

OFC/NFOEC 2009 速報[光デバイス関連]

礎塚孝明 (NTT フォトニクス研)

会議名 : The 2009 Optical Fiber Communication Conference and Exposition and National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC 2009)

開催期間 : 2009年3月22日-26日

開催場所 : San Diego Convention Center (San Diego, 米国)

*****要約*****
 ネットワークの大容量化に向け、多値変調、デジタルコヒーレント関連の技術が注目を集めている。コヒーレント伝送関連のネットワークのセッションは盛況であり、光デバイスにおいても、多値変調用のハイブリッド、モノリシック集積型変復調デバイスが多数報告された。40/100GbE に関しては、標準化ドラフトを反映した送受信器の開発が進んでいる。シリコンフォトニクスにおいては、SiGe 受光素子の報告が多数行われた。いずれの分野においても集積化に向けた取り組みが着実に進められている。

1. はじめに

OFC/NFOEC 2009 が、米国 California 州 San Diego にて3月22日から26日にかけて行われた。2005年より OFC と NFOEC が共催されている。今回アナウンスされた参加者数は9500名であり、昨年の12000名から20%減少した。出展者数は550、発表数は772であり、こちらも昨年やや減少している。通信バブル崩壊後初めて参加者数が1万人を割り、サブプライムローン問題以降の世界的不況の情勢を反映していたと言えよう。しかし、ネットワークトラフィックの伸びが今後も拡大を続けることは確実視されており、会議においては将来を見据えたネットワーク大容量化、スペクトル利用効率増大に関する議論が活発になされていた。コアネットワークの大容量化に向けては、多値変復調方式、及び OFDM 等のデジタルコヒーレント通信が主流として定着した感があるが、本会議においてもその流れは継続しており、関連するデバイスが数多く報告された。多値変復調、OFDM に関連したワークショップ、チュートリアル講演、招待講演は概ね盛況であり、立ち見が出るセッションも見られた。現在多種多様な変調方式が報告されているが、会議の中では本命に向けた比較検討に関する議論が始まっており、今後本格化していくであろう。一方、光デバイスに関する各セッションにおいては（会場が広がったこともあるが）全般に空席が目立ち、やや寂しい印象であった点は否めない。40/100GbE に向けては、標準化ドラフトを反映した送受信素子が多数報告された。シリコンフォトニクスにおいては、アクティブでは SiGe 素子、パッシブではリングを用いた信号処理が目立つ。また、いずれの分野においても集積化に向けた検討が着実に進められている。今回 Optoelectronic Devices のカテゴリーにおいて Post deadline に採択された3件の論文は全て集積デバイスであり、集積化への注目と期待度が伺える。会議においては大学からの報告も多く、内容に関しても学術的報告が増えている印象を受けた。以下、筆者が主として聴講した光半導体デバイスを中心に技術概要について報告する。

2. 発光・変調デバイス

変調光源においては、40/100 Gbpsを視野に置いた変調光源、コヒーレント用変調素子及び変調光源がトピックであった。この分野においては、日本は非常に高いアクティビティを見せている。40/100GbEに向けては、標準化ドラフトに基づいた各社の対応が注目される。今回 40/100GbE用 1.3 μm 帯レーザに関しては、低コスト化を視野においたAl系直接変調DFB(Distributed Feedback Laser)レーザの報告が目立った。高速変調・高出力・低消費電力をいかに両立させるか、各社のアプローチが興味深い。Avago technologiesからは 20 Gbps Al系直接変調DFBレーザ (OThT1)が報告され、高歩留まりと高信頼性 (95°C, 80 mA, ACC 5000 h)の両立が主張された。また、Al系 25 Gbps直接変調DFBレーザがFinisar (OThT2)、NTT (OThT3)より報告された。Finisarは短共振器化 (150 μm)と利得ピークのデチューニングにより、緩和振動周波数(f_r)の電流依存性 3.7 GHz/mA^{1/2}の高効率動作を報告した。NTTは 200 μm 活性層と高 κ 設計 (100 cm⁻¹)により高速変調と高温動作の両立を実現し、85°Cにおける f_r の電流依存性は 2.5 GHz/mA²であった (3.3 GHz/mA^{1/2}@25°C)。富士通からは 40Gbps直接変調DR(Distributed Reflector)レーザが報告された (OThT6)。DR反射器を採用することで活性層を 100 μm と短共振器化し、 f_r の電流依存性 4 GHz/mA^{1/2}を実現している。また、富士通、QDレーザ、東大のグループからは量子ドットファブリペローレーザの直接変調 20 Gbps動作が報告された (OWJ1)。高密度ドットを実現 (ドット密度 6 \times 10¹⁰ cm⁻²) し、変調帯域を増大している。同グループはDFBレーザの作製と 10 Gbps変調動作に関する報告も併せて行っており (JWA28)、技術の着実な進展が伺えた。

