

超低消費電力光配線のための集積フォトニクスの進化

Advances of integrated photonics for ultra-low power consumption optical interconnects

小山 二三夫 (KOYAMA FUMIO)

東京工業大学・精密工学研究所・教授



研究の概要

MEMS 構造集積化による絶対波長安定化 (アサーマル) 面発光レーザアレイ、光群速度低下させて素子サイズを小型化して高速化を図るスローライト光デバイスをキイデバイスとして、そのアレイ化多波長集積化、超高速化、低消費電力化を進めて、大容量の光リンク/光配線のための革新的な集積光デバイスの開発を行う。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：光デバイス、光回路、半導体レーザ、光インターコネクト、面発光レーザ

1. 研究開始当初の背景

スーパーハイビジョンなどの次世代超高精細映像の伝送には、20Gbps 以上の大容量伝送技術が必要であり、低消費電力化を両立させることも将来のグリーン ICT の方向性から重要な課題である。幹線系光通信網に対しては、10Tbps を超える大容量波長多重伝送技術が可能になりつつあるものの、今後加速的に重要性が増してくる光アクセス、光 LAN、装置間・装置内配線の大容量化を実現するためには、経済性やスケラビリティに優れた革新的な光リンク・光配線技術の開発が必要である。

2. 研究の目的

研究代表者の提案した MEMS 構造集積化による絶対波長安定化 (アサーマル) 面発光レーザアレイ、光群速度低下させて素子サイズを大幅に小型化して高速化を図るスローライト光検出器/光変調器をキイデバイスとして、その並列アレイ化、多波長集積化、超高速化、低消費電力化を進めて、現状技術の 100 倍から 1000 倍の超大容量 (100Gbps-1Tbps) の光リンク/光配線のための革新的な集積光デバイスの開発を行い、高速化と低消費電力化を両立する集積フォトニクスの進化を目指す。

3. 研究の方法

光マイクロマシン構造集積により発振波長の温度依存性を完全に補償した絶対波長温度無依存レーザ、あるいは、サブ波長回折格子を用いた高精度多波長集積化など、従来

の半導体レーザでは実現困難であった革新的な波長制御技術を開拓し、大きな消費電力を発生する温度制御を不要とし、高精度に制御されたアレイ素子の百波長に及ぶ高精度多波長一括生成技術を確立する。面発光レーザの微小共振器構造を活かして、既存の半導体レーザに比べて集積密度を 100 倍以上に高めた面発光レーザフォトニクス集積技術の確立を目指す。

面発光レーザに集積可能な Bragg 反射鏡導波路におけるスローライトを用いて、光変調器や光検出器などの光回路の飛躍的な小型化を実現する。光の群速度を 1/10~1/100 まで低減することにより、素子長を数十マイクロメートル以下となる超小型光素子、高密度光回路の実現が期待できる。これによって、超高速光変調器、低容量の高速光レシーバ、大規模半導体光スイッチ網など、低消費電力化と高速化を両立可能な光配線要素技術を確立する。また、面発光レーザアレイとテーパ中空光導波路をハイブリッドに集積した小型光合波回路を実現する。

4. これまでの成果

850nm 帯面発光レーザに MEMS 構造 (図 1) を集積し、周囲温度が変わっても波長の変化しないアサーマル動作を実現するとともに (図 2)、カンチレバー構造にマイクロヒーターを同時に集積することで、局所加熱による 5nm 以上の連続波長掃引を同時に達成した。MEMS 構造のサブナノメートルオーダーの自立的な熱的微小変位によって、半導体レー

