平成１４年度採択分
平成１９年　３月３１日現在

超高速光ネットワーク用光ＩＣ　-大規模集積限界への挑戦-

Photonic Integrated Circuits for High Speed Photonic Networks
- Challenges for Large Scale Photonic Integration -

研究代表者
小山二三夫（Fumio Koyama）
東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究の概要：
本研究は，(1)広いスペクトル領域における高性能面発光レーザとその極限性能追求，(2)面発光レーザの波長制御技術と大規模集積化，(3)３次元積層化による大規模集積波長ルーテイング回路を研究の中核とし，これらの光集積回路の成果を結集して(4)超高速光ネットワークへの展開を目指した．

研究分野：光エレクトロニクス／分科：応用物理学・工学基礎・細目：応用光学・量子光工学／
キイワード：フォトニクス，半導体レーザ，光通信通信，光集積回路

１．研究開始当初の背景

超高速光通信ネットワークの構築は，我が国の将来のＩＴ産業の生命線である．今後加速的に重要性が増してくる都市内のテラビット級光ネットワークや大容量光ＬＡＮを実現するためには，これまでの単体デバイスから構成する手法では対応困難であり，本研究における革新的な光デバイスの創成とそれを高密度に集積化した光ＩＣの開拓により，将来の光ネットワークの発展が期待できる．

２．研究の目的

大規模集積化が唯一可能な半導体レーザである面発光レーザの開拓を推進してきた研究代表者を中心として，光機能集積回路，光通信ネットワークといった分野の研究分担者による強力な研究チームを構成し，幹線系通信網から，都市内あるいは，LAN における超テラビット級光ネットワークを可能とする革新的な光デバイスの実現とそれを大規模に集積した光ＩＣの開拓，さらには，その超高速光ネットワークへの適用を目指している．

３．研究の方法

研究代表者を中心として，光デバイス，光機能集積回路，光通信ネットワークといった分野の４名の研究分担者による研究チームを構成し，幹線系通信網から，都市内あるいは，LAN，光インターコネクトにおけるテラビット級光ネットワークを可能とする革新的な光デバイスの実現とそれを大規模に集積した光 IC の開拓，さらには，その超高速光ネットワークへの適用を目指して研究を推進した．

４．研究の主な成果

(1)広いスペクトル領域における高性能面発光レーザ

高歪 GaInAs/GaAs 量子井戸による世界高性能レベルの長波長(1.2μm)帯面発光レーザを製作し，耐戻り光特性に優れた低しきい値単一波長レーザ動作を実現して，非冷却下で 10Gb/s の単一モード光ファイバ伝送に成功した．また，GaInNAs 量子薄膜の高品質化，InAs/GaInAsSb 量子ドットなどの長波長発光材料の開拓を進めた．

(2)面発光レーザの波長制御と２次元集積化

パターン基板を用いた多波長面発光レーザアレイの構成法を確立し，波長スパン 200nm に及ぶ世界最広波長域多波長の２次元面発光レーザアレイを初めて実現するとともに，大きさ 2mm 程度の微小チップ上に 100 波長規模の世界最大規模の集積化を実現した（図 1）．

また，1.5μm 帯 GaAlInAs/InP 系面発光レーザに熱応力による補償効果を発現するマイクロマシン構造を集積し，発振波長が温度に依存しないアサーマル半導体レーザを世界に先駆けて実現した（図２）このときの波長の温度係数は，通常の DFB レーザなどの単一モードレーザの約 1/50 以下である．

