

報 告

車載光LAN用光トランシーバーの開発

伊 縫 幸 利 *1

Fiber Optical Transceiver for Automotive Use

Yukitoshi Inui*1

要 旨

自動車には、情報系、制御系、ボディ系等の各種ネットワークがあり、情報系では、インターネットやデジタルマルチメディア機器の普及に伴い、高速・大容量な光通信が必要となった。また、ボディ系でも、事故防止に向けたドライバー支援として、レーダーや多くのカメラを搭載した周辺監視システムが開発され、ここでも、高速・大容量な光通信システムが必要となってきた。

本報では、光ファイバーから放射される光自身により光硬化性樹脂中に光導波路を形成する自己形成 (LISW: Light-Induced Self-Written) 光導波路技術を用いた単線双方向用光回路モジュールの作製と緑色・赤色LEDを実装した単線双方向光トランシーバーを作製し、250Mbit/sの通信が可能であることを符号誤り率 (BER) 計測により実証し、プラスチック光ファイバー (POF) の長さ20mまでの通信が可能であることを実証したので報告する。

Abstract

There are many networks on automobile, such as information system, control system, body system, and so on. High speed communication are required because of the spread of the internet or digital multimedia equipments, in the case of information system. Moreover, in the case of body system, high speed communication systems are required for the circumference surveillance system to prevent accident, which consists of a radar and many cameras as driver support.

In this paper, we produced the optical single bi-directional circuit module using the light-induced self-written (LISW) wave guide technology which forms wave guide into photo polymerization resin by the light emitted from an optical fiber. And we produced a 250Mbit/s single bi-directional transceiver using modules with a green LED (Light Emitting Diode $\lambda = 495\text{nm}$) and a red LED ($\lambda = 650\text{nm}$). And we confirmed communication was successfully done by the measurement of BER (bit error rate). The possible communication distance is 20m of POF (Plastic Optical Fiber) according to the result of measured BER.

*1 開発部 開発室

1. はじめに

自動車には、情報系、制御系、ボディ系、等の各種ネットワークがあり、このうち、ナビゲーションやDVD等の動画などを扱う情報系ネットワークでは1998年に一部の欧州車にて光通信が採用された。インターネットや高機能ナビゲーション、デジタルマルチメディア機器の搭載やリアシートエンターテイメント等の急速な発展に伴いより一層の高速、大容量な光通信が必要になってきている。また、ボディ系では、事故防止に向けたドライバー運転支援としてレーダーや多くのカメラを搭載した周辺監視システムが研究されており、ここでも、高速且つ大容量のデータ伝送が必要となり、光通信の必要性が高まってきている。

しかし、光通信システムで使用される光トランシーバは、受発光素子や波長選択（WDM：Wavelength Division Multiplexing）フィルター、光ファイバーとの位置合わせに高額なレンズや高い位置精度を要する実装（図-1）が必要で、従来の電気機器に比べ非常に高価であることから、実用化に向けては低コスト化が大きな課題である。



図-1 レンズ方式を用いた光モジュール

そこで本報では、光ファイバーから放射される光自身により光硬化性樹脂中に光導波路を形成する自己形成（LISW: Light-Induced Self-Written）光導波路技術を用いて受発光素子や波長選択フィルターとの位置合わせが不要な光回路モジュールを作製し、緑色LED（波長 $\lambda = 495\text{nm}$ ）、赤色LED（波長 $\lambda = 630\text{nm}$ ）の2波長を用いた単線双方向光トランシーバーを試作し通信速度250Mbit/sの通信が可能であることを符号誤り率（BER: Bit Error Rate）計測により実証し、プラスチック光ファイバー長さ20mまでの通信が可能であることを実証したので報告する。

2. 自己形成光導波路技術とは

自己形成光導波路の実験系と原理を図-2、図-3に示す。導波路形成は、光硬化性樹脂中に光ファイバーを挿入しレーザー光を照射して行う。光ファイバー出射端から、レーザー光が放射状に照射され、照射された光によりファイバー先端部の光硬化性樹脂が反応し硬化物が形成される。形成された硬化物は未硬化樹脂よりも屈折率が上昇しているため、光は硬化物中に閉じ込められ、硬化物をコアとする導波路が形成される。このように自己形成法では、使用した光ファイバー径と同じ光導波路のコア径を形成することができる。

