

## 学位論文の要旨

氏名

李言勝

学位論文題目

Gb/s帯光配線用VCSEL光出力安定化駆動回路方式及びLSI化に関する研究

本論文は、LSIチップ間やバックプレーン間のGb/sデータ伝送を実現する光配線用VCSEL駆動回路および光出力安定化回路方式とそのLSI化に関する研究成果を纏めたものである。

第1章では、電気配線の伝送帯域制限やクロストーク等によって生じる伝送品質の劣化がシステム性能向上のボトルネックと来たこと、並びに、電気配線に代わるものとして広帯域伝送が可能でクロストークが極めて小さい光配線の導入が必須であること等、本研究の背景について述べている。また、小型、低コストで、Gb/s動作が可能なVCSEL (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser diode) 駆動回路方式および光出力安定化回路方式の確立する上で解決すべき技術課題を呈示している。

第2章では、従来の光配線に関する研究報告と本研究の関連について考察している。VCSELの変調帯域および温度特性など諸特性を解析すると共に光出力の変動要因について論じ、光出力安定化のための設計指針を明らかにしている。また、VCSELの動作を記述するレート方程式を基にした電氣的等価回路のSPICEモデル化による出力光の動作解析に対する有用性について述べている。次に、技術課題を解決する方法として、変調電流・バイアス電流同時制御による開ループVCSEL光出力安定化回路方式を提案し、そのコンセプトを開示している。

第3章では、第2章で提案したコンセプトに基づく入力バッファ回路、電流スイッチング回路及び駆動電流制御回路からなるGb/s帯VCSEL駆動回路方式、並びに、光出力安定化回路方式の実現可能性について検討している。

ここでは、所望の変調電流およびバイアス電流の温度特性を得るため、機能の異なる二種類のバンドギャップレファレンス電流源から出力される正の温度係数を持つ電流と温度フリーで一定な電流とを減算した後に、電流増幅する回路方式を提案される。

第4章では、レート方程式に基づく電氣的等価回路を用いてVCSEL出力光の動作波形が解析される。また、LSI化に適したGb/s動作を可能とする駆動回路方式を確立するため、CAD(Computer Aided Design)ツールであるCadence Spectreを用いたシミュレーション設計が為され、Gb/s動作が可能であることが確認される。

第5章では、提案した変調電流・バイアス電流同時制御光出力安定化回路方式の有効性と5Gb/s動作の可能性を確認するために、0.18 $\mu$ m CMOSプロセスを用いて試作したVCSEL駆動回路LSIの性能が評価される。その結果、VCSEL光出力レベルの変動は温度範囲0 $^{\circ}$ C $\sim$ 70 $^{\circ}$ Cにおいて3dBm $\pm$ 0.15dBであり、変調電流・バイアス電流同時制御方式の有効性が検証される。5Gb/s動作については、30 $^{\circ}$ C、50 $^{\circ}$ C、70 $^{\circ}$ Cにおける変調電流のアイパターンにより評価し、良好なアイ開口が得られることを確認している。

第6章では、本研究で得られた主要な研究成果を要約すると共に、今後の課題を総括している。

## 論文審査の要旨

報告番号	理工研 第276号	氏名	李言勝
審査委員	主査	山下喜市	
	副査	高田等	大島賢一

学位論文題目 Gb/s帯光配線用VCSEL光出力安定化駆動回路方式及びLSI化に関する研究

(Studies on Output Stabilized VCSEL Driver Architecture and LSI Implementation for Gb/s Optical Interconnection)

## 審査要旨

提出された学位論文および論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文はLSIチップ間やバックプレーン間のGb/sデータ伝送を実現可能とする光配線用VCSEL駆動回路方式並びに光出力安定化回路方式の確立とそのLSI化技術に関する研究成果を纏めたものである。論文は全6章で構成されている。

第1章は、序論である。研究の背景と目的および技術課題を提起している。

第2章では、従来の光配線に関する研究報告と本研究の関連について考察している。VCSELの変調帯域および温度特性など諸特性を解析すると共に光出力の変動要因について論じ、光出力安定化のための設計指針を明らかにしている。また、変調電流・バイアス電流同時制御による開ループVCSEL光出力安定化回路方式を提案され、そのコンセプトが開示されている。

第3章では、第2章で提案したコンセプトに基づく入力バッファ回路、電流スイッチング回路及び駆動電流制御回路から成るGb/s帯VCSEL駆動回路方式並びに光出力安定化回路方式の実現可能性について検討している。ここでは、所望の変調電流およびバイアス電流の温度特性を得るため、機能の異なる二種類のバンドギャップレファレンス電流源から出力される正の温度係数を持つ電流と温度フリーで一定な電流とを減算した後に電流増幅する回路方式が提案されている。

