

研究課題別評価

1 研究課題名: チップ間ダイレクト光接続を用いた高バンド幅コンピューティング

2 研究者氏名: 成瀬 誠

3 研究の狙い:

100Gbps を超えるワイヤスピードで動作する超高速光デバイスや回折限界を超える微小化を可能にしたナノフォトニクス技術など、最近の光技術はこれまでの光システムの前提を覆している。そのため、これに対応した新しいシステム技術が必要になる。そこで本研究では、新しい光の物理層の前提を踏まえたコンピューティングを追求した。

4 研究成果:

光の超高速性を生かすコンピューテーション:たとえば回線速度 1Tbps(毎秒 1 テラ=1 兆ビット)の通信では隣り合う信号の間隔はおよそ 0.3mm に過ぎず、タイミング管理が極めて重要となる。他方で、超高速領域のタイミングを利用できれば、膨大な情報処理が光領域で実現されることになる。こうした超高速域でのコンピューテーションを検討し、デスクューシステム並びにタイミング制御に基づく論理演算を示した。

超高集積性を生かすコンピューテーション:20 世紀の光コンピューティングが開花しなかった理由の一つは、集積度の悪さにある。すなわち、回折による物理限界のためおよそ波長のスケール以下には光の集積化は不可能であった(シリコン VLSI の線幅は既に 90nm 程度であるのに対し通信波長は 850nm や 1.5 μ m で 10 倍程度大)。ところが回折限界を打破するナノフォトニクス技術によって、この前提が現在では覆っている。そのため、光の微細化を踏まえた新しいコンピューテーションは如何なるフレームにおいて可能か、という重大な研究要素が派生する。そこで本研究では近接場光の局在的なダイナミクスを用いつつ、機能的には大域的な機構であるデータの和算(summation)やデータの同報(broadcast)を実現するためのアーキテクチャを示した。これにより光ベクトル演算をナノスケールで実現する可能性が示された。

シンプルな物理構造とアービトレーション:上記の や で前提とされる光技術、また他の光デバイス技術においても未だ実現されていない機能に、光のランダムアクセスメモリ(RAM)がある。そのため、複雑な演算を光領域で実現するのは現状では困難と言わざるを得ない。また、膨大な光デバイスを制御するために必要な電気配線などの実装上の制約に対応するために、光デバイスの構造的なシンプルさも重要となる。他方で、例えばネットワークのノードにおけるパケットスイッチングでは、回線速度の高速化に対応して、パケット毎に割り当て可能な計算時間は益々短くなっている。すなわち、光技術の物理的制約と応用の要求の双方の観点から、構成や方式のシンプルさは重要な観点と言える。そこで本研究では、構造と制御のシンプルさを備えたパケットスイッチング方式を提案するとともに、多層構造を有する光スイッチデバイスの開発を進めた。

5 自己評価:

近年の光技術の進歩を前提としつつ、光の高バンド幅を生かす応用システムが当初の目標である。研究期間で得られた成果は、いずれも新しい光実現技術の物理を前提としながら、システムとしての抽象的な意味や機能を踏まえたシステムに関する研究成果であり、期待以上の成果を得ることができたように自己評価している。領域会議における領域総括、領域アドバイザーの先生方との議論や、研究の自由度が確保された様々な環境等が効果的に作用したように思われる。

6 研究総括の見解:

最近の光技術の進歩は目覚ましく、100Gbps を超える速度で動作する光スイッチデバイスや、回折限界と呼ばれる従来の光の集積限界を超えたナノフォトニクスなどの新しい技術が萌芽している。成瀬研究者はこのような光のもたらす新しい前提を踏まえ、超高速・超高集積・アービトレーションの3つの視点から光コンピューテーションのアーキテクチャを示し、現実のデバイスを用いた実証的研究を行った。具体的には 超高速領域におけるデスクューシステムやタイミング制御に基づく論理演算システムの実証、データの和算やデータの同報機構を考察し、光ベクトル演算をナノスケールで実現する可能性の提案、構造と制御のシンプルさを備えたパケットスイッチング方式の提案と多層構造を有する光スイッチデバイスの開発などにおいて期待以上の成果を挙げた。今後の研究の進展が楽しみである。

7 主な論文等:

