

解禁時間（テレビ、ラジオ、インターネット）：平成21年3月27日（金）午前3時
（新聞）：平成21年3月27日（金）付朝刊

平成21年 3月 9日

報道関係者各位

国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学

次世代光通信のための高速光メモリーを初めて実現 ～「全光型」通信の実現に突破口開く～

【概要】

次世代の光通信の実現には、直進する高速の光信号を自在に操り、一度に大容量の情報を扱える技術の開発が必要で、現在の光通信の限界を突破するとされている。国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学（学長：安田國雄）物質創成科学研究科の河口仁司（かわぐちひとし）教授と片山健夫（かたやまたけお）助教および博士前期課程2年の大井智裕（おおいともひろ）らの研究グループは、同時に複数の光信号を扱える記録素子である光メモリー（光RAM）の開発に世界で初めて成功した。河口教授らは、これまで世界最高速、最低エネルギーで処理できる記録素子を開発し注目を集めており、今回はこれを4個接続しこれまでの4倍の4ビット（1ビットは情報の最小単位）の情報を同時に処理するメモリーができることを証明し、さらにビット数を増やせる可能性を示した。この成果により、光メモリーの処理能力が大幅にアップし、超高速、大容量の光通信が期待できる。この研究成果は、2009年3月22日から3月26日まで、米国・サンディエゴで開催され、世界の光通信、光エレクトロニクスの研究者が集まる 光ファイバ通信会議(OFC: Optical Fiber Communication Conference)で発表する（プレス解禁日時:日本時間平成21年3月27日(金)午前3時）。

つきましては、関係資料を配付するとともに、下記のとおり記者発表を行いますので、是非ともご出席くださいますよう、お願い申し上げます。

記

<日時> 平成21年3月16日（月） 14時～（1時間程度）

<場所> 奈良先端科学技術大学院大学 事務局棟2階 大会議室
奈良県生駒市高山町8916-5（けいはんな学研都市）

※アクセスについては、<http://www.naist.jp/>をご覧ください。

<説明者>

奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 超高速フォトンクス講座 教授 河口 仁司

<ご連絡事項>

(1) 本件については、掲載誌のプレス解禁日時が3月27日（金）午前3時（日本時間）となっておりますので、取り扱いにはご注意願います。

(2) 本件につきましては、奈良県文化記者クラブをメインとし、学研都市記者クラブ、大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会及び科学記者会に同時にご連絡しております。

(3) 取材希望がございましたら、恐れ入りますが下記までご連絡願います。

(4) 記者発表に関する問合せ先

奈良先端科学技術大学院大学 企画総務課 広報渉外係 藤里 尚宏（ふじさと ひさひろ）
TEL 0743-72-5026 FAX 0743-72-5011 E-mail: s-kikaku@ad.naist.jp

次世代光通信のための高速光メモリーを初めて実現 ～「全光型」通信の実現に突破口開く～

【概要】

次世代の光通信の実現には、直進する高速の光信号を自在に操り、一度に大容量の情報を扱える技術の開発が必要で、現在の光通信の限界を突破するとされている。国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学（学長：安田國雄）物質創成科学研究科の河口仁司（かわぐちひとし）教授と片山健夫（かたやまたけお）助教および博士前期課程2年の大井智裕（おおいともひろ）らの研究グループは、同時に複数の光信号を扱える記録素子である光メモリー（光RAM）の開発に世界で初めて成功した。河口教授らは、これまで世界最高速、最低エネルギーで処理できる記録素子を開発し注目を集めており、今回はこれを4個接続しこれまでの4倍の4ビット（1ビットは情報の最小単位）の情報を同時に処理するメモリーができることを証明し、さらにビット数を増やせる可能性を示した。この成果により、光メモリーの処理能力が大幅にアップし、超高速、大容量の光通信が期待できる。この研究成果は、2009年3月22日から3月26日まで、米国・サンディエゴで開催され、世界の光通信、光エレクトロニクスの研究者が集まる 光ファイバ通信会議(OFC: Optical Fiber Communication Conference)で発表する（プレス解禁日時:日本時間平成21年3月27日(金)午前3時）。

