

### OFC/NFOEC ショート速報 [光デバイス・モジュール]

藤澤 剛 (NTT フォトニクス研究所)

会議名 : Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC) and National Fiber Optic Engineers Conference 2011

開催期間 : 2010年3月6日-11日

開催場所 : Los Angeles Convention Center (Los Angeles, CA, 米国)

\*\*\*\*\*要 約\*\*\*\*\*  
 2011年3月に開催された OFC/NFOEC において報告された、光デバイス関連の動向をまとめる。長距離系光通信用デバイス関連では、ポスト 100G を見据えたコヒーレント光通信用デバイス、特に大規模集積化した受信用光デバイスの報告が目立った。また、データ通信関連では、光インターコネクション、データセンタ用途光デバイスの報告数が多く、特に、シリコンフォトニクス関連の発表が相変わらず盛況であった。  
 \*\*\*\*\*

#### 1. はじめに

2011年 OFC/NFOEC における光デバイス関連の動向をまとめる。長距離系の光通信用デバイス関連では、ポスト 100G を見据えた、スペクトル効率に優れるコヒーレント光通信用送受信デバイス関連の報告が多くなされ、当該分野での確実な進歩が見られた。特に受信用デバイスに関して、位相誤差の低減、サイズの小型化、低コスト化を目的として、大規模集積化したコヒーレント受信用デバイスの報告が目立った。

また、成長著しいデータ通信関連のセッション、ワークショップが多く生まれ、そのための光デバイス、実装技術の報告が多数なされたことも今回の特徴として挙げることができる。概して、会場は盛況で議論も活発であった。以下、筆者が主として聴講した光デバイス分野についての報告を行う。

#### 2. コヒーレント光通信、Advanced modulation format 関連

送信側では、ポスト 100G を見据えた、スペクトル利用効率に優れたコヒーレント光通信用デバイスの報告が目立った。NTT、アルカテルルーセント (ALU) からそれぞれ、InP 系 16QAM 変調器の報告がなされた。NTT の報告では、4 値の電気信号を用いて 1 つの MZ 変調器をデュアルドライブ駆動することにより、2 つのアームの QPSK 信号を干渉させ、トータルで 50G (12.5G×4) の 16QAM 信号を生成することに成功している。その際、片側アームの振幅調整のために、半導体の電界吸収効果を合わせて用いている。1 つの MZ 変調器で 16QAM 信号を生成できることから、送信機の小型化に有用であるとのことである。ALU からは、3 年前の OFC で自ら報告した、多アーム干渉型の 16QAM 変調器の改良版が報告された。変調器構造の改良により、前回のボーレート 10G から 28G まで特性を改良している。更に、通常の IQ 変調器では生成できない、三角格子型のコンスタレーションを用いることにより、光パワーの効率化も可能とのことである。ポストデッドラインセッションにおいて、Infinera より、1 波当たり 112G の偏波多重 (DP)、QPSK 用光源が 10 波集積された大規模光集積回路の報告がなされた。10 個の DFB (Distributed Feedback) レーザ、40 個の MZ 変調器、パワー等価化のための VOA、及び、両偏波用の MUX が集積されている。但し、

チップ内での偏波の制御は行っていないとのことである。各送信部を個別動作させ、1 波長当たり 112G の DP-QPSK 信号の生成が報告された。

受信側では、高度に集積された 112G-DP-QPSK 用コヒーレントレシーバの報告が相次いだ。各コンポーネントの集積により、コヒーレント受信でキーとなる位相誤差の低減、パッケージの小型化、低コスト化を図っている。それぞれの研究機関で集積の仕方によって独自性を出しているが、90 度ハイブリッドとバランス PD の集積に関しては、ほぼ共通であった。ALU からは両偏波用の 90 度ハイブリッド 2 個、8 個の PD を集積したコヒーレント受信用 PIC (Photonic Integrated Circuit) が報告された。LO は外から入射し、各偏波で共用できるように、1×2 の MMI も集積されている。3 インチ InP ウェハ上で 1 回の結晶成長でデバイスを作製できるように設計されており、大量生産に有用とのことである。U2t からは、90 度ハイブリッドと PD を集積した PIC を各偏波用に 2 個、空間光学系による偏波制御部、及び TIA をハイブリッド集積したコヒーレント受信モジュール (27 mm×40 mm×6 mm) が報告された。Infinera からは、10 チャネル (200 GHz 間隔) 分の DP-QPSK 用レシーバを集積した、大規模 PIC が報告された。TE、TM の信号は別ポートから入射され、それらを共用の AWG で 10 波に分波する。各波長、偏波に対して 90 度ハイブリッド、バランス PD が集積されている。さらに両偏波に対して共用の LO 用チューナブル DFB レーザも集積され、各波長 112G での動作が確認された。ポストデッドラインで報告された送信デバイスに対応するものである。

### 3. 光インタコネク、High performance computing 関連

1 で書いたとおり、今回の OFC では、広くデータ通信関連の光デバイスに関する報告が多く見られた。全てがデバイス関連の報告ではないが、“Meeting the computercom challenge”という名前で 5 個のシンポジウムが開かれ、聴衆も多く質疑も活発であった。光インターコネクションやオンチップ光配線などに関する民間企業からの講演では、1 ビット当たりのコスト、消費電力など、長距離通信用光デバイスとは違った観点からの、デバイスへの厳しい要求がなされた。

