

究極の半導体レーザーを目指して



研究室紹介

近藤 正彦*

Aiming for an ultimate laser diode

Key Words : Semiconductor laser diode, Photonic crystal, Circular defect

はじめに

本研究室では、半導体レーザーの研究を行っている。私が学生の頃から現在まで一貫した研究テーマである。私が高校生の頃にLPレコードだったものが、大学生の時にCDに代わった。VHSテープも、DVD、Blu-rayに代わった。通信も電線から光ファイバーにかわり、現在光ファイバー通信は、日本の半数以上の世帯で各家庭まで届いている。それらを実現したのが、半導体レーザーである。私のなかでは、「半導体レーザー」は最先端でカッコイイもののイメージがあるが、最近の学生に尋ねるとそうでもないらしい。図1に、私が開発した赤色光半導体レーザーを搭載したレーザーポインターの写真を示す。学生に、赤色のレーザー・ビームを見せて、「どこかで見たことない？」と訊いても「見たこと無いです。」と答える。「スーパーやコンビニのレジで、会計するときにピーっとするでしょ？赤い光、見たこと無い？」と尋ねると「そう言えば・・・」と答える。研究室の学生も、薬品管理にバーコード・リーダーを使っているが、半導体レーザーを使っている意識はあまりない様である。「最近の若い者は・・・」と言うフレーズは、2千年以上前から使われているらしい。嘆いても仕方ないので、そんな学生さん達と毎日楽しく研究させて貰っている。



図1

本稿の執筆依頼を頂いたときに、過去の「研究室紹介」を拝読した。一番に感じたことは、分野が非常に広いことである。二番目に感じたことは、皆さんが真剣に書いていらっしゃることである。最先端のことを丁寧に紹介して下さっているのだろうが、専門分野が異なると中々理解するのが難しい。「私の研究室は、こんなに高尚なことをやっています。」と素直にアピールすれば良いだけのだろうし、時間的にも研究室のホームページ等からコピーペーストすれば簡単なのだろうが、天邪鬼な私は、多くの方に理解して欲しいので、こんな砕けた文章をわざと書いている。読者の皆様の寛容性に、甘えさせて頂きたい。

話を半導体レーザーに戻そう。学生にレーザーポインターを見せた後に、「この中に、半導体レーザーが入っています。大きさはどのくらいだと思いますか？」といつも尋ねる。中々正解は出ないので場合をみて、私は「0.4ミリ角で、シャーペンの芯より小さい。」と答える。大抵の学生にとって意外である。このゴミくずの様に小さなデバイスに、私の人生を賭けている。理系の読者の皆様なら、(半導体)レーザーの原理が光の誘導放出であることをご存知だと思う。誘導放出が自然放出に打ち勝ったときに、

* Masahiko KONDOW



1961年11月生
大阪大学 基礎工学研究科 博士前期課程修了 (1986年)
現在、大阪大学 大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 先進電子デバイス基礎領域 教授 工学博士 半導体工学
TEL : 06-6879-7765
E-mail : kondow@eei.eng.osaka-u.ac.jp

レーザー動作が起こる。誘導放出と自然放出の概念は、アインシュタインの頃、100年以上も前に既にあった。誘導放出を大きくするには、誘導者である光（光子）の数を多くすれば良い。実際問題としては、光密度を上げることが大事である。光密度を上げるには、発生する光子の量を多くするか、サイズを小さくするかのどちらかである。デバイスの消費電力を考えると、正解は後者になる。かくして、半導体レーザーは、ゴミくずの様に小さくなった。しかし、0.4ミリ＝400ミクロンも光の波長からすると、約1千倍で無駄に大きい。半導体レーザーの研究開発においては、小さいが王道である。

我々が提案・開発する半導体レーザー

先に、「半導体レーザーの研究開発においては、小さいが王道である。」と書いたが、もう少し詳しく説明すると、小さいとは、高い光密度を実現する光共振器のサイズが小さいことである。極限のサイズは、光の1波長（正確には光の半波長）となる。近年、プラズモニクスなる研究分野が出てきて、プラズモン・レーザーでは、もっと小さなレーザーができることである。しかし、それをレーザー動作させるためには、外部光源から光励起するしか術はなく、電気的な駆動ができない。物理としては面白いのであろうが、私は「デバイスは、実用化されて何ぼの物」と考えているので、素直に賞賛できない。プラズモン・レーザーで電流駆動にチャレンジするのもアリだと思うが、頭の悪い私はもう少し古典的にアプローチしている。