現在の光通信では、情報処理の際、光信号をいったん電気信号に変換し処理した後、光信号に戻っていたため、処理速度の高速化や消費電力の低減が、近く限界に達するとされていた。大量の情報処理や記録をすべて光信号のまま高速に記録・読出しできる「全光型」の記録素子は、電気信号への変換を介さないため、この限界を突破できる。

平成19年10月25日に同研究グループは、「光通信の速度限界を突破」として1ビットの光メモリー動作を発表したが、ビット数の拡大が可能な構成により4ビットメモリーを実現したことは、光信号の中継や分岐の際に使う光交換機などの超高速化の実現に向けて大きな前進であると言える。全光型のRAMは、現在の通信速度（テラビット、テラは1兆）の1000倍も速いペタビット（ペタは1000兆）の通信には不可欠な技術である。

河口教授が研究を行ってきた光メモリーは、回路を伝わってきた光信号を、直接に半導体レーザーが受けて、縦か横かどちらか一定の方向に振動する偏光を放って、「0」か「1」かに相当する2進法の数値を示すことで情報を入出力するタイプ。この光メモリーは出力パワーに対して弱い入力でも動作するため、光メモリーの出力を連結した別の光メモリーの入力にすることにより、信号を移動させる方式にしたことが成功に結びついた。

本研究は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度・ICTイノベーション創出型研究開発「長波長偏光双安定面発光半導体レーザーを用いた全光パケットスイッチノードに関する研究開発」および文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究・新世代光通信へのイノベーション「偏光双安定面発光半導体レーザーを用いた全光型信号処理」の研究の一環として、河口教授らが行ったものである。

【内容】

年率 1.4 倍にも及ぶインターネット通信量の増大にともない、通信の経路を切りかえるルータ（交換機）の高速化が必要になっている。現在のルータでは光ファイバを伝送されてきた光信号を一度電気信号に換え、電子的に処理した後、再び光信号に換え、光ファイバに送り出している。この技術の延長では信号処理速度が近い将来限界に達する。又、通信のために消費される電力も、通信量に比例して増加しており、2030 年頃には現在の日本の総発電量に相当する電力が通信のためのみに必要となると言われている。

次世代の光通信システムに必要な毎秒ペタビットクラス（10 の 15 乗ビット）の処理速度をもつ光ルータ（光交換機）では、電気的な処理を行わない全光型の信号処理が必須と言われている。河口教授らの研究グループでは、そのシステムのキーデバイスとなる光メモリーの実現のために、半導体レーザーから出力される光の偏光（光の振動の向き）を切り替えることで実現する偏光双安定スイッチングと呼ばれる独自の手法を研究している。今回この光メモリーを、現在の光通信で用いられている光の波長である 1.55 μm 帯で動作させ、並列と直列に接続して 4 ビットのメモリーをはじめて実現し、さらなる大規模化も可能であることを明らかにした。

同グループはこれまでに、素子作製が容易な 0.98 μm 帯の面発光半導体レーザー (VCSEL: Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) を用いて研究を進め、スイッチ速度が 7 ps（ピコ秒 1 兆分の 1 秒）で、スイッチエネルギーが 0.3 fJ（フェムトジュール フェムトは 1000 兆分の 1）という、世界でも最高速、最低エネルギーの動作を確認するとともに、光メモリー動作を実現してきた。さらに、0.98 μm 帯 VCSEL とは異なる半導体材料を用いた実際の光通信システムで利用可能な 1.55 μm 帯 VCSEL で同様の偏光スイッチ・メモリー動作を実現してきた。VCSEL は通常の半導体レーザーとは異なり、LSI と同様に半導体基板上に 2 次元的に集積化が可能で、システムの小型化に適しているという利点をもつ。今回、光通信で使用できる光 RAM の多ビット化を実現したことにより、次世代の高速光通信システムの実現に大きく近づいた。