第4章では、レート方程式に基づく電氣的等価回路を用いたVCSEL出力光の動作波形が解析され、回路解析シミュレータによる性能予測の結果から5Gb/s動作が可能であることを明らかにしている。また、レート方程式を基にした電氣的等価回路のSPICEモデル化による出力光の動作解析に対する有用性について述べている。

第5章では、提案した変調電流・バイアス電流同時制御光出力安定化回路方式の有効性と5Gb/s動作の可能性を確認するために、0.18  $\mu\text{m}$  CMOSプロセスを用いて試作したVCSEL駆動回路LSIの性能を評価している。その結果、VCSEL光出力レベルの変動は温度範囲0°C~70°Cにおいて3dBm  $\pm$  0.15dBであり、変調電流・バイアス電流同時制御方式の有効性が検証される。5Gb/s動作については、30°C、50°C、70°Cにおける変調電流のアイパターンにより評価し、良好なアイ開口が得られることを確認している。

第6章は、結論である。本研究で得られた主要な成果を要約すると共に、今後の課題を総括している。

以上、本論文は光配線用VCSEL駆動回路方式の考案とそのLSI化に関する研究で、変調電流・バイアス電流同時制御光出力安定化およびGb/s変調が可能な回路方式を確立し、LSI化によりその有効性を実証している。得られた結果はGb/s帯光配線技術の実用性を示したもので、システム情報工学分野に寄与するところが大きい。よって、審査委員会は本研究が博士(工学)の学位論文として合格と判定した。

## 最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第276号	氏名	李言勝
審査委員	主査	山下喜市	
	副査	高田等	大島賢一

平成20年1月30日(水)に開催された学位論文発表会の説明について、発表者と審査委員3名を含む25名の参加者との間で活発な質疑応答がなされた。発表者からは何れの質疑に対しても的確な回答が得られ、満足すべき基礎および専門的知識を身に付けていることが示された。主な質疑応答の内容を以下に記す。

- 【質問】 今回の発表では、動作速度が5Gb/sを目標とされているが、10Gb/s以上の動作速度を実現するにはどのような方策が考えられるか。
- 【回答】 LSIの動作速度は回路技術と適用するプロセスで決まる。今回は回路技術を駆使して高速化を図ったが、LSI試作に用いたプロセスが0.18 $\mu$ m CMOSプロセスであり、7Gb/sが限界であった。ちなみに、90nm CMOSプロセスを適用すれば12Gb/sの動作速度が得られることを確認している。
- 【質問】 VCSELに流す変調電流とバイアス電流を同時制御し光出力を安定化する方式を提案され、光出力安定化に有効であることを実証しているが、高温側で駆動電流が飽和する要因は何か。
- 【回答】 変調電流とバイアス電流の温度特性を決める温度特性生成回路の出力電流が高温側で飽和することに起因している。出力電流が飽和する要因は、FETのドレインソース間電圧が高温側で十分確保できず、電流が設計値より小さくなるためである。
- 【質問】 今回報告のあった成果を実用化するにはVCSELの製造偏差を考慮する必要がある。光配線では、通常、オープンループ光出力安定化方式が用いられているが、VCSELの製造偏差を考慮した場合の対策は何か。
- 【回答】 実用化するにはVCSELの製造偏差を考慮する必要がある。特に、VCSELの外部微分量子効率の温度特性が大きいこと、通常、公衆通信用光送信機の製品化時に行われているクラス分けが必要と考えている。LSIに外部調整端子を設けてクラス毎に変調電流の初期所要値を設定することで対処できると考えている。また、光配線では伝送距離が短いため、光出力パワーの変動は公衆通信に比べ桁近い許容範囲が許されるため、オープンループ方式で十分対処可能である。
- 【質問】 光出力波形が示されているが、乱れが見られる。伝送品質に問題はないか。
- 【回答】 ご質問の通り、光出力波形にはLD固有の緩和振動が見られる。しかし、伝送品質は光送受信器の総合特性で決まり、受信側では光受信S/Nが最大となる様にフィルタリングされるので、極めて短距離伝送であることも考慮するとこの程度の緩和振動が問題となることはないと考えている。今後、実際にこのVCSEL送信機を用いた伝送実験を行い、その点を確認していきたい。
- 【質問】 多段増幅回路と負帰還増幅回路とを検討しているが、負帰還増幅回路を採用した理由は何か。
- 【回答】 各段の利得を減らして多段構成にしても目標の帯域を満たせないことが分かった。そこで、負帰還構成とし、ダンピングファクタを最適化することにより広帯域化を実現した。

以上の質疑応答およびその他の質疑に対する応答より、審査委員会は申請者が大学院博士後期課程修了者として十分な学力並びに見識を有すると認め、博士(工学)の学位を与えるに足る資格を有するものと認定した。