

InGaN/GaN MQW LED を用いたプラスチックファイバの光伝送実験

森田 洋祐* 脇田 紘一**

Transmission experiment of plastic optical fibers (POFs) using InGaN/GaN Multiple Quantum Well Light Emitting Diodes (LED)

Yosuke MORITA* and Koichi WAKITA**

(Received June 15, 2000)

Transmission experiments for a local area network (LAN) using blue light emitting diodes (LEDs) with InGaN/GaN multiple quantum well (MQW) and 32-m long plastic optical fibers (POFs) have been demonstrated. Audio analog signals have been transmitted up to 1800 kHz, which is optical 1.5 dB bandwidth and is limited by LED response. Response speed of these diodes has been investigated by changing operating conditions, (DC bias, pulse amplitude and pulse shape). The LED rise time is reduced from 0.26 μ s to 0.19 μ s by changing the electrical pulse amplitude from 0.5 V to 1.2 V, respectively, whereas the fall time (0.20 μ s) unchanged. On the other hand, the fall time is reduced from 0.20 μ s to 0.14 μ s by adding negative pulses after the applied positive pulses. It is made clear that direct-modulation speed of these diodes is limited by the time constant associated with device-capacitance. Electro-luminescence (EL) spectra of LEDs are also investigated and the peak wavelength shift from the longer to shorter have been observed associated with injection currents.

Keywords: InGaN/GaN MQW LED, response speed, LAN, audio transmission

1. まえがき

ビルやオフィス内の LAN 用ファイバとしてプラスチックファイバ⁽¹⁾ (Plastic Optical Fiber :POF) を用いた可視域光伝送実験が盛んに行われている⁽²⁾。これはコア径が石英系に比べ倍以上の太さがあり、軸ずれの許容範囲が大きく、端面を切断し、コネクタを付けて接続するだけで作業時間は従来の 10 分の 1 で済み「銅線感覚」の接続作業が可能という特徴があるためである。従来の報告例では、光源として赤色波長の発光ダイオード (Light Emitting Diode :LED) や半導体レーザー (Laser Diode :LD) を、ファイバには広帯域伝送可能な GI (Graded-Index) -POF を使用している。これらは次世代の高速インターフェースやホームネットワークのインフラストラクチャとして有望視されている。

一方、最近、青色の発光波長をもつ GaN 系の LED、LD の研究、開発が活発である⁽³⁾。波長の短い青色の光源はコンパクトディスク (compact disk :CD) やデジタル

ビデオディスク (digital video disk :DVD) に代表される次世代の光源として情報の高密度化が期待されるからである。

我々は、この青色波長が従来報告されている波長に比べ POF の伝送特性において損失の少ない点に着目して、伝送実験を試みた。LED には InGaN/GaN 多重量子井戸 (MQW)LED (波長 470nm 帯) を採用し、ファイバは SI (Step Index) -POF (32m) を用いて 1800kHz 信号の伝送に成功した。第 2 章では実験に用いた LED の構造、基本諸特性について述べる。第 3 章では LED の発光特性を示す。第 4 章では LED と SI-POF を利用したアナログ伝送実験について述べる。第 5 章では LED の応答速度の結果について述べる。第 6 章では LED 自身のキャパシタンスを測定し、LED の応答速度との結果について検討する。第 7 章では本報告についてまとめる。

2. 青色 LED の構造

図 1 はプラスチックファイバの特性 (波長伝搬損) を示す。ファイバの構造はコア直径 980 μ m、クラッド直径 1000 μ m、開口数 (Numerical Aperture :NA) = 0.47、

*電気工学専攻大学院生 (Graduate Student, Electrical Engineering)

**電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

長さ 32mである。このグラフより、従来報告されている波長 650nm に比べ、青色では 2dB 良いこと、また、発光波長変動の許容度が大きいことがわかる。図 2 は本研究に用いた青色 LED の概略の構造を示す。サファイア基板上に AlN(バッファ層)がある。n、p-GaN 層の間に、多重量子井戸 (multiple quantum well: MQW) 構造があり、活性層としている。この LED は面発光型の構造で指向性を良くするため光の出射部分はレンズ状に樹脂で封止してある。順方向電圧をかけると、光は基板に垂直な方向に放射する。

図 3 は用いた LED の電流-電圧特性、電流-光出力特性であり、電圧 2.5V 付近より 1mA の注入を生じ、発光している。注入電流 20mA において LED の発光波長は 465nm、半値幅は 30nm、光出力は 3.2mW である。