一方、25Gbps用 EA-DFBレーザに関しては会議における報告はなく、商用段階に移行しつつある様子が伺える。展示において、オプネクストが EA-DFBレーザと pin-PDをCFPにパッケージングした 25Gbps \times 4 トランシーバを動態展示した他、Excelight がアンリツと共同で 25 Gbps \times 4 送受信のデモを行った。Finisar, Opnext, Excelight の3社からは、OFCに合わせてトランシーバに関するMSA締結がアナウンスされている。

10 Gbps用としては、オプネクストからは 10 Gbps用アンクル(-5~75°C) TOSAが報告された (OThT5)。既存報告の EA-DFBレーザのチップを用いたものであるが、パッケージングと併せた設計により高温特を実現しており、高い設計技術が注目される。NTTからは-25~100°Cの広温度領域動作を実現した 10 Gbps用 EA-DFBレーザが報告された (OThT4)。

インタコネクション用としては、近年ショートリンク用の高速変調 VCSELが注目されている。古河電工は、送信器に 1.1 μm 帯の VCSELアレイ、受信器に pin-PDアレイをそれぞれモジュール化し、マルチモードファイバを用いた 10 Gbps \times 12チャンネル 600 m伝送を報告した (OTuK1)。

シリアル高速化に向けては、Alcatel-Thalesから 100 Gbps動作のEA-DFBレーザが報告された (OThT7)。HBTの 1:2 100 Gbps MUXと併せて報告した点の特徴である。SI-BH構造を有するAlGaInAsの集中定数型EAであり、素子長を 50 μm に短縮し、終端抵抗 35 Ω (予稿 40 Ω)で実装を行っていた。MUXからの出力が 0.5 mV程度であり、今後はEAの 1 V_{pp}以下の動作を狙うとのことであった。この他、Alcatel-Lucentよりシリアル 100 Gbpsに向けた集積とパッケージング技術に関する招待講演 (OThN6)があり、高速化に向けた伝送路関連の設計の重要性が力説された。聴講者の関心も高く、今後光デバイスと電子デバイス間のインターフェース設計の重要性はますますクローズアップされるであろう。

波長可変レーザは、変調器との集積化、パッケージングの小型化が注目される。Bookham からは DS(Digital Supermode)-DBR(Distributed Bragg Reflector)レーザとマッハ・ツェンダ変調器 (MZM)をモジュール化した 40 Gbps RZ-DQPSK送信モジュールが招待講演において報告された (NWD3)。JDSUからは SG(Sampled Grating)-DBRレーザ、半導体光増幅器 (SOA)、MZMのモノリシック集積素子を用いた

TOSAによるフルCバンド10 Gbps動作(OWJ6)、40 Gbpsデュオバイナリ12.5 km伝送(OThN4)が報告された他、XFP-TOSAが展示された。また、Emcoreは外部共振レーザとMZMをハイブリッド実装したXFP-TOSAの展示を行っていた。このように各社が波長可変光源と変調器の集積化、小型化を進めており、コスト競争がますます熾烈さを見せている様子が伺える。