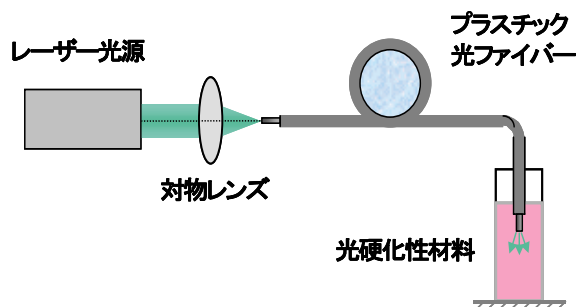


図-2 自己形成光導波路の実験系

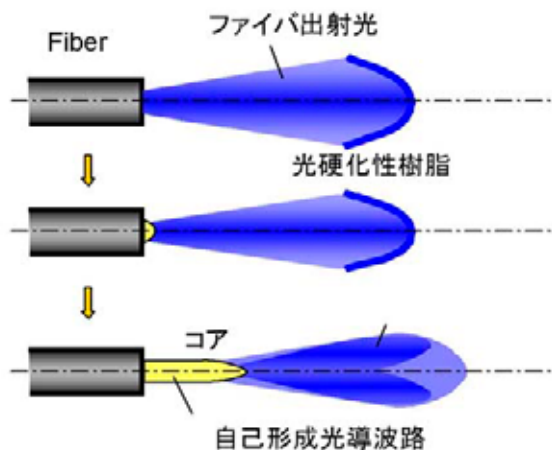


図-3 自己形成光導波路の原理図

コア径1mmのプラスチック光ファイバー（POF）を使用して作製した光導波路を図-4に示す。光導波路のコア径は約1mm、伝送損失：0.5dB/cm（波長 $\lambda = 650\text{nm}$ ）以下を確認した。

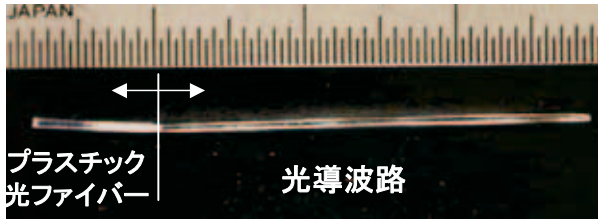


図-4 プラスチック光ファイバーで作製した自己形成光導波路

さらに、自己形成光導波路技術では、光導波路の形成進路内にフィルターやミラー等をセットすると、レーザー光がフィルターやミラーで透過・分岐されるように、光導波路もフィルターやミラーで透過・分岐する光導波路を容易に形成することができる特徴がある(図-5)。

以上のように、自己形成光導波路技術は、ファイバーやフィルター等の微細な位置合わせを必要としない。そして、極めて簡単な方法で3次元的な光導波路を形成することができる。

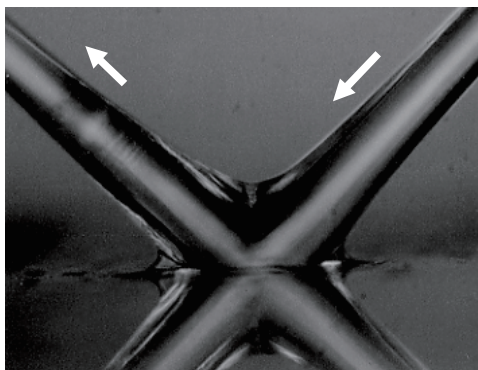
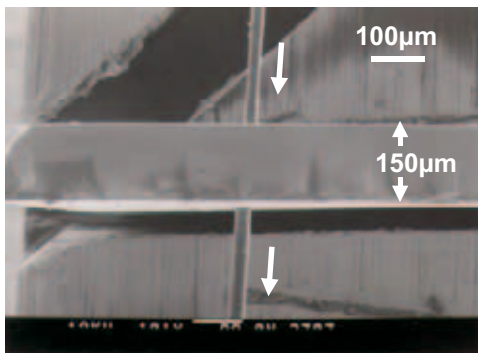


