

面発光レーザー - 現状と将来展開 -

小山二三夫

東京工業大学 精密工学研究所 マイクロシステム研究センター

〒226-8503 横浜市緑区長津田4259

TEL: 045-924-5068, FAX: 045-924-5961

Email: koyama@pi.titech.ac.jp

あらまし

面発光レーザーは、マイクロアンペアのオーダーまで、低しきい値電流化が進められ、消費電力が小さい、2次元アレー化が可能、ウェハ単位での性能試験が可能であるなど、従来構造の半導体レーザーに比べて多くの利点がある。精力的に研究開発が進められ、サブミリアンペアの低しきい値素子の実現や米国で波長1 μm 付近の近赤外波長での商品化が進められている。ここでは、面発光レーザーの最近の進展と将来の光データリンクなどへの展開について述べる。

キーワード 半導体レーザー, 面発光レーザー, 光インターコネクト, 並列光情報処理

Surface emitting lasers - Present and Future Prospects -

Fumio Koyama

Microsystem Research Center, Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503, Japan

TEL: 045-924-5068, FAX: 045-924-5961

Email: koyama@pi.titech.ac.jp

Abstract

Low threshold vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs) have been developed for future parallel optoelectronics, including optical interconnects. The research field of surface emitting lasers is growing up rapidly and micro-amperes low threshold devices have been realized. In this paper, we will review the recent progress of surface emitting lasers and their future prospects for optical datalinks and optical interconnects.

key words semiconductor lasers, surface emitting lasers, optical interconnects, parallel information processing

面発光レーザの最高性能は、 $0.85\mu\text{m}\sim 0.98\mu\text{m}$ といったGaAs, GaInAs系面発光レーザについて実現されてきた。こういった面発光レーザ構造では、波長の数倍から数 μm 程度の大きさをもつ円筒状の活性領域と、薄膜活性層はさむ反射鏡とから構成される。最近の低しきい値素子には、AlAsの選択酸化膜を用いた狭窄構造が用いられている。低しきい値化の報告が相次ぎ、50%以上の電気光変換効率も達成された。また、縦モード、横モード、偏波の全てのモードを完全に単一化する技術が可能になり、10Gb/s以上の低雑音の高速動作が可能になった。

面発光レーザの最も早い応用分野として、高速の光データリンクがある。面発光レーザは、我が国で誕生したが、ギガビットイーサネットなどの応用に関しては、北米を中心に精力的に進められている。実際に、超高速光インターコネクトを目指した10Gb/sの高速伝送や1Gb/sの無バイアス変調による伝送実験が報告されている。アレー化による並列大容量光伝送への展開も期待される。また、最近では、単一モード光ファイバに整合した長波長帯面発光レーザの研究と、さらに高速の光データリンクへの応用の研究が盛んになりつつある。多モード光ファイバでのモード分散制限を大幅に越えた数km以上に及ぶ高速伝送が可能になるためである。最近、著者らの研究で、従来材料であるGaInAs/GaAs系を用いて、この系の優れた特性を保持しながら、 $1.2\mu\text{m}$ までの波長域拡大に成功した。この波長帯で高性能の長波長面発光レーザが実現されれば、WDMによる数百Gb/sに及ぶ高速化や数十km程度までの超高速リンクも期待される。また、新材料であるGaInNAs/GaAsを用いた $1.3\mu\text{m}$ 帯レーザの性能向上も進展し、GaAs基板上の長波長帯面発光レーザの高性能化が大いに期待される。

波長掃引や基板面内の波長制御なども、微小共振器構造を持つ面発光レーザの特徴を活かして可能になる。例えば、微小機械（マイクロマシン）構造を積層することで新機能を生み出すことも大いに期待されている。高速の波長掃引が可能な面発光レーザアレーが可能になれば、WDMを用いた大容量LANに加え、可変接続のフレキシビリティをもったテラビット/秒級のクロスコネクトなどへの展開も可能になるかもしれない。