【本プレスリリースに関するお問い合わせ先】

奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 超高速フォトニクス講座

河口仁司 教授

TEL: 0743-72-6187 FAX: 0743-72-6188

E-mail: ksecret@ms.naist.jp

【解説】

現在の光通信で使用されている光ルータ（光交換機）は、送られてきた光信号をフォトダイオードで電気信号に変換し、その電気信号をコンピュータによって処理した後に、半導体レーザによって光信号に戻して適切な宛先に送信している。しかし、現在の毎秒テラビット(10の12乗ビット)クラスの光ルータにおいても、電子回路の速度限界や消費電力の増大が問題となっており、次世代の光通信システムと言われている毎秒ペタビット(10の15乗ビット)クラスの光ルータにおいては電気信号に変換せず、光信号のまま入力、処理、出力する全光型信号処理が必要とされ、研究が進んでいる。ルータを全光化する際に、重複した入力信号の衝突を回避するため、信号を一時保存しておくバッファメモリとして用いる全光型RAMの実現化が最も困難とされている。

河口教授らの研究グループでは、面発光半導体レーザの偏光双安定特性に着目し、光スイッチや光メモリへの応用の研究を進めてきた。この光スイッチは、例えば90°の偏光の向きで発光しているレーザに、それとは垂直な0°の光を入力すると、出力光の向きが0°にスイッチし、入力光を消してもその発光状態が保持されるので記憶装置になり得る。この偏光スイッチは、1)電気的な制御ではなく、光をそのまま入力として用いて出力光を制御できる、2)通常の光出力の有無によるスイッチング動作ではなく、光は出力されたまま向きが切り替わるため、高速かつ低エネルギーでスイッチング動作する、3)単一の素子で受光、メモリ、発光の機能を有している、4)通常の集積回路と同様に2次元集積化が可能のため、モジュール化など実用システムへの親和性が高いという特徴を有している。

連続した光データ信号列のうち、記録したい信号ビットと同時に同じ偏光のセット信号光パルスを面発光半導体レーザに入力するとANDゲート動作（用語解説参照）により、その特定の信号ビットが面発光半導体レーザの偏光として記録され、書き込み・消去・読出しが任意のタイミングで可能な光RAMとなる。今回、このタイプの光RAMは、出力光パワーより弱い入力で動作することを明らかにし、出力を別のVCSELへ直接入力して、信号の転送が可能なシフトレジスタ動作（用語解説参

