

Profile

集積システム分野
准教授 碓塚 孝明
(博士(九州大学))

研究分野
・半導体レーザー・発光素子
・光回路シミュレーション
・ナノフォトニクス
・光信号処理

Web <https://www.waseda.jp/fsci/gips/other/2020/03/25/15377/>



IPS 教員インタビュー

膨張し続けるデータの流れを、より少ない電力で処理する

光ファイバを用いた通信機器をはじめ、計測用の光源、光学ドライブのピックアップ、レーザー治療などの医療分野と、多様な目的に活用されている「半導体レーザー」。特に光通信の分野では、より少ない電力で、より高速・大容量の信号処理が可能な、“次世代型”とも呼ぶべき半導体レーザーの研究が進められている。大学院情報生産システム研究科の碓塚孝明准教授は、構造設計の観点から光通信デバイスの高性能化と応用範囲の拡大を目指している。

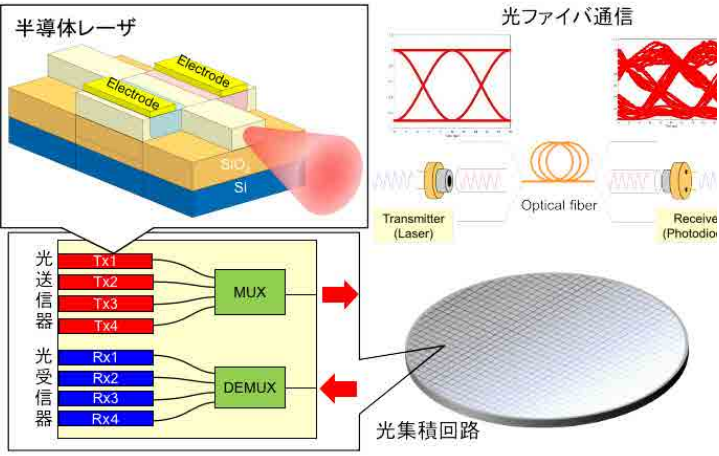
光ファイバ通信から「光インタコネクト」へ

小型、軽量、長寿命で、電気を直接光に変換するため消費電力も低く抑えられる半導体レーザー。位相が揃った指向性の高い光を発生することができて発振波長の選択肢も広いため、色々な用途で用いられている。今や、私たちの生活に欠かせない存在となったインターネットも、半導体レーザーがあってこそ普及したテクノロジーの1つだ。碓塚准教授も、全国の電話網がアナログ回線からISDN(デジタル回線)へ、そして光回線へと切り替わり始めた1990年代後半から、NTTで半導体を用いた光通信の研究に携わってきた。「拡散しにくく遠方まで届けやすい“コヒーレント光”を発生できる点、指向性や単色性などに優れ、他の半導体部品と集積できる点などから、情報通信の分野だけを見ても、近年は応用範囲が広がっています」「従来、光ファイバ通信が中心でしたが、近年はもっと短い距離、例えば複数の装置間やチップ間を光で結ぶ『光インタコネクト』、光を使って効率的に情報処理する『光情報処理』の研究が盛んになっています。当研究室でも、そうしたものの研究開発・実用化を目指しているところです」と、現在の研究テーマについて語る碓塚准教授。

著しい増加を続ける国内のネットワークトラフィック量。特に、リモートワークの増加やストリーミングサービスの利用拡大などの影響で、年2桁台の増加が続いている。同時に、装置やチップ間を結ぶ短距離光通信の需要が高まっていることから、通信速度の高速化に加えて、部品の小型化及び高度な集積技術の実用化も求められている。