大規模な2次元レーザアレーや電子デバイスとの集積化、あるいは波長可変などの多機能化、マイクロマシンとの融合、近接場光学手法による光ヘッドなどの多様な研究も進められている。また、欧米では、ギガビットイーサやファイバチャネルのための商品化が、爆発的に進められている。極限性能を追求するとともに、低しきい値特性や大規模アレー集積を必要とする様々な応用分野への展開をさらに期待したい。

謝辞 ここで紹介した研究の一部は、文部省科学研究費補助金中核的拠点形成プログラム（COE #07CE2003）の援助で行われた。

参考文献

- (1) 伊賀健一、小山二三夫 編著：面発光レーザの基礎と応用、共立出版、(1999)
- (2) H. Soda, K. Iga, C. Kitahara and Y. Suematsu, Jpn. J. Appl. Phys., 18, (1979) 2329-2330.
- (3) K. Iga, S. Kinoshita and F. Koyama, Electron. Lett., 23, (1987) 134-136.
- (4) F. Koyama, S. Kinoshita and K. Iga, Appl. Phys. Lett. 55(3), (1989) 221-222.
- (5) J. L. Jewell, A. Scherer, S.L. McCall, Y.H. Lee, S.J. Walker, J.P. Harbison and L.T. Florez, Electron. Lett., 25 (1989) 1123-1124.
- (6) D.L. Huffaker, D.G. Deppe, K. Kumar and T.J. Rogers, "Native oxide defined ring contact for low threshold vertical cavity lasers", Appl. Phys. Lett., 65 (1994) 97-99.
- (7) Y. Hayashi, T. Mukaiyama, N. Hatori, N. Ohnoki, A. Matsutani, F. Koyama and K. Iga, "Record low-threshold index-guided InGaAs/GaAlAs vertical cavity surface emitting laser with a native oxide confinement structure", Electron. Lett., 31 (1995) 560-561.

- (8) G.M. Yang, M.H. Macdougall and P.D. Dupkus: "Ultralow threshold current vertical cavity surface emitting lasers obtained with selective oxidation", *Electron. Lett.*, 31(1995) 886-888.
- (9) B. Weigl, M. Grabherr, R. Jager, G. Reiner and K.J. Ebeling: "57% wallplug efficiency wide temperature range 840nm wavelength oxide confined GaAs VCSELs", 15th IEEE International Semicon. Laser Conf., Post deadline paper, PDP2 (1996)
- (10) K.L Lear, R.P. Schneider Jr. K.D. Choquette, S.P. Kilcoyne and K.M. Geib: "Selectively oxidised vertical cavity surface emitting lasers with 50% power conversion efficiency", *Electron. Lett.*, 31 208-209 (1995) 208-209.
- (11) K. L. Lear, A. Mar, K. D. Choquette, S. P. Kilcoyne, R. P. Schneider Jr., and K. M. Geib: "High-frequency modulation of oxide-confined vertical cavity surface emitting lasers," *Electron. Lett.*, 32 (1996) 457-458.
- (12) J.K. Guenter, R.A. Hawthorne and D.N. Granville, M.K. Hibbs-Brenner and R.A. Morgan: *Proc. of SPIE*, 2683 (1996) 1.
- (13) M. Takahashi, P. Vaccaro, K. Fujita, T. Watanabe, T. Mukaihara, F. Koyama, and K. Iga, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 8 (1996) 737.
- (14) A. Mizutani, N. Hatori, N. Nishiyama, F. Koyama and K. Iga, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 10 (1998) 633-635.
- (15) N. Nishiyama, A. Mizutani, N. Hatori, M. Arai, F. Koyama and K. Iga, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 12, pp. 1676-1768, 1998.
- (16) U. Fiedler, G. Reiner, P. Schnitzer, and K. J. Ebeling, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 8 (1996) 746-748.
- (17) N. Hatori, A. Mizutani, N. Nishiyama, A. Matsutani, F. Motomura, F. Koyama and K. Iga: *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 10 (1998) 194-196.
- (18) D. Schlenker, T. Miyamoto, Z. Chen, F. Koyama and K. Iga, *International Conference on Indium Phosphide and Related Materials*, WeP18, 1999.
- (19) F. Koyama, D. Schlenker, T. Miyamoto, Z. Chen, A. Matsutani, T. Sakaguchi and K. Iga, submitted to *IEEE Photon. Technol. Lett.*
- (20) H. Nakayama, T. Nakamura, J. Sakurai, N. Ueki, H. Otoma, Y. Miyamoto, M. Yamamoto, R. Ishii, M. Yoshikawa and M. Fuse, *IEEE LEOS Summer Topical Meeting, WA2* (1998).
- (21) M.S. Wu, E.C. Vail, G.S. Li, W. Yuen and C.J. Chang-Hasnain, *Electron. Lett.*, 31, 1671 (1995).
- (22) K. F. Koyama and K. Iga, *OSA Technical Digest Series of Quantum Optoelectronics, QTh-14*, 90 (1997).