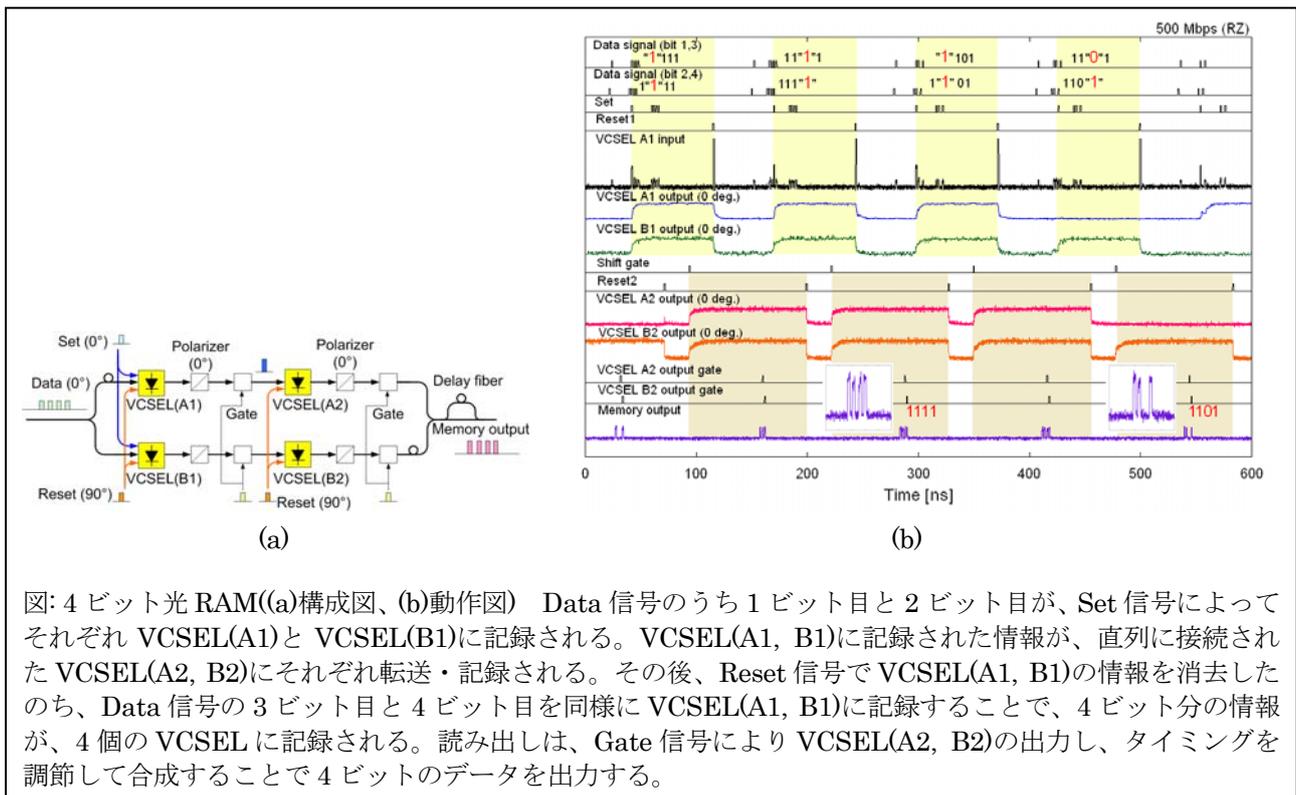


図: 4ビット光RAM((a)構成図、(b)動作図) Data信号のうち1ビット目と2ビット目が、Set信号によってそれぞれVCSEL(A1)とVCSEL(B1)に記録される。VCSEL(A1, B1)に記録された情報が、直列に接続されたVCSEL(A2, B2)にそれぞれ転送・記録される。その後、Reset信号でVCSEL(A1, B1)の情報を消去したのち、Data信号の3ビット目と4ビット目を同様にVCSEL(A1, B1)に記録することで、4ビット分の情報が、4個のVCSELに記録される。読み出しは、Gate信号によりVCSEL(A2, B2)の出力し、タイミングを調節して合成することで4ビットのデータを出力する。

照) を実現した。並列化したシフトレジスタ動作により、4 個の面発光半導体レーザに 4 ビットの情報を記録する光 RAM の多ビット化を初めて実現した。

【研究の位置づけ】

全光型のメモリーに関し、次世代の通信システムのキーデバイスとなるため、世界中の様々な研究機関や企業によって研究がなされている。それらの研究の中で VCSEL の偏光双安定性を用いた本研究は、高速かつ低エネルギーというメモリーとしての基本特性が優れていることに加え、単一の素子で受光、メモリー、発光の機能を実現し、さらに集積化が容易というシステム応用への親和性が優れているという特徴を持っている。さらに、出力パワーに対して約 1/10,000 の弱い入力パワーで動作するため、メモリー同士を高価な光増幅器を使用することなく接続でき、拡張性に優れている。光 RAM の大容量化の研究では、メモリーを並列に接続する手法は他の研究機関においても多く提案、研究されている。しかし、光 RAM の大容量化を図る際に、並列化の個数を増加するだけでは、入力信号光強度を強くする必要があり、さらに高速動作が必要な入力回路を大規模・複雑化する必要があるという問題がある。直列に接続する構成のシフトレジスタ動作も可能であることを示した本方式は、並列化の規模を低減し、光 RAM の構成の自由度を増すだけでなく、後段の VCSEL は低速動作で良いため、光 RAM システム全体として低消費電力化が可能となる点は大きな特徴である。また、河口教授らの独創的な研究であり、全光型メモリーの研究の中でも最も先導的なものである。今回の多ビット化は、4 ビット動作であるが、並列と直列の接続とも VCSEL を増加することに原理的な問題がないことが明らかになったので、さらなる大規模化も可能である。今後、スイッチング速度や動作可能な波長範囲、スイッチングエネルギーを詳細に評価した後、光メモリーモジュールを作製することにより、より実用に近づいた高速光ルータの実現が期待できる。