変調素子に関しては、多値変調素子における挿入損失の低減が課題であり、その集積化が注目を浴びている。半導体集積素子としては、前述の波長可変LD集積型変調素子の他、NTTからは40 Gbps-DPSK用SOA集積型MZMが報告された(OWQ3)。SI-InP基板上にnpin型MZMとSOAをモノリシック集積し、駆動電圧3 V_{pp}以下、フルCバンドにわたるロスレス動作が報告された。また、Infineraからは10×40 Gbps偏波多重RZ-DQPSK用集積型送信素子が報告された(OThN2)。DFBレーザとMZMからなる10チャンネルのDQPSK変調光源アレイ、パワーモニター用PD、MUX×2、RZパルスカーバ×2をモノリシック集積し、偏波多重は外部で行っている。今回示された動特性は1チャンネルのみであった。伝送特性と併せ、今後の報告が待たれるところである。

LiNbO₃変調器に関しても多値変調への適用が注目される。NTTからはPLCとLiNbO₃変調器のハイブリッド変調器に関する招待講演において、RZ-DQPSK、PDM-QPSK用変調器のレビューが行われた(OThN3)。各LiNbO₃変調器メーカーの展示においてもDPSK、DQPSK用変調器の展示が目立った。

3. 受光デバイス

受光関係では光デバイスのカテゴリにおいて3つのセッションがあり、コヒーレント受信技術に対する関心の高さを伺わせるものであった。PDと遅延回路やDEMUX回路との集積化、また、シリコンフォトニクスにおけるSiGe-APD(Avalanche Photodiode)が目立ったのが今回の特徴と言える。超高速受信器としては、HHI(Heinrich-Hertz-Institut)、Alcatel-Thalesから107 Gbps レシーバが報告された(OMK2)。pin-PDとpin-TWA(Traveling-wave Amplifier)をそれぞれHBTの1:2 DEMUXと組み合わせた構成であり、107 GbpsのDEMUX動作が示された。帯域はpin-PDが110 GHz、pin-TWAが72 GHzであった。また、コヒーレント受信用素子としては、u2tより100 Gbps PM-QPSK用のOEICが報告された。90°ハイブリッド用2×4 MMIとバランス受信用導波路pin-PDをモノリシック集積した構成であり、0~75°Cでの50 Gbps動作が示された(OMK5)。同様に90°ハイブリッドの提案としては、Santurより4×4 MMI素子を用いた構成が提案された(OMK6)。多ポートMMIを用いる場合はその波長依存性が懸念されるが、両報告共にフルCバンド動作の可能性を示している。この他、u2tからは、40 Gbps DPSK レシーバが2件報告された。装荷型pin-PD、リミッタアンプ、空間型遅延干渉計をモジュール化し、小型化を実現した構成(OWX4)の他、SOI上にSOAとpin-PDを実装した構成が報告された(OMK3)。

また、Alcatel-Lucentからは、Si上にSiGe-PDを集積した偏波多重4値コヒーレント受信器がPost deadlineにおいて報告された(PDPB2)。面入射型のグレーティングカップラを用いて偏光分離を行う構成である。PDの帯域は5 GHzであったが、シンボルレート28 Gbaudでの動作を実現し、112 Gbps PM-QPSK信号の受信が示された。PRBS 2¹⁵-1信号を用い、ビット誤り率は1.7×10⁻³であった。シリコンフォトニクス関連では、SiGe受光素子において、APD動作により飛躍的な帯域の増大が図られ、加えて長波長動作が可能となったことにより研究活動が活発化している。この分野は大学からの報告が多いのも特徴である。特に目立ったのはSiGe-APDのGB積増大に関する報告であり、UCSB、Intel(OMR1,OMR6)、台湾国立中央大学(OMR2)、Nano Photonics(OMR3)等から報告があった。Nano Photonicsは選択成長により素子を作製し、GB積80

GHzを達成している。また、IBMからはインターコネクション用に 40 GHz受光素子とCMOSの集積を行い、波長 1.5 μm における 40 Gbps信号の受信を報告した (OMR4)。今後もSiGeと電子回路との集積化が進展するものと予想される。