【誌上論文】

1. M. Naruse, F. Kubota, H. Mitsu, I. Iwasa, S. Tatsuura, Y. Sato, M. Tian, and M. Furuki: High-bandwidth measurement of femtosecond optical pulse timing based on two-dimensional transmission gating and parallel processing, *Optics Express*, Vol. 13, No. 3, pp. 860-866, Feb. 2005
2. M. Naruse, T. Miyazaki, F. Kubota, T. Kawazoe, K. Kobayashi, S. Sangu, M. Ohtsu: Nanometric summation architecture using optical near-field interaction between quantum dots, *Optics Letters*, Vol. 30, No. 2, pp. 201-203, Jan. 2005
3. M. Furuki, I. Iwasa, S. Tatsuura, Y. Sato, M. Tian, T. Matsubara, H. Mitsu, M. Naruse, and F. Kubota: Ultrafast time-serial to space-parallel converter using organic dye films, *IEICE Transaction on Electronics*, Vol. E87-C, No. 7, pp. 1161-1165, 2004
4. M. Naruse, H. Mitsu, M. Furuki, I. Iwasa, Y. Sato, S. Tatsuura, M. Tian and F. Kubota: Terabit all-optical logic based on ultrafast two-dimensional transmission gating, *Optics Letters*, Vol. 29, No. 6, pp. 608-610, 2004
5. A. Cassinelli, M. Naruse and M. Ishikawa: Multistage Network with Globally-Controlled Switching Stages and its implementation using Optical Multi-interconnection Modules, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 22, No. 2, pp. 315-328, 2004
6. M. Naruse, H. Mitsu, M. Furuki, I. Iwasa, Y. Sato, S. Tatsuura and M. Tian: Femtosecond timing measurement and control using ultrafast organic thin films, *Applied Physics Letters*, Vol. 83, No. 23, pp. 4869-4871, 2003 (同論文は下記ジャーナルにも掲載された。Virtual Journal of Ultrafast Science, December 2003, Vol. 2, Iss. 12, Ultrafast Methods and Measurement Techniques, <http://ojps.aip.org/dbt/dbt.jsp?KEY=VIRT05&Volume=2&Issue=12>)

【特許】

1. 成瀬 誠, アルバロカシネリ: 光インターコネクション接続電子装置と光ファイバレイモジュール
2. 成瀬 誠, 飯野哲男, 井出義高: 共焦点顕微鏡システム
3. 成瀬 誠: 光演算装置
4. 成瀬 誠, アルバロカシネリ: 光インターコネクション装置
5. 成瀬 誠, アルバロカシネリ: 光インターコネクション装置
6. 成瀬 誠, 大津元一, 川添 忠: 演算装置
7. 成瀬 誠, アラングレン, アルバロカシネリ, 石川正俊: 光パケットルータとそのルーティング方法
8. 成瀬 誠, 大津元一, 川添 忠: 量子ドットを用いた光接続装置

【解説記事】

1. 成瀬 誠:「情報処理」コラム 20 世紀の名著名論: J. W. Goodman, F. J. Leonberger, S.-Y. Kung and R. A. Athale: Optical Interconnections for VLSI Systems, 情報処理, Vol. 45, No. 5, p. 536, 2004

【招待講演】

1. M. Naruse: Linking Ultra High-Speed and High-Density Emerging Photonic Devices to Computational Systems, 2005 IEEE Workshop on Interconnections within High Speed Digital Systems (Santa Fe, 2005. 5. 9), May, 2005 (invited) (to appear)
2. M. Naruse: Possibility of ultrahigh-density optical nodes using nanophotonics, The 4th US-Japan Joint Symposium on Nanophotonics(Tokyo, 2004.10.25)
3. M. Naruse: Architectural approach to nanophotonics for communication and information processing applications, The 4th US-Japan Joint Symposium on Nanophotonics (Tokyo, 2004.10.26)
4. 成瀬 誠, 宮崎哲弥, 久保田文人: ナノフォトニクスを用いた超高集積コンピューテーション, 電子情報通信学会 2004 年総合大会(東京 2004.3.22), SC-1-3 /講演論文集, pp. S-29-30
5. 成瀬 誠: 超高速光スイッチが拓く時空融合光信号処理, 超高速光技術シンポジウム(東京 2004. 11. 2)