図-5 フィルター、ミラーでの光導波路の形成

3. 実験

これまでの研究の結果、自己形成光導波路の基礎技術を確立することができた。

ここでは、単線双方向用の光回路モジュールの作製及び高速通信用緑色LEDを用いた単線双方向光トランシーバーを試作し、通信速度250Mbit/sの通信を符号誤り率(BER)の計測より検証した。

光回路モジュールの作製方法、符号誤り率(BER)の計測方法について、以下に詳細を述べる。

3-1. 単線双方向用光回路モジュールの作製

単線双方向用光回路モジュールの概略図を図-6に示す。波長選択フィルターとフィルターによって分岐された自己形成光導波路からなる光回路モジュールに、緑色LED、赤色LEDと受光素子(PD)を取り付け、プラスチック光ファイバー(POF)が接続されたピッグテール形状となっている。光導波路の先端部が光の入出力ポートとなり、水平な光導波路端には緑色LED、垂直な光導波路端には赤色用受光素子(PD)を配置する。対となるもう一方の光導波路モジュールには、水平な光導波路端に緑色用受光素子(PD)、垂直な光導波路端に赤色LEDを配置する。作製した単線双方向用光回路モジュールを受発光素子(PD, LED)の駆動回路などが実装された電子回路基板に搭載し、光トランシーバーを作製した。

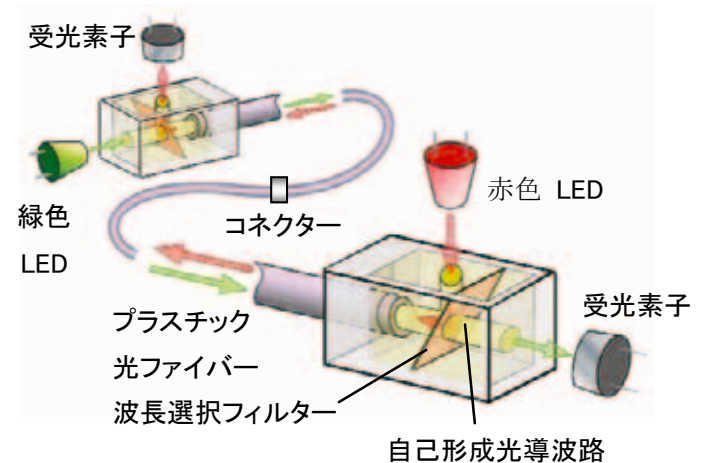


図-6 単線双方向光導波路モジュール

図-7に光回路モジュールの作製方法を示す。透明アクリル製筐体中にプラスチック光ファイバー（三菱レイヨン(株)製，Eska-MEGA，コア径＝1.0mm，NA＝0.3）と波長選択フィルターをセットする（図-7，a）。今回使用した波長選択フィルターは，緑色LED（波長 $\lambda＝495\text{nm}$ ）は85%透過，赤色LED（波長 $\lambda＝650\text{nm}$ ）は95%反射の特性を持った単線双方向の光通信用に設計・試作した。次に，光導波路のコア材料となる光硬化性樹脂（屈折率 $(n_D)＝1.51$ ）をアクリル筐体に充填する（図-7，b）。プラスチック光ファイバー（POF）を介して波長457nmのレーザー光を照射し光導波路を形成する。光導波路は波長選択フィルターで透過と反射の分岐導波路を形成する（図-7，c）。残った未硬化の光硬化性樹脂を除去する（図-7，d）。最後に，クラッド材料（屈折率 $(n_D)＝1.45$ ）の紫外線硬化性樹脂を充填した後，紫外線（Ultraviolet）を照射し硬化を行う（図-7，e）。