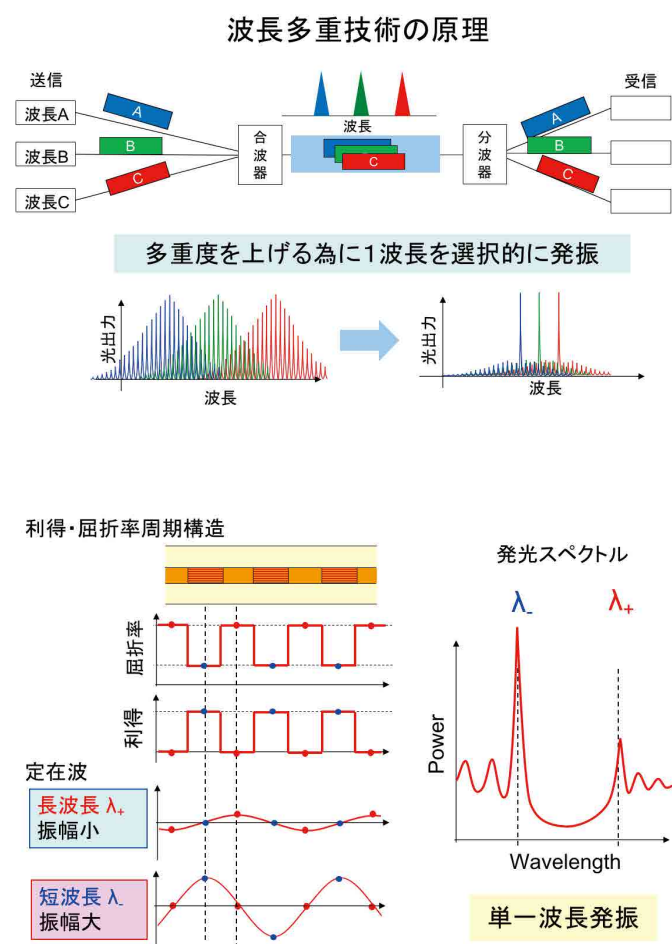
また、急速に進むAIの性能について語る際、往々にしてパラメータ数が比較の対象にされやすいが、パラメータ数が多くなるほど、より大量の計算リソースを処理できる高性能なハードウェアと、相應の容量を持つメモリやストレージが必要になる。この課題を克服するためにも、光による情報処理技術の進化が必要だ。「光コンピュータの研究の一環として、光でロジック回路を作り、0・1の信号を処理する方法も発表されています。しかし、私が考えているのは、もう少し“光の波”という性質を活用したやり方。波に情報を詰め込んで、それを取り出し、処理の効率を上げるというコンセプトです」。

光通信用デバイスの性能向上や低コスト・低消費電力化を目指す碓塚研究室の取り組みは、社会インフラの1つである情報通信を支える上で、非常に重要なものと言えるだろう。



より速く、より遠くまで光信号を飛ばすための取り組み

光通信システムの性能向上に向けて力を入れているのが、光送信器用光源技術の高度化だという。「半導体レーザーからの光信号をより速く、より遠くまで飛ばすことをテーマにした技術を研究中です。」「より速く、より遠くまで」を実現する上で課題になっているのが、「波長分散」という現象だ。「光ファイバ内を伝搬する信号光は、材料の屈折率などの影響により伝搬速度が光の波長によって異なるため、高速・大容量の光通信においては波形が歪んできます。これを修正する機構を設けたり、周波数の変動をなるべく抑えたりすることで、長い距離を伝搬した後も綺麗な波形を保つ研究を行っています」。大陸間を結ぶ光海底ケーブルのような長距離伝搬や、高速光信号の伝搬の際、この波長分散は特に大きな問題となる。そのため、ファイバの材料や構造を見直す検討も行われているそうだが、「私としては、光源側の技術によって問題を解決したいと考えています」。



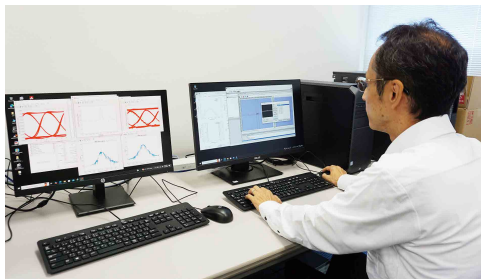
光による大容量通信を実現するため、波長の異なる複数の光信号を1本の光ファイバで伝送する「波長多重技術」が用いられているが、信号数(波長数)が増えるほど制御が難しくなる。「光通信で用いられる波長帯の使用効率を上げるためには、波長スペクトル幅の狭い光源を用いる必要があります。肉眼で見ると、半導体レーザーの光の色は綺麗な単色に見えますが、色々な波長で発光しているため、このまま使うと多重度が上げられないのです」。

