



4. 21世紀型レーザーを目指して —半導体レーザーとファイバーレーザーの新しい方向性— Future Prospects of Laser Diodes and Fiber Lasers

植田憲一

電気通信大学 レーザー新世代研究センター

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

Ken-ichi Ueda

Institute for Laser Science

University of Electro-Communications

1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585 Japan

For the next century we should develop new concepts for coherent control of light generation and propagation. Owing to the recent development of ultra fine structures in semiconductor lasers, fiber lasers, and various kinds of waveguide structure, we can make optical devices which control the light propagation artificially. But, the phase locking and phase control of multiple laser oscillators are one of the most important directions of laser science and technology. The coherent summation has been a dream of laser since 1960. Is it possible to solve this old and quite challenging problem for laser science? This is also a very basic concept because the laser action based on the stimulated emission is the process of coherent summation of huge number of photons emitted from individual atoms. In this paper, I discuss the fundamental direction of laser research in the next ten or twenty years. The active optics and laser technology should be combined intrinsically in near future.

Keywords : Fiber Laser, Laser Diode, Coherent summation, Active optics, Phase control

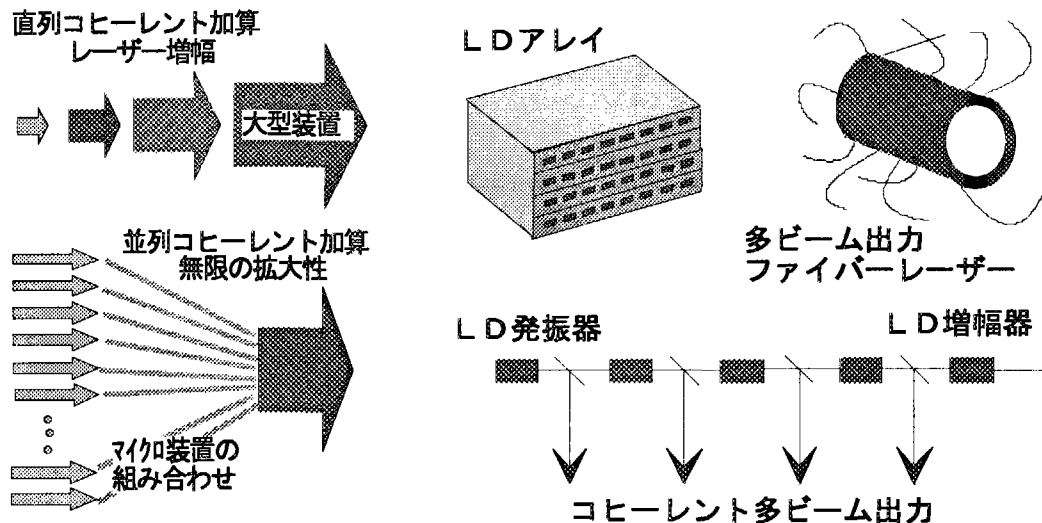


図1 レーザーのコヒーレント加算とLDコヒーレントアレイ

レーザーはコヒーレントな光を発生する。その特性はレーザー発振の境界条件、すなわち共振器条件で決まるが、異なった独立のレーザー発振器から発生するレーザー光の周波数、位相を揃えることができれば、光を波のレベルで重ね合わせることができる。これはレーザーが発明された当初からの夢であるコヒーレント加算である。図1のような並列的なコヒーレント加算ができれば、無限の可能性が広がる。一方、誘導放出によるレーザー増幅は直列的なコヒーレント加算であり、大型増幅器により大出力を発生できる。21世紀の主役となる半導体レーザーを考えると、高出力半導体レーザーとは、実は小さな出力の半導体レーザー多数の集合であって、決して一つの発光領域から高出力が発生しているわけではない。しかし、21世紀に半導体レーザーをあらゆる場面で使用しようとする、高出力半導体レーザーの位相ロックアレイが不可欠である。