4. 導波路・光制御デバイス

半導体関連では、InP 大規模集積による多機能化が進められている。継続的に報告を行っている機関は限定されている状況であるが、将来的に不可欠な基盤技術としてその注目度は高い。UCSB からは、SG-DBR レーザ、波長変換素子、AWG をモノリシック集積した 8×8 ルーティング素子が報告された (PDPB1)。信号光を波長変換し、AWG の周回性を利用して所望のポートに出力を行う構成であり、集積数として最大級の光デバイスであることをアピールしていた。報告では複数ポートにおける 40 Gbps 信号動作が示された。AWG の透過スペクトルはやや不均一であり、動的切替えは示されなかった。しかし全チャンネル動作が実現した場合のインパクトは大きく、今後の報告が注目される。東大からは、 1×8 フェーズドアレイスイッチが報告された(OWV1)。14本の導波路アレイ上に位相調整領域を設け、電流注入による位相調整を用いて出力ポートを切り替える構成である。全8チャンネルにおける切替動作が示され、フルCバンドにわたり偏光依存性は2 dB以下であった。この他、UCSBから Post deadline において SG-DBR レーザを用いたモノリシック集積型光フェーズロックループが報告された(PDPB3)。

導波路デバイスに関しては、リング共振器の報告が多く見られた。実用化に向けた検討というよりも、リングを用いて新たな信号処理機能を付与する検討が目立つ。Corecom、ミラノ工大からは多連リング共振器 (CROW)を用いた可変遅延線が報告された (OWV2)。SiON導波路を用いて多連リング共振器を作製し、10 Gbpsのデュオバイナリ信号を用いた 3 ビットの遅延動作を実現している。また、浙江大からは、Si上の 3 連リングを並列動作させたクロスコネクタ素子 (OWV5)が報告された。リング共振器は波長変換デバイスにも適用され、Post deadlineでは2件の報告が行われた。アテネ工科大からはSOAと $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ リング共振器を用いた波長変換 (PDPA8)、ミラノ工大からは6連リングを用いた 10 Gbps DPSK信号の波長変換が報告された (PDPA9)。この他の波長変換デバイスとしては、多値変調信号をターゲットとし、振幅情報のみならず偏光や位相の保持機能を有する波長変換の報告が目立った(OTHS3, OTHS6, OTHS7, PDPC8)。

PLC 関連では、NTT より 43Gbps DQPSK 復調器 (OWO4)が招待講演として報告された。マッハツェンダ干渉計(MZI)と半波長板からなる構成であり、アサーマル化により復調時の消費電力を 60%低減し、消費電力は 1.4W 以下であった。NTT からはこの他、光 FFT 回路を用いた 10 Gbps \times 4 サブキャリア OFDM 信号の DEMUX 動作が報告された (OWO3)。McGill 大からは、6 段ラティス型フィルタを用いた 4 ビットバイナリコード生成回路が報告された(OWO6)。また、分散補償デバイスとして、NTT より 2 枚の PLC 上 AWG と LCOS (Liquid Crystal on Silicon)を組み合わせた可変分散補償器 (OTHB3)が報告され、40ch の任意分散設定特性が示された。

ポリマー導波路デバイスとしては、早稲田大からシリコン上のポリマー導波路を用いた 2×2 スイッチが報告された(OWO5)。MZI 上のヒータとコア間距離の設計により低消費電力動作を実現し、消光比-45 dB 時の駆動電力は 4 mW であった。またスイッチングの高速化が図られており、立ち上がり/立ち下りのスイッチング時間は 90 μs /160 μs であった。

この他、シリコンフォトニクス関連の導波路・光制御デバイスにおいては、リングを用いた信号処理デバイスの他、今回 Hamburg 工科大からアモルファスシリコンを用いたリブ型導波路が報告された(OMJ2)。導波

路損は 2 dB/cm とまだ大きいものであるが、プロセス後にアニーリングを用いた屈折率トリミングが可能となる点は興味深い。

5. おわりに

世界的不況下ではあるが、各機関が 40/100 Gbps 化に向けた検討を精力的に進めている。光デバイスにおいては、会議を通して光集積化、光・電子集積化の重要性が詠われ、その期待は大きいと感じた。最後に、本報告においては光デバイスの全分野を網羅しきれていない点についてお詫び申し上げたい。来年の OFC/NFOEC は 3 月 21～25 日にかけて引き続き米国サンディエゴにおいて開催される予定である。今年を上回る盛り上がりを期待したい。