そこで重要になってくるのが、単一の波長で発振させる「単一モードレーザー」の技術。これを高度化するために碓塚研究室では、「複素結合回折格子レーザー」の研究を行っている。「回折格子」とは、光の回折と干渉を利用して特定の波長を選択できる手法で、光学材料を周期的に設けた構造が特徴だという。「周期的な構造を作ることによって、特定の波長の光を効率的に増幅して単一波長の光を生成することができます」。

レーザーの回折格子には、屈折率が異なる領域を周期的に並べる構造が用いられる。一樣に光を増幅させると異なる波長の定在波が2つ現れてしまうため、屈折率を制御して単一波長を実現するのが一般的だ。「私たちは、複素結合回折格子と呼ばれる、屈折率に加えて光増幅領域を周期的に配置する構造を研究しています。一方の定在波だけ光を増幅させることができるようになり、結果として単一波長の発振ができるのです。このレーザーをシリコン基板上に集積することにより、光集積回路への適用も期待できます」。これにより、発振波長の安定化や変調帯域の増大、戻り光耐性などの効果が生まれ、光ファイバによる伝送距離の長延化や光回路の集積性向上などが可能になる。

真空フォトニクスへの挑戦

「テラヘルツ帯」と呼ばれる1THz(1秒間に10¹²回振動)前後の周波数は、活発な技術開発が進んでいる領域だ。碓塚研究室は、レーザーと高速光電変換素子を用いたテラヘルツ光源の研究にも力を入れている。「周波数の高い電磁波であるテラヘルツ光は、高速無線通信やセンサなどへの応用が期待されています。『フォトミキシング』によって、出力の高いテラヘルツ波を生成することができます」。フォトミキシングは、周波数の異なる2つの光を「光電変換素子」に入力して、2つの光の差周波で振動する電磁波を取り出す手法。光を電流に変える際に光電変換素子を用いるわけだが、テラヘルツ級の高周波数帯で動作する光電変換装置の設計が、碓塚研究室の目下のテーマ。この研究は、複数の大学や研究機関と協同で進めており、碓塚研究室では主に、シミュレーション設計を行っている。「特徴としては、真空中に電子を飛ばすという点。従来、フォトダイオードとよばれる半導体の光検出器が使われていましたが、構造の一部に真空領域を使うことで、高速応答を実現するプロジェクトを進めています」。真空中では電子が加速することに加え、半導体と比較して電気容量が約1/10となるため、動作周波数を大幅に増大できるのだという。「このやり方で、300GHzを超える周波数において高出力を得たいと考えています。この実証は非常にチャレンジングで、他大学や研究機関と、実践実証に向けプロジェクトを進めています」。



また、レーザー光を用いた情報処理の応用として、半導体レーザーとフォトダイオードを組み合わせた、画像分類のアイデアも研究中。レーザー光の変調により、時間によって強度分布が変わる光の2次元パターンを生成。その先に2次元の画像を置いて反射光もしくは透過光をフォトダイオードで受光すれば、パターン変化に伴い強度が時間変化する信号を受信することができるので、それを解析して画像分類を行うという仕組みだ。これまでも同様の報告はあったが、光学系が複雑になるため装置が大型化するのが課題となっていた。「光集積回路技術により装置の小型化が可能。実用化できれば、工業的な応用範囲も広いと考えています」。

国内・外のネットワークトラフィック量が、今後さらに増加するのは間違いない。とは言え、電力や設備用スペースには限りがあるのだから、情報通信のパフォーマンスを上げていかなければ“情報の渋滞状況”が発生しかねない。「半導体レーザーは、昔から技術開発が進められてきた研究ジャンルです。だからこそ、『根本』について深く考えることのできる学生に、当研究室のことを知ってもらいたいと思います。『そもそも、どうしてこういう動作をするのだろう』という興味が、新しい発想に結びつくはずです」。