

面発光レーザーと微小光学の発展

東京工業大学 名誉教授／元学長
伊賀健一 IGA, kenichi

面発光レーザー (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) の発展が著しい¹⁾。面発光レーザーは、筆者が発案した半導体レーザーで、半導体ウェハの表面方向から光が取り出せるため、端面発光型の半導体レーザーでは得られない集積性や IC との親和性が期待される。黎明期は出力や信頼性など様々な課題があり、実用化に苦勞した時期があった。筆者のグループによる室温連続動作を機に、世界中のレーザー研究者がこぞって開発を加速し、LAN、マウス、レーザープリンター等への導入が進んだ。何と云っても社会的インパクトがあったのは、iPhoneX の顔認証システムへの導入で、一気に世界市場へ展開された。

筆者は、2020年2月3日にサンフランシスコでの SPIE 主催の Photonics West において基調講演を行なった²⁾。この週からコロナの感染が拡大し、中国からの米国入国が禁止となった。タイトルは、「VCSEL- Born Small and Grown Big」、つまり「面発光レーザー：小さく生まれて大きく育った」というつもりだった。1000人以上も入ろうかと思える大ホールが満員立見という盛況で、皆さんから好評を得た。講演では、面発光レーザーの発明から現在までの発展についてのお話をした。また、会期中に配布される広報誌「Show Daily」誌のトップを飾る記事になっていた。なお、参考文献³⁾に、当日のビデオ録画が一般に公開されている。Photonics West 国際会議はビジネスを志向する聴講者が多いが、面発光レーザーのさらなる可能性を期待して、多くの聴衆が筆者の基調講演に耳を傾けてくれたようだ。

その講演内容も含め、筆者らが書いた『面発光レーザー；その原理と応用システム』⁴⁾を参考に、面発光レーザーの発展を見てみよう。まず、VCSEL が大量に使われるようになったのは、インターネットが広まった1999年頃からで、LANの光源として多モードファイバーと相性が良かったためである。今も、データセンターにおける短距離トランシーバーを支えている。2001年になると、コンピューターのマウスのセンサーに応用され、これまで、11億個以上が生産された。同じ時期に出現した2次元アレイ性を活かすレーザープリンターは高速・高精細のプリンターに革命をもたらした。

最も注目されているのが、3次元顔認証であろう。2017年にアップル社が iPhoneX に VCSEL を Structured Light 光源とした顔認証システムを搭載してきっかけを作り、iPhone13 や iPadPro にも引き継がれている。これから、Android 系にも広がろうとしていて、デバイスの大量生産へ投資がなされている。

もう一つが LiDAR で、Mobile 用のレーザー機能デバイスとして期待されている。すでに、掃除ロボットに 5mm 角

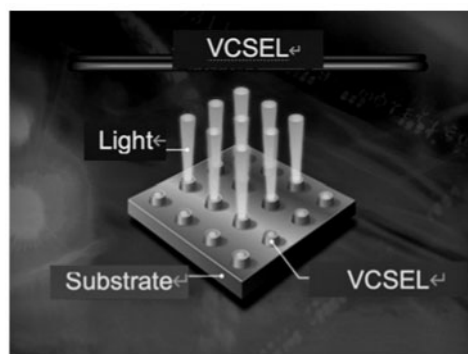


図1 面発光レーザーのイメージ

くらいの大きさの LiDAR が搭載されている。これから、自動車や移動体に応用されるであろう。そのほか、高出力励起光源やコヒーレンスを生かした光コヒーレンストモグラフィー (OCT) など、拡大が見込まれている。

筆者は、東京工業大学精密工学研究所の助手に時代に、ルビジウム (Rb) 原子周波数標準の研究をしていた。マイクロ波の共鳴吸収を光励起の助けを借りて行う。当時その光源には Rb の蛍光を使っていたが、その後 VCSEL が導入された。米国 NIST による CPT (Coherent Population Trapping) の提案により、さらに小型化された。日暮栄治氏が、本誌 2021 年の 11 月号焦点で紹介している。2 つの波長を持つレーザー光が、一種の共鳴透明化を生じさせるために必要である。そこに、VCSEL を直接変調しその側帯波を使うのである。小型化して、スマートフォンへも搭載が可能になるという。

一方、微小光学 (Microoptics) の概念が、1968 年に内田禎二、北野一郎両氏によって提唱されて以来、半世紀以上が経った。また、応用物理学会／微小光学研究グループが活動を開始してから 41 周年になる。関連技術は形を変えながら発展して、今なおその概念は生き続けている。そこに、SDGs や脱炭酸ガスの環境整備が迫る。技術もこれに応えなくてはならないが、微小光学は省エネや微小化でそれに適している。

2021 年 9 月 26～29 日に Microoptics Conference 2021 が開催された^{5,6)}。開催準備の最終段階がコロナ感染ピーク時に重なったため、予定していた浜松でのハイブリッド開催からオンライン開催に変更となった。最も苦労したのは米国や欧州との時差の問題であった。一堂に会して対面で実感できるリアル会議の有難さを改めて認識する一方、各自の PC 上で鮮明な資料や音声を共有できるツールの急速な普及は国際会議の将来像を示唆している⁶⁾。

