形

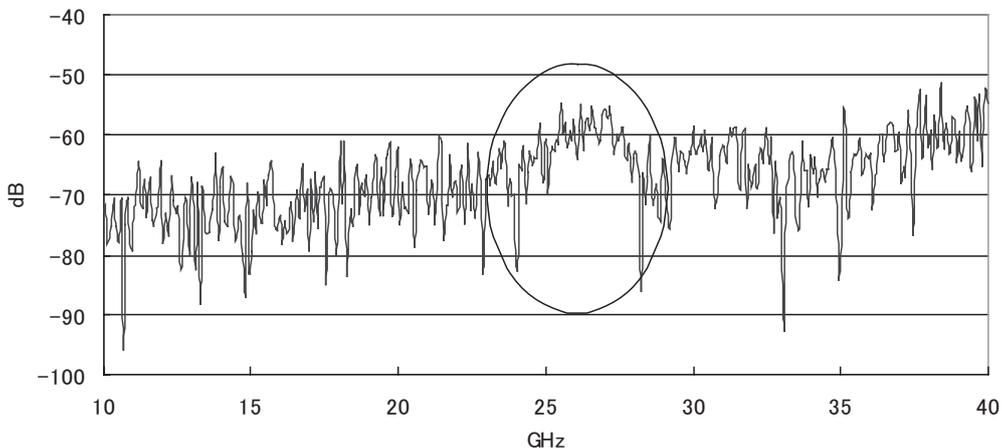


図12 ネットワークアナライザの測定波形

とから、各接続点にストレスがかかり、破壊することが多かったことから最終的にはパッケージングした状態での評価が必要である。

4 まとめ

本研究開発においては、結晶内で生じる高周波電気信号と光の速度差による変調度の低下を抑制するために、電気光学結晶の極性反転（分極反転）により擬似的に速度を合わせることが可能な「擬似速度整合」技術により25GHz帯で動作する光変調器を、ニオブ酸リチウムにより設計・試作を行っ

た。試作したデバイスに、高周波プロービングと光コネクタを接続し、動作確認を行ったが、良好な結果は得られなかった。これは、コプレーナ線路と光導波路の損失が大きいこと、高周波線路はテストフィクスチャーによるプロービングを行っているため接触が不安定になることが原因であると考えられる。今後は、電極には導電性の高い金属を用いて、結晶・電極・プローブをパッケージ化して、コネクタでの接続により損失を低減させる必要がある。