- ・低消費電力(mAからμAへ)
- ・大規模2次元レーザーアレー (100万個規模の集積)
- ・円形狭出射ビーム(光ファイバとの高効率結合)
- ・ウェハ単位の性能試験(LSI compatible)

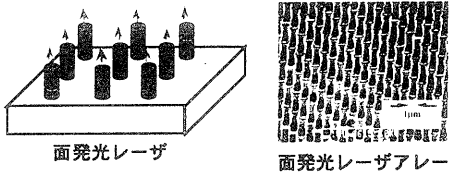


図1 面発光レーザーの特徴

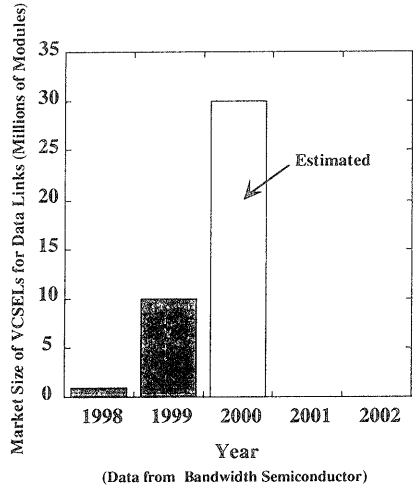


図2 面発光レーザーのデータリンク市場の成長

Local Area Network (LAN)の研究開発動向

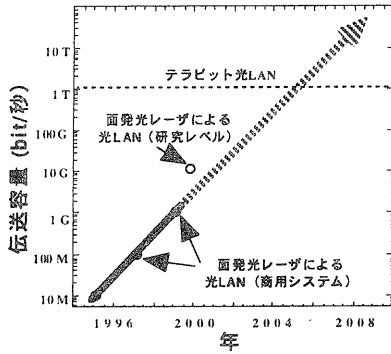
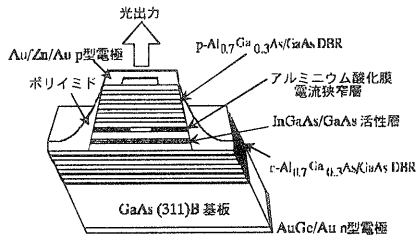


