

ECOC2007 ショート速報[光材料・デバイス]

菊池 順裕 (日本電信電話株式会社)

会議名 : The 33rd European Conference and Exhibition on Optical Communication

開催期間 : 2007年9月16日-20日

開催場所 : Internationales Congress Centrum Berlin (Berlin、ドイツ)

*****要約*****

光デバイスに関しては、Quantum Dot に関連する発表が目立っていた。温特など優れた特性のアピールやデバイス応用への検討が盛んに行われていた。半導体レーザの発表では、DML、EMLともコンパクトなトランシーバへの適用に向けてアンクル化への取り組みが進められていた。SOAでは、従来同様光信号処理分野をはじめ、ゲートスイッチやWDM-PONをはじめとするアクセスネットワークへの展開が見られ、変調器に関しては、最近ホットな多値変調符号方式用デバイスが多く報告されていた。その他、シリコンフォトニクスについては、大きな進展はないものの大学を中心とした活動が続けられていた。

1. はじめに

今回の ECOC 全体としては、多値変復調方式や OFDM 方式、デジタルコヒーレントレシーバといったデジタル信号処理技術に基づく周波数利用効率を重視した次世代の光通信技術がますます大きくクローズアップされた会議であったと言える。Monash 大の Lowery 教授の OFDM 技術や Alcatel-Lucent の Winzer 氏の光変調方式に関する 2 つのチュートリアル講演では大盛況で立ち見が出るほどであった。光デバイス関連の発表については、半導体レーザ、変調器を中心として直近の製品化を見据えた発表が全体として多く、マーケット志向の強い一方で、先行技術である Quantum Dot (QD) に関する研究活動も活発であると感じた。QD デバイスで Workshop と 1 セッションが生まれ、さらに、光信号処理など他のセッションでも報告が散見された。展示会場では、各ベンダの SFP+、tunable SFF への開発への取り組みが盛んであることが見て取れた。また、40 Gbps 関連では、VSR 用の duobinary、RZ-DQPSK、RZ-DPSK のトランスポンダが展覧されており、既に商用ベースに移りつつあるのを感じた。以下、主に聴講した光半導体デバイスを中心に報告する。

2. 半導体レーザ

HHI より (very) short reach 向けに 40 Gbit/s の DML が報告された。complex-coupled DFB と feedback phase セクションからなる 2 電極のレーザで、高い変調帯域を保ちつつモード安定性を実現している (8.1.4)。Alcatel Thales III-V Lab. は、InGaAsP の量子井戸内に InAs の QD を埋め込む DWELL という構造を用いた 1.55 μm 帯 Quantum Dash レーザで、10 Gbit/s 直接変調、10 km 伝送を達成した。注目すべきは、温度が変わってもその駆動条件を変えないで動作可能であるということである。QD レーザの温度特性の良さとチャープの少なさを実証した結果と言える (8.6.2)。同様に、CNRS から 1.3 μm の p ドープの InAs/GaAs QD レーザにおいて 20-80°C の範囲で T_0 が高く、 α パラメータも小さく温度無依存であることが示された (8.6.4)。また、Alcatel は、Quantum Dash を用いたファブリペローモードロックレーザも報告しており、波長領域

16nmにおいてパルス幅 2 psを実現している (PD2.6)。

EMLについては、最近の低消費電力化の要求から 1.55 μm 帯の IR や LR の XFP を意識した uncooled、あるいは、semi-cooled のデバイス開発が盛んである。Opnext は、DFB に InGaAsP MQW と EA 部に InGaAlAs MQW を用い、10~85°C の範囲で 10.7 Gbit/s 信号光の 40 km 伝送を実現した (8.1.5)。富士通は、DFB と EA 両方に AlGaInAs MQW を用いた SIBH 構造の semi-cooled (53°C) EA-DFB を報告し、EA 部の ΔE_v 値を最適化することで、高出力化 (+3 dBm) と低チャープ化を図り、9.95 Gbit/s 信号光の 100 km 伝送を達成している (8.1.6)。同様に、Alcatel は InGaAlAs 系の SIBH 構造 EA-DFB において小信号応答特性のみではあるが、集中定数型素子で 60GHz (35 Ω 系) の帯域を達成した (PD2.7)。

VCSEL については、TU Munchen より 2 件報告があった。トンネルジャンクションを用いて電流注入し、ヒートシンクと一体で素子を形成するやり方は、1.55 μm 帯で発振する InP 系 VCSEL の最も成功した形態である。低閾値電流・電圧動作 (1mA、1V 以下)、40 dB 以上の高 SMSR、85 度での 1mW 出力動作、10Gbit/s 変調を実現している (8.1.1)。また、12 アレイ化素子を報告。10Gbit/s までの 20km 伝送を達成している (8.1.3)。ETH Zurich からは、可飽和吸収領域に QD レイヤを用いたモードロック VCSEL が報告され、平均出力パワー 40 mW、パルスの繰り返し周波数 2.8 GHz の特性が報告された (8.1.2)。