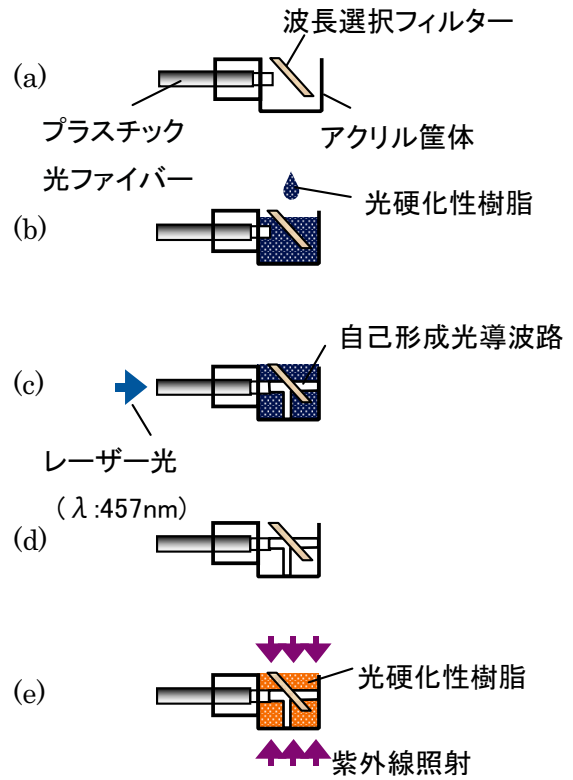


図-7 光導波路モジュールの作製方法

3-2. 符号誤り率 (BER) の計測

図-8に符号誤り率 (BER) の計測系を示す。符号誤り率 (BER) 計測器 (アンリツ，MP1632C) に内蔵されたパルスパターン発生器 (PPG) から出力される電気信号を送信側となる光トランシーバーのLED駆動回路に入力する。この時，250Mbit/s，PRBS (Pseudo-Random

Bit Sequence) 2⁷-1，NRZ (Non-Return-to-Zero) である。もう一方の受信側光トランシーバーの受光素子出力を符号誤り率 (BER) 計測器に内蔵されたエラー検出器に入力する。光トランシーバー間には，可変光減衰器を接続し，受光素子

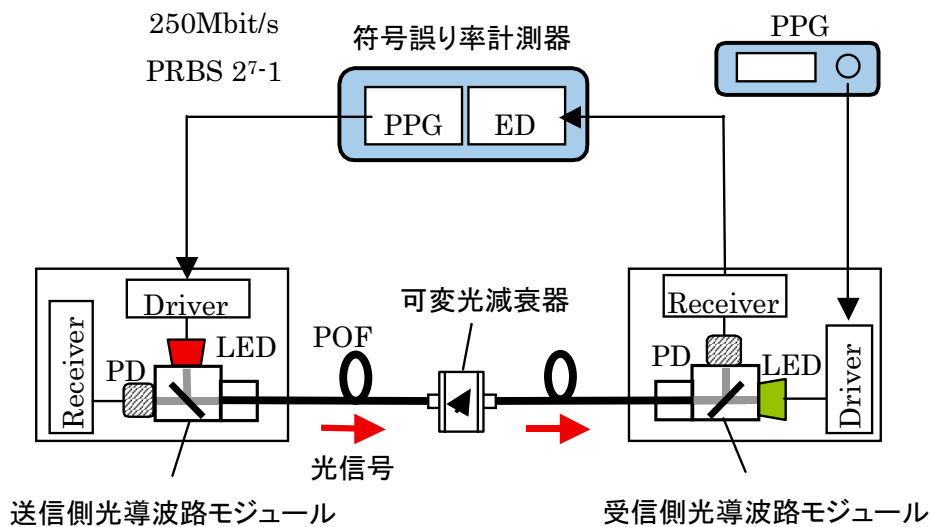


図-8 符号誤り率 (BER) の計測系の構成

に入射する光量を変化させる。この時、受光素子に入射する光量は、光減衰器の出力光量から受光側光回路モジュールの挿入損失値を引いて求める。また、受光側光トランシーバーのLEDを別のパルスパターン発生器 (PPG) を用いて送信側LEDと同じ条件で駆動することで、全二重通信条件下での符号誤り率 (BER) 特性を計測し、半二重通信の結果と比較することで電気・光クロストークの影響を見ることが出来る。ここでは、緑色、赤色LEDのそれぞれについて二重、全二重時における符号誤り率 (BER) を計測した。なお、全ての計測は室温下 (約25℃) で行った。