この会議でも、面発光レーザーの発表がいくつかあった。面発光レーザーは工業化の段階に入り、2020 年の市場は 9000 億円に達しているとの推定である。Dieter Bimberg 教授の基調講演では、単一モード VCSEL の間隔をつめて空隙を設ける方法が提案された。複数の単一モードレーザーを多モードファイバーに結合するのだそうだ。Jim Datum 氏の招待講演では、VCSEL の企業が一時減少してまた増加に転じているとのこと。彼はベンチャー企業を立ち上げたばかりだが、ニッチ (niche) の新しい分野にチャンスはあると言っている。MOC Award を獲得した東京工業大学・小山研究室の棚橋和真さんの VCSEL 形式を用いる LiDAR の講演に加え、筆者が IEEE Edison Medal 受賞記念講演を行うなど、活発さを見せていた。

また、野田 進教授による特別シンポジウム講演でのフォトニック結晶面発光レーザーでは大きな発展を見せ、単一モードでの高出力化、ビーム操作による LiDAR への応用など、大きな将来性を感じた。2 次元の 2 次回折格子を用いる面発光レーザーである。主な発振方向へ、直角方向からの偏波面を主方向に併せる工夫がなされている。

Federico Capasso 教授の薄膜状に形成するいわゆる Structured Optics の分野でも、招待講演や一般講演があり、新しい分野を形成しつつあった。Structured Optics の最適化には AI (Artificial Intelligence) が有効のようだ。微細な構造光学であるメタマテリアルの分野も進展が見られた。岸野克巳教授の招待講演にあった RGB の micro-LED はこれからの小型ディスプレイに向かう。共振器の大きさを小さくした青色 micro-LED の高速化による光 Wi-Fi (Li-Fi) は照明と同時に光無線で繋ぐ道があるようだ。また、水中通信にも、青色 VCSEL が必要だと。

瀧口義浩学長の講演では、静岡県が主導する農業、海洋、森林に Photonics が寄与するようだ。食料と薬品は人間生活にとって必須で、将来性が感じられた。川人祥二教授の講演にあった CMOS 技術を使ったイメージセンサーは、これからますます広がる LiDAR や画像処理に高性能化が期待される。

5G やそれ以降の通信にも、システムを構成するための微小光学の手法が活かされそうだ。シリコンフォトニクスは CMOS 製造技術を使う広い概念を表したものだが、光部品として実用化が進んでいる。その光導波路自身が小さすぎて、光ファイバーとの結合に苦労がある。微小光学の初期に行った結合問題がここでも登場する。

微小光学の大きな流れとしては、光ファイバー通信 ⇒ 光ディスク ⇒ ディスプレイ ⇒ センシングなどへと発展してきたが、再び大容量、低消費電力、高速の光ネットワーク、顔認証や LiDAR などのセンシング分野に向かって展開している。光技術としても、理論に加え、シミュレーションの手法が進んでいる。CNN (Convolutional Neural Network) を駆使する AI による設計など大きな進展がある。結果を上司に見せて「なぜこれが良いのか説明して」と質問されると、設計者が「AI に聞いてください」というやりとりになりそうだ。

2021 年の秋までは、COVID-19 の感染が続き、多くの会議や学会活動が制限されてオンラインが多かった。ところで筆者としては、皆様のご支援により多くの賞や表彰を受ける機会に恵まれたのであった。まず、3 月に応用物理学会から光工学賞・功績賞（高野榮一賞）が贈られた。これはレンズ設計の大家であった高野榮一氏を記念する基金でできた賞で、2021 年はその 4 回目であった。面発光レーザーと微小光学研究への貢献が認められたもの。ついで 5 月には、IEEE の Edison Medal が戴けた。Thomas Edison にちなんで作られたメダルで、IEEE の最高位メダルの中でも最も歴史がある。日本からは、2001 年の西澤潤一氏、2011 年の赤崎 勇氏、そして 2021 年が筆者で、どういわけか 10 年おきになっている。9 月に町田市名誉市民章、12 月には東京工業大学の同窓会である蔵前工業会から蔵前特別賞が授与された。ベンチャー賞と並んで設けられたもので、産業化や社会への貢献に大きく役立った大学発の技術が表彰される。これらは、恩師、同僚、学生諸君、学会、企業の皆様にお世話になったお陰であり、深く感謝しこれからも社会のお役にたちたいと思う。

参考文献

- 1) 伊賀健一：“玉手箱のけむりーその 8:面発光レーザーの今”，O plus E 誌, No. 4, p.449, July/August (2020)
- 2) K. Iga: “VCSEL: born small and grown big” Proc. SPIE 11263, Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers (VECSELs) X, 1126302 (2 March 2020); doi: 10.1117/12.2554953.
- 3) <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11263/1126302/VCSEL-born-small-and-grown-big/10.1117/12.2554953.full>
- 4) 伊賀健一，波多腰玄一：“面発光レーザー原理と応用システム”，アドコム・メディア（2020）
- 5) 第 26 回微小光学国際会議（MOC2021）<http://comemoc.com/moc2021>
- 6) 伊賀健一：“玉手箱のけむりーその 16:微小光学の発展”，O plus E 誌, No. 6, p. 569, Nov./Dec. (2021)