



## 光ファイバと半導体レーザーの素敵な関係を辿って

藤崎 晃

### Tracing the Wonderful Relationship between Optical Fibers and Semiconductor Lasers

Akira FUJISAKI

私がレーザーに初めて出会ったのは中学1年生だった1976年の頃です。物理部の先輩がHeNeレーザーを見せてくれた時、その赤い光線の美しさと光の直進性に感動しました。また、レーザーを使って月までの距離測定が精緻に行われるようになったという報道をよく覚えています。光ファイバに最初に出会ったのは大学4年生の時、石英光ファイバの耐放射線性に関する材料解析的な研究に取り組みました。今思うと若い時に光ファイバやレーザーと触れるきっかけがあったことはとても幸運でした。

さて、ちょうど私が学生時代を過ごしている1960年代後半から1980年代は光通信の黎明期、先人達による多くの研究と技術開発が行われ、この分野の発展が確実に進んだ時代でした。ノーベル賞受賞者のDr. C. Kaoは石英ガラス光ファイバの低損失化を理論的に予測し、その後Corning社は当時としては画期的な低損失、20 dB/kmのファイバ試作に成功しました。また、この時期にAT&T Bell研究所(現Nokia Bell Labs)の林巖雄博士他は半導体レーザーの室温発振を実現されました。この2つの技術開発が時を同じくして1970年に実現したことには偶然以上のものを感じます。光ファイバと半導体レーザーの素敵な出会いはこうして始まり、その後手を携えながら発展してきました。

さらにはAT&T Bell研究所(現OFS Labs)によるMCVD(Modified Chemical Vapor Deposition)法での1 dB/kmに迫るファイバ開発を契機に、日本電信電話公社(現NTT)と古河電工、住友電工、藤倉電線(現フジクラ)の電線3社の活動が進み、VAD(Vapor-phase Axial Deposition)法による信頼性の高いシングルモード光ファイバの量産化と、石英ガラスの水素ロス増の課題解決が実現しました。そして末松安晴先生によって波長1.55  $\mu\text{m}$  帯の単一モード半導体レーザーが実証され、複数の企業が半導体レーザーの製品化を実現しました。光ファイバと半導体レーザーの両者の技術開発が進んだことで、光通信技術の飛躍的発展に繋がっていきます。これらの経緯は末松安晴先生の日本国際賞受賞時の講演録で大変楽しく、そして、わかりやすく説明されています。

光ファイバと半導体レーザーの両者の発展とその出会いによる飛躍的な技術の進歩は更に続きます。希土類のエルビウム(Er)を添加した光ファイバの発光準位が、光ファイバの最低損失波長帯である1.55  $\mu\text{m}$  帯と合致し、波長1.48  $\mu\text{m}$  の半導体レーザーで励起するエルビウムドープ光ファイバ増幅器EDFAは、光信号を光のまま増幅できる実用的な光増幅器として誕生しました。インターネットというキラーコンテンツが登場し、そして波長多重通信技術の登場とも相まって、通信トラフィック量は飛躍的に増大していきます。この経緯も日本国際賞を受賞された中沢正隆先生の講演録に詳しいですが、私もこの時期に半導体レーザー励起のEDFA、さらにはその発明者である中沢先生に出会い、まさに人生が変わる事になった光ファイバと半導体レーザーの二つの技術とともに歩んで参りました。

光ファイバを活用した光増幅技術としてはラマン増幅技術も同時期に活用が始まります。光ファイバの非線形性を活用し、高出力化がさらに進んだ1.48  $\mu\text{m}$  帯の半導体レーザーを励起光源として使うことで、敷設されている伝送路上で信号劣化を低減することが可能になりました。また高非線形ファイバを活用したディスクリート型のラマン装置によりEDFAの帯域を超える波長域での光増幅ができる様になり、さらには、光源の低雑音化により、更に伝送距離の長延化が実現しており、ラマン増幅技術は進化を続けています。