4. 結果と考察

4-1. 単線双方向用光回路モジュール

作製した光回路モジュールを図-9に示す。コア径1mmのプラスチック光ファイバー (POF) とほぼ同径の自己形成光導波路が形成され、また、波長選択フィルターで分岐した光導波路もほぼ同径であることがわかる。光回路モジュールの挿入損失は、緑色LED (波長 $\lambda=495\text{nm}$) で2.1dB、赤色LED (波長 $\lambda=650\text{nm}$) で2.2dBの値を示した。

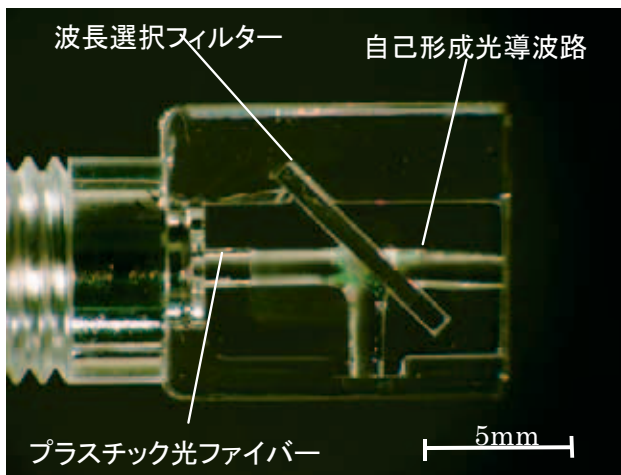


図-9 作製した単線双方向光回路モジュール

4-2. 単線双方向用光トランシーバー

作製した単線双方向光トランシーバーを図-10に示す。作製した単線双方向用光回路モジュールにLED、受光素子 (PD) を実装し、LEDの駆動回路、受光素子 (PD) のアンプ回路が実装された電子回路基板に搭載した。基板への電気信号入力は、高速信号伝送方式として一般的なPECL (Positive Emitter Coupled Logic) 方式を用いた。

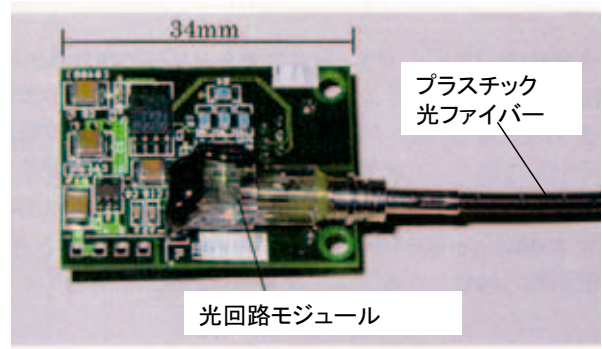


図-10 単線双方向光トランシーバー

表-1に今回使用した受発光素子 (LED, PD) を示す。緑色LEDは、(株)豊田中央研究所と共同開発した高速光通信用のGaN系LED (中心波長 $\lambda=495\text{nm}$)、赤色LEDは、浜松ホトニクス(株)製の通信用LED (中心波長 $\lambda=650\text{nm}$) である。受光素子 (PD) は、東芝(株)製の2線双方向光トランシーバーTODX2402に内蔵されている光受信モジュールを使用した。

表-1 使用した受発光素子

	メーカー	型番
緑色LED	自社開発品	-
赤色LED	浜松 ホトニクス	L7726
受光素子 (PD)	東芝	TODX2402内蔵の受信モジュール

4-3. 符号誤り率 (BER) の計測

図-11に符号誤り率 (BER) の計測結果を示す。全二重通信において、IEEE1394の規格で定められた符号誤り率 (BER) 10^{-12} が得られる受光素子 (PD) 入射光量は、緑色 -17.4dBm, 赤色 -20.6dBmである。