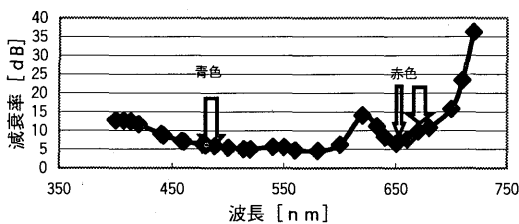


図1 プラスチックファイバの波長-減衰率特性

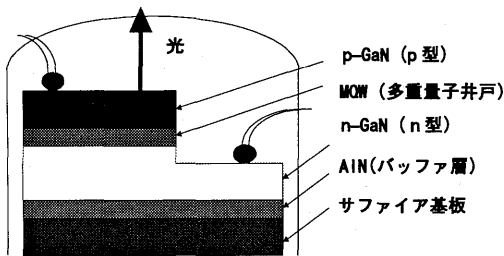
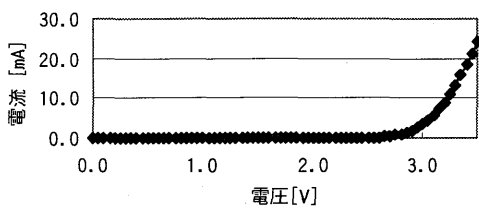
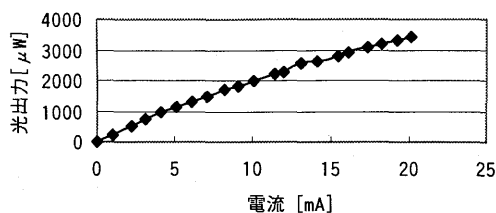


図2 LEDの構造(概略)



(a) 電流-電圧特性



(b) 電流-光出力特性

図3 LEDの諸特性

3. 発光スペクトル

実験に用いた LED の発光特性は図 4 に示す。LED の注入電流は順方向に DC で 0.1~18mA である。発生した光はフォトダイオード (PD) で受光して電流とし、これをロックインアンプで増幅して X-Y プロットで描いた。変調周波数は 270Hz である。

低注入電流において発光ピーク波長は 470nm であったが、電流の増加とともに 460nm となり、短波長側に移った。この移動は、注入キャリアが大量に井戸の中に蓄積され、このキャリアによりピエゾ効果によって発生した圧電界がスクリーニングされて短波長に移るという文献 (4) の報告例と同じ傾向である。

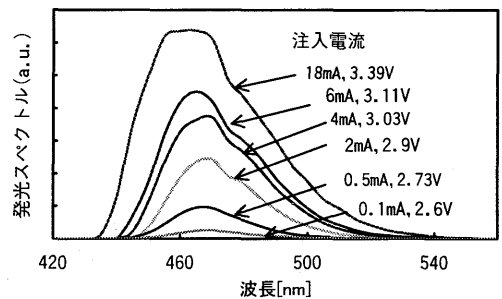


図4 発光スペクトル

4. アナログ伝送実験

図 5 は青色 LED と SI-POF を用いたアナログ伝送実験の測定系である。音声信号としては、CD プレーヤーから入手した音源を用いた。実験音声信号は、直接変調可能な電流 10mA の上にバイアス T を介して LED に流す。LED から発生した光信号は、レンズを用いて収束し、ファイバに入れる。ファイバから出た光は Si-PIN PD (pin 型フォトダイオード) で検出し、光信号を電気信号に変換した。スピーカが鳴るまでアンプによって信号電圧を増幅し、電気信号を音声信号へ変換した。

