

2.3.5 次世代半導体レーザーデバイスの開発

近藤正彦

電気電子情報工学専攻・教授

近年のIT社会の爆発的發展により，情報伝送の急速な高速化および大容量化が求められている．ユビキタス社会を実現するために端末の無線化が進行しているが，その裏側では光通信が高速・大容量伝送を支えている．因って，光通信が今以上に重要な役割を果たすことに異論はない．

図2.3.5.1に，光通信速度のトレンドを示す．これまで，光通信の通信速度は，CPUの高速化の要求に応じてムーアの法則に従って高速化してきた．しかし，現在は，光源である半導体レーザーの高速化は材料の物理限界から壁に直面している．つまり，IT社会の今後の発展の足かせとなる恐れがある．現在実用化されている直接変調可能な最速の半導体レーザーは10Gbpsであり，次世代の40Gbpsのものが研究室レベルでやっと動作したところである．その先の高速化，例えば，100Gbps動作は，全く目処が立たない状況にある．

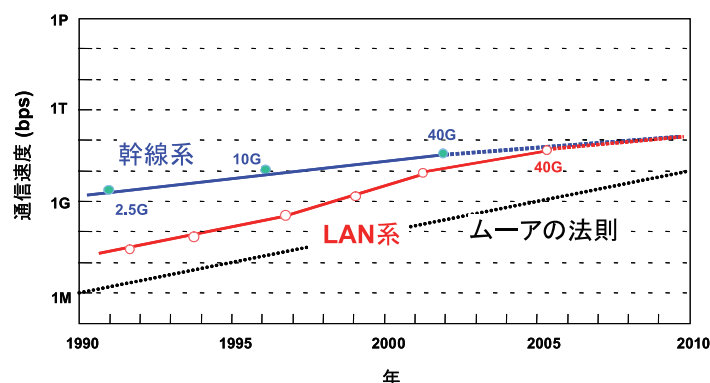


図2.3.5.1 光通信速度のトレンド.

図2.3.5.2に，半導体レーザーの利得媒質の長さで高速化の目安となる緩和振動周波数の関係を示す．現状の高速半導体レーザー（第1世代の端面発光型）の利得媒質長は $200\mu\text{m}$ 程度であり，緩和振動周波数は最高でも20GHz程度である．同図より，利得媒質長を短くすると緩和振動周波数が増加することが分かる．利得媒質長が数 μm のところでは100GHzを超える．従って，100Gbpsの動作も期待できる．しかし，僅か数 μm の利得媒質長でレーザー動作させることは，従来技術の延長ではその実現の可能性は全く無い．

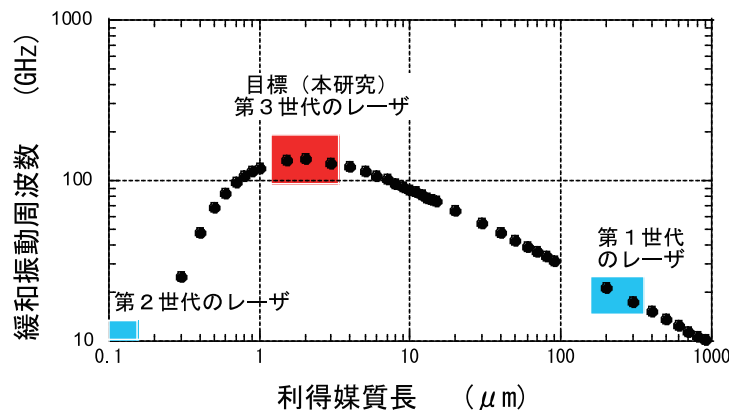


図2.3.5.2 半導体レーザーの利得媒質の長さで高速化の目安となる緩和振動周波数の関係.

既存の半導体レーザーは第1世代の端面発光型および第2世代の面発光型の基本構造に大別されるが、図2.3.5.2に示すように、どちらの構造も数 μm の利得媒質長でレーザー動作を実現させることはできない。その為、半導体レーザーの高速化の研究開発は壁に直面しているのである。この状況を打破するには、半導体レーザーの基本構造を、第3世代の新しいパラダイムにシフトさせる必要がある。

その為には、何らかの革新的技術の導入が必須である。我々は、ナノテクノロジーで作製される新素材のフォトニック結晶を、半導体レーザー技術へ融合させることにより、IT社会の発展の足かせとなる半導体レーザーの高速化の問題をブレークスルーする。

本研究で開発するレーザーの俯瞰図と断面構造を、図2.3.5.3に示す。赤色で示す部分が、ヘテロエピウエハ表面に掘られた縦穴で、空気が入る。縦穴は、周囲の半導体部分とは屈折率が大きく異なる。この縦穴を周期的に配置することで、2次元フォトニック結晶構造となる。フォトニック結晶に囲まれた領域は、ほぼ完璧なレーザー共振器となる。本レーザーでは、フォトニック結晶部分のクラッド層のAlAs層（導電性）を選択酸化して低屈折率のAlO_x（アルミナ；図中では青色で示す）に変換させる。AlO_xの屈折率は1.55程度と空気の1に近く、他の半導体材料（3～4）に比べて特段に低い。その為、光がコア層より上下方向に漏れることなく、フォトニック結晶として機能する。（従来の半導体材料に、周期構造を単に形成するだけでは、フォトニック結晶として機能しない。）選択酸化されたAlO_xは絶縁体なので、レーザー共振器部分への電流狭窄の役目も果たす。

電流注入によりGaInNAs量子井戸活性層で発生した光は、共振器内に定在波として蓄積される。フォトニック結晶に囲まれたレーザー共振器は、極微小閾電流でレーザー発振に至る。レーザー光は、光導波路より出力される。

本年度は、レーザー光を発生するGaInNAs量子井戸活性層の高品質化に注力し、その成果を中心に発表を行った。

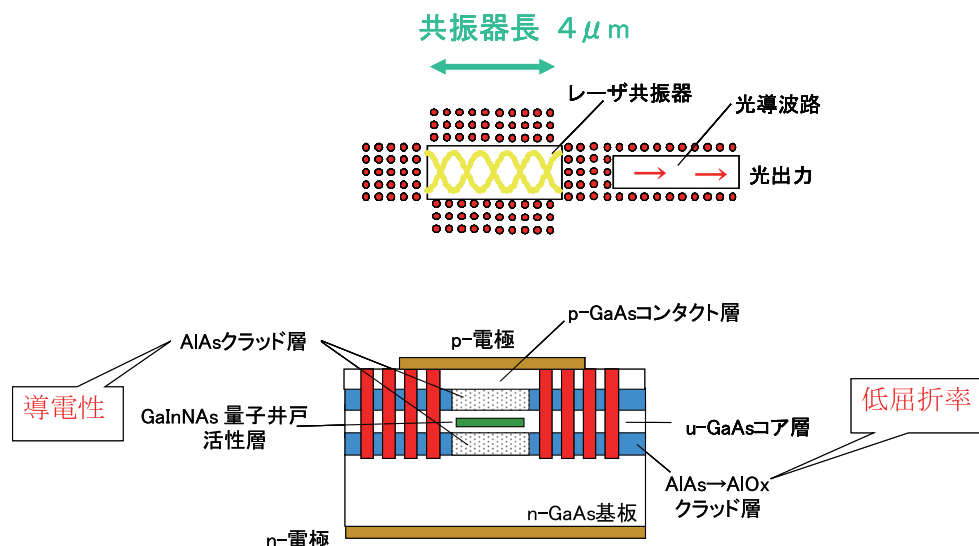


図2.3.5.3 本研究で開発する半導体レーザーの俯瞰図(上)と断面図(下)。