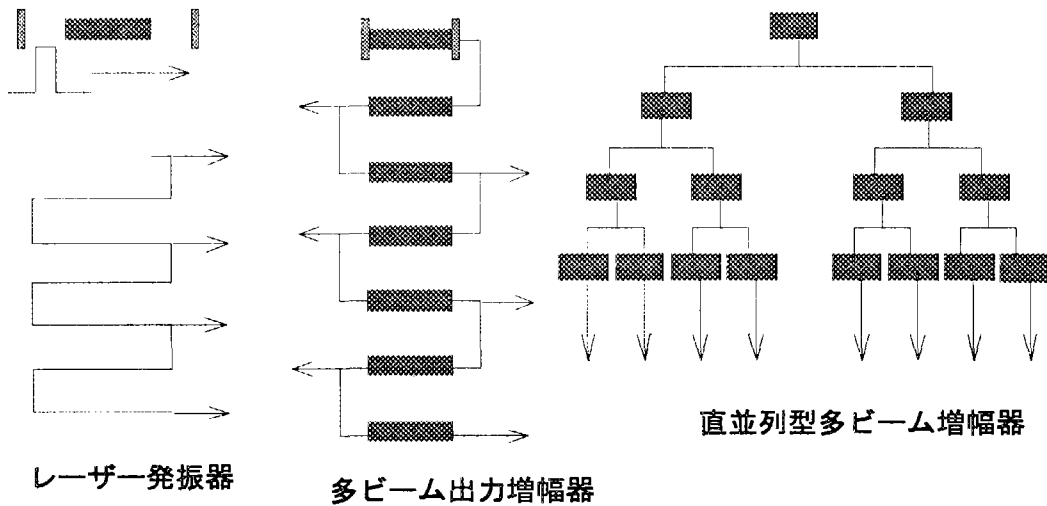


図2 多ビーム出力レーザー増幅器はレーザー発振の時間発展を空間的に展開する。

タルボット共振器などによるLDのコヒーレントアレイ化の研究はあるが、外部に精密調整の必要なタルボット共振器を組んだのでは、LDの利点が消えてしまう。LDのユニットは同じなので、それらを直列につないだ増幅器は、強いレーザー入力によって完全飽和増幅をする。増幅器で増加した光を図のように出力すれば、どの増幅器ユニットもまったく同じ条件で入出力を繰り返す。このような多ビーム出力のLDは、出力の周波数、空間的性質は、元来、同一の発振器の出力を増幅しているので、はじめから整合している。LDの最大の利点は、駆動電流を調整すれば、増幅器で位相調整が容易にできることで、同じ周波数の増幅器出力の位相整合は可能である。したがって、多ビーム出力はコヒーレント加算できるはずである。このことを、図示したものが図2である。

図2に示したとおり、多ビーム出力レーザー増幅器は、レーザー発振器内をレーザー光が往復して増幅される時間発展を、多数のレーザー増幅器を使って空間的に拡大したものである。レーザー発振器の多数回往復した光は、互いに完全にコヒーレントであって、コヒーレント加算される。そのため、その干渉効果として1本のきれいなレーザー光が出力されるのである。ただし、エネルギーを引き出す対象のレーザー媒質は単一であるため、レーザー出力には限界がある。その時間発展を空間的に展開し、各々の光のパスにレーザー増幅器を挿入して、飽和増幅をさせれば、同じ性質を持ったレーザー光の出力は出力ビーム数だけ増大する。原理的には、周波数も空間的性質も同じ光なので、位相さえ制御できればコヒーレント加算が可能になる。単純な配置だけでなく、直並列的に増幅する方式も考えられる。

図1にはLDアレイ以外に多ビーム出力ファイバーレーザーが描かれている。通常のレーザー発振器が必ず1本の出力ビームを持つのに対して、図1のような糸巻き状に巻かれたファイバーレーザーを考案したが、ファイバーレーザーには最適効率を与える利得長があるので、すべてを

