

## ● フォトニック結晶型半導体レーザーの実現 —世界最小レーザーの発振確認—

● 平成13年5月15日

独立行政法人通信総合研究所(以下CRL、理事長:飯田尚志)と日本電信電話株式会社(以下NTT、代表取締役社長:宮津純一郎)のフォトニクス研究所は、帝京科学大学永沼充教授、東京都立大学益田秀樹教授と共同で新しい光の結晶(フォトニック結晶)を利用して、**世界最小レーザーの発振に初めて成功しました。**

今回の成果はフォトニック結晶の応用に新たな道を開くのもので、現在の電子制御を中心とする半導体素子の限界を超えられる可能性を示した点は意義深いものです。例えばこの微小レーザーを光ファイバー中に組み込み、よりコンパクトな光通信システムを実現したり、低エネルギーで同時に多数のレーザーを動作させて超高速大容量の光信号処理が実現できるなど、将来のITを支える中核素子となると期待されます。研究の成果は5月16日奈良新公会堂で開催されている半導体関連の国際会議で発表される予定です。

### <背景、位置づけ>

光信号を微小な領域で制御できるフォトニック結晶は光部品の小型化に威力を発揮し、そのサイズを1/1000以下にできるといわれています。また小型化ばかりでなくフォトニック結晶固有の特長である大きな波長分散特性は新しい光部品の可能性を拓くもので、欧米を中心に盛んに理論的な検討が進められています。日本では研究着手がやや遅れたものの、半導体産業で培われたナノテクノロジー技術を駆使して新しい結晶の作製が精力的に進められています。

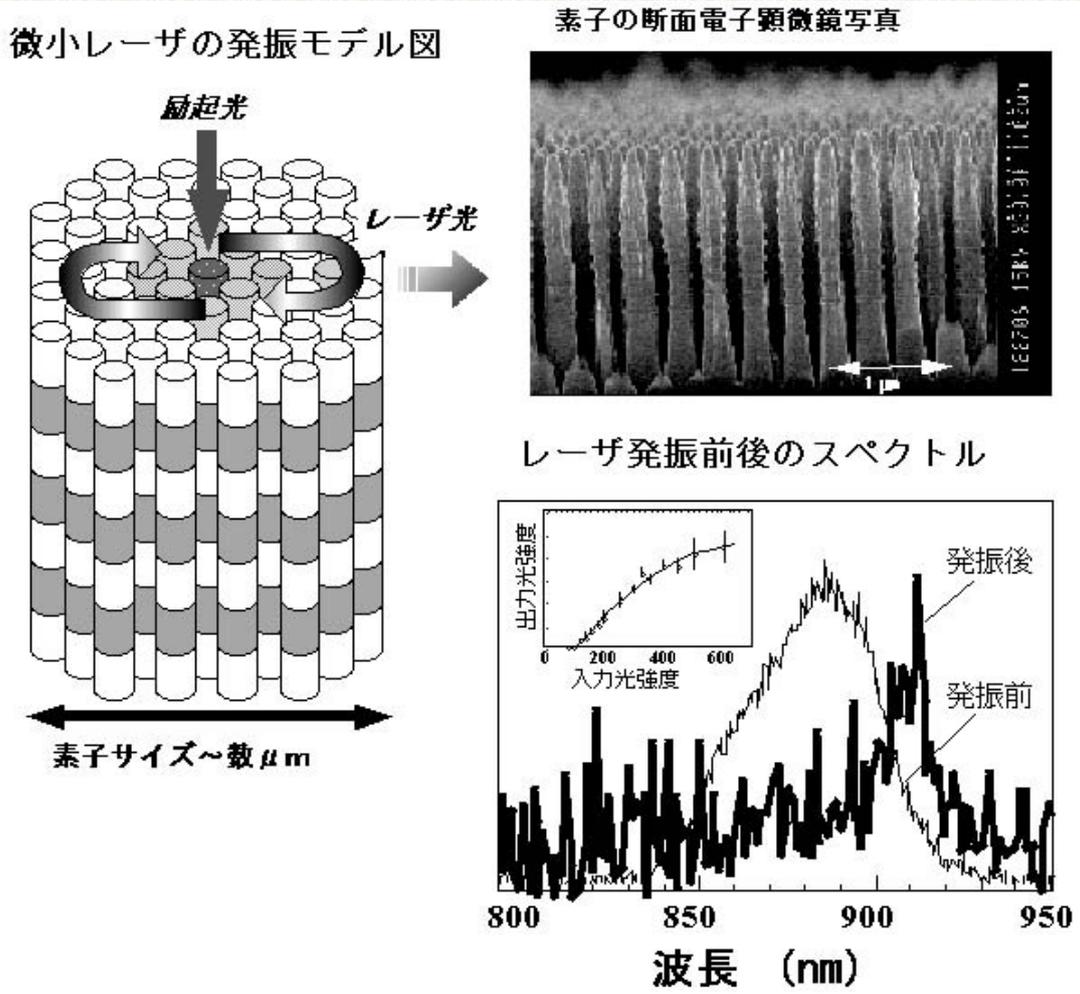
これらの基本になるのは屈折率の大きな物質と小さな物質(例えば前者はシリコン、ガリウム砒素などの半導体、後者は空気や酸化物などが代表例としてあげられます)を光の波長サイズ(サブミクロン)で配列させる技術で、その規則性が結晶の特性に著しく反映されます。理論的に予想されていた発振器(レーザー)を実証した今回の成果は結晶の規則性が良好であった結果生まれたもので、作製技術の高度さと重要性を同時に示しています。今回実現されたレーザーは微小光回路用発振器、微小光-光結合器用送信器など、様々な次世代光部品の基本素子となるものとして期待されています。