緑色と赤色の入射光量の差は、受光素子 (PD) の受光感度の波長依存性の差と考えられる。また、電気・光クロストークの影響によるパワーペナルティは緑色、赤色共に約0.2dBであった。

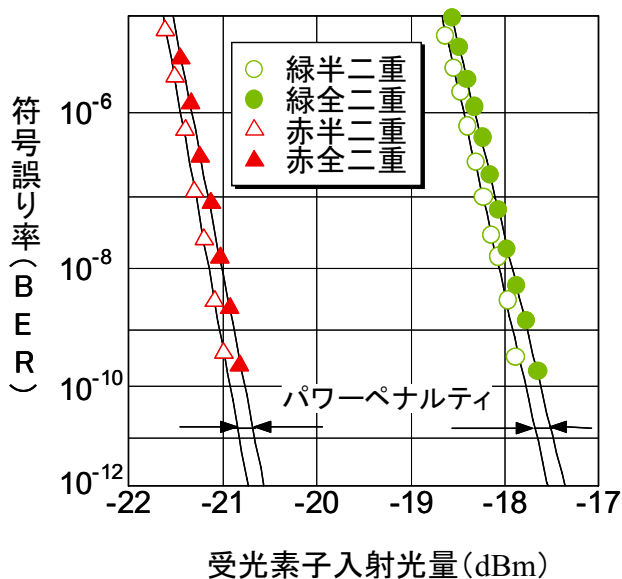


図-11 符号誤り率 (BER) の計測結果

これらの結果と緑色、赤色LEDの光出力より、単線双方向光通信システムにおけるパワーバジェットは緑色：11.7dB, 赤色：19.1dBである。従って、2個の双方向光回路モジュール ($2.2\text{dB} \times 2$)、緑色に対するプラスチック光ファイバー (POF) の伝送損失：0.14dB/m (赤色：0.20dB)、2個のインラインコネクタ ($0.8\text{dB} \times 2$)、システムマージンを3dBとすると、プラスチック光ファイバーの長さは20mまで可能であると見積もることができた。通信距離20mであれば、車載ネットワークを十分構築できると考える。

5. まとめ

自己形成光導波路技術により、挿入損失が2.2dB以下の単線双方向光回路モジュールを作製することができた。また、作製した光回路モジュールに緑色LED、赤色LED、受光素子 (PD) を実装した単線双方向光トランシーバーを作製し、符号誤り率 (BER) の計測結果より通信速度250Mbit/sの動作確認を実証した。また、全二重通信において、符号誤り率 (BER) 10^{-12} が得られる受光素子 (PD) 入射光量は、緑色-17.4dBm, 赤色-20.6dBmであり、これより、20mまでの通信が可能であることがわかった。

6. 今後の進め方

今後は、更なるシステムマージンを確保するため、光回路モジュールを含めた通信システムの低光損失化及び信頼性評価の検討を進める。

最後に、本研究の共同研究先である(株)豊田中央研究所の関係部署の方々に深く感謝の意を表します。

参考資料

- 1) Kagami, M., Yamashita, T. and Ito, H.: "Light-Induced Self-Written Three-Dimensional Optical Waveguide", Appl. Phys. Lett., 79-8(2001), 1079
- 2) Kagami, M., Yamashita, T., Yonemura, M., Kawasaki, A. and Inui, Y.: "A Light-Induced Self-Written Optical Waveguide Fabricated in photopolymerizing Resin and Its Application to a POF WDM module", proc. of 12th Int. POF conf., (2003), 183
- 3) Kato, S., Fujishima, O., Kozawa, T. and Kachi, T.: "Transmission Characteristics of a 250Mbps POF Data Link Employing GaN Green LED", Proc. of 13th Int. POF Conf., (2004), 232