【国際会議】

1. M. Naruse, F. Kubota, T. Kawazoe, S. Sangu, K. Kobayashi, M. Ohtsu: Optical Interconnects using Optical Far- and Near-field Interactions for High-density Data Broadcasting, Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2005)(Baltimore, 2005. 5. 25), May 2005, to appear
2. M. Naruse, F. Kubota, H. Mitsu, M. Furuki, I. Iwasa, S. Tatsuura, Y/ Sato, M/ Tian, T. Matsubara, Skew Reduction Based on Two-dimensional Transmission Gating Using Molecular Dye Film Operated at 1.55 μ m, Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2005)(Baltimore, 2005. 5. 26), May 2005, to appear
3. M. Naruse, T. Miyazaki, F. Kubota, H. Yoshida, H. Ishikawa: Ultrafast all-optical NOR gate based on intersubband and interband modulation operating at communication wavelengths, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC 2005) (Anaheim, 2005. 3. 11), FE3, Mar. 2005
4. M. Naruse, T. Kawazoe, S. Sangu, K. Kobayashi, T. Miyazaki, F. Kubota, and M. Ohtsu: Nanometric summation architecture using optical near-field coupling between quantum dots, 30th European Conference on Optical communication (ECOC 2004) (Stockholm, 2004. 9. 7), Tu3.4.5, pp. 202-203, September 2004
5. A. Goulet, A. Cassinelli, M. Naruse, F. Kubota, M. Ishikawa: A load-balanced optical packet switch architecture with an O(1) scheduling complexity, 9th OptoElectronics and Communications Conference/3rd International Conference on Optical Internet (OECC/COIN 2004) (Yokohama, 2004. 7. 15), post-deadline paper PD1-1, July 2004
6. M. Naruse, T. Miyazaki, F. Kubota, S. Sangu, K. Kobayashi, T. Kawazoe, and M. Ohtsu: Nanoscale matching architecture using optical near-field coupling, 2004 ICO International Conference (Chiba, 2004. 7. 13), 13D2-20, pp. 169-170, July 2004
7. M. Naruse, H. Mitsu, M. Furuki, I. Iwasa, Y. Sato, S. Tatsuura, M. Tian, F. Kubota: Terabit all-optical logic using ultrafast two-dimensional optical switch, Conference on Lasers and

- Electro-Optics and International Quantum Electronics Conference (CLEO/IQEC) (San Francisco, 2004. 5. 21), CFJ5, May 2004
8. M. Naruse, F. Kubota, H. Mitsu, M. Furuki, I. Iwasa, Y. Sato, S. Tatsuura, and M. Tian: Femtosecond pulse timing measurement using an ultrafast organic molecular film and a computational sensor array, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC 2004) (Los Angeles, 2004. 2. 27), FF6, Feb. 2004
 9. A. Cassinelli, M. Naruse and M. Ishikawa: Stage-Distributed Time-Division Permutation Routing in a Multistage Optically Interconnected Switching Fabric, 29th European Conference on Optical Communication (ECOC 2003) (Rimini 2003.9.24), Vol. 3, We 4.P.137, pp. 830-831, September 2003
 10. H. Mitsu, M. Naruse, M. Furuki, I. Iwasa, Y. Sato, S. Tatsuura, M. Tian and F. Kubota: Femtosecond Timing Measurement Using a Two-Dimensional Optical Switch, The 10th International Workshop on Femtosecond Technology (FST 2003)(Chiba, 2003. 7. 17), TP-25, p. 174, July 2003
 11. M. Naruse, H. Mitsu, M. Furuki, I. Iwasa, Y. Sato, S. Tatsuura, M. Tian and F. Kubota: Jitter and Skew Reduction Using Ultrafast Two-Dimensional Optical Switch, The 10th International Workshop on Femtosecond Technology (FST 2003)(Chiba, 2003. 7. 17), TA-7, p. 58, July 2003
 12. M. Naruse, H. Mitsu, M. Furuki, I. Iwasa, Y. Sato, S. Tatsuura, M. Tian and F. Kubota: Jitter and Skew Reduction Using an Ultra-fast Two-Dimensional Organic Optical Switch, Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2003)(Baltimore, 2003. 6. 3), JTuD3, June 2003
 13. M. Naruse, A. Cassinelli, M. Ishikawa: Two-dimensional fiber array with integrated topology for short-distance optical interconnections, 2002 IEEE LEOS Annual Meeting(Glasgow, 2002.11.14)/Conference Proceedings, pp.722-723, 2002
 14. M. Naruse, Y. Ide, T. Iino, and F. Kubota: Parallel VCSEL microscope: optimal design and instrumentation, International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication 2002(Tokyo, 2002.11.1)/Conference Proceedings, PD06
 15. M. Naruse, A. Cassinelli, M. Ishikawa: Real-Time Alignment Using Mechanical Dynamics of Optical Interconnection Systems, OSA Annual Meeting & Exhibit 2002 (Orlando, 2002.10.1)/Conference Program, p.77
 16. A. Cassinelli, M. Naruse, and M. Ishikawa: Quad-tree Image Compression using reconfigurable free-space optical interconnections and pipelined parallel processors, Proceedings of 2002 International Topical Meeting on Optics in Computing (Taipei, Taiwan, 2002.4.8) pp. 23-25, 2002