IBM からスーパーコンピュータ用の光リンクとして、CMOS ドライバにより駆動可能なプリント基板上の光送受信ユニットが報告された。VCSEL、PD、そしてそれらを駆動するための CMOS ドライバが共通のキャリア上に配置され、レンズを通して、プリント基板上のポリマー光導波路に結合される。フルリンクの伝送実験において、15G 動作で 7.6 pJ/bit、20G 動作で 17 pJ/bit というビット当たりの消費電力が得られている。また、マルチモードファイバ 100 m 伝送後のパワーペナルティは 1 dB 程度とのことである。

### 4. 半導体レーザ、高速変調器関連

LAN 向け 40/100G 用高速デバイスにおいて、変調速度、デバイス性能に関して着実な進展が見られた。また、日本の研究機関からの報告が多いことも一つの特徴であった。NTT、富士通からそれぞれ、変調速度 40G の直接変調レーザの報告がなされた。NTT からは、InGaAlAs 系、短共振器直接変調レーザを TO-CAN パッケージに実装し、60°C まで、40 キロ伝送後も明瞭なアイ波形を得られたことが報告された。低誘電率の液晶ポリマを RF 信号線に用いることにより、高周波信号の損失を低減し、パッケージの帯域拡大を図っているとのことである。富士通からは、こちらも InGaAlAs 系材料を用いた埋め込み型直接変調レーザによる 40G 動作が報告され、70°C までのエラーフリー 5 キロ伝送が報告された。また、NTT からポスト 100GbE 向け光源として、1 波当たりの変調速度を 50G まで伸ばした EA 変調器集積レーザを用いて、1.3 ミクロン帯の 8 波長 (400 GHz 間隔) に対してそれぞれ、40 キロ伝送を行ったことが報告された。

## 5. Si フォトニクス関連

“Si Photonics”というタイトルでセッションが4つ開催され、相変わらずの盛況を見せた。テレコム用途、データ通信（光インタコネクタ、データセンタ内光配線など）用途のデバイスが混在していたが、概して、データ通信用途の報告が多い。波長合分波関連デバイス、光スイッチなどに関する報告では、その特性に着実な進展が見られ、回路も大規模集積化している。

アクティブデバイス関連では、Siフォトニクスセッション全体で5件の講演を行った、UCSB、J. Bower教授のグループによる、III-V族アクティブデバイスのSi導波路上への貼り付けに関する報告が目立った。光源に関しては、Intel、UCSBから、シリコン導波路上にボンディングしたIII-V族半導体レーザに関して、導波路の両側に、SOI基板中の熱伝導率の低いSiO<sub>2</sub>をエッチングし、熱伝導率の大きなpoly-Siで埋めることにより作製した、熱を逃がすためのthermal shuntを用いることにより、レーザの熱抵抗を41.5 C°/Wから33.5 C°/Wまでの低減に成功したとの報告がなされた。

韓国、サムスン電子からは、DRAM用途のシリコンフォトニクスに関する報告がなされた。CPUの高速化に伴う、メモリユニットの高速化のための光インタコネクタを検討しているとのことである。但し、DRAMのプロセスはバルクSi上で行うために、通常Siフォトニクスで用いられるSOI基板の使用が（決して不可能ではないが）難しいため、バルクSi上にSiO<sub>2</sub>、アモルファスSiを堆積し、solid-phase epitaxy (SPE) 法により、アモルファスSiを結晶化してSi導波路を作製するという報告がなされた。原理確認用に作製した導波路の損失は0.61 dB/mm、光を結合するためのvertical gratingとの結合損は2.6 dBであった。本方法はDRAMプロセスと互換であるため、光インタコネクタを利用したDRAMの低コスト、大量生産に適しているとのことである。

ポストデッドラインセッションでは、KITからPhotonic waveguide bondと名付けられた、新しいチップ間接続の方法が報告された。接続したいチップを有機材料で埋めて、two-photon polymerizationによる3次元の描画により、ボンディングワイヤのような光導波路（Photonic waveguide bond）を作製し、2つのチップをつなぐ。ボンドとチップの間は、vertical gratingにより光を接合する。本報告では原理確認のため、同一チップ上の2つの離れた導波路を接続し、40Gの信号に対してエラーフリーとなることを確認していた。Siフォトニクスに限らず、将来のハイブリッド実装技術として興味深い。

## 6. その他

昨年のノーベル物理学賞との関係からか、グラフェンとカーボンナノチューブ（CNT）の光デバイス応用に関するセッションが組まれた。東大、山下教授によるチュートリアルにおいて、グラフェン、CNTの特異なバンド構造とその巨大な非線形性についての説明があり、モードロックレーザへの応用などが紹介された。講演の最後に“Welcome to the world of carbon photonics”という言葉で締めくくったのが印象的であった。

## 7. おわりに

本報告において、光デバイスのすべての分野を網羅できないことをお詫びしたい。次回のOFCは、来年3月4日～8日まで、本年と同じく、ロサンゼルスコンベンションセンターにおいて開催予定である。