3. 波長可変レーザ

トランシーバ／トランスポンダのチューナブル化が進む中で、各研究機関とも引き続きいろいろなアプローチで波長可変レーザの開発を精力的に行っていると感じた。NTT からは、アクティブ層とチューニング層が周期的に配されているコア層を用いた TDA-DFB アレイレーザの報告があった。100 GHz 間隔で 36 チャネルをカバーし、出力は 50mW (9.2.2)。このレーザの特徴は電流注入により波長チューニングを行うため高速波長切換が可能であること。また、モードホッピングが起きにくい構造である上に、劣化等によってモードホッピングが起りそうになればアラームを出すことも可能であることが利点である。NEC からは、SOA と液晶の外部ミラーを組み合わせたものと SOA と PLC をハイブリッド集積した波長可変光源が報告された (9.2.3, PD2.5)。前者は coupled-QW 構造を SOA に採用しゲイン帯域を拡大している。どちらも光出力 +13 dBm で C+L バンドのフルカバーを実現しており、完成度が高い。Eudyna からは、CSG-DR-LD というシングルストライプの波長可変レーザが提案された。3 つのヒータによって CSG-DBR の温度分布を変えることで波長選択を行う。電流注入による波長可変と違いプラズマ効果に起因するロスを抑制できるので、高出力 (ファイバ出力 +16 dBm) を得られることを特徴としており、50 GHz 間隔グリッドの 91 チャネルをカバー可能である (PD2.4)。Alcatel Thales III-V Lab. からは、DBR アレイ型の波長可変光源が報告された。ショートキャビティを用いてモードホップフリー領域を拡大する手法で、今回 1 つの DBR で 15 nm をカバーし、3 つの DBR トータルで 40 nm をカバーしている (9.2.4)。

今後、波長可変レーザに求められる仕様として、広波長可変域、高出力、高信頼性はもとより、DQPSK 変調等の多値変調方式を用いる高速長距離系への適用を考えた場合に、狭線幅が重要なファクタとなってくるであろう。

4. 半導体光増幅器 (SOA)

Fujitsu からは、GaInNAs/GaInAs MQW を用いた SOA が報告された。Interconnect の光スイッチとして用いられることを主眼において開発されたもので、90nm の波長帯域においてゲイン 10 dB、NF 7 dB 以下

を達成した (9.2.5)。Intel から SOA をスイッチとして用いた 32x32 の interconnect 装置が検証されており (4.3.2)、SOA がゲートスイッチとして注目を浴び始めている。BT からは GPON 用の 1.3 μm 帯の SOA が報告された。1290 nm から 1330 nm の範囲でゲインは 25 dB 以上、NF が 7 dB 程度、飽和パワーは +10 dBm 前後である (PD3.5)。また、CIP は、WDM-PON システム向けに、無温調の RSOA (反射型 SOA) を用いて、2.5 Gbit/s 信号光で 10 km 伝送を実現した (6.4.1)。WDM-PON システムは、ヨーロッパ、北米、韓国を中心に精力的に研究されており、WDM-PON のセッションでは、RSOA を用いたシステム一色であったのが印象深い。一方、QD を用いた SOA についても、そのダイナミクスを中心に、いくつか報告があった。Cambridge 大からは、QD アンプをスイッチとして使い、ps オーダで応答するスイッチが報告された (8.6.3)。Karlsruhe 大は、ポンプ・プローブ法を用い、ゲインと位相の時間応答を遅い成分と速い成分の二つ時定数を用いて定式化を行い、 α パラメータの QD アンプ動作条件依存性を明らかにした。また、Alcatel は、1.5 μm 帯 QD アンプの飽和領域においても α パラメータが小さく、10 Gbit/s、50km 伝送が可能と報告していた (8.6.6)。QD アンプの課題は、やはり偏波依存性であろう。そういった意味では、Workshop において、富士通の秋山氏より偏波無依存化へのアプローチについて議論があり、今後に期待が持たれる。