ザの波長温度係数を自在に制御した。

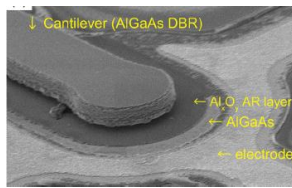


図1 波長可変アサーマル面発光レーザ

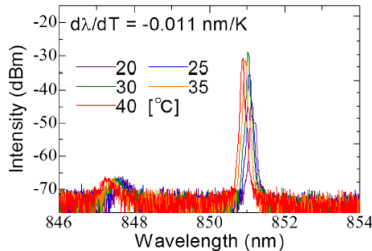


図2 絶対波長安定化 (アサーマル) 特性

さらに、面発光レーザと同様な層構造を有する Bragg 反射鏡導波路を用いて光群速度を 1/10-1/100 以下に減速し、超小型の光変調器、光スイッチ、波長スイッチの実現に成功した。図3に示すようなスローライト変調器を製作し、素子長 50 ミクロンの小型素子に対して、0.5V の逆バイアス電圧で、5dB の消光比が得られた。これは半導体吸収型光変調器としては最小の動作電圧である。スローライト効果による浮遊容量低減により、小信号変調帯域として、40Gbps 超の高速化と sub-V の低電圧化により、低消費電力化の両立が期待できる。初期的な動特性として現在 10Gbps の変調 (図4) が得られている。

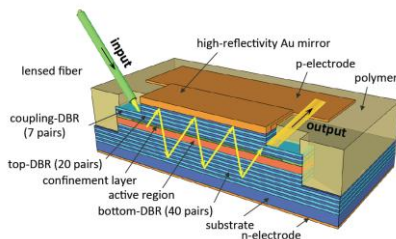


図3 スローライト変調器の構造

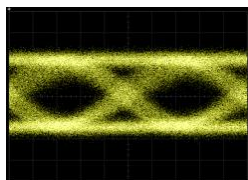


図4 低電圧(0.5Vpp)10Gbps 変調

また、スローライト導波路の巨大な構造分散を用いて、超高解像度ビーム掃引・高分解能波長分波回路を実現できることを見出した。

GaAlAs 系スローライト導波路を作製し、ビーム広がり角 0.04° 以下、最大偏向角 60°、解像点数 1,000 以上の高解像ビーム掃引を実現した。(図5)

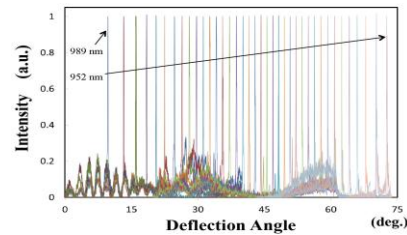


図5 超高解像度ビーム掃引特性
解像点数 1,000 を実現

5. 今後の計画

アサーマル面発光レーザの絶対超安定化をさらに進めるとともに、絶対波長の高精度化を進める。また、面発光レーザとの光変調器、光増幅器、ビーム掃引デバイスの集積化を進め、直接変調限界を打破する高速素子を実現するとともに、低消費電力化を目指す。また、高角度分散を利用した超高解像度ビーム掃引デバイスの自由空間光学系との融合により、大規模な波長数・チャンネル数の波長選択スイッチの実現を目指す。これらの成果を統合して、多波長一括生成・高速素子のアレイ化を進めた光回路の実現を目指して、集積規模を拡大していく。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

1. F. Koyama and X. Gu, "Beam Steering, Beam Shaping, and Intensity Modulation Based on VCSEL Photonics," IEEE Journal of Quantum Electronics, vol.19, no.4, 2013, published online.
2. X. Gu, S. Shimizu, T. Shimada, A. Matsutani and F. Koyama, "Low-voltage electro-absorption optical modulator based on slow-light Bragg reflector waveguide," Appl. Phys. Lett., 102, 2013, 031118-1-4, 2013.
3. X. Gu, T. Shimada, A. Matsutani and F. Koyama, "Ultra-high channel-count wavelength demultiplexer based on a Bragg reflector waveguide with large angular dispersion," Optics Express, vol.20, no.26, B331-338, 2012.
4. H. Sano, N. Nakata, M. Nakahama, A. Matsutani and F. Koyama, "Athermal and tunable operations of 850nm vertical cavity surface emitting lasers with thermally actuated T-shape membrane structure," Appl. Phys. Lett., vol.101, no.12, 121115-1-4, 2012.
5. A. Imamura, A. Matsutani and F. Koyama, "Multiplexing of Multi-Wavelength 1060-nm-Band GaInAs/GaAs Vertical Cavity Surface Emitting Laser Array Using Tapered Hollow Waveguide," Applied Physics Express, vol. 4, 082106-1-3, 2011.

ホームページ等

<http://vcsel-www.pi.titech.ac.jp/index-j.html>