図 6 は結果の一例である。入力信号と出力信号の波形を比較すると入力信号の微細構造が、出力信号に忠実に反映されている。

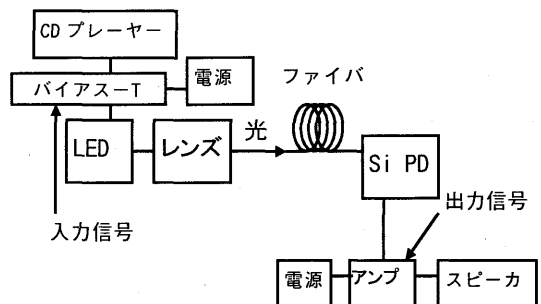


図5 アナログ伝送実験測定系

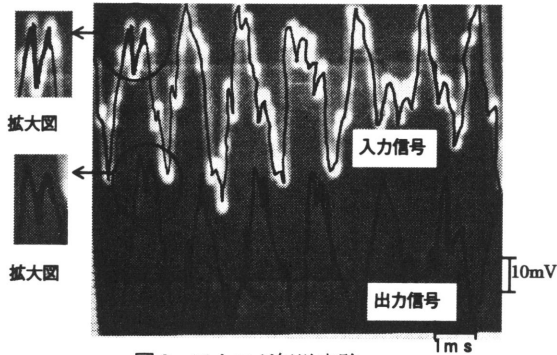


図6 アナログ伝送実験

5. パルス応答

LED の周波数応答特性の結果を図7に示す。正弦波発生器を用いた LED の駆動条件は、バイアス 2.75~3.0V、正弦波の振幅 0.5V、周波数 1k~15MHz である。受光素子には負荷抵抗を並列接続し、負荷抵抗の端子電圧として読んだ。また、ダイオードの応答速度を決める要因の一つには、CR 時定数の制限がある。このことを考慮して負荷抵抗を選んだ。ただし、受光素子には外部から電圧を加えていない。入力信号の電圧と受光素子の出力である電圧の振幅比を求め、図の縦軸とする。電気信号が 1.5 dB 減衰する帯域(光 3 dB 帯域)周波数は負荷抵抗 500 Ω で $f=1.8\text{MHz}$ 、1k Ω で $f=800\text{kHz}$ であった。これから 50 Ω での帯域周波数は 17MHz と推定される。

パルス応答速度の測定系は図8である。立ち上がり時間 t_r と立ち下がり時間 t_f はパルス発生器を用い、繰り返し周期 33 μs 、パルス幅 0.7 μs 、バイアス 2.8V、振幅電圧 0.5~1.2V まで LED に印加して、Si PD(浜松ホトニクス製 S5973-02、遮断周波数 $f=1.2\text{GHz}$)で測定した。

図9にはパルス応答速度の振幅電圧依存性を示す。これから振幅電圧を上げていくと t_r は減少し、0.5V で 0.26 μs 、1.2V で 0.19 μs となった。他方、 t_f (0.20 $\pm$ 0.005 μs) は t_r に比べ大きく、かつ、電圧依存性はなかった。すなわち、 t_f が系の応答を遅くしている。

通常の LED では注入キャリアを掃き出すために、パルス注入後短時間(パルス幅 0.2 μs)だけ負のパルスを加えると 90% から 10% までの下降時間は著しく短くできることが報告されている⁽⁵⁾。そこで、この方法を用いて本素子进行评估した。結果を図10に示す。測定条件は振幅電圧 0.5V、バイアス 2.8V であり、負パルスの振幅を 0~4V に変えた。このとき t_r は $0.25 \pm 0.005 \mu\text{s}$ 一定であり、負パルスの振幅を変えた効果はなかったが、 t_f は 0.20 μs から 0.14 μs に減少した。すなわち、負パルスを加えると、 t_f は 0.06 μs 速くなった。この変化値は文献 (5) の報告例(約 30%)と同程度であり、立ち下がり時間が負パルス印加で減少すること、すなわち、注入キャリアの拡散効果が存在して立ち下がり時間を制限していることが判明した。