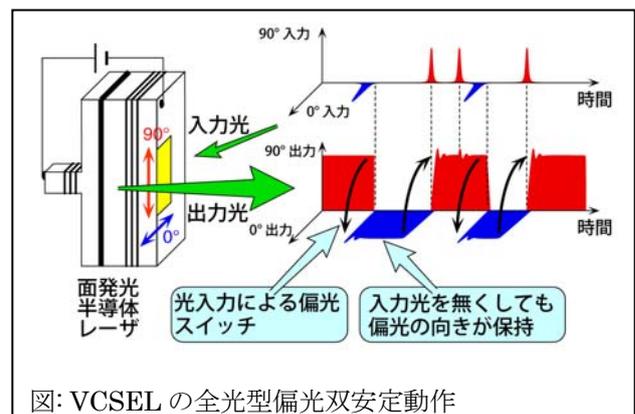
【用語解説】

●面発光半導体レーザ(VCSEL: Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser)とは

板状の半導体ウエハの側面から光を出力する通常の半導体レーザとは異なり、ウエハの表面から光を出力する、日本で発明、実用化が行われた半導体レーザ。半導体ウエハ上に 2 次元的に並べて作製できるため、大量生産が容易で、さらに低消費電力で動作するため、光通信の光源としてだけでなく、近年光学式マウスや CD プレーヤーの光源としても多く用いられている。

●VCSEL の偏光双安定性とは

光は電磁波の一種であり、進行方向に垂直な向きに振動している。半導体レーザから出力される光は、一般にこの振動の向きが固定された直線偏光となる。VCSEL では光を出力する部分の形状を自由に設計でき、矩形にすることによりその辺の向きに沿った直線偏光を出力できる。さらに、VCSEL を駆動している電流を変えたり、外部から光を入力することで偏光の向きを 90 度回転して、別の辺に沿った偏光にスイッチすることができ、かつ一度スイッチするとその偏光状態を安定に保つ。このように 2 つの状態（この場合は偏光の向き）で安定になることを双安定性といい、メモリーに必須の特性である。



●AND ゲート動作とは

2つの入力と、1つの出力をもつ回路において、2つの入力へ同時に信号が入力された場合にのみ信号が出力され、一方の入力へのみ信号が入力されても信号が出力されない回路の動作。VCSELの偏光スイッチは、ある強度(しきい値)より強い光が入力された場合にのみスイッチングが起きる。そこで、データ信号光のみではスイッチングが起こらないが、データ信号とセット信号の光強度が足し合わされた時にしきい値を超えるように強度を設定することで、偏光双安定VCSELがANDゲート動作を行う。

●シフトレジスタ動作とは

1つのビットメモリの出力を別のメモリの入力へ接続し、記録されている情報が直列につながった複数のメモリをバケツリレーの様に移動(シフト)していく動作。ビットメモリを並列に並べて、信号を記録するタイミングをわずかにずらして、異なったタイミングの信号を記録することで光バッファメモリ全体の容量を増やす手法が多く提案されているが、この手法では入出力回路が複雑になる。そこで、シフトレジスタ機能を併用する。バッファメモリの入力と出力以外のシフトレジスタとして用いる偏光双安定VCSELは、低速、低出力で十分なため、バッファメモリの省エネルギー化にも効果がある。