5. 変調器

変調器に関する発表は、最近の多値変復調方式のトレンドを現していたと言えよう。半導体材料系では、NTT から 80 Gbit/s 動作する InP 系 DQPSK 変調器が報告された。標準の 14 ピンバタフライパッケージのサイズに搭載可能で、I 用、及び、Q 用変調器はプッシュプル駆動で動作し、駆動電圧は 3V である (10.3.1)。NEC は、シングルドライブの InP 系 MZ 変調器を報告。バイアス電圧を波長毎に調整することで駆動電圧 3.8V 一定で C+L バンドカバーを実現。NEC は C+L バンドの波長可変レーザを開発しており、それとの組み合わせを想定してのこと。10 Gbit/s で 103 km 伝送を達成している (10.3.2)。LN ベースでは、富士通から 40 Gbit/s の RZ-DQPSK 変調器が報告された。RZ パルス化用と DQPSK 変調器を折り返したレイアウトで集積し、RZ パルス化と I、Q 用変調器は全てプッシュプル駆動で、駆動電圧はそれぞれ 1.5V と 3.5V である (10.3.3)。Photline Technologies は、位相変調領域において半分のところで電気光学係数 r_{33} の極性を反転させ、かつ、電極をシグナルとグランドを入れ換えることにより、シングルドライブの Z-cut でありながらゼロチャープ化を試みている。この技術を用いて、DQPSK 変調器を実現し、20 Gbit/s の変調特性を示した。半波長電圧は 4.8V (10.3.4)。また、NICT からは、マッハツェンダ干渉計の両アームに QPSK 変調器を配置し、両アームに 6dB の強度差をつけることで 16 QAM 変調器を実現し、50 Gbit/s 変調動作を報告した (PD2.8)。また、講演発表ではないが、Exhibition で AVANEX が SFF に入る 10G 用の LN 変調器を展示していた。駆動電圧は 5V とまだ高めであるが、これにより 300 pin の tunable SFF の開発が一気に加速すると思われる。

6. 受光器、受信器

受光器では、Virginia 大より帯域は 10 GHz ながらも最大電気出力パワー +17 dBm、変換効率 0.75 A/W のバランス型 PD が報告された (5.5.3)。また、HHI からは、彼らの最近の成果である帯域 150 GHz を有する parallel-fed TWPD を中心に招待講演が行われた (5.5.1)。受信器では、A3PICs からシリコンの平行レシーバ OEIC が報告された。3 Gbps/ch、36 チャンネルでトータル 100 Gbps 以上の処理能力を有している (5.5.4)。Infinera は、InP 系材料で pre アンプ用 SOA と AWG と PD アレイをモノリシック集積した

10 チャンネルのレシーバを報告、動作速度はチャンネル当り 11 Gbit/s (5.5.5)。Bell Lab.からは、InP 系 DQPSK レシーバが報告された。マッハツェンダ遅延干渉計と 2x4 スターカップラで構成された受信器であり、53.5 Gbit/s で動作する (PD2.9)。同様に 90° hybrid を用いた DQPSK の demodulator としては、NTT から PLC ベースのものも報告された (10.3.3)。

7. 導波路デバイス・集積デバイス

PLC ベースのデバイスでは、NTT からモニタ用の PD アレイも集積した 2.5% $\cdot\Delta$ 導波路を用いたコンパクトな VMUX/DEMUX など実用レベルにある完成度の高いデバイスの発表がなされた (2.5.1~2.5.3)。また、InP 系では、UC Davis から 20 GHz 間隔の AWG (2.5.4)、Infinera から 100 GbE (20 Gbit/s x 5 チャンネル) のトンラスマッタが報告された (7.3.5)。SOI デバイスでは、MIT からリング共振器を用いた Add-Drop フィルタ (1.2.3)、ベルリン工大からマッハツェンダ遅延干渉計 (7.3.4)、Ghent 大からは、低伝搬損 (3.5 dB/cm) のシリコンワイヤを実現し、それを用いたリング共振器が報告された (PD2.2)。近年の SOI のパッシブデバイスの性能向上により、次にアクティブデバイスの集積を目指すのは必然である。今回の会議では、Silicon Photonics と題した Workshop が開催された他、III-V 族化合物半導体材料のものを wafer bonding で集積するアプローチと Ge に代表されるシリコン CMOS プロセスコンパチブルな材料を用いてすべて作り込むアプローチに関して、それぞれ 2 件ずつ最近の成果を紹介する招待講演があった (UCSB9.2.1、Ghent 大 6.3.1、Cornell 大 1.2.1、MIT7.3.1)。また、Ghent 大からは、前者の立場で SOI 導波路上に BCB を用いて InGaAs/InAlAs の PD の集積し、少ない暗電流と高い変換効率を実現している (5.5.2)。OFC2007 での Luxtera の発表に続き、今後、通信波長帯の光デバイスと SOI 導波路、そして、電子デバイス (ドライバ IC、アンプ、TIA など) が一体集積されたデバイスが報告されることを期待したい。

8. おわりに

昨年と比べ、投稿数、採択数とも若干減少したようではあるが、上述の伝送技術を中心に活発な議論がなされていた。一方、光部品、光デバイスは、どちらかというと地道な改善、成果を発表しているという印象ではあったが、この分野におけるトップクラスの論文には日本の研究機関が多いことを付記しておきたい。Quantum Dot を用いた光デバイスでは、無温調かつ駆動条件を一定にできる可能性があり、これは制御回路の簡便化、低消費電力化に繋がる。引き続き今後の動向を注目していきたい。また、OFC2007 で盛り上がった 100GbE に関連するデバイスについては、今回 Infinera から 1 件のみの報告であったが、来年あたりは注目であろう。来年の ECOC は、9 月 21 日~25 日までベルギーのブリュッセルで開催される。