2000年代になって、常に右肩上がりだった通信業界の成長も一度鈍化する時期がありましたが、この時期から開発が進んだのがファイバレーザーです。イッテルビウム(Yb)ドープファイバを使った波長1  $\mu\text{m}$  帯のファイバレーザーは、光ファイバ開発の面では希土類添加ファイバ技術やファイバの樹脂被覆も含めたクラッド励起技術、光ファイバの溶融バンドル部品による合波技術、半導体レーザーの面では900 nm帯の励起用GaAsレーザーの高出力化開発により出力100 kW級のファイバレーザーの実現まで開発が進みます。この技術発展の基盤となっているのは、通信技術として開発が進んだEDFAの開発です。Ybファイバレーザーは投入電力に対する発振効率が非常に高く、金属の切断、溶接、表面

† 古河電気工業株式会社(〒100-8322 東京都千代田区大手町2-6-4)

† Furukawa Electric CO., LTD, 2-6-4, Ohtemachi Chiyoda-ku, Tokyo

加工更にはエネルギー伝送等の幅広い用途が拡大していることはレーザー学会の皆様におかれましてはご存じの通りかと思えます。

同時に、ファイバ結合型の半導体レーザー発振器も高出力化、高輝度化が進み、そのまま金属加工等の用途に使えるレベルまで進展しています。日亜化学と古河電工が共同で開発した5 kWの青色半導体レーザー発振器は、GaN半導体チップの高出力化を進めると共に、出力ファイバのコア径300 μmという高輝度を実現するため、光ファイバのNA制御と溶融バンドル技術を駆使し、両社技術の融合でこれを実現しています。青色光源は特に銅材料の加工性が高く、EV化が進む自動車産業で今後の活用が期待されています。

光ファイバと半導体レーザー、多くの技術開発が既にやり尽くされたと感じている人がいるとしたらそれは間違いです。この分野で今後、1+1=3以上を目指せる技術はまだまだいろいろあるかと思いますが、私が注目しているのは、空孔コアファイバ(Hollow Core Fiber: HCF)、ビスマスドープ光ファイバ増幅器(BDFA)、そして光電融合技術の3つです。

HCFは既に石英ガラスによる光ファイバの最低損失を凌駕する損失特性の報告があり、低遅延、低非線形の特徴と、散乱による損失増加もないので、石英ガラスよりもより広い波長帯域で使える可能性があります。

ビスマス(Bi)ドープファイバの実現は、ErやYb等の希土類ドープ光ファイバの製法としては事実上最も優れているMCVD法の進化の成果とも言えます。BDFAにより従来難しかったO-band(波長1.3 μm帯)やS-band(波長1.5 μm付近)の光増幅が可能で、光ファイバによる伝送通信帯域の拡大への寄与が期待されます。

光電融合技術については今後いくつかのステップがありますが、取り掛かりはCPO(Co-Packaged Optics)です。CPOではASICの近傍にシリコンフォトニクス等を活用した光トランシーバを配置するため、発熱部品である光源を光トランシーバから分離して配置するELS(External Light Source)が使われます。ELSは高効率、高出力なDFBレーザー技術の集大成であり、小型収納のための細径偏波保持光ファイバも無くてはならない要素です。そしてシリコン基板に化合物半導体を接合させるメンブレン半導体技術は、高速動作、低消費電力、高密度実装を同時に実現することが可能であり、次世代のデータセンターのエネルギー課題を大きく改善させる光電融合技術の究極として期待しております。

光ファイバと半導体レーザーの出会いにより、多くの研究開発が行われ、社会課題を解決する技術確立とその事業化がなされてきました。これらは1+1=3以上の成果であり、どちらが欠けても実現できなかった相互補完の関係があります。そして、これらの技術は全て個社で実現できるものではなく、多くの日本の研究者、技術者が関わって実用化が進んできました。その中で学会が果たす役割はとて大きいと感じております。

27歳になる文系の息子に、レーザーと聞くと、どのような使い道があるかを聞いてみました。彼の答えは、レーザーポインタ、ライブの演出照明、肌治療といったものでした。レーザーはどんどん身近なものになっていますが、現代社会において多くの課題解決をしているレーザー技術のインパクトを社会に幅広く理解してもらうことが必要と感じています。今後、レーザー技術やその研究について、幅広い世代に広くわかりやすく説明できることを大切にしていきたいと思えます。そして多くの技術への出会いを大切に、これらを活用することでレーザー研究が更に発展することを期待しております。