### <今回の試み、本成果の特徴>

性質の異なる半導体の薄膜を積み重ねた多層膜材料を用いて、微細な円柱が三角型の格子状に並んだ構造を作ると、円柱の並びは2次元的に拮がった周期構造、それに垂直な方向には異なる半導体が積み重なった周期構造となって、3次元の規則配列構造が得られます。今回の構造体は直径0.2ミクロン、高さ2ミクロンの円柱が0.3ミクロンピッチで配列されたもので、作製には最先端のナノテクノロジー(原子層制御可能な結晶成長、ナノオーダーの描画可能な電子線リソグラフィ技術等)を駆使し、さらに自然の規則化現象(陽極酸化)も取り入れています。この構造体中に外部より非常に強い短パルス光(パルスの時間幅10兆分の1秒程度)を照射し、その光の吸収に基づく発光を、その周りの周期構造で制御(閉じ込められる状態)しました。増幅された、微細な周期構造のピッチで決まる波長の発光の一部を外部に取り出すことにより、レーザー光として観測できたことは、所望の位置に局在した光発振器を実現できることを示したもので非常に意義深いものです。

### <今後の発展>

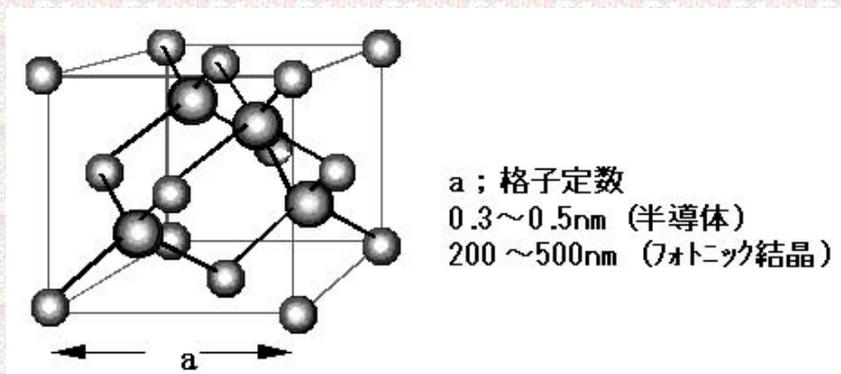
微小光発振器は、将来のITを支える光情報通信技術の根本となるもので、今後、益々重要な光部品の一つになると期待され、フォトニック結晶の他の機能部品と組み合わせることにより、新しい光制御部品へと展開させて行く予定です。



#### [用語の説明]

##### <フォトニック結晶>

光の波長オーダーで誘電体(例えばガラスの玉)が規則的に配列されているとその中に特定の光が存在できない(その中を通過できない)領域ができる。それは半導体結晶中(原子が規則的に配列されている)に電子の存在できない領域(バンドギャップ)ができるのと同様な原理でフォトニックバンドギャップ(PBG)と呼ばれている。PBGをもつ結晶がフォトニック結晶で、100%人工のものとなる。今回成功した極微小なレーザをはじめとして非常に小さなサイズで光を制御できたり、新しい光の特性が見つかったりしており、各方面から注目されている。



### <陽極酸化法>

電解質溶液(例えば食塩水)中に2枚の金属片をいれ、その間に電圧をかけると、プラス側(陽極と呼ばれる)の金属の表面は酸化され、金属酸化物層が形成される。アルミをシュウ酸や硫酸などの電解質溶液中で陽極酸化すると、ある条件の下では表面に三角配列の細孔構造を持ったアルミナ(酸化アルミニウム)層が形成されることが知られている。今回の2次元柱状アレイ構造はこの方法を利用して作成したアルミナを転写用マスクとして用いている。

### <レーザ>

2つの相対するミラー(これを共振器と呼ぶ)の間に外からエネルギーを加えると発光する媒体が存在すると、媒体からでた光はミラーで繰り返し反射される。ここにエネルギーをさらに加えて行き、次々と発生する光の波長と位相が揃ってくると、ミラー反射の限界を超え、一部透過するようになっていけば、外部に指向性の強い光がでてくる。これがレーザ光で、最近ではCDやDVD用の読みとり光源や光通信用の光源など、幅広く活用されている。今回の場合、フォトニック結晶自体が発光媒体とミラーの両方の役目を果たしている。

### <波長分散特性>

光の波長(色)によって材料の屈折率の値が異なる特性を波長分散特性と呼ぶ。プリズムで太陽光線を分解して虹色を出すことが出来るのは、プリズムの屈折率が波長分散特性を持っていて、光の色によって屈折角度が異なるからである。この特性が大きいと、超微細なプリズムを作って多数の異なる波長の光を用いた多重通信用のデバイスに利用したり、あるいは特定の波長の光信号を時間的に遅らせて光信号の順番を入れ替えるデバイスに利用したり出来る可能性がある。