図3 光LANの進展



(311)基板による側面制御

図4 高指数面基板を用いた完全単一面発光モードレーザー

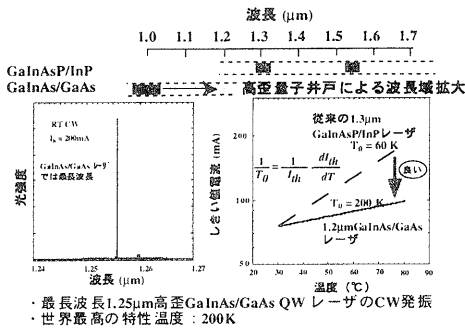


図5 GaInAs/GaAs の波長域拡大と1.2μmレーザー

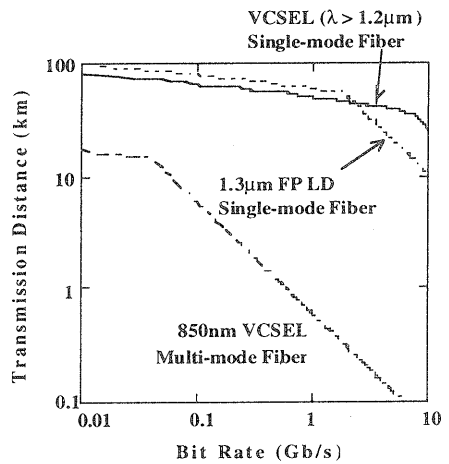


図6 面発光レーザーによる光データリンクの特性

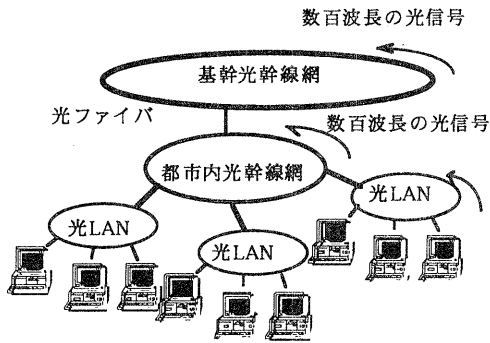


図7 多波長面発光レーザと大容量光LAN

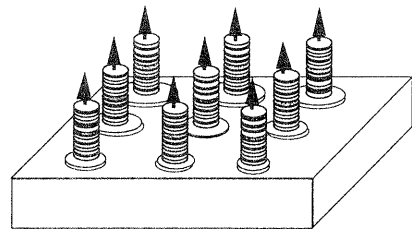


図8 多波長面発光レーザアレイ

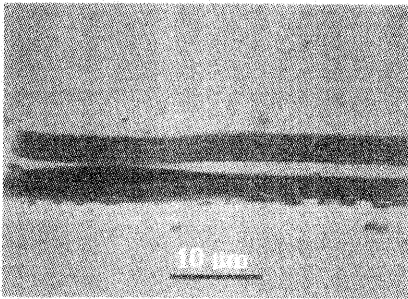


図9 マイクロマシン構造による温度無依存共振器

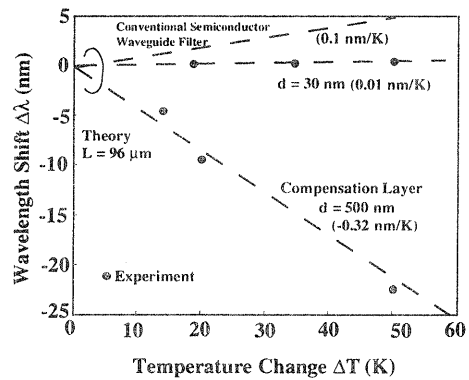


図10 マイクロマシン構造による温度無依存共振器の特性

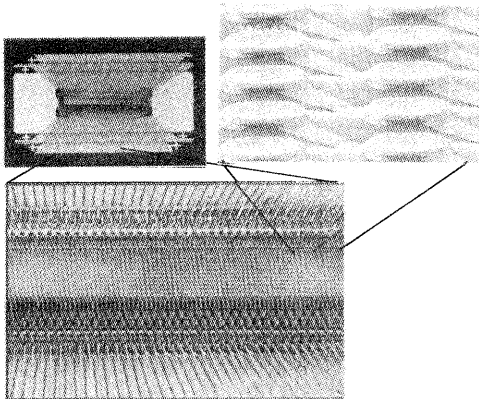


図11 大規模2次元面発光レーザアレイ (富士ゼロックスによる)

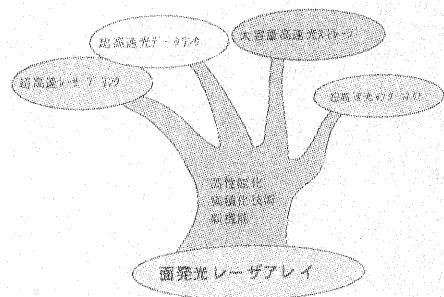


図12 面発光レーザアレイの応用分野