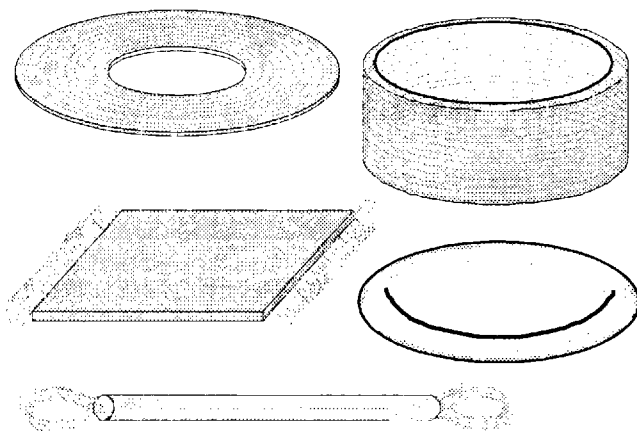


図3 様々な形態のファイバーレーザー

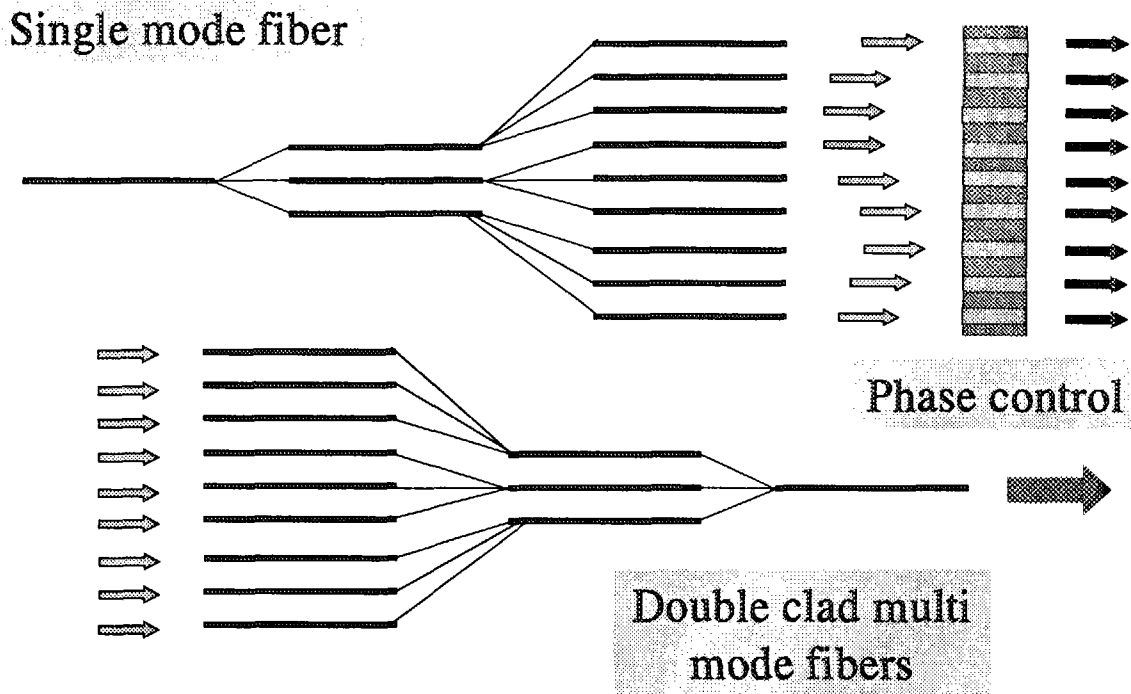


図4 ファイバレーザにおけるコヒーレント加算とインコヒーレント加算

1本のファイバレーザとすることは有利ではない。そうすると、必然的に多数ビームの出力となり、それらの間のコヒーレント、インコヒーレント加算を考えたのが、本報告の起点となっている。ファイバレーザに関しては、我が国独自のアイデアとして、図3のようにファイバレーザを材料として埋め込んだファイバディスクレーザや円筒状ファイバレーザが開発されている。多分岐ファイバレーザでは、同じ周波数の光を増幅し、単一モード出力も可能なので、図4に示したように、位相制御光学素子を出力部に配置すれば、同じようにコヒーレント加算を可能とするレーザだといえる。

最後に、コヒーレントアレイが実現したとすると、図5のように、アレイ出力に位相分布を与えれば、ビームの空間伝播を制御することができるようになる。レンズなしで並行ビーム、収束ビーム、ビーム変更が可能で、真の意味でアクティブなアダプティブ光学系を実現することも可能となる。光の発生と伝播は、ともに光のモード制御であって、同じ物理に基づいている。20世紀の最後になって人類が手にした光の波長よりさらに微細な構造を物質内に作り込む技術は、光の発生と伝播を自由に制御できるようにしてくれた。しかし、それを利用するには、光の本質が波であることを、実感し、そのフィーリングから光のデバイスを見直す必要がある。しかし、エ

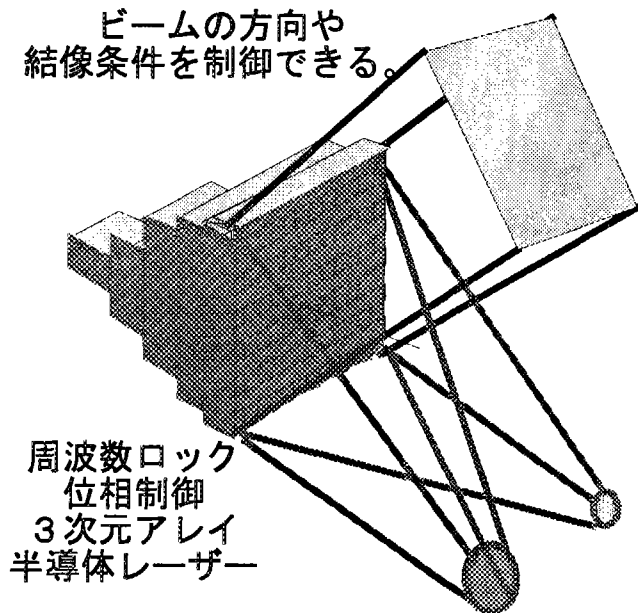


図5 コヒーレント半導体レーザアレイ

ジプト以来、そして、ガリレオやニュートンが屈折望遠鏡、反射望遠鏡を作ってから400年を経過しようという人類の歴史で、光の認識を改めることは簡単ではないのである。認識から改め、より光の本質に忠実なレーザー、光学の技術を発展させる時代が21世紀というべきではないか。そして、放っておいても21世紀が光の時代となることはない。21世紀を光の時代にするのは、新しい概念を作り出す科学者と技術者の手によって入るのである。電通大新世代研究センターはそのような新しい時代、それこそ新世代のレーザー、光学技術を目指して新しく発足した。