【国内会議発表】

1. 成瀬 誠, 宮崎哲哉: ナノフォトニクスを用いた信号処理システムの基本機能, 2005 年春季応用物理学関係連合講演会(東京 2005.3.30)/講演予稿集 p. 120
2. 成瀬 誠, 吉田春彦, 宮崎哲弥, 石川 浩: サブバンド間バンド間光変調を用いた超高速 NOR ゲート, 電子情報通信学会 2005 年総合大会(大阪 2005.3.21)/講演予稿集 B-10-108
3. A. Cassinelli, A. Goulet, M. Naruse, F. Kubota, and M. Ishikawa: Load-balanced optical packet switching using two-stage time-slot interchangers, 電子情報通信学会ソサイエティ大会(徳島 2004. 9. 23), BS-10-5, 2004
4. 川添 忠, 小林 潔, 成瀬 誠, 大津元一: 量子ドット間の近接場光エネルギー移動を用いたナノ光 NOT ゲート, 第 65 回応用物理学学会学術講演会(仙台 2004.9.2)/講演予稿集 p. 922
5. 三津博之, 成瀬 誠, 辰浦 智, 松原崇史, 古木 真, 佐藤康郊, 岩佐 泉, 田 民権, 久保田

- 文人: 有機色素薄膜を面型光スイッチとして用いた通信波長帯超高速光信号のタイミング制御, 第 65 回応用物理学学会学術講演会(仙台 2004.9.1)/講演予稿集 p. 1044
6. 成瀬 誠, 三津博之, 古木 真, 岩佐 泉, 佐藤康郊, 辰浦 智, 田 民権, 久保田文人: タイミング制御と超高速光-光スイッチを用いた全光テラビット論理処理, 2004 年春季応用物理学関係連合講演会(東京 2004.3.31)/講演予稿集 p. 1317
 7. 川添 忠, 成瀬 誠, 大津元一: 量子ドット間の近接場光エネルギー移動を用いたナノ光 D/A コンバータ, 2004 年春季応用物理学関係連合講演会(東京 2004.3.30)/講演予稿集 p. 1311
 8. 成瀬 誠, 三津博之, 古木 真, 岩佐 泉, 佐藤康郊, 辰浦 智, 田 民権, 久保田文人: 面型光スイッチと光電子 VLSI を用いた超高速光パルスの階層的タイミング検出, 2004 年春季応用物理学関係連合講演会(東京 2004.3.29)/講演予稿集 p. 1200
 9. A. Cassinelli, 成瀬誠, A. Goulet, 石川正俊: Arbitration-Free Time-Division Permutation Switching Suitable for All-Optical Implementation, 電子情報通信学会技術研究報告(ネットワークシステム研究会・フォトニックネットワーク研究会), NS2003-201, PN2003-29), pp. 23-27, December 2003.
 10. 成瀬 誠, 三津博之, 古木 真, 岩佐 泉, 佐藤康郊, 辰浦 智, 田 民権, 久保田文人: 面型光スイッチを用いた超高速光信号のジッター・スキュー低減, 第 50 回応用物理学関係連合講演会(神奈川 2003.3.27)/講演予稿集 p. 1257
 11. A. Cassinelli, M. Naruse, M. Ishikawa, F. Kubota: Reconfigurable optical interconnections using multi-permutation-integrated fiber modules, 第 50 回応用物理学関係連合講演会(神奈川 2003.3.27)/講演予稿集 p. 1256
 12. 三津博之, 成瀬 誠, 古木 真, 岩佐 泉, 佐藤康郊, 辰浦 智, 田 民権, 久保田文人: 面型光スイッチを用いた超高速光信号のタイミング検出, 電子情報通信学会 2003 年総合大会(宮城 2003.3.19)/講演論文集 p. 532
 13. A. Cassinelli, M. Naruse, M. Ishikawa, and F. Kubota: A modular, guided-wave approach to plane-to-plane optical interconnects for multistage interconnection networks, Optics Japan 2002(東京 2002.11.3)/講演予稿集, pp. 124-125
 14. 成瀬 誠, 石川正俊: 高密度光インターコネクットの機械的ダイナミクスを用いたアクティブアライメント, 第 49 回応用物理学関係連合講演会(神奈川 2002.3.30)/講演予稿集, p.1193
 15. A. Cassinelli, M. Naruse, and M. Ishikawa: Elemental optical fiber-based blocks for building modular computing parallel architectures, 第 49 回応用物理学関係連合講演会(神奈川 2002.3.27)/講演予稿集, p.1204