図2に、我々が提案・開発する半導体レーザーの走査型電子顕微鏡写真と光強度のシミュレーション

結果を示す。ア)の電子顕微鏡写真では、中央の丸い部分が光共振器となる。その外側の部分には空気で満たされた穴、空孔が周期的に配列している。専門用語ではフォトニック結晶と呼ばれる。詳しい方には釈迦に説法となるので、簡単に書くと、フォトニック結晶は「光が行きたくない、存在したくない場所」である。丸い共振器には、空孔がないので、フォトニック結晶側から見て「欠陥」領域と呼ぶ。デバイス応用からみると決して欠陥部品ではないのではあるが、この学術分野ではそう呼ばれる。円形共振器内部で発生した光は直進したい性質を持っているが、フォトニック結晶部分に侵入することができなく、仕方なく共振器の外部を周回することになる。イ)は発生する光をシミュレーションした結果で、予想通り共振器の外部に光は存在する。円形共振器あるいはリング共振器を有する半導体レーザーは、現在まで幾つかの研究報告がある。他方、市販の半導体レーザーの光共振器はほぼ全て反射鏡を有している。つまり、鏡により光を共振器内に閉じ込めている。レーザー動作に必須の鏡にも欠点がある。反射率が100%の鏡は実現不可能なので、光（エネルギー）の損失が生じる。仮に、反射率が100%の鏡が実現できても、共振器内部の光を取り出すことができない。市販の半導体レーザーは鏡の反射率を設計することで、適度な性能を実現している。円形共振器あるいはリング共振器のレーザーは、鏡を不要とするので、高効率で省エネルギーのレーザーを実現できる可能性がある。しかし、実用化には至っていない。課題がいくつかあるからである。その一つに、単一波長動作の困難さがある。円形共振器あるいはリング共振器の外周の長さが光の波長の整数倍なら、光の位相が揃うのでレーザー動作してしま

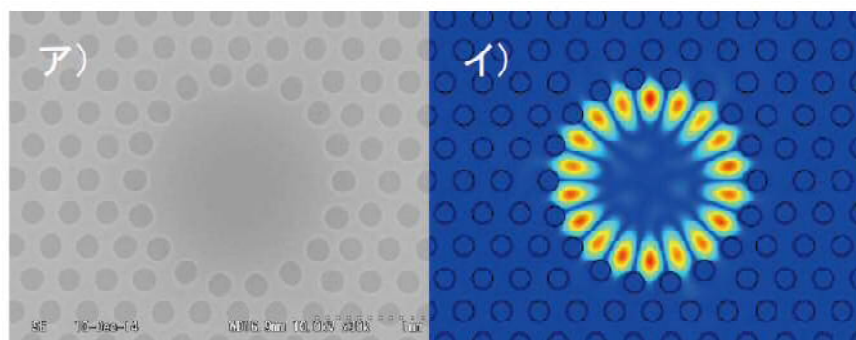


図2

う。従って、単一波長動作が困難である。我々のレーザーでは、円形共振器はフォトニック結晶にとり囲まれている。具体的には18個の空孔に取り囲まれている。図2イ)に示すように9波長(18個の腹を有する)の光が、共振器の形状にフィットする。8波長、10波長では、具合が悪い。(9波長が安定することは、シミュレーションを通して数値でも証明できる。)かくして、我々のレーザーは単一動作を容易に実現できる。図2イ)を見れば分かるように、共振器の中心部分には、光が存在しない。この部分を使って、電気駆動を実現する。電流を流す部分が小さすぎれば、電気抵抗が大きくなり、発熱を生じてレーザーの特性を劣化させる。図2に示す9波長共振器が、電気駆動半導体レーザーの究極型の一つであると私は今考えている。

このレーザーが完成すれば、世界一高性能な半導体レーザーとなり、IoT(家電や自動車などの物の

インターネット)を当然としているICT社会を持続・発展させられる。ICTが使用する電力エネルギーは、馬鹿にできないもので、日本や英国などの国全体の消費電量と同程度である。正に人類のエネルギー問題に直結している。ノートPCやスマホが使用中に熱くなることは、皆さん経験されていると思う。この熱は、CPUが情報処理により直接発生させるものよりも、電気配線の抵抗によるものが主である。エネルギーの無駄遣いである。我々のレーザーをCPU内の情報通信に使用することで、無駄な熱エネルギーを削減でき、社会問題のソリューションになるかもしれない。そうなれば、研究者としてこの上ない幸せである。我々のレーザーは、机上のものから現実の物になろうとしている段階である。わくわく、ひやひやした毎日を学生と一緒に過ごしている。

