



DPSSL (Diode Pumped Solid State Laser) の過去と未来

時田 茂樹†

DPSSL (Diode Pumped Solid State Laser) Past and Future

Shigeki TOKITA†

本誌の読者をご存知のとおり、DPSSLとはDiode Pumped Solid State Laserの頭文字をとったもので、日本語では半導体レーザー励起固体レーザーと呼ばれる。Nd:YAGに代表される固体レーザーが主にフラッシュランプで励起されていた頃、それと区別するためにDPSSLという言葉が使われた。昨今では、DPSSLは当たり前の技術となり、この言葉を使うことは以前より少なくなったように感じる。例えば、広く普及している高出力ファイバレーザーは例外なくDPSSLであるため、その区別がない。

DPSSLの歴史は半導体レーザー発明からわずか2年後の1964年にさかのぼる。リンカーン研究所のKeyesらは、4.2 Kに冷却した840 nmのGaAs半導体レーザーを複数用いて $U^{3+}:\text{CaF}_2$ ロッドを励起し、2613 nmのレーザー発振を得たと報告している。この時点で、より高効率な875 nm励起 Nd^{3+} レーザーの提案がなされている。しかし、当時の半導体レーザーは極低温でしか動作しなかったため、この技術がすぐに実用化されることはなかった。DPSSLが注目され始めたのは1980年代に入ってからで、この頃、室温動作のCW半導体レーザーで100~1000時間の寿命が得られるようになり、励起光源としての利用が現実味を帯びてきたのである。1990年代初頭にはDPSSLの平均出力は1 kWを超え、2010年代初頭には100 kWのファイバレーザーが実現された。今日も続くパワー競争はとどまるところを知らないようである。筆者が固体レーザーの研究に携わり始めた2003年頃、高出力DPSSL技術は急速に発展していたが、半導体レーザーのコストが高いという理由で、市販レーザーの主流はまだまだランプ励起レーザーであった。しかし、1980年代から現在に至るまで、半導体レーザーのワット単価は10年毎に約5分の1に下がり、40年間でおよそ1000分の1になった。現在の半導体レーザーの1 W当たりの単価は100円/W以下になっており、1 kWのレーザー素子が10万円で購入できる時代である。こうなると状況は一変し、すでに産業用レーザーの市場からはランプ励起レーザーが姿を消しつつある。もちろん、ランプ励起レーザーが完全に消えたわけではない。パルスエネルギーが1 J以上のパルスレーザーにおいてはまだまだランプ励起の製品が主流であるし、レーザー核融合等の研究用途では未だにガラスレーザーが現役である。半導体レーザーが安くなったとはいえ、高パルスエネルギー用途では導入コストの問題はまだ解決されていないと言える。例えば、10 JのNd:YAG DPSSLには少なくとも200 kW程度の半導体レーザーが必要になるため、励起光源の半導体素子だけで2000万円がかかり、装置全体のコストを大幅に引き上げてしまう。とはいえ、コストの問題が解決し、1~10 J級のパルスレーザーがDPSSLへ完全に移行するのは目前であろう。

一方で、高出力半導体レーザーの輝度($\text{W}/\text{cm}^2 \text{ sr}$)は8年毎に10倍になっており、ワット単価の約2乗に反比例して上昇している。すなわち、高効率化等により1チップ当たりのパワーが上昇した結果、高輝度化と低コスト化が同時に達成されたと考えることができる。面白いことに、この輝度の増加率は半導体業界で有名な「ムーアの法則」(チップ当たりのトランジスタ数が7年毎に10倍になっている)と偶然にも近い値となっている。最先端の半導体レーザーでは、105 μm コアのファイバから250 W以上の出力を得ることができる。学生時代に使っていた20年前の940 nm半導体レーザーの出力が105 μm コアでわずか1 Wであったことを思い起こすと、この半導体レーザー版ムーアの法則と概ね一致していることに気づく。

話をコストに戻すと、筆者が現在取り組んでいる100 J級Yb:YAG DPSSLの開発では、500 kW~1 MWの励起光源が必要となるため、半導体レーザー素子だけでおよそ1億円のコストがかかる。これは高額であるが、10年後に5分の1になるとすれば、システム全体のコストに対して半導体レーザーが占める割合はわずかなものになるだろう。すなわち、100 J~1 kJの高パルスエネルギーレーザーにおいても、10年以内に新しいDPSSLの時代が到来するというのである。世界のレーザー市場規模の急速な成長と技術動向から鑑みるに、レーザー業界の発展はまだ始まったばかりである。日本もそれに乗り遅れないようにしなければならない。

† 大阪大学 レーザー科学研究所 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-6)

† Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871