6. キャパシタンス測定

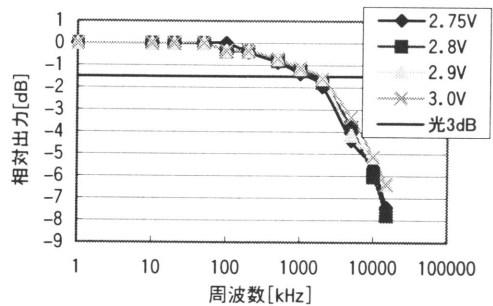


図7 周波数応答特性

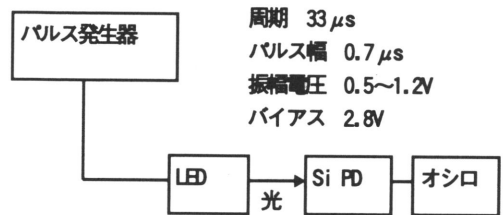


図8 立ち上がり時間と立ち下がり時間測定系

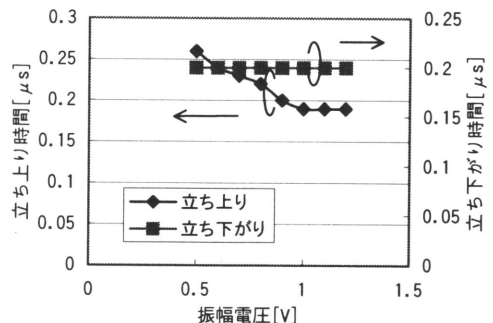


図9 パルス応答特性

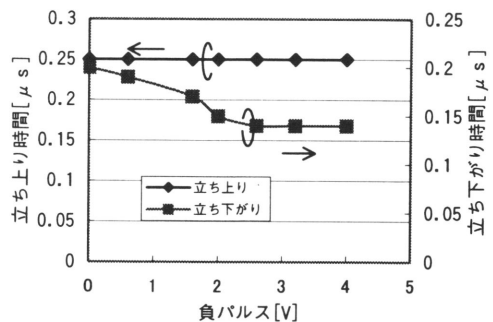


図10 負パルス印加特性

前の結果で立ち下がり時間が系の応答を遅くしていることがわかった。次に、キャリアの拡散の他に何が立ち下がり時間を遅くしているのかを検討するため、

LCR メータでキャパシタンス C 及び抵抗 R を測定した。図 11 は CR 時定数を求めた結果である。バイアス 2.8V でのパルスを加えて測定した立ち下がり時間 ($0.20 \mu\text{s}$) の結果とキャパシタンスから求めた時定数の結果 (1 kHz で $0.226 \mu\text{s}$) はほぼ同じである。この結果、LED の応答速度は素子容量も影響していると推定される。

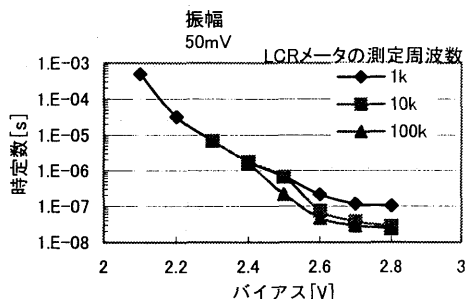


図11 バイアス-時定数特性

7. まとめ

青色発光する InGa_N/Ga_N 多重量子井戸 (MQW) LED と POF を用いて LED の駆動条件、特に高速化のための最適条件を調べ、以下のことを明らかにした。

① 光の 1.5 dB 帯域周波数は、1800kHz であった。② 立ち上り時間は、バイアス 2.8V で振幅を 0.5V から 1.2V に変化させると振幅の増加に伴い、 $0.26 \mu\text{s}$ から $0.19 \mu\text{s}$ となった。③ 通常の駆動条件では LED の応答速度は立ち下がり時間で律速されているが、立ち下がり時間は負パルス印加で $0.20 \mu\text{s}$ から $0.14 \mu\text{s}$ まで改良された。④ LED の応答速度はキャリア拡散の他に素子容量も影響している。

また、Ga_N 系青色発光ダイオードを光源に長さ 32m の SI-POF と Si-PIN フォトダイオードを用いて伝送実験を行い、1800kHz の信号を伝送できた。このデータの S/N 比に基づいて現状の最大伝送距離は、1800kHz の信号に対して 47m 程度であると推定された。より一層の高速化、長距離伝送には、光源の高速化および受光系の高感度化が必要である。

参考文献

- (1) J. Meier, W. Lieber, W. Heinlen, and W. Groh, "Time-domain band-width measurement of step-index data plastic fibers," *Electron. Lett.*, 22, 1208-1209, (1987).
- (2) 森倉晋 古澤 佐登志:「650nm 帯 LED と GI-POF を用いた 500Mbps 光伝送実験」*信学技報 OCS98-40*, 25-30 (1998-9).
- (3) I. Akasaki, H. Amano, K. Hiramatsu, and N. Sawaki "High efficiency blue LED utilizing Ga_N film with Al_N buffer layer by MOVPE", *Institute of Physics Conference Series* 91, 633 (1988).
- (4) T. Wang, D. Nakagawa, J. Wang, T. Sugahara, and S. Sakai "Photoluminescence investigation of InGa_N/Ga_N single quantum well and multiple quantum wells," *Appl. Phys. Lett.*, 24, 3571-3573, (1998).
- (5) J. Zucker, and R. B. Lauer, "Optimization and characterization of high radiance (Al, Ga)As double heterostructure LEDs for optical communication system," *IEEE Trans. Electron. Device*, ED-25, 193-195, (1978-2).