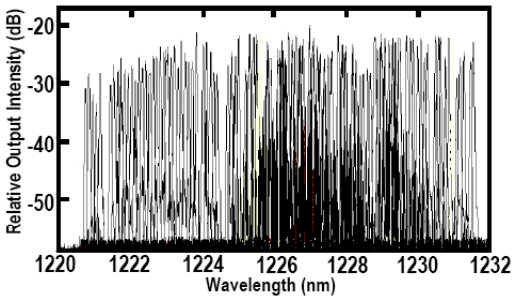

図１　多波長面発光レーザアレイのｽﾍﾟｸﾄﾙ

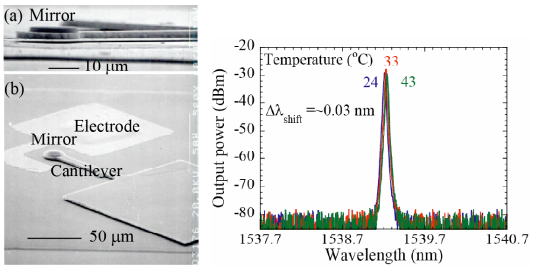

図２　アサーマル面発光レーザ
波長温度係数が，従来の 1/50 まで低減

(3) 面発光レーザにおける新機能発現
　面発光レーザ構造を用いて入射光強度に対して大きな負の位相シフトを与える位相シフタを提案し，その 10 ピコ秒クラスの高速応答を実証して，光ファイバ伝送中の非線形効果を光学的に補償する新手法の提案した．　さらに，面発光レーザ構造を用いて，高反射率で形成された導波路で光を減速したスローライトを生成し，大幅に光回路を微小化するスローライト光回路を提案し，大きさ 20 ミクロンの超小型光変調器，光検出器の実証に成功した（図３）．

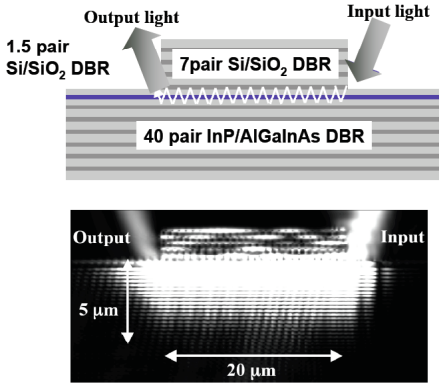

図３　超小型スローライト光変調器

(4) 面発光レーザ構造から派生した可変中空光導波路 IC 創成
　垂直共振器である面発光レーザをさらに，水平方向へと発展させた中空光導波路による新しい可変中空光導波路デバイスに展開し，中空導波路を用いた可変分布反射器で最大 160 nm の波長可変動作を実現した．

(5)マイクロリング共振器による光 IC
　積層型マイクロリング共振器（図 4）の超小型化（直径 5 ミクロン），共振波長のアサーマル化（温度無依存化）と紫外線照射による高精度な波長トリミング技術を集積素子に適用して，絶対波長を高精度にかつ安定に制御する技術の開発，およびマイクロリング共振器フィルタの共振周波数を可変にする（チューナブル化）技術の開発，これらを用いた波長選択光スイッチの実現に成功した．

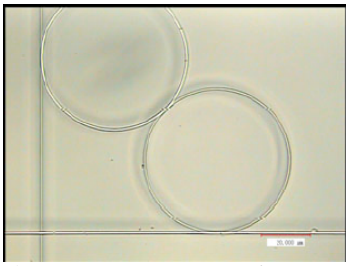

図４　積層型マイクロリング共振器フィルタ

５．得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト
　本研究グループは，我が国の光デバイス／光集積回路の研究をこれまで先導するとともに，面発光レーザの実用化では，北米に先行されたものの，波長集積技術，アサマール化，面発光レーザ技術から派生した 巨大可変素子技術，スローライト効果による光回路微小化手法は，世界的にも新しい流れを作り出している．従来の光デバイス技術では想像すらできないような大規模の集積化を可能とする光ＩＣの開拓は，特に，小型化や低コスト化が必須である中距離，短距離光通信網を構築する上で革新的な効果をもたらすと期待される．

６．主な発表論文
（研究代表者は太字、研究分担者には下線）
1) **F. Koyama**: “Recent advances of VCSEL photonics,” IEEE, J. Lightwave Technol., Invited Paper, vol.24, no.12, pp. 4502-4513, 2006.
2) **小山二三夫**, 三浦 達, 桜井康樹, “可変中空光導波路とその光回路への応用,” 招待論文, 電子情報通信学会論文誌, vol. J88-C, no. 6, pp. 388-396, 2005
3) Y. Kokubun, Y. Hatakeyama, M. Ogata, S. Suzuki, N. Zaizen, "Fabrication technologies for vertically coupled microring resonator with multilevel crossing busline and ultra-compact ring radius," IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics, vol.11, no.1, pp.4-10, Jan.-Feb. 2005.
4) T. Miyamoto, S. Makino, Y. Ikenaga, M. Ohota, and **F. Koyama**, “Wavelength elongation of GaInNAs lasers beyond 1.3 μm,” Proc. IEE, vol. 150, no. 1, pp. 59-62, 2003.
5) G. Hirano, **F. Koyama**, K. Hasebe, T. Sakaguchi, N. Nishiyama, C. Caneau and Chung-En Zah: “Slow light modulator with Bragg reflector waveguide”: (OFC 2007), Post-deadline paper, PDP34, Anaheim, (USA), (2007).

ホームページ
http://vcsel